

Висновки

Таким чином, використання запропонованого підходу дозволяє поліпшити роботу використовуваних і резервованих ресурсів за умови збереження режиму реального часу при одночасному забезпеченні якості обробки даних, що передаються.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kester W. Mixed-signal and DSP Design Techniques. Newnes, – 2002. – 368 p.
2. Kentarnavaz N., Keramat M. Digital Processing System Design: Using the TMS320C6000. Prentice Hall, – 2000.– 273 p.
3. ITU–T Recommendation G.729. Coding of speech at 8 kbit/s using Conjugate-Structure Algebraic-Code-Excited Linear-Prediction (CS ACELP). ITU–T, –1996. – 53 p.
4. Telecommunications Applications with the TMS320C5x DSPs //Digital Voice Echo Canceller Implementation on the TMS320C5x, Texas Instruments, – 1994. – p. 189–202.
5. ITU–T Recommendation P.862. Perceptual evaluation of speech quality (PESQ), an objective method for end-to-end speech quality assessment of narrowband telephone networks and speech codecs. ITU–T, – 2001. – 78 p.

Надійшла 21.04.2009

УДК 620.179.14

**ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КОНТРОЛЬ ЧОТИРЬОХ ПАРАМЕТРІВ
ЦИЛІНДРИЧНОГО ВИРОБУ, ЯКИЙ ЗОНДУЄТЬСЯ МАГНІТНИМ ПОЛЕМ
КРАТНИХ ЧАСТОТ**

В.В. СЕБКО

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

В.Г. ЗДОРЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

Запропоновано вимірювальний контроль чотирьох параметрів феромагнітного циліндричного виробу, який зондується магнітним полем теплового трансформаторного вихорострумове датчика (ТВД) кратними частотами

У сучасній літературі досить детально розглянуто теорію роботи трансформаторного вихорострумове датчика (ТВД) [1–10], на базі якого здійснюється реалізація вихорострумівих (електромагнітних) методів контролю одного або декількох параметрів магнітних та немагнітних циліндричних виробів. Теорія роботи ТВД полягає у тому, що у вихідних сигналах датчика міститься інформація про сумарний E_{Σ} або ЕРС $E_{\hat{a}i}$, що вноситься (яка виникає при розташуванні виробу у ТВД), а також о фазових кутах зсуву між ЕРС ТВД без виробу E_0 (опорній ЕРС) та ЕРС E_{Σ} або $E_{\hat{a}i}$ [1–10]. Ці компоненти сигналів ТВД, у свою чергу, пов'язані з відносною магнітною проникністю μ_r , питомим

електричним опором ρ або питомою електричною провідністю σ , геометричним параметром – радіусом a виробу та температурою t [1–10]. Слід відзначити, що вихороструміві багатопараметрові методи, засновані на вимірюванні $E_{\dot{a}t}$ та $\varphi_{\dot{a}t}$ [2], мають складніший алгоритм вимірювальних операцій, тому що для визначення $E_{\dot{a}t}$ необхідно спочатку збалансувати на нуль ЕРС двох взаємно включених обмоток компенсаційного та робочого датчиків без виробу і тільки потім внести виріб у робочий датчик. Таким чином, щоб визначити $E_{\dot{a}t}$ та $\varphi_{\dot{a}t}$ необхідно обов'язково у схемі включення ТВД використовувати компенсуючий датчик, що, у свою чергу, призводить до ускладнення конструкції та зниженню швидкодії вихорострумівого пристрою. У цьому плані методи, засновані на вимірюванні E_{Σ} та φ_0 , а також на подальшому визначенні величини φ (кут між ЕРС E_0 та ЕРС E_2 , яка обумовлена проходженням магнітного потоку \hat{O}_2 у зразку, який контролюється [3–8], є доцільнішим, тому що ЕРС E_{Σ} можна визначити, якщо розташувати виріб, який контролюється, у робочий пристрій без попереднього складного балансування. Принцип роботи відомих багатопараметрових вихорострумівих методів контролю параметрів циліндричних виробів ґрунтується на вимірюванні таких компонентів сигналів ТВД як E_{Σ} , E_0 , φ_0 та φ [3–10]. Серед розглянутих вище методів слід звернути увагу на екстремальний трьохпараметровий вихорострумівий метод визначення магнітних, електричних та геометричних параметрів циліндричних виробів, який засновано для визначення досягнення екстремуму фазового кута ЕРС E_{Σ} [8]. Цей метод було удосконалено і запропоновано сумісний контроль чотирьох параметрів, тобто відносної магнітної проникності μ_r , радіуса a , питомого електричного опору ρ та температури t феромагнітних циліндричних виробів. Слід відмітити, що одночасне визначення геометричних та електромагнітних параметрів з температурою, дає можливість підвищити вірогідність контролю феромагнітних циліндричних виробів [9]. Недоліком трьох- та чотирьохпараметрових вихорострумівих методів є складність алгоритмів вимірювальних та розрахункових процедур визначення параметрів виробів, що пов'язано із уточненням частоти при знаходженні екстремуму. Застосування вихорострумівих методів, які засновані на застосуванні кратних частот магнітного поля, суттєво полегшує процедуру вимірювального контролю чотирьох параметрів феромагнітних циліндричних виробів та відповідних алгоритмів вимірювальних та розрахункових процедур сумісного визначення μ_r , a , ρ та t . За рахунок того, що спрощуються універсальні функції перетворення, які описують роботу теплового ТВД. Так як узагальнений параметр x_2 на другій кратній частоті теплового ТВД буде у два рази більший, ніж x_1 (на першій частоті), то це означає, що частота зміни магнітного поля f_2 буде у чотири рази більша, ніж f_1 . У роботі [10] вперше був запропонований трьохпараметровий вихорострумівий метод контролю параметрів феромагнітного циліндричного зразку, який використовує магнітне поле двох кратних частот ТВД. Вихорострумівий метод [10] є екстремальним, так як заснований на досягненні екстремуму уявної частини сумарної ЕРС E_{Σ} .

До недоліків роботи [10] слід віднести те, що в цьому випадку не ясний вплив положистості екстремуму на результати контролю параметрів феромагнітного циліндричного зразка, а також те, що не враховувалась температура, при якій виконувався вимірювальний контроль електромагнітних

параметрів, що, у свою чергу, знижувало вірогідність вихорострумовею контролю та обмежувало застосування таких непрямих вимірювань.

Таким чином, до теперішнього часу практично не розвинуті теоретичні положення, які є основою дослідження роботи теплового ТВД з феромагнітним циліндричним зразком, що контролюється, який зондується магнітним полем кратних частот. Не вивчені також особливості роботи теплових ТВД, які використовують поздовжнє магнітне поле кратних частот, при виконанні багатопараметрового вимірювального контролю циліндричних виробів. В цей час потреби науково-дослідних установ та промислових підприємств потребують вирішення цих важливих питань.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом дослідження є розробка теоретичних основ роботи теплових ТВД та розробка безконтактних вихорострумів методів сумісного контролю геометричних, електромагнітних та температурних параметрів циліндричних виробів, що зондуються магнітним полем кратних частот.

Для підвищення вірогідності контролю феромагнітних циліндричних виробів у різних технологічних процесах (прокат, механічна та хімічна обробка та ін..) необхідно виконання цілої низки вимог до первинних вихорострумів перетворювачів. Це перш за все: багатопараметровість інформації, простота функцій перетворення та алгоритмів вимірювальних процедур, завадостійкість, простота конструкції, здатність вимірювання параметрів як зосереджених у зоні контролю, так і розподілених по об'єму зразка, що контролюється [1]. Усім цим вимогам задовольняє тепловий вихорострумів датчик (ТВД), який окрім своєї основної функції – створення магнітного потоку всередині виробу, дозволяє здійснювати також і нагрів виробу у процесі контролю. Тому при розробці вихорострумів методів контролю та пристроїв, що їх реалізують, та працюють на кратних частотах магнітного поля, необхідно враховувати усі ці вимоги.

Постановка завдання

Метою роботи є створення чотирьохпараметрового безконтактного вихорострумів методу сумісного вимірювального контролю відносної магнітної проникності μ_r , радіусу a , питомого електричного опору ρ та температури t циліндричного феромагнітного виробу, що зондується магнітним полем кратних частот теплового вихорострумів датчика (ТВД).

Для досягнення мети дослідження необхідно вирішити наступні задачі:

- отримати нові універсальні функції перетворення для теплового ТВД, який працює на кратних частотах, з феромагнітним циліндричним виробом, що нагрівається;
- розробити алгоритм сумісного вимірювального контролю чотирьох параметрів феромагнітного циліндричного виробу;
- отримати основні співвідношення, що описують чотирьохпараметровий безконтактний вихорострумів метод, який заснований на використанні поздовжнього магнітного поля двох кратних частот теплового ТВД.

Результати та їх обговорення

Скориставшись результатами робіт [1-10], у яких описана теорія роботи ТВД та схеми включення, можливо перейти безпосередньо до чотирьохпараметрового безконтактного вихорострумів методу контролю параметрів циліндричних виробів. На рис. 1 подано схему, за

допомогою якої виконується вимірювальний контроль чотирьох параметрів феромагнітного циліндричного виробу, який зондується магнітним полем кратних частот теплового ТВД.

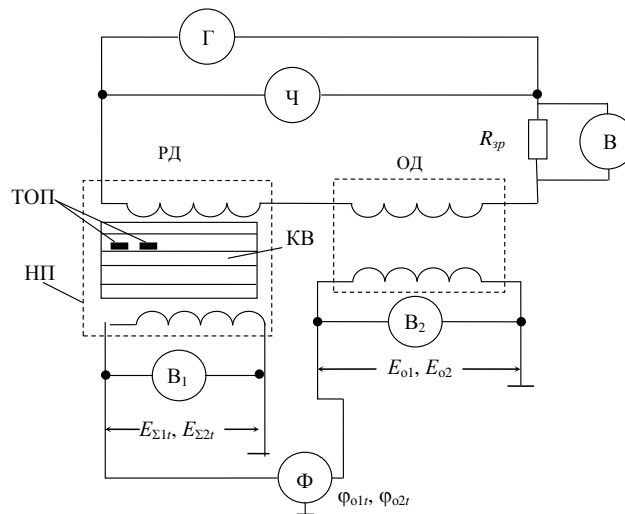


Рис.1. Схема вимірювального контролю чотирьох параметрів феромагнітного циліндричного виробу, який зондується магнітним полем кратних частот теплового ТВД

Схема містить: Г – генератор змінного струму; Ч – частотомір; РД та ОД – два ідентичні датчики (які мають однакові геометричні розміри та однакову кількість витків), у РД вбудований нагрівач, у який поміщується контрольований виріб, а ОД призначений для вимірювання опорних ЕРС E_{01} та E_{02} (без виробу); $R_{ср}$ – зразковий резистор; В, V_1 , V_2 – вольтметри; НП – нагрівальний пристрій, який використовується для зміни температури феромагнітного зразка у процесі контролю; ТОП – термометри опору платинові (контрольний метод вимірювання температури); КВ – контролюємий виріб, який зондується магнітним полем кратних частот ТВД; Ф – фазометр.

Так як у даному випадку використовуються дві кратні частоти $f_1 = 989 \text{ ґАө}$ та $f_2 = 3,01 \text{ ґАө}$, то потрібно провести вимірювання значень $E_{\Sigma 1t}$ та $E_{\Sigma 2t}$, E_{01} та E_{02} , а також фазових кутів зсуву φ_{01t} та φ_{02t} на цих двох кратних частотах магнітного поля теплового ТВД, яким зондується контрольований виріб. Таким чином, алгоритм вимірювального контролю чотирьох параметрів феромагнітних циліндричних виробів складається з наступних операцій: спочатку за допомогою вольтметра V_1 вимірюються значення ЕРС $E_{\Sigma 1t}$ та $E_{\Sigma 2t}$ на двох кратних частотах теплового ТВД, а вольтметром V_2 – вимірюються ЕРС E_{01} та E_{02} при тих самих значеннях частоти. Після цього за допомогою фазометра Ф вимірюються фазові кути зсуву φ_{01t} та φ_{02t} між ЕРС $E_{\Sigma 1t}$ та $E_{\Sigma 2t}$, а також E_{01} та E_{02} відповідно. Значення фазових кутів φ_{1t} та φ_{2t} на двох кратних частотах теплового ТВД знаходимо з урахуванням того, що на високих частотах $E_{\Sigma 1t} = E_1$ та $E_{\Sigma 2t} = E_2$ [3 – 7]:

$$\text{tg } \varphi_{1t} = \frac{E_{\Sigma 1t} \sin \varphi_{01t}}{E_{\Sigma 1t} \cos \varphi_{01t} - E_1}, \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{2t} = \frac{E_{\Sigma 2t} \sin \varphi_{02t}}{E_{\Sigma 2t} \cos \varphi_{02t} - E_1}, \quad (2)$$

де індекси 1 та 2 мають відношення до першої та другої кратним частотам магнітного поля, яким зондується циліндричний виріб; індекс t означає, що дана величина залежить від температури.

Далі, скориставшись відомими універсальними функціями перетворення $x_{1t} = f(\varphi_{1t})$ та $x_{2t} = f(\varphi_{2t})$ [10] знаходимо значення узагальнених магнітних параметрів x_{1t} та x_{2t} . Значення питомого нормованого магнітного потоку у виробі k_{1t} та k_{2t} знаходимо на основі двох інших функцій перетворення $k_{1t} = f(x_{1t})$ та $k_{2t} = f(x_{2t})$, знаючи значення x_{1t} та x_{2t} , знайдені на кратних частотах магнітного поля f_1 та f_2 теплового ТВД [10].

При цьому усі величини, що вимірюються та визначаються: $E_{\Sigma 1t}, E_{\Sigma 2t}, \varphi_{01t}, \varphi_{02t}, x_{1t}, x_{2t}, \varphi_{1t}, \varphi_{2t}, k_{1t}, k_{2t}$, на відміну від величин, отриманих авторами робіт [1-8, 10], залежать від температури.

Відносні магнітні проникності μ_{r1t} та μ_{r2t} на кратних частотах магнітного поля теплового ТВД визначаємо, використовуючи дві нові універсальні функції перетворення, які відображають собою залежності відношення сумарних ЕРС теплового ТВД на першій та другій кратних частотах $4E_{\Sigma 1t} / E_{\Sigma 2t}$ від фазового кута на першій частоті φ_{1t} , а також залежність цього ж відношення від фазового кута φ_{2t} (на другій кратній частоті магнітного поля теплового ТВД)

$$k_{1t}^{**} = \frac{4E_{\Sigma 1t}}{E_{\Sigma 2t}} = \frac{4\sqrt{(1 - \mu_{r1t} k_{1t} \cos \varphi_{1t})^2 + (\mu_{r1t} k_{1t} \sin \varphi_{1t})^2}}{\sqrt{(1 - \mu_{r2t} k_{2t} \cos \varphi_{2t})^2 + (\mu_{r2t} k_{2t} \sin \varphi_{2t})^2}} = f(\varphi_{1t}), \quad (3)$$

$$k_{2t}^{**} = \frac{4E_{\Sigma 1t}}{E_{\Sigma 2t}} = \frac{4\sqrt{(1 - \mu_{r1t} k_{1t} \cos \varphi_{1t})^2 + (\mu_{r1t} k_{1t} \sin \varphi_{1t})^2}}{\sqrt{(1 - \mu_{r2t} k_{2t} \cos \varphi_{2t})^2 + (\mu_{r2t} k_{2t} \sin \varphi_{2t})^2}} = f(\varphi_{2t}). \quad (4)$$

На рис. 2 та 3 приведено залежності (3) та (4) у графічному вигляді. Таким чином, при знайдених значеннях φ_{1t} та φ_{2t} , на перетині промінів, які йдуть від відношення $4E_{\Sigma 1t} / E_{\Sigma 2t}$, визначаємо відносну магнітну проникність на двох кратних частотах магнітного поля теплового ТВД.

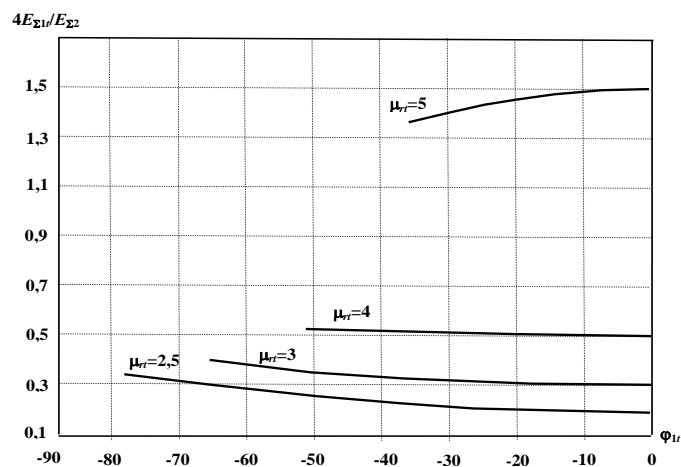


Рис.2. Залежність відношення сумарних ЕРС теплового ТВД на першій та другій кратних частотах від фазового кута на першій частоті

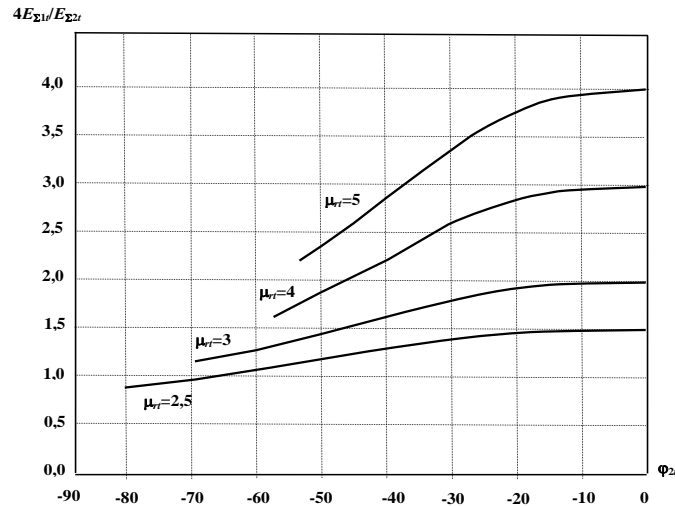


Рис.3. Залежність відношення сумарних ЕРС теплового ТВД на першій та другій кратних частотах від фазового кута на другій кратній частоті

Параметри теплового ТВД, який працює на кратних частотах: радіус $\dot{a}_i = 25 \cdot 10^{-3}$ м; кількість витків вимірювальної обмотки $W_\delta = 1050$; кількість витків намагнічувальної обмотки $W_i = 289$; довжина намагнічувальної обмотки $l_i = 0,5$ м; намагнічувальний струм $I_i = 0,125$ А. Матеріал виробу – сталь Х18Н10Т; довжина виробу $l_\delta = 0,5$ м; температурний коефіцієнт опору ТКО $\alpha = 8,344$ 1/К. Далі необхідно знайти ЕРС E_{21t} та E_{22t} (на частотах f_1 та f_2 теплового ТВД), наприклад на першій частоті ми знаходимо ЕРС E_{21t} за формулою [3 – 7]:

$$E_{21t} = \sqrt{E_{\Sigma t}^2 + E_1^2 - 2E_{\Sigma t}E_1 \cos \phi_{0t}} \cdot \quad (5)$$

Аналогічним чином визначаємо ЕРС E_{22t} на другій кратній частоті f_2 . Знаючи ЕРС E_{21t} та E_{22t} , знайдемо радіус \dot{a} циліндричного виробу, що зондується магнітним полем кратних частот:

$$a_1 = a_i \sqrt{\frac{E_{21t} l_i}{\mu_{r1t} \cdot 4,44 f_{1t} W_\delta \pi a_i^2 \mu_0 I_i W_i k_{1t}}}, \quad (6)$$

$$a_2 = a_i \sqrt{\frac{E_{22t} l_i}{\mu_{r2t} \cdot 4,44 f_{2t} W_\delta \pi a_i^2 \mu_0 I_i W_i k_{2t}}}, \quad (7)$$

де μ_0 - магнітна постійна, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м.

Знаючи узагальнений магнітний параметр x_{1t} та x_{2t} , визначаємо залежні від температури значення електричного параметру ρ_{1t} та ρ_{2t} (на частотах f_1 та f_2) за формулами:

$$\rho_{1t} = \frac{2E_{21t} l_i}{4,44 x_{1t}^2 W_\delta I_i k_{1t} W_i}, \quad (8)$$

$$\rho_{2t} = \frac{2E_{22t} l_i}{4,44 x_{2t}^2 W_\delta I_i k_{2t} W_i}. \quad (9)$$

Температуру феромагнітного циліндричного виробу на двох кратних частотах магнітного поля теплового ТВД знаходимо з наступних виразів:

$$t_1 = \left(\frac{1 + \alpha t_i}{\alpha} \right) \left(\frac{2E_{21}l_i}{4,44\rho_i x_{1i}^2 W_e I_i k_{1i} W_i} - 1 \right) + t_i, \quad (10)$$

$$t_2 = \left(\frac{1 + \alpha t_i}{\alpha} \right) \left(\frac{2E_{22}l_i}{4,44\rho_i x_{2i}^2 W_e I_i k_{2i} W_i} - 1 \right) + t_i, \quad (11)$$

де t_i – початкова температура; ρ_i – питомий електричний опір при початковій температурі виробу.

Висновки

Таким чином, у рамках вирішення важливої науково-практичної проблеми, яка полягає у створенні теоретичних основ роботи теплових ТВД та розробці безконтактних вихорострумових методів сумісного контролю геометричних, електромагнітних та температурних параметрів циліндричних виробів, запропонований чотирьохпараметровий безконтактний вихорострумовий метод сумісного вимірювального контролю відносної магнітної проникності μ_r , радіусу a , питомого електричного опору ρ та температури t феромагнітного циліндричного виробу, який зондується магнітним полем кратних частот теплового ТВД. Отримані нові універсальні функції перетворення, які представляють собою: залежність відношення сумарних ЕРС теплового ТВД $4E_{\Sigma 1i} / E_{\Sigma 2i}$ на першій та другій кратних частотах f_1 та f_2 від фазового кута на першій частоті φ_{1i} , а також залежність цього ж відношення від фазового кута φ_{2i} (на другій кратній частоті магнітного поля теплового ТВД).

Приведені основні співвідношення для сумісного визначення чотирьох параметрів феромагнітного циліндричного виробу. Розроблений алгоритм сумісного вимірювального контролю магнітних, електричних, геометричних та температурних параметрів циліндричного зразка на базі теплового ТВД, який працює на кратних частотах. Наукова новизна цієї статті полягає у тому, що запропоновані теоретичні положення, які лежать в основі роботи теплових ТВД, які використовують поздовжнє магнітне поле кратних частот. Практичне значення роботи полягає у тому, що створена методика чотирьохпараметрового безконтактного вихорострумового вимірювального контролю відносної магнітної проникності μ_r , радіусу a , питомого електричного опору ρ та температури t феромагнітних циліндричних виробів, яка заснована на використанні кратних частот магнітного поля теплового трансформаторного вихорострумового датчика (ТВД).

Перспективи подальших досліджень полягають у: створенні безконтактних вихорострумових методів та засобів сумісного багатопараметрового контролю рідких та газоподібних середовищ (магнітних та немагнітних) на основі теплових ТВД, які працюють на кратних частотах магнітного поля, яке зондує контрольований об'єкт.

ЛІТЕРАТУРА

1. Герасимов В.Г., Клюев В.В., Шатерников В.Е. Методы и приборы электромагнитного контроля промышленных изделий. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 272 с.
2. Гончаров Б.В. Теория и практика безэталонных электромагнитных методов контроля. – М.: Машиностроение, 1975. – 40 с.
3. Себко В.П. Проходной датчик для измерения электромагнитных характеристик проводящих объектов. – Сб. Вестник Харьковского политехнического института «Автоматика и приборостроение». – Вища школа – Харьков. – 1982. Вып. 8. – №188, – с. 24–28.

4. Себко В.П., Бондаренко В.И., Тюпа В.И. К расчету переменного магнитного потока в проводящем объекте. – Сб. Вестник Харьковского политехнического института «Автоматика и приборостроение». Вища школа. – Харьков. – 1980, – №168, вып. 7. – с. 8–10.
5. Себко В.П., Сиренко Н.Н., Голоцван С.Б., Лямпарт Е. Многопараметровые методы испытания изделий. – В сб.:IV Всесоюзное совещание по теоретической метрологии. – Ленинград. – 1989. – с. 43–44.
6. Себко В.П., Горкунов Б.М., Ду Хиан Янг. К расчету ожидаемых значений компонентов сигналов многопараметрового электромагнитного преобразователя // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – Харьков: – 2002. – Вып. 9. – с. 115–118.
7. Сомхиева О.С. К измерению радиуса и электропроводности изделий электромагнитным методом // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: – 1998. – Вып. 17. – с. 123–125.
8. Во Хоай Тхань. Трехпараметровый трансформаторный электромагнитный преобразователь // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: – 1999. – Вып. 37. – с. 64–66.
9. Себко В.В. Контроль четырех параметров ферромагнитных изделий на одной частоте зондирующего продольного магнитного поля ТВД // Електротехніка і електромеханіка. – Харків: – 2007. – № 1. – с. 34–36.
10. Ковашевич И.П. Ферромагнитный цилиндр в проходном вихретоковом преобразователе. Численное решение обратной задачи // Дефектоскопия. – 1984. – № 9. – с. 8–12.

Надійшла 02.03.2009