УДК 621.37

Ю.Я. БОБАЛО, Л.А. НЕДОСТУП, О.В. ЛАЗЬКО

Національний університет «Львівська політехніка», Україна

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ БЕЗВІДМОВНОСТІ СИСТЕМ СУМІСНО ПРАЦЮЮЧИХ КОМПОНЕНТІВ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

Приведено результати оцінювання безвідмовності систем різними методами при різній степені асиметричності та гостровершинності розподілів стикувальних параметрів. Проаналізовано переваги та недоліки існуючих методів оцінювання, сформовано висновки щодо можливості їх застосування.

параметричний синтез, імовірність відмови, асиметрії, ексцес, ряди Грама-Шарльє

Постановка проблеми

Безвідмовність при сумісній роботі компонентів системи забезпечується певними співвідношеннями їх вхідних і вихідних параметрів.

Вона оцінюється імовірністю працездатності системи або імовірністю її правильного функціонування $P_{Sк}$:

$$P_{S\hat{e}}(t) = \\ = \Psi\left[\lambda_{\hat{e}1}, \lambda_{\hat{e}2}, ..., \lambda_{\hat{e}n}, ..., f(\vec{X}_{\hat{a}\grave{e}\tilde{o}.\hat{e}-1}(t), \vec{X}_{\hat{a}\tilde{o}.\hat{e}}(t))\right], \quad (1)$$

де $f(\vec{X}_{вих.к-1}(t), \vec{X}_{вх.к}(t))$ – сумісна щільність розподілів вхідних і вихідних стикувальних параметрів;

$\vec{X}_{\hat{a}\grave{e}\tilde{o}.\hat{e}-1}(t) = \left[x_{\hat{a}\grave{e}\tilde{o}.\hat{e}-1,1}(t), x_{\hat{a}\grave{e}\tilde{o}.\hat{e}-1,2}(t), ..., x_{\hat{a}\grave{e}\tilde{o}.\hat{e}-1,n}(t)\right]$;

$\vec{X}_{\hat{a}\tilde{o}.\hat{e}}(t) = \left[x_{\hat{a}\tilde{o}.\hat{e},1}(t), x_{\hat{a}\tilde{o}.\hat{e},2}(t), ..., x_{\hat{a}\tilde{o}.\hat{e},n}(t)\right]$ – вектори стану.

Розглянемо підходи до визначення працездатності системи з врахуванням степені узгодженості вхідних і вихідних параметрів її складових частин.

Залежно від особливостей функціонування компонентів співвідношення їх параметрів визначаться так [1]:

$$P_1\left(x_{i.к.вх} - x_{i.к-1.вих} \ge \varepsilon_1\right) \ge p_1;$$

$$P_2\left(x_{i.к-1.вих} \in \{x_{i.к.вх}\}\right) \ge p_2; \quad (2)$$

$$P_3\left(x_{i.к-1.вих} - x_{i.к.вх} \ge \varepsilon_2\right) \ge p_3,$$

де $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – задані числа (запаси), p_1, p_2, p_3 – імовірності виконання відповідних умов.

Наведені умови є доволі жорсткими і їх виконання в процесі реального виробництва викликає значні труднощі. Працездатність системи у складі компонентів $K_{к-1}$, $K_к$ можна визначити різними методами і зокрема, за допомогою апарату параметричної та непараметричної статистики, нечітких множин, толерантних інтервалів та іншими методами [2]. Здебільшого задачі оцінювання ефективності параметричного синтезу компонентів вирішуються з використанням апріорі прийнятих "класичних" законів розподілів їх вхідних і вихідних параметрів.

Однак численні експерименти, проведені як в нашій країні , так і за кордоном, свідчать про те, що з конструкційно-технологічних причин закони розподілу параметрів компонентів можуть змінюватись як за видом, так і за значенням характеристик [1, 2].

Умови забезпечення працездатності сумісно працюючих компонентів

Дослідимо першу, найбільш характерну умову забезпечення працездатності сумісно працюючих компонентів (2). Відомо, що імовірність $q(t)$ відмови системи, що складається з двох послідовно увімкнених компонентів з стикувальними параметрами $x_{к-1.вих}(t)$ і $x_{к.вх}(t)$ в загалом визначається так:

$$q(t) = \iint\limits_{W} f(x_{к-1.вих}(t), x_{к.вх}(t))\, dx_{к-1.вих}\, dx_{к.вх}\,, \qquad (3)$$

де W – область інтегрування; $f(x_{к-1.вих}(t), x_{к.вх}(t))$ – двомірна щільність розподілу параметрів $x_{к-1.вих}$ і $x_{к.вх}$.

Розглянуто вирішення цієї задачі у квазістатичному варіанті з використанням моделей розподілів параметрів у вигляді рядів Грама-Шарльє.

Доведено, що така модель характеризується більшою гнучкістю своїх форм завдяки незалежності характеристик, що забезпечує їх високу адекватність. У випадку незалежності величин $x_{\hat{e}-1.\hat{a}\grave{e}\tilde{o}}$ і $x_{\hat{e}.\hat{a}\tilde{o}}$. співвідношення (3) трансформується:

$$q = \iint\limits_{W} f\left(x_{к-1.вих}\right) f\left(x_{к.вх}\right) dx_{к-1.вих}\, dx_{к.вх}; \qquad (4)$$

$$0 \le x_{к.вх} \le x_{к-1.вих} < \infty\,; \qquad 0 \le x_{к.вх} < \infty\,.$$

Імовірність працездатності системи

$$P = 1 - q = \\ = \iint\limits_{W} f\left(x_{\hat{e}-1.\hat{a}\grave{e}\tilde{o}}\right) f\left(x_{\hat{e}.\hat{a}\tilde{o}}\right) dx_{\hat{e}-1.\hat{a}\grave{e}\tilde{o}}\, dx_{\hat{e}.\hat{a}\tilde{o}}; \qquad (5)$$

$$\infty \ge x_{к.вх} > x_{к-1.вих} > 0\,;$$

$$0 \le x_{к.вх} < \infty\,.$$

Для визначення імовірності P подвійний інтеграл (5) можна представити двократним:

$$P = 1 - q = \int\limits_{0}^{\infty} f_A\left(x_{к-1.вих}\right) \times \\ \times \left[\int\limits_{x_{к-1.вих}}^{\infty} f_A\left(x_{к.вх}\right) dx_{к.вх}\right] dx_{к-1.вих}\,. \qquad (6)$$

Тоді імовірність відмови системи

$$q = \int\limits_{0}^{\infty} F(x_{к-1.вих})\, f_A\left(x_{к-1.вих}\right) dx_{к-1.вих}\ \ , \qquad (7)$$

де $F(x_{к-1.вих})$ і $F(x_{к.вх})$ – інтегральні функції розподілу відповідних величин. Зазначимо, що тут

$$f_A\left(x_{к-1.вих}\right) = f\left(x_{к-1.вих}\right) - \frac{A}{3!} f^{(3)}\left(x_{к-1.вих}\right) - \\ - \frac{E}{4!} f^{(4)}\left(x_{к-1.вих}\right); \qquad (8)$$

$$f_A\left(x_{к.вх}\right) = f\left(x_{к.вх}\right) - \frac{A}{3!} f^{(3)}\left(x_{к.вх}\right) - \\ - \frac{E}{4!} f^{(4)}\left(x_{к.вх}\right). \qquad (9)$$

Запропоновано вираз для імовірності відмови системи при квазінормальних розподілах параметрів компонентів, представлених рядами Грама-Шарльє:

$$q = 1 - P = \int\limits_{0}^{\infty}\left[\left[f\left(x_{к.вх}\right) - \frac{A}{3!} f^{(3)}\left(x_{к.вх}\right) - \frac{E}{4!} f^{(4)}\left(x_{к.вх}\right)\right] \times \\ \times \left\{\Phi\left(\frac{x_{к.вх} - m_{к.вх}}{\sigma_{к.вх}}\right) - \Phi\left(\frac{m_{к.вх}}{\sigma_{к.вх}}\right) - \\ - \frac{A}{3!}\left[f^{(2)}\left(\frac{x_{к.вх} - m_{к.вх}}{\sigma_{к.вх}}\right) - f^{(2)}\left(\frac{m_{к.вх}}{\sigma_{к.вх}}\right)\right] + \\ + \frac{E}{4!} dx_{к.вх}\left[f^{(3)}\left(\frac{x_{к.вх} - m_{к.вх}}{\sigma_{к.вх}}\right) - f^{(3)}\left(\frac{m_{к.вх}}{\sigma_{к.вх}}\right)\right]\right\} dx_{к.вх}. \qquad (10)$$

Складність такого підходу до визначення імовірності працездатності або непрацездатність системи сумісно працюючих компонентів пояснює використання простих чисельних та аналітичних методів, які базуються на ряді припущень і малообгрунтованих спрощень.

Результати

В процесі проведення авторами досліджень проведено порівняння результатів оцінювання непрацездатності систем різними методами при різній степені асиметричності та гостровершинності розподілів стикувальних параметрів. Поряд з викладеним вище методом аналізувались методи, що базуються на припущення про їх гаусовий характер, а також на імовірнісній оцінці областей перекриття $G1$ та $G2$ [3].

Базові результати представлено на рис. 1 і 2.

Отримані результати засвідчили:

1. Метод, що базується на роздільному визначені імовірності розміщення стикувальних параметрів

компонентів в зонах перекриття їх розподілів, розділених деякими рівнями, дозволяє отримувати інтервальні оцінки безвідмовності систем.

2. Використання математичних моделей розподілів стикувальних параметрів у вигляді рядів Грама-Шарльє дозволяє враховувати їх реальні відхилення від нормального закону. Нехтування асиметричністю та ексцесом реальних розподілів веде до значних методичних похибок оцінок працездатності систем.

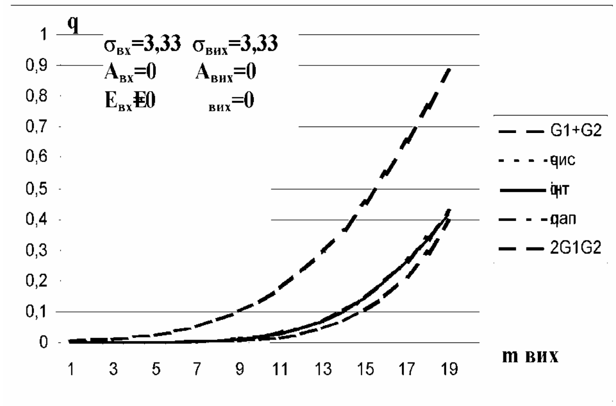

Рис. 1.Залежності імовірності відмови q системи від математичного сподівання розподілів параметрів компонентів для першої умови: *G*1 і *G*2 – області перекриття розподілів параметрів компонентів, $q_{чис}$, $q_{інт}$, $q_{лап}$. – імовірності відмови системи, отримані чисельним способом інтегрування, способом інтегрування за (7) та при припущенні, що розподіли є нормальними відповідно

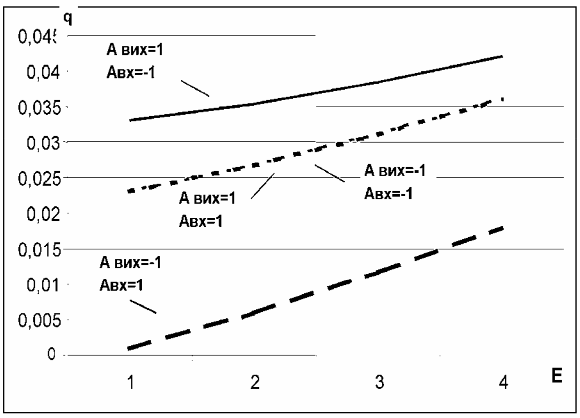

Рис. 2. Залежність імовірності відмови *q* від ексцесу *E* для чотирьох комбінацій асиметричності розподілів стикувальних параметрів компонентів

3. Метод оцінювання безвідмовності систем шляхом подвійного інтегрування сумісної щільності розподілів стикувальних параметрів, описаних рядами Грама-Шарльє, в порівнянні з іншими є більш обґрунтованим і таким, що забезпечує більшу вірогідність отримуваних даних.

4. Для вказаної вище умови працездатності системи компонентів найбільш прийнятною комбінацією розподілів стикувальних параметрів є така, при якій розподіли вихідних параметрів характеризуються від'ємною асиметричністю, а вхідних параметрів – додатною асиметричністю Найменш прийнятною є комбінація розподілів вихідних параметрів з додатною асиметричністю , вхідних – з від'ємною асиметричністю.

Комбінації розподілів з однаковою асиметричністю характеризуються проміжними значеннями імовірності непрацездатності системи. Слід також відзначити, що в усіх розглянутих випадках спостерігається тенденція зростання імовірності непрацездатності *q* при збільшенні ексцесу розподілів.

Література

1. Дружинин Г.В. Надёжность автоматизированных систем. – М.: Энергия, 1977. – 340 с.

2. Капур К., Ламберсон Л. Надёжность и проектирование систем. – М.: Мир, 1980. – 360 с.

3. Лазько О., Недоступ Л., Бобало Ю. Моделювання розподілів рядами Грама-Шарльє та їх застосування в технологічних САПР // Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2000. – № 387. – С. 59-65.

Надійшла до редакції 22.02.2007

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.О. Фурман, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, Харків.