

УДК 514.182: 004.15

МІНІМАЛЬНЕ ЗБІЛЬШЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇЇ ЗАДАНОГО РІВНЯ НАДІЙНОСТІ

Усенко В.Г., к.т.н.,

Погорілий Д.Ф., к.т.н.,

Усенко І.С., к.т.н.

Полтавський національний технічний університет імені Юрія
Кондратюка (м. Полтава, Україна)

В роботі висвітлено результати дослідження мінімального збільшення надійності елементів системи для забезпечення заданого їй рівня надійності. Побудовано графічну модель надійності системи з трьох елементів, що має структурний резерв. Показано особливості оптимального розподілу надійності елементів системи з простою структурою. Приведено приклади знаходження мінімального приросту значень надійності елементів для забезпечення заданого рівня структурної надійності системи.

Ключові слова: структурне моделювання, надійність системи з різною надійністю елементів.

Постановка проблеми. Визначення надійності є важливою задачею у проектуванні різних інженерних мереж: водопровідних, теплових, нафтогазових, операторів стільникового зв'язку і т. ін. У електротехніці [5] поширені з'єднання у формі трикутника. Вони застосовуються в трансформаторах, обмотках електродвигунів, конденсаторних батареях, резисторах та ін (рис. 1). У наукових джерелах [1,2] акцентовано увагу на надійності структур систем з елементами, що мають однакове значення надійності. На практиці значення надійності складових частин систем відрізняються.

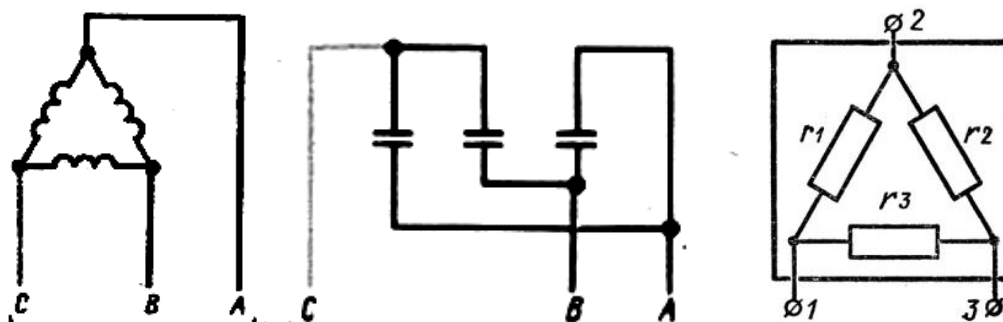


Рис. 1. З'єднання в трикутник обмоток, електродвигунів, конденсаторних батарей та резисторів

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [3] представлено метод раціонального нормування надійності в системах з паралельними та паралельно-послідовними структурами. Запропоновано поняття інтервалу та границь ефективного підвищення надійності структури резервованої інженерної мережі. Виконано порівняння часу ймовірності безвідмовної роботи технічних систем з різними конфігураціями, показано вплив форми структур на час безвідмовної роботи технічних систем.

Формулювання цілей статті. Для ефективного збільшення надійності потрібно мінімально підвищити одне або декілька зі значень надійності елементів r_i настільки, щоб надійність резервованої структури системи досягла заданого рівня: $R=R^*$. Необхідно виконати додаткові витрати засобів для заміни в системі елементів на нові з вищою надійністю. Підвищення надійності потребує збільшення додаткових затрат ресурсів. Тому чим вищою має бути надійність елементів тим більший об'єм ресурсів потрібно витратити.

Основна частина. Розглянемо структуру, що має форму трикутника. Прийmemo, що структура є триполюсною, тому з'єднання вузлів v_1, v_2, v_3 не буде паралельним чи послідовним. Нехай ділянки структури мають різну надійність $r_1 \neq r_2 \neq r_3$. Рівняння надійності структури [1,2]:

$$R = r_1(r_2(-2r_3 + 1) + r_3) + r_2r_3, \quad (1)$$

де r_i – надійність i -ї ділянки структури, $i=1,2,3$, $0 < r_i < 1$, $0 < R < 1$.

Якщо полюсами структури є тільки два вузли, наприклад, v_1 та v_3 , а вузол v_2 є транзитним, то в структури буде інше рівняння надійності. Чотирипараметрична функція у явному вигляді описує багатовид B^3 надійності структури:

$$r_3 = \frac{R - r_1r_2}{-2r_1r_2 + r_1 + r_2}, \quad \begin{matrix} 0 < r_1 < 1, \\ 0 < r_2 < 1, \\ 0 < r_3 < 1, \end{matrix} \quad 0 < R < 1. \quad (2)$$

де r_1, r_2, r_3 – надійність елементів, R – структурна надійність системи. Отримуємо сім'ю поверхонь B^2 рівної надійності структури при різних значеннях надійності її ділянок d_1, d_2, d_3 та за обмеження, що вузли структури мають абсолютну надійність: $v_i=1, i=1,2,3$. На рис. 2 показано каркас багатовиду B^3 надійності структури у формі трикутника із значеннями $R=0.55, R=0.75, R=0.95$ із поверхонь B^2 . Каркаси цих поверхонь утворюються лініями B^1 , що паралельні площинам $0r_1r_3$ та $0r_2r_3$. З підвищенням необхідного значення R^*

звужується область можливих наборів значень надійності елементів для забезпечення цього заданого рівня надійності структури.

Визначимо мінімальне значення збільшення надійності ділянки (чи групи ділянок) для забезпечення заданої надійності структури R^* .

Нехай задано рівень надійності для структури з трикутною формою, що дорівнює $R^*=0.95$. У тривимірному просторі Π^3 це відповідає граничній поверхні B^2 , що представлена каркасом на рис. 3. Поточні значення надійності елементів системи дорівнюють відповідно $r_1=0.7$, $r_2=0.8$, $r_3=0.9$. Цей набір утворює точку $A(0.7,0.8,0.9)$ у тривимірному просторі Π^3 з системою координат $Or_1r_2r_3$ (рис. 4). За (1) значення надійності системи з трикутною резервованою структурою дорівнює значенню, що менше за задане $R=0.902 < R^*$. Отже, потрібно підвищувати надійність елементів структури.

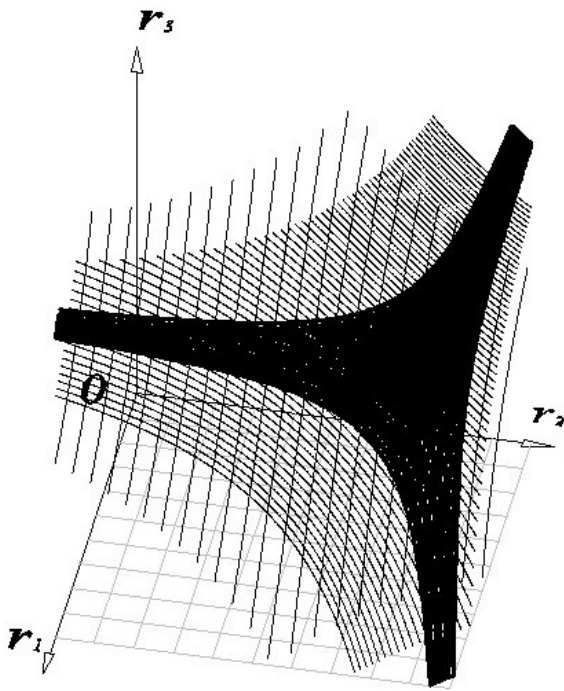


Рис. 2. Дискретний каркас багатовиду B^3 залежності 3-х аргументів для значення функції $R=0.55, 0.75, 0.95$

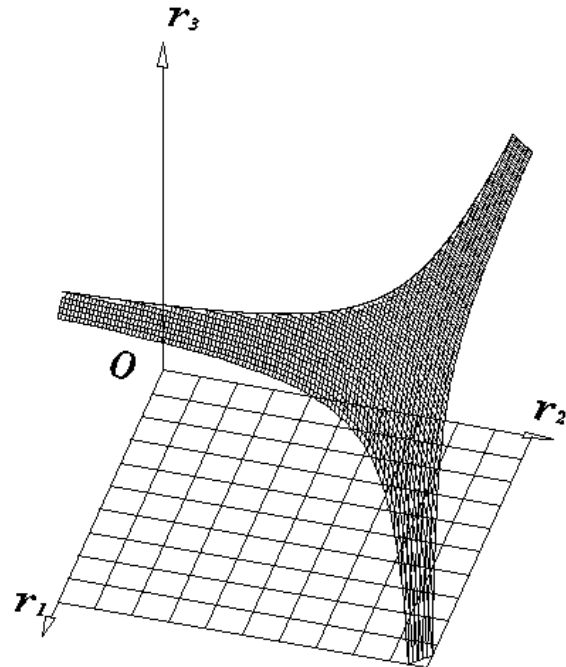


Рис. 3. Перетин багатовиду B^3 зі значенням залежного параметра $R=0.95$

Є ряд варіантів досягнення заданого рівня надійності структури R^* , але вони відрізняються сумарною величиною необхідного збільшення надійності елементів Δr . При збільшенні надійності лише одного елемента з трьох навіть до теоретичного максимуму $r_i=1$, отримання заданого рівня надійності не відбудеться: $R=0,94 < R^*=0,95$.

Якщо значення збільшення надійності елементів рівні між собою $\Delta r_1=\Delta r_2=\Delta r_3$, то необхідне сумарне збільшення по всім трьом

елементам дорівнює $\Delta r^{(1)} = \sum_{i=1}^3 \Delta r_i = 0,16455$.

Підвищимо надійність 1-ї та 2-ї ділянки, не підвищуючи надійність 3-ї: $\Delta r_1 = \Delta r_2$, $\Delta r_3 = 0$. Сумарне підвищення надійності елементів для забезпечення рівня структурної надійності дорівнює $\Delta r^{(2)} = \sum_{i=1}^2 \Delta r_i = 0,1821$. Аналогічно розглянемо варіант з 2-ю та 3-ю

ділянками: $\Delta r_2 = \Delta r_3$, $\Delta r_1 = 0$, $\Delta r^{(3)} = \sum_{i=2}^3 \Delta r_i = 0,1387$.

Графічна модель багатовиду показує, що мінімальне збільшення надійності для забезпечення заданого рівня R^* буде реалізовано зі збільшенням надійності всіх трьох елементів $\Delta r_1 \neq \Delta r_2 \neq \Delta r_3$, $\Delta r^{(4)} = \sum_{i=1}^3 \Delta r_i = 0,12619$. Значення підвищення надійності елементів відповідно дорівнюють $\Delta r_1 = 0,00149$, $\Delta r_2 = 0,025$, $\Delta r_3 = 0,0997$.

Область пошуку мінімуму суми значень збільшення структурної надійності обмежується кривою G (рис. 5) на поверхні $R^* = 0.95$:

$$r_2 = \frac{R - r_1 r_3}{(r_3(-2r_1 + 1) + r_1)}, \quad \begin{array}{l} r_1 = r_{1A}, \\ r_{3A} < r_3 < 1, \\ R = R^*. \end{array} \quad (3)$$

де r_i – змінні параметри, $i=1,2,3$, r_{1A} – початкове значення надійності 1-го елемента, r_{3A} – початкове значення надійності 3-го елемента, R^* – заданий рівень структурної надійності.

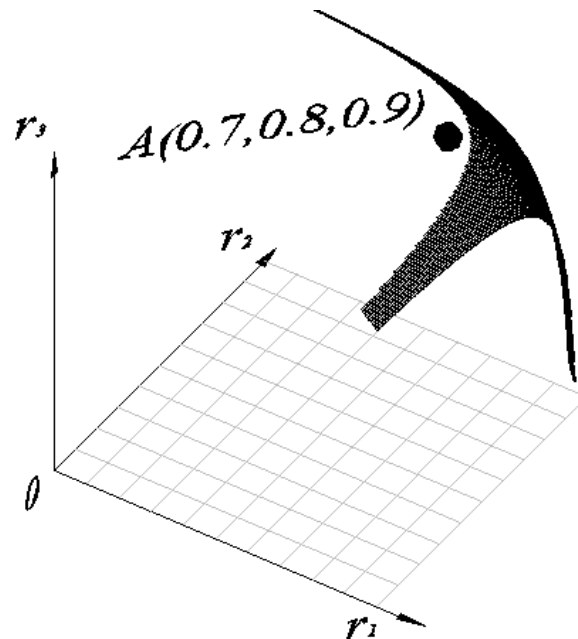


Рис. 4. Взаємне розташування точки стану надійності системи з резервованою трикутною структурою та поверхні $R^* = 0.95$

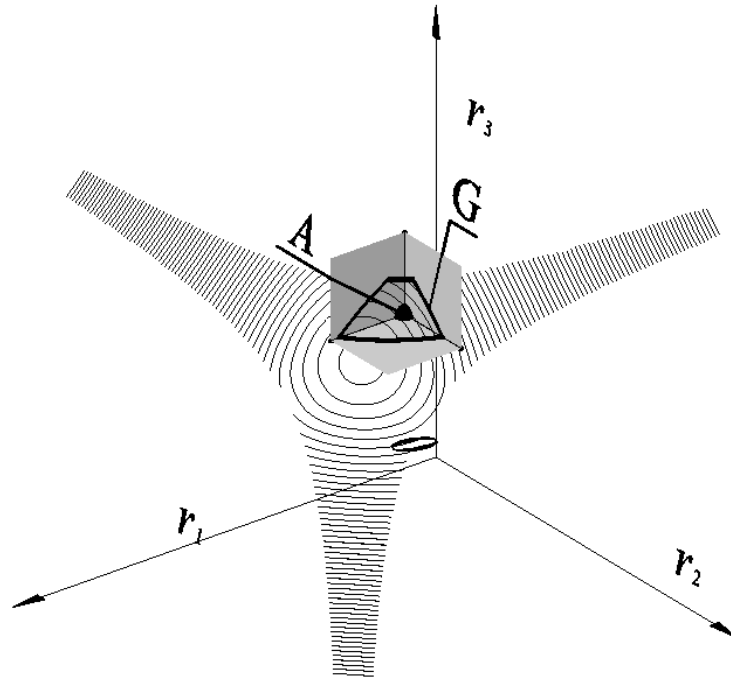


Рис. 5. Область пошуку точки, що відповідає мінімальному збільшенню надійності до заданого рівня

Мінімальне збільшення надійності для забезпечення заданого рівня R^* буде реалізовано зі збільшенням надійності 2-х ділянок, що мають більшу надійність $p_i = \max(p_1, p_2, p_3)$.

Висновок. Графічне моделювання відображає повну картину стану структурної надійності систем. Зі збільшенням необхідного рівня надійності структури із 2-х ділянок збільшується величина необхідного приросту надійності одночасно 2-х ділянок у порівнянні з величиною необхідного приросту надійності однієї ділянки. Мінімальне збільшення структурної надійності до заданого рівня R^* досягається збільшенням надійності ділянок з більшою надійністю. Одночасне збільшення надійності двох ділянок потребує більшого необхідного сумарного приросту їх надійності, ніж необхідний приріст надійності однієї ділянки.

Література

1. Reinschke K. Application of Graph Theory for Reliability Analysis / K. Reinschke, I. Ushakov. – Berlin: Verlag Technik, 1987. – 209 pp.
2. Надежность технических систем: Справочник [под ред. И. А. Ушакова]. – М.: Радио и связь, 1985. – 606 с.
3. Усенко В. Г. Раціональне нормування надійності елементів в системах з паралельно-послідовними структурами / В. Г. Усенко // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2012. – Вип. 46. – С.578–582.

4. Усенко В. Г. Границы эффективности повышения структурной надежности в резервируемых инженерных сетях / В. Г. Усенко, И. С. Усенко // Сборник научных трудов SWorld. – Иваново: МАРКОВА АД, 2013. – Вып. 4. – Том 13. – С.78-83.
5. Каминский Е. А. Звезда, треугольник, зигзаг [4-е издание, переработанное] / Е. А. Каминский. – М.: Энергия, 1977. – 104 с.

МИНИМАЛЬНОЕ УВЕЛИЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕЕ ЗАДАННОГО УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ

Усенко В.Г., Погорелый Д.Ф., Усенко И.С.

В работе отражены результаты исследования минимального увеличения надежности элементов системы для обеспечения заданного ее уровня надежности. Построена графическая модель надежности системы из трех элементов, что имеет структурный резерв. Приведены примеры нахождения минимального прироста значений надежности элементов для обеспечения заданного уровня структурной надежности системы.

Ключевые слова: структурное моделирование, надежность системы с разной надежностью элементов.

MINIMUM INCREASE OF RELIABILITY OF ELEMENTS OF SYSTEM FOR PROVIDING OF HER SET LEVEL OF RELIABILITY

Usenko V., Pogorely D., Usenko I.

This paper shows the results of research the minimum increase of reliability of elements of the system for providing it's set level of reliability. The graphical model of reliability the system, created from three elements is built. The system has structural reserve. There are examples of finding of minimum increase the value of reliability of elements for providing the set level of structural reliability.

Keywords: structural design, failsafety with different reliability of elements.