

АВТОМАТИЗАЦІЯ

УДК 620.179.14

М.А. Яцун¹, А.М. Яцун²

¹Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕМА;

²Львівський національний аграрний університет,
кафедра електротехнічних систем

СПОЖИВАНА ПОТУЖНІСТЬ І КУТ ЗСУВУ ФАЗ МІЖ НАПРУГОЮ І СТРУМОМ НАКЛАДНОГО КІЛЬЦЕВОГО ЕКРАНОВАНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА НАД ПРОВІДНОЮ ПЛАСТИНОЮ

© Яцун М.А., Яцун А.М., 2013

Досліджені чутливості споживаної потужності і кута зсуву фаз між напругою і струмом у початковий момент часу накладного екранованого кільцевого первинного перетворювача прямокутного поперечного перерізу над провідною пластиною як об'єктом контролю до її магнітної проникності і електричної провідності після вимикання первинного вимірної кола з конденсатором від джерела постійної напруги.

Ключові слова: неруйнівний контроль, накладний кільцевий екранований первинний датчик, магнітна проникність, споживана потужність.

Explored to the sensitiveness of wattage and corner of change of phases between voltage and current in initial moment of time of the superimposed screened circular transducer of rectangular cross-section above a leading plate as control object to its permeance and electric conductivity after the shutdown of primary measurable circle with a condenser from the source of permanent tension.

Key words: nondestructive testing, consignment ring shielded primary sensor, permeability, power consumption.

Постановка проблеми

Дослідження і розроблення засобів неруйнівного електромагнітного контролю геометричних розмірів і фізико-механічних параметрів електропровідних матеріалів, деталей і виробів включають питання чутливості інформативних величин до відповідних розмірів і параметрів. У випадку первинного перетворювача параметричного типу для контролю матеріалів і виробів імпульсним вихрострумивим методом інформативними величинами можуть слугувати споживана потужність і кут зсуву фаз між напругою і струмом після вимикання первинного вимірної кола з конденсатором (рис. 1) від джерела постійної напруги [2], коли виникають у колі власні загасаючі коливання, які періодично повторюються при живленні кола перетворювача імпульсами прямокутної форми. Ці питання (особливості) і розглядаються у статті.

Аналіз останніх досліджень

У літературі [1] обґрунтована форма напруги живлення і струму в обмотці збудження вихрострумивого перетворювача, оцінений характер комутації і визначені основні величини первинного вимірної кола для виділення корисної інформації про об'єкт контролю на обмотках

збудження і вимірювання. У літературі [2, 3] отриманий вираз в операторній формі для напруги на обмотці збудження накладного екранованого кільцевого первинного перетворювача прямокутного поперечного перерізу (давача) над провідною пластиною (об'єктом контролю) після вимикання первинного вимірного кола з конденсатором від джерела постійної напруги і досліджені залежності початкової величини та амплітуди, частоти і коефіцієнта загасання перехідної напруги давача від відносної магнітної проникності і питомої електричної провідності.

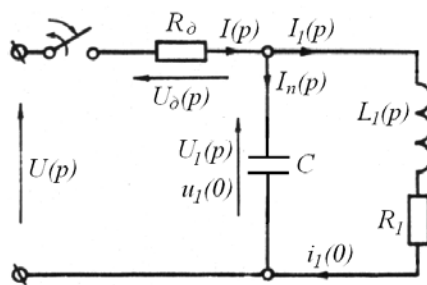


Рис.1. Принципова схема первинного вимірювального кола вихрострумowego перетворювача

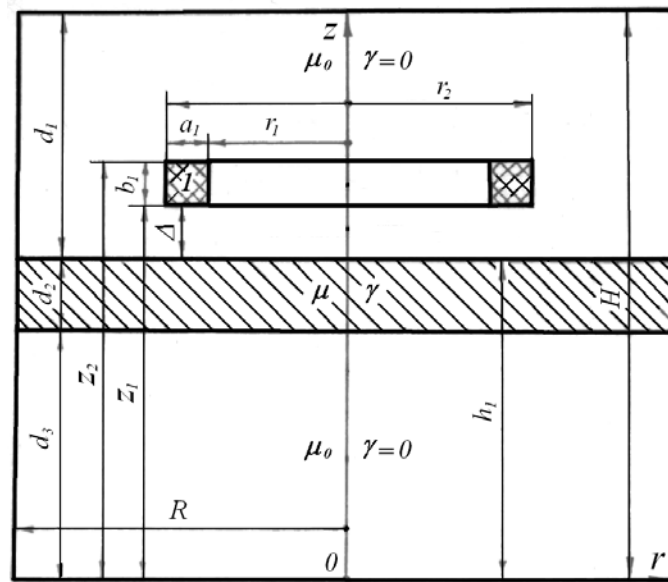


Рис. 2. Розрахункова модель накладного екранованого кільцевого первинного давача над електропровідною пластиною

Виклад основного матеріалу

Потужність, яку споживає обмотка збудження давача, йде на покриття втрат у самій обмотці і в об'єкті контролю (пластині) від вихрових струмів. Кут зсуву фаз між напругою і струмом давача залежить від згаданих втрат і магнітного потоку, зв'язаного з ним, який, своєю чергою, залежить від магнітної проникності і питомої електричної провідності об'єкта контролю. Остання визначає рівень вихрових струмів. Крім того, інтенсивність наведених процесів залежить від розмірів обмотки збудження і об'єкта контролю і відстані між ними.

Із [2] для напруги в формі перетворення за Лапласом (операторною формою) на обмотці збудження накладного екранованого кільцевого первинного перетворювача прямокутного поперечного перерізу над провідною пластиною (рис. 2) і струму в цій обмотці після вимикання первинного вимірного кола з конденсатором від джерела одиничної постійної напруги одержимо вирази:

$$U_1 = -I_1 Z_p + \frac{U_{1p}}{p}; \quad I_1 = \frac{U_{10}}{Z_{1p}}, \quad (1)$$

$$\text{де } Z_p = \frac{1}{pC_1}; \quad U_{1p} = \frac{R_1}{R_d + R_1}; \quad Z_{1p} = Z_1 + Z_p; \quad Z_1 = R_1 + pL_1; \quad L_1 = L_{10} + L_{1B};$$

$$U_{10} = U_{1p}/p + L_{1k} I_{1p}; \quad U_{1p} = R_1/(R_d + R_1) \quad L_{1k} = L_1|_{p=0}; \quad L_1 = L_{10} + L_{1B}; \quad I_{1p} = 1/(R_d + R_1);$$

$$L_{10} = \frac{4\pi\mu_0 W_1^2}{a_1^2 b_1^2} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{S_1^2}{\lambda_i^2 J_0^2(\lambda_i)} \left[b_1 + \frac{Y_{01} \text{ch}(p_1 z_1) - Y_{91} \text{ch}[p_1 (H - z_2)]}{p_1 \text{sh}(p_1 H)} \right];$$

$$L_{1B} = \frac{4\pi\mu_0 W_1^2 R}{a_1^2 b_1^2} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{S_1^2 Y_{01}^2 Y_1}{\lambda_i^3 J_0^2(\lambda_i) Y \text{sh}(p_1 H)}; \quad S_1 = \int_{r_1}^{r_2} J_1(p_1 r) r dr;$$

$$Y = \text{th}(p_2 d_2) \left[p_2^2 \text{sh}(p_1 d_1) \text{sh}(p_1 d_3) + \mu_r^2 p_1^2 \text{ch}(p_1 d_1) \text{ch}(p_1 d_3) \right] + \mu_r p_1 p_2 \text{sh}[p_1 (d_1 + d_3)];$$

$$Y_1 = \text{th}(p_2 d_2) \left[p_2^2 \text{sh}[p_1 (d_2 + d_3)] \text{sh}(p_1 d_3) - \mu_r^2 p_1^2 \text{ch}(p_1 d_3) \text{ch}[p_1 (d_2 + d_3)] \right] + \mu_r p_1 p_2 \text{sh}(p_1 d_2);$$

$$Y_{01} = \text{ch}[p_1 (H - z_2)] - \text{ch}[p_1 (H - z_1)]; \quad Y_{91} = \text{ch}(p_1 z_2) - \text{ch}(p_1 z_1);$$

$\mu = \mu_r \mu_0$; $p_1 = \lambda_i / R$; $p_2 = \sqrt{p_1^2 + p \mu \gamma}$; J_0 – функція Бесселя першого роду нульового порядку; J_1 – функція Бесселя першого роду першого порядку; λ_i – корені рівняння $J_1(\lambda) = 0$.

На рис. 2 і в поданих виразах прийняті такі позначення: μ_0 – магнітна стала; μ_r і γ – відносна магнітна проникність і питома електрична провідність пластини товщиною d_2 ; d_1 і d_3 – товщина шару повітря над і під пластиною; r_1 і r_2 – внутрішній і зовнішній радіус обмотки збудження; a_1 і b_1 – ширина і висота обмотки збудження; z_1 і z_2 – нижня і верхня ординати обмотки збудження; W_1 – кількість витків обмотки збудження; R і H – радіус і висота екрана.

Наближення зображень за Лапласом (1) виразами

$$U_1(p) = \frac{C_u (p + q_u)}{(p + \delta)^2 + \omega^2} \quad \text{і} \quad I_1(p) = \frac{C_i (p + q_i)}{(p + \delta)^2 + \omega^2} \quad (2)$$

і перехід від них до перехідних величин (загасаючих коливань) напруги і струму в обмотці збудження

$$u_1(t) = U_{1m} e^{-\delta t} \sin(\omega t + \psi_u) \quad \text{і} \quad i_1(t) = I_{1m} e^{-\delta t} \sin(\omega t + \psi_i) \quad (3)$$

виконані за методом, запропонованим у літературі [4],

де

$$U_{1m} = C_u \sqrt{(q_u - \delta)^2 + \omega^2} / \omega; \quad \psi_u = \text{ath}[\omega / (q_u - \delta)];$$

$$I_{1m} = C_i \sqrt{(q_i - \delta)^2 + \omega^2} / \omega; \quad \psi_i = \text{ath}[\omega / (q_i - \delta)];$$

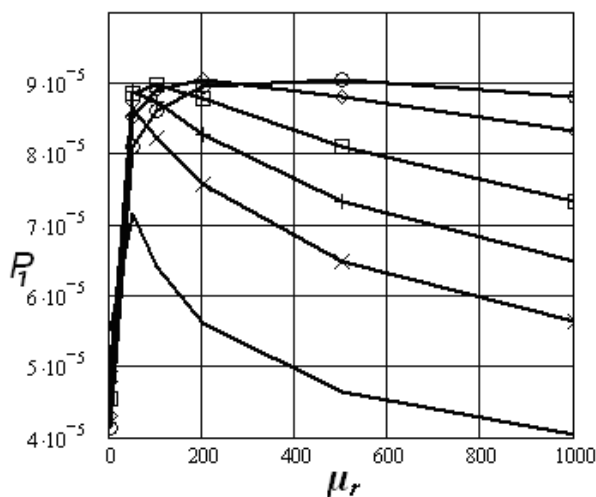


Рис. 1. Залежність споживаної потужності давача у початковий момент часу від відносної магнітної проникності при різних значеннях питомої електричної провідності γ (МСм/м):

— - 10^5 ; $\times\times\times$ - 10^6 ; $+++$ - $5 \cdot 10^6$;
 $\square\square\square$ - 10^7 ; \diamond - $2 \cdot 10^7$; $\circ\circ\circ$ - 10^8

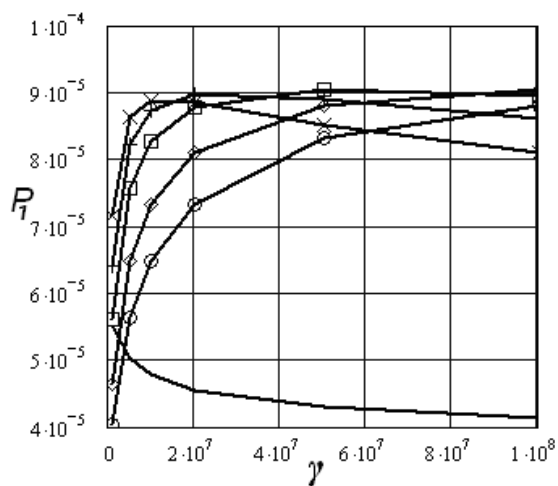


Рис. 2. Залежність споживаної потужності давача у початковий момент часу від питомої електричної провідності при різних значеннях відносної магнітної проникності μ_r :

— - 1; $\times\times\times$ - 5; $+++$ - 20;
 $\square\square\square$ - 50; \diamond - 100; $\circ\circ\circ$ - 1000

На рис. 1 – 4 наведені результати розрахунків у програмному середовищі MathCAD залежностей споживаної потужності $P_1 = U_{1m}I_{1m}\cos(\psi_u - \psi_i)/2$ і кута зсуву фаз (у радіанах) між напругою і струмом $\varphi = (\psi_u - \psi_i)$ у початковий момент часу накладного екранованого кільцевого первинного перетворювача прямокутного поперечного перерізу над провідною пластиною від її магнітної проникності і електричної провідності. Ці розрахунки виконані для таких значень параметрів і геометричних розмірів (розміри подані в м): $W_1 = 1000$; $R = 0.1$; $H = 0.1$; $d_1 = 0.05$; $d_2 = d = 0.01$; $d_3 = 0.04$; $r_1 = 0.015$; $r_2 = 0.025$; $a_1 = b_1 = 0.01$; $z_1 = 0.055$; $z_2 = 0.065$. Параметри елементів первинного вимірного кола (рис. 1): $R_1 = 100$ Ом; $R_d = 1000$ Ом; $C_1 = 10^{-8}$ Ф. Прийнято також, що вимірне коло живиться періодичними імпульсами напруги прямокутної форми величиною в 1 В.

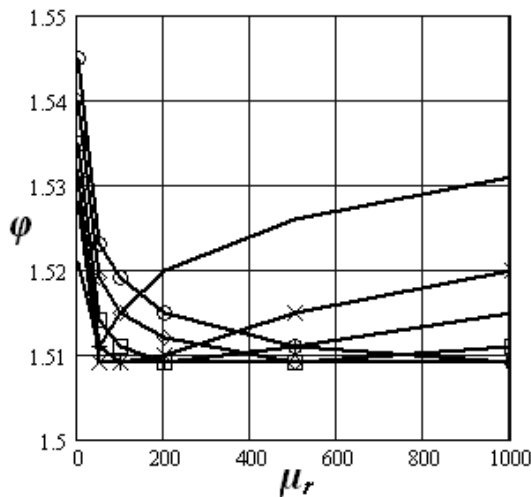


Рис. 3. Залежність кута зсуву фаз (у радіанах) між напругою і струмом давача у початковий момент часу від відносної магнітної проникності при різних значеннях питомої електричної провідності γ (МСм/м):

— - 10^5 ; $\times\times\times$ - 10^6 ; $+++$ - $5 \cdot 10^6$;
 $\square\square\square$ - 10^7 ; \diamond - $2 \cdot 10^7$; $\circ\circ\circ$ - 10^8

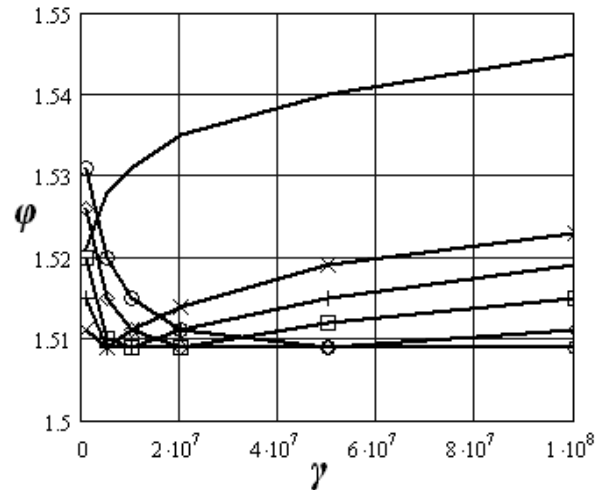


Рис. 4. Залежність кута зсуву фаз (у радіанах) між напругою і струмом давача у початковий момент часу від питомої електричної провідності при різних значеннях відносної магнітної проникності μ_r :

— - 1; $\times\times\times$ - 5; $+++$ - 20;
 $\square\square\square$ - 50; \diamond - 100; $\circ\circ\circ$ - 1000

Висновки

Із результатів розрахунків, наведених на рис. 1 і 2, можна зробити висновок, що залежності споживаної потужності і кута зсуву фаз (у радіанах) між напругою і струмом давача у початковий момент часу від відносної магнітної проникності і питомої електричної провідності не є однозначними і монотонними на всьому наведеному діапазоні зміни параметрів (μ_r і γ) і мають перегини при певних значеннях цих параметрів. Тому споживана потужність може слугувати інформативним параметром щодо магнітної проникності тільки в діапазоні відносно великих значень ($\mu_r \geq 200$) і середніх значень електричної провідності ($\gamma = 10^5 \div 10^7$ МСм/м) об'єкта контролю, причому зі збільшенням магнітної проникності потужність падає, а зі збільшенням електричної провідності – зростає.

Залежності кута зсуву фаз між напругою і струмом давача у початковий момент часу від відносної магнітної проникності і питомої електричної провідності змінюються у вузьких межах і є однозначними і монотонними в таких межах: $\mu_r \geq 400$ і $\gamma \leq 5 \cdot 10^6$; $\mu_r \leq 50$ і $\gamma \geq 4 \cdot 10^7$ МСм/м, що видно із рис. 3 і 4.

1. Яцун М., Яцун А. Виділення інформації вихрострумowego перетворювача на елементах первинного вимірювального кола у перехідному режимі // Теоретична електротехніка. 2005. Вип. 58. – С. 183–188. 2. Яцун М.А., Яцун А.М. Чутливість характеристик власних загасаючих коливань перехідної напруги накладного вихрострумowego перетворювача над об'єктом контролю у формі

пластини до її магнітної проникності і електричної провідності // Вісн. Нац. Ун-ту “Львівська політехніка”. 2008 . № 615 . – С. 176–181. 3. Яцун М.А., Яцун А.М. Чутливість інформативних величин до фізичних параметрів об’єкта при контролі імпульсним вихрострумовим методом // Збірник тез доповідей П’ятої Міжнар. наук.-техн. конф. і виставки “Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазо-промислового обладнання”. – Івано-Франківськ, 2–5 грудня 2008 р. – С. 133–135. 4. Яцун М.А., Яцун А.М., Шуплат О.І. Наближена числова реалізація зворотного перетворення Лапласа загасаючих коливань у разі неруйнівного контролю імпульсним вихрострумовим методом // Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”. 2010. № 671 . – С. 140–146.

УДК 536.532

В.В. Фединець

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

ДОСЛІДЖЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕРМОПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ГАЗОВИХ ПОТОКІВ

© Фединець В.В., 2013

Досліджено метрологічні характеристики чутливих елементів термоперетворювачів для вимірювання температури газових потоків в умовах впливу технологічних і експлуатаційних чинників.

Ключові слова: термоперетворювачі, чутливі елементи, метрологічні характеристики, технологічні та експлуатаційні чинники.

In the article research of metrology descriptions of pickoffs of receivers of temperature is conducted for measuring of temperature of gas streams in the conditions of influence of technological and operating factors.

Вступ

Термоперетворювачі (ТП) для вимірювання температури газових потоків експлуатуються в умовах одночасного впливу температур, хімічної агресивності і швидкості досліджуваного газового потоку, вібрацій, механічних ударів, резонансних частот тощо. Вплив експлуатаційних факторів призводить до накопичення в конструктивних матеріалах і чутливих елементах ТП мікронапружень, які викликають зміни як метрологічних так і механічних (міцнісних) характеристик.

На стабільність метрологічних характеристик впливають і технологічні фактори, що виникають під час виготовлення чутливих елементів і ТП. Процес виготовлення пов’язаний з виконанням операцій намотування, старіння, зварювання, визначення статичних характеристик та іншими операціями, в яких здійснюється нагрівання чутливих елементів, їх деформування як в холодному, так і в гарячому стані.

Така сукупність технологічних операцій в процесі виготовлення і умови експлуатації ТП не дають можливості здійснити попередню оцінку зміни метрологічних характеристик, тобто встановити термін експлуатації, з досягненням якого необхідна метрологічна перевірка і встановлення нових значень метрологічних характеристик.