DOI 10.15276/imms.v16.no1.197
УДК 681.2

Informatics and Mathematical Methods in Simulation
Vol.16 (2026), No. 1, pp. 197-203

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ЗАСОБІВ

Є.В. Шендрик[1], О.В. Головачова[2], А.В. Ємець[3]

Національний університет «Одеська політехніка»
1, Шевченка пр., Одеса, 65044, Україна
Emails: e.v.shendryk@op.edu.ua[1], holovachova@op.edu.ua[2], 6849765@stud.op.edu.ua[3]

У роботі проаналізовані сучасні методи визначення надійності апаратних засобів з метою визначення найбільш істотних факторів, що впливають на даний показник, а саме наробітку на відмову (частоти відмов), інтенсивності відмов, терміну служби пристрою. Як основні методи визначення надійності апаратних засобів використовуються: спрощений метод визначення надійності, метод розрахунку надійності пристроїв при дифузійному законі наробітку до відмови, метод розрахунку надійності пристроїв при експонентному законі наробітку до відмови. Приводиться порівняльна характеристика реально отриманих даних з теоретичними результатами всіх описаних у роботі методів. Робиться висновок, що узагальнюючий метод розрахунку надійності є самим оптимальним при отриманні показника середнього наробітку до відмови та доступним й ефективним для розрахунків показників надійності. Зазначається, що крім імовірнісних характеристик, можливе отримання вартісно-ймовірносних характеристик приладу, що є основою розробок методик розрахунку оптимального показника ціна/надійність.

Ключові слова: тензометрія, апаратні засоби, надійність, методи визначення надійності, напрацювання на відмову

Вступ. На сьогодні існують загальні підходи до розрахунку надійності, не з огляду на конкретні особливості виробу, який розробляється або є вже розробленим. На жаль, не існує універсального методу, який би можна було застосувати до будь-якого типу пристроїв: цифрових, аналогових, гібридних. Крім того, необхідно враховувати й структуру зв'язку елементів у пристрої, що практично для кожного пристрою є індивідуальною. Підсумувавши вище сказане, можна із упевненістю затверджувати, що розрахунок надійності конкретного пристрою повинен здійснюватися індивідуально, з обліком всіх його конструктивних особливостей і використовуваної елементної бази. Із чого можна зробити висновок, що розрахунок надійності АЦП який застосовується для перетворення сигналів тензодатчиків, як при зважуванні об'єктів, що рухаються, так і для визначення натягу тросів, що підтримують ТВЕЛ на атомній станції, є новим та без сумніву актуальним завданням. Цікавим так само представляється й зіставлення розрахованої величини надійності з вартістю виробу, тобто з вартістю використаної елементної бази, класом виготовлення друкованої плати, якістю пайки, якістю корпусу, де буде розміщений готовий пристрій (водо-, теплоізоляція) і т.п.

Мета роботи. підвищення точності визначення надійності апаратних засобів для тензометрії Для досягнення цієї мети передбачається вирішити такі задачі:

- порівняти характеристики різних методів визначення надійності апаратних засобів;
- на основі висновків розробити узагальнюючий метод визначення надійності апаратних засобів для тензометрії.

Основна частина. Дослідження можливих методів визначення надійності апаратних засобів для тензометрії показало, що найбільш доцільними можуть бути наступні методи [1-5]:

Спрощений метод визначення надійності. До переваг даного методу без сумніву відносять простоту проведення розрахунків, а, як наслідок цього, рахують скорочення

часу, необхідного для розрахунків, трудомісткість розрахунків, зниженої в декілька разів. Спрощений метод визначення надійності апаратних засобів для тензометрії не вимагає значної кількості вхідних даних, що спрощує пошук необхідних параметрів.

Як недоліки виділяють неможливість розрахунку інтенсивності відмов, середнього наробітку на відмову й імовірності безвідмовної роботи з урахуванням механічних режимів роботи. Також до недоліків даного методу можна віднести те, що неможливо провести розрахунок надійності для кожної мікросхеми окремо, що знижує вірогідність отриманих результатів.

Метод розрахунку надійності пристроїв при дифузійному законі (DN-розподіл) наробітку до відмови. Безсумнівними перевагами даного методу є наступні: можливість розрахунку надійності пристрою з урахуванням безлічі факторів, можливість проведення розрахунку як для пристрою в цілому, так і для його компонентів, можливість одержання результатів у режимі зберігання апаратного засобу, можливість проведення розрахунку надійності у випадку, коли інтенсивність відмов елементів і компонентів є функцією від часу, використовується на остаточному рівні розрахунку надійності пристрою.

Однак, метод розрахунку надійності апаратних засобів при дифузійному законі наробітку до відмови має й ряд недоліків: трудомісткість розрахунків критеріїв надійності, через необхідність при розрахунку мати велику кількість вхідних даних, виникають складнощі пошуку первинних критеріїв, що іноді є комерційною таємницею фірми-виробника. У багатьох випадках (для багатьох виробів) немає ряду необхідних статистичних даних, отриманих при експлуатації або методом експерименту в лабораторних умовах, неможливість розрахунку комплексних показників, що характеризують готовність й ефективність використання аналого-цифрового перетворювача СИМ-А04.07.1.

Метод розрахунку надійності пристроїв при експонентному законі наробітку до відмови. Переваги наступні: якщо пристрій відробив, припустимо час τ без відмов, зберігши λ = const, то й подальший розподіл часу без роботи буде таким, як у момент першого включення; при λ = const значно спрощується розрахунок надійності апаратного засобу для тензометрії й інтенсивність найбільше часто використовується як вхідний показник надійності елемента або схеми в цілому в інших методах розрахунку надійності пристроїв; за допомогою даного методу визначення надійності досить легко вибирати інтервали, через які варто робити профілактичні роботи, що є необхідним для збереження високої надійності роботи аналого-цифрового перетворювача; експонентний метод дозволяє обчислити не тільки основні параметри надійності, такі як інтенсивність відмов, наробіток на відмову, імовірність безвідмовної роботи виробу протягом певного інтервалу часу, але й наступні важливі характеристики: середній термін зберігання й інтенсивність відмов виробу при зберіганні; метод експонентного розподілу часто застосовується для апріорного аналізу, тобто дозволяє не дуже складними розрахунками одержати прості співвідношення параметрів; можливість стикування з іншими методами розрахунку надійності апаратних засобів.

Недоліки виявлені такі: припущення про експонентний розподіл інтервалу безвідмовної роботи означає, що пристрій не старіє; даний метод використовується на стадіях початкового й орієнтовного рівнях розрахунку надійності виробу; трудомісткість пошуку вхідних даних.

На підставі проведених досліджень й аналізу всіх достоїнств й недоліків кожного з методів можна зробити наступні попередні висновки:

- всі методи визначення надійності апаратних засобів для тензометрії проводять розрахунок повної основної номенклатури показників надійності, а також розрахунок надійності пристрою, схема розрахунку надійності якого містить

різні види з'єднання складових частин і способи контролю їхньої працездатності;

- розглянуті вище методи розрахунку надійності апаратних засобів для тензометрії доступні як фахівцям в області надійності, так і безпосередньо інженерам-схемотехнікам і конструкторам;
- для обґрунтування вибору методу розрахунку надійності пристрою необхідна велика кількість відмов (статистичних даних) з поясненням фізичних процесів, що відбуваються в пристрої перед відмовою;
- при різних законах розподілу наробітку до відмови, значення середнього наробітку до відмови, інтенсивності відмов й імовірності безвідмовної роботи, обчислені по тим самим вхідним даним, можуть значно відрізнятися. Тому значення числових характеристик сильно залежать від типу передбачуваного розподілу наробітку до відмови. Отже, питанню вибору методу визначення надійності апаратного засобу для тензометрії необхідно приділяти особливу увагу з відповідним доказом наближення теоретичних й експериментальних даних;
- проаналізувавши вище викладені недоліки й переваги методів визначення надійності апаратних засобів для тензометрії, дійдемо висновку про доцільність розробки узагальнюючого методу імовірнісної оцінки надійності аналого-цифрового перетворювача, що включає не тільки достоїнства розглянутих методів, але й дозволяє додатково виявити економічну складову. Розрахунок надійності апаратного засобу для тензометрії за допомогою даного методу повинен бути максимально об'єктивним й достовірним.

Узагальнюючий метод визначення надійності апаратних засобів для тензометрії. Необхідність розробки даного методу виходить із аналізу вище описаних методів визначення надійності, їхніх достоїнств і недоліків. Тому, для того щоб одержати найбільш достовірні дані ймовірності безвідмовної роботи АЦП, а значить вирішити завдання визначення надійності АЦП із використанням малої кількості вхідних даних, необхідно було створити метод, що враховував би не тільки інтенсивність відмов, наробіток на відмову, імовірність безвідмовної роботи протягом певного інтервалу часу, але й середній термін зберігання, інтенсивність відмов апаратного засобу при зберіганні. Отже, узагальнюючий метод увібрав в себе найбільш значимі основні параметри й характеристики надійності, необхідні для вирішення завдання.

При розробці узагальнюючого методу визначення надійності апаратного засобу для тензометрії в умовах недоліку вхідних даних вважаємо, що інтенсивність відмов досліджуваного аналого-цифрового перетворювача є постійною величиною (λ =const), тобто протягом строку експлуатації відсутні деградаційні процеси, що викликають старіння, втому, зношування й т.і. Виходячи із цього, приймемо як модель надійності даного апаратного засобу експонентний розподіл середнього наробітку до відмови. А виходить, імовірність безвідмовної роботи як функція часу підпорядковується експонентному закону:

$$P(t)=e^{-\lambda*t}$$

Також при розробці узагальнюючого методу не враховуються такі параметри мікросхеми як якість виготовлення, умови експлуатації, електричні навантаження в схемі, підвищену температуру навколишнього середовища, вологість, збільшені вібрації, удари й т.і., тобто вважається, що апаратний засіб експлуатується в нормальних кліматичних умовах.

Основними параметрами є інтенсивність відмов наробіток до відмови й імовірність безвідмовної роботи протягом 10000 годин.

Як базові методи для розробки узагальнюючого методу пропонується використовувати:

- спрощений метод визначення надійності,

– метод розрахунку надійності пристроїв при експонентному законі наробітку до відмови.

При розрахунку надійності АЦП передбачається, що відмови елементів і компонентів є незалежними випадковими подіями, які підкоряються експонентному закону розподілу. У зв'язку з універсальністю експонентного закону розподілу й спрощенням розрахунків приймається гіпотеза про те, що всі інші процеси описуються також експонентним законом розподілу.

Суть даного узагальнюючого методу полягає у тому, що знаючи фактичну й номінальну потужність резисторів, фактичну й номінальну напругу конденсаторів, а також тип мікросхеми (аналогова чи цифрова) можна знайти інтенсивність відмов елемента, середній наробіток до відмови, гама-процентний ресурс, імовірність безвідмовної роботи протягом заданого інтервалу часу, інтенсивність відмов при зберіганні, середній термін зберігання, а також γ -відсотковий термін зберігання, що дає можливість прогнозувати точний строк експлуатації всього виробу [1-5].

В остаточному виді розрахунок надійності апаратного засобу для тензометрії за допомогою узагальнюючого методу слід проводити таким чином:

1) Визначається тип елемента й знаходяться коефіцієнти навантаження за формулами:

- для транзисторів

$$K=Pc/Pc\ max\ ,$$

де Pc – фактична потужність, що розсіюється на колекторі,

$Pc\ max$ – максимально припустима потужність розсіювання на колекторі.

- для діодів

$$K=I/Imax\ ,$$

де I – фактичний струм,

$Imax$ – максимально припустимий струм.

- для конденсаторів

$$K=U/U_н\ ,$$

де U – фактична напруга,

$U_н$ – номінальна напруга конденсатора.

- для резисторів і трансформаторів

$$K=P/P_н\ ,$$

де P – фактична потужність розсіювання на елементі,

$P_н$ – номінальна потужність.

2) По довіднику визначається λ_0 для даного елементу

3) Визначається інтенсивність відмов групи елементів по формулі:

$$\lambda = \sum_{i=1}^{N} n_i \lambda_i k_i\ ,$$

де n_i – кількість елементів або компонентів у схемі

λ_i - інтенсивність відмов і-го елементу або компоненту;

k_i – коефіцієнти, що враховують навантаження на елемент, умови експлуатації, конструктивні й технологічні відмінності й т.д.

4) При експонентному законі розподілу наробітку до відмови елементів і компонентів апаратного засобу ймовірність безвідмовної роботи і-го елементу або компоненту визначається по формулі:

$$P_i(t) = \exp(-\lambda_i(t))$$

Тоді

$$P\ (t) = \exp[-(\sum_{i=1}^{N} n_i \lambda_i)t] = \exp(-\lambda t),$$

де λ – інтенсивність відмов апаратного засобу (параметр масштабу розподілу відмов)

5) Інтенсивність відмов елементу при зберіганні становить:

$$\lambda_{хр} = \lambda_{егр} \frac{\lambda_{хр.г}}{\lambda_{б.г.}} k_{хр}$$

6) Середній термін зберігання становить:

$$t_{0.хр} = \lambda_{хр}^{-1}$$

7) γ -відсотковий термін зберігання (γ =95%) становить:

$$t_{хру} = \lambda_{хр}^{-1}\left(-\ln\frac{95}{100}\right)$$

Розраховуються характеристики надійності конструктивних елементів (рис. 1) конкретного АЦП СИМ-А04.07.1 та визначаються інтенсивність відмов й ймовірність безвідмовної роботи всієї схеми за допомогою:

– спрощеного методу визначення надійності;
– методу дифузійного закону наробітку до відмови;
– методу експонентного закону наробітку до відмови;
– узагальнюючого методу визначення параметрів надійності.

Порівнюючи реально отримані дані з теоретичними результатами всіх описаних у роботі методів, можна затверджувати, що узагальнюючий метод розрахунку надійності є самим оптимальним для АЦП СИМ-А04.07.1 при одержанні показника середнього наробітку до відмови та доступним й ефективним для розрахунків показників надійності. Однак, як видно із графіка, розроблений метод показує для СИМ-А04.07.1 достовірні результати ймовірності безвідмовної роботи, а також встановлює найбільш близькі до реальних даних, які отримані для високошвидкісного модуля аналогового вводу/виводу Micro PC: 5710-1 (середній час наробітку до відмови 70,2 роки). Даний модуль 5710-1 по своїх основних характеристиках дуже схожий з досліджуваним АЦП СИМ-А04.07.1, а це дає можливість стверджувати, що узагальнюючий метод, може використовуватися як для модифікацій АЦП СИМ-А04.07.1, так і для пристроїв максимально наближених за структурою зв'язку елементів, що мають схожі конструктивні особливості й основні характеристики.

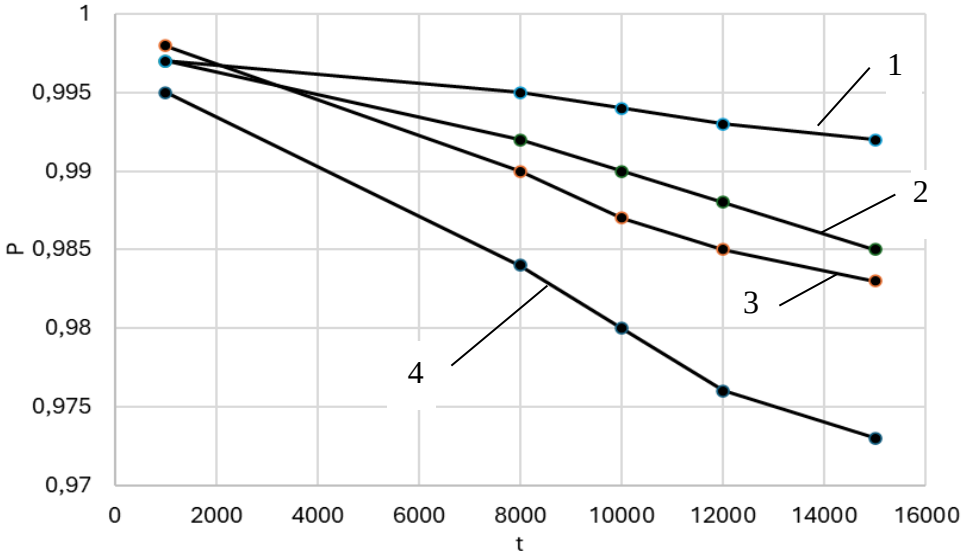

Рис. 1. Загальний графік залежності безвідмовної роботи від часу: 1 – спрощений метод; 2 – метод експонентного закону; 3 – метод дифузійного закону; 4 – узагальнюючий метод

Висновки. Основні наукові і практичні результати роботи полягають у наступному:

– проаналізовано сучасні методи визначення надійності апаратних засобів з метою визначення найбільш істотних факторів, що впливають на даний показник, а саме наробітку на відмову (частоти відмов), інтенсивності відмов, терміну служби пристрою. Доведено, що класичними методами неможливо чітко визначити дані параметри для АЦП у зв'язку з тим, що вони не враховують конкретних особливостей розробленого виробу. Цей факт підтверджує доцільність розробки удосконаленої методики розрахунку надійності.

– порівнюючи реально отримані дані з теоретичними результатами всіх описаних у роботі методів, можна затверджувати, що узагальнюючий метод розрахунку надійності є самим оптимальним для АЦП СИМ-А04.07.1 при одержанні показника середнього наробітку до відмови та доступним й ефективним для розрахунків показників надійності.

– крім імовірнісних характеристик, можливе одержання вартісно-ймовірносних характеристик АЦП. Для цього необхідно створити базу даних всіх використовуваних у пристрої елементів з необхідними параметрами для розрахунку ймовірності безвідмовної роботи й вартості конкретного елемента. З урахуванням цього можливо буде зіставити, наприклад, заміну резисторів з більшим коефіцієнтом навантаження на менший і показниками, що випливають на надійність й вартість пристрою.

– досліджено загальну методику розрахунку надійності для всіх електронних пристроїв з метою розробки узагальнюючої методики розрахунку частоти відмов для АЦП як базової методики для подальших розробок методик розрахунку оптимального показника ціна/надійність для АЦП.

– запропоновано використовувати розроблену методику визначення показника ціна/надійність для виконання експрес-аналізу різних модифікацій АЦП, а також пристроїв, максимально наближених за структурою зв'язку елементів і конструктивних особливостей. Є можливість створення надалі вичерпної бази даних використовуваних в АЦП елементів для зручності вибору замовником при мінімальній витраті часу необхідних конструктивних частин АЦП; прогнозування надійності й ціни для модифікованого їм АЦП.

Список літератури

1. ДСТУ 2992-95. Вироби електронної техніки. Методи розрахунку надійності.- Введ.01.01.96. К.:Вид-во стандартів, 1995. 78с.
2. Левин Б.Р. Теория надежности радиотехнических систем. М.:Сов.Радио,1978.
3. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги. Введ.01.01.96. К.:Вид-во стандартів, 1995. 38с.
4. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Аналіз надійності. Введ.01.01.96. К.:Вид-во стандартів, 1994. 32с
5. Широков А.М. Надежность радиоэлектронных устройств. М.: Высшая школа, 1972.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF METHODS FOR DETERMINING THE RELIABILITY OF STRAIN GAUGES

Y.V. Shendryk[1], O.V. Golovachova[2], A.M. Yemets[3]

National Odessa Polytechnic University
1, Shevchenko Ave., Odessa, 65044, Ukraine
Emails: e.v.shendryk@op.edu.ua[1], holovachova@op.edu.ua[2], 6849765@stud.op.edu.ua[3]

The work analyzes modern methods for determining the reliability of hardware in order to determine the most significant factors affecting this indicator, namely the time to failure (failure rate), failure intensity, and device service life. The following are the main methods for determining the reliability of hardware: a simplified method for determining reliability, a method for calculating device reliability under the diffusion law of time to failure, and a method for calculating device reliability under the exponential law of time to failure. A comparative characteristic of the actually obtained data with the theoretical results of all the methods described in the paper is given. It is concluded that the generalized method for calculating reliability is the most optimal for obtaining the average time to failure indicator and is accessible and effective for calculating reliability indicators. It is noted that in addition to probabilistic characteristics, it is possible to obtain cost-probabilistic characteristics of the device, which is the basis for developing methods for calculating the optimal price/reliability indicator.
Keywords: strain gauges, hardware, reliability, methods for determining reliability, time to failure