

УДК 621.35

В. В. ВИШНІВСЬКИЙ, доктор техн. наук, професор,

М. П. ГНІДЕНКО, канд. техн. наук, доцент,

Ю. І. КАТКОВ,

В. В. КУЗАВКОВ,

Є. В. РЕДЗЮК,

Державний університет телекомунікацій, Київ

## ФОРМУВАННЯ БАЗИ ДІАГНОСТИЧНИХ ТЕСТІВ ЦИФРОВИХ БЛОКІВ ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО ІНДУКЦІЙНОГО МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ

**Визначено загальний підхід до формування бази діагностичних тестів для безконтактного індукційного методу діагностування технічного стану цифрових блоків радіоелектронної техніки. Поставлену задачу розглянуто на прикладі найпростішої принципової схеми цифрового блока.**

**Ключові слова:** безконтактний індукційний метод; діагностичний тест.

### Вступ

Сучасні об'єкти радіоелектронної техніки (РЕТ) являють собою складні технічні системи, утворені об'єднанням модулів різного фізичного виконання та призначення. Широка номенклатура цифрових пристроїв, використовуваних в об'єктах РЕТ, їх багатофункціональність — усе це висуває жорсткі вимоги до засобів діагностування стосовно додержання заданого рівня тривалості діагностування, із забезпеченням необхідної його вірогідності [1]. Задовольнити зазначені вимоги можна застосуванням нових ефективних принципів, методів і засобів діагностування об'єктів РЕТ.

### Аналіз стану проблеми

Сучасні об'єкти РЕТ включають у себе цифрові блоки, що складаються з радіоелектронних компонентів (РЕК). Якість контролю технічного стану цифрових радіоелектронних компонентів залежить від застосовуваного методу діагностування.

Перспективним методом діагностування РЕК слід вважати *безконтактний індукційний метод діагностування* (далі — метод) [2].

Сутність розглядуваного методу діагностування радіоелектронних блоків полягає в тому, що як діагностичні параметри (ДП) використовуються параметри сигналів, що наводяться струмовідним елементом на затискачах вимірювальної котушки при подачі на радіоелектронний блок тестового впливу.

Під струмовідним елементом розуміється провід живлення радіоелектронного блока (позитивний або корпусний). Робота блока супроводжується зміною магнітного поля навколо провідів живлення при подачі діагностичного тесту.

Зазначену властивість доцільно використовувати для з'ясування технічного стану радіоелектронного блока. Для цього вимірювальна котушка закріплюється («вдягається») на струмовідний елемент. При подачі діагностичного тесту в радіоелектронному блоці спрацьовують складові елементи,

що призводить до зміни сигналу — магнітного поля на струмовідному елементі. На затискачах вимірювальної котушки генерується сигнал із певними параметрами. Наявність та форма сигналу на вимірювальній котушці — це інформація, що констатує факт роботи радіоелектронного блока. Діагностична інформація, отримана за допомогою вимірювальної котушки, надходить до блока її обробки. На основі порівняння параметрів еталонних і отриманих сигналів ухвалюється рішення про технічний стан (ТС) даного радіоелектронного блока.

### Постановка задачі

Інформацією про роботоздатність цифрового блока для безконтактного індукційного методу слугують характеристики сигналів, які виникають у безконтактному індукційному датчику діагностичного сигналу (ДДС).

Надходження на входи цифрового блока тестової (контролюючої) послідовності (ТП)  $\tilde{x}_i$  призводить до спрацьовування РЕК згідно з реалізованою в цифровому блоці функцією. При цьому на ДДС виникає відповідна послідовність контролюючих сигналів (відгуків)  $\tilde{y}_{ki}$ . Якщо вхідна послідовність  $\tilde{x}_i$  містить діагностичний тест (ДТ), то сумарний контролюючий відгук  $\tilde{y}_{ki}$  може бути поданий у вигляді послідовності відгуків елементів на ДТ  $\tilde{y}_{vdi}$  і надлишкових наборів  $\tilde{y}_{vdi}$ . Цей сумарний відгук береться за еталонний  $\tilde{y}_{kiet}$  у разі повністю справного блока.

У тестовій послідовності, що подається на цифровий блок, передбачається наявність для всіх його елементів перевірних тестів (ПТ), за допомогою яких визначається еталонний відгук. Це означає, що вхідна ТП має бути детермінована [3].

Дефект у логічному елементі інтегральної схеми призводить до того, що цей елемент або припиняє перемикатися (на його виході фіксується постійний (константний) рівень «0» чи «1»), або змінюється його функція перемикавання. Через від-

сутність спрацьовувань РЕК значення параметрів на ДДС змінюється, тобто  $\tilde{y}_{ki} \neq \tilde{y}_{ki\text{ет}}$ . При цьому змінюються бульові функції, реалізовані в цифровому блоці.

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

Отже, формування повної бази тестових наборів та еталонних відгуків повністю справного цифрового блока становить основу для функціонування автономної автоматизованої системи діагностування за допомогою безконтактного індукційного методу, застосовуваного при визначенні технічного стану блока, що підлягає перевірці.

**Основна частина**

З огляду на те, що сучасні цифрові блоки характеризуються значною кількістю РЕК, використання багатовимірних перевірних тестів може призвести до одночасного спрацьовування кількох РЕК і, відповідно, до формування складного відгуку на виході ДДС. Для підвищення вірогідності однозначного визначення технічного стану цифрового блока необхідно намагатися зменшити кількість РЕК, що спрацьовують одночасно. Це можливо в разі використання одновимірних шляхів при побудові перевірних тестів.

**Дано:**

1) принципову схему цифрового блока з елементами пам'яті IV і V поколінь із зовнішніми зворотними зв'язками;

2) еталонні значення відгуку в ДДС для кожного РЕК при зміні його стану;

3) вірогідність  $P_k$  контролю — значення ймовірності справного стану цифрового блока за умови, що відгук у контрольній точці на тестову послідовність збігається з еталонним.

**Необхідно:**

1) визначити можливість побудови перевірного тесту, що забезпечує контроль із заданою вірогідністю;

2) побудувати вхідну тестову послідовність  $\tilde{X}_T$  та еталонний відгук  $\tilde{Y}_e$  цифрового блока такі, що коли при подачі  $\tilde{X}_T$  на цифровий блок із ДДС знімається відгук  $\tilde{Y}_B \neq \tilde{Y}_e$ , то цифровий блок несправний, а при  $\tilde{Y}_B = \tilde{Y}_e$  цифровий блок з імовірністю  $P \geq P_k$  справний ( $\tilde{Y}_B$  — вимірне значення відгуку).

**Розв'язування задачі.** Задача розв'язується в два етапи.

**Етап 1.** За функціональною схемою цифрового блока виконується ранжування його елементів, складається таблиця спрацьовування елементів, тобто визначаються умови для формування елементарних шляхів [4].

Принцип розв'язування поставленої задачі розглянемо на прикладі найпростішої принципової схеми цифрового блока (рис. 1).

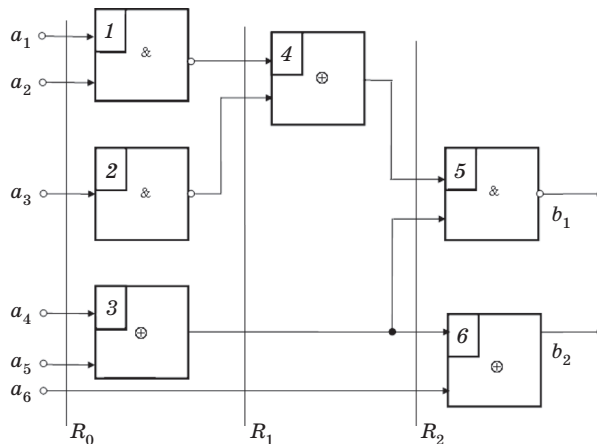


Рис. 1. Функціональна схема цифрового блока

Ранжування здійснюється в описаному далі порядку.

1. Входи цифрового блока  $x_i (i = \overline{1, m})$  об'єднують, присвоюючи їм нульовий ранг  $R_0(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6)$ .

2. Кожному елементу  $E_j (j = \overline{1, N})$ , в якого всі входи  $\xi_i (i = \overline{1, r})$  є входами цифрового блока  $x_i$ , присвоюється ранг  $R_1$  (елементи 1, 2, 3).

3. Елементам  $E_j$ , усі входи  $\xi_i$  яких з'єднано з входами елементів  $\gamma_i (i = \overline{1, s})$  рангу  $R_1$  і входами цифрового блока  $x_i$ , присвоюється ранг  $R_2$  (елемент 4).

4. Елементам, усі входи  $\xi_i$  яких з'єднано з входами  $\gamma_i$  елементів нижчих рангів  $R_1, R_2, \dots, R_{i-1}$  і входами цифрового блока  $x_i$ , присвоюється наступний ранг  $R_i$ .

**Елементарні шляхи**  $\Pi_{\gamma_i \xi_{i+1}}$  зазначено в поданій далі таблиці з'єднань (спрацьовувань) елементів цифрового блока.

Таблиця з'єднань

| № з/п | Елементарний шлях | Тип елемента    |
|-------|-------------------|-----------------|
| 1     | $a_1 - 1$         | $\overline{\&}$ |
| 2     | $a_2 - 1$         | $\overline{\&}$ |
| 3     | $a_3 - 2$         | $\overline{\&}$ |
| 4     | $a_4 - 3$         | $\oplus$        |
| 5     | $a_5 - 3$         | $\oplus$        |
| 6     | $a_6 - 6$         | $\oplus$        |
| 7     | 1 - 4             | $\oplus$        |
| 8     | 2 - 4             | $\oplus$        |
| 9     | 4 - 5             | $\overline{\&}$ |
| 10    | 3 - 5             | $\overline{\&}$ |
| 11    | 3 - 6             | $\oplus$        |
| 12    | 5 - $b_1$         | вих             |
| 13    | 6 - $b_2$         | вих             |

**Етап 2.** Розробляється повна база діагностичних тестів цифрових блоків для безконтактного індукційного методу діагностування з урахуванням мінімальної кількості РЕК, що спрацьовують одночасно.

Зауважимо, що безконтактний індукційний метод діагностування спирається на вимірювання діагностичних сигналів у шині живлення цифрового блока.

Сьогодні тести діагностування отримуються за допомогою частинних перевірних тестів (ЧПТ) елементів. При цьому на кожний елемент у процесі перевірки має подаватися свій ЧПТ. Через це тести діагностування мають велику довжину, а сигнали в ДДС — складну структуру.

У статті розроблено нову функціональну методику побудови бази перевірних тестів для безконтактного індукційного методу [2].

Розкриємо суть цієї методики.

1. Для побудови тестів блока використовуються вихідні функції  $f_0, f_1, \dots, f_i$ , які він виконує, та ранги, з яких побудовано цифровий блок.

2. Обирається опорна функція  $f_0$ , що, як правило, характеризує початковий стан блока.

3. Для опорної функції блока будується діагностичний тест такого змісту:

а) згідно з  $f_0$  визначаються вхідні тести для вихідних елементів блока, які формують  $f_0$ ;

б) вхідні тести для кожного вихідного елемента визначаються просуванням від виходів вихідного елемента до входу блока;

в) діагностичний тест будується так, щоб під час тестування було використано весь набір ЧПТ кожного логічного елемента, що входить до складу цифрового блока;

г) для кожного із входів вихідного елемента при просуванні від входу вихідного елемента до входу блока використовується (визначається) найкоротший шлях, на якому спрацьовує найменша кількість елементів.

4. Набір тестів для всіх функцій, що виконуються блоком, являє собою функціональний тест блока.

Основні переваги розробленої методики побудови тестів такі:

- імовірність правильного визначення ТС цифрового блока близька до одиниці.

- сигнали, що знімаються на ДДС, мають просту структуру.

Узагальнений алгоритм формування бази тестів для визначення технічного стану цифрових блоків згідно з безконтактним індукційним методом на етапі проектування унаочнює рис. 2. Принцип побудови тестів опишемо докладніше.

Задано:

- ↳ масив входів  $a_i, i = \overline{1, n}$ ;

- ↳ масив виходів  $b_j, j = \overline{1, m}$ ;

- ↳ масив вихідних функцій  $f_l, l = \overline{0, k}$ ;

- ↳ масив елементів  $e_s, s = \overline{1, h}$ ;

- ↳ масив приватних перевірних тестів  $Fe_s, s = \overline{1, h}$ ;

- ↳ масив рангів  $R_r(e_s), r = \overline{0, m}$ .

Із масиву функцій вибирають опорну функцію  $f_0$ ;

Методом зворотного проходу для справного блока від виходів блока  $b_j$  визначають значення сигналів (перевірні набори кожного РЕК) на входах елементів  $e_s$  кожного рангу, починаючи від останнього  $R_r = R_m$ , до входу блока  $a_i$ .

Визначені значення сигналів (перевірні набори кожного РЕК) на входах елементів  $e_s$  записують у БУФЕР 1 для РЕК кожного рангу  $R_r, r = \overline{0, m}$ .

Отримані значення вхідного перевірного набору для кожної вихідної функції  $f_l, l = \overline{0, k}$ , записують у БУФЕР 2.

Коли  $l = k$  (пройдено зворотний шлях для всіх значень вихідних функцій), здійснюється перевірка відповідності БУФЕРА 1 масиву ЧПТ РЕК.

У разі, коли обидва набори повністю збігаються, здійснюється вивід ПОВНОЇ бази тестових перевірних наборів цифрового блока.

Якщо в результаті порівняння виявляються незадіяні набори ЧПТ РЕК, то виконується заміна на масиву вихідних функцій  $f_l$  на невикористаний набір значень ЧПТ РЕК для найстаршого рангу, починаючи з передостаннього ( $r = m - 1$ ), і робота алгоритму виконується із самого початку.

Приклад сформованої бази тестів для цифрового блока за результатами виконання узагальненого алгоритму згідно з рис. 2 наведено на рис. 3.

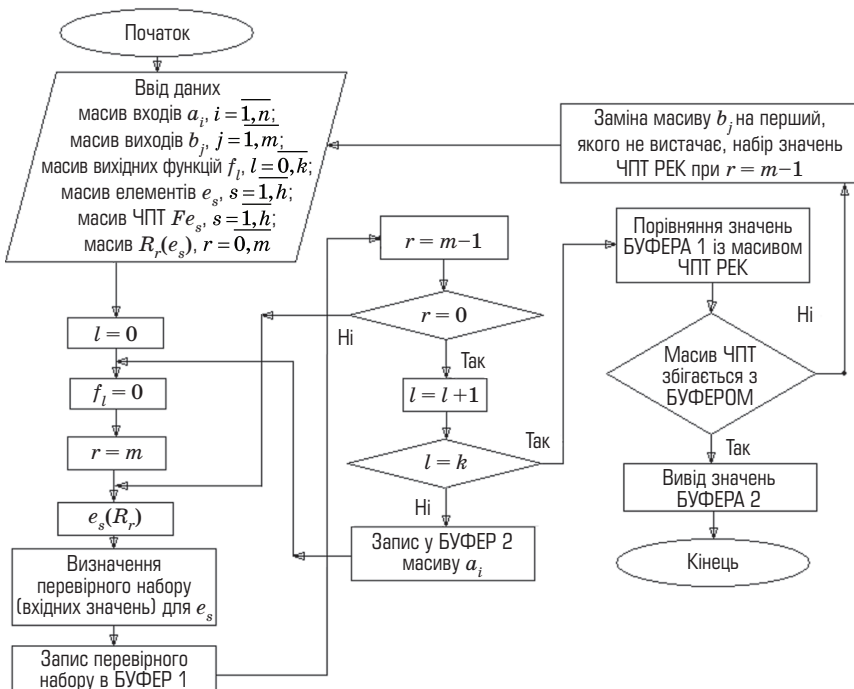


Рис. 2. Узагальнений алгоритм формування повної бази тестів визначення технічного стану на етапі проектування

**Висновки**

Визначено загальний підхід до побудови бази перевірних тестів цифрових блоків для безконтактного індукційного методу діагностування.

Запропоновано метод, застосований для побудови ієрархічних, універсальних автоматизованих систем контролю технічного стану об'єктів РЕТ, які дозволяють визначати технічний стан із точністю до РЕК. При цьому забезпечується мінімальне втручання в існуюче устаткування, максимальна автоматизація процесу діагностування із заданими показниками якості.

Головні переваги методу:

- ❖ усунуто необхідність використання вихідних контактів та контрольних точок;
- ❖ незначний вплив пристрою діагностування на «власну» надійність радіоелектронного блока завдяки тому, що до нього не додаються нові елементи та не змінюється принципова схема;
- ❖ застосовність методу як до існуючих, так і до перспективних блоків.

Використання бази перевірних тестів дозволяє виконати всі головні вимоги до засобів діагностування стосовно забезпечення заданої тривалості діагностування із достатньою вірогідністю.

**Література**

1. *Діагностика цифрових та аналогових пристроїв радіоелектронної техніки: монографія* / [В. В. Вишнівський, М. К. Жердєв, С. В. Ленков, В. О. Проценко]; за ред. М. К. Жердєва, С. В. Ленкова.— К.: Знання України, 2009.— 220 с.

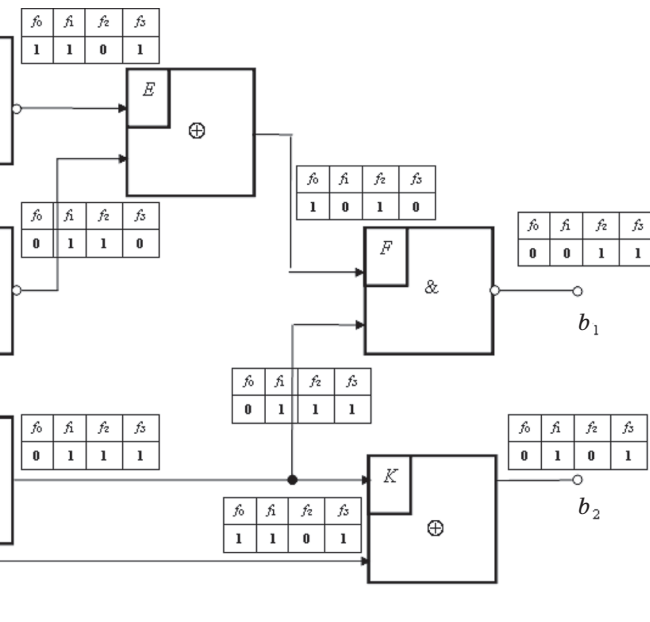


Рис. 3. Приклад сформованої бази тестів для цифрового блока

2. *Безконтактний індукційний метод діагностування радіоелектронних блоків: зб. наук. праць Військ. ін-ту Київ. нац. ун-ту імені Тараса Шевченка* / [В. В. Вишнівський, М. К. Жердєв, Б. П. Креденцер та ін.].— К.: ВІКНУ, 2013.— Вип. № 43.— 17 с.

3. *Жердєв, М. К. Побудова функціональних перевірних тестів для енергодинамічного та електромагнітного методів діагностування* / М. К. Жердєв, С. В. Ленков, П. А. Шкуліпа // *Система обробки інформації*.— Харків.— №1(108).— С. 49–52.

4. *Шкуліпа, П. А. Побудова перевірних тестів для діагностування радіоелектронних пристроїв електромагнітним методом* / П. А. Шкуліпа // *Наук. нотатки постійно діючого семінару науковців, здобувачів та ад'юнктів*.— К.: ВІКНУ.— 2013.— Вип. №24.— С. 3–25.

Рецензент: доктор техн. наук, професор М. К. Жердєв, ВІТІ ДУТ, Київ.

**В. В. Вишневский, М. П. Гниденко, Ю. И. Катков, В. В. Кузавков, Е. В. Редзюк  
ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ТЕСТОВ ЦИФРОВЫХ БЛОКОВ  
ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ИНДУКЦИОННОГО МЕТОДА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ**

Определен общий подход к формированию базы диагностических тестов для бесконтактного индукционного метода диагностирования технического состояния цифровых блоков радиоэлектронной техники. Поставленная задача рассмотрена на примере простой принципиальной схемы цифрового блока.

**Ключевые слова:** бесконтактный индукционный метод; диагностический тест.

V. Vishnivskii, M. Gnidenko, Y. Katkov, V. Kuzavkov, E. Redzyuk

**FORMING THE BASE OF A DIAGNOSTIC TEST DIGITAL BLOCKS FOR NON-CONTACT INDUCTION METHOD OF DIAGNOSING**

The article defined a common approach to the formation of the base of diagnostic tests for non-contact induction method of diagnosing the technical condition of digital blocks of electronic equipment. Assigned tasks considered by the example of a simple concept of the digital block.

**Keywords:** non-contact induction method; diagnostic test.