

АНАЛІЗ І МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННИХ КІЛ ТА СИСТЕМ

УДК620.179.1

ЗАСТОСУВАННЯ ЗВ'ЯЗАНИХ КОЛИВАЛЬНИХ КОНТУРІВ У ВИХРОСТРУМОВІЙ ДЕФЕКТОСКОПІЇ

Д. Трушаков

*Кіровоградський національний технічний університет
пр. Університетський, 8, Кіровоград, 25030 Україна
Dmitriy-kntu@yandex.ru*

Наведено результати теоретичних досліджень із застосування зв'язаних коливальних контурів у вихрострумівій дефектоскопії. Описано основні переваги використання зв'язаних коливальних контурів для побудови резонансних вихрострумівих дефектоскопів.

Ключові слова: вихрострумівіа дефектоскопівіа, коливальний контур, вихрострумівій перетворювач.

За основу роботи резонансних вихрострумівих дефектоскопів узято резонансний спосіб відстроювання від впливу проміжку [1] між вихрострумівім перетворювачем, що входить до складу вимірювального коливального контуру, та контрольованою поверхнею металевого виробу. Цей спосіб полягає у виборі робочої точки на схилі резонансної кривої. За цього способу використовують властивості коливального контуру. Резонансна частота і добротність коливального контуру залежать від зміни як проміжку, так і характеристик матеріалу контрольованого виробу. Зміна проміжку між накладним вихрострумівім перетворювачем і поверхнею металевого виробу змінюватиме взаємний зв'язок між ними і, отже, імпеданс коливального контуру.

Основа дослідження – задача підвищення точності вихрострумівіого контролю, тобто спосіб відстроювання від впливу проміжку у вихрострумівій дефектоскопії феромагнітних виробів.

Запропонований спосіб діє так. У вимірювальну систему вихрострумівіого дефектоскопа, яка містить ідентичні вимірювальний та еталонний коливальні контури [2], додатково вводять ще два ідентичні коливальні контури для створення ідентичних зв'язаного вимірювального коливального контуру з трансформаторним зв'язком та зв'язаного еталонного коливального контуру з трансформаторним зв'язком. Зв'язаний вимірювальний коливальний контур містить накладний вихрострумівій перетворювач, встановлений на контрольовану поверхню феромагнітного виробу з деяким перешкоджальним зазором, наприклад, унаслідок забруднення поверхні. Зв'язаний вимірювальний коливальний контур та зв'язаний еталонний коливальний контур, розташований поза контрольованою поверхнею, зазнають збудження автогенератором синусоїдальної напруги. Порівнюють сигнали від зв'язаного еталонного і зв'язаного вимірювального коливальних контурів. Отриманий сигнал непогодження

використовують для керування частотою автогенератора, що виробляє частоту f_0 , за якої амплітуда напруги у вимірювальному коливальному контурі не залежить від розміру зазору. Робочу частоту f_0 обирають на лівому схилі резонансної кривої вимірювального коливального контуру.

На рис. 1 зображено зв'язаний коливальних контур з трансформаторним зв'язком, що містить два ідентичні коливальні контури.

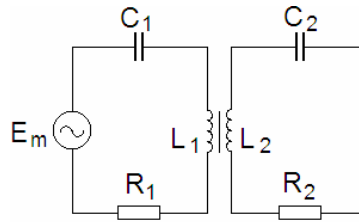


Рис. 1. Зв'язаний коливальних контур з трансформаторним зв'язком.

З теоретичної електротехніки відомо, що резонансні частоти ω_{01} , ω_{02} і добротності Q_1 , Q_2 зв'язаних коливальних контурів (див. рис. 1) розраховують за формулами

$$\omega_{01} = \frac{1}{\sqrt{L_1 C_1}}; \quad Q_1 = \frac{\omega_{01} L_1}{R_1}; \quad (1)$$

$$\omega_{02} = \frac{1}{\sqrt{L_2 C_2}}; \quad Q_2 = \frac{\omega_{02} L_2}{R_2}. \quad (2)$$

Зв'язок між коливальними контурами характеризують взаємною індуктивністю M або коефіцієнтом зв'язку K

$$K = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (3)$$

Реактивні опори першого X_1 і другого X_2 коливальних контурів

$$X_1 = \omega L_1 - \frac{1}{\omega C_1}; \quad (4)$$

$$X_2 = \omega L_2 - \frac{1}{\omega C_2}. \quad (5)$$

Характеристика залежності оптимального значення коефіцієнта зв'язку та амплітудно-частотні характеристики для двох ідентичних коливальних контурів з трансформаторним зв'язком [3] показані на рис. 2.

На рис. 2, а зображена залежність оптимального значення коефіцієнта зв'язку $K_{\text{опт}}$ зв'язаного коливального контуру від частоти збуджувального автогенератора. Точки цієї кривої дають те значення коефіцієнта зв'язку між контурами, за якого на заданій частоті збуджувального генератора отримаємо складний резонанс. Незалежно від частоти вхідного сигналу внаслідок зміни відстані між котушками індуктивності або зміни їхньої взаємної орієнтації можна зробити значення коефіцієнта зв'язку K або менше критичного ($K = K_1 < K_{\text{кр}}$, див. рис. 2, б, крива 1), або щоб він дорівнював критичному

($K = K_2 = K_{кр}$, див. рис. 2, б, крива 2), або був більшим від критичного ($K = K_3 > K_{кр}$, див. рис. 2, б, крива 3).

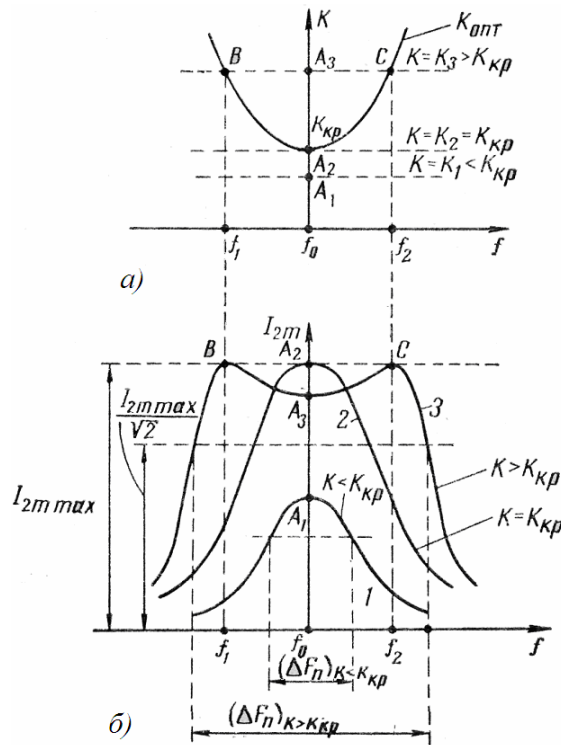


Рис. 2. Залежність оптимального коефіцієнта зв'язку (а) та амплітудно-частотні характеристики за різних значень коефіцієнта зв'язку зв'язаного коливального контуру з трансформаторним зв'язком (б).

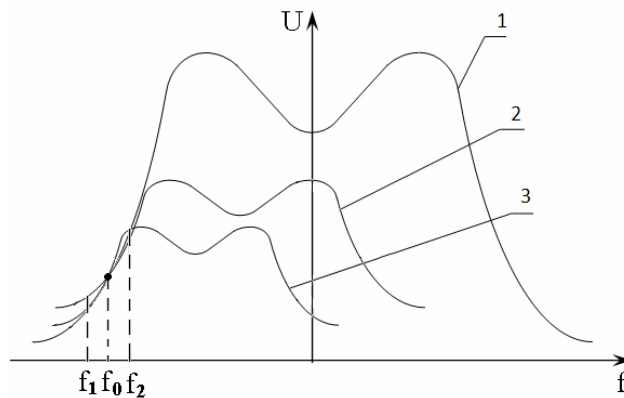


Рис. 3. Резонансні характеристики вимірювального зв'язаного коливального контуру в різних режимах роботи

Резонансні характеристики вимірювального коливального контуру в різних режимах роботи зображені на рис. 3. Відповідно, крива 1 – резонансна характеристика зв'язаного еталонного коливального контуру і збіжна з нею характеристика зв'язаного вимірювального коливального контуру, який перебуває поза поверхнею феромагнітного виробу. Криві 2 і 3 – резонансні характеристики зв'язаного вимірювального коливального контуру, які відповідають станам у разі наближення і встановлення накладного вихрострумowego перетворювача на поверхню феромагнітного виробу, відповідно. Частота f_0 – робоча частота зв'язаного вимірювального коливального контуру, f_1 , f_2 – частоти, на яких амплітуда напруги у зв'язаному еталонному коливальному контурі менше, ніж у зв'язаному вимірювальному коливальному контурі, і більше, відповідно. Резонансні криві 1, 2, 3 перетинаються у точці, яка відповідає частоті f_0 .

Структурна схема вихрострумowego дефектоскопа для контролю металевих виробів, за основу роботи якого взято запропонований спосіб [4, 5], показана на рис. 4. Відповідно, елемент 1 – автогенератор синусоїдальної напруги, елемент 2 – зв'язаний вимірювальний коливальний контур з трансформаторним зв'язком, елемент 3 – зв'язаний еталонний коливальний контур з трансформаторним зв'язком, елемент 4 – фільтр високих частот, елемент 5 – індикатор, елемент 6 – суматор, увімкнений за схемою віднімання, елемент 7 – фільтр низьких частот. Вихід автогенератора 1 підключено паралельно до входів зв'язаного вимірювального коливального контуру з трансформаторним зв'язком 2 і зв'язаного еталонного коливального контуру з трансформаторним зв'язком 3. Вихід зв'язаного вимірювального коливального контуру з трансформаторним зв'язком 2 через фільтр високих частот 4 підключено до індикатора 5. Крім того, виходи зв'язаного вимірювального з трансформаторним зв'язком 2 і зв'язаного еталонного 3 з трансформаторним зв'язком коливальних контурів приєднані до входів суматора 6. Вихід суматора 6 приєднано через фільтр низьких частот 7 до керівного входу автогенератора 1.

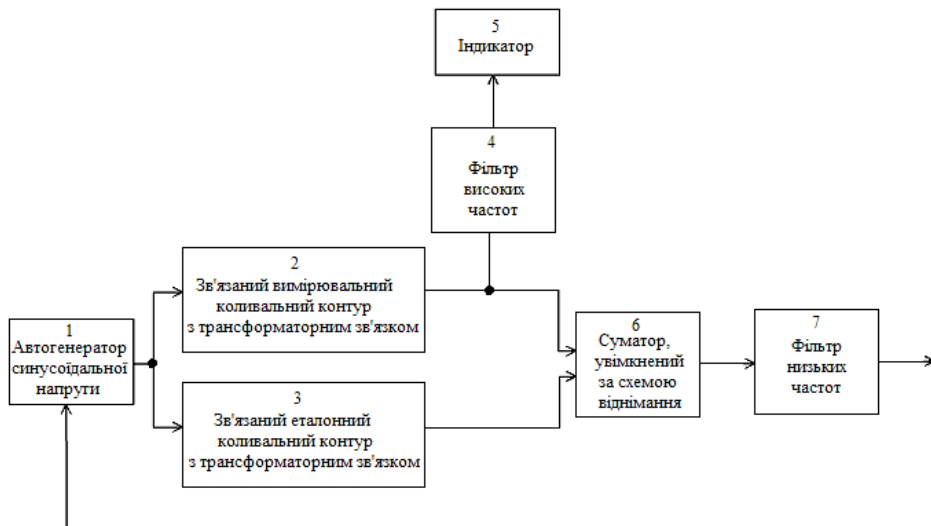


Рис. 4. Структурна схема вихрострумowego дефектоскопа.

Вихрострумний дефектоскоп працює так. Автогенератор 1, що є джерелом синусоїдальної напруги, збуджує підключені до його виходу зв'язаний вимірювальний з трансформаторним зв'язком 2 і зв'язаний еталонний з трансформаторним зв'язком 3 коливальні контури. Автоматичне настроювання частоти автогенератора виконують так. Вихідна напруга зв'язаного вимірювального з трансформаторним зв'язком коливального контуру 2, яка містить інформацію про розмір зазору і про наявність дефекту у виробі, надходить на перший вхід суматора 6. Одночасно на другий вхід суматора 6 надходить вихідна напруга зі зв'язаного еталонного коливального з трансформаторним зв'язком контуру 3.

Сигнали у вигляді вихідних напруг зв'язаного вимірювального коливального контуру 2 і зв'язаного еталонного коливального контуру 3 порівнюються у суматорі 6 за амплітудою. Унаслідок цього на виході суматора 6, який увімкнений за схемою віднімання, залежно від співвідношення сигналів утворюється різницевий сигнал, який, проходячи через фільтр низьких частот 7, надходить на керівний вхід автогенератора 1 і керує його частотою. У підсумку автогенератор 1 виробляє таку частоту, за якої сигнали зі зв'язаного вимірювального з трансформаторним зв'язком коливального контуру 2, та зв'язаного еталонного з трансформаторним зв'язком коливального контуру 3 будуть однаковими. У цьому разі відбувається відстроювання від впливу такого перешкоджального чинника, як коливання проміжку між накладним вихрострумним перетворювачем, який входить у зв'язаний вимірювальний з трансформаторним зв'язком коливальний контур 2, та контрольованою поверхнею феромагнітного виробу. Поява тріщини призводить до різкої зміни вихідного сигналу зі зв'язаного вимірювального коливального контуру з трансформаторним зв'язком 2. Такі швидкі імпульсні зміни зазнають згладжування фільтром низьких частот 7 і не впливають на налаштування автогенератора 1. У випадку, якщо знайдено дефект типу "тріщина", сигнал від вихрострумного перетворювача має характер короткого імпульсу, міститься у смузі пропускання фільтра високих частот 4 і надходить на індикатор 5. Сигнал, зумовлений зміною зазору, є повільним та перебуває у смузі пропускання фільтра низьких частот 7 і подається на керівний вхід автогенератора 1. Цим досягають підтримки постійного значення частоти у зв'язаному вимірювальному з трансформаторним зв'язком коливальному контурі, за якої відбувається відстроювання від впливу коливань проміжку між накладним вихрострумним перетворювачем і контрольованою поверхнею феромагнітного виробу у разі проведення вихрострумової дефектоскопії.

Запропонована побудова вихрострумного дефектоскопа дає змогу підвищити якість вихрострумного контролю та забезпечити точніше виявлення дефектів типу "тріщина" у разі проведення вихрострумової дефектоскопії феромагнітних деталей та виробів.

1. *Дорофеев А.Л.* Теория и промышленное применение метода вихревых токов / А.Л. Дорофеев, Л.И. Лихачев, А.И. Никитин. – М. : Машиностроение, 1969.
2. *Трушаков Д.В.* Вихрострумний дефектоскоп для контролю феромагнітних виробів з резонансним способом повного відстроювання від впливу зазора між вихрострумним перетворювачем та контрольованою поверхнею // *Неруйнівний контроль та технічна діагностика – UkrNDT-2009* Неруйнівний контроль та технічна

- діагностика – UkrNDT-2009: Збірник доповідей 6-ї Нац. наук.-техн. конф. – К. : УТНКТД, 2009. – С. 156–159.
3. *Овчинников Н.И.* Основы радиотехники / Н.И. Овчинников. – М. : Воениздат, 1968.
 4. Патент на корисну модель №63505 Україна, МПК (2011.01) G01N27/00 G01N27/90 (2006.01). Спосіб відстроювання від впливу зазору у вихрострумівій дефектоскопії феромагнітних виробів / Трушаков Д.В., Мартинов В.В.; Кіровоградський національний технічний університет. – u201103291; Заявл. 21.03.2011; Опубл. 10.10.2011, Бюл. №19.
 5. Патент на корисну модель №63503 Україна, МПК G01N27/00. Вихрострумівій дефектоскоп для контролю металевих виробів / Трушаков Д.В., Мартинов В.В.; Кіровоградський національний технічний університет. – u201103288; Заявл. 21.03.2011; Опубл. 10.10.2011, Бюл. №19.

APPLICATION OF COUPLED OSCILLATORY CIRCUIT IN EDDY-CURRENT DEFECTOSCOPY

D. Trushakov

*Kirovograd National Technical University,
University Str. 8, Kirovograd 25030, Ukraine
Dmitriy-kntu@yandex.ru*

The work contains the results of theoretical research for application of coupled oscillatory circuit in eddy current defectoscopy (eddy current non-destructive testing). There has been represented a basic advantages of application a coupled oscillatory circuit for resonance eddy current defectoscope.

Key words: eddy current defectoscopy, oscillatory circuit, eddy current probe.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЯЗАННЫХ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ КОНТУРОВ В ВИХРЕТОКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Д. Трушаков

*Кировоградский национальный технический университет
пр. Университетский, 8, Кировоград, 25030, Украина
Dmitriy-kntu@yandex.ru*

Приведено результати теоретических исследований по применению связанных колебательных контуров для вихретоковой дефектоскопии. Представлено основные преимущества использования связанных колебательных контуров при построении резонансных вихретоковых дефектоскопов.

Ключевые слова: вихретоковая дефектоскопия, колебательный контур, вихретоковый преобразователь.

Стаття надійшла до редколегії 21.01.2013

Прийнята до друку 06.02.2013