Reliability Model for Simple Dendritic Renewal System with Load Re-distributing Consideration

Serhiy Shcherbovskykh

Electric Drive Department,
Lviv Polytechnic National University,
UKRAINE, Lviv, S. Bandery Street. 12,
E-mail: shcherbov@polynet.lviv.ua

Reliability ensuring is an important aspect which during all life cycle stages for technical systems is treated. Reliability determination for renewal systems is based on discrete and continuous stochastic models of Markov and simulation (also called Monte Carlo) type. In particular, the paper is devoted to automated forming of such models for simple dendritic renewal system with load re-distributing consideration. The system consists from 1–3 components (fig. 1) in which P_1–P_3 using processes are occurred. Component 2 transmits w_2 load, component 3 — w_3, and so component 1 — $w_2 + w_3$ sum. Let component using speeds are proportional to load and for nominal mode are 1. In the initial state all components are in up-state and so all process using speeds are 1. If component 2 is down-state than component 1 load is reduced on w_2 and using speed is $w_3 / (w_2 + w_3)$. Accordingly, if component 3 is down-state than component 1 using speed is $w_2 / (w_2 + w_3)$. If both components 2 and 3 are down-state, than component 1 is unloaded and it using speed is 0. If component 1 is down-state than load to components 2 and 3 cannot be transmitted, and therefore their using speed is 0 too. General repair process P_4 simultaneously all system components is restored. Discrete and continuous stochastic models are constructed by three stages. On the first stage the structure and algorithmic model is formed that relationships between processes, structure and algorithm of using and repairing is established. Such model is compact, but cannot be directly used for calculation. On the second stage the structure and algorithm model is transformed to the intermediate states and events model. The dimension of created model is 4 processes, 7 states and 13 events, as shown on state transition diagram (fig .2). And on the third stage the states and events model is converted to the discrete and continuous stochastic models that can be directly applied for calculation. The dimension of Markov model is 56 phases, as shown on state transition diagram (fig .3), and iterations amount for simulation model is set to 20 000. In corporation with existing methods for Markov and simulations reliability models forming, such approach time expenses and work complexity reducing is provided.

Модель надійності простої деревоподібної відновлюваної системи із урахуванням перерозподілу навантаження

Сергій Щербовських

Кафедра електроприводу та автоматизації промислових установок, Національний університет «Львівська політехніка», УКРАЇНА,
м. Львів, вул. С.Бандери, 12,
E-mail: shcherbov@polynet.lviv.ua

Розроблено модель надійності для простої ієрархічної деревоподібної відновлюваної системи. Модель враховує явища перерозподілу навантаження у наслідок відмов структурних елементів.

Ключові слова — надійність, готовність, ієрархічна система, марковська модель, метод Монте-Карло.

I. Вступ

Забезпечення показників надійності є важливим аспектом, якому приділяють увагу на усіх етапах життєвого циклу технічних систем. Визначення надійності відновлюваних систем ґрунтується на застосуванні дискретно-неперервних стохастичних моделей марковського та імітаційного (Монте-Карло) типів. Зі зростанням кількості елементів та складності алгоритму взаємодії між ними автоматизоване формування та опрацювання таких моделей постає самостійною науковою проблемою. Зокрема, робота присвячена автоматизованому формуванню моделей марковського та імітаційного типів для простої деревоподібної відновлюваної системи із урахуванням явищ перерозподілу навантаження, пов'язаних із відмовами структурних елементів.

II. Модель надійності системи

Система складається із трьох елементів 1–3, в яких протікають процеси використання P_1–P_3. Елементи утворюють з'єднання у вигляді ієрархічної простої деревоподібної структури, як це показано на рис. 1а.

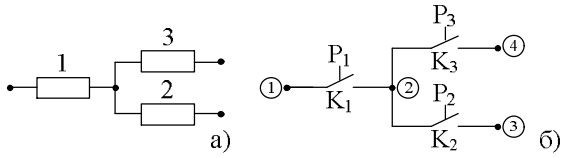

Рис. 1. Блок-схема (а) та структурна схема надійності (б) простої деревоподібної відновлюваної системи

Елемент 2 передає навантаження w_2, елемент 3 — w_3, відповідно, навантаження елемента 1 дорівнює сумі $w_2 + w_3$. Вважаємо, що швидкість використання елементів пропорційна їх навантаженню і для номінального режиму становить 1. У початковому стані усі елементи працездатні, навантаження подаємо через елемент 1 до обох елементів 2 та 3, тому швидкість процесів їх використання становить 1. Якщо непрацездатний елемент 2, то навантаження

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

елемента 1 зменшується на w_2, а швидкість його використання стає $w_3 / (w_2 + w_3) < 1$. Відповідно, якщо непрацездатний 3, то швидкість використання елемента 1 стає $w_2 / (w_2 + w_3)$. Якщо обидва елементи 2 та 3 непрацездатні одночасно, то елемент 1 ненавантажений і швидкість його використання 0. У випадку непрацездатності елемента 1 навантаження до елементів 2 та 3 не може бути передане, тому швидкість їх використання також стає рівною 0. У системі протікає процес ремонтування P_4, який одночасно відновлює усі елементи. Його швидкість обернено пропорційна кількості непрацездатних елементів. Тривалість процесів P_1–P_3 розподілена за законом Вейбулла із параметрами $\{\alpha_1, \beta_1\}$, $\{\alpha_2, \beta_2\}$ та $\{\alpha_3, \beta_3\}$, а P_4 за експоненціальним із параметром μ_4.

Створення дискретно-неперервних моделей виконуємо у декілька етапів [1]. На першому етапі формуємо структурно-алгоритмічну модель, яка встановлює взаємозв'язок між процесами, структурою та алгоритмом використання і ремонтування системи. Така модель компактна у представлені, проте не може бути безпосередньо використана для розрахунку. Для цієї моделі елемент 1 позначимо перемикачем K_1, станом якого керує процес використання P_1, 2 — K_2 та P_2, а 3 —K_3 та P_3, як це показано на структурній схемі на рис. 1б. Вузол 1 вхідний, а вузли 3 і 4 — вихідні. Для кожного процесу задаємо його тип (використання чи ремонтування), закон розподілу, параметри розподілу, множину відновлення та функцію його швидкості. Для кожного перемикача задаємо тип (нормально замкнений чи розімкнений) та полярність.

На другому етапі перетворимо структурно-алгоритмічну модель у модель станів та подій. Така операція включає пряме комбінаторне перебирання станів, застосування функцій швидкості процесів, ідентифікацію подій, застосування правил утворення подій, а також видалення недосяжних станів та подій. Така модель у проекційному зв'язку щодо процесів встановлює взаємозв'язок між станами та подіями. Параметрами стану є інформація про швидкість кожного процесу, а параметрами події — процеси, які завершується і розпочинаються у попередньому та наступному станах. Розмірність утвореної моделі становить 4 процеси, 7 станів та 13 подій, діаграма станів та переходів якої подана на рис. 2.

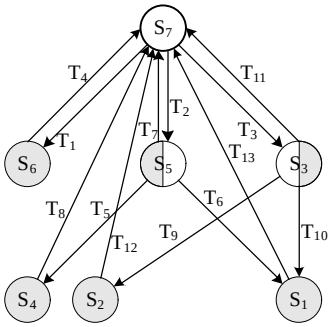

Рис. 2. Діаграма станів та переходів моделі станів та подій для простої деревоподібної відновлюваної системи

На третьому етапів за моделлю станів та подій утворимо дискретно-неперервні стохастичні моделі, які безпосередньо можуть бути застосовані для розрахунку. Формування моделі марковського типу базується на трансформації фактичних розподілів процесів у марковські моделі фазового типу. Далі виконуємо багатократне тензорне множення та додавання таких моделей згідно виведених виразів. Отримана модель встановлює взаємозв'язок між фазами та переходами системи, а також їх зв'язок із характеристиками надійності. Параметрами фаз є початкова ймовірність, а переходів — інтенсивність. Розмірність утвореної моделі становить 56 фаз, діаграма станів та переходів якої подана на рис. 3.

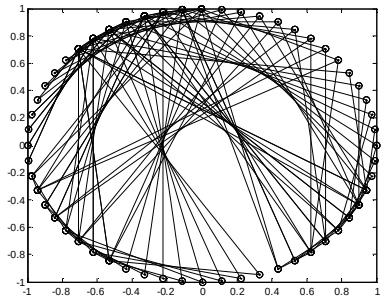

Рис. 3. Діаграма станів та переходів моделі марковського типу для простої деревоподібної відновлюваної системи

Перетворення до моделі імітаційного типу ґрунтується на симулюванні випадкового руху системи діаграмою станів та подій. Така модель містить набори статистичних вибірок інтервалів працездатності системи та моментів часу появи її відмов. Кількість ітерацій імітаційної моделі за методом Монте-Карло вибираємо 20 000. Отримані моделі готові до подальшого опрацювання, зокрема, моделі марковського типу — стандартними методами чисельного інтегрування, а імітаційного типу — методами статистичного аналізу.

Висновок

Для простої деревоподібної відновлюваної системи сформовано дискретно-неперервні стохастичні моделі надійності марковського та імітаційного типів. Їх побудова виконана за допомогою спеціального математичного та програмного забезпечення, в основу якого покладені розроблені методи для автоматизованого формування та опрацювання марковських та імітаційних моделей. Порівняно із існуючими методами для формування таких моделей, даний підхід забезпечив скорочення витрат часу та зменшення трудомісткості таких робіт. Подальші дослідження скеровані на формування моделей та визначення за ними характеристик надійності для складних деревоподібних відновлюваних систем.

Література

[1] *Щербовських С. В.* Аналіз впливу стратегії ремонтування на функцію інтенсивності потоку відмов нерезервованої системи / *С. В. Щербовських* // Відбір та обробка інформації. — 2011. — № 34(110). — С. 101–106.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua