

## ФУНКЦІОНАЛЬНІ БЛОКИ У СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ РУХОМИМ СКЛАДОМ

Пропонується компоувати апаратуру систем керування у вигляді окремих функціональних блоків, кожен з яких керує тільки одним об'єктом. Виходячи з вимог до системи керування в цілому і необхідності виконання залежностей, які зумовлені логікою її роботи, запропоновано алгоритм розробки функціональних блоків. За математичну модель функціонального блока прийнято скінченний автомат, для аналізу роботи якого в системах керування рухомих складом доцільно використовувати таблиці переходів.

Предлагается компоновать аппаратуру систем управления в виде отдельных функциональных блоков, каждый из которых управляет только одним объектом. Исходя из требований к системе управления в целом и необходимости выполнения зависимостей, которые определены логикой ее работы, предложен алгоритм разработки функциональных блоков. В качестве математической модели функционального блока принят конечный автомат, для анализа работы которого в системах управления подвижным составом целесообразно использовать таблицы переходов.

The article proposes to arrange the equipment of control systems as separate functional blocks, each of which operates only one object. Proceeding from requirements to the control system as a whole and necessity of meeting the dependences, determined by the logic of its work, the authors have suggested an algorithm of development of functional blocks. The final automatic device is accepted as a mathematical model of the functional block. For the analysis of its works within the rolling stock operation systems, it is expedient to use the tables of transitions.

В останні роки на ринку електротехнічних виробів в Україні з'явилась значна кількість різних малогабаритних швидкодіючих надійних електромагнітних реле, які задовольняють вимоги до тягових електротехнічних апаратів згідно з ДСТУ 2773-94. Це дає можливість будувати системи керування локомотивами, пасажирськими вагонами та іншим рухомих складом (РС) у вигляді окремих функціональних блоків (ФБ), які прийнятні за масою, габаритами та мають підвищенні показники з надійності. Компоновка апаратури систем керування у вигляді окремих ФБ доцільна з точки зору технологічності ремонту, зручності і швидкості діагностування. Під функціональним блоком апаратів системи керування пропонується розуміти сукупність елементів, яка виконує певну операцію керування і має закінчену конструкцію. ФБ можна охарактеризувати так:

1. Наявність певної мети.
2. Відносно невелика (у порівнянні із всією системою керування) кількість входів, виходів і компонентів.
3. Обмежена кількість виконуваних функцій.
4. Складність, яка може бути охарактеризована ступенем залежності виходів блока від його входів. Кожен ФБ можна подати у вигляді дискретного пристрою з обмеженою кількістю входів та виходів, а систему керу-

вання РС пропонуємо розглядати як сукупність функціональних блоків.

Подавати усю систему керування локомотивом чи вагоном як єдиний ФБ вважаємо недоцільним у зв'язку з великою кількістю входів та виходів, великою різноманітністю функцій окремих вузлів і вимог до них. Пропонується кожен ФБ системи керування РС розглядати з точки зору дискретних пристроїв. За критерії при синтезі окремих блоків пропонується прийняти їх надійність, максимальну уніфікацію елементів та масо-габаритні показники.

З точки зору теорії дискретних пристроїв функціональний блок системи керування одиницею рухомого складу – багатотактний асинхронний дискретний пристрій. Багатотактний тому, що сигнали на виході блока визначаються не тільки сигналами на вході у даний момент, але й вхідними сигналами, які надійшли раніше. Тобто поведінка блока визначається послідовностями сигналів, що надходять на вхід.

Для здійснення цієї послідовності автомат повинен володіти пам'яттю – здібністю запам'ятовувати послідовність вхідних або вихідних сигналів. В асинхронному пристрої зміна його станів визначається моментами зміни вхідних сигналів або позицій елементів пам'яті (ЕП), що й має місце під час роботи системи керування РС. У синхронних пристроях повинен бути генератор синхронізую-

чих імпульсів, в момент надходження яких відбуваються усі зміни станів автомата. Генератор імпульсів ускладнює структуру пристрою, у той же час його наявність не є обов'язковою для забезпечення логіки схем керування рухомим складом.

Тому пропонується будувати ФБ керування рухомим складом як асинхронні пристрої. Це спрощує структуру блока за рахунок відсутності кіл синхронізації і дозволяє використовувати реле, які мають часовий розклад параметрів. Але при цьому потрібно враховувати явище протидій між елементами блока. У схемах керування рухомим складом функціонування блоків керування відбувається в дискретні моменти часу  $t_0, t_1, t_2, \dots$  (тактові моменти) і їх поведінка не залежить від інтервалу часу  $t_i$  та  $t_{i+1}$ . Тому ФБ – дискретні пристрої. Перехід від одного такту до наступного відбувається або за рахунок зміни вхідного сигналу, або позицій ЕП. Математичною моделлю ФБ з  $p$  двійковими входами,  $k$  двійковими виходами та  $n$  двопозиційними елементами пам'яті може бути прийнятий скінченний автомат, який описується функціями переходу та виходу (рис. 1). Функція переходу визначає залежність позиції  $s(t)$  в даному такті  $t$  від стану вхідних сигналів  $x(t)$  у тому ж такті і від позиції  $s(t-1)$  автомата у попередньому такті:

$$s(t) = \varphi[x(t), s(t-1)]. \quad (1)$$

Під тактом розуміємо період часу, в якому сигнали й елементи (елементи пам'яті, реле, кнопки і т. п.) схеми керування не змінюють своїх положень. Тобто кожному такту відповідає певний стан ФБ. Усі такти можуть бути пронумеровані. Таким чином, фактично змінною величиною є не час, а порядкові номери тактових моментів. По аналогії з теорією скінченних автоматів позицією (внутрішнім станом) ФБ будемо називати сполучення станів елементів пам'яті. При  $n$  двопозиційних елементах пам'яті кількість різних сполучень їх станів буде  $2_n$ . Сполучення  $\{x, s\}$  станів входу  $x(t)$  і позиції  $s(t)$  будемо називати повним станом ФБ або скорочено – станом блока. Функція виходів визначає залежність вихідних сигналів  $z(t)$  від повного стану автомата (ФБ) у тому ж такті:

$$z(t) = f[x(t), s(t)]. \quad (2)$$

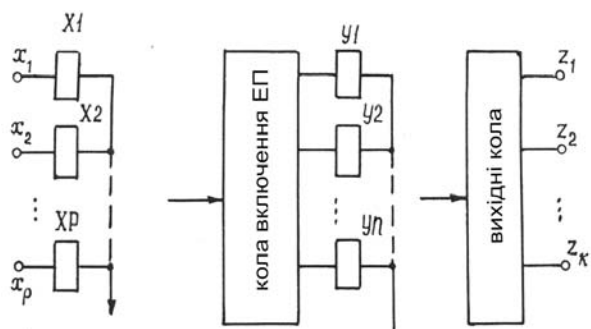


Рис. 1. Структурна схема функціонального блока

На рис. 1 показана структурна схема ФБ з пам'яттю, де  $x_1, x_2, \dots, x_p$  – входи блока;  $X1, X2, \dots, Xp$  – вхідні реле, які фіксують значення змінних на входах;  $Y1, Y2, \dots, Yn$  – внутрішні реле, які реалізують алгоритм роботи схеми (здійснюють пам'ять);  $Z_1, Z_2, \dots, Z_k$  – виходи ФБ. Далі внутрішні реле позначаємо ЕП (елементи пам'яті). На входи блока надходить інформація про дії машиніста (або іншого робітника) на пульті керування і про стан керованих та контролюючих об'єктів. З виходів видається перероблена інформація, тобто команди на спрацювання об'єктів керування (контакторів, інших блоків і т. п.).

При розробці ФБ виникає питання про формулювання задачі розробки. У більшості випадків ця задача не може бути сформульована тільки математично, а формують деяку ідею (забезпечення безпеки руху, підвищення надійності, уніфікація елементів і т. п.). Задачу розробки можна визначити як знаходження компромісного рішення, яке забезпечує раціональне здійснення завдань, поставлених перед ФБ, та засобів, за допомогою яких ці завдання можуть бути реалізовані. Виходячи з вимог до системи керування РС в цілому і необхідності виконання залежностей, які зумовлені логікою її роботи, пропонуємо такий алгоритм розробки ФБ:

1. Визначити зв'язок ФБ, який розробляється, з іншими пристроями (тобто визначити входи та виходи).
2. Визначити потрібні послідовності вхідних і вихідних сигналів.
3. Вибрати набір реле, на яких буде будуватися ФБ.
4. Визначити кількість позицій, а звідси і кількість елементів пам'яті або проміжних реле.
5. Розробити принципову схему ФБ. Вважаємо, що принципова схема ФБ може бути наведена розробником, виходячи з його евристичних міркувань, оскільки для РС схеми ФБ, які

пропонуємо будувати, як правило, тільки з одним виходом, прості.

6. Провести аналіз розроблених схем ФБ з метою виявлення протидій контактів реле у перехідних режимах.

7. Ужити заходів щодо усунення негативно-го впливу протидій, якщо вони будуть.

Із усіх відомих способів запису умов роботи багатотактного релейного пристрою (у вигляді графіка роботи реле, у вигляді таблиць включення або переходів, з допомогою графів переходу) для ФБ схем керування РС у нашому випадку найбільш доцільно користуватись записом у вигляді таблиць переходів. Така думка виправдовується тим, що в схемах РС при кожному стані ФБ можлива будь-яка зміна вхідних сигналів. І якщо при цьому користуватись, наприклад, таблицею станів, то її потрібно було б будувати для кожного сполучення вхідних сигналів. У таблиці переходів (ТП) рядки відповідають позиціям пристрою, які пронумеровані у будь-якому порядку, а стовпці – усім комбінаціям вхідних сигналів, які зустрічаються в процесі роботи пристрою.

Визначення кількості входів і виходів, потрібної послідовності вхідних і вихідних сигналів – це питання, які повинні вирішуватись окремо для кожного конкретного ФБ.

Побудова таблиці переходу і складає задачу аналізу схеми конкретного ФБ. Розглянемо вирішення цієї задачі на прикладі схеми, яка наведена на рис. 2.

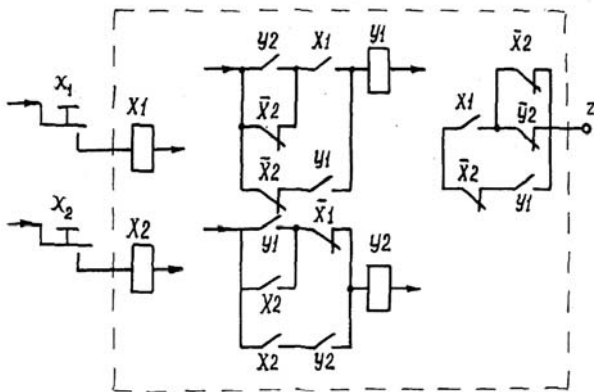


Рис. 2. Варіант принципової схеми ФБ

Функції алгебри логіки (ФАЛ) записуємо безпосередньо по схемі. Стовпці таблиці, які позначимо  $a_j$ , відповідають набору вхідних змінних. Якщо схема ФБ має  $p$  входів, ТП має  $2^p$  стовпців. Рядки ТП, які позначимо  $s_i$ , відповідають позиціям ФБ. Позиція ФБ – це комбінація станів його внутрішніх ЕП (реле  $Y1$

та  $Y2$  на рис. 2). Схема на рис. 2 має чотири позиції:  $s_1 = 00$  (обидва реле  $Y1$  та  $Y2$  знеструмлені);  $s_2 = 01$  (реле  $Y1$  знеструмлене, реле  $Y2$  під струмом);  $s_3 = 10$  (реле  $Y1$  під струмом, реле  $Y2$  знеструмлене);  $s_4 = 11$  (обидва реле під струмом).

Таблиця

$a_j$		$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$
$s_i$	Y1 Y2	X1 X2			
		00	01	10	11
$s_1$	00	(00),0	01,0	10,1	(00),1
$s_2$	01	00,0	(01),1	10,*1	11,0
$s_3$	10	11,1	01,*0	(10),1	00,1
$s_4$	11	(11),1	01,0	10,1	(11),0

Якщо схема ФБ має  $n$  внутрішніх ЕП, кількість позицій (рядків ТП) дорівнює  $2^n$ . Клітинка ТП, розташована на перехрещенні стовпця  $a_j$  та рядка  $s_i$ , відповідає повному стану ФБ, оскільки вона визначає стан вхідних та внутрішніх змінних. Клітинку ТП позначимо  $(a_j, s_i)$ .

У клітинці  $(a_j, s_i)$  позначимо стан  $s_f = s(t+1)$ , в який переходить схема ФБ, якщо вона у попередній момент часу знаходилась у стані  $s_i = s(t)$ , і в даний момент часу на її вхід надійшов набір вхідних змінних.

У кожній клітинці після  $s_f$  через кому вказуємо стан виходу при даній позиції і даних конкретних сигналах. ФБ (див. рис. 2) описується системою рівнянь ФАЛ:

$$\begin{cases} Y1 = X1(\bar{X}2 \cup Y2) \cup \bar{X}2Y1, \\ Y2 = \bar{X}1(X2 \cup Y1) \cup X2Y2, \\ Z = X1(\bar{X}2 \cup \bar{Y}2) \cup \bar{X}2Y1. \end{cases} \quad (3)$$

Розглянемо, наприклад, клітинку

$$(a_2, s_1) = (01, 00).$$

Визначимо поведінку реле  $Y1$  та  $Y2$ , якщо у попередній момент часу вони обидва були знеструмлені ( $s_1 = 00$ ), а в даний момент часу натиснута кнопка  $x_2$  ( $a_2 = 01$ ). Для цього вираховуємо значення функцій вмикання реле  $Y1$  та  $Y2$  і виходу  $Z$  системи (3) при підстановці

змінних  $X1=0$ ,  $X2=1$ ,  $Y1=0$ ,  $Y2=0$ , які відповідають стовпцю  $a_2$  у рядку  $s_1$ :

$$Y1 = 0(\bar{1} \cup 0) \cup \bar{1}0 = 0(0 \cup 0) \cup 00 = 0 \cup 0 = 0,$$

$$Y2 = \bar{0}(1 \cup 0) \cup 10 = 1(1 \cup 0) \cup 10 = 1 \cup 0 = 1,$$

$$Z = 0(\bar{1} \cup \bar{0}) \cup \bar{1}0 = 0(0 \cup 1) \cup 00 = 0 \cup 0 = 0.$$

Результати розрахунку показують, що реле  $Y1$  повинно залишатись знеструмленим, а реле  $Y2$  повинно спрацювати. Стан внутрішніх ЕП 01 проставляємо у клітинці  $(a_2, s_1)$ . Аналогічним чином знаходимо і проставляємо значення ФАЛ системи (3) для усіх клітинок ТП.

Повні стани ФБ у відповідності до теорії дискретних пристроїв розділяємо на стійкі та нестійкі. Стійкий стан – це стан, в якому схема ФБ знаходиться стільки завгодно довго до зміни комбінації вхідних сигналів. Розглянемо, наприклад, в табл. 1 клітинку  $(a_1, s_1) = (00, 00)$ . У ній зафіксовано стан  $s_1 = 00$ . Це означає, якщо у попередній момент часу обидва реле  $Y1$  та  $Y2$  були знеструмлені ( $s_1 = 00$ ), а у даний момент часу обидві кнопки  $x_1$  та  $x_2$  не натиснуті ( $a_1 = 00$ ), стан внутрішніх ЕП не змінюється (обидва реле  $Y1$  та  $Y2$  залишаються знеструмлені) і в цьому стійкому стані схема буде до тих пір поки не зміниться набір вхідних змінних. Допустимо, що кнопку  $x_2$  натиснули і на вході отримали комбінацію сигналів  $(a_1 = 01)$ . Тоді схема ФБ переходить в нестійкий повний стан  $(a_2, s_1)$ , в клітинці якого записано стан  $s_2 = 01$ . У результаті реле  $Y1$  залишається знеструмленим, а реле  $Y2$  спрацьовує. Схема ФБ переходить у стійкий повний стан  $(a_2, s_2) = (01, 01)$ , в якому і залишається до наступної зміни комбінації вхідних сигналів. Таким чином, схема ФБ переходить із одного стійкого стану в інший через нестійкий. У табл. 1 стійкий стан взято в круглі дужки. Ознакою стійкого стану є співпадання повного стану, записаного в клітинці (того, що повинен бути), із внутрішнім станом (позицією) ЕП, який приписаний даному рядку. У випадку, коли коди станів, які за-

писані у клітинках, відрізняються у двох і більше розрядах від кодів, в яких ці клітинки знаходяться, має місце протидія ЕП. Наявність у рядках протилежних вихідних сигналів свідчить про можливість протидії входів. Якщо у рядках немає протилежних вихідних сигналів, то це означає, що вихід залежить тільки від позицій ЕП. У таблиці протидії ЕП відмічені зіркою.

Якщо тривалість сигналу, який виник внаслідок протидії контактів (тобто сигналу, який не передбачений логікою схеми), близька до часу, протягом якого сигнал повинен надходити до об'єкту керування, щоб останній спрацював, то потрібно ужити заходів щодо усунення дії цього короткочасного сигналу на об'єкт керування. Із всіх відомих методів рішення цієї задачі для ФБ систем керування РС доцільно застосувати відфільтровування цього сигналу з допомогою фільтруючих пристроїв, увімкнених на виході ФБ, які не пропускають короткочасні імпульси до об'єкту керування.

### Висновки

1. Пропонується принцип синтезу систем керування рухомим складом на базі сучасних електромагнітних реле у вигляді сполучення функціональних блоків, кожен з яких керує тільки одним об'єктом.

2. За математичну модель функціонального блока прийнято скінченний автомат, для аналізу роботи якого у системах керування рухомим складом доцільно використовувати таблиці переходів.

3. Запропоновано алгоритм розробки функціонального блока з урахуванням вимог до систем керування рухомим складом.

### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Колдуэл С. Логический синтез релейных устройств. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1962. – 740 с.
2. Сапожников В. В. Методы синтеза надежных автоматов / В. В. Сапожников, В. В. Сапожников – Л.: Энергия, 1980. – 93 с.

Надійшла до редколегії 04.06.04.