

УДК 621.317.795

М. В. Лобур, Р.Д. Іванців

Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра САПР

## ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ І ТОЧНОСТІ АМПЛІТУДНО-ЧАСОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВБУДОВАНИХ МІКРОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

© Лобур М. В., Іванців Р.Д., 2003

**Розглядається питання використання резервованої апаратури для одночасного підвищення надійності і точності роботи вимірювальних перетворювачів. Наведено декілька прикладів, в яких резервована апаратура використовується для підвищення точності вимірювань за рахунок просторового осереднення ряду результатів перетворень.**

**Traditional reliability rise method is reserving of apparatus. Reserving can be "cold" or "hot". In both cases there must be an arbiter (device or operator), which determines a technical apparatus state, chooses a most workable channel out of the reserved ones and includes this channel. Such methodology of reliability rise produces the tangible results, but has some peculiarities. The intervention of arbiter is also necessary at faults, and there will be momentary function execution break with reserved device at reserve switching.**

Традиційним методом підвищення надійності є резервування апаратури. Резервування може бути “холодним” або “гарячим”. В обидвох випадках повинен бути арбітр (пристрій або оператор), який визначає технічний стан апаратури, вибирає найбільш працездатний канал з числа резервованих і вмикає цей канал. Така методологія підвищення надійності дає реальні результати, але має деякі особливості. Необхідне втручання арбітра, і при відмовах і перемиканнях резерву на короткий час резервованій пристрій перестає виконувати свої функції.

Якщо такі недоліки є допустимими, то традиційні методи резервування можуть бути прийняті для реалізації. Однак в ситуації, коли перелічені недоліки є вирішальними, така апаратура не може використовуватись, і тоді треба шукати нові методи і технічні рішення, які не мають таких недоліків. Це перш за все проблема труднодоступності. Труднодоступність в прямому значенні може виникати при необхідності забезпечення високої надійності для сильно віддалених об'єктів (штучні супутники Землі, безпілотна авіація, ракетна техніка), а також і для об'єктів, які розташовані поруч. Наприклад, великі інтегральні схеми (ВІС), надвеликі інтегральні схеми (НВІС) — через неможливість виконувати ремонтні роботи під час виготовлення чи після завершення виготовлення належать до труднодоступних, ремонтнепридатних.

Все вищесказане стосується і мікроелектромеханічних пристроїв (МЕМП), які виконуються як великі інтегральні схеми (ВІС-МЕМП). Враховуючи високі вимоги до таких пристроїв з надійності і достовірності роботи, в зв'язку з важливими їх функціональними задачами та їх високою вартістю забезпечення їх надійності і достовірності роботи є важливими і дуже актуальними задачами.

Спроби забезпечити відмовостійкість в пристроях і системах робилися ще у ЕОМ першого покоління, в яких використовувались, в основному, різноманітні засоби і методи резервування з невисокою кратністю резерву: загальне резервування на рівні процесорів, резервування окремих функціональних вузлів, інформаційне резервування даних і програм, які і тепер використовуються в сучасних системах.

Відмовостійкість, наприклад, в системах “SAPO”, “SAGE” забезпечувалась потрійним постійним резервуванням модулів процесора і інформаційним резервуванням даних, які зберігаються в запам'ятовуючих пристроях (ЗП).

Велике значення при забезпеченні відмовостійкості має як сама резервована апаратура, так і додаткова апаратура для визначення працездатного каналу і під'єднання його для формування вихідного сигналу. Якщо така апаратура складна функціонально і громіздка в виконанні – тоді ефективності від резервування може не бути: резервування буде зменшувати надійність.

Розглянемо на прикладі амплітудно-часових перетворювачів метод логічного резервування і його ефективність. Структурна схема такого перетворювача, який виділяє “середній” результат з  $n$  перетворених значень, наведена на рис. 1 [1].

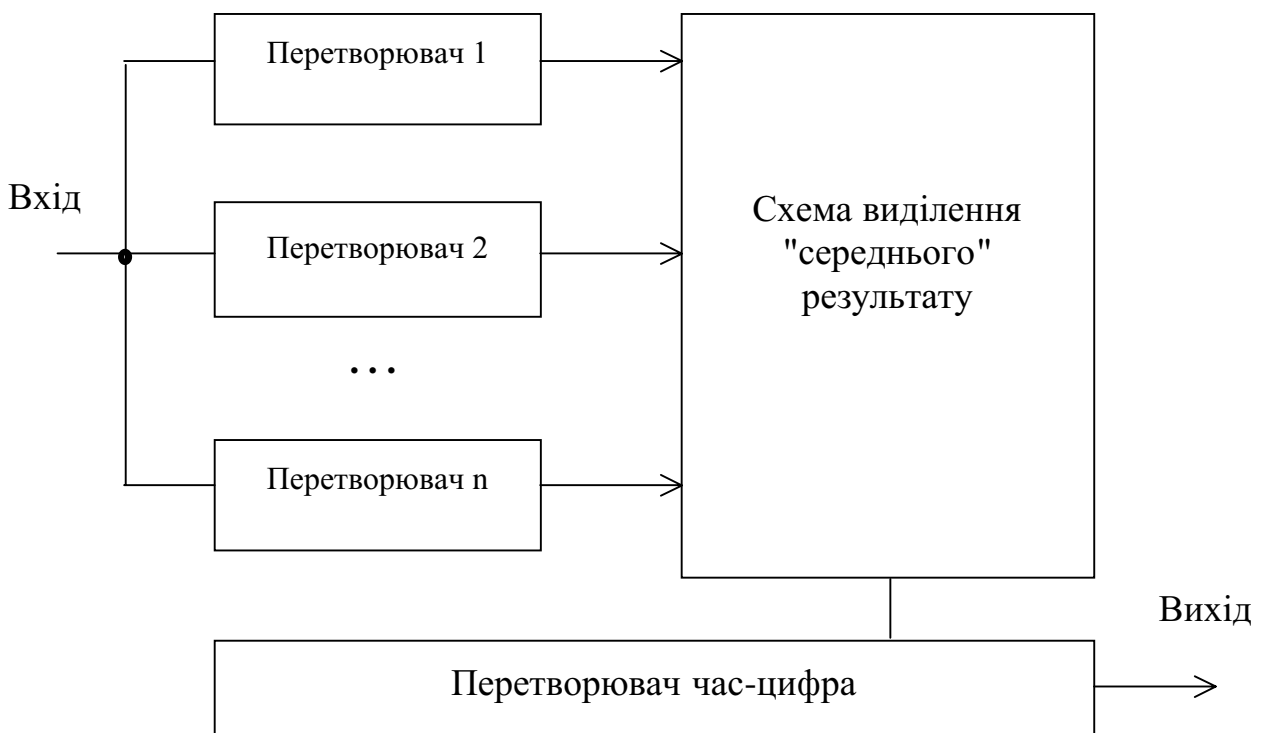


Рис. 1. Структурна схема перетворювача, який виділяє “середній” результат з  $n$  перетворених значень

Розглянемо роботу тієї частини схеми, яка формує вихідний результат. Схема виділення “середнього” результату з допомогою логічних схем формує вихідний результат таким чином. Аналіз працездатності кожного окремого перетворювача не виконується, схема вибирає як найбільш достовірний результат той, який найбільш віддалений від екстремальних. Якщо всі  $n$  різні, то середній результат буде найбільше відрізнятися від екстремальних. Якщо  $(n + 1) : 2$  результатів перетворень будуть мати однакові значення, в тому числі і екстремальне, то це значення і буде результуюче.

Для простоти викладення розглянемо такий пристрій для  $n = 3$ . Структурна схема перетворювача, який виділяє “середній” результат для  $n = 3$ , наведена на рис. 2.

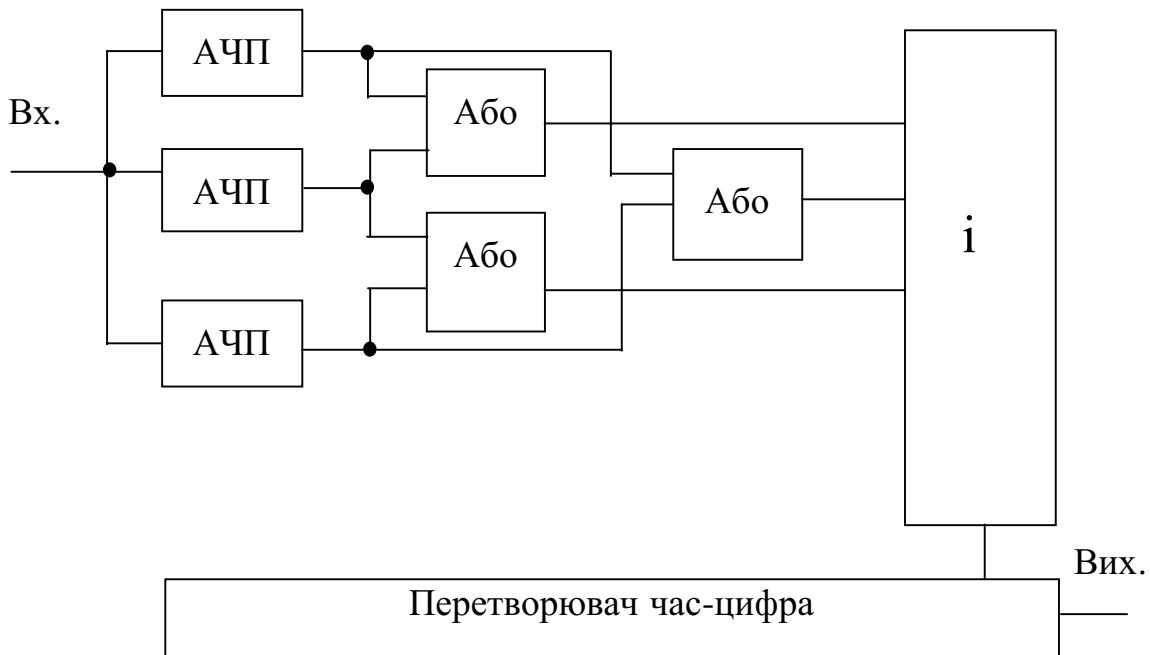


Рис. 2. Структурна схема перетворювача, який виділяє “середній” результат для  $n = 3$

Як видно з наведеного прикладу схема, яка “керує” резервом, дуже проста і містить чотири логічні елементи. Простота цієї схеми забезпечує їй високу надійність і високу надійність пристрою загалом.

Якщо ймовірність безвідмовної роботи однакова для всіх АЧП і є  $P_i$ , то для  $n = 3$  результуюча ймовірність буде

$$P_{n=3} = P_1 P_2 (1 - P_3) + P_2 P_3 (1 - P_1) + P_1 P_3 (1 - P_2) + P_1 P_2 P_3. \quad (1)$$

Якщо  $P_1 = P_2 = P_3 = P$ , то  $P_{n=3} = 3P^2 - 2P^3$ .

З точки зору надійності розглянута структурна схема має сенс у випадку, коли ймовірність безвідмовної роботи пристрою буде більша за ймовірність роботи одного перетворювача:

$$P_{n=3} > P_i, \quad 3P^2 - 2P^3 > P.$$

Звідси виходить, що структурна схема з логічним резервуванням перетворювачів має сенс для величин  $P > 0,5$ . Наприклад, для  $P = 0,9$   $P_{n=3} = 0,972$ .

Для  $n = 5$   $P_{n=5} = 6P^5 - 15P^4 + 10P^3$ . При  $P = 0,9$   $P_{n=5} = 0,9914$ .

Ймовірність безвідмовної роботи пристрою в загальному вигляді можна записати

$$P_n = 1 - C^n P^0 (1 - P)^n - C^{n-1} P^1 (1 - P)^{n-1} - C^{n-2} P^2 (1 - P)^{n-2} - \dots \\ \dots - C^{(n+1):2} P^{(n-1):2} (1 - P)^{(n+1):2} = 1 - (1 - P)^n - C^{n-1} P (1 - P)^{n-1} - \\ - C^{n-2} P^2 (1 - P)^{n-2} - \dots - C^{(n+1):2} P^{(n-1):2} (1 - P)^{(n+1):2}. \quad (2)$$

Розглянутий вище метод резервування є перспективним. Такі пристрої мають просту конструкцію, підвищену надійність роботи і достовірність результату перетворення. Особливістю такого резервування є те, що резервованій пристрій зберігає працездатність при більшій частині працездатних перетворювачів. Це означає, що кількість перетворювачів, які відмовили, може бути від 1 до  $(n - 1):2$  і у такому діапазоні відмов

працездатність пристрою буде зберігатись. І тільки тоді, коли кількість перетворювачів, які відмовили, буде більша, ніж  $(n + 1):2$ , тоді пристрій загалом буде непрацездатний.

Особливістю пристрою, який наведений на рис. 3 є те, що навіть при  $(n + 1):2$  несправних перетворювачах схема зберігає працездатність [2]. Якщо працює хоча би один перетворювач і формується хоча би один сигнал із масиву сигналів 1, 2, 3, ... n, то цей сигнал через логічні схеми Або, І надходить на перетворювач час-цифра.

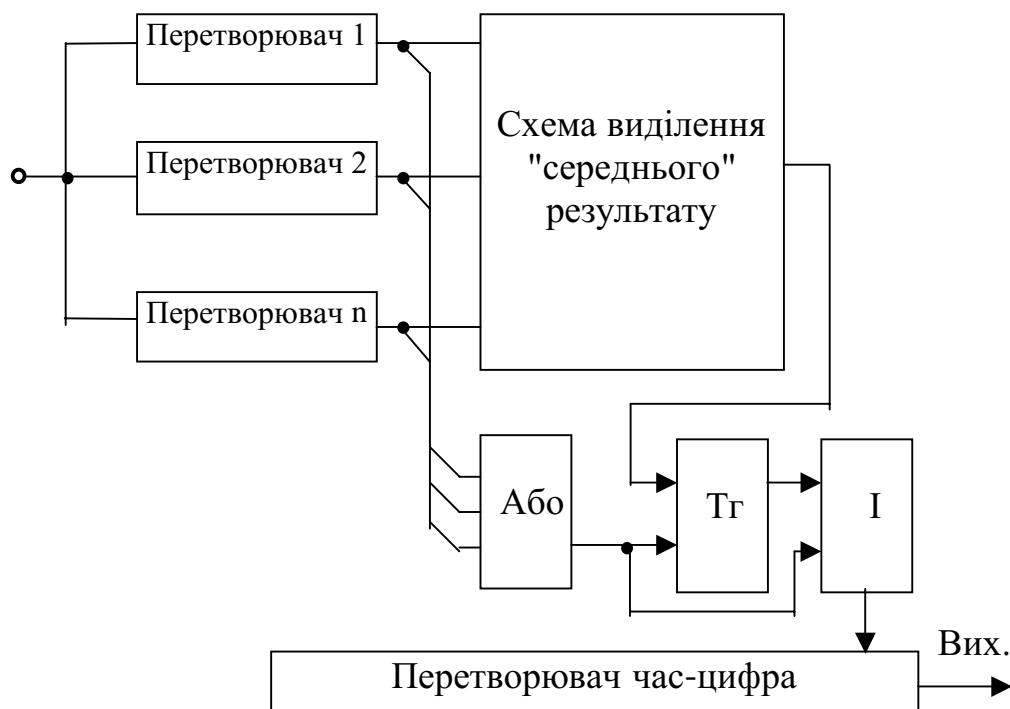


Рис. 3. Структурна схема перетворювача, який виділяє "середній" результат з n перетворених значень з покращеними показниками надійності

Ймовірність безвідмовної роботи такого пристрою значно збільшується і становить

$$P_{\Sigma} = 1 - (1 - P)^n, \quad (3)$$

де n — кількість перетворювачів.

Резервовані пристрої мають ще одну корисну властивість. При їх роботі підвищується достовірність результату перетворення, зменшується вплив випадкових похибок на результат роботи.

Розглянемо, як змінюється достовірність роботи при різних законах розподілу похибок.

### Похибка дискретна, рівномірна

Якщо можливі величини похибок перетворювачів можуть набувати значень a, b, c і всі вони рівномірні, при чому a = c і мають різні знаки, a b = 0, то для одного перетворювача ймовірність відсутності похибки визначимо так. Кількість можливих комбінацій буде  $3^3 = 27$  і 7 з них дають похибку a, 13 – b, 7 – c. Тобто, ймовірність відсутності похибки дискретності підвищується до 0,49, що дає збільшення її в 1,48 рази.

На рис. 4 наведені діаграми, які показують підвищення ймовірності відсутності похибки для n = 3.

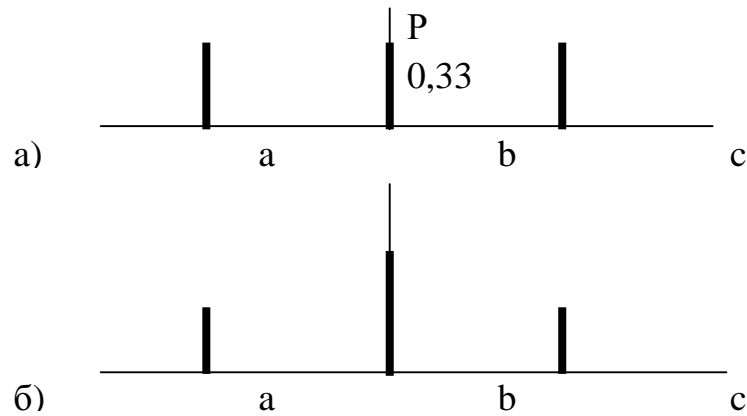


Рис. 4. Діаграма, яка характеризує підвищення ймовірності відсутності похибки:  
 а) для одного перетворювача, б) для резервованого при  $n = 3$

Для дослідження достовірності вихідного результату перетворення при зміні похибок за законом рівномірного і нормального розподілу розроблена математична модель, яка наведена на рис. 5.

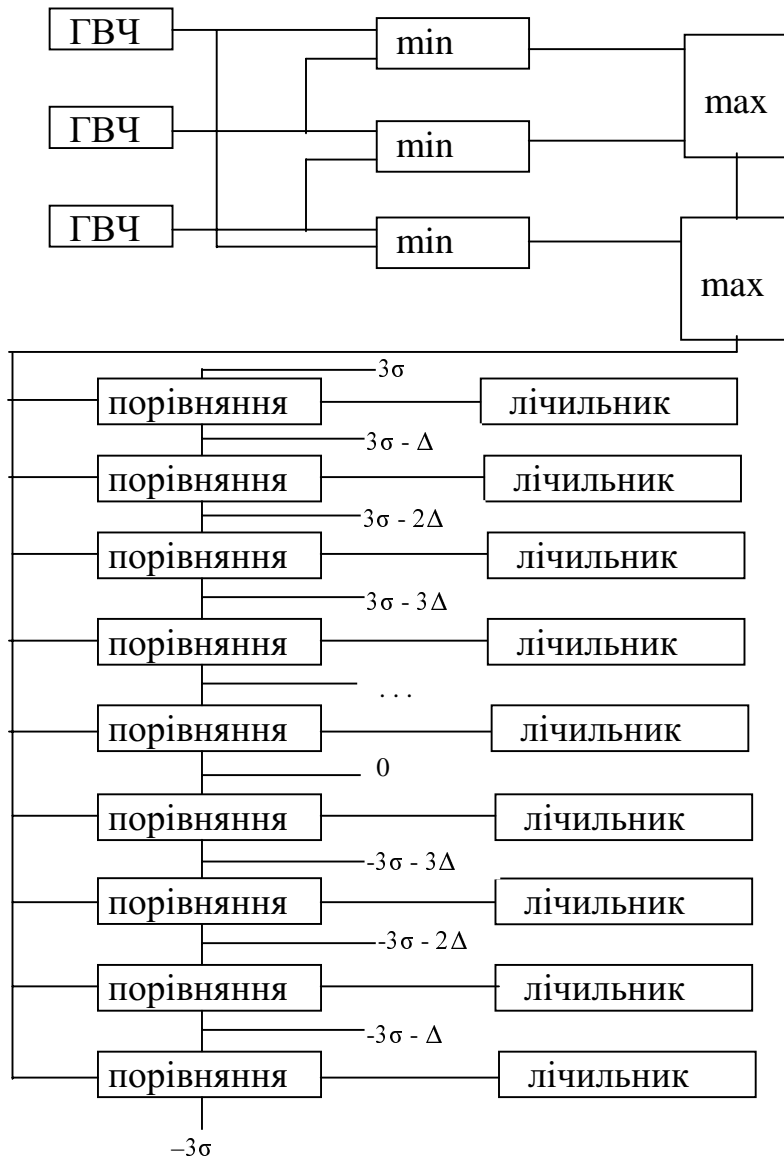


Рис. 5 Математична модель для дослідження випадкових похибок для  $n = 3$

Результати моделювання підтверджують більшу достовірність результату роботи пристрою з логічним резервуванням основних його складових елементів.

Визначимо підвищення достовірності результату роботи пристрою з логічним резервуванням в загальному виді для  $n = 3$ .

Якщо позначити через  $\gamma_i$  достовірність результату роботи одного перетворювача, то для пристрою з резервуванням результат буде достовірний в таких випадках:

- всі три перетворювачі дають достовірний результат;
- два перетворювачі дають достовірний результат, а один недостовірний;
- один перетворювач дає достовірний результат, два - недостовірний, але їх результати видані з похибками різних знаків.

Звідси можна записати:

$$\begin{aligned} \gamma_3 = & \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 + \gamma_1 \gamma_2 (1 - \gamma_3) + \gamma_2 \gamma_3 (1 - \gamma_1) + \gamma_1 \gamma_3 (1 - \gamma_2) + \\ & + A[\gamma_1(1 - \gamma_2)(1 - \gamma_3) + \gamma_2(1 - \gamma_1)(1 - \gamma_3) + \gamma_3(1 - \gamma_1)(1 - \gamma_2)]. \end{aligned} \quad (4)$$

Якщо допустити, що  $\gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = \gamma$ , то  $\gamma_3 = 1,5 \gamma - 0,5 \gamma^3$ .

Аналогічно можна визначити підвищення достовірності результату для

$$n = 5. \quad \gamma_5 = 0,375 \gamma^5 - 1,25 \gamma^3 + 1,875 \gamma. \quad (5)$$

З наведеного вище можна зробити висновок. Логічне резервування є ефективним, надійним і простим в реалізації методом підвищення надійності і достовірності резервованої апаратури. Такий метод доцільно використовувати в тих випадках, коли втручання оператора неможливе. Основна перевага такого методу в тому, що тут відсутні складні методи і засоби визначення працездатних елементів і їх підключення в робочий стан. Такий метод можна ефективно використовувати для побудови мікросхем цифрової і аналогової техніки, для побудови відмовостійких ВІС, НВІС і ВІС-МЕМП (мікроелектромеханічних пристроїв).

1. Дедык Г.С., Иванцов Р.-А.Д. Импульсный вольтметр. Авт. свид. СССР, кл. G 01, r 1 / 14, № 416620. 2. Дедык Г.С., Иванов В.И., Иванцов Р.-А.Д. Импульсный вольтметр. Авт. свид. СССР, кл. G 01, r 1 / 14, № 543878. 3. Математическая статистика / Под ред. А.М.Длина. — М., 1975.