

УДК 681.35

М.К. Жердев<sup>1</sup>, С.В. Ленков<sup>2</sup>, П.А. Шкуліпа<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Військовий інститут телекомунікації та інформатизації НТУУ «КПІ», Київ

<sup>2</sup> Військовий інститут Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, Київ

<sup>3</sup> Одеська державна академія технічного регулювання та якості, Одеса

## ПОБУДОВА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПЕРЕВІРЯЮЧИХ ТЕСТІВ ДЛЯ ЕНЕРГОДИНАМІЧНОГО ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ

*В роботі визначено загальний підхід до побудови функціональних перевіряючих тестів для енергодинамічного та електромагнітного методів діагностування радіоелектронних компонентів. В якості радіоелектронних компонентів розглянуто цифрові елементи пам'яті, мікроконтролери і аналогові інтегральні схеми.*

**Ключові слова:** метод діагностування, функціональний перевіряючий тест.

### Вступ

Сучасні об'єкти радіоелектронної техніки (РЕТ) представляють собою складні технічні системи, що являються об'єднанням модулів різного фізичного виконання й призначення. Широка номенклатура аналогових і цифрових пристроїв, що використовуються в об'єктах РЕТ, їх багатофункціональність висувають жорсткі вимоги до засобів діагностування з точки зору забезпечення заданого рівня тривалості діагностування, при забезпеченні необ-

хідної достовірності [1]. Забезпечити висунуті вимоги можна застосуванням нових ефективних принципів, методів і засобів для розробки сучасних засобів діагностування об'єктів РЕТ на основі нових ефективних методів діагностування.

**Аналіз стану проблеми.** До складу об'єктів РЕТ входять радіоелектронні пристрої (РЕП), що складаються з радіоелектронних компонентів (РЕК). Проведення якісного контролю технічного стану аналогових і цифрових радіоелектронних компонентів залежить від методу діагностування.

Перспективними методами діагностування РЕК являються енергодинамічний та електромагнітний методи [2, 3, 4]. Суть електромагнітного методу діагностування радіоелектронних компонентів радіоелектронних пристроїв полягає в тому, що в якості діагностичних параметрів використовуються параметри сигналів, що наводяться у «антенному» пристрої, що накладається на сам радіоелектронний компонент РЕП. Робота радіоелектронного компонента РЕП супроводжується зміною електромагнітного поля навколо нього при подачі на нього діагностичного тесту. Потужність випромінювання радіоелектронного компонента являється достатньою, щоб згенерувати у «антенному» пристрої сигнали, параметри яких можна використовувати у якості діагностичних параметрів радіоелектронного компонента радіоелектронного пристрою. При вимірі даного діагностичного параметра виконуються вимоги прояву й транспортування будь-якого дефекту в контрольну точку.

Суть енергодинамічного методу отримання діагностичної інформації для контролю технічного стану РЕК полягає в тому, що в якості діагностичного параметра використовується значення напруги, яка вимірюється на пристрої контролю технічного стану, який включено в шину живлення.

**Постановка задачі.** Інформацією про працездатність РЕК являється значення параметрів сигналів, які виникають у антенному пристрої (для електромагнітного методу) і на пристрої контролю технічного стану (для енергодинамічного методу). Надалі ці пристрої будемо називати пристроями контролю радіоелектронних компонентів (ПК РЕК). Для визначення працездатності РЕК на їх вхід необхідно подавати тести. Тому необхідно вирішити наукову задачу, що полягає в розробці функціональних перевіряючих тестів для енергодинамічного та електромагнітного методів діагностування радіоелектронних компонентів. В якості РЕК розглянемо цифрові елементи пам'яті, мікроконтролери і аналогові інтегральні схеми.

## Основна частина

Надходження на входи РЕК тестової послідовності (ТП)  $\tilde{x}_i$  викликає спрацювання даного елемента відповідно з реалізованою у ньому функції або функції переходів і виходів. При цьому на ПК РЕК виникає відповідна послідовність сигналів (відгуків)  $\tilde{y}_{k,i}$ . Якщо вхідна послідовність  $\tilde{x}_i$  містить функціональний перевіряючий тест (ФПТ), то сумарний відгук РЕК  $\tilde{y}_{k,i}$  може бути представлений у вигляді послідовності відгуків елементів на ФПТ  $\tilde{y}_{\text{фпт},i}$  і на надлишкових наборів  $\tilde{y}_{\text{нд},i}$ . Цей сумарний відгук є еталонним і позначається  $\tilde{y}_{k,i,\text{ет}}$ .

В тестовій послідовності, що подається на типовий елемент заміни (ТЕЗ), передбачається наявність

ФПТ для всіх його елементів, з допомогою яких визначається еталонний відгук. Це означає, що вхідна ТП  $\tilde{X}_{\text{тез}}$  повинна бути детермінованою або псевдовипадковою. Завдяки вибору досить великого періоду повторення псевдовипадкової послідовності її можна вважати випадковою в межах часу діагностування  $t_d$ .

Дефект в логічному елементі (ЛЕ) інтегральної схеми призводить до того, що елемент припиняє перемикатися (константна несправність, на його виході постійно фіксується постійний рівень константний «0» або константна «1») або змінюється його перемикальна функція. Через відсутність спрацювань РЕК, значення параметрів на ПК РЕК зміниться, тобто  $\tilde{y}_{k,i} \neq \tilde{y}_{k,i,\text{ет}}$ . При цьому змінюються булеві функції, які реалізовані у ТЕЗ. Це призводить до того, що відгуки деяких справних РЕК також не відповідатимуть еталонним.

Умова прояву дефекту на виходах РЕК автоматично трансформується в умову прояву дефекту на ПК РЕК. Завдяки цьому, будь-який дефект, який виникає в РЕК, проявиться в зміні відгуку  $\tilde{y}_{k,i}$  цього РЕК.

Радіоелектронний компонент комбінаційного типу, що має  $n$  входів, характеризується тим, що значення логічного сигналу на його виході у довільний момент часу однозначно визначається сукупністю сигналів  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  на входах у той же момент часу. Будь-який РЕК повністю може бути описаний логічною (булевою) функцією типу  $Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , а тестові набори для перевірки РЕК можуть подаватися в довільному порядку. Завдання побудови ФПТ для РЕК зводиться до знаходження такого мінімального числа тестових наборів, на якому проявляється будь-який дефект заданого класу. Чіткого алгоритму рішення даної задачі, окрім повного перебору, на даний час не існує.

На відміну від елемента комбінаційного типу елемент пам'яті характеризується тим, що сигнал на його виході  $Y(t)$  визначається не тільки видом тестового набору  $X_i = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ , що поданий на входи елемента пам'яті у даний момент часу, але також і тим, у якому стані перебував елемент пам'яті у попередній момент часу, тобто тим, які тестові набори були подані на його входи раніше. При перевірці елемента пам'яті суттєвим є порядок подачі вхідних тестових наборів. Для завдання моделей цифрових пристроїв з пам'яттю часто використовують функції переходів і виходів:

$$Y(t) = \rho' [S(t), X(t)],$$

$$S(t+1) = \delta' [S(t), X(t)],$$
(1)

де  $\rho'$  – функція виходу елемента пам'яті;  $\delta'$  – функція переходів;  $S(t)$  – стан елемента пам'яті у момент  $t$ ;  $X(t)$  – вхідний сигнал у момент часу  $t$ .

Якщо в системі (1) функції  $\rho'$  і  $\delta'$  задані на кінцевому числі аргументів, то елемент пам'яті може бути заданий таблицею переходів і виходів. Побудова ФПТ для елемента пам'яті полягає у відборі таких вхідних тестових наборів  $X_1, X_2, \dots, X_m$ , які в сукупності забезпечили б із заданою достовірністю перевірку всіх РЕК елемента пам'яті.

Розглянемо задачу побудови ФПТ для перевірки працездатності RS-тригера. Так як тригер має тільки один стійкий стан, то до складу ФПТ буде входити більше число тестових наборів у порівнянні з ФПТ для елементів комбінаційного типу. При цьому повинна забезпечуватися роздільна перевірка RS-тригера по кожному із входів.

Наявність несправностей в схемі тригера повинно однозначно проявлятися на ПК РЕК внаслідок відсутності спрацьовування тригера при подачі заданої сукупності наборів зі складу ФПТ, або за рахунок виникнення додаткових спрацьовувань. Побудований ФПТ повинен приводити до обов'язкового спотворення еталонного відгуку на ПК РЕК при виникненні будь-якої несправності. Перевірка працездатності RS-тригера зводиться до почергової перевірки його входів і реєстрації на ПК РЕК виникаючих імпульсів струму. Перевагою такого підходу є те, що перевірка елементів пам'яті може бути проведена й у тому випадку, коли РЕК розташовані в корпусі однієї ІМС і за допомогою адаптера неможливо перевірити відсутність обривів і замикань у схемі тригера. Аналіз таблиці істинності RS-тригера показує, що незалежно від стану, у якому він перебуває в момент часу  $t$ , подача набору  $X^{(0)} = \{x_1, x_2\}$ , де  $x_1 = 1$  приводить до того, що  $y = 0$ , а подача набору  $X^{(1)} = \{x_1, x_2\}$ , де  $x_2 = 1$  – до того, що  $y = 1$ .

Розглянемо задачу перевірки працездатності двійкового  $n$ -розрядного лічильника, побудованого на базі Т-тригера. Для перевірки лічильника необхідно установити його у початковий стан, а потім подати послідовність із  $2^n$  одиниць на лічильниковий вхід "+1". У випадку, якщо ТП складається із  $2^a$  одиниць, то буде перевірений  $a+1$  тригер з індексами  $T(0)$  до  $T(a)$  включно, де  $0 \leq a \leq n-2$ . Для перевірки можливості переносу одиниці із старшого розряду лічильника до його лічильникового входу "+1" потрібно подати ТП із  $2^{n-1}$  одиниць.

Таким чином, ФПТ для перевірки стану двійкового  $n$ -розрядного лічильника на базі Т-тригера з використанням електромагнітного методу діагностування являє собою набір послідовностей, складених із  $2^{n-1}$  однорозрядних слів  $x_i = 1$ , де  $1 \leq i \leq 2^{n-1}$ . Так як тригер складає основу інших елементів пам'яті, можна побудувати ФПТ для перевірки кожного з них з використанням електромагнітного методу діагностування.

Розглянемо задачу побудови ФПТ для перевірки працездатності мікроконтролерів та сигнальних контролерів. Сигнали на виході мікроконтролера (МК) (рис. 1) залежать від тестового набору  $X_i(t) = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_j(t)\}$ , що поданий на його вхід, стану, в якому він знаходиться, та алгоритму обробки інформації

$$Y_i(t) = A_i[S_i(t), X_i(t)],$$

де  $A_i$  – алгоритм обробки інформації в мікроконтролері;  $S_i(t)$  – стан мікроконтролера в момент часу  $t$ ;  $X_i(t)$  – вхідний сигнал в момент часу  $t$ .

Сигнали  $X_i(t)$  та  $Y_i(t)$  являються цифровими послідовностями.

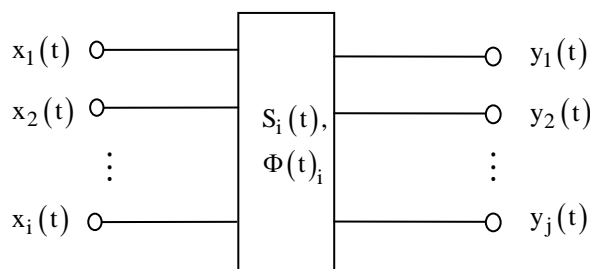


Рис. 1. Схема мікроконтролера

В пристроях РЕТ мікроконтролери виконують визначену задачу, тому ФПТ для них можна отримати тільки відносно тих виводів МК, які використовуються в об'єкті, що діагностується. Наприклад, МК використовується для:

- а) зашифрування інформації:  $x_1(t)$  – вхідна двійкова інформація;  $A_1$  – алгоритм шифрування;  $y_1(t)$  – вихідна зашифрована двійкова інформація;
- б) розшифрування інформації:  $x_2(t)$  – вхідна двійкова зашифрована інформація;  $A_2$  – алгоритм розшифрування;  $y_2(t)$  – розшифрована інформація.

Для прикладу, процедура отримання ФПТ має вигляд:

1. На вхід подати  $x_1(t)$ . В якості  $x_1(t)$  подається інформація, яка максимально використовує можливості МК.
2. Запустити алгоритм  $A_1$ .
3. Закодовану інформацію  $y_1(t)$  з виходу подати на вхід  $x_2(t)$ .
4. Запустити алгоритм  $A_2$ .
5. З виходу  $y_2(t)$  зняти розшифровану інформацію.
6. Порівняти  $x(t)_1$  та  $y(t)_2$ .

Якщо:

- а)  $x(t)_1 = y(t)_2$ , то мікроконтролер справний.
- б)  $x(t)_1 \neq y(t)_2$ , то мікроконтролер дефектний.

Таким чином, знаючи функції, які виконуються в мікроконтролері, можна побудувати ФПТ, який

значно (в сотні порядків) коротший повного перевіряючого тесту мікроконтролера.

Розглянемо задачу побудови ФПТ для перевірки працездатності аналогових радіоелектронних компонентів. Сигнал на виході  $y_i(t) = \Phi_i(t)[S_i(t), x_i(t)]$  аналогових радіоелектронних компонентів (АРЕК) (рис. 2)  $y_i(t)$  залежить від вхідного сигналу  $x(t)_i = \{x(t)_1, x(t)_2 \dots x(t)_i\}$ , стану, в якому він зараз знаходиться  $S_i(t)$  та функції перетворення сигналу  $\Phi_i(t)$ . В пристроях РЕК аналогові РЕК виконують визначену задачу, тому для них застосовуються функціональні перевіряючі тести для визначених умов.

Розглянемо двовходову інтегральну схему, на виході якої отримується проміжна частота за допомогою функції перетворення  $\Phi_i(t) = f_1 - f_2 = f_{\text{пр}}$ . Повний функціональний перевіряючий тест в даному випадку буде представляти собою таку послідовність:

1. На вхід 1 подати радіоімпульс з частотою  $f_1$ , який відповідає робочому. Виміряти сигнали на пристрої контролю радіоелектронного компонента та порівняти з еталонним.

2. На вхід 2 подати радіоімпульс з частотою  $f_2$ , яка відповідає робочому. Виміряти сигнали на пристрої контролю радіоелектронного компонента та порівняти з еталонним.

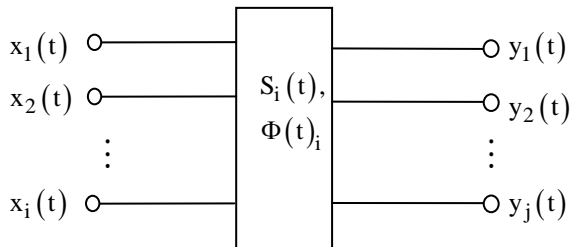


Рис. 2. Схема аналогового РЕК

3. Подати одночасно радіоімпульси на входи 1 та 2. Виміряти сигнали на пристрої контролю радіоелектронного компонента та порівняти з еталонним.

4. Якщо у всіх трьох випадках:

- параметри вимірюваних сигналів відповідають еталонним, то РЕК справний,
- параметри вимірюваних сигналів не відповідають еталонним, то РЕК дефектний.

Для скороченого функціонального перевіряючого тесту достатньо виконати пункт 3.

## Висновок

Таким чином, визначено загальний підхід до побудови функціональних перевіряючих тестів аналогових і цифрових радіоелектронних компонентів радіоелектронних пристроїв для енергодинамічного та електромагнітного методів діагностування. Застосування даних тестів дає можливість забезпечити вимоги до засобів діагностування з точки зору забезпечення заданого рівня тривалості діагностування, при необхідній достовірності.

## Список літератури

1. Діагностика цифрових та аналогових пристроїв радіоелектронної техніки: Моногр. / В.В. Вишинівський, М.К. Жердев, С.В. Ленков, В.О. Проценко; за ред. М.К. Жердева, С.В. Ленкова. – К.: Знання України, 2009. – 220 с.
2. Шкуліпа П.А. Діагностична модель радіоелектронного пристрою об'єкта радіоелектронної техніки для електромагнітного методу діагностування / П.А. Шкуліпа, С.В. Ленков, О.В. Карпенко // НПК «Інформаційні управляючі системи та технології». – Одеса: Одеський національний морський університет, 2012. – С. 137-139.
3. Шкуліпа П.А. Перевірка адекватності діагностичної моделі радіоелектронного компонента для електромагнітного методу діагностування / П.А. Шкуліпа, С.В. Ленков, С.І. Глухов // Вестник научных трудов Востокукраинского национального университета им. В. Даля. – Луганск, 2012. – № 8(179). – Ч.1. – С. 106-110.
4. Шкуліпа П.А. Алгоритми побудови діагностичної моделі транзистора і для енергодинамічного методу діагностування / П.А. Шкуліпа // Наукові нотатки постійно діючого семінару науковців, здобувачів та ад'юнктів. – К.: ВІКНУ, 2011. – Вип. №21. – С.33-46.

Надійшла до редколегії 13.12.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. І.В. Шостак, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків.

## ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОВЕРЯЮЩИХ ТЕСТОВ ДЛЯ ЭНЕРГОДИНАМИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Н.К. Жердев, С.В. Ленков, П.А. Шкулипа

*В работе определен общий подход к построению функциональных проверяющих тестов для энергодинамического и электромагнитного методов диагностирования радиоэлектронных компонентов. В качестве радиоэлектронных компонентов рассмотрены цифровые ячейки памяти, микроконтроллеры и аналоговые интегральные схемы.*

**Ключевые слова:** метод диагностирования, функциональный проверяющий тест.

## CONSTRUCTION OF FUNCTIONAL CHECKING TESTS FOR ENERGO-DYNAMIC AND ELECTROMAGNETIC METHODS OF DIAGNOSTICATING

M.K. Zherdev, S.V. Lenkov, P.A. Shkulipa

*The general going is in-process certain near the construction of functional checking tests for the energo-dynamic and electromagnetic methods of diagnosticating of radio electronic components. As radio electronic components digital memory cells, microcontrollers and analog integrated circuits, are considered.*

**Keywords:** method of diagnosticating, functional checking test.