

Л.В. Дубинець, д-р техн. наук, О.О. Карзова,

О.Л. Маренич, канд. техн. наук, Є.О. Запишний

(Україна, Дніпропетровськ, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна)

ЗМЕНШЕННЯ КІЛЬКОСТІ ЗАПАСНИХ РЕЛЕ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕРЕРВНОГО РЕМОНТУ РУХОМОГО СКЛАДУ ЗАЛІЗНИЦЬ

Вступ

У схемах локомотивів та пасажирських вагонів, які експлуатуються на залізницях України, застосовуються електромагнітні реле багатьох функціональних видів (реле перевантаження, часу, напруги, проміжні та інші). Кожен із цих видів реле має по декілька типів. Таким чином, у схемах рухомого складу (РС) застосовується декілька десятків типів реле. Для забезпечення безперервного ремонту РС потрібен певний запас реле кожного типу, що викликає суттєві витрати. Природно виникає завдання про зменшення кількості типів, тобто уніфікації реле, що сприяє підвищенню ефективності утримання локомотивів, вагонів та інших видів РС. Об'єктивно реальна можливість уніфікації реле у наш час існує завдяки властивостям сучасної напівпровідникової елементної бази.

Результати досліджень

Для теоретичного дослідження ефективності уніфікації реле приймаємо, що:

- відмови реле незалежні між собою;
- імовірність відмови одного реле за проміжок часу T є випадковою подією, імовірність якої p . Значення p однакове для всіх реле досліджуваної кількості.

При зазначених умовах для дослідження можна використовувати схему незалежних випробувань Бернуллі, зміст якої такий [1]. Проводиться n незалежних випробувань, внаслідок чого у кожному з них може з'явитися або не з'явитися подія A ; імовірність появи події A під час одного випробування дорівнює p . Тоді ймовірність того, що при n випробуваннях подія A відбудеться рівно k разів (позначимо цю ймовірність як $P_n(k)$), розраховується за формулою Бернуллі

$$P_n(k) = C_n^k \cdot p^k (1-p)^{n-k}, \quad (1)$$

де величина k може приймати значення від 0 до n , а

$$C_n^k = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (2)$$

При визначенні кількості запасних реле під незалежними випробуваннями розуміємо спостереження за одною кількістю реле певного типу. Кіль-

кість випробувань n таким чином збігається з кількістю N реле у групі, яка досліджується. Подія A у нашому випадку – відмова реле на протязі часу T , p – імовірність відмови реле на протязі часу T . Тоді ймовірність того, що на протязі часу T з N реле відмовить рівно k реле, можна розраховувати за формулою (1). Нехай Z – кількість запасних реле даного типу, яка достатня для безперервної заміни реле, які відмовили. Подія, зміст якої в тому, що за час T відмовить не більше ніж Z реле ($k \leq Z$), являє собою суму подій: за час T або ні одне реле не відмовить, або відмовить одне реле, або два реле, ..., або $(Z-1)$ реле, або Z реле.

Імовірність того, що за час T із N реле, які знаходяться в експлуатації, відмовлять не більше ніж Z реле, запишеться так:

$$P_N(k \leq Z) = P_N(0) + P_N(1) + P_N(2) + \dots + P_N(Z-1) + P_N(Z) \quad (3)$$

або

$$P_N(k \leq Z) = \sum_{k=0}^Z P_N(k) = \sum_{k=0}^Z C_N^k \cdot p^k (1-p)^{N-k} \quad (4)$$

Приймаємо, що час T дорівнює часу між двома черговими поточними заводськими ремонтами (ПРЗ). У середньому час між ПРЗ для РС залізниць може бути прийнятим 27000 год. Згідно з роботою [2] інтенсивність відмов якірних електромагнітних реле $\lambda = 5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\text{год}}$.

Виникнення несправностей реле у схемах РС зумовлено багатьма незалежними причинами (перевантаження по струму, перенапруги, кліматичні фактори, недоліки при ремонті та ін.). Як відомо, у цьому випадку орієнтовно можна вважати, що частота відмов має показниковий закон розподілу, а саме: інтенсивність відмов елемента системи (реле) є сталою величиною, а ймовірність безвідмовної роботи елемента

$$Q(t) = \exp(-\lambda_i \cdot T) \quad , \quad (5)$$

де T – інтервал часу, який розглядається.

Використовуючи два перших члени розкладення функції $\exp \approx 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x}{2!} + \dots$, отримаємо $Q(t) \approx 1 - \lambda_i \cdot T$.

Тоді ймовірність відмови одного реле у кінці періоду між двома черговими ПРЗ

$$p = 5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\text{год}} \cdot 27000 \text{ год} = 0,135.$$

Поставимо вимогу, щоб імовірність наявності у запасі потрібного реле для заміни того, яке вийшло з ладу, була не менше $\gamma = 0,997$. Це практично

завжди забезпечить безперервний ремонт, тобто не буде втрати часу із-за відсутності у запасі потрібного реле. Тоді

$$P_N(k \leq Z) \geq 0,997 \quad (6)$$

або

$$\sum_{k=0}^Z C_N^k \cdot p^k (1-p)^{N-k} \geq 0,997. \quad (7)$$

Якщо знайти найменше Z , яке задовольняє нерівності (7), то тоді кількості реле, які відмовили (із N , що знаходяться в експлуатації), з імовірністю $\gamma=0,997$ буде досить для безперервної заміни реле, котрі вийшли з ладу.

Розглянемо приклад. Аналіз виявив, що в силових схемах електропоїздів ЕР2, ЕР9М, ЕР2Р; електровозів ЧС2, ЧС2Т, ВЛ8, ВЛ10, ВЛ10у, ВЛ60к, ВЛ80к, ЧС4, ВЛ11; пасажирських вагонів 47Д, ЦМВО-66; тепловозів 2М62, ЧМЕ3, 2ТЕ116; дизель-поїздів ДР1 застосовано 17 типів струмових реле перевантаження. Приймаємо, що кількість реле N кожного типу на РС даного депо в середньому дорівнює 16, що приблизно є реальним. Імовірність відмови одного реле за час T дорівнює 0,135. Знайдемо з імовірністю $\gamma=0,997$ кількість запасних реле Z , яких достатньо для заміни реле, що вийшли з ладу, без втрати часу із-за відсутності запасного реле.

Розв'яжемо нерівність вигляду

$$\sum_{k=0}^Z C_{16}^k (0,135)^k \cdot (1-0,135)^{16-k} \geq 0,997 \text{ відносно } Z.$$

Розрахуємо ймовірність того, що:

– за час T не буде відмов ($k=0$)

$$P_{16}(0) = C_{16}^0 (0,135)^0 \cdot (1-0,135)^{16} = 0,098 < 0,997;$$

– буде одна відмова ($k=1$)

$$P_{16}(1) = C_{16}^1 (0,135)^1 \cdot (1-0,135)^{15} = 0,245,$$

$$P_{16}(0) + P_{16}(1) = 0,343 < 0,997;$$

– буде дві відмови ($k=2$)

$$P_{16}(2) = C_{16}^2 (0,135)^2 \cdot (1-0,135)^{14} = 0,287,$$

$$P_{16}(0) + P_{16}(1) + P_{16}(2) = 0,630 < 0,997;$$

– далі

$$P_{16}(6) = 0,011,$$

$$P_{16}^{(0)} + P_{16}^{(1)} + P_{16}^{(2)} + \dots + P_{16}^{(6)} = 0,997.$$

Отже, для вирішення поставленого завдання досить мати шість запасних реле даного типу, а всього типів реле, як зазначалося, сімнадцять. Таким чином загальна кількість запасних реле повинна бути $6 \times 17 = 102$ одиниці.

Висновок

Сучасна напівпровідникова елементна база дозволяє розробити уніфіковане реле перевантаження, що може виконувати функції усіх сімнадцяти типів реле перевантаження на зазначеному виді РС. Певний досвід вирішення цього питання вже є в університеті. При такій постановці задачі досить мати в запасі не більше шести реле, так як імовірність того, що з ладу одночасно вийде більша кількість реле, практично, дорівнює нулю. А при забезпеченні ймовірності відмови одного реле менше ніж 0,135, що реально при сучасній елементній базі, кількість запасних реле у розглянутому прикладі може бути менше шести.

Список літератури

1. Справочник по теории вероятностей и математической статистике / В.С. Королюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход и др. – М.: Наука, 1985. – 640 с.
2. Луцкий В.А. Расчет надежности и эффективности радиоэлектронной аппаратуры. – К.: Наук. думка, 1966. – 208 с.