

**ВАРІАНТ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЦИФРОВИХ
ОБ'ЄКТІВ**

В.О. Хорошко, В.В. Кузавков, Ю.В. Болотюк

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут
45/1, Князів Острозьких, Київ, 01011, Україна
e-mails: professor_va@ukr.net; nevse@ukr.net; yuliia.bolotiuk@viti.edu.ua

Широке залучення цифрових пристроїв (систем) в людській діяльності висуває актуальне питання забезпечення надійності функціонування подібних систем. В свою чергу, забезпечення надійності не можливо без ефективної системи контролю та діагностування технічного стану обраного об'єкту контролю. З іншого боку, виробник цифрового обладнання не зацікавлений у безвідмовному багаторічному функціонуванні виготовлених ним зразків, оскільки це сповільнює виробничий цикл та відповідно зменшує прибутки. Задача контролю за технічним станом будь якого цифрового пристрою покладається цілком на користувача зазначених засобів. Відомо, що у протистоянні окремих засобів контролю та уніфікованих систем контролю цифрового устаткування перемагають уніфіковані системи контролю на базі безконтактних методів реєстрації діагностичної інформації. Структура таких систем також відома, це комп'ютерна вимірювальна система зі спеціалізованим програмним забезпеченням збору та обробки діагностичної інформації, а також інтелектуальної системи підтримки прийняття рішення. Запропоновані авторами рішення базуються на безконтактному індукційному методі діагностування та уніфікованому діагностичному параметрі який відображує фізико-хімічні процеси старіння напівпровідникових структур цифрових радіоелектронних компонентів. Розглядається застосування математичних методів для побудови системи технічного діагностування цифрових об'єктів. Представлено узагальнену методику контролю цифрового обладнання шляхом побудови перевірних тестових послідовностей. В основу методики покладено сучасні методи отримання та обробки діагностичної інформації, алгоритми побудови діагностичних тестів. Отримані результати дають можливість автоматизувати процес визначення фактичного технічного стану сучасного цифрового обладнання.

Ключові слова: діагностичний параметр, модель, тест, алгоритм.

Вступ. До складу сучасних систем обробки та передачі інформації, окрім цифрових елементів входять і аналогові (особливо в складі блоків перетворення для передачі по фізичним каналам). В окремих системах, проведення контролю покладається на вбудовані системи, функціонал яких дуже обмежено. Проведення якісного діагностування можливо лише із залученням спеціальних програмно-апаратних засобів [1, 2].

Певну складність в практичній реалізації уніфікованої автономної автоматизованої системи контролю (діагностування) (ААСД) викликає процес створення діагностичних паспортів РЕО (бази еталонних зразків діагностичного параметру, якій виміряно під час проведення перевірки). Створення такого паспорта вимагає або тісної співпраці з виробником радіоелектронного обладнання (РЕО) або досконалого розуміння структури та алгоритмів функціонування об'єкту контролю з можливістю проведення чисельних, статистично обґрунтованих випробувань.

Отже, перевірка цифрових систем необхідна для забезпечення надійності та безвідмовності функціонування об'єкту контролю. Відомо декілька методів перевірки цифрових систем:

- функціональне тестування: включає запуск системи з різними вхідними даними та перевірку, чи видає вона очікувані результати;
- тестування кордонних значень: перевірка реакції системи на межові значення вхідних даних;
- тестування на випадкових даних: використання випадкових даних для перевірки системи на непередбачувані ситуації;
- тестування згідно зі специфікаціями: порівняння результатів системи з тими, які вказані в технічних специфікаціях;
- тестування на виключні ситуації: створення умов, які викликають помилки або некоректну роботу системи.

Один з варіантів перевірки цифрових систем це перевірка на безперервність. Перевірка на безперервність, яка містить в собі:

- тестування відмов: симуляція різних типів відмов (програмні, апаратні) та перевірку, чи може система коректна відновитися;
- дублювання: використання дубльованих або зайвих компонентів для забезпечення роботи системи навіть після відмови одного з компонентів;
- запобігання відмовам: використання методів для попередження відмов, таких як контроль справжнього часу, моніторинг стану апаратного забезпечення тощо;
- резервне копіювання: створення резервних копій даних для відновлення в разі втрати;
- моніторинг: встановлення систем моніторингу для відстеження проблем та аномалій у реальному часі;
- заплановане обслуговування: регулярне технічне обслуговування та оновлення системи для запобігання відмовам через знос.

У системах критичної інфраструктури іноді застосовуються комплексні підходи до перевірки, які поєднують кілька методів для забезпечення найвищої надійності. Ці методи можна комбінувати та налаштовувати залежно від конкретних потреб і характеристик ОК.

Суперечливість вимог при складанні тестових послідовностей для контролю та діагностики безперервності цифрових систем (ЦС) проявляється у наступному:

- необхідно забезпечити синтез тестів за практично прийнятний час;
- обрані методи синтезу тестів повинні забезпечувати повну перевірку ЦС.

Крім того, алгоритми та програми синтезу тестів повинні бути наочними та доступними для огляду, а тестові послідовності необхідно представляти у формі, зручній для налагодження програм для їх перевірки в реальних умовах експлуатації технічних засобів.

Можливість швидкого вирішення зазначених протиріч разом із розвитком цифрової техніки, на жаль, не покращується, а навпаки, знижується. Такий стан пояснюється насамперед тим, що ЦС, які підлягають контролю, значно ускладнюються як структурно так і функціонально. Це ускладнення обумовлено зростанням ступеню інтеграція мікросхем, і кількості мікросхем великої та середньої інтеграції.

Робота присвячена пошуку компромісу вирішенні завдання з контролю та діагностики ЦС. З робіт [3,4,5] відомо, що достатніми умовами контрольованості мереж зв'язку є доступність функціональних елементів через первинні входи та можливість транспортування несправності до первинних виходів ЦС. У зв'язку з цим, перед початком синтезу тестових повідомлень, доцільно проаналізувати структуру ЦС для визначення ступеню його контрольованості та діагностики із заданою глибиною.

Мета статті та постановка задачі. Стрімкий розвиток мікроелектроніки та інформаційних технологій потребує від конструкторів і виробників сучасних

автономних автоматизованих систем технічного діагностування (АА СТД) розробки нових методів отримання та обробки діагностичної інформації для визначення технічного стану та локалізації несправного радіоелектронного компонента аналогових і цифрових блоків [6]. Автономна автоматизована система технічного діагностування блоків радіо електронного обладнання (РЕО) є складовою частиною системи технічного діагностування і представляє сукупність засобів, об'єкта діагностування та виконавців, які необхідні для проведення діагностування за правилами, встановленими технічною документацією. Системи технічного діагностування повинні розроблятися на стадії проектування, забезпечуватися на стадії виробництва і підтримуватися на стадії експлуатації об'єктів РЕО. Однак ці вимоги далеко не завжди виконуються. Аналіз існуючих систем технічного діагностування показав, що це обумовлено рядом суттєвих недоліків, які властиві існуючим АА СТД. Тому автономні автоматизовані системи технічного діагностування блоків РЕО, що побудовані на основі існуючих методів й методик, є малоефективними, та не відповідають сучасним вимогам.

Тому при експлуатації існуючих та створенні нових перспективних об'єктів РЕО достатньо чітко визначились наступні протиріччя:

між реальними технічними можливостями об'єктів РЕО та низьким рівнем їх реалізації через низький рівень АА СТД;

між рівнем вимог, які пред'являються до АА СТД і неможливості їх задовольнити існуючим методологічним апаратом отримання, обробки та управління діагностичною інформацією;

між обмеженою ціною АА СТД та високими вимогами до її технічних характеристик.

Таким чином, основне протиріччя існуючої системи технічного діагностування блоків РЕО визначається принциповою можливістю побудови вискоефективних автономних автоматизованих систем технічного діагностування на основі використання передових досягнень в області інформаційних технологій при отриманні та обробці діагностичної інформації. А також недостатньою ефективністю автоматизованих систем технічного діагностування в існуючих об'єктах РЕО, що не забезпечує локалізацію несправності з точністю до радіоелектронного компонента (РЕК).

Це протиріччя обумовлено наведеними недоліками існуючої системи технічного діагностування, яка не забезпечує локалізацію несправності з точністю до радіоелектронного компонента. Як наслідок, це призвело до створення й функціонування на сучасному етапі експлуатації об'єктів РЕО складної, не економічної, багатоконтурної системи технічного обслуговування і ремонту, що обумовлює втрату часу на контроль технічного стану й локалізацію можливих несправностей в блоках РЕО.

Для усунення даного протиріччя необхідно використовувати інформаційні технології при побудові й впровадженні автономних автоматизованих систем технічного діагностування радіоелектронних блоків на основі отримання та обробки діагностичної інформації.

Зазначене діалектичне протиріччя визначило актуальну наукову проблему, що полягає в розробленні інформаційних технологій для побудови і впровадження автономних автоматизованих систем технічного діагностування блоків РЕО на основі отримання та обробки діагностичної інформації. Проведені наукові дослідження в області застосування інформаційних технологій при діагностуванні аналогових і цифрових радіоелектронних блоків дозволили розробити нові методи отримання (динамічний, енергодинамічний, електромагнітний, індукційний та метод власного випромінювання) та обробки

діагностичної інформації [6, 7]. В статті вирішується наукове завдання розробки узагальненої методики діагностування автономною автоматизованою системою технічного діагностування блоків РЕО, що побудована на основі даних методів.

Основна частина. Загальна схема процесу підготовки та здійснення контрольньо-діагностичних операцій наведена на рисунку 1.

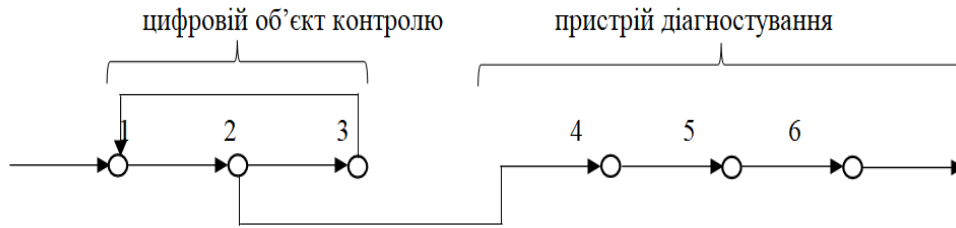


Рис.1. Етапи процесу підготовки та здійснення контрольньо-діагностичних операцій

На рисунку 1 цифрами позначено наступні етапи:

1. опис електричної схеми ЦС;
2. аналіз ступеню контрольованості ЦС, видача переліку елементів, які не піддаються контролю на друк;
3. доопрацювання схеми ЦС із метою забезпечення її повної контрольованості;
4. синтез тестових наборів;
5. контрольна перевірка, генерування тестових послідовностей;
6. діагностична перевірка, обробка результатів контролю.

Розглянемо сутність запропонованої послідовності (рис.1).

Етап 1. Для введення інформації в ЕОМ, схему об'єкту контролю необхідно описати. Для опису використовуємо наступні позначення:

- множина $A \in (a_1, a_2, a_3, \dots, a_n)$, включає в себе функціональні елементи, які записуються у восьми розрядному коді в довільному порядку;

- множина первинних входів $X \in (x_1, x_2, x_3, \dots, x_x)$ і виходів $Y \in (y_1, y_2, y_3, \dots, y_y)$;

- коди передавальних функцій переходів σ_i входів λ , відповідним елементам $a_j \sigma(\lambda)_i$.

Дуги, які з'єднують елементи A, X, Y між собою, позначаються зазвичай номером того елемента, з якого вони виходять, тому спеціальної множини для їх подання не потрібна.

При опису електричної схеми за номером функціонального елемента вказуються всі дуги, які входять до нього, тобто наводиться сукупність дуг \bar{U} і безліч функціональних елементів A . Елементи опису електричної схеми A, X, Y, \bar{U} характерні для подання орієнтованого графа, тому розглядається як граф.

Функції переходів (виходів) дозволяють аналізувати схему як структурний автомат для визначення фіксованих значень первинних входів, виходів і функціональних елементів, та для побудови тестових послідовностей.

Етап 2. Аналіз контролепридатності ЦС передбачає аналіз графа [8]. При цьому всі параметри A ЦС, умовно розбиваються на підгрупи з вершинами, які відповідають первинним виходам. Приймавши за достатність контрольованості відповідність під графів деревоподібній структури, необхідно побудувати всі існуючі гілки з корінням в Y_j вершині. Наявність глибоких зворотних зв'язків (ЗЗ) та багато вимірність шляхів (БВШ) свідчить про некоректність схеми в сенсі перевірки. Інформація про некоректні гілки використовується для доопрацювання електричної схеми [9].

Етап 3. Здійснюється доопрацювання електричної схеми ЦС або визначення додаткових контрольних точок безпосередньо в ЦС (якщо це допустимо за умовами виробництва та експлуатації).

Етап 4. Відповідно до обраної схеми контролю ЦС синтез тестів повинен здійснюватися з урахуванням можливостей контрольно-діагностичних засобів. Побудова тестів здійснюється для кожного дерева окремо. При цьому одна з гілок вибирається як основний маршрут для перевірки. Ознаки, якими вибирають основний маршрут, можуть бути різними:

- гілка з найбільшою кількістю елементів пам'яті;
- виключно комбінаційна гілка і т.і.

Для обраної гілки будується тестовий набір (послідовність), який забезпечує контроль основного маршруту. Стан первинного входу, елементів гілок та всієї гілки визначається відповідно до функцій переходів (виходів) елементів, які належать контрольованому напрямку. Побудований таким чином тестовий набір (або тестова послідовність для гілок з елементами пам'яті) забезпечує перевірку технічного стану лише однієї гілки. Для побудови тестової послідовності для дерева доцільно використовувати діагностичний пристрій (ДП) у вигляді комп'ютерної вимірювальної системи. Генерування тестової послідовності (ТП) полягатиме в визначенні умов порушення перевірки по будь-якій гілці з подальшою переперевіркою основного маршруту за раніше побудованим тестом, який можна назвати початковим.

Етап 5. За результатами перевірки основного маршруту можна зробити висновок про справність пов'язаних із ним гілок. Якщо за порушення умов контрольованості основний маршрут визнано як несправний, то можна зробити висновок про несправності сполучених з ним гілок.

Такий підхід до побудови перевірних ТП та до реалізації контрольних перевірок дає суттєві переваги порівняно з існуючими методами. Різко знижується машинний час синтезу тестових послідовностей, підвищується їх компактність. В результаті знижується вимоги до обсягу оперативної пам'яті ДП, підвищується надійність роботи зовнішніх пристроїв. Прийняття рішення, що до застосування результатів перевірки, можливо в автоматизованому безпосередньо на об'єкті.

Етап 6. Для визначення місця несправності використовується інформація, отримана після здійснення контрольних перевірок. Після перевірки всіх ланцюгів дерева, елементи, які належать гілкам із негативним результатом контролю, вважаються підозрілими. Для того щоб уточнити місце несправності, після перевірки всіх дерев ЦС здійснюється логічна операція перетину $A_i^1 \cap A$. В результаті операції перетину кількість підозрюваних елементів буде знижено до групи елементів або одного елемента.

Використання сучасного індукційного методу діагностування, алгоритмів виділення та обробки діагностичної інформації, прийняття рішення про технічний стан (ТС) ОК і місця локалізації несправного компонента дає змогу розробити функціональну схему автономної системи технічного діагностування (рис. 2).

До її складу входять:

блок живлення (БЖ), що призначений для живлення;

блок виділення діагностичної інформації та її перетворення;

блок управління (БУ);

блок інтерфейсу, для під'єднання ОК та вибору необхідного входу;

блок інтерфейсу для обміну інформацією між датчиками діагностичної інформації, блоком виділення діагностичної інформації, комутатором та сигнальним процесором;

блок індикації (БІ), для реєстрації та індикації результатів «контролю ТС» і «локалізації» несправного радіоелектронного компонента.

Обсяг оперативної пам'яті має забезпечити розміщення не менше одного перевірного тестового набору. До складу системи діагностування (ДП) повинен входити лічильники тестових наборів, що подаються на ЦС.

Для формування (подачі) перевірних послідовностей, а також збереження еталонних реакцій ОК на певну перевірну послідовність, система діагностування повинна містити змінний запам'ятовуючий пристрій. Іншим варіантом є використання штучного інтелекту для створення (генерування) тестових повідомлень, з можливістю комутації на відповідні входи об'єкту контролю. Алгоритми роботи ДП доцільно також закладати в змінному пристрої пам'яті, що дає можливість адаптування системи контролю під різноманіття цифрових об'єктів контролю.

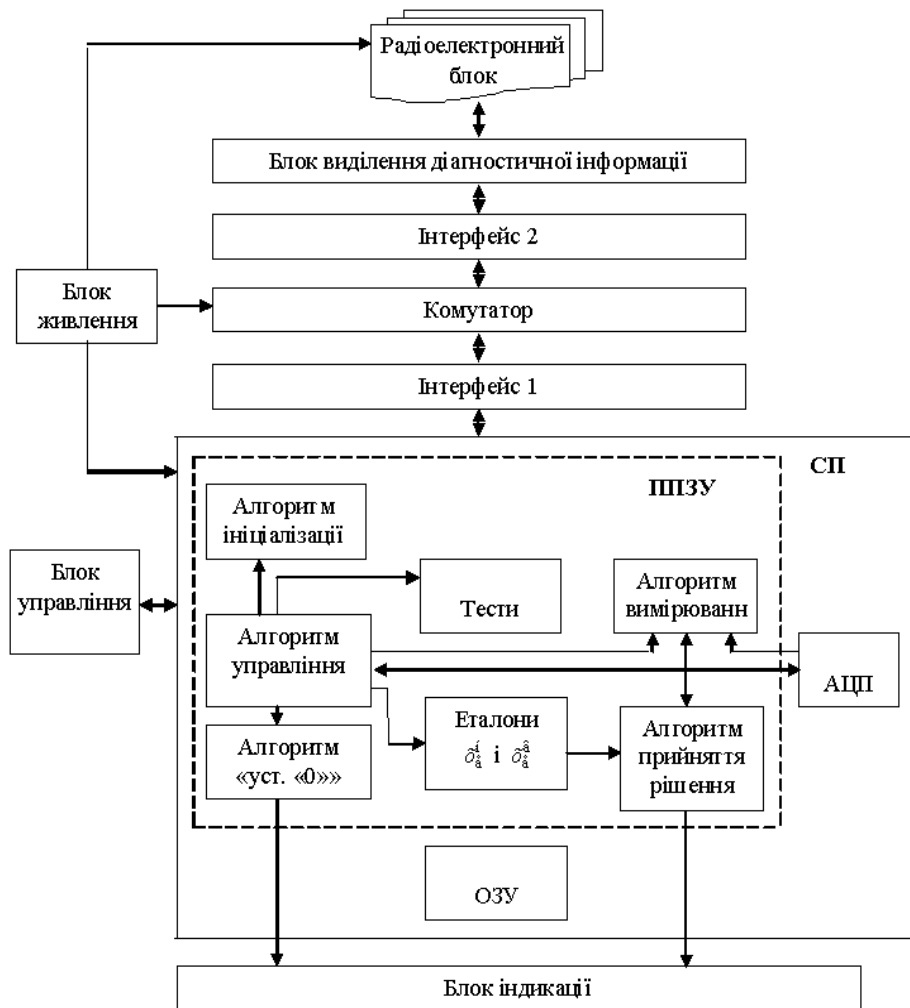


Рис. 2. Структура системи контролю

Висновки. Запропонований метод проведення технічного контролю дозволяє сформулювати структурну схему системи автоматизованого контролю технічного стану цифрових систем з використанням спеціально сформованих перевірних тестових послідовностей.

Поєднання математичних алгоритмів з синтезу тестів засобами обчислювальної техніки з можливостями засобів діагностування у вигляді обчислювально-вимірювального комплексу, спрощує процеси контролю та діагностування цифрових систем та покращує ефективність системи контролю.

Список літератури

1. Хорошко В., Кузавков В., Янковський О., Болотюк Ю. Вимоги до засобів діагностування обчислювальних систем. *Безпека інформації*. Київ. 2022. №3 (28). С. 127-132.
2. Шкуліпа П.А. Основні напрямки розвитку автоматизованих систем технічного діагностування об'єктів радіоелектроніки. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2012. № 6. С.192-194.
3. Шкуліпа П.А. Методика проведення діагностування аналогових пристроїв динамічним методом. *Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. К. 2012. № 38. С.106-110.
4. Вишнівський В., Жердєв М., Креденцер Б., Кузавков В., Редзюк Є. Безконтактний індукційний метод діагностування радіоелектронних блоків. *Збірник наукових праць ВІКНУ ім. Тараса Шевченка*. 2013. Вип.43. С.17-23.
5. Чжен Г. Мэнниг Г., Метц Г. Диагностика отказов цифровых вычислительных систем. М.: Мир, 2002. 232с.
6. Гайдур Г., Кузавков В., Редзюк Є., Серих С. Безконтактний індукційний метод визначення технічного стану цифрового блока: розрахунок потужності випромінювання провідника. *Зв'язок*. 2016. №1. С. 32-39
7. Кузавков В., Хорошко В., Янковський О. Технічна діагностика складних технічних об'єктів. *Захист інформації*. 2022. Вип.24. №3. С.115-120.
8. Райгородский А.М. Модели случайных графов. М.: МЦНМО, 2017. 144с.
9. Брейловський Н.Н., Іванченко Е.В., Хорошко А.В. Діагностика системи захисту інформаційного простору. *Захист інформації. Спеціальний випуск*. 2014. С. 59-67.

OPTION OF THE SYSTEM FOR DETERMINING THE TECHNICAL CONDITION OF DIGITAL OBJECTS

V.O. Khoroshko, V.V. Kuzavkov, Y.V. Bolotiuk

Military Institute of Telecommunications and Informatization Technologies named after Heroes of Kruty; 45/1, Kniaziv Ostrozkyh St, Kyiv, 01011, Ukraine
e-mails: professor_va@ukr.net; nevse@ukr.net; yuliia.bolotiuk@viti.edu.ua

The widespread involvement of digital devices (systems) in human activity raises the urgent question of ensuring the reliability of the functioning of such systems. In turn, ensuring reliability is not possible without an effective control system and diagnostics of the technical condition of the selected object of control. On the other hand, the manufacturer of digital equipment is not interested in many years of trouble-free operation of the samples manufactured by him, because this slows down the production cycle and, accordingly, reduces profits. The task of monitoring the technical condition of any digital device rests entirely with the user of the specified means. It is known that in the confrontation between separate control means and unified control systems of digital equipment, unified control systems based on non-contact methods of recording diagnostic information win. The structure of such systems is also known, it is a computer measuring system with specialized software for collecting and processing diagnostic information, as well as an intelligent decision support system. The solutions proposed by the authors are based on a non-contact induction method of diagnosis and a unified diagnostic parameter that reflects the physical and chemical aging processes of semiconductor structures of digital radio electronic components. The application of mathematical methods for building a system of technical diagnostics of digital objects is considered. A generalized method of digital equipment control by constructing verifiable test sequences is presented. The methodology is based on modern methods of obtaining and processing diagnostic information, algorithms for constructing diagnostic tests. The obtained results make it possible to automate the process of determining the actual technical condition of modern digital equipment.

Keywords: diagnostic parameter, model, test, algorithm.