

МАТРИЧНИЙ АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

При проектуванні складних технічних систем слід проводити аналіз надійності з урахуванням взаємозв'язків елементів системи. Основними складовими надійності є безвідмовність та ремонтпридатність [1]. У розрахунках надійності складних систем найчастіше використовуються кількісні характеристики: імовірність та середній час безвідмовної роботи, коефіцієнт готовності і т.д. При цьому послуговуються методами теорії імовірності і математичної статистики, теорії графів, матриць, множин, алгеброю логіки та подій [2, 3].

Надійність системи залежить від її структури та складу, від способів поєднання елементів в системі, їх кількісних характеристик. Аналіз надійності складних систем зазвичай [4, 5] проводиться методом послідовно-паралельного перетворення з'єднань елементів.

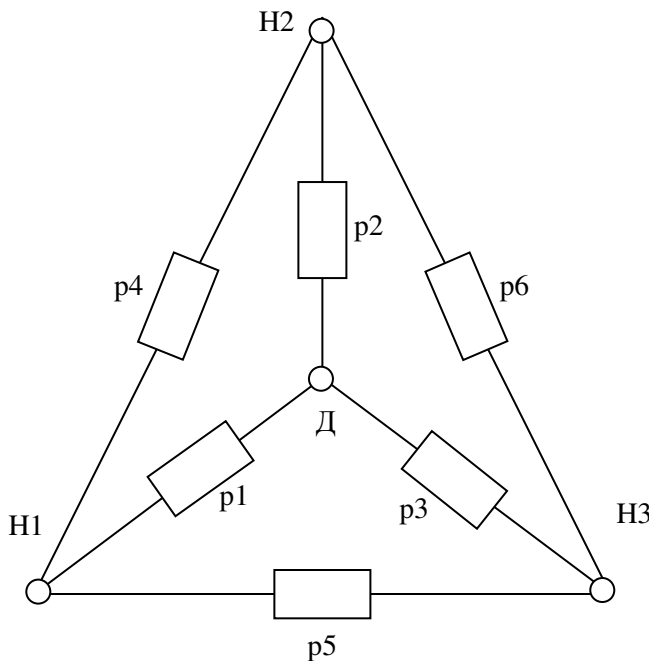


Рисунок 1. – Блок-схема надійності.

Нехай резервована система задана блок-схемою, яка проілюстрована на рис. 1. Основним показником надійності тут вибрано імовірність безвідмовної роботи елементів схеми $p_n, n=1, \dots, 6$. В схемі прийнято позначення вузлів: Д – об'єднаний вузол джерел живлення; H1, H2, H3 – вузли навантажень схеми.

Матриця безпосередніх зв'язків елементів системи має трикутний вигляд (симетрична відносно головної діагоналі):

Д	p1	p2	p3
	H1	p4	p5
		H2	p6
			H3

Умова безвідмовної роботи системи може бути представлена у вигляді логічної функції [6], яка визначається шляхом аналізу графа системи або матричним способом.

Спрощення схеми здійснюється:

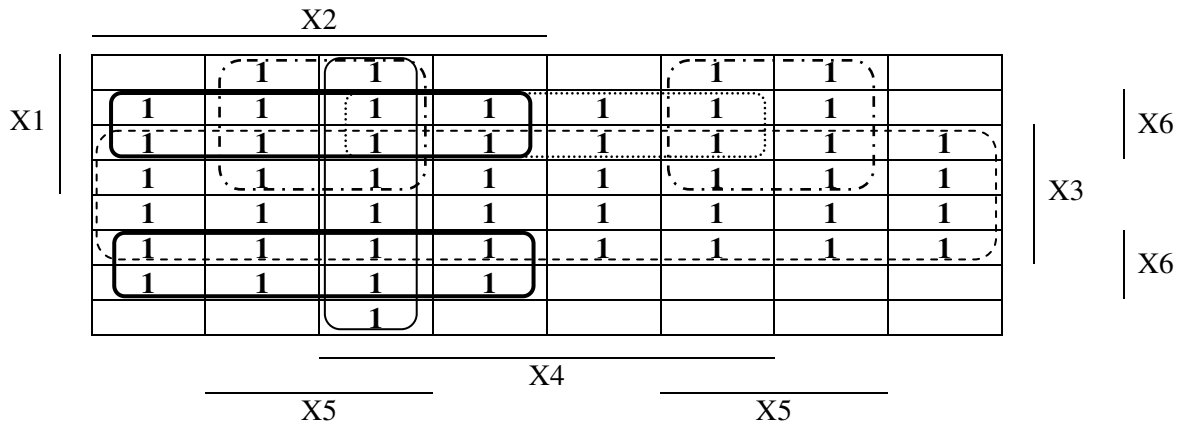
а) виключенням зі схеми вузла H1:		
Д	$p2 \vee p1 \cdot p4$	$p3 \vee p1 \cdot p5$
	H2	$p6 \vee p5 \cdot p4$
		H3
$H3' = (p3 \vee p1 \cdot p5) \vee [(p2 \vee p1 \cdot p4) \cdot (p6 \vee p5 \cdot p4)]$		

б) виключенням зі схеми вузла H2:		
Д	$p1 \vee p2 \cdot p4$	$p3 \vee p2 \cdot p6$
	H1	$p5 \vee p6 \cdot p4$
		H3
$H3'' = (p3 \vee p2 \cdot p6) \vee [(p5 \vee p6 \cdot p4) \cdot (p1 \vee p2 \cdot p4)]$		

Аналогічно визначаються зв'язки відносно вузлів Д і H1 та Д і H2. Подальший аналіз спрямований на приведення логічної функції до канонічного многочлена за правилами алгебри логіки.

Як впливає із подальшого викладення, абсолютна надійність елементів схеми простежується в областях $p_n, n=1, \dots, 6$ за методом графічного відображення булевої функції. Відсутність відмови елементів позначає працездатність схеми, така подія приймає значення одиниці («1»). Відмова елементів схеми розглядається як подія, що порушує працездатність елементів або системи в цілому. Даній події приписується значення нуля («0»).

Проведемо аналіз та мінімізацію логічної функції безвідмовної роботи схеми відносно джерела живлення і навантаження Н3 за діаграмою Вейча, яка являє собою спеціально організовану таблицю відповідностей [5]:



Будуємо матрицю повних взаємозв'язків відносно еквівалентного джерел живлення та навантажень схеми:

$$\begin{bmatrix} H1 \\ H2 \\ H3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & p4 & p5 \\ p4 & 1 & p6 \\ p5 & p6 & 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & p5 \cdot p6 & p4 \cdot p6 \\ p5 \cdot p6 & 0 & p4 \cdot p5 \\ p4 \cdot p6 & p4 \cdot p5 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p1 \\ p2 \\ p3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p1 \vee p4 \cdot p2 \vee p5 \cdot p6 \cdot p2 \vee p5 \cdot p3 \vee p4 \cdot p6 \cdot p3 \\ p4 \cdot p1 \vee p5 \cdot p6 \cdot p1 \vee p2 \vee p6 \cdot p3 \vee p4 \cdot p5 \cdot p3 \\ p5 \cdot p1 \vee p4 \cdot p6 \cdot p1 \vee p6 \cdot p2 \vee p4 \cdot p5 \cdot p2 \vee p3 \end{bmatrix}$$

З огляду на імовірнісне осмислення характеристик надійності замінюємо кожен змінну матриці взаємозв'язків відповідною функцією надійності [7]. Загальна надійність фрагменту схеми без резервування $P=p1 \cdot p2$; фрагменти резервованих схем мають надійність $P=p1 \vee p2 = p1 + p2 - p1 \cdot p3$.

В результаті отримаємо надійність системи відносно кожного з навантажень.

Альтернативним методом [5] можна провести спрощення структурної схеми надійності, використовуючи еквівалентні перетворення трикутника з центром у вузлі Д в зірку:

$$p1' = \sqrt{\frac{(p4 + p5 \cdot p6 \cdot q4) \cdot (p5 + p4 \cdot p6 \cdot q5)}{p6 + p4 \cdot p5 \cdot q6}};$$

$$p2' = \sqrt{\frac{(p4 + p5 \cdot p6 \cdot q4) \cdot (p6 + p4 \cdot p5 \cdot q6)}{p5 + p4 \cdot p6 \cdot q5}};$$

$$p3' = \sqrt{\frac{(p5 + p4 \cdot p6 \cdot q5) \cdot (p6 + p4 \cdot p5 \cdot q6)}{p4 + p5 \cdot p6 \cdot q4}}.$$

Методом паралельного перетворення визначаються імовірності безвідмовної роботи стосовно кожного з вузлів навантажень.

Література

1. Розанов М.Н. Надёжность сетей электрических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 200с.
2. Бугір М.К. Теорія імовірності та математичної статистики. – Тернопіль, 1998. – 176 с.
3. Токхейм Р. Основы цифровой электроники: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 392 с.
4. Гук Ю.Б. и другие. Теория надёжности в электроэнергетике. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 280 с.
5. Бевз С.В., Войтко В.В., Лапко В.С. Спрощення структурних схем надійності методом еквівалентних перетворень// Вісник ВПІ. – № 6. – 2003. – С. 298-303.
6. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера. – К.: Техника, 1975. – 768 с.
7. Дружинин Г.В. Надёжность автоматизированных производственных систем. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.