

ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ МЕТОД ДІАГНОСТУВАННЯ РАДІОЕЛЕМЕНТІВ У СКЛАДІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

Розглядається електромагнітний метод визначення технічного стану радіоелементів у складі аналогових і цифрових радіоелектронних пристроїв об'єктів радіоелектронної техніки. Даний метод дозволяє проводити вимір діагностичних параметрів в антені, що накладається на радіоелектронний пристрій при подачі на нього тестового впливу.

Ключові слова: електромагнітний метод, технічний стан, діагностичний параметр, антена.

Вступ. Сучасні об'єкти радіоелектронної техніки (РЕТ) представляють собою складні технічні системи, що являються об'єднанням модулів різного фізичного виконання й призначення. Однією з основних вимог, які ставляться до об'єктів РЕТ на етапі експлуатації, є забезпечення їх високої надійності [1]. Забезпечити задану надійність можна застосуванням нових ефективних принципів, методів і засобів для розробки сучасних автоматизованих систем технічного діагностування на основі інформаційних технологій об'єктів РЕТ.

Аналіз стану проблеми. Існуючі методи діагностування об'єктів РЕТ мають 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 існуючих методів, не забезпечують можливість контролю максимальної кількості різних типів аналогових і цифрових елементів, пристроїв і 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 обмінюватися 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.

Основна частина. Суть електромагнітного методу діагностування радіоелементів радіоелектронних пристроїв полягає в тому, що в якості діагностичних параметрів (ДП) використовується параметри сигналів, що наводяться у «антенному» пристрої [2], який накладається на сам радіоелемент РЕП. Робота радіоелемента супроводжується зміною електромагнітного поля навколо нього при подачі на нього діагностичного тесту. Дану властивість доцільно використовувати для визначення його технічного стану. Для цього «антена», таких же розмірів і форми, як і радіоелемент, розміщується над його корпусом. При спрацьовуванні радіоелемента РЕП при подачі на нього діагностичного тесту у «антені» наводиться електрорушійна сила, яка генерує сигнал з певними параметрами. Наявність сигналу на виході «антени» служить інформацією про факт роботи РЕП. Діагностична інформація, що отримана за допомогою «антени» надходить до блоку її обробки. На основі порівняння параметрів еталонних і наведених у антенному пристрої сигналів, приймається рішення про ТС даного радіоелемента РЕП.

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

- виключення необхідності використання вихідних контактів та контрольних точок для визначення несправного радіоелемента РЕП;

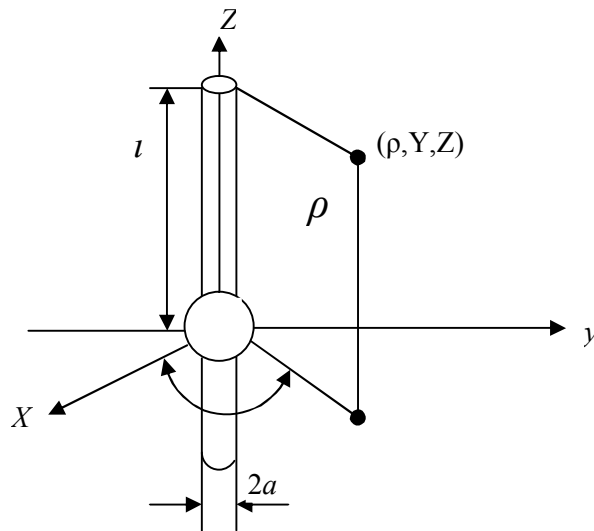
- незначний вплив пристрою діагностування на "власну" надійність РЕП, так як до нього не додаються нові елементи та не змінюється принципова схема;

- можливість застосування методу як до існуючих, так і до перспективних радіоелементів РЕП;

- скорочення часу діагностування радіоелемента РЕП в 2-3 рази в порівнянні з відомими методами.

Наукова новизна методу полягає у тому, що вперше, в якості ДП радіоелементів аналогових і цифрових пристроїв використовуються параметри сигналів, що наводяться у «антені».

У самому простому випадку, коли радіоелемент РЕП знаходиться у справному стані, на виході «антени» можна буде виміряти параметри $g(\delta)$, що характеризують електромагнітне поле РЕП. У випадку, коли виникне несправність будь-якого радіоелементу РЕП параметри $g(\delta)$ будуть змінені, що свідчить про несправність РЕП. Визначення дефектного радіоелементу здійснюється з використанням алгоритму діагностування.



Достовірність діагностування РЕП 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 радіоелементі РЕП. Визначаються струм вихідного ланцюга базового елемента, електромагнітне поле навколо радіоелемента і потужність випромінювання, що виникає у момент подачі діагностичного тесту. У другій групі вирішуються питання можливості виявлення і фіксації параметрів сигналів електромагнітного процесу у «антені», розрахунку ДП і їх використання для визначення ТС радіоелектронних пристроїв.

Визначимо параметри струму вихідного ланцюга радіоелемента у вигляді вібратора. Для їх визначення вихідний ланцюг радіоелемента представимо у вигляді моделі випромінювача. Він представляє собою прямолінійний дріт (рис. 1), у середину якого ввімкнутий кристал. Довжину такого симетричного вібратора можна порівняти з довжиною хвилі коливань у основній частині спектру випромінюваних частот. За допомогою використання об'ємного інтегралу формули Кірхгофа можна визначити поле випромінювача [2]:

$$u = \frac{1}{4\pi} \int g(x) \frac{e^{-j\beta r}}{r} dV_{\vec{a}}. \quad (1)$$

Рис. 1. Модель симетричного вібратора

де u – шукана складова поля; $V_{\vec{a}}$ – об'єм діполя; $g(x)$ – параметр, який характеризує джерело поля; r – відстань від джерела поля до точки спостереження.

Розрахунок складових поля згідно (1) на практиці достатньо складний через трудність інтегрування при нерівномірному розподілі джерел поля по довжині вібратора.

Щоб уникнути такої ситуації використаємо метод суперпозиції.

Реальний вібратор (рис. 1) з реальним розподілом джерел поля розіб'ємо на ряд елементарних ділянок довжиною.

На такій ділянці (елементарному вібраторі) струм можна вважати постійним. Поле в точці спостереження визначається шляхом векторного добутку полів усіх елементарних ділянок. Для цього необхідно знати струм у кожній точці вібратора. Вирішимо задачу визначення струму в симетричному вібраторі, довжину якого можна порівняти з довжиною хвилі. В подальшому припустимо, що радіус проводу вібратора задовольняє умові $\Omega = 2\ln 2l/a \gg 1$, і малий в порівнянні з довжиною хвилі, так що $\beta = 2\pi a/\lambda \ll 1$, де a – діаметр провідника.

Для дроту з малим поперековим перерізом інтеграл за об'ємом можна замінити інтегралом за довжиною. Для розподілу струму на вібраторі отримаємо:

$$I_Z = \frac{jU_A}{60\Omega} \frac{\sin \beta(l - |Z|) + \beta_1/\Omega}{\cos \beta l + \alpha_1/\Omega},$$

де U_A – напруга джерела (кристала) на вході вібратора; $|Z|$ – абсолютне значення координати Z , яке відраховується від середини вібратора уздовж його довжини.

Вираз I_Z визначає закон зміни струму уздовж вібратора.

Таким чином, розрахунок електричного струму вихідного ланцюга радіоелемента при діагностуванні з використанням електромагнітного методу можна представити у вигляді наступного алгоритму:

1. Вихідний ланцюг радіоелемента представляється у вигляді моделі випромінювача – прямолінійного проводу, у середину якого ввімкнутий кристал.

2. Реальний випромінювач з реальним розподілом джерел поля розбивається на ряд елементарних ділянок довжиною, що набагато менша за довжину хвилі, на кожній з яких струм вважається постійним.

3. За допомогою метода суперпозиції знаходиться закон зміни струму уздовж вібратора та його значення.

Знайдемо параметри електромагнітного поля навколо вихідного ланцюга радіоелемента.

Сформулюємо задачу наступним чином:

нехай дано елементарний електричний випромінювач у вигляді тонкого проводу, уздовж якого протікає гармонійно змінний у часі струм. Випромінювач знаходиться в ізотропному ідеальному ($\sigma = 0$) середовищі з параметрами μ_0 і ϵ_0 . Інших джерел електромагнітного поля в просторі, біля вібратора, немає. Необхідно визначити електромагнітне поле у кожній точці простору біля випромінювача, а саме визначити

вектори \vec{E} і \vec{H} .

Припустимо наступне:

1. Довжина випромінювача у багато разів менша довжини хвилі електромагнітного поля. Розподіл струму уздовж випромінювача рівномірний ($l \ll \lambda$; $I(x) = \text{const}$).

2. Діаметр провідника випромінювача значно менше його довжини ($a \ll \lambda$).

3. Відстань від випромінювача до точки спостереження набагато більше довжини випромінювача $r \gg l$.

Друге та третє припущення дозволяють вважати відстань від кожної точки елементарного випромінювача до точки спостереження практично однаковими.

Так як струм у випромінювачі змінюється відповідно до гармонічного закону, то зручно буде використати метод комплексних амплітуд, вважаючи що $i(t) = I_m e^{j\varphi} e^{j\omega t}$.

Шукані вектори поля \vec{E} і \vec{H} будуть рішенням основних рівнянь електромагнітного поля [2]:

$$\text{rot } \vec{H} = \vec{\delta} + j\omega\epsilon_0 \vec{E}, \quad (2)$$

$$\text{rot } \vec{E} = -j\omega\mu_0 \vec{H}, \quad (3)$$

$$\text{div } \vec{E} = \rho/\epsilon_0, \quad (4)$$

$$\operatorname{div} \vec{H} = 0. \quad (5)$$

Для спрощення рішення рівнянь (2) - (5) перетворимо їх у хвильові рівняння (рівняння Гельмгольца), використовуючи метод електродинамічних потенціалів. В цьому випадку задачу можна розбити на три кроки:

- визначення векторного потенціалу \vec{A} із рівнянь Гельмгольца,
 - визначення напруженості магнітного поля \vec{H} за відомим вектором \vec{A} ,
 - визначення напруженості електричного поля \vec{E} за відомим вектором \vec{H} .
- В показано [2], що

$$\vec{H} = \frac{I_l e^{-j\beta r}}{4\pi r^2} (1 + j\beta r) \vec{\varphi}^0 \sin \theta. \quad (6)$$

Вектор \vec{H} має тільки одну складову за координатою φ і знаходиться у площині, перпендикулярній осі вібратора. Амплітуда вектора напруженості магнітного поля досягає максимального значення у площині, яка проходить через центр вібратора перпендикулярно його осі $\theta = \pi/2$.

Вектор напруженості електричного поля \vec{E} визначимо із першого рівняння Максвела при умові, що в точці спостереження $\delta = 0$:

$$\vec{E} = \operatorname{rot} \frac{\vec{H}}{j\omega\epsilon_0}. \quad (7)$$

Вектор \vec{E} має дві складові: складову за координатою r і складову за координатою θ . Таким чином, розрахунок електромагнітного поля вихідного ланцюга радіоелемента РЕП можна представити у вигляді наступного алгоритму:

1. Моделювання вихідного ланцюга радіоелемента РЕП.
2. Перетворення основних рівнянь електромагнітного поля у хвильові рівняння (рівняння Гельмгольца) за допомогою методу електродинамічних потенціалів.

3. Визначення векторного потенціалу \vec{A} із рівнянь Гельмгольца.
4. Визначення напруженості магнітного поля \vec{H} за відомим вектором \vec{A} .
5. Визначення напруженості електричного поля \vec{E} за відомим вектором \vec{H} .

Знайдемо потужність випромінювання вихідного ланцюга радіоелемента РЕП. Використовуючи принцип суперпозиції, визначимо потужність випромінювання вібратора за потужністю, яку випромінює у простір кожний елементарний випромінювач [2]. Середня потужність випромінювання у простір елементарного вібратора при припущенні, що він розташований у ідеальному середовищі можна визначити як середній потік випромінювання через будь-яку замкнуту поверхню навколо випромінювача:

$$P_{\vec{a}} = 40\pi^2 I_m^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2 \frac{\mu}{\epsilon}.$$

З виразу для P_a видно, що зі збільшенням частоти випромінювання зростає її потужність (при рівних амплітудах току високочастотні складові спектру мають більшу потужність ніж низькочастотні), що підтверджує відомі положення.

Для підтвердження теоретичних розрахунків було проведено експериментальне дослідження. Його результати показали, що потужність випромінювання радіоелемента являється достатньою, щоб згенерувати у «антенному» пристрої сигнали, параметри яких можна використовувати у якості діагностичних параметрів радіоелементу РЕП.

Висновки. Таким чином, сутність електромагнітного методу діагностування радіоелементів радіоелектронних пристроїв полягає в тому, що в якості діагностичних параметрів використовується параметри сигналів, що наводяться у «антенному» пристрої, що накладається на сам радіоелемент РЕП. Робота радіоелемента РЕП супроводжується зміною електромагнітного поля навколо нього при подачі на нього діагностичного тесту. Доведено, що потужність випромінювання радіоелемента являється достатньою, щоб згенерувати у «антенному» пристрої сигнали, параметри яких можна використовувати у якості діагностичних параметрів радіоелементу РЕП.

Перевага даного методу над існуючими полягає в наступному:

- виключення необхідності використання вихідних контактів та контрольних точок для визначення несправного радіоелемента РЕП;
- незначний вплив пристрою діагностування на "власну" надійність радіоелемента РЕП, так як до нього не додаються нові елементи та не змінюється принципова схема;
- можливість застосування методу як до існуючих, так і до перспективних радіоелементів РЕП;
- скорочення часу діагностування радіоелемента РЕП 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. Цибизов К.Н., Пасечник С.Г. Военные линии радиосвязи и антенные устройства: Учеб. пособие. – Киев.: КВВИУС, 1987. – С.80–83.

Без рецензії.

к.т.н. Шкулипа П.А., д.т.н., проф. Ленков С.В., д.т.н., проф. Жердев Н.К.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МЕТОД ДИАГНОСТИРОВАНИЯ РАДИОЭЛЕМЕНТОВ В СОСТАВЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Рассматривается электромагнитный метод определения технического состояния радиоэлементов в составе аналоговых и цифровых радиоэлектронных устройств объектов радиоэлектронной техники. Данный метод позволяет проводить измерение диагностических параметров в антенне, которая накладывается на радиоэлектронные устройства при подаче на него тестового влияния.

Ключевые слова: электромагнитный метод, техническое состояние, диагностический параметр, антенна.

Ph.D. Shkulypa P., prof. Lenkov S., prof. Zherdev N.

ELECTROMAGNETIC METHOD OF DIAGNOSING ELECTRONIC COMPONENTS IN THE COMPOSITION OF THE RADIO-ELECTRONIC DEVICES

An electromagnetic method for determining the technical state of radio in the analog and digital electronic devices electronic engineering objects. This method allows the measurement of diagnostic parameters in the antenna, which is superimposed on the electronic devices feeding him test exposure.

Keywords: electromagnetic, technical condition, diagnostic parameters, antenna.