

УДК 686.1.056:62–78

ОЦІНКА ТА ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ЗАХИСНИХ ПРИСТРОЇВ ОДНОНОЖОВИХ ПАПЕРОРІЗАЛЬНИХ МАШИН

Р. В. Казьмірович, О. Р. Казьмірович

Українська академія друкарства,
вул. Підголоско, 19, Львів, 79020, Україна

Розглядаються теоретичні та практичні методи підвищення безпеки експлуатації одноножових паперорізальних машин шляхом обладнання їх багатопроменевими фотоелектричними захисними пристроями (ФЗП) з вбудованими системами періодичного контролю справності функціонування. Наведено емпіричні діаграми розподілу проміжків часу між циклами контролю, аналіз яких показує, що він характерний для експоненціального закону. Запропоновано модель надійності захисного пристрою у вигляді графу переходів, що відображає процеси Маркова. Проведено теоретичний аналіз надійності ФЗП, у результаті якого одержано розрахункові вирази для оцінки надійності ФЗП при наявності системи контролю.

Запропоновано нескладну у виготовленні та експлуатації принципову електричну схему багатопроменевого ФЗП з періодичним контролем.

Ключові слова: одноножові паперорізальні машини, багатопроменеві фотоелектричні захисні пристрої, надійність, періодичний контроль.

Постановка проблеми. Одноножові паперорізальні машини (ОПРМ) відносяться до категорії особливо травмонебезпечних машин поліграфічної промисловості. Для підвищення безпеки експлуатації ОПРМ застосовують багатопроменеві фотоелектричні захисні пристрої (ФЗП). Основним технічним показником, що визначає якість їх роботи, є надійність функціонування [1–4].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У деяких друкарнях як ФЗП використовують багатопроменеве фотоелектричне реле типу РФ8300 (рис. 1).

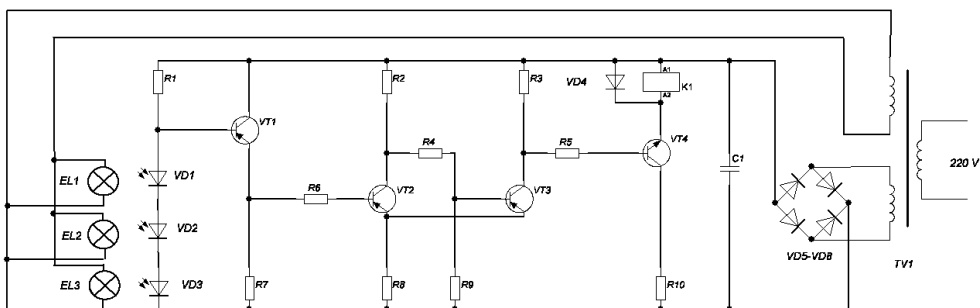


Рис. 1. Принципова електрична схема багатопроменевого ФЗП типу РФ8300

Однак при можливому залипанні контактів реле, пробіі вихідного транзистора і т. ін. (у випадку потрапляння рук різальника в зону різання) вихідне реле вмикається, що може призвести до травматизму.

Мета статті — підвищення безпеки експлуатації ОПРМ шляхом обладнання їх багатопроблемними ФЗП з підвищеними показниками надійності функціонування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Періодичний контроль [5; 6] суттєво підвищує надійність функціонування ФЗП. Для визначення характеристик надійності контрольованих ФЗП потрібно встановити ймовірність безвідомного виконання задачі, тобто ймовірність того, що ФЗП буде справно функціонувати в довільний момент часу t та безвідомно спрацьовувати на протяжці проміжку часу, рівного проходженню циклу різання Δt .

ФЗП з контрольним пристроєм (КП) може знаходитися в трьох станах: C_1 — ФЗП справний; C_2 — ФЗП несправний і невідновлюваний, тобто знаходиться в режимі прихованої відмови (відмова виявляється тільки через випадковий час $\Delta \tau_k$ у момент, коли здійснюється контроль ФЗП; C_3 — ФЗП несправний і відновлюється. Доврою моделлю надійності ФЗП, що описує випадковий процес переходів з робочого стану в аварійний і дає змогу описати роботу елементів у часі, може бути така модель, яка відображає процеси типу Маркова [7; 8]. Випадковий процес функціонування ФЗП з КП представлений графом переходів (рис. 2).

При побудові моделі прийнято наступні допущення: проміжки часу між відмовами ФЗП та час відновлення розподілені за експоненціальним законом з параметрами λ_0 та μ_0 відповідно; контроль здійснюється миттєво та блок контролю абсолютно надійний; контроль ФЗП відбувається через випадкові проміжки часу (наприклад, у кінці циклу різання), розподілені також за експоненціальним законом, у системі не розглядаються відмови, що спричиняють «обрив кола» на виході ФЗП (вони не призводять до небезпечних наслідків).

На рис. 3 наведена емпірична гістограма розподілу проміжків часу між циклами контролю на ОПРМ з числовим програмним керуванням (ЧПК). Вимірювання проводилися електросекундоміром типу ПВ-53Щ, керованим електромагнітним реле блока контролю.

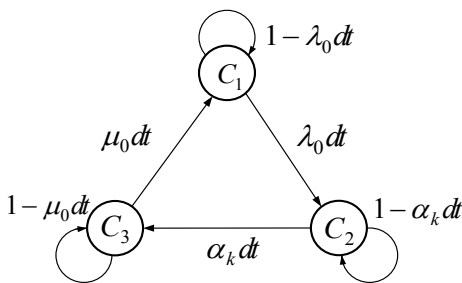


Рис. 2. Граф переходів контрольованого ФЗП

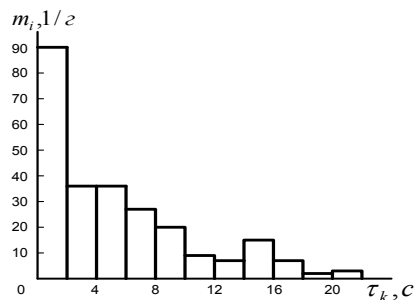


Рис. 3. Емпірична гістограма розподілу проміжків часу між циклами контролю на ОПРМ з ЧПК

Графічний аналіз (рис. 2) показує, що тривалості інтервалів між циклами контролю неоднакові й носять переважно випадковий характер. Найбільш ймовірні (часті) короткі інтервали циклів контролю, що проводяться між окремими послідовними автоматичними циклами різання. Далі в порядку зменшення ймовірності появи циклів контролю настають інтервали: між ручними циклами підрізки кромки аркушів окремого стосу; періодів підготовки до різання окремих стосів; між підготовкою до різання окремих партій продукції. Такий розподіл інтервалів часу характерний для експоненціального закону. Опрацювавши відомими способами результати дослідних даних (рис. 3), отримуємо середній час між циклами контролю $\bar{T}_k = 13.8$ с.

Диференціальне рівняння ймовірності для розглянутої моделі записується наступним чином:

$$\begin{aligned} \frac{dp_1(t)}{dt} &= -\lambda_0 p_1(t) + \mu_0 p_3(t), \\ \frac{dp_2(t)}{dt} &= -\lambda_k p_2(t) + \lambda_0 p_1(t), \\ \frac{dp_3(t)}{dt} &= -\mu_0 p_3(t) + \lambda_k p_2(t), \\ \sum_{i=1}^3 p_i(t) &= 1, \end{aligned} \quad (1)$$

де $\lambda_k = 1/T_k$ — інтенсивність контролю.

Якщо в початковий момент часу ФЗП був справний, то

$$p_i(0) = \begin{cases} 1 & \text{при } i = 1 \\ 0 & \text{при } i = 2, 3. \end{cases} \quad (2)$$

Розв'язок рівнянь (1) з урахуванням (2) дає ймовірність застати ФЗП у справному стані в довільний момент часу

$$\begin{aligned} p_1(t) &= \frac{\lambda_0 \left[\lambda_0 - \alpha_k - \mu_0 - \sqrt{(\lambda_k - \mu_0 - \lambda_0)^2 - 4\lambda_0\mu_0} \right]}{(\lambda_k - \mu_0 - \lambda_0)^2 - 4\lambda_0\mu_0 + (\lambda_k + \mu_0 + \lambda_0) \sqrt{(\alpha_k - \mu_0 - \lambda)^2 - 4\lambda_0\mu_0}} e^{-at} + \\ &+ \frac{-\lambda_0 \left[\lambda_0 - \alpha_k - \mu_0 + \sqrt{(\alpha_k - \mu_0 - \lambda_0)^2 - 4\lambda_0\mu_0} \right]}{(\alpha_k - \mu_0 - \lambda_0)^2 - 4\lambda_0\mu_0 + (\alpha_k + \mu_0 + \lambda_0) \sqrt{(\alpha_k - \mu_0 - \lambda_0)^2 + 4\lambda_0\mu_0}} e^{-bt} + \\ &+ \frac{\alpha_k \mu_0}{\alpha_k \mu_0 + \alpha_k \lambda_0 + \lambda_0 \mu_0}, \end{aligned} \quad (3)$$

де

$$a = \frac{\alpha_k + \lambda_0 + \mu_0 - \sqrt{(\alpha_k - \mu_0 - \lambda_0)^2 - 4\lambda_0\mu_0}}{2},$$

$$b = \frac{\alpha_k + \lambda_0 + \mu_0 + \sqrt{(\alpha_k - \mu_0 - \lambda_0)^2 - 4\lambda_0\mu_0}}{2}$$

Ймовірність безвідмовного виконання задачі визначається виразом

$$p(t, \Delta t) = p_1(t) \exp(-\lambda_0 \Delta t). \tag{4}$$

Граничні випадки для ймовірності $p_1(t)$:
коефіцієнт готовності в установленому режимі

$$K_{\Gamma} = \lim_{t \rightarrow \infty} p_1(t) = \frac{\alpha_k \mu_0}{\alpha_k \mu_0 + \alpha_k \lambda_0 + \lambda_0 \mu_0}; \tag{5}$$

при неперервному контролі ($\tau_k = 0, \alpha_k = \infty, t = \infty$)

$$K_{\Gamma H} = \frac{\mu_0}{\mu_0 + \lambda_0}; \tag{6}$$

при відсутності контролю ($\tau_k = \infty, \alpha_k = 0$)

$$p_1(t) = \exp(-\lambda_0 t). \tag{7}$$

Ймовірність безвідмовної роботи ФЗП у проміжку часу за умови, що після останнього контролю ФЗП був справний, тобто $p_1(t) = 1$.

$$p(\Delta t) = \exp(-\lambda_0 \Delta t). \tag{8}$$

На рис. 4 наведена принципова електрична схема ФЗП з КП, яка пройшла тривалі випробування на вітчизняній ОПРМ типу БР-136. ФЗП складається з джерела випромінювання світлової енергії $EL1-EL4$, фотодатчиків $VD1-VD4$, підсилювача постійного струму ($VT1-VT2$), виконавчого реле $K1$ і контролюючого реле $K2$.

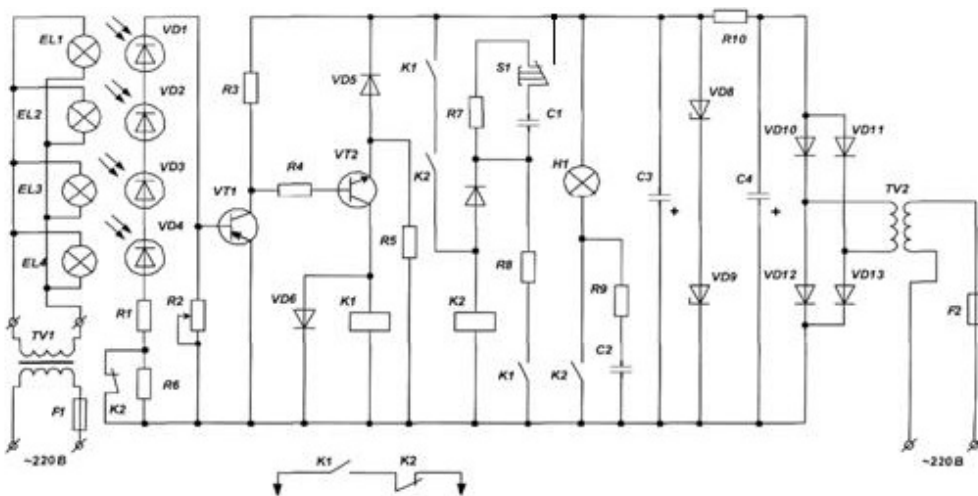


Рис. 4. Принципова електрична схема багатопроменевого ФЗП з періодичним контролем

Для підсилення вхідного сигналу (е.р.с. фотодіодів) слугує двокаскадний підсилювач, побудований на транзисторах $VT1-VT2$.

При перетинанні світлового заслону сумарна е.р.с. фотодіодів зменшується, транзистори $VT1-VT2$ закриваються і виконавче реле $K1$ вимикається. Струм бази транзистора типу $n-p-n$ $VT2$ (при величині опору $R3 \gg R4$) є одночасно колекторним струмом транзистора типу $p-n-p$ $VT1$. Для надійного закриття транзистора $VT2$ у коло його емітера встановлено діод $VD5$, спад напруги на якому визначає напругу закривання даного транзистора. Для запобігання пробою транзистора $VT2$ напругою самоіндукції, що виникає при вимиканні реле $K1$, паралельно обмотці реле увімкнений діод $VD6$.

Контроль справності функціонування ФЗП відбувається автоматично наприкінці циклу різання при спрацьовуванні кінцевого вимикача $S1$. При цьому під дією зарядного струму конденсатора $C1$ вмикається із самоблокуванням реле контролю $K2$, яке вмикає в коло фотодіодів високоомний резистор $R6$. Струм у колі бази зменшується, і реле $K1$ знеструмлюється. Надалі резистор $R6$ шунтується контактами реле $K2$ і реле $K1$ знову спрацьовує.

У разі однієї з несправностей (залипання контактів реле $K1$, пробій транзистора $VT2$ і т. ін.), що спричиняє до замикання контактів реле $K1$, реле $K2$ не розблоковується. Коло управління технологічним процесом (коло лампочки $H1$) контактами реле $K2$ буде розімкнено. Цикл різання не відбудеться. Сигнальна лампочка $H2$, призначена для світлової індикації несправності ФЗП, після проведення чергового циклу контролю залишиться постійно увімкненою.

Загальний вигляд лабораторних зразків ФЗП типу РФ8300 та ФЗП з періодичним контролем подано на рис. 5.

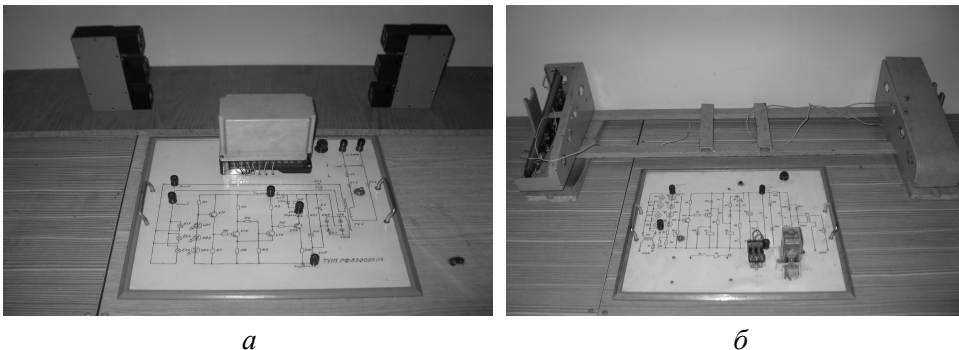


Рис. 5. Загальний вигляд лабораторних зразків:
 а — ФЗП типу РФ8300; б — ФЗП з періодичним контролем

Висновки. Одним з важливих шляхів забезпечення високої ефективності ФЗП є застосування вбудованих систем контролю роботоздатності ФЗП з періодичною або неперервною дією. Проведений теоретичний аналіз надійності ФЗП дав змогу одержати розрахункові вирази для оцінки надійності ФЗП при наявності системи контролю справності функціонування. Досліджено, що

розподіл інтервалів часу між циклами контролю, зумовлений випадковим потоком проходження циклів різання, підлягає експоненціальному закону. Запропонована нескладна у виготовленні та експлуатації схема багатопроменевого ФЗП з періодичним контролем. Матеріали статті впроваджені в навчальний процес.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Казьмірович Р. В. Про оцінку травмонебезпеки одноножових паперорізальних машин з програмним керуванням / Р. В. Казьмірович // Поліграфія і видавнича справа : наук.-техн. зб. — Львів : Укр. акад. друкарства, 1996. — № 31. — С. 115–120.
2. Казьмірович Р. В. Фотоелектронний захисний пристрій одноножових паперорізальних машин і питання оптимального розміщення його світлового бар'єру / Р. В. Казьмірович // Поліграфія і видавнича справа : наук.-техн. зб. — Львів : Вища школа, 1977. — № 13. — С. 84–89.
3. Казьмірович Р. В. Деякі питання оптимізації параметрів фотоелектричних захисних пристроїв за надійністю / Р. В. Казьмірович // Поліграфія і видавнича справа : наук.-техн. зб. — Львів : Укр. акад. друкарства, 1979. — № 15. — С. 85–90.
4. Казьмірович Р. В. Аналіз надійності фотоелектричних захисних пристроїв / Р. В. Казьмірович // Поліграфія і видавнича справа : наук.-техн. зб. — Львів : Укр. акад. друкарства, 1984. — № 20. — С. 78–82.
5. Гуревич А.М. Надежность логических систем управления / А. М. Гуревич, А.М. Нейштадт. — М. : Энергия, 1970. — 104 с.
6. Касаткин А.С. Эффективность автоматизированных систем контроля / А. С. Касаткин. — М. : Энергия, 1975. — 88 с.
7. Вентцель Е. С. Прикладные задачи теории вероятностей / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. — М. : Радио и связь, 1983. — 416 с.
8. Голинкевич Т. А. Прикладная теория надежности / Т. А. Голинкевич. — М. : Высш. школа, 1977. — 160 с.

REFERENCES

1. Kazmirovych R. (1996), About estimation of traumatism of one-knife paper-cutting machines with programming control, Printing and publishing, No.31, pp. 115–120.
2. Kazmirovych R. (1977), Photoelectric protective device of one-knife paper-cutting machines and the questions of its light barrier optimum placing, Printing and publishing, No.13, pp. 84–89.
3. Kazmirovych R. (1979), Some questions of photoelectrical protective devices optimization parameters according to reliability, Printing and publishing, No.15, pp. 85–90.
4. Kazmirovych R. (1984), Analysis of reliability of photoelectrical protective devices, Printing and publishing, No. 20, pp. 78–82.
5. Gurevych A. and Nejshtadt A. (1970), Reliability of logical control systems, Energy, Moscow.
6. Kasatkin A. (1975), Efficiency of automated control systems, Energy, Moscow.
7. Venttsel E. and Ovcharov L. (1983), Applied problems of the theory of probability, Radio and communication, Moscow.
8. Golynekevych T. (1977), Applied theory of reliability, Higher school, Moscow.

**ESTIMATION AND IMPROVEMENT OF THE SAFETY
OF PHOTOELECTRICAL PROTECTIVE DEVICES OF ONE-KNIFE
PAPER CUTTING MACHINES**

R. V. Kazmirovych, O. R. Kazmirovych
*Ukrainian Academy of Printing,
19, Pidholosko St., Lviv, 79020, Ukraine
kazmol@yandex.ru*

The theoretical and practical methods of the safety improvement exploitation of one-knife paper-cutting machines by their multi-ray photoelectrical protective devices (PPD) with embedded systems of periodical control for perfect functioning have been described. The empirical diagrams of intervals between the control cycles have been presented, the analysis of which demonstrates its typicality for the exponential law. The model of a reliable protective device in the form of graph transition reflecting the Markov processes has been offered. The theoretical analysis of the PPD reliability has been conducted, the result of which being the calculation figures for the estimation of the PPD reliability in a real control system.

The principle electrical scheme of multi-ray PPD with periodical control has been proposed, being simple in making and exploitation.

Keywords: *one-knife paper-cutting machines, photoelectrical protective devices, reliability, periodical control.*

*Стаття надійшла до редакції 02.12.2014.
Received 02.12.2014.*