УДК 681.3.06(045)

А. П. Голік, асп.

ВИЯВЛЕННЯ І ЛОКАЛІЗАЦІЯ ВІДМОВ РЕЗЕРВОВАНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

Інститут аерокосмічних систем управління НАУ, e-mail: iesy@nau.edu.ua

Розглянуто спосіб виявлення та локалізації відмов резервованих технічних систем, який можна використовувати під час стендових випробувань відмовостійких систем керування таких, як бортові системи автоматичного заходу на посадку та приземлення літаків.

Ключеві слова: резервована технічна система, мажоритарна система, стан об'єкта, ймовірність відмови, локалізація відмови.

Вступ. Філософію технічного обслуговування бортових систем автоматичного управління сучасних літаків цивільної авіації побудовано на бажанні мати плановані інтервали обслуговування. Очевидно, що для ефективного досягнення цієї мети необхідно встановлювати зони утримання несправності по всій архітектурі системи, тобто в разі використанні такого підходу виявлені несправності ізолюються до даної зони утримання. Інформація про відмови (в деяких випадках невидимі екіпажу) виводиться на запит персоналу технічного обслуговування, що дозволяє планувати технічне обслуговування на основній базі. Резервування (на функціональному рівні або резервування компонентів) звичайно ж необхідне, проте упор робиться на набагато ширшому використанні техніки утримання відмови, аби дозволити іншим компонентам в системі продовжувати функціонувати за наявності несправності. Зокрема, мажоритарна система резервування (резервування з голосуванням за більшістю) дозволяє системі, яка, принаймні, тричі прорезервована, допускати одну відмову. Вихідний сигнал кворум-елемента збігається із сигналом більшості каналів резервування. Для працездатності стану системи необхідна правильна робота більшості каналів.

Постановка завдання. Відмова всієї системи настає, якщо кількість відмов $y \ge m = \frac{n+1}{2}$, отже, для $n = 3$, $m = 2$. За такого резервування (для $n = 3$) логічне перетворення сигналів здійснюється відповідно до рис. 1.

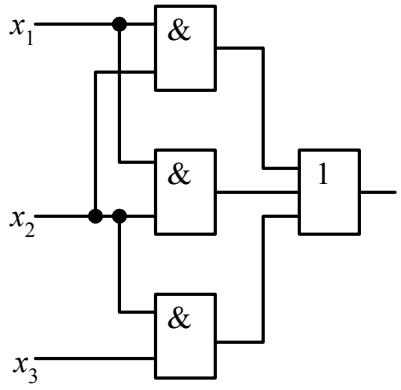


Рис. 1. Схема перетворення сигналів

Імовірність відмови такої системи визначають як [1]

$$Q = \sum_{z=m}^{n} C_n^z q^z (1-q)^{n-z},$$

де q – імовірність відмови одного каналу резервування; C_n^z – кількість поєднань з n по z. Для рівнонадійних каналів

$$Q = \sum_{z=2}^{3} C_n^z q^z (1-q)^{3-z} = C_3^2 q^2 (1-q) + C_3^3 q^3 = 3q^2 - 2q^3 .$$

Якщо імовірність відмови каналу $q = 3 \cdot 10^{-5}$ для бортових відмовостійких систем керування, то $Q \approx 3q^2 \approx 10^{-9}$. Зокрема, імовірність повної функціональної відмови всієї системи керування відповідно до стандарту за цілісністю системи має бути малоймовірною ($Q = 10^{-9}$).

Важливу роль відіграє процес випробувань бортових відмовостійких систем керування високої надійності. Нижче пропонується спосіб виявлення і локалізації відмов резервованої системи керування, який можна використовувати на етапі прискорених стендових випробувань, що дозволяє оцінити міру надійності, а також готовність системи керування до експлуатації.

Розв'язання задачі. Технічний стан об'єкта керування визначається вектором стану $\vec{Z}(z_1, z_2, ..., z_m)$. Координатами вектора є числові значення випадкового процесу, який відбувається в об'єкті керування. Очевидно, що за наявності відмови в будь-якому каналі резервування змінюються статистичні характеристики процесу, наприклад математичне сподівання або мода деяких координат. Наприклад, вихід з ладу аналого-цифрового перетворювача може означати, що спотворюється окремий біт інформації двійкового числа. Це приводить до того, що окремі числові значення вимірюваних величин надходять без спотворень, але деякі мають похибку в якому-небудь розряді. В цілому це призводить до зміщення математичного сподівання.

Оскільки процеси випадкові, то для виявлення відмови необхідно перевіряти статистичну гіпотезу. В загальному випадку необхідно визначити критичну область *G* *n*-вимірного простору таку, що в разі потрапляння в неї вектора стану $\vec{Z}$ можна зробити висновок про наявність відмови з імовірністю α. Очевидно, що область *G* має бути такою, щоб імовірність потрапляння в неї вектора $\vec{Z}$ за відсутності відмов була мінімальною.

Таку задачу можна розв'язати за допомогою теореми [2] (за умови нормального розподілу суми $\frac{1}{n}\left|z_i^{(1)} + z_i^{(2)} + ... + z_i^{(n)}\right|$ з параметрами (μ, σ^2)): критична область *G* рівня α для перевірки гіпотези μ = 0 проти альтернативи $|\mu| = b > 0$ визначається нерівністю

$$\frac{1}{n}\left|z_i^{(1)} + z_i^{(2)} + ... + z_i^{(n)}\right| > \tau\sigma_i , \qquad (1)$$

де $\tau \in \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$ – квантиль стандартного нормального розподілу; σ_i– середньоквадратичне відхилення *i*-го параметра (*i*-ї координати вектора стану).

Припущення нормальності розподілу суми випадкових величин традиційне, якщо вважати доданки незалежними або слабкокорельованими. Параметр *b* треба вибирати з апріорних міркувань. Він характеризує допустиме відхилення вимірюваних величин, якщо немає відмови.

За традиційного трикратного резервування схему пристрою виявлення та локалізації відмови показано на рис. 2. Кола скидання та встановлення початкового стану окремих блоків на схемі не показані. Кожний з блоків віднімання, вимірювання середньоквадратичного відхилення, вагового суматора, порівняння, помножувача, збігу та тригерів містять *m* відповідних схем за кількістю інформативних параметрів, що визначають стан об'єкта керування.

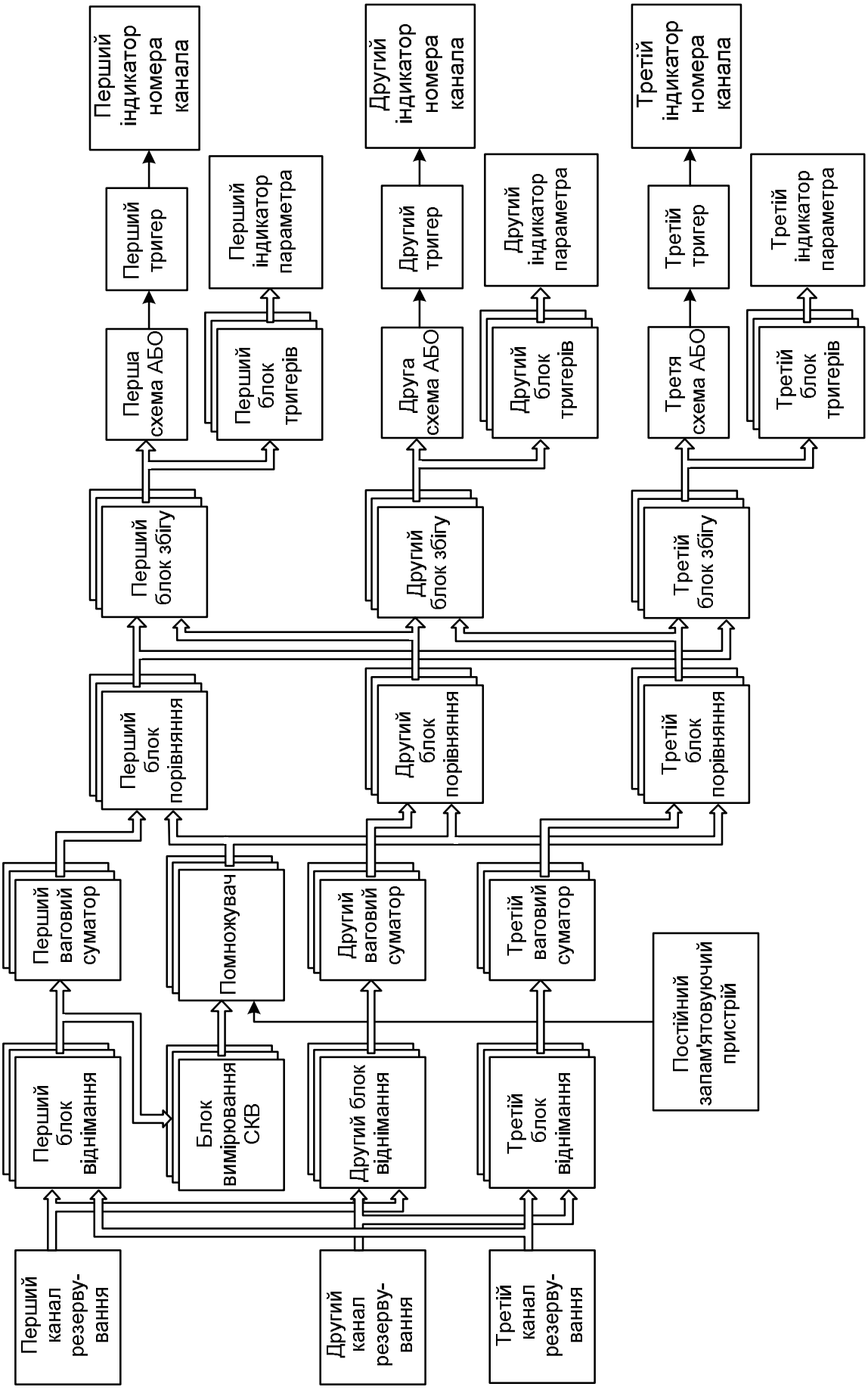


Рис. 2. Блок-схема пристрою виявлення і локалізації відмови резервованої технічної системи:
СКВ – середньоквадратичне відхилення

На виході постійного запам'ятовувального пристрою значення сигналу пропорційне значенню квантиля τ нормального розподілу для заданого рівня α, тому на виходах помножувача формуються сигнали пропорційні добутку $\tau\sigma_i$. На виходах блоків віднімання формуються різниці $\vec{Z}_{12} = \vec{Z}^{(1)} - \vec{Z}^{(2)}$, $\vec{Z}_{13} = \vec{Z}^{(1)} - \vec{Z}^{(3)}$, $\vec{Z}_{23} = \vec{Z}^{(2)} - \vec{Z}^{(3)}$ відповідних компонент вектора між каналами резервування у задані моменти часу. Пристрої, що вимірюють одну й ту ж величину, на виході повинні мати числове значення цієї величини з невеликою випадковою похибкою, яка характеризується різницями $\vec{Z}_{12}$, $\vec{Z}_{13}$, $\vec{Z}_{23}$, тому логічно припустити рівність нулю їх математичного сподівання. У вагових суматорах різниці нагромаджуються у вигляді вибірки для кожного параметра (координати) векторів $\vec{Z}_{12}$, $\vec{Z}_{13}$, $\vec{Z}_{23}$ і обчислюються середні арифметичні відповідно до рівняння (1), які порівнюються у блоках порівняння з добутком $\tau\sigma_i$.

Якщо один з пристроїв вимірювання створює значні відхилення в яких-небудь виміряних значеннях, то математичне сподівання двох із векторів $\vec{Z}_{12}$, $\vec{Z}_{13}$, $\vec{Z}_{23}$ не буде дорівнювати нулю.

Таким чином, відповідно до алгоритму на виході відповідних схем порівняння формується імпульс, якщо виконується нерівність (1), що свідчить про наявність відмови у відповідному каналі, наприклад, в першому. Якщо відмова відбулася в першому каналі резервування, то імпульси з'являються на виходах відповідних схем порівняння у першому та другому блоках порівняння, які з'єднані з першим каналом (через різниці $\vec{Z}_{12}$, $\vec{Z}_{13}$). В цьому випадку на виході відповідної схеми збігу першого блока збігу з'являється імпульс, який через елемент АБО «перекине» перший тригер в інший стан, за якого вмикається індикатор номера каналу, де відбулася відмова.

Крім того, цей же імпульс з виходу першого блока збігу «перекидає» відповідний тригер в першому блоці тригерів, який вказує відповідний номер параметра, за яким відбулася відмова, в першому індикаторі параметра.

Висновок. Ефективність використання пропонованого способу та пристрою, який реалізує цей спосіб, полягає в тому, що відмова будь-якого каналу резервованої системи виявляється з високою достовірністю, яка зменшує імовірність хибної тривоги (імовірність похибки другого роду), а можливість локалізації відмови дозволяє оперативно замінювати блок, який відмовив.

Пропонований пристрій може бути використаний під час стендових випробувань (в тому числі під час прискорених випробувань на надійність) відмовостійких систем керування.

Список літератури

1. *Гнеденко Б. В.* Математические методы в теории надежности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьёв. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
2. *Гаек Я.* Теория ранговых критериев / Я. Гаек, З. Шидак– М.: Наука, 1971. – 376 с.

А. П. Голік

Обнаружение и локализация отказов резервированной технической системы

Рассмотрен способ обнаружения и локализации отказов резервированных технических систем, который можно использовать при стендовых испытаниях отказоустойчивых систем управления таких, как бортовые системы автоматического захода на посадку и приземление самолетов.

A. P. Golik

Detection and localization of failures of the reserved technical system

The method of detection and localization of failures of the reserved technical systems is proposed, which can be used during the stand tests of fault–tolerable control system of such, as proposed automatic landing system of airplanes.