

УДК 681.35

В. В. ВИШНІВСЬКИЙ, д-р техн. наук, професор;

В. В. КУЗАВКОВ, канд. техн. наук, доцент;

В. В. ВАСИЛЕНКО, асистент,

Державний університет телекомунікацій, Київ

## СХЕМА КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЦИФРОВИХ БЛОКІВ БЕЗКОНТАКТНИМ ІНДУКЦІЙНИМ МЕТОДОМ

**Визначено загальний підхід до побудови схеми контролю технічного стану цифрових блоків безконтактним індукційним методом діагностування. Сформульовано вимоги та умови роботи компонентів блока видачі діагностичної інформації.**

**Ключові слова:** контроль технічного стану; діагностування; безконтактний метод; перевірний тест.

### Вступ

Сучасні об'єкти радіоелектронної техніки (РЕТ) — це складні технічні системи, що являють собою об'єднання модулів різного фізичного виконання та призначення. Широка номенклатура цифрових пристроїв, використовуваних в об'єктах РЕТ, їхня багатофункціональність висувають жорсткі вимоги до засобів діагностування з погляду підтримання заданого рівня тривалості діагностування, із забезпеченням необхідної вірогідності [1]. Задовольнити висунуті вимоги можна застосуванням нових ефективних принципів, методів і засобів діагностування об'єктів РЕТ.

### Аналіз стану проблеми

До складу сучасних об'єктів РЕТ входять цифрові блоки, які включають у себе радіоелектронні компоненти (РЕК). Якість контролю технічного стану цифрових блоків залежить від характеристик схеми контролю технічного стану (ТС).

Як перспективний метод діагностування цифрових блоків слід розглядати *безконтактний індукційний метод діагностування* [2].

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

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

Цю властивість доцільно використовувати для визначення технічного стану цифрового блока. Для цього вимірювальна котушка закріплюється на струмовідному елементі. 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 слугує інформацією про 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 ТС даного радіоелектронного блока.

### Постановка задачі

Як інформацію про роботоздатність РЕК для безконтактного індукційного методу використовують характеристики сигналів, які виникають у індукційному датчику діагностичних сигналів (ДДС).

Надходження на входи РЕК тестової послідовності (ТП) викликає спрацьовування даного елемента згідно з реалізованою в ньому функцією. При цьому на ДДС виникає відповідна послідовність сигналів (відгуків). Якщо вхідна послідовність містить функціональний перевірний тест (ФПТ), то сумарний відгук РЕК може бути поданий у вигляді послідовності відгуків елементів на ФПТ і надлишкових наборів. Цей сумарний відгук є еталонний у разі повністю справного РЕК.

У тестовій послідовності, що подається на цифровий блок, передбачається наявність ФПТ для всіх його елементів, за допомогою яких визначається еталонний відгук.

Дефект у логічному елементі інтегральної схеми призводить до того, що цей елемент втрачає здатність перемикатися (на його виході фіксується константний рівень «0» або «1») чи змінюється його функція перемикавання. Через відсутність спрацьовувань РЕК значення параметрів на ДДС зміняться. При цьому зміняться й 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, призводить до зміни відгуку цього РЕК [3].

Отже, згідно з викладеними умовами потрібно визначити загальний підхід до побудови схеми контролю технічного стану цифрових блоків, здійснюваного безконтактним індукційним методом діагностування.

**Основна частина**

Контроль ТС цифрового блока при експлуатації відбувається з використанням бази даних, що містить еталонні відгуки цифрового блока на перевірни тестові послідовності. ТС визначається автоматично при порівнянні еталонних відгуків із сигналами ДДС блока, що підлягає перевірці з урахуванням «допусків» заводу виробника. Так, цифровий блок вважається справним, якщо відгук  $Y_B$  на перевірку тестову послідовність (сигнал із ДДС) задовольняє умову

$$Y_{e.n} \leq Y_B \leq Y_{e.v},$$

де  $Y_{e.n}$  і  $Y_{e.v}$  — відповідно нижня і верхня межа еталонного відгуку справного блока.

Для контролю технічного стану цифрових блоків при експлуатації розроблено узагальнений алгоритм (рис. 1).

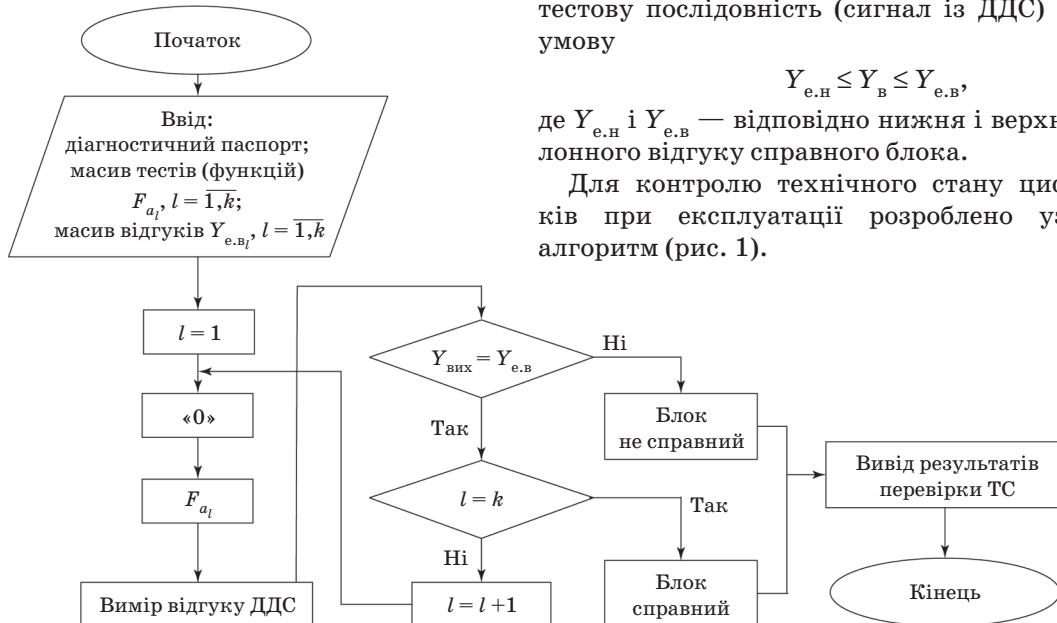


Рис. 1. Узагальнений алгоритм контролю ТС цифрового блока

Визначення технічного стану цифрового блока здійснюється за результатами порівняння еталонних відгуків справного блока на тестові послідовності з відгуками блока, що підлягає перевірці.

Зняття діагностичної інформації забезпечує безконтактний індукційний датчик — ДДС. Схему цифрового блока з ДДС у шині живлення наведено на рис. 2.

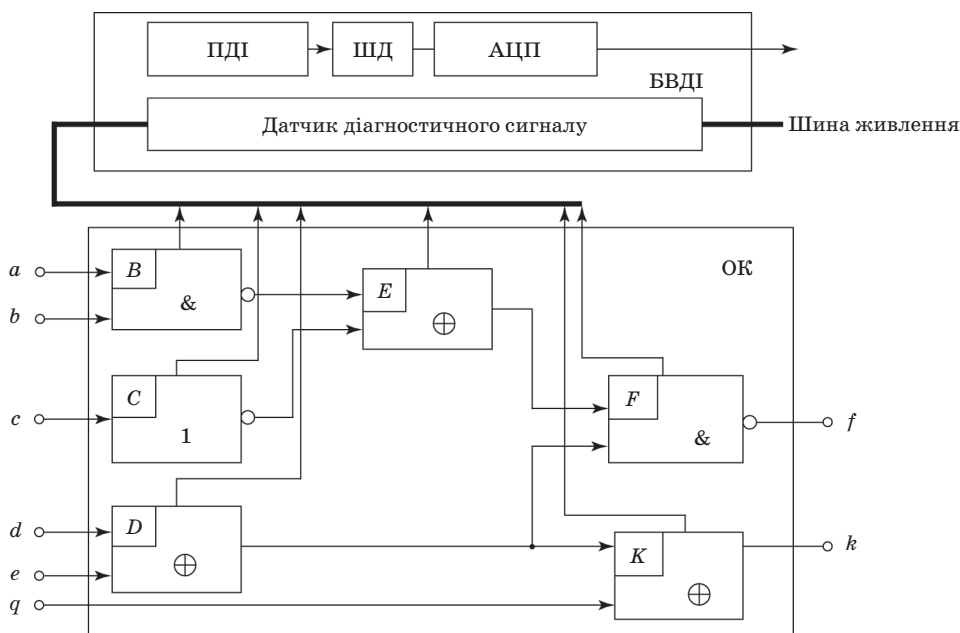


Рис. 2. Цифровий блок із датчиком діагностичного сигналу в шині живлення

Схема блока видачі діагностичної інформації (БВДІ) включає в себе ДДС, підсилювач діагностичної інформації (ПДІ), швидкісний детектор (ШД) та аналого-цифровий перетворювач (АЦП).

Визначимо основні характеристики й умови функціонування компонентів БВДІ.

Блок виділення діагностичної інформації призначено для реєстрації діагностичних сигналів (діагностичного параметра), що мають шумоподібний вигляд (рис. 3), а також для їх підсилення, перетворення ШД в аналоговий сигнал і оцифрування.

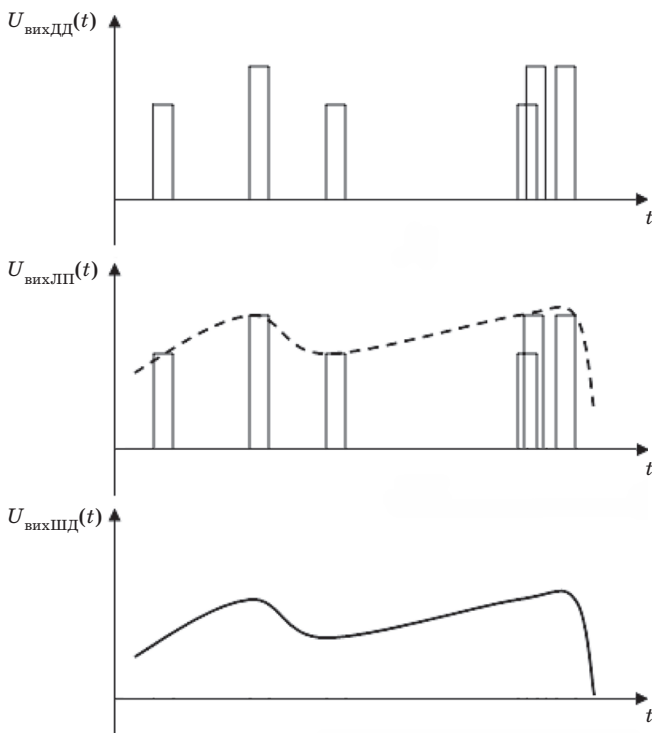


Рис. 3. Головні етапи обробки сигналів БВДІ

Вважаючи, що

$$\int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{j\omega t} dt = s(-j\omega) = s^*(j\omega), \tag{3}$$

дістаємо вираз для енергії сигналу у результаті підставлення (2) у (3):

$$W = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} s(j\omega)s^*(j\omega)d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S^2(\omega)d\omega. \tag{4}$$

Оскільки функція  $S^2(\omega)$  парна, то

$$W = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S^2(\omega)d\omega = 2 \int_{-\infty}^{\infty} S^2(2\pi f)df. \tag{5}$$

Вираз (5) — це відоме рівняння Парсеваля. Зокрема, якщо  $df = 1$ , то значення  $2S^2(2\pi f)df$  дорівнює тій частині енергії сигналу, яка припадає на смугу частот шириною 1 Гц при заданій частоті  $f$ .

Таким чином, квадрат модуля спектра сигналу ДДС показує, як енергія розподіляється на осі частот (спектральна щільність енергії сигналу).

Рівняння Парсеваля дозволяє визначити ширину спектра  $\Delta F$  як смугу частот, в яку потрапляє основна частка ( $\eta < 1$ ) енергії сигналу, тобто смугу частот для роботи АЦП:

$$\eta W = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi\Delta F} S^2(\omega)d\omega. \tag{6}$$

Зауважимо, що розглянуті спектральні подання сигналу ДДС відповідають умові, коли інтеграли (1) і (5) обмежені. Відгуки на виході ДДС цю умову задовольняють — сигнали обмежені за амплітудою та мають скінченну тривалість.

Сучасні АЦП (паралельні, послідовні, порозрядного зрівноважування) характеризуються швидкістю, точністю та складністю.

Датчик ДС розташовано безпосередньо на шині живлення цифрового блока, що підлягає перевірці. Вихідним сигналом ДДС є відгук, що реєструється при подачі на вхід цифрового блока перевірних тестових послідовностей. Отриманий таким чином сигнал проходить через перетворювач амплітудних значень, тобто ШД, підсилюється та потрапляє на вхід аналого-цифрового перетворювача. Порівняння відгуків блока, який підлягає перевірці, та еталонних відгуків здійснюється в цифровому вигляді засобами обчислювальної техніки.

Умови роботи АЦП розглянемо, спираючись на характер розподілу енергії в спектрі сигналу ДДС.

Енергію  $W$  сигналу  $s(t)$  на виході ДДС (шумоподібний сигнал у вигляді неперіодичних коливань) можна записати у вигляді [4]

$$W = \int_{-\infty}^{\infty} s^2(t)dt = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) \left[ \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} s(j\omega)e^{j\omega t} d\omega \right] dt. \tag{1}$$

Змінюючи порядок інтегрування, маємо:

$$W = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} s(j\omega) \left[ \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{j\omega t} dt \right] d\omega. \tag{2}$$

Найбільшу швидкодію мають паралельні АЦП, найменшу — послідовні. Точність АЦП залежить від кроку квантування та частоти дискретизації [5].

На місці експлуатації РЕТ для обробки діагностичного сигналу можливе використання вбудованих в ЕОМ цифроаналогових перетворювачів і АЦП із зовнішнім інтерфейсом (звукова плата ПК), здатна сприймати та перетворювати складний сигнал (із частотою дискретизації до 192 кГц і амплітудою до 2 В) у цифрову форму (розрядність 32 біт) із входу LINE-IN або входу «мікрофон» (*Intel High Definition Audio — HD Audio*).

Можливе й обернене перетворення — на вихід LINE-OUT (*Speakers*). Максимальна межа рівня вхідної напруги 0,5...2 В.

На таких принципах ґрунтується вимірювальне програмне забезпечення на базі ЕОМ: осцилографи, частотоміри, генератори імпульсів тощо. На одному й тому самому пристрої можна задавати (формува-ти) перевірку послідовності і контролювати результати її обробки.

Згідно з виглядом сигналу ДДС (однополярний шумоподібний) робоча точка перетворювача амплітудних значень (ПАЗ) розташована на початку лінійного відрізка ВАХ [6].

Принципову схему пасивного ПАЗ наведено на рис. 4.

Із появою на виході ДДС відгуку на вхідну тестову послідовність відбувається заряджання вхідної ємності  $C_p$ . Постійна часу заряду  $\tau_z$  визначається ємністю  $C_p$  і сумою опорів відкритого вентиля та внутрішнього опору ДДС (вхідного кола). Розряджання конденсатора відбувається при закритому вентилі з постійною часу  $\tau_{роз}$  і визначається ємністю та розрядним опором  $R_p$ .

Наголосимо, що вентиль у схемі ШД, на відміну від вентиля у схемі перетворювача амплітудних значень, виконує функцію ключа, що забезпечує відімкнення вхідних кіл під час розряджання ємності  $C_p$ .

Вибір постійної часу для ШД відбувається за умовами:

$$\tau_{роз} \gg \tau_z; \tau_{роз} \gg \frac{1}{f_{min}}; \tau_z < \frac{1}{f_{max}}; \tau_{RC} = \tau_{имп}, \quad (7)$$

де  $f_{min}$  і  $f_{max}$  — відповідно мінімальне і максимальне граничне значення діапазону частот  $\Delta F$ , визначеного рівнянням Парсевала (смуга, в яку потрапляє основна частка енергії сигналу).

Що ж до ДДС, то вони складаються з двох котушок індуктивності, зв'язаних спільним магнітним полем (рис. 5).

Котушка, до якої прикладається джерело змінної напруги  $E$ , називається первинною обмоткою. Інша обмотка називається вторинною. До вторинної обмотки підмикається перетворювач діагностичної інформації, тобто ШД.

Принцип роботи ДДС визначається законом електромагнітної індукції, або законом Фарадея. Напряга  $E_1$  первинної обмотки, яка дорівнює напрузі підімкненого джерела, пов'язана з магнітним потоком  $\Phi$ , що проходить через кожний виток первинної обмотки, таким співвідношенням [7]:

$$E_1 = w_1 \frac{\partial \Phi}{\partial t}, \quad (8)$$

де  $w_1$  — кількість витків первинної обмотки.

Аналогічно, електрорушійна сила, наведена у вторинній обмотці з кількістю витків  $w_2$ , подається виразом:

$$E_2 = w_2 \frac{\partial \Phi}{\partial t}. \quad (8')$$

Звідси випливає, що коефіцієнт  $n$  передачі напруги, або коефіцієнт трансформації, визначається лише відношенням кількості витків:

$$n = \frac{E_2}{E_1} = \frac{w_2}{w_1}, \quad (9)$$

а воно, у свою чергу, вибирається з умови забезпечення потрібного рівня напруги на вході АЦП.

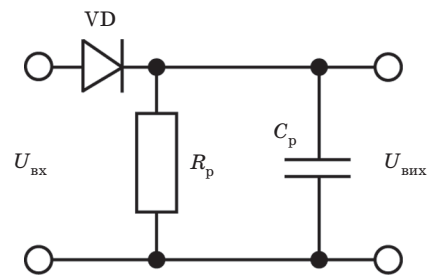


Рис. 4. Схема пасивного ПАЗ

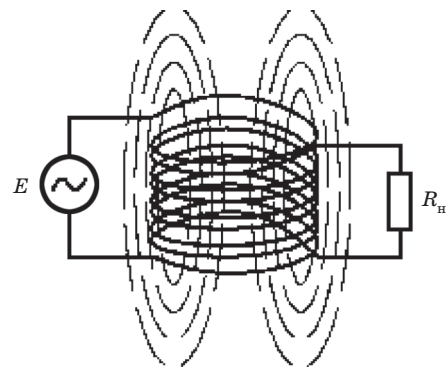


Рис. 5. ДДС без сердечника

### Висновки

Визначено загальний підхід до побудови схеми контролю технічного стану цифрових блоків для безконтактного індукційного методу діагностування.

Пропонований метод можна взяти за основу для побудови ієрархічних, універсальних, автоматизованих систем контролю технічного стану об'єктів РЕТ, які дозволяють визначати технічний стан з точністю до РЕК. При цьому йдеться про невеликі витрати із мінімальним втручанням в існуюче устаткування, з максимальною автоматизацією процесу діагностування та забезпеченням заданих показників якості.

Сутність методу діагностування радіоелектронних блоків полягає в тому, що як діагностичні параметри використовуються параметри сигналів, що наводяться у вимірювальній котушці, закріпленій на струмовідному елементі радіоелектронного блока. Робота останнього супроводжується зміною магнітного поля навколо проводів живлення при подачі діагностичного тесту.

Перевага методу порівняно з іншими полягає ось у чому.

- Усунуто необхідність використання вихідних контактів та контрольних точок;
- незначний вплив пристрою діагностування на «власну» надійність радіоелектронного блока, оскільки до нього не додаються нові елементи та не змінюється принципова схема;
- можливість застосування методу як до сучасних, так і до перспективних блоків.

### Література

1. Вишнівський, В. В. 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, 2009.— 220 с.
2. Вишнівський, В. В. Безконтактний індукційний метод діагностування радіоелектронних блоків: зб. наук. праць Військ. ін-ту Київ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка / [В. В. Вишнівський, М. К. Жердєв, Б. П. Креденцер та ін.].— К.: ВІКНУ, 2013.— Вип. №43.— 17 с.
3. 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.— 2013.— № 24.— С. 3–25.
4. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. / И. С. Гоноровский.— М.: Сов. радио, 1977.— 608 с.
5. Нефедов, В. И. Основы радиоэлектроники и связи: учеб. пособие / В. И. Нефедов, А. С. Сигов.— М.: Высш. шк., 2009.— 736 с.
6. Ушаков, В. Н. Основы радиоэлектроники и радиотехнические устройства / В. Н. Ушаков.— М.: Высш. шк., 1976.
7. Дмитрієва, В. Ф. Фізика: навч. посібник / В. Ф. Дмитрієва.— К.: Техніка, 2008.— 648 с.

V. V. Vyshnivskiy, V. V. Kuzavkov, V. V. Vasilenko

#### СХЕМА КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЦИФРОВЫХ БЛОКОВ БЕСКОНТАКТНЫМ ИНДУКЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Определен общий подход к построению схемы контроля технического состояния цифровых блоков бесконтактным индукционным методом диагностирования. Сформулированы требования и условия работы компонентов блока выдачи диагностической информации.

**Ключевые слова:** контроль технического состояния; диагностирование; бесконтактный метод; проверочный тест.

V. V. Vyshnivskiy, V. V. Kuzavkov, V. V. Vasilenko

#### CHECKING CIRCUIT OF TECHNICAL UNITS OF DIGITAL NON-CONTACT INDUCTION METHOD

In the article the general approach to the construction scheme of technical state of digital blocks to non-contact induction method of diagnosis was considered, defined objectives and conditions of the components of the block issuance of diagnostic information.

**Keywords:** control of technical condition; diagnosis; non-contact method; testing test.