

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ЗАХИСНИХ ПРИСТРОЇВ

Створення надійних фотоелектричних захисних пристроїв (ФЗП) одноножових паперорізальних машин — важливе завдання автоматики. Очевидно, що його можна вирішити тільки за умови розробки методів, які б могли дати кількісні оцінки надійності та враховували б специфічні особливості структури ФЗП і процесу їх функціонування.

Процес функціонування схеми ФЗП можна зобразити наочно, якщо показати його у вигляді графа $G = \{S, N\}$, що має пару множин S станів x_n схеми ФЗП $S = \{x_n\}_{n=0}^m$ та множин N операцій, які переводять ФЗП з одного стану в інший. Загальну кількість станів схеми визначають за формулою

$$m = \sum_{p=0}^k \frac{k!}{p!(k-p)!} = k \times \left[\frac{1}{k!(k-k)!} + \frac{1}{(k-1)!1!} + \dots + \frac{1}{1!(k-1)!} + \frac{1}{0!k!} \right], \quad (1)$$

де k — кількість світлових променів ФЗП; p — кількість променів, які одночасно перетинаються.

Перетин будь-якого одного променя, чи його набору, приводить до одного технологічного стану — виключення ФЗП, тобто стану, що відповідає підмножині K , для якої

$$K = S / \{x_0\} \quad (2) \quad \text{та} \quad \forall x_n \in K, \quad (3)$$

де $\{x_0\}$ — стан схеми, при якому не перетинається жоден промінь, що відповідає увімкненому стану ФЗП.

Таким чином, процес функціонування справного ФЗП можна зобразити напрямленим графом технологічних станів (рис. 1). Вершини цього графа, позначені кільцями, відповідають різним технологічним станам, а ребра, позначені стрілками, — різним операціям. Для ФЗП можливі два режими роботи (два стани) і відповідно дві операції v_{01} та v_{10} , які переводять ФЗП з одного стану в інший.

Проведені експериментальні дослідження в друкарні показали, що час перебування ФЗП у кожному

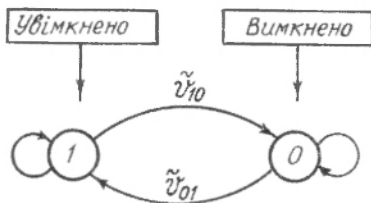


Рис. 1. Граф технологічних станів ФЗП.

з вказаних станів при роботі різальника високої кваліфікації розподілені практично за експоненціальним законом (рис. 2).

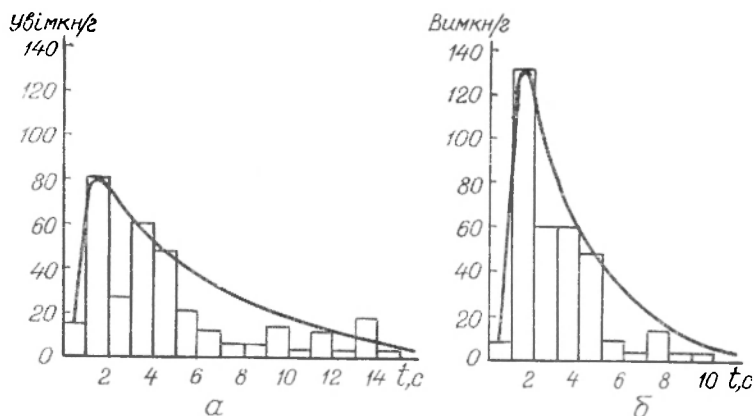


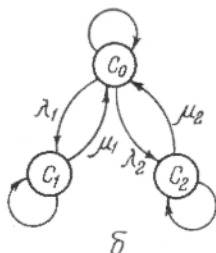
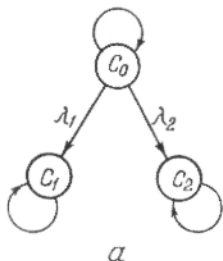
Рис. 2. Щільність імовірності (характерні розподілення) для часу перебування ФЗП в увімкненому (а) та вимкненому (б) стані при розрізанні етикетної продукції на машині «Перфекта» з ЧПК.

В увімкненому стані на виході ФЗП наявний сигнал 1, а у вимкненому 0. Враховуючи, що відкази, які викликають на виході ФЗП помилкові сигнали 0 та 1, приводять до різних наслідків, для ФЗП недостатньо знайти загальну надійність, а необхідно визначити також імовірності появи вказаних типів відказів.

Таким чином, у процесі функціонування ФЗП може знаходитись у трьох станах: справному S_0 , несправному — поява сигналу 0 на виході S_1 та несправному — поява сигналу 1 S_2 . Дієвою моделлю надійності ФЗП, що описує випадковий процес переходів з робочого стану в аварійний і дає змогу зобразити роботу елементів в часі, може бути така модель, яка відображає процеси типу Маркова.

На рис. 3 зображений граф переходів для невідновлюваного та відновлюваного ФЗП.

При описуванні математичної моделі ФЗП прийняті такі позначення: λ_1, λ_2 — інтенсивності відказів ФЗП, які призводять до короткого замикання та обриву вихідного кола ФЗП; μ_1, μ_2 — інтенсивності відновлень ФЗП відповідно при короткому замиканні та обриві вихідного кола ФЗП; $p_i(t)$ — імовірність того, що в момент часу t ФЗП знаходиться у стані $i, i=0, 1, 2$.



Модель надійності ФЗП побудована при таких допущеннях.

Рис. 3. Граф переходів для невідновлюваного (а) та відновлюваного (б) ФЗП.

1. Наробка до відказу та наробка до відновлення розподілені за експоненціальним законом з постійними інтенсивностями відказів і відновлень.

2. Ремонт повністю відновлює ФЗП і не пошкоджує інших частин пристрою.

3. Імовірність сумісних подій в нескінченно малому інтервалі часу дорівнює нулеві.

4. Переходи дозволені тільки між станами C_0-C_1 та C_0-C_2 . За графом станів складаємо рівняння ймовірності для моделей ФЗП. Для невідновлюваного ФЗП диференціальне рівняння запишемо у вигляді

$$\begin{aligned} \frac{dp_0(t)}{dt} &= -(\lambda_1 + \lambda_2)p_0(t), \\ \frac{dp_1(t)}{dt} &= \lambda_1 p_0(t), \quad \frac{dp_2(t)}{dt} = \lambda_2 p_0(t), \\ \sum_{i=1}^2 p_i(t) &= 1. \end{aligned} \quad (4)$$

Якщо у початковий момент часу $t=0$ ФЗП справний, то

$$p_i(0) = \begin{cases} 1 & \text{при } i=0, \\ 0 & \text{при } i=1,2. \end{cases} \quad (5)$$

Застосовуючи перетворення Лапласа і враховуючи (5), запишемо рівняння (4) в операторній формі

$$\begin{aligned} S\tilde{p}_0(S) &= 1 - (\lambda_1 + \lambda_2)\tilde{p}_0(S), \\ S\tilde{p}_1(S) &= \lambda_1\tilde{p}_0(S), \quad S\tilde{p}_2(S) = \lambda_2\tilde{p}_0(S), \\ \sum_{i=0}^2 \tilde{p}_i(S) &= \frac{1}{S}, \end{aligned} \quad (6)$$

де $\tilde{p}_i(S) = \int_0^{\infty} e^{-St} p_i(t) dt \doteq p_i(S)$ — зображення $p_i(t)$. Використовуючи правило Крамера, знаходимо $p_i(S)$

$$\begin{aligned} \tilde{p}_0(S) &= \frac{1}{S + (\lambda_1 + \lambda_2)}, \quad \tilde{p}_1(S) = \frac{\lambda_1}{S [S + (\lambda_1 + \lambda_2)]}, \\ \tilde{p}_2(S) &= \frac{\lambda_2}{S [S + (\lambda_1 + \lambda_2)]}. \end{aligned} \quad (7)$$

Зворотне перетворення (7) дає ймовірність

$$p_0(t) = \exp [-(\lambda_1 + \lambda_2)t], \quad (8)$$

$$p_1(t) = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} - \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} \exp [-(\lambda_1 + \lambda_2)t], \quad (9)$$

$$p_2(t) = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} - \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \exp [-(\lambda_1 + \lambda_2)t]. \quad (10)$$

Диференціальні рівняння імовірності для моделі відновлюваного ФЗП

$$\begin{aligned} \frac{dp_0(t)}{dt} &= -(\lambda_1 + \lambda_2)p_0(t) + \mu_1 p_1(t) + \mu_2 p_2(t), \\ \frac{dp_1(t)}{dt} &= -\mu_1 p_1(t) + \lambda_1 p_0(t), \\ \frac{dp_2(t)}{dt} &= -\mu_2 p_2(t) + \lambda_2 p_0(t), \\ \sum_{i=0}^2 p_i(t) &= 1. \end{aligned} \quad (11)$$

Розв'язання рівнянь (11) з урахуванням (5) дає ймовірність

$$\begin{aligned} p_0(t) &= \left[\frac{a^2 + (\mu_1 + \mu_2)a + \mu_1 \mu_2}{a(a-b)} \right] \exp at + \\ &+ \left[\frac{b^2 + (\mu_1 + \mu_2)b + \mu_1 \mu_2}{b(b-a)} \right] \exp bt + \frac{\mu_1 \mu_2}{ab}, \end{aligned} \quad (12)$$

$$p_1(t) = \lambda_1 \left[\frac{a + \mu_2}{a(a-b)} \exp at + \frac{b + \mu_2}{b(b-a)} \exp bt + \frac{\mu_2}{ab} \right], \quad (13)$$

$$p_2(t) = \lambda_2 \left[\frac{a + \mu_1}{a(a-b)} \exp at + \frac{b + \mu_1}{b(b-a)} \exp bt + \frac{\mu_1}{ab} \right], \quad (14)$$

де

$$a = \frac{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) + \sqrt{(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)^2 - 4(\lambda_1 \mu_2 + \lambda_2 \mu_1 + \mu_1 \mu_2)}}{2};$$

$$b = \frac{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2) - \sqrt{(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)^2 - 4(\lambda_1 \mu_2 + \lambda_2 \mu_1 + \mu_1 \mu_2)}}{2}$$

Коефіцієнт готовності ФЗП в установленому режимі

$$K_r = \lim_{t \rightarrow \infty} p_0(t) = \frac{\mu_1 \mu_2}{\lambda_1 \mu_2 + \lambda_2 \mu_1 + \mu_1 \mu_2}. \quad (15)$$

Для перевірки легко зауважити, що $p_0(\infty) + p_1(\infty) + p_2(\infty) = 1$.

Список літератури: 1. *Вентцель Е. С.* Исследование операций: задачи, принципы, методология. — М.: Наука, 1980. 2. *Гуревич А. М., Нейштадт Н. С.* Надежность логических систем управления. — М.: Энергия, 1970. 3. *Доманицкий С. М.* Построение надежных логических устройств. — М.: Энергия, 1971. 4. *Кемени Д., Снелл Д., Томпсон Д.* Введение в конечную математику. — М.: Мир, 1965. 5. *Elsayed E. A., Zebib A. A.* Repairable Multistate Device. — IEEE Transactions on Reliability, 1979, R-28, № 1.

The article deals with the reliability models of single-blade papercutting machines considering two types of disrepaired conditions. Methods of determining reliability characteristics of repaired and disrepaired protective devices (ФЗУ). Decisions are given for stationary and unstationary regimes.

Стаття надійшла до редколегії 18. 03. 82