

МЕТОД ПОШУКУ НЕСПРАВНОСТЕЙ У СКЛАДНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДАХ З УРАХУВАННЯМ ЗОВНІШНІХ ФАКТОРІВ

* Чернігівський національний технологічний університет, Чернігів, Україна

Анотація. Розглянуто існуючі методи діагностики та пошуку несправностей у складних електронних пристроях. Запропоновано метод пошуку несправностей у складних електронних пристроях з урахуванням зовнішніх факторів. Розроблений метод дає можливість скоротити час на пошук несправного блока, а також локалізувати зону його пошуку за рахунок урахування зовнішніх факторів.

Ключові слова: діагностика, функціональний елемент.

Аннотация. Рассмотрены существующие методы диагностики и поиска неисправностей в сложных электронных устройствах. Предложен метод поиска неисправностей в сложных электронных устройствах с учетом внешних факторов. Разработанный метод дает возможность сократить время на поиск неисправного блока, а также локализовать зону его поиска с учетом внешних факторов.

Ключевые слова: диагностика, функциональный элемент.

Abstract. The existing methods of diagnosis and searching failure in high-end technology were examined. Searching method of failure in high-end technology taking into account external factors has been proposed. The developed method makes it possible to reduce the time of searching the faulty unit, as well as to localize its search area taking into account external factors.

Keywords: diagnostics, functional element.

1. Вступ

Кількість компонентів електроніки, які випускаються та експлуатуються в даний час, досягла значних масштабів. Складні пристрої створюються з ряду більш простіших за конструкцією та функціями елементів. Такі пристрої можна розглядати як самостійні, що здатні виконувати деякі прості задачі.

Може настати момент, коли електронний прилад виходить з ладу, і для того, щоб продовжити термін його дії, необхідно знайти та відремонтувати або замінити несправний блок. Це потрібно зробити якомога швидше й ефективніше, тим самим зменшивши час простою приладу. Перебирання всіх елементів приладу і перевірка їх на справність не є ефективною, так як це може потребувати значних витрат часу та ресурсів. Тому необхідно використовувати метод, який більш конкретно вкаже на частину електронного пристрою, в якому потрібно шукати несправність.

На сьогоднішній день існує ряд методів пошуку несправностей на рівні функціональних елементів, що є більш зручними при пошуку дефектів. Головним їх недоліком являється те, що вони не враховують зовнішні фактори, які впливали, наприклад, під час експлуатації приладу.

2. Аналіз досліджень і публікацій

Одним із методів пошуку несправностей є метод, заснований на побудові таблиць несправностей. Будь-який електронний пристрій може бути поділений на самостійні блоки, які, у свою чергу, можуть ділитись на більш прості. Межею такого поділу є функціональні блоки, які в достатній мірі локалізують несправність.

У рамках даного методу функціональний елемент (ФЕ) може вважатись так званним первинним при умові, що він має лише один вихідний сигнал, інакше ФЕ потребує

подальшого ділення на більш прості до тих пір, поки не буде досягнуто умови, яка потребує не більше одного вихідного сигналу [1].

Блоки об'єднуються зв'язками, які вказують на напрямок проходження сигналу. Використовуючи такий метод опису приладу, будується таблиця всіх несправностей та при необхідності їх комбінацій. Для окремої несправності будується перевірна комбінація сигналів. При необхідності пошуку блока, що вийшов з ладу, використовується та комбінація сигналів, яка здатна виявити конкретну несправність. Проблемою даного методу є складність побудови таблиці несправностей у випадку великого числа ФЕ в системі і обмеження кількості виходів у блоці.

Під ФЕ можна також розуміти і логічний елемент, так як він є окремою одиницею, що виконує логічно завершену задачу. Прикладом алгоритму, який базується на логічних елементах, є D-алгоритм.

Суть алгоритму полягає в пошуку такої вхідної комбінації сигналів, яка здатна знайти ту чи іншу несправність в електронному пристрої. Для кожного логічного елемента будується логічний куб, який виключає комбінації, що не можуть дати ніякої корисної інформації при пошуку несправності [2]. Даний алгоритм має дуже вузьконаправлену область застосування, так як покриває лише логічні елементи, а якщо є необхідність перевірки аналогових блоків, то така операція є неможливою. Також алгоритм не передбачає операцій, які б урахували зовнішній вплив на досліджуваний пристрій.

Метою даної роботи є розробка методу пошуку несправностей у складних електронних пристроях з урахуванням зовнішніх факторів. Розроблений метод дає можливість скоротити час на пошук несправного блока, а також більш конкретно локалізувати зону його пошуку за рахунок урахування зовнішніх факторів, під впливом яких знаходився прилад.

3. Основні аналітичні залежності

В даному методі пошуку несправного елемента пристрій, що досліджується, представляється у вигляді орієнтованого графа причинно-наслідкових зв'язків $FE_i(W_i^{FE}, Q_i^{FE})$, де W_i^{FE} – множина вершин графа FE_i , а Q_i^{FE} – відображення W_i^{FE} в W_i^{FE} . Вершиною графа є функціональний елемент, який являє собою окрему частину головного пристрою, здатну виконувати логічно завершену задачу [3].

Для ФЕ граф причинно-наслідкових зв'язків встановлює вплив вхідних сигналів на формування сигналів на виході ФЕ. Таким чином, “причина” – сигнал на вході ФЕ, а “наслідок” – його вплив на формування сигналу на виході. У функціональному елементі будь-який причинно-наслідковий зв'язок реалізується у вигляді електричних з'єднань, але розглядається у вигляді “шляхів” розповсюдження сигналів (орієнтованих зв'язків, що мають напрямок). Множина вершин графа i -го ФЕ визначається як $W_i^{FE} = \{X_i, Y_i\}$, де $X_i = \{x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i\}$ – сукупність входів FE_i , $Y_i = \{y_1^i, y_2^i, \dots, y_m^i\}$ – сукупність виходів FE_i .

Матриця впливу A_i входів ФЕ на його виходи буде мати вигляд (1)

$$A_i = \begin{matrix} & \begin{matrix} y_1^i & \dots & y_m^i \end{matrix} \\ \begin{matrix} x_1^i \\ \vdots \\ x_n^i \end{matrix} & \begin{pmatrix} a_1^1 & \dots & a_1^m \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_n^1 & \dots & a_n^m \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

Правила заповнення матриці визначаються таким чином (2):

$$a_i^j = \begin{cases} 1, & \text{якщо сигнал входу } x_i^j \text{ впливає на формування виходу } y_j^i, \\ 0, & \text{якщо сигнал входу } x_i^j \text{ не впливає на формування виходу } y_j^i. \end{cases} \quad (2)$$

Досліджуваній пристрій, що складається з N функціональних елементів, задається у вигляді орієнтованого графа $DU(W^{DU}, Q^{DU})$, де W^{DU} – множина вершин графа несправного пристрою, Q^{DU} – відображення W^{DU} в W^{DU} . Множина вершин графа визначається як $W^{DU} = \{X_0, W^{FE}, Y_0\}$, де $X_0 = \{x_1^0, x_2^0, \dots, x_k^0\}$ – сукупність входів пристрою, $W^{FE} = \{W_1^{FE}, W_2^{FE}, \dots, W_N^{FE}\}$ – сукупність вершин функціональних елементів, що входять до складу приладу; $Y_0 = \{y_1^0, y_2^0, \dots, y_p^0\}$ – сукупність виходів.

На основі вищесказаного визначимо вигляд матриці логічних зв'язків несправного пристрою як квадратну матрицю суміжності B , що складається з підматриць (3):

$$B = \begin{matrix} & \begin{matrix} X_0 & W_1^{FE} & W_2^{FE} & \dots & W_N^{FE} & Y_0 \end{matrix} \\ \begin{matrix} X_0 \\ W_1^{FE} \\ W_2^{FE} \\ \dots \\ W_N^{FE} \\ Y_0 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & C_1 & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & C_2 & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & C_N & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix} \end{matrix}. \quad (3)$$

Тут на головній діагоналі знаходяться матриці суміжностей відповідних функціональних елементів (C_1, \dots, C_N) , за виключенням нульових матриць впливу входів і виходів несправного пристрою на самих себе. На місці “...” знаходяться підматриці впливу входів і виходів пристрою і функціональних елементів один на одного.

При даному описанні вважається, що зв'язки між різними функціональними елементами є завжди у справному стані. Якщо є необхідність у перевірці зв'язків між функціональними елементами на несправність, то їх необхідно задавати як окремі функціональні блоки.

Вагою вершини $s \in W^{DU}$ по виходу $k \in Y_0$ будемо називати число V , що характеризує значимість перевірки вершини s при некоректному сигналі на виході k .

Логічною оцінкою O_s^k вершини $s \in W^{DU}$ по виходу $k \in Y_0$ є булева змінна, що відповідає умовам, представленим нижче (4):

$$O_s^k = \begin{cases} 1, & \text{якщо вершина } s \text{ є вершиною, що призводить до нормальної роботи вихід } k, \\ 0, & \text{якщо вершина } s \text{ є вершиною, що призводить до несправності на виході } k. \end{cases} \quad (4)$$

Функція F_s за умови необхідності перевірки вершини s елемента FE_i представляє собою диз'юнкцію логічних оцінок по цьому виходу функціонального елемента виходів несправного пристрою $O_s^{l*}, \dots, O_s^{l**}$, по яких спостерігається відмова або некоректність сигналу, і всіх виходів пристрою з оцінками $O_s^{k*}, \dots, O_s^{k**}$, в яких значення виходу лежить у рамках допуску (5):

$$F_s = \left(O_s^{l*} + \dots + O_s^{l**} \right) + \left(O_s^{k*} + \dots + O_s^{k**} \right). \quad (5)$$

Усі виходи несправного пристрою повинні бути доступні для спостережень та замірів. Тоді, описавши таким чином модель електронного пристрою, можна визначити порядок перевірки елементів на несправність.

Розглянемо алгоритм визначення значимості перевірки функціональних блоків при несправності на одному із виходів. Нехай M – допоміжна змінна, яка слугує для накопичення значимості перевірки вершини та збільшується з ходом виконання алгоритму (рис. 1).

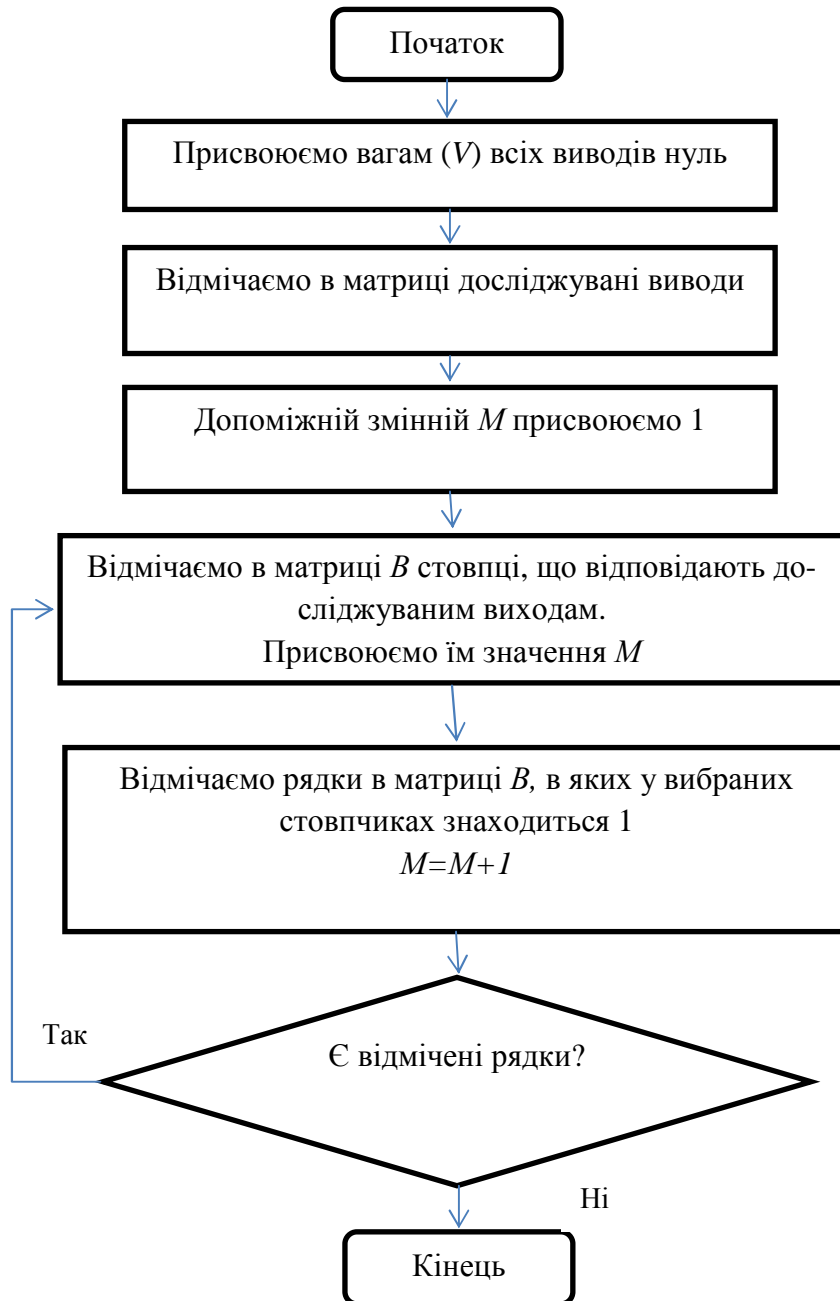


Рис. 1. Блок-схема алгоритму зважування виводів функціональних елементів

У результаті виконання алгоритму всі вершини мають певну вагу, що відповідає значимості перевірки. Після чого логічним оцінкам O_s^k , для яких $V_s^k > 0$, присвоюємо логічний “0”, що вказує на можливість несправності у відповідній вершині. Аналогічно проводиться дослідження для виходів, значення сигналу яких лежить у межах норми, присвоївши логічну одиницю “1”, що вказує на справність відповідного виходу.

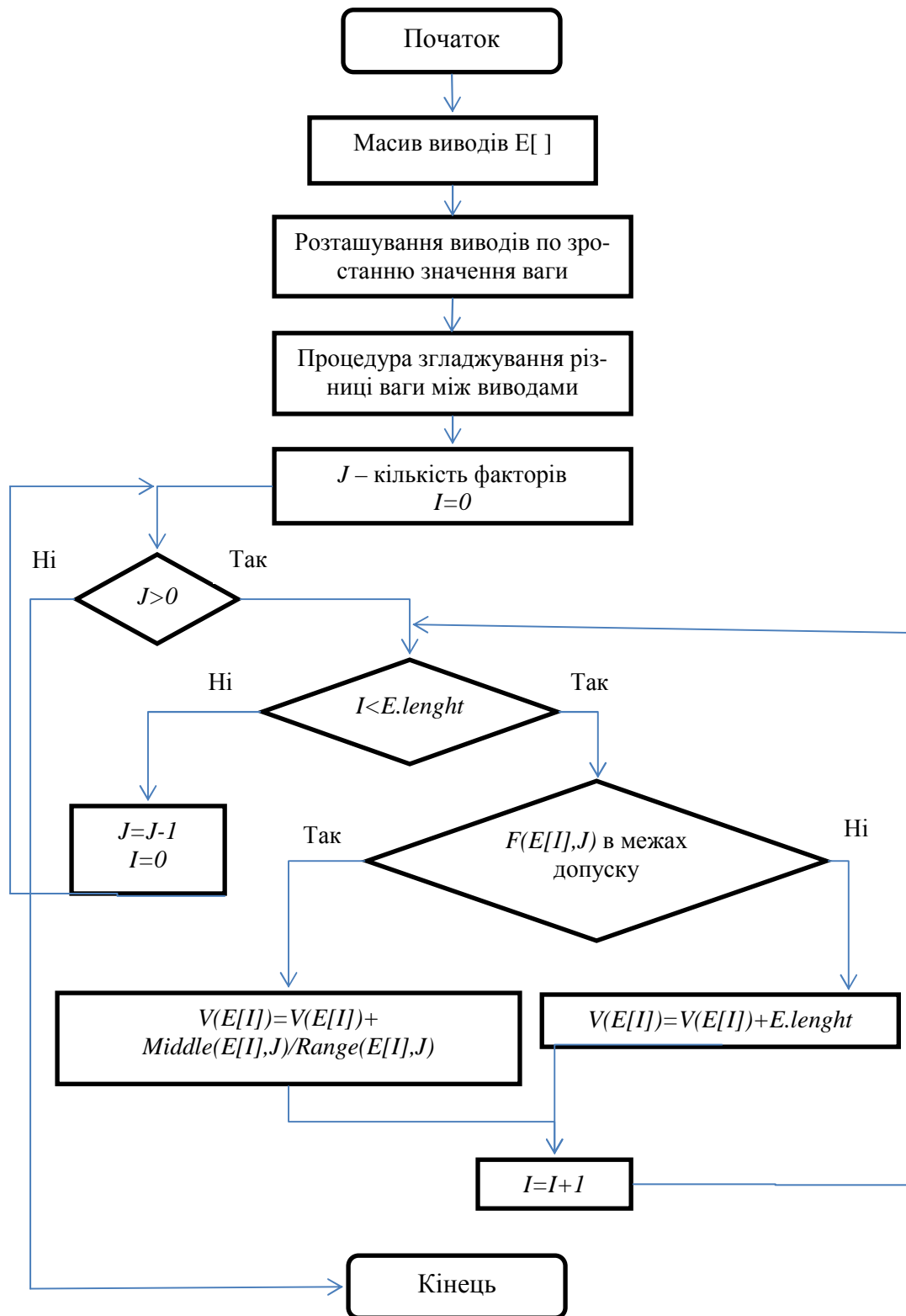


Рис. 2. Блок-схема етапу коригування ваги

Обчислюємо значення функції F_s для всіх виходів. Тим самим визначаємо необхідність перевірки того чи іншого виходу. Якщо $F_s=1$, то при формуванні сигналу хоча б одного із виходів досліджуваного пристрою вихід s видає штатний відклик, а

виходячи з цього, не потребує перевірки. Якщо значення $F_s=0$, то вихід потребує перевірки. Це дає змогу звузити сукупність функціональних блоків, які необхідно перевірити.

Після того, як були визначені виводи, що підлягають перевірці, та їх вага, настає етап коригування ваги.

Блок-схема на рис. 2 представляє алгоритм роботи етапу коригування ваг після їх оцінки базовим методом.

Розташування ваги виводів по зростанню значення ваги необхідно для наступного кроку алгоритму. Після базового зважування немає ніякої гарантії у впорядкуванні ваги по порядку. Як правило, вони приходять у випадковому порядку. На рис. 3 представлений приклад перестановки виводів згідно з вагою, отриманою за базовим алгоритмом. Значення ваги має таку велику різницю, тому що це лише частина виводів, які необхідно перевіряти. Слід нагадати, що процедуру зважування проходять усі виводи в електронному пристрої, які можуть вплинути на роботу несправного виходу.

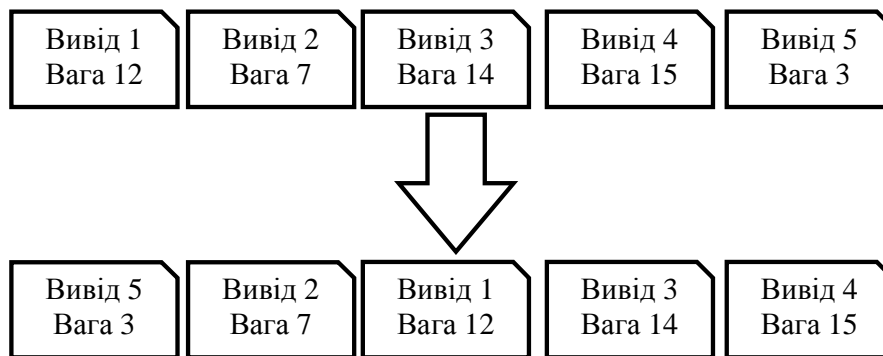


Рис. 3. Приклад перестановки виводів

На наступному етапі необхідно провести процедуру згладжування значень ваги. Задачею даного етапу є зменшення різниці ваги виводів (рис. 4).

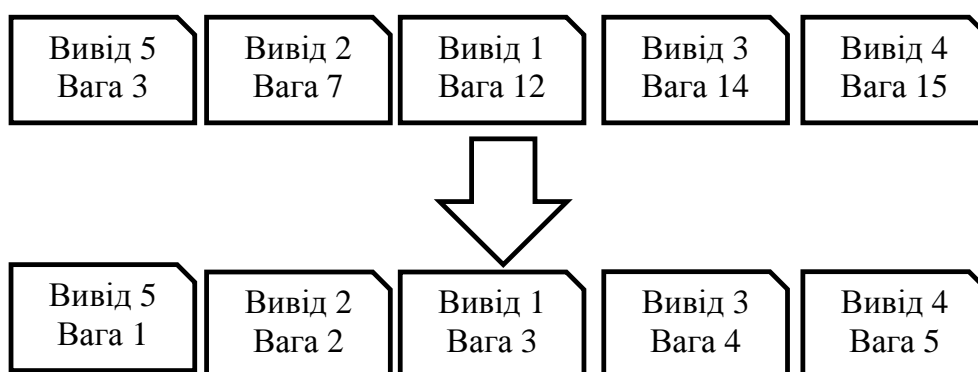


Рис. 4. Приклад процедури згладжування значень ваг

Виводу з найменшою вагою присвоюємо значення, рівне одиниці, наступному за ним – значення двійки і т.д., на кожному кроці збільшуючи значення ваги на один до тих пір, доки не будуть перебрані всі виводи. В результаті даної процедури ми зберігаємо логічну відповідність між вагами виводів і зменшуємо різницю, що може нам заважати на наступному етапі алгоритму.

Масив E – це всі виводи, що необхідно перевірити, які визначені базовим алгоритмом.

Кількість зовнішніх факторів має бути як мінімум один або більше. Наприклад, вологості буде відповідати номер 1, а номер 2 буде належати температурі. Порядок нумерації зовнішніх факторів не має значення і може бути змінений без наслідків.

Під зовнішніми факторами розуміємо умови, за яких експлуатувався електронний прилад, наприклад, температура, вологість, вібрація і т.д. Розглянемо формулу коригування ваги:

$$V = V_{algor} + V_{ext}, \quad (6)$$

де V_{algor} – це розраховане за алгоритмом і нормоване значення ваги, V_{ext} – значення, яке визначається за такою формулою:

$$V_{ext} = V_{fact_1} + V_{fact_2} + \dots + V_{fact_J}, \quad (7)$$

де $V_{fact_1}, V_{fact_2}, \dots, V_{fact_J}$ – вага з урахуванням даних про зовнішні фактори, J – кількість зовнішніх факторів, за якими проводиться коригування ваги. Значення кожного окремого фактора може бути в діапазоні $[0,1]$.

Змінна I слугує в ролі лічильника для послідовного перебору елементів масиву.

Функція $F(E[I], J)$ повертає булево значення, що говорить про те, чи знаходиться значення фактора J в межах допуску для досліджуваного виводу $E[I]$. Під межами допуску слід розуміти мінімальну та максимальну межі значення конкретного фактора для обраного виводу.

Наприклад, візьмемо температурний датчик MAX6602, що використовується в ноутбуках серії ThinkPad (рис. 5).

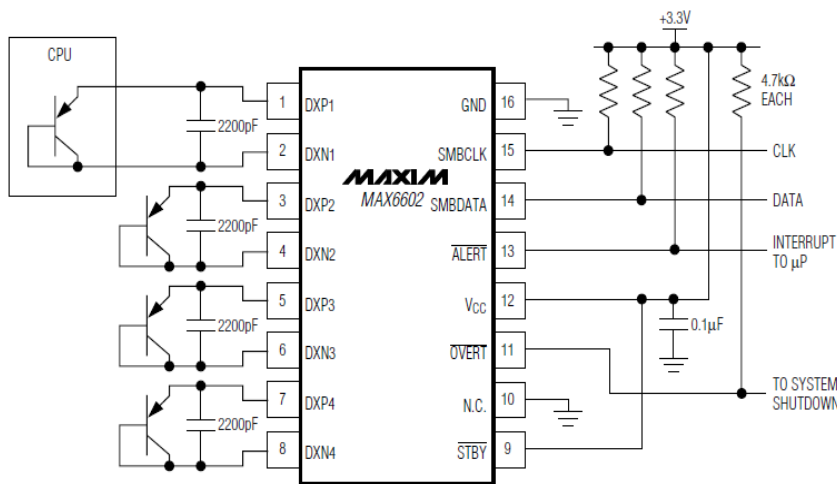


Рис. 5. Температурний датчик MAX6602

Згідно з його технічними характеристиками, діапазон робочих температур складає від -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$. Нехай ми знаємо, що більшість часу експлуатації він знаходився при $+10^{\circ}\text{C}$. Таким чином, функція $F(E[I], J)$ повертає TRUE, так як значення фактора, в нашому випадку температури, лежить у межах допуску.

Функція $V(E[I])$ повертає значення вже

підрасуваної ваги для конкретного виводу. Туди додається значення нормалізованої ваги та ваги, що підрасувано з урахуванням зовнішніх факторів.

Функція $Middle(E[I], J)$ повертає середнє значення фактора J для виводу $E[I]$, при якому пристрій знаходився під час експлуатації. Чим більш достовірно буде вказаний даний параметр, тим більш точно буде скоригована вага. Якщо неможливо вказати дані для конкретного елемента, то можна використовувати дані батьківського блока, якщо такий існує. Якщо немає ніяких даних, то всюди вказується нуль (мінімальна та максимальна межі, середнє значення), це ніяк не вплине на вагу, але слід розуміти, що це нашкодить точності коригування ваги.

У залежності від значення функції $F(E[I], J)$ ми можемо піти по одному із двох шляхів.

1) Якщо значення фактора виходить за межі допуску, то значення ваги збільшується на кількість елементів, які необхідно перевірити. Це необхідно для того, щоб поставити даний вивід першим у черзі на перевірку, так як імовірність виходу із ладу елемента, умови експлуатації якого були порушені, вище, ніж того, який експлуатувався згідно з вимогами.

2) Якщо значення фактора знаходиться в межах допуску, то до ваги додаємо відсоткове співвідношення середнього значення та області допуску. Це потрібно для підняття в черзі на перевірку елементів, які експлуатувались за межами своїх можливостей, але не перетнули їх.

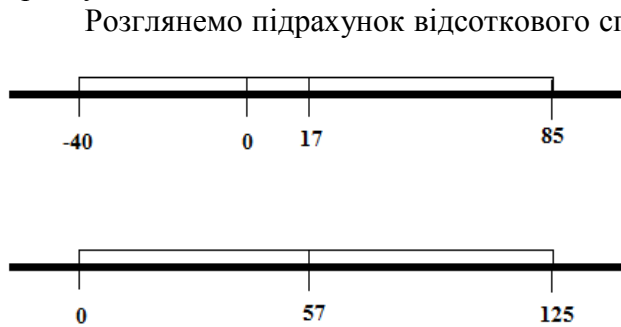


Рис. 6. Зсув меж та середнього значення

Розглянемо підрахунок відсоткового співвідношення на прикладі того ж температурного датчика МАХ6602. Нехай середня температура його експлуатації складає 17°C (рис. 6). За таких даних підрахувати значення складно, тому необхідно зрушити ліву межу на нуль, відповідно будуть зрушені права межа та середнє значення. Всі ці 3 числа потрібно збільшити на 40. Саме таке значення необхідно додати до лівої межі, щоб зрівняти її з нулем.

Щоб підрахувати відсоткове співвідношення, потрібно середнє значення поділити на праву межу. Це буде число в діапазоні $[0,1]$. Якщо значення одного фактора буде близьким до межі, це не дуже вплине на значення нової ваги, але якщо таких факторів буде декілька, то такий елемент може бути піднятим на одну чи більше сходинок, тим самим він має бути перевірений раніше інших.

У результаті роботи алгоритму ми отримуємо набір виводів із скоригованим значенням ваги, які необхідно перевіряти при появі несправності на конкретному виході електронного пристрою.

Результати роботи розробленого алгоритму можна перевірити перебором етапів

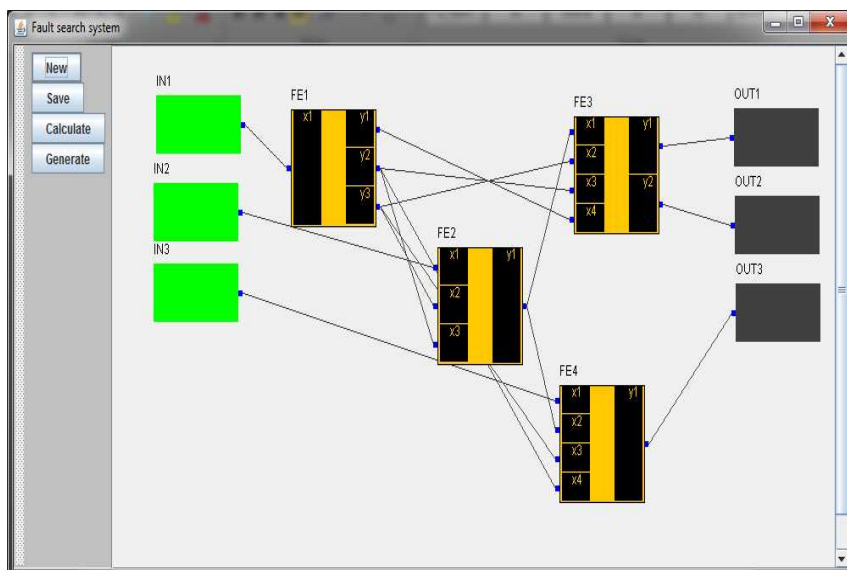


Рис. 7. Приклад графічного інтерфейсу системи

крок за кроком аналітично, але це доволі довгий і складний процес. Так як не існує відкритих реалізацій базового алгоритму, то постає необхідність у власній реалізації.

Система представляє собою реалізацію на платформі Java. Програма складається з графічного інтерфейсу користувача, бази даних та внутрішньої логіки (рис. 7).

Інтерфейс дає можливість побудови внутрішньої структури досліджуваного пристрою. Користувач може вказати, з яких функ-

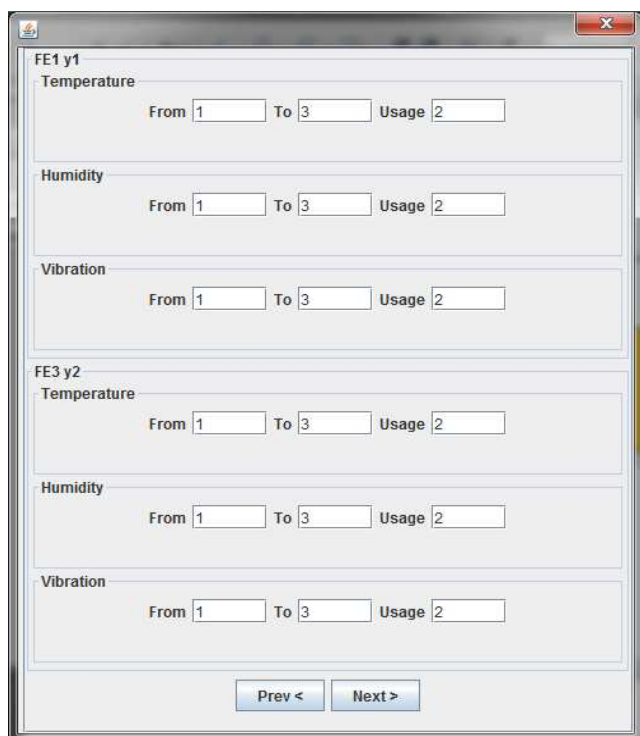


Рис. 8. Приклад вікна введення даних про зовнішні фактори

пристрою користувачу буде запропоновано вказати, на якому із виходів спостерігається несправність. Після чого система із множини всіх елементів виділить потенційно несправні і запропонує вказати для них значення зовнішніх факторів (рис. 8).

На фінальному кроці система скоригує значення ваги і виведе перелік елементів та порядок їх перевірки (рис. 9).

Element	Weight	Order	Usage
FE3 y2	2	1	2.5
FE1 y1	4	2	3.5

	IN1-y1	IN2-y1	OUT1-x1	IN3-y1	FE1-x1	FE1-y1	FE1-y2
IN1-y1	0	0	0	0	1	0	0
IN2-y1	0	0	0	0	0	0	0
OUT1-x1	0	0	0	0	0	0	0
IN3-y1	0	0	0	0	0	0	0
FE1-x1	0	0	0	0	0	1	1
FE1-y1	0	0	0	0	0	0	0
FE1-y2	0	0	0	0	0	0	0
FE1-y3	0	0	0	0	0	0	0
FE2-x1	0	0	0	0	0	0	0
FE2-x2	0	0	0	0	0	0	0
FE2-x3	0	0	0	0	0	0	0
FE2-y1	0	0	0	0	0	0	0
FE3-x1	0	0	0	0	0	0	0
FE3-x2	0	0	0	0	0	0	0
FE3-x3	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 9. Приклад виведення результатів

Після чого можна провести коригування ваги функціонального елемента, базуючись на зовнішніх факторах.

ціональних блоків складається пристрій, які зв'язки між блоками та які зв'язки всередині блоків. Під зв'язками розуміємо причинно-наслідкові з'єднання між елементами.

У системі передбачено три типи блоків, за допомогою яких можна описати пристрій, а саме:

1) TYPICAL. Цей блок, що представляє сам функціональний елемент, може мати злічену кількість входів і виходів.

2) IN. Блок, що вказує на сигнальні входи електронного пристрою.

3) OUT. Блок, що представляє значення сигналів виходів пристрою, доступних для спостереження.

Кожному блоку можна задати ім'я. Інтерфейс побудований так, що користувач може переміщати елементи в межах робочої зони і розміщувати їх так, як йому зручно.

На наступному кроці після опису

Ряд обраних зовнішніх параметрів може бути зміненим у залежності від конкретних потреб при пошуку причини несправності або наявних даних про умови його експлуатації. Чим більше буде використано оціночних параметрів, тим більше зменшиться час на пошук несправного елемента, так як на перший план буде висуватись функціональний елемент, який найбільш схильний до зовнішніх впливів.

4. Висновки

На основі існуючих методів пошуку несправностей електронних пристроїв було розроблено метод пошуку несправностей у складних електронних пристроях з урахуванням зовнішніх факторів. Даний метод зменшує час на пошук несправного функціонального блока у несправному електронному пристрої, так як черга на перевірку функціонального елемента, який експлуатувався в недопустимих умовах або близьких до них, наступає раніше. Тим самим несправний блок буде знайдений раніше.

Чим більше буде використано даних про зовнішні фактори, тим менше буде витрачено часу на знаходження несправного функціонального елемента.

Метод дає можливість уникнути безсистемного і необдуманого пошуку несправності при поломці електронного пристрою.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сердаков А.С. Автоматический контроль и техническая диагностика / Сердаков А.С. – Киев: Техника, 1971. – 244 с.
2. Сапожников В.В. Основы технической диагностики: учебн. пособ. для вузов железнодорожного транспорта / В.В. Сапожников, Вл.В. Сапожников. – М.: Маршрут, 2004. – 318 с.
3. Об одном варианте решения технического диагностирования радиоэлектронных средств / А.В. Дубов, А.П. Капранов, В.В. Сускин [и др.] // Управление большими системами: надежность и диагностика средств и систем управления. – 2010. – № 31. – С. 363 – 377.

Стаття надійшла до редакції 10.12.2013