

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.02.2025.09>

УДК 519.6:004.93

Дослідження методики ідентифікації електронних приладів на основі малих наборів даних

Щербакова Галина Юрївна¹⁾

Д-р техніч. наук, професор каф. Інформаційних систем
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9884-6201>; galina.sherbakova@op.edu.ua

Басенко Ярослав Володимирович¹⁾

Магістр каф. Інформаційних систем
2388073@stud.op.edu.ua

¹⁾ Національний університет «Одеська політехніка», пр. Шевченка, 1. Одеса, 65044, Україна

АНОТАЦІЯ

У роботі досліджено методику ідентифікації параметрів компонентів електроніки при відборі їх для апаратури відповідального призначення на основі провісників відмов. Це може бути необхідним при комплектації важливих складних систем електроніки якісною компонентною базою. Для забезпечення цього при виробництві електронних компонентів часто необхідно відібрати для таких систем надійніші, якісніші компоненти. Один із важливих підходів при цьому – вибір методів обробки даних та методики ідентифікації. Значна частина таких підходів потребує удосконалення методів обробки даних, в тому числі – кластеризації. Реалізація методики ідентифікації ґрунтується на визначенні кількості кластерів та кластеризації з використанням вейвлет-перетворення. Для рішення задачі апроксимації вольт-амперних характеристик та вибору ідентифікаційного вектору характеристик транзисторів використано радіально-базисну нейронну мережу, для подальшої класифікації обрано багатоваріаційний перцептрон. Після визначення кількості кластерів та групування вихідних даних з допомогою кластеризації на базі вейвлет-перетворення кількість нейронів нейронної мережі скоротилась майже в півтора рази, час класифікації – скоротився більше, ніж в одну цілу і три десяті рази. Ці результати дозволяють рекомендувати розроблену методику ідентифікації при діагностуванні за допомогою «провісників» відмов до застосування у широкому колі практично важливих завдань при контролі та діагностуванні електронної апаратури та виробів електронної техніки у разі мінливих параметрів об'єктів діагностування, при високому рівні перешкод в даних вимірів та при малих обсягах досліджуваних вибірок. Застосування цієї методики дозволить скоротити час виробничих іспитів для досліджуваної групи напівпровідникових приладів, призначених для використання в довго працюючій апаратурі відповідального призначення.

Ключові слова: апаратура відповідального призначення; кластеризація; вейвлет-перетворення; ідентифікація; оптимізація; завадостійкість; кількість кластерів; вольт-амперні характеристики транзисторів; якість апаратури; надійність апаратури

Актуальність. Сучасний етап розвитку електроніки відбувається в умовах виробництва малих серій виробів з частою зміною номенклатури виробів. Протиріччя між необхідністю забезпечити швидке налагодження та перебудову технологічних процесів виробництва та контролю та необхідністю забезпечити якість виробів вирішується за допомогою автоматизації обробки даних при відборі компонентів. Це може відбуватися, наприклад, за рахунок використання так званих «провісників» відмов (зміни форми вольт – амперних характеристик (ВАХ)) діодів, транзисторів [1, 2]. «Провісники» відмов сигналізують про можливість виникнення дефектів, які з високою ймовірністю можуть призвести до відмов виробу [1]. Виявлення «провісників» відмов сприяє їх відбраковуванню [1, 2]. При цьому вироби поділяють за класами, використовуючи автоматизовану класифікацію при розпізнаванні образів [3].

Існуючі методи вимагають навчання класифікатору на представницькій вибірці та великого обсягу досліджень. Таке навчання ускладнене під час дрібносерійного виробництва. Це зумовлює необхідність навчання за даними про малі вибірки (партії) виробів [4]. При класифікації за малими вибірками підвищується рівень впливу на результат шуму в даних. Високий рівень шуму обумовлює складну форму кластерів даних у просторі

This is an open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.uk>)

параметрів-ознак. Слід також враховувати можливість зміни параметрів виробів у робочому режимі класифікації. Тому необхідні методи ідентифікації та класифікації, що допускають оперативне додаткове навчання на основі даних, що надходять в умовах виробництва. Таке додаткове навчання можна реалізувати за допомогою класифікації та ідентифікації з використанням нейронних мереж (НМ) [5].

При виборі мереж необхідно враховувати кілька факторів. Так при класифікації за допомогою багатошарового персептрону (БП) тривалість навчання залежить від компактності розташування об'єктів одного класу і віддаленості різних класів у просторі параметрів. Тобто при ідентифікації необхідно виявити параметри, якими об'єкти різних класів рознесені у просторі ознак. Імовірнісній мережі потрібні для навчання великі вибірки даних, тому при діагностиці за малими вибірками їх застосування обмежене. Мережі з радіально-базисними функціями (РБФ) навчаються досить швидко, проте при визначенні параметрів радіальних елементів у них часто застосовують методи кластеризації [5, 6] з низькою стійкістю до шуму в даних.

Тому для ідентифікації в роботі пропонується застосувати мережі з РБФ, підвищивши завадостійкість шляхом використання кластеризації на основі вейвлет-перетворення (ВП), завадостійкість якого доведена - відносна похибка для тестової функції щодо сигнал/шум по амплітуді 1,17 склала 8,32 % [7].

Метою роботи є дослідження ідентифікації на основі провісників відмов, що дозволяє підвищити швидкодію вибору компонентів електроніки. Для досягнення цієї мети досліджено скорочення ідентифікаційного вектору параметрів на основі кластеризації з ВП.

Визначення якісних компонентів за допомогою «провісників» відмов включає етапи формування вихідних даних, ідентифікацію та класифікацію. При формуванні вихідних даних здійснюється вимірювання параметрів та (або) характеристик виробів та попередня обробка результатів (фільтрація та ін.). На етапі ідентифікації визначаються координати центрів радіальних елементів мережі РБФ. Кількість радіальних елементів визначається інтервалом вимірювання параметрів та необхідною достовірністю класифікації. Радіус радіальних елементів визначається із максимальної відстані між центрами сусідніх груп даних [5, 6]. В результаті НМ з РБФ розраховує вектори коефіцієнтів $\mathbf{b}$ і $\mathbf{w}$ радіального базисного та лінійного шарів НМ. Після скорочення ідентифікаційного вектору він використовується на етапі класифікації за допомогою НМ БП.

Вибір числа шарів та елементів у шарі здійснюється при класифікації за допомогою НМ БП, навченої за допомогою методу зворотного поширення помилки [5]. При класифікації в робочому режимі НМ БП формує дані про класи досліджуваних електронних компонентів. Особливості етапів ідентифікації та вибору числа елементів внутрішнього шару мережі розглянуті на прикладі зворотних гілок вольт-амперних характеристик (ВАХ) [7] кремнієвих планарних транзисторів (рис.1).

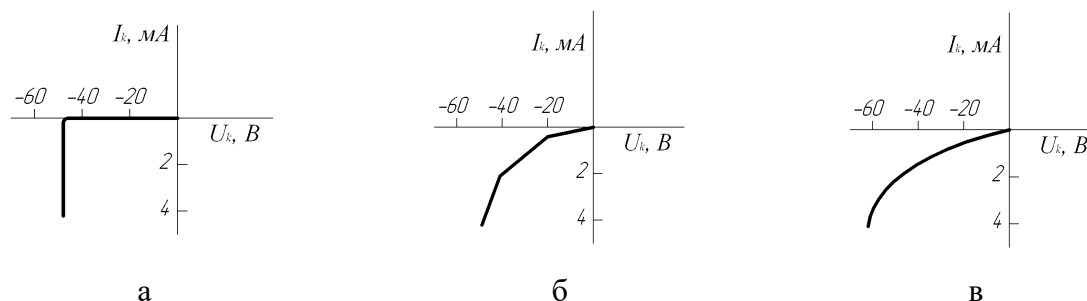


Рис. 1. Вольт-амперні характеристики кремнієвих планарних транзисторів:

а – транзистор без дефектів;

б – транзистор з мікродефектами колекторного переходу;

в – транзистор з забрудненнями колекторного переходу чи підвищенням вологості в середині корпусу [7]

Перший варіант (ВАХ транзистора без дефектів) характеризується різким наростанням колекторного струму після пробою переходу (рис.1а). Для транзисторів з характеристикою другого варіанта (у вигляді ламаної кривої) (рис.1б) характерні мікро дефекти структури колекторного переходу і високий відсоток відмов. Третій варіант ВАХ (рис.1в) свідчить про порушення технологічного процесу, що виявляються наявністю забруднень колекторного переходу або підвищенням вологості в корпусі транзистора [1].

На етапі ідентифікації було застосовано радіальну базову мережу з РБФ, яка складається з двох шарів: радіального базисного шару і вихідного лінійного шару. Результатом першого етапу ідентифікації є значення кількості елементів радіального базисного шару мережі та коефіцієнтів для обох шарів (табл. 1).

Радіальна базисна мережа складається з двох шарів: радіального базисного і вихідного лінійного шару з S^1 та S^2 нейронами відповідно. Функція активації радіального базисного нейрону $radbas(n) = e^{-n^2}$. Аргумент функції активації визначається як модуль різниці вектору ваг w і вектору вхідних значень p , з урахуванням зміщення b . Тоді $a_i^1 = radbas(\|p - w^1\|b^1)$ визначає вихідне значення i -го радіального базисного нейрону. Вихідні значення лінійного шару визначаються як $a^2 = purelin(Lw^2a^1 + b^2)$ [5, 6]. Результатом першого етапу ідентифікації будуть значення кількості елементів радіального базисного шару мережі і коефіцієнтів w і b обох шарів (табл. 1).

Таблиця 1. Коефіцієнти радіальної базисної мережі

Варіант ВАХ	Коефіцієнти w радіального базисного шару net. $iw\{1,1\}$	Коефіцієнти b радіального базисного шару net. $b\{1\}$	Коефіцієнти w лінійного шару net. $iw\{2,1\}$	Коефіцієнти b лінійного шару net. $b\{2\}$
Рис.1, а	-47 -45	0,8326	-4,01 -0,19	-0,029
Рис.1, б	-50 -40 -30	0,104	-3,84 -0,81 -0,72	-0,0996
Рис.1, в	-60 -50 -40 -20	0,104	-2,68 -0,80 -0,74 -0,38	-0,056

На другому етапі ідентифікації вектор ознак для транзисторів (рис. 1б і рис. 1в) було скорочено відповідно на 25 % і 40 % за рахунок кластеризації з ВП при збереженні високої достовірності, і як ознаки для класифікації були прийняті дані (табл.2).

Таблиця 2. Параметри-ознаки при класифікації

Варіант ВАХ	Значення параметрів при навчанні НМ БП
Рис.1а	0,8326 -47 -45 -4,01 -0,19 -0,0287
Рис.1б	0,104 -40 -30 -3,847 -0,813 -0,0996
Рис.1в	0,104 -40 -20 -2,686 -0,801 -0,056

Класифікація проводилася за допомогою НМ БП, навченого за допомогою градієнтного методу зворотного поширення помилки [5, 6]. Число елементів внутрішнього шару мережі було прийнято 5, оскільки при заданій точності навчання мережі при класифікації (netn.train Param.goal = 0.1) кількість епох навчання при числі елементів більше 5 залишалася практично постійним (134 ... 136).

З метою збільшення завадостійкості крім даних [7, 8] навчання БП мережі проводилося на двох вихідних та двох з додаванням шумової складової (з середнім квадратичним відхиленням (СКВ) 0,1 та 0,2 відповідно) послідовностях параметрів – ознак. У процесі тестування шум із середнім значенням 0 і СКВ від 0 до 0,5 з кроком 0,05 додавався до вихідних даних.

Для кожного рівня шуму було сформовано 100 послідовностей параметрів з додаванням шуму для кожного варіанту графіка (рис.1), після чого оцінювався відсоток помилкових класифікацій для двох варіантів мережі – навченої лише на вихідному наборі даних та на даних з шумом (рис.2, пунктир та суцільна лінія відповідно). При цьому похибка класифікатору, навченого на даних з шумом на 5-30 % нижче, ніж у мережі, навченої лише даних [7, 8].

Після групування вихідних даних з визначенням кількості кластерів з допомогою кластеризації на базі вейвлет-перетворення кількість нейронів НМ скоротилось майже в 1,5 рази, час класифікації – скоротився більше, ніж в 1,3 рази [9].

Висновок. Таким чином, за допомогою ідентифікації при діагностуванні за допомогою «провісників» відмов для заданих форм ВАХ проведено вибір вектору ідентифікаційного параметрів, що дозволило за рахунок скорочення розмірності простору ознак скоротити час діагностування при збереженні високої достовірності.

Результати дозволяють рекомендувати розроблену технологію ідентифікації при діагностуванні за допомогою «провісників» відмов до застосування у широкому колі практично важливих завдань при контролі та діагностуванні електронної апаратури та виробів електронної техніки у разі мінливих параметрів об'єктів діагностування, при високому рівні перешкод та при малих обсягах досліджуваних вибірок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Przybilla H.-J., Kersten T.P. “Aspects of Quality Control for UAV Applications in Photogrammetry”. *XXVII FIG Congress*, (Warsaw, 11-15 Sept. 2022). Warsaw. 2022. – Available from: https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2022/papers/ts02c-6-3/TS02C-6-3_przybilla_thomas_p._11755.pdf. – [Accessed: 01.09.2025].
2. Швець Є. Я., Небеснюк О. Ю., Ніконова З. А., Ніконова А. О. “Діагностика, контроль та випробування напівпровідникових приладів”. Навч. посібн. Запоріжжя: ЗДІА. 2007.
3. Шатовская, Т. Б., Дорожко, О. О. “Data analysis of complex objects using a modified clustering algorithm.” *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2014; 4 (68): 55–59. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2014.23391>.
4. “ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення [Чинний від 2010-02-18]”. URL: https://dnaop.com/html/2273/doc-ДСТУ_2860-94. (Дата звернення: 01.09.2025).
5. Haykin S. “Neural Networks. A comprehensive foundation”. *New Jersey: Prentice Hall. Upper Saddle River*,. 2006.
6. Pham D. T., Liu X. “Neural Networks for Identification, Prediction and Control”. *London: Springer – Verlag*. 1995.
7. Щербакова Г. Ю., Крилов В. Н., Писаренко Р. А. «Оцінка ефективності і якості процедури кластеризації на базі адаптивно-критеріального підходу». *Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту: матеріали міжнар. науково-практ. конф. ISDMCI*. Херсон: ХНТУ. 2013. С. 519–520.
8. Shcherbakova G. Y., Krylov V. N., Pisarenko R. A. “Information technology of parameters prediction with clustering in the space of the wavelet transforms”. *The works of Odessa Polytechnic University*. 2013; 1 (40): 104–109.
9. Щербакова Г. Ю., Сахно К. О., Петрова С. В. «Визначення кількості кластерів з допомогою оптимізації з вейвлет-перетворенням». *Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення: матеріали міжнар. наук. інтернет-*

конференції (Тернопіль, Україна– Ополе, Польща). 19-20 вересня 2023; 80: 107–108. URL: <http://www.konferenciaonline.org.ua/> (дата звернення: 1.10.2025).

DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.02.2025.09>

UDK 519.6:004.93

Research on electronic device identification based on small data sets

Galyna Yu. Shcherbakova¹⁾

Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Information Systems

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9884-6201>; galina.sherbakova@op.edu.ua

Yaroslav V. Bayenko¹⁾

Master of the Department of Information Systems

2388073@stud.op.edu.ua

¹⁾ Odesa Polytechnic National University, 1, Shevchenko Ave. Odesa, 65044, Ukraine

ABSTRACT

The paper investigates the method of identifying the parameters of electronic components when selecting them for critical applications equipment based on failure predictors. This may be necessary when equipping important complex electronic systems with a high-quality component base. To ensure this, in the production of electronic components, it is often necessary to select more reliable, higher-quality components for such systems. One of the important approaches in this case is the choice of data processing methods and identification techniques. A significant part of such approaches requires the improvement of data processing methods, including clustering. The implementation of the identification technique is based on determining the number of clusters and clustering using wavelet transform. To solve the problem of approximating the current-voltage characteristics and choosing the identification vector of transistor characteristics, a radial basis neural network was used, and a multilayer perception was selected for further classification. After determining the number of clusters and grouping the output data using clustering based on the wavelet transform, the number of neurons in the neural network was reduced by almost one and a half times, and the classification time was reduced by more than thirty percent. These results allow us to recommend the developed identification method for diagnosing using “predictors” of failures for use in a wide range of practically important tasks in the control and diagnosis of electronic equipment and electronic engineering products in the case of variable parameters of the objects of diagnosis, with a high level of noise in the measurement data and with small volumes of the studied samples. The use of this method will allow us to reduce the time of production tests for the studied group of semiconductor devices intended for use in long-running equipment of critical purpose.

Keywords: Equipment for critical purposes; clustering; wavelet transform; identification; optimization; noise immunity; number of clusters; current-voltage characteristics of transistors; equipment quality; equipment reliability