

УДК 681.325

ВОРОНКО І. О., ст. викладач (ДЕТУТ)

Диференціально - ігрова модель надійності мікропроцесорних систем моніторингу тягових електричних мереж залізниць

Представив д.т.н., професор Стасюк О.І.

Представлено результати оптимізації процесів технічного обслуговування цифрових реєстраторів, що лежать в основі систем моніторингу тягових електричних мереж. При цьому, для отримання гарантованих показників надійності експлуатації розглядаваних мікропроцесорних систем із типовою модульною структурою, запропоновано використання ймовірнісних диференціально-ігрових моделей.

Ключові слова: цифровий реєстратор, надійність мікропроцесорних систем, диференціально-ігрова модель, технічне обслуговування.

Вступ

Значний розвиток і ускладнення технічних пристроїв та систем призвели до необхідності забезпечення їх ремонтпридатності. При цьому, до основних заходів можна віднести побудову систем по модульному принципу та використання методів та засобів самодіагностики. В той же час, широке впровадження сучасних мікропроцесорних пристроїв (МПП), в якості керуючих, дозволило на алгоритмічному рівні реалізувати функції самодіагностики, із використанням ресурсів власного керуючого МПП, або додаткових діагностичних вузлів на основі МПП.

Ремонтпридатність входить до складу поняття «надійності» відновлювальних пристроїв та систем [1], і є одним з основних показників, що формують витрати на їх технічне обслуговування при експлуатації. Разом з тим, в існуючих публікаціях [2], що присвячені питанням оптимізації технічного обслуговування, функції самодіагностики, властиві більшості сучасним технічним системам не беруться до уваги. В роботах [3, 4], при розгляді впливу наявних засобів та процедур самодіагностики на показники надійності систем, задачі їх оптимізації не вирішуються.

Найчастіше, цілі оптимізації процесів технічного обслуговування об'єктів та систем досягаються шляхом вирішення однієї з двох задач – забезпечення необхідної надійності, при мінімальних затратах на технічне обслуговування (пряма задача оптимізації), або забезпечення максимальної надійності, при обмежених затратах (зворотна задача) [5].

В складних системах, зниження працездатності може призвести до значних економічних втрат, саме тому, показники надійності є пріоритетними, а затрати на технічне обслуговування підлягають оптимізації згідно виду цільової функції.

© І.О. Воронко, 2013

Для вирішення такого класу задач, на сьогоднішній день, застосовуються ряд стохастичних методів оптимізації, до яких відносять групу методів Монте-Карло [6], метод відпалу [7], метод Q-навчання [8], генетичні алгоритми та штучні нейронні мережі [9], а також стохастичні методи динамічного програмування [10].

Разом з тим, в останні десятиліття, з розширенням методів теорії ігор на постановку задачі "в динаміці", активно розвивався новий напрямок - теорія диференціальних ігор. При цьому, задачі оптимізації стохастичних процесів, представлених ймовірнісними динамічними моделями (в загальному випадку - нелінійними), в умовах протилежних інтересів гравців, формулюються із використанням характерних максимінних критеріїв та, переважним чином, інтегральних функціоналів.

В той же час, «гру з природою», як, наприклад, модель експлуатації технічного об'єкта по надійності, також можна вважати антагоністичною грою з нульовою сумою, а «природу» - свідомим агресивним противником, що відповідає найбільш песимістичним очікуванням [10, 11]. Враховуючи вищесказане, із застосуванням максимінного критерію, задача оптимізації технічного обслуговування модифікується до комплексного поєднання прямої і зворотної задач, та полягає у знаходженні оптимальних стратегій обслуговування, що забезпечують гарантований рівень показників надійності, при мінімізації затрат.

Мета. Метою роботи є отримання оптимальних законів технічного обслуговування типових технічних пристроїв та систем, що мають модульну структуру, з врахуванням їх функцій самодіагностики.

Постановка задачі

Розглядаючи моделі функціонування систем по надійності, виділяють типові потоки подій – переходів із працездатного стану в непрацездатний [10, 11].

Практика експлуатації технічних систем показує, що ймовірність появи більш ніж однієї несправності за малий проміжок часу близька до нуля, тобто виконується властивість ординарності подій. Враховуючи дану властивість, а також властивості стаціонарності подій та відсутність наслідковості, переходи із працездатного стану в непрацездатний, для опису характеристик надійності функціонування, можна розглядати в якості марківських процесів [11].

Обслуговування складних технічних об'єктів зазвичай складається із двох основних підвидів: неперервного, або періодичного контролю технічного стану (діагностика, самодіагностика) та регламентне, або міжрегламентне технічне обслуговування. Разом з тим, вузли технічної системи за надійністю можуть мати різні схеми ввімкнення, що відображається з допомогою графу станів [11], а потоки відмов можуть характеризуватись різними інтенсивностями та бути нестационарними $\lambda_i = \lambda_i(t) > 0$. При цьому, динамічну модель експлуатації системи можна представити в загальному вигляді системою з n диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена [11] із змінними коефіцієнтами:

$$\dot{\vec{P}}_{1 \times n}(t) = F_{n \times n}(\lambda_{i,j}(t), \mu_{i,j}(t)) \times \vec{P}_{1 \times n}(t), \quad (1)$$

де n - кількість умовних експлуатаційних станів системи; $\vec{P}_{1 \times n}(t)$ та $\dot{\vec{P}}_{1 \times n}(t)$ - вектори ймовірностей експлуатаційних станів та їх похідних; $F_{n \times n}(\lambda_{i,j}(t), \mu_{i,j}(t))$ - матриця інтенсивностей відмов $\lambda_{i,j}(t) > 0$ та відновлень $\mu_{i,j}(t) > 0$. Порядок системи (1) можна звести до $n-1$, врахувавши рівняння для повної групи подій:

$$\sum_{i=1, n} P_i(t) = 1. \quad (2)$$

Із вигляду моделі (1) та, при формуванні критерію оптимальності у вигляді запропонованому в [10]:

$$\max_{\lambda_{i,j} \in \Theta_\lambda} \min_{\mu_{i,j} \in \Theta_\mu} I(P_0(t), \lambda(t), \mu(t)), \quad (3)$$

де $\Theta_\lambda, \Theta_\mu \geq 0$ - замкнені та обмежені в евклідовому просторі $R_{n \times n}$ множини допустимих значень

інтенсивностей відмов та відновлень; $P_0(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи системи, слідує нелінійна багатовимірна нетривіальна задача оптимізації.

Складність задачі оптимізації технічного обслуговування залежить від складності досліджуваної системи та кількості параметрів, які підлягають оптимізації. Разом з тим, застосування операційних перетворень виду диференціальних перетворень Пухова [12], що справедливі в тому числі й для нелінійних систем, дозволяє перевести задачу в область зображень та арифметичних операцій.

Розглянемо задачу оптимізації технічного обслуговування цифрового реєстратора, що входить до складу інформаційно-діагностичних комплексів електроенергетичних об'єктів та систем сімейства «Регіна» [13]. Розглядувані системи [15] впроваджені на основних підстанціях об'єднаної енергетичної системи України, а також на тягових підстанціях «Укрзалізниця».

Слід відмітити, що до систем діагностики, а особливо до діагностичних систем стратегічних об'єктів енергосистем ставляться підвищені вимоги відносно показників надійності [4, 5]. Крім того, із можливості застосування інформації, отриманої з допомогою цифрових реєстраторів, для оперативного керування режимами енергопостачання, слідує, що оцінка та забезпечення гарантованого рівня показників надійності даних мікропроцесорних пристроїв, при мінімізації затрат на технічне обслуговування є важливою науковою задачею.

Реєстратори є ключовими за надійністю в структурі діагностичних комплексів, оскільки призначені для формування первинного інформаційного простору режимних параметрів енергосистем. Розглядувані пристрої, в іноземній літературі, мають назву Phasor Measurement Unit (PMU) мають типову структуру на основі МПП, і слугують для побудови розподілених систем моніторингу, контролю та діагностики. Узагальнена структурна схема PMU представлена на рис. 1.

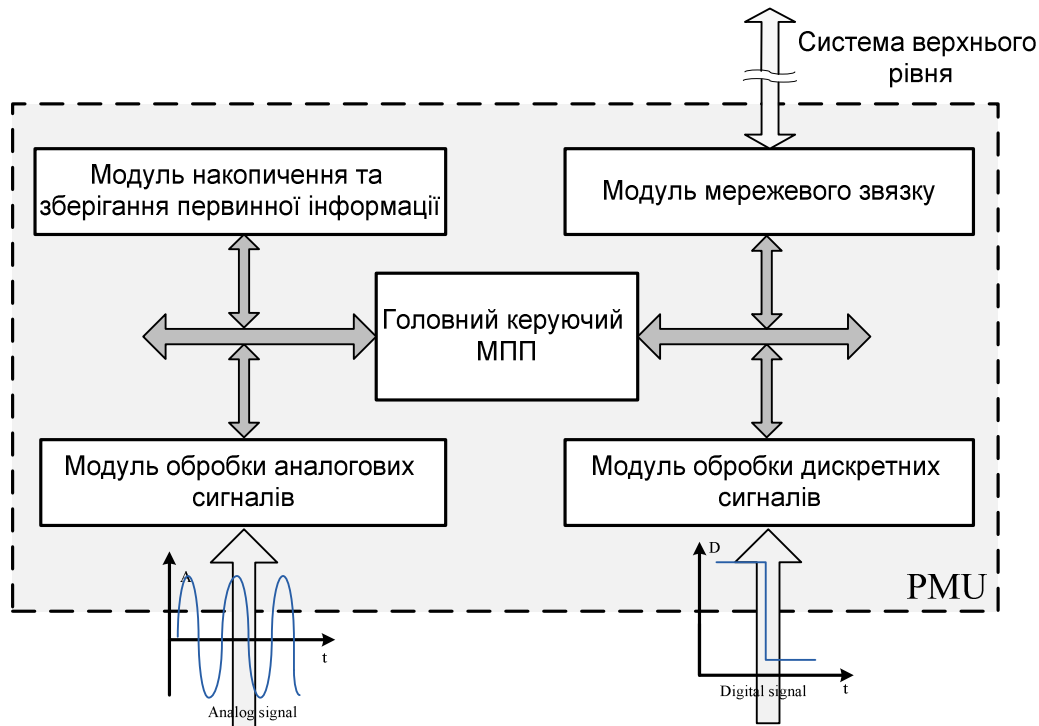


Рис. 1. Структурна схема PMU

Основна частина

У поточний момент часу $t \in [0, T]$ (де T – термін служби), кожен із функціональних модулів реєстратора перебуває в одному із двох станів: в працездатному, або не працездатному. Для складання диференціальних рівнянь Колмогорова-Чепмена, побудуємо ймовірнісну графову модель процесів експлуатації реєстратора. При цьому, враховуючи наявність функцій самодіагностики системи по кожному із модулів, стани системи та відповідні ймовірності визначимо наступним чином:

$P_0(t)$ – ймовірність перебування системи в працездатному стані;

$P_1(t)$ – ймовірність часткової втрати функціональності, при виході з ладу модулю обробки аналогової інформації (інтенсивності λ_1);

$P_2(t)$ – ймовірність часткової втрати функціональності, при виході з ладу модулю обробки дискретної інформації (інтенсивності λ_2);

$P_3(t)$ – ймовірність часткової втрати функціональності, при виході з ладу модулю накопичення та зберігання первинної інформації (інтенсивності λ_3);

$P_4(t)$ – ймовірність часткової втрати функціональності, при виході з ладу модулю мережевого зв'язку (інтенсивності λ_4);

$P_5(t)$ – ймовірність повної втрати функціональності системи, внаслідок виходу з ладу головного керуючого МПП (інтенсивності відмов λ_s), або не діагностований вихід з ладу функціональних модулів (інтенсивність відмов $\lambda_{nd1} \dots \lambda_{nd4}$).

$P_6(t)$ – ймовірність часткової втрати функціональності, при виході з ладу будь-якого з функціональних модулів реєстратора (інтенсивності відмов $\lambda_1 \dots \lambda_4$).

На рис. 2 приведено диференціальну графову модель надійності експлуатації цифрового реєстратора.

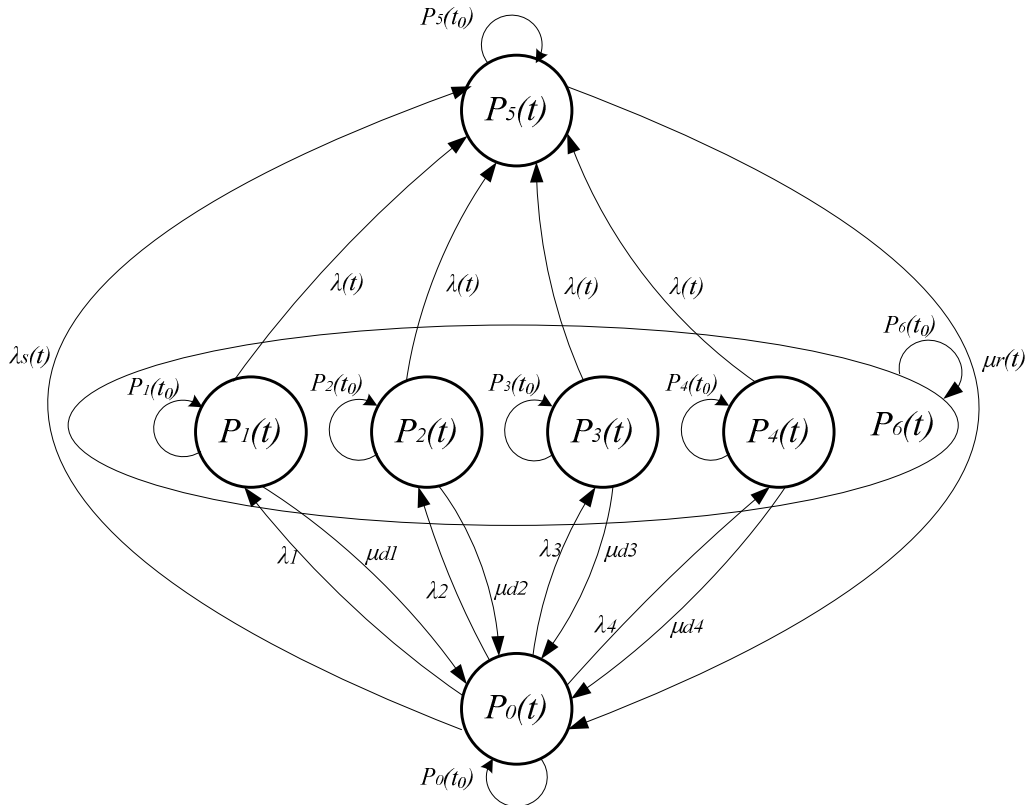


Рис. 2. Графова модель надійності експлуатації РМУ

У вузлах графу позначено ймовірності відповідних станів системи, а над стрілками, які показують зміни станів системи, відмічено інтенсивності потоків подій втрати функціональності $\lambda_i = const > 0$ та відновлення працездатності $\mu_j = const > 0$. Відмітимо, що стаціонарна природа, потоків відмов та відновлень (сталі значення інтенсивностей відмов) характерна для періоду нормальної експлуатації систем [1], в більш загальному випадку слід розглядати часопараметричні залежності, наприклад, виду:

$$\lambda(t) = \lambda_i \cdot t, \tag{4}$$

$$\lambda(t) = \lambda_i \cdot e^{-\alpha t} \tag{5}$$

Для відповідних ймовірностей станів системи (рис. 2) справедливі початкові умови:

$$P_0(t_0) = 1, P_1(t_0) = P_2(t_0) = P_3(t_0) = P_4(t_0) = P_5(t_0) = 0 \tag{6}$$

та рівняння повної групи подій:

$$P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t) + P_5(t) = 1. \tag{7}$$

Основні результати

На основі графової моделі (рис. 1) отримуємо лінійну систему диференціальних рівнянь 5-го порядку:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dP_0(t)}{dt} &= -(\lambda_s + \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)P_0(t) + \mu_{d1}P_1(t) + \\ &\quad + \mu_{d2}P_2(t) + \mu_{d3}P_3(t) + \mu_{d4}P_4(t) + \mu_r P_5(t); \\ \frac{dP_1(t)}{dt} &= -(\mu_{d1} + \lambda_{nd1})P_1(t) + \lambda_1 P_0(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} &= -(\mu_{d2} + \lambda_{nd2})P_2(t) + \lambda_2 P_0(t); \\ \frac{dP_3(t)}{dt} &= -(\mu_{d3} + \lambda_{nd3})P_3(t) + \lambda_3 P_0(t); \\ \frac{dP_4(t)}{dt} &= -(\mu_{d4} + \lambda_{nd4})P_4(t) + \lambda_4 P_0(t); \\ \frac{dP_5(t)}{dt} &= -\mu_r P_5(t) + \lambda_s P_0(t) + \lambda_{nd1} P_1(t) + \\ &\quad + \lambda_{nd2} P_2(t) + \lambda_{nd3} P_3(t) + \lambda_{nd4} P_4(t). \end{aligned} \right. \tag{8}$$

Для зменшення кількості невідомих в системі (8) слід оцінити інтенсивності потоків відмов

функціональних вузлів реєстратора, застосовуючи відомі розрахункові методи, або використовуючи показники надійності пристроїв-аналогів [5].

Ймовірність часткової втрати функціональності системою $P_6(t)$ включає в себе ймовірності втрати функціональності по кожному із модулів. Оскільки вихід з ладу модулів є незалежними подіями, можна записати

$$P_6(t) = P_1(t) + P_2(t) + P_3(t) + P_4(t) \quad (9)$$

Диференціація станів системи, у вигляді виокремлення часткової втрати функціональності по кожному із модулів, впливає із модульної структури пристрою (рис.1) [16]. Враховуючи, що для кожного модуля в системі передбачено діагностичні процедури, що встановлюють причини виходу з ладу, які належать множинні діагностованих пошкоджень, а ремонтні роботи полягають в заміні модулю, що вийшов із ладу, без втрати достовірності, процедури діагностування можна вважати аналогічними відновленню (з відповідними інтенсивностями μ_{di}). Оскільки, область діагностованих несправностей є обмеженою, слід виділити також потоки недіагностованих неполадок, які призводять до повної втрати функціональності і можуть бути визначені та усуненні лише при регламентному технічному обслуговуванні.

Необхідність диференціації етапів часткової втрати системою функціональності впливає також із принципових відмінностей у застосовуваних для них процедурах діагностування. Так, для низькорівневих модулів обробки дискретних та аналогових сигналів найчастіше використовується «off-line» діагностика, що передбачає тимчасове переведення системи в певний діагностичний режим (даний режим є обов'язковим, також, на етапі ініціалізації системи), що накладає обмеження на значення інтенсивностей:

$$\mu_{d1}, \mu_{d2} \leq f_d, \quad (10)$$

де f_d - частота процедур діагностики.

Для вузлів вимірювання аналогових сигналів та аналогово-цифрового перетворення застосовують процедури перевірки коректності «нульових» значень – «оффсетів» і напруг живлення, а також інжекцію еталонних сигналів. Вузли опитування дискретних сигналів перевіряються внутрішніми спеціалізованими тестовими сигналами. Для даних модулів, недіагностована втрата функціональності є малоімовірною, та може виникати, наприклад, внаслідок деградації параметрів передавальних ланок: зміна коефіцієнтів підсилення в аналоговій частині, та часових характеристик в дискретній частині.

Модулі зберігання інформації та мережевого зв'язку побудовані на основі МПП, тому їх діагностика у складі РМУ може здійснюватися в режимі «on-line», а інтенсивності μ_{d3} та μ_{d4} обмеженні лише фактичними умовами оперативного реагування обслуговуючого персоналу

$$\mu_{d4}, \mu_{d3} \leq \frac{1}{T_{r0}}, \quad (11)$$

де T_{r0} – час оперативного реагування. При цьому, область недіагностованих виходів з ладу модулю, який забезпечує мережевий зв'язок нівелюється в наслідок використання стандартизованих протоколів передачі даних. Інші умови характеризують модуль накопичення та зберігання інформації, де істотний вплив мають недіагностовані пошкодження ненадійних вузлів пам'яті.

Враховуючи вищесказане, задача оптимізації полягає у знаходженні оптимальних стратегій технічного обслуговування $\mu_r, \mu_{d1} \dots \mu_{d4}$, при забезпеченні гарантованого рівня ймовірності перебування системи в працездатному стані та мінімізації втрат на обслуговування.

Прийmemo функціонал якості у вигляді [14]:

$$I = \frac{1}{T} \int_t^T P_5(t) dt, \quad 0 \leq I \leq 1, \quad (12)$$

де T - період розгляду, I - плата, що є усередненою ймовірністю перебування системи в стані повної втрати працездатності.

Відмітимо, що із властивостей адитивності інтегральних виразів відносно часового інтервалу впливає можливість розширення поставленої задачі із стаціонарними потоками, на випадки (4), (5), що можуть характеризують, наприклад, етап припрацювання та період наближення системи до кінця терміну служби.

Для забезпечення гарантованого рівня ймовірності перебування системи в працездатному стані слід обрати стратегії $\mu_i(t)$, що мінімізують ймовірність перебування системи в непрацездатному стані, за умови її максимізації з боку «свідомої природи».

Для знаходження оптимальних стратегій технічного обслуговування скористаємось умовою

$$\min_{\mu_i(t) \in E_\mu} \max_{\lambda_i(t) \in E_\lambda} I = \max_{\lambda_i(t) \in E_\lambda} \min_{\mu_i(t) \in E_\mu} I = I^* \quad (13)$$

З чого випливає нераціональність відхилення гравців від оптимальних стратегій. Таким чином, при дотриманні

$$\lambda_i(t) \Rightarrow \lambda_i^{opt}(t), \quad \mu_i(t) \Rightarrow \mu_i^{opt}(t), \quad (14)$$

ціна гри I^* , визначає гарантований рівень показників працездатності системи.

Здійснимо перетворення (8) до області зображення використовуючи метод [12], при цьому система прийме вигляд:

$$\begin{cases} P_0(k+1) = \frac{T}{k+1} [-(\lambda_s + \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4)P_0(k) + \mu_{d1}P_1(k) + \mu_{d2}P_2(k) + \mu_{d3}P_3(k) + \mu_{d4}P_4(k) + \mu_r P_5(k)]; \\ P_1(k+1) = \frac{T}{k+1} [-(\mu_{d1} + \lambda_{nd1})P_1(k) + \lambda_1 P_0(k)]; \\ P_2(k+1) = \frac{T}{k+1} [-(\mu_{d2} + \lambda_{nd2})P_2(k) + \lambda_2 P_0(k)]; \\ P_3(k+1) = \frac{T}{k+1} [-(\mu_{d3} + \lambda_{nd3})P_3(k) + \lambda_3 P_0(k)]; \\ P_4(k+1) = \frac{T}{k+1} [-(\mu_{d4} + \lambda_{nd4})P_4(k) + \lambda_4 P_0(k)]; \\ P_5(k+1) = \frac{T}{k+1} [-\mu_r P_5(k) + \lambda_s P_0(k) + \lambda_{nd1}P_1(k) + \lambda_{nd2}P_2(k) + \lambda_{nd3}P_3(k) + \lambda_{nd4}P_4(k)]. \end{cases} \quad (15)$$

В рамках даних досліджень, для спрощення, прийемо до розгляду ймовірність часткової втрати функціональності, при виході з ладу будь-якого з функціональних модулів (9). Тоді, із врахуванням замін:

$$\begin{aligned} \lambda &= \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4, \\ \mu_d &= \mu_{d1} + \mu_{d2} + \mu_{d3} + \mu_{d4}, \\ \lambda_{nd} &= \lambda_{nd1} + \lambda_{nd2} + \lambda_{nd3} + \lambda_{nd4}, \end{aligned} \quad (16)$$

система (15) прийме вигляд:

$$\begin{cases} P_0(k+1) = \frac{T}{k+1} [-(\lambda_s + \lambda) \cdot P_0(k) + \mu_d \cdot P_6(k) + \mu_r \cdot P_5(k)]; \\ P_6(k+1) = \frac{T}{k+1} [-(\mu_d + \lambda_{nd}) \cdot P_6(k) + \lambda \cdot P_0(k)]; \\ P_5(k+1) = \frac{T}{k+1} [-\mu_r \cdot P_5(k) + \lambda_s \cdot P_0(k) + \lambda_{nd} \cdot P_6(k)], \end{cases} \quad (17)$$

де $\{P_s(k)\}$ - диференціальні спектри для відповідних процесів, що протікають системі, $k := 0, 1, 2, \dots$

Використовуючи спектральну модель експлуатації системи (17) та початкові умови (6), визначимо дискрети ймовірностей $P_5(k)$:

$$P_5(0) = 0; \quad (18)$$

$$P_5(1) = T \lambda_s; \quad (19)$$

$$P_5(2) = -\frac{T^2}{2} [\lambda_s(\lambda_s + \lambda) + \lambda \lambda_{nd} + \mu_r \lambda_s]; \quad (20)$$

$$P_5(3) = -\frac{T^3}{6} [\lambda^2 \lambda_s - \lambda^2 \lambda_{nd} + 2\lambda \lambda_s^2 + \lambda \lambda_s \mu_r - \lambda \lambda_s \lambda_{nd} + \lambda \lambda_s \mu_d - \lambda \lambda_{nd} \mu_r - \lambda \lambda_{nd}^2 - \lambda \lambda_{nd} \mu_d + \lambda_s^3 + 2\lambda_s^2 \mu_r + \lambda_s \mu_r^2]. \quad (21)$$

Для отримання ціни гри в області зображень підставимо дискрети (18)-(21) у вираз для диференціального зображення функціоналу (12), тоді отримаємо:

$$I \approx \sum_{k=0}^{k=2} \frac{P_5(k)}{k+1} = \frac{T}{2} \lambda_s - \frac{T^2}{6} [\lambda_s(\lambda_s + \lambda) + \lambda \lambda_{nd} + \mu_r \lambda_s] - \frac{T^3}{24} [\lambda^2 \lambda_s - \lambda^2 \lambda_{nd} + 2\lambda \lambda_s^2 + \lambda \lambda_s \mu_r - \lambda \lambda_s \lambda_{nd} + \lambda \lambda_s \mu_d - \lambda \lambda_{nd} \mu_r - \lambda \lambda_{nd}^2 - \lambda \lambda_{nd} \mu_d + \lambda_s^3 + 2\lambda_s^2 \mu_r + \lambda_s \mu_r^2]. \quad (22)$$

Знайдемо екстремуми функції (22) для чого вирішимо систему алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{\partial I}{\partial \lambda} = 0; & \frac{\partial I}{\partial \mu_d} = 0; \\ \frac{\partial I}{\partial \lambda_s} = 0; & \frac{\partial I}{\partial \mu_r} = 0. \end{cases} \quad (23)$$

Виконавши відповідні перетворення системи (23), отримуємо вирази для оптимальних стратегій технічного обслуговування:

$$\begin{aligned} \lambda^* &= \lambda, \quad \lambda_{nd}^* = \lambda_{nd}, \quad \lambda_s^* = \lambda_{nd}, \quad \mu_r^* = \frac{2}{T} - \lambda_{nd}, \\ \mu_d^* &= \frac{T^2 \lambda^2 + 2T^2 \lambda \lambda_{nd} - 2T \lambda + 8}{T^2 \lambda}, \end{aligned} \quad (24)$$

як такі, що задовольняють достатні умови для критерію оптимальності (13):

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 I}{\partial \lambda^2} > 0; & \frac{\partial^2 I}{\partial \mu_d^2} < 0; \\ \frac{\partial^2 I}{\partial \lambda_s^2} > 0; & \frac{\partial^2 I}{\partial \mu_r^2} < 0. \end{cases} \quad (25) \quad \lambda^* = \frac{10}{T}, \quad \lambda_{nd}^* = \frac{1}{T}, \quad \lambda_s^* = \frac{1}{T}, \quad \mu_r^* = \frac{1}{T}, \quad \mu_d^* = \frac{108}{10T}. \quad (26)$$

Нехай, інтенсивність потоку діагностованих відмов складає $\lambda = 10/T$, а інтенсивність потоку недиагностованих відмов рівна $\lambda_{nd} = 0.1\lambda = 1/T$, тоді можна встановити значення оптимальних стратегій в залежності від періоду експлуатації:

На основі (8) та (9) з використанням (26), в середовищі MATLAB (Simulink) виконано математичне моделювання процесів зміни ймовірностей експлуатаційних станів системи, на протязі періоду експлуатації, результати якого показано на рис. 3.

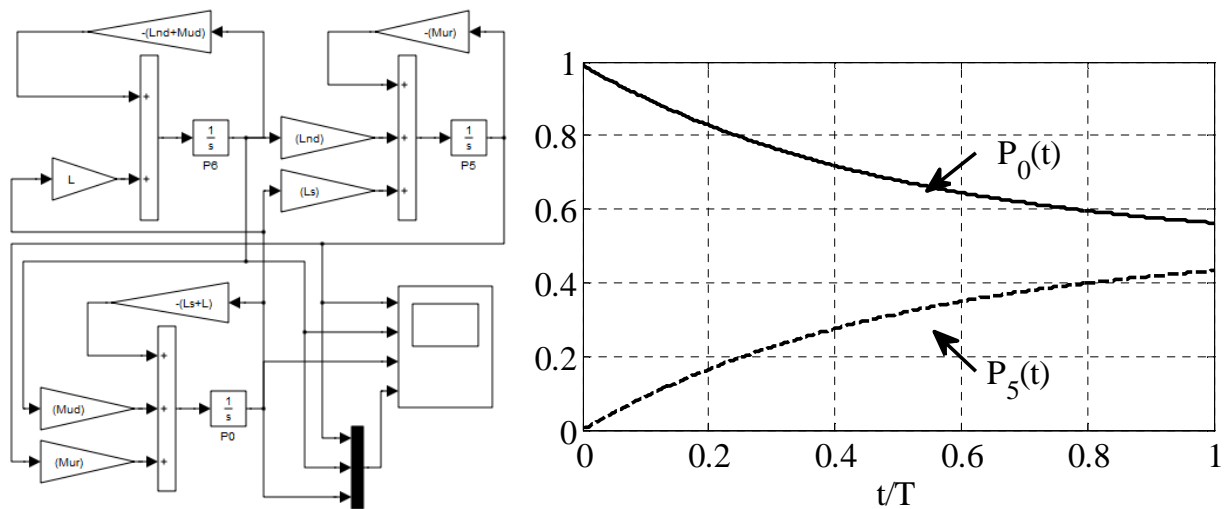


Рис. 3. Результати математичного моделювання зміни ймовірностей експлуатаційних станів системи, при використанні оптимальних стратегій

Як можна бачити з рис. 3, при виборі оптимальних стратегій технічного обслуговування (24) на кінець терміну служби, гарантоване значення ймовірності перебування системи в працездатному стані складатиме не менше 0.56.

4. Результати роботи можуть бути використані при формуванні планових заходів технічного обслуговування існуючих мікропроцесорних пристроїв та систем, які мають аналогічну модульну структуру, а також, для оцінки показників надійності і відповідної корекції, на етапі розробки систем.

Висновки

1. Приведено результати оптимізації процесів технічного обслуговування цифрового реєстратора, що має типову модульну структуру на основі МПП, з використанням методів теорії диференціальних ігор та диференціальних перетворень.

2. Запропоновано метод врахування функцій самодіагностики, які властиві більшості сучасним складним технічним пристроям та системам, в задачах оптимізації процесів технічного обслуговування.

3. В аналітичному вигляді отримано оптимальні стратегії регламентного технічного обслуговування та процедур самодіагностики, які забезпечують гарантований рівень показників надійності системи, при мінімізації витрат на обслуговування.

Література

- ГОСТ27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
- Росляков В. И. Оптимизация систем технического обслуживания и обеспечение работоспособности бытовой техники / ТТПС. 2010. – №11 с.24-28.
- Dong Nguyen. Reliability Modeling and Evaluation in Real-time Distributed Multimedia Systems / 2001 Proceedings annual reliability and maintainability Symposium. - 200-206 PP.
- Artioli M. Reliability Studies and Implementation of Remote Monitoring and Self-Diagnosis on a Smart System for Fast Transients Characterization in Power Networks// M. Artioli, L. Peretto, P. Rinaldi / IMTC

- 2005 – Ottawa, Canada, 17-19 May 2005 - 956-961 PP.
5. Канарчук В.Е. Основы надежности машин / АН УССР, Ин-т проблем материаловедения. - К.: Наукова думка, 1982. - 245 с.
 6. Алигулиев Э.А. Оптимизация вероятности безотказной работы сети с использованием статистических испытаний по методу Монте Карло / e-journal Reliability: Theory & Applications. 2007, № 1 (Vol.2).- С. 88-90.
 7. Лопатин А.С. Метод отжига / Стохастическая оптимизация в информатике. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2005. Вып. 1. - С. 133–142.
 8. Watkins C.J.C.H. Q-Learning / C.J.C.H. Watkins, P. Dayan // Machine Learning, No. 8. – Kluwer Academic Publishers, Boston. – 1992. – PP. 279–292.
 9. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
 10. Сухарев А. Г., Тимохов А. В., Федоров В. В. Курс методов оптимизации. - М.: Наука, 1986. – 328 с.
 11. Вентцель Е.С. Исследование операций: Задачи, принципы, методология. - М.: Наука, 1980.- 208 с.
 12. Пухов Г.Е. Дифференциальные преобразования функций и уравнений. – К.: Наук. думка, 1984. – 420 с.
 13. Інформаційно-діагностичний комплекс «Регіна» / Енергетика та електроніка.- 2007, №1.
 14. Грищук Р.В. Теоретичні основи моделювання процесів нападу на інформацію методами теорії диференціальних ігор та диференціальних перетворень: Монографія. Ж.: Рута, 2010.– 280 с.
 15. Калинюк І.О. Перспективи організації комп'ютерних систем моніторингу та діагностики електричних мереж і об'єктів / Збірник наукових праць, серія «Транспортні системи і технології». – К.: ДЕДУТ, 2010. – Вип. № 17. - С.194-200.
 16. Калинюк І.О. Методи організації реконфігурованих обчислювальних контролерів і інформаційних технологій / Збірник наукових праць, серія «Транспортні системи і технології». –К.: ДЕДУТ, 2012. – Вип. № 19. – С. 131-138.

Воронко И. А. Дифференциально-игровая модель надежности микропроцессорных систем мониторинга тяговых электрических сетей железных дорог. Представлены результаты оптимизации процессов технического обслуживания цифровых регистраторов, лежащие в основе систем мониторинга тяговых электрических сетей. При этом, для получения гарантированных показателей надежности эксплуатации рассматриваемых микропроцессорных систем с типовой модульной структурой, предложено использование вероятностных дифференциально-игровых моделей.

Ключевые слова: цифровой регистратор, надежность микропроцессорных систем, дифференциально-игровая модель, техническое обслуживание.

Voronko I.O. Differential-gaming model of micro-processor system reliability of railway traction power system monitoring. The results of the optimization of digital recorders maintenance, that are the basis of railway traction power system monitoring have been presented. For this purpose, to obtain guaranteed operating reliability indices of microprocessor systems with a typical modular structure being under consideration is proposed to use the probabilistic differential-gaming models.

Key words: digital recorder, reliability of microprocessor systems, differential-gaming model, maintenance.

Рецензент д.т.н., професор Мараховський Л.Ф. (Державний економіко-технологічний університет транспорту)

Поступила 30.09.13 г