

БЕЗКОНТАКТНИЙ ІНДУКТИВНИЙ МЕТОД ДІАГНОСТУВАННЯ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ БЛОКІВ

Розглядається безконтактний індуктивний метод визначення технічного стану радіоелектронних блоків. Даний метод дозволяє проводити вимір діагностичних параметрів по реєстрації електромагнітного поля вихрових струмів, що наводяться струмоведучим елементом на затискачах вимірювальної котушки при подачі на радіоелектронний блок тестового впливу.

Ключові слова: безконтактний індуктивний метод, технічний стан, діагностичний параметр, вимірювальна котушка

Вступ. У даний час все більше поширення набувають об'єкти радіоелектронної техніки (РЕТ), які є об'єднанням модулів різного фізичного виконання й призначення. Однією з основних вимог, які пред'являються до об'єктів РЕТ на етапі експлуатації, є забезпечення їх надійності. Забезпечити задану надійність можна застосуванням нових ефективних методів для розробки сучасних систем технічного діагностування. Основною вимогою до даних систем являється використання інформаційних технологій для розробки діагностичних моделей об'єктів діагностування, алгоритмів побудови тестів діагностування.

Аналіз стану проблеми. Розглянемо існуючі методи, що використовуються для проведення контролю технічного стану аналогових і цифрових радіоелектронних блоків. До цих методів можна віднести методи параметричного, функціонального контролю, контролю по характеристикам вихідних сигналів, по показниках якості для аналогових радіоелектронних блоків і методи тестового контролю для цифрових радіоелектронних блоків [1, 2, 4].

Проведений аналіз даних методів діагностування об'єктів РЕТ дозволив виявити недоліки, основні з яких полягають у наступному:

- при проведенні діагностування використовується велика кількість контрольних точок в яких вимірюються велика кількість діагностичних параметрів, що впливає на об'єм апаратної частини системи технічного діагностування (СТД) та тривалість і достовірність проведення контролю;
- темпи розвитку радіоелементів об'єктів РЕТ набагато випереджають методи і засоби діагностування;
- збільшення ступеня інтеграції радіоелементів, кількості зовнішніх виходів і режимів роботи РЕТ приводить до недопустимого збільшення вартості сучасних систем діагностування;
- існуючі СТД, що побудовані на основі відомих методів, не забезпечують можливість контролю максимальної кількості різних типів аналогових і цифрових елементів, блоків і типових елементів заміни (ТЕЗ) об'єктів РЕТ за умови забезпечення заданої достовірності проведення контролю технічного стану;
- обмежене застосування сучасних інформаційних технологій при побудові систем технічного діагностування;
- відсутність напрацьованих алгоритмів отримання, обробки і управління діагностичною інформацією;
- відсутність можливості обміну інформацією з аналогічними системами;
- відсутність можливості доступу та взаємодії з існуючими пошуковими системами;
- відсутність єдиного методологічного підходу, який би визначив основні принципи

розробки нових ефективних методів технічного діагностування з використанням інформаційних технологій.

– необхідність реєстрації сигналів наведених у «антенному» пристрої [3,4], рівень яких дорівнює рівню шумів

Таким чином, існуючі підходи до систем контролю технічного стану аналогових і цифрових радіоелектронних блоків не відповідають сучасним вимогам до систем цього класу. Тому необхідно вирішити наукову задачу, що полягає в дослідженні і розробці нових принципів і методів побудови ієрархічних, універсальних, автоматизованих систем контролю технічного стану об'єктів РЕТ, які дозволяють визначати технічний стан з точністю до елемента, що не відновлюється, при відносно невеликих економічних затратах з заданими показниками якості.

Основна частина. В статті для вирішення поставленої задачі пропонується новий безконтактний індуктивний метод визначення технічного стану аналогових і цифрових радіоелектронних блоків.

Визначимо основні принципи, на яких ґрунтується даний метод діагностування.

Сутність безконтактного індуктивного методу (надалі – методу) діагностування радіоелектронних блоків полягає в тому, що в якості діагностичних параметрів (ДП) використовуються параметри сигналів, що наводяться струмоведучим елементом на затискачах вимірювальної котушки при подачі на радіоелектронний блок тестового впливу.

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

Дану властивість доцільно використовувати для визначення технічного стану радіоелектронного блоку. Для цього вимірювальна котушка закріплюється «вдягається» на струмоведучий елемент. При подачі діагностичного тесту в радіоелектронному блоці спрацьовують складові елементи що призводить до зміни сигналу – магнітного поля на струмоведучому елементі. На затискачах вимірювальної котушки генерується сигнал з певними параметрами. Наявність та форма сигналу на вимірювальній котушці служить інформацією про факт роботи радіоелектронного блоку. Діагностична інформація, отримана за допомогою вимірювальної котушки надходить до блоку її обробки. На основі порівняння параметрів еталонних і отриманих сигналів, приймається рішення про ТС даного радіоелектронного блоку.

В таблиці 1 наведено повну характеристику безконтактного індуктивного методу що запропоновано для діагностування ТС радіоелектронних блоків [5].

Запропонований метод діагностування, в порівнянні з існуючими, має наступні переваги:

- виключення необхідності використання вихідних контактів та контрольних точок для визначення несправного радіоелектронного блоку;
- незначний вплив пристрою діагностування на «власну» надійність радіоелектронного блоку, так як до нього не додаються нові елементи та не змінюється принципова схема;
- можливість застосування методу як до існуючих, так і до перспективних радіоелектронних блоків;
- скорочення часу діагностування радіоелектронного блоку в 2–3 рази в порівнянні з відомими методами.

Наукова новизна методу полягає у тому, що вперше, в якості ДП аналогових і цифрових блоків використовуються параметри сигналів, що наводяться на вимірювальній котушці, яка закріплена на струмоведучому елементі.

Таблиця 1

Таблиця класифікації видів і методів неруйнівного контролю, в основу якої покладений фізичний процес з моменту взаємодії фізичного поля з контрольованим об'єктом до здобуття первинної інформації з поясненнями до термінів і ознак класифікації

Вид контролю (Умовне угруповання методів неруйнівного контролю, об'єднане спільністю фізичних принципів, на яких вони засновані)	Класифікація методів неруйнівного контролю		
	по характеру взаємодії (фізичних полів з контрольованим об'єктом безпосередня взаємодія поля контрольованим об'єктом)	по первинному інформативному параметру (одна з основних характеристик фізичного поля реєстрована після взаємодії цього поля з контрольованим об'єктом)	за способом здобуття первинної інформації (сукупність характеристик фізичного поля реєстрована після взаємодії цього поля з контрольованим об'єктом.)
Електричний (Вид неруйнівного контролю, заснований на реєстрації параметрів електричного поля, що взаємодіє з контрольованим об'єктом або виникає в контрольованому об'єкті в результаті зовнішньої дії)	Електричний Трибоелектричний Термоелектричний	Електропотенційний Електроємнісний	Електростатичний порошковий Електропараметричний Електроіскровий Рекомбінаційного випромінювання Електронної емісії Шумовий Контактний різниці потенціалів
	Безконтактний індуктивний (Метод неруйнівного контролю, заснований на вимірі параметрів магнітних полів, що генеруються контрольованим об'єктом при сторонній дії)	Напруженості (Метод неруйнівного контролю, заснований на реєстрації напруженості магнітного поля, що виникає в контрольованому об'єкті при сторонній дії)	Трансформаторний (Метод неруйнівного контролю, заснований на реєстрації електромагнітного поля вихрових струмів, що наводяться струмопровідним елементом, по зміні е.р.с. на затискачах вимірювальної котушки)

Розглянемо конструкцію вимірювальної котушки, що буде використана для зняття діагностичної інформації з аналогового або цифрового радіоелектронного блоку, що досліджується.

Навколо кожного з проводів, що проводять струм, виникає магнітне поле. Щоб зареєструвати і перетворити це поле в електричний сигнал, необхідно один з проводів пропустити крізь магнітний сердечник, на якому є обмотка. Таким чином, пропущений провід виступить в ролі первинної обмотки з одного витка, вторинна обмотка може мати більшу кількість витків. Дана конструкція є струмовим трансформатором, напруга та форма сигналу у вторинній обмотці якого пропорційна струму в первинній, тобто в лінії живлення.

Трансформатор – пристрій для передачі імпульсної енергії (змінної складової) з одного електричного ланцюга в іншу за допомогою магнітного поля що забезпечує:

- гальванічну розв'язку джерела і приймача енергії;
- узгодження імпедансу джерела і приймача енергії;
- перетворення рівня напруги (струмів);
- можливість передачі енергії в декілька гальванічних розв'язаних ланцюгів [4].

Імпульсний трансформатор служить для передачі імпульсних (широкосмугових) сигналів. На практиці частотний діапазон використання цих пристроїв повинен відповідати тактовій частоті роботи радіоелектронних схем, що контролюється, та становить від 1000 Гц до 1 ГГц.

Принципово всі трансформатори побудовані однаково і складаються з двох або більше котушок індуктивності, що зв'язані загальним магнітним полем (рис. 1).

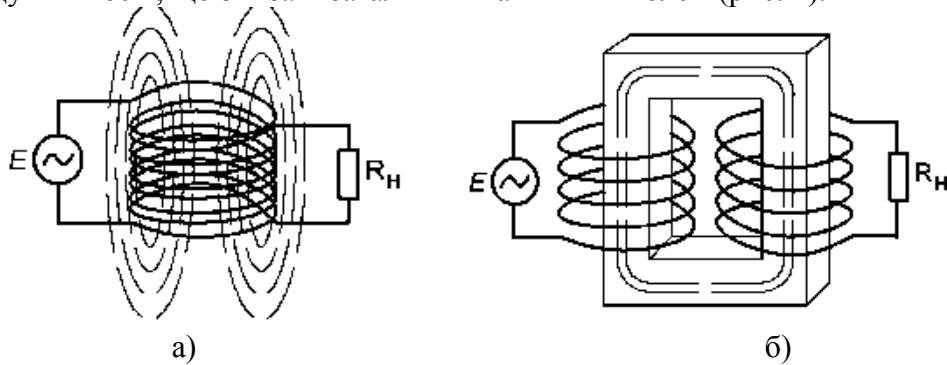


Рис. 1. Трансформатор без сердечника (а) та з феромагнітним сердечником (б)

Котушка, до якої прикладається джерело змінної напруги E , називається первинною обмоткою. Останні обмотки називаються вторинними. До вторинної обмотки підключається навантаження R_H .

Принцип роботи трансформатора визначається законом електромагнітної індукції або законом Фарадея. Напруга первинної обмотки E_1 (воно ж напруга підключеного джерела) пов'язана з магнітним потоком Φ , що проходить через кожен виток первинної обмотки, наступним співвідношенням:

$$E_1 = w_1 \frac{d\Phi}{dt},$$

де w_1 – число витків первинної обмотки. Аналогічно, електрорушійна сила, що наведена у вторинній обмотці з числом витків w_2 :

$$E_2 = w_2 \frac{d\Phi}{dt},$$

Звідси витікає, що коефіцієнт передачі напруги або коефіцієнт трансформації n визначається лише відношенням витків:

$$n = \frac{E_2}{E_1} = \frac{w_2}{w_1}.$$

Процеси що відбуваються в трансформаторі.

Візьмемо дві обмотки з однаковим числом витків (схема рис. 2 а).



Рис. 2. Трансформатор з повним перекриттям обмоток (а) та його еквівалентна схема (б)

Нехай кожна обмотка має індуктивність L . Розташуємо їх так, щоб магнітний потік Φ , що створюється первинною обмоткою, повністю охоплювався вторинною обмоткою. В цьому випадку говорять, що коефіцієнт зв'язку обмоток дорівнює одиниці. Як відомо, падіння напруги на індуктивності пов'язане з магнітним потоком наступним співвідношенням:

$$U_1 = \frac{d\Phi}{dt} = L \frac{dI}{dt},$$

де I – струм, що протікає через індуктивність.

Запишемо 2-й закон Кірхгофа:

$$E = I_1 r_1 + L \frac{dI_1}{dt} - M \frac{dI_2}{dt} = I_1 r_1 + L \left(\frac{dI_1}{dt} - \frac{dI_2}{dt} \right) \text{ для } M = L,$$

$$E_0 = I_2 r_2 + L \frac{dI_2}{dt} - M \frac{dI_1}{dt} = I_2 r_2 + L \left(\frac{dI_2}{dt} - \frac{dI_1}{dt} \right) \text{ для } M = L,$$

де M – це взаємна індуктивність, тобто індуктивність вторинної обмотки, «видима» з боку первинної і навпаки, а $M \frac{dI_2}{dt}$ – напруга, що наводиться вторинною обмоткою в первинному контурі. Взаємна індуктивність M визначається через коефіцієнт зв'язку k :

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}.$$

Для $k=1$ і $L_1=L_2=L$ отримуємо $M=L$.

Таким чином, записані рівняння дають нам еквівалентну схему трансформатора, представлену на рисунку 2 б. До r_1 входить внутрішній опір джерела, опір проводу обмотки і т.п., а до r_2 – опір навантаження разом з опором проводів та іншими втратами. Якщо нехтувати величиною r_1 , то видно, що напруга джерела повністю виявляється прикладеною до навантаження і збігається по величині (в разі $w_1=w_2$) і фазі.

Трансформатор, як індуктивний елемент, присутній на схемі у вигляді паралельної індуктивності LM , яка називається індуктивністю намагнічення і в нашому випадку рівна L . Напруга джерела, прикладена до трансформатора, викликає струм намагнічення, що змінюється, а зміна струму у свою чергу створює напругу на вторинній обмотці. Таким чином, головний принцип роботи трансформатора – наявність струму, що постійно змінюється і в індуктивності намагнічення. Швидкість зміни струму пропорційна величині миттєвої напруги на обмотках.

Вимірювальну котушку зручно виконати на броньовому або кільцевому феритовому сердечнику, що розмикається, з максимально високою магнітною проникністю і має як можна більше число витків. Для виключення низькочастотних наведень (особливо від мережі) котушка має бути поміщена в металевий екран.

У самому простому випадку, коли радіоелектронний блок знаходиться у справному стані, на виході вимірювальної котушки що закріплена на струмоведучому елементі можна буде виміряти параметри $g(\delta)$, що характеризують магнітне поле справного блоку.

У випадку, коли виникне несправність будь-якого радіоелементу радіоелектронного блоку параметри $g(\delta)$ будуть змінені, що свідчить про несправність радіоелектронного блоку.

Достовірність діагностування радіоелектронного блоку в значній мірі залежить від правильності вибраних ДП, які в свою чергу, залежать від рішення ряду задач. Ці задачі за характером їх розв'язання можна умовно розбити на дві групи.

Перша група розглядає питання, що пов'язані з протіканням процесів безпосередньо у радіоелементах радіоелектронного блоку що виникають у момент подачі діагностичного тесту. У другій групі вирішуються питання можливості виявлення і фіксації параметрів сигналів вимірювача, розрахунку ДП і їх використання для визначення ТС радіоелектронних блоків.

Для підтвердження теоретичних розрахунків було проведено експериментальне дослідження. Його результати показали, що сигнали наведені в вимірювальній котушці адекватно відображують процеси, що відбуваються в радіоелектронному блоці незалежно від елементної бази цього блоку. Потужність наведених сигналів забезпечує співвідношення сигнал/шум більш ніж 5–7 разів і ці сигнали, можна використовувати у якості діагностичних параметрів радіоелементу радіоелектронного блоку.

Висновки. Таким чином, в статті вирішена наукова задача, що полягає у розробці нового методу діагностування радіоелектронних блоків. Даний 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 елемента, що не відновлюється, при невеликих економічних затратах, з мінімальним втручанням в існуюче устаткування, з максимальною автоматизацією процесу діагностування, з заданими показниками якості.

Сутність методу діагностування радіоелектронних блоків полягає в тому, що в якості діагностичних параметрів використовуються параметри сигналів, що наводяться у вимірювальній котушці, що закріплюється «вдягається» на струмоведучий елемент радіоелектронного блоку. Робота радіоелектронного блоку супроводжується зміною магнітного поля навколо проводів живлення при подачі діагностичного тесту.

Доведено, що параметри сигналів, що наводяться у вимірювальній котушці, що закріплюється на струмоведучий елемент можна використовувати у якості діагностичних параметрів радіоелектронного блоку.

Перевага даного методу над існуючими полягає в наступному:

- виключено необхідність використання вихідних контактів та контрольних точок для визначення несправного радіоелемента радіоелектронного блоку;
- незначний вплив пристрою діагностування на „власну” надійність радіоелемента радіоелектронного блоку, так як до нього не додаються нові елементи та не змінюється принципова схема;
- можливість застосування методу як до існуючих, так і до перспективних радіоелементів радіоелектронного блоку;
- скорочення часу діагностування радіоелемента радіоелектронного блоку в 2–3 рази в порівнянні з відомими методами.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Діагностика цифрових та аналогових пристроїв радіоелектронної техніки: Монографія / Вишнівський В.В., Жердев М.К., Ленков С.В., Проценко В.О.; під редакцією М.К. Жердева, С.В. Ленкова. – К.: Знання України, 2009. – 220 с.
2. Шкуліпа П.А. Проблема розробки інформаційних технологій для побудови автоматизованих систем технічного діагностування об'єктів радіоелектронної техніки // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького. – Хмельницький, 2012. – № 58, ч.П – С.165 – 166.
3. Цибизов К. Н., Пасечник С. Г. Военные линии радиосвязи и антенные устройства: Учеб. пособие. – Киев.: КВВИУС, 1987. – С.80–83.
4. Шкуліпа П.А. Електромагнітний метод діагностування радіоелементів у складі радіоелектронних блоків
5. ГОСТ 18353-79 Группа Т59 Межгосударственный стандарт контроль неразрушающий., Классификация видов и методов., Nondestructive check. Classification of types and methods., МКС 19.100., Дата введения 1980-07-01., Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 11 ноября 1979 г. N 4245 дата введения установлена 01.07.80.

Без рецензії.

**д.т.н., проф. Вишневский В.В., д.т.н., проф. Жердев Н.К., д.т.н. Креденцер Б.П.,
к.т.н. Кузавков В.В., Редзюк Е.В.**

БЕСКОНТАКТНЫЙ ИНДУКТИВНЫЙ МЕТОД ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ БЛОКОВ

Рассматривается бесконтактный индуктивный метод определения технического состояния радиоэлектронных блоков. Данный метод позволяет проводить измерение диагностических параметров по регистрации электромагнитного поля вихревых токов,

наводимых токопроводящим элементом на зажимах измерительной катушки при подаче на радиоэлектронный блок тестового воздействия.

Ключевые слова: бесконтактный индуктивный метод, техническое состояние, диагностический параметр, измерительная катушка.

Vishnevsky V., Zherdev N., Kredentser B., Kuzavkov V., Redzyuk E.

CONTACTLESS INDUCTIVE METHOD OF DIAGNOSING OF THE ELECTRONIC RADIO BLOCKS

The contactless inductive method of definition of a technical condition of the electronic radio blocks is considered. This method allows to carry out measurement of diagnostic parameters on registration of an electromagnetic field of the vortex currents induced by a conducting element on clips of the measuring coil at giving at the electronic radio block of test influence.

Keywords: contactless inductive method, technical condition, diagnostic parameter, measuring coil.