

**КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРІВ ВТОРИННОЇ МАГНІТНОЇ РІДИНИ ПРИ
РЕАЛІЗАЦІЇ ТРИПАРАМЕТРОВОГО КОНТАКТНОГО
ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО МЕТОДУ**

Себко В.В.,

*Доктор технических наук, профессор
Национального Технического Университета "ХПИ"
Украина г. Харьков*

Бабенко В.Н.,

*Кандидат технических наук, ассистент
Национального Технического Университета "ХПИ"
Украина г. Харьков*

Мананкова В.Л.

*Студент
Национального Технического Университета "ХПИ"
Украина г. Харьков*

**CONTROL OF PARAMETERS OF THE SECONDARY MAGNETIC
FLUID IN THE IMPLEMENTATION OF THE THREE-PARAMETER
CONTACT ELECTROMAGNETIC METHOD.**

Sebko V.

*Doctor of Technical Sciences, Professor
National Technical University "HTU"
Kharkiv Ukraine*

Babenko V.

*Ph.D., assistant
National Technical University "HTU"
Kharkiv Ukraine*

Manankova V.

*Student, National Technical University "HTU"
Kharkiv Ukraine*

Аннотация

Исследован контактный электромагнитный трёхпараметровый метод совместного измерительного контроля относительной магнитной проницаемости $\mu_{ртж}$, удельного электрического сопротивления $\rho_{тж}$ и температуры $t_{ж}$ образца контролируемой магнитной жидкости, использующий поперечное магнитное поле.

Abstract

The contact electromagnetic three-parameter method of joint measuring control of the relative magnetic permeability $\mu_{ртж}$, electrical resistivity $\rho_{тж}$ and temperature $t_{ж}$ of the sample of controlled magnetic fluid using a transverse magnetic field is investigated.

Ключевые слова: магнитная проницаемость, магнитное поле, методика расчетов параметров ТКЕП, машинное масло, содержание частиц металлического порошка, образец, износ деталей, температура, универсальные функции преобразования.

Keywords: magnetic permeability, magnetic field, method of calculating the parameters of ТКЕП, engine oil, the content of metal powder particles, sample, wear parts, temperature, universal conversion functions.

Визначення фізико-механічних характеристик мастил необхідно для прийняття рішення стосовно відбракування охолоджувальних рідин, наприклад, в машинному мастилi може з'являтися великий відсотковий вміст часток металевого порошку, а це у свою чергу, призводить до раннього зносу деталей механізмів, що підлягають тертю на виробництві. Якщо, наприклад, такий порошок потрапляє в підшипники або в інші деталі що піддаються тертю, це може викликати відмову, а іноді і повільне руйнування механічного пристрою. Саме тому якщо узяти пробу забрудненого мастила, наприклад, з картера електродвигуна або з іншого охолоджувального пристрою, а потім визначити електромагнітні параметри досліджуваної проби відносно магнітну проникність μ_{rp} , питомий електричний опір ρ_p і температуру t_p зразка, можна судити про технічний стан охолоджувальної рідини. У зв'язку з цим, виникає необхідність у дослідженні електромагнітних та температурних параметрів контрольованих рідинних середовищ, оскільки за кількістю домішок на практиці можна відбраковувати охолоджуючу рідину. При цьому, охолоджувальна рідина може нагріватися (у даному випадку тепло передається від об'єктів, які піддаються тертю) до температур 60 – 100°C. Таким чином, представляє важливий інтерес сумісний вимірювальний контроль температури досліджуваної рідини, щоб дізнатися при якій температурі ми визначаємо, наприклад, питомий електричний опір ρ_p , оскільки в даному випадку, збільшення температури охолоджувальної рідини по сигналах ТКЕП, можна ідентифікувати з ростом числа часток усередині рідини (від усіх деталей, що труться, тепло передається рідині і в наслідок часткам металевого порошку) [1-6].

Спочатку розглянемо методику розрахунків параметрів ТКЕП стосовно дисперсного феромагнітного порошку, який знаходиться у машинному мастилi. Параметри скляної трубки в якій знаходиться досліджувана рідина і параметри самої охолоджувальної рідини: радіус скляної трубки $a_c = 10 \cdot 10^{-3}$ м, радіус рідини $a_p = 9 \cdot 10^{-3}$ м, довжина трубки $l = 0,5$ м, відносна магнітна проникність рідини $\mu_{rp} = 55$, питомий електричний опір рідини $\rho_p = 3,4 \cdot 10^{-4}$ Ом·м. При дослідженнях повздовж зразка рідини пропускають постійний і змінний двохчастотний струм, а потім знаходять опір рідини постійному струму R_p , за формулою [1]

$$R_{p_0} = \rho_p \frac{l_p}{S_p} = 3,4 \cdot 10^{-4} \frac{0,5}{\pi \cdot 9^2 \cdot 10^{-6}} = 0,688 \text{ Ом} \quad (1)$$

де l_p - довжина зразка рідини, S_p - площа поперечного перерізу [1]

$$S_p = \pi a_p^2 \quad (2)$$

$$S_p = \pi(9 \cdot 10^{-3})^2 = 2,54 \cdot 10^{-4} \text{ (м}^2\text{)}$$

Для проведення досліджень застосовують відому схему включення ТКЕП, яка наведена у роботі [2]. В даному конкретному випадку, необхідно застосувати скляну трубку (радіус 10 мм і довжина 0,5 м), при цьому в трубці розміщується рідина, що є машинним мастилом з дисперсним металевим магнітним порошком. По торцах скляної трубки підведено електроди, задля проходження електричного струму, який поступає з генератора. Таким чином, скляна трубка разом зі зразком машинного мастила, яке зондується магнітним полем двох частот – у даному випадку і являється тепловим ТКЕП. Оскільки струм створює своє магнітне поле, то феромагнітні частки порошку притягуються одна до одної утворюючи монолітну структуру стрижня, при цьому досліджувана імітація стрижня необхідна для визначення електромагнітних характеристик рідини [5, 6].

Під час проведення досліджень необхідно вибрати значення узагальненого параметра x_1 і x_2 для першої і другої частоти струму, який проходить повздовж зразка мастила. Після цього, скориставшись табличними залежностями $R_n = f(x)$ і $L_{in} = f(x)$ [1], при x_1 маємо значення нормованого електричного опору R_{n1} і індуктивності L_{in1} ТКЕП для першої частоти f_1 , при значенні x_2 що відповідає частоті f_2 теплового ТКЕП, маємо відповідно значення R_{n2} і L_{in2} машинного мастила з дисперсним феромагнітним порошком.

Таким чином, при $x_{1ж} = 3,10$, маємо $R_{n1ж} = 1,35135274$, $L_{in1ж} = 0,82959427$, а при $x_{2ж} = 4,2$, маємо $R_{n2ж} = 1,75270190$, $L_{in2ж} = 0,65663243$ [1]. Тепер необхідно розрахувати значення частот теплового ТКЕП з досліджуваним зразком машинного мастила, тобто значення f_1 і f_2 теплового ТКЕП, при x_1 і x_2 [1-3].

$$f_1 = \frac{x_{1p}^2 \rho_p}{2\pi a_p^2 \mu_0 \mu_r} = \frac{3,1^2 \cdot 3,5 \cdot 10^{-4}}{2\pi \cdot 9^2 \cdot 10^{-6} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 55} = 95621 \text{ Гц};$$

$$f_2 = \frac{x_{2p}^2 \rho_p}{2\pi a_p^2 \mu_0 \mu_r} = \frac{4,2^2 \cdot 3,5 \cdot 10^{-4}}{2\pi \cdot 9^2 \cdot 10^{-6} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 55} = 175521 \text{ Гц}.$$

Активна частина опору зразка рідині на першій частоті f_1 теплового ТКЕП визначається, з урахуванням робіт [1-4]

$$R_{1p} = R \cdot R_{n1p} = 0,688 \cdot 1,35135274 = 0,93 \text{ Ом}.$$

Аналогічним чином визначимо $R_{2ж} = 1,206$ Ом на частоті f_2 теплового ТКЕП. Визначимо внутрішню індуктивність зразка машинного мастила з дисперсним феромагнітним порошком на першій частоті $L_{i1ж}$, тобто для $x_{1ж}$

$$L_{i1p} = \frac{L_{in1p} \mu_r \mu_0 l_p}{8\pi} = \frac{0,82959 \cdot 55 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,5}{8 \cdot 3,14} = 1,136 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}.$$

Далі необхідно розрахувати внутрішню індуктивність L_{i2p} теплового ТКЕП, для $x_{2p}=4,2$

$$L_{i2p} = \frac{0,6566 \cdot 55 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,5}{8 \cdot \pi} = 0,903 \cdot 10^{-6} \text{ Гн.}$$

Потім знаходять сумарні індуктивності машинного мастила з дисперсним феромагнітним порошком на першій і другій частотах f_1 і f_2 ТКЕП, з урахуванням результатів робіт [1-4]

$$L_{\Sigma 1p} = L_{i1p} + L_e; \quad (3)$$

$$L_{\Sigma 2p} = L_{i2p} + L_e, \quad (4)$$

При цьому, зовнішня індуктивність ТКЕП визначається за формулою [1-4]

$$L_e = \frac{\mu_0 l}{2\pi} \left[\left(\ln \frac{2l}{a_p} - 1 \right) \right]; \quad (5)$$

$$L_e = 0,371 \cdot 10^{-6} \text{ Гн}$$

$$L_{\Sigma 1p} = 1,136 \cdot 10^{-6} + 0,371 \cdot 10^{-6} = 1,507 \cdot 10^{-6} \text{ Гн;}$$

$$L_{\Sigma 2p} = 1,274 \cdot 10^{-6} \text{ Гн.}$$

Таким чином, розглянута методика розрахунків компонентів сигналів ТКЕП з вторинною магнітною рідиною (машинним мастилом з дисперсним феромагнітним порошком). За відомими параметрами досліджуваного зразка рідини визначено чисельні значення електричного опору зразка рідини на постійному і двохчастотному змінному струмі R_{p-} , R_{1p} і R_{2p} , а також внутрішні індуктивності досліджуваної рідини L_{i1p} і L_{i2p} для двох значень x_{1p} і x_{2p} , що відповідають двом значенням частот f_1 і f_2 ТКЕП, також визначено сумарні індуктивності зразка рідини $L_{\Sigma 1p}$ і $L_{\Sigma 2p}$ на цих двох частотах поперечного магнітного поля.

Далі за знайденими сигналами ТКЕП з досліджуваною рідиною, потрібно визначити магнітні, електричні і температурні параметри зразка машинного мастила, а саме відносну магнітну проникність μ_{rp} , питомий електричний опір рідини ρ_{rp} , і температура t_p машинного мастила з дисперсним феромагнітним порошком.

Значення відносної магнітної проникності μ_{rp} необхідно знайти за формулою

$$\begin{aligned} \mu_{rp} &= \frac{(L_{\Sigma 1ж} - L_{\Sigma 2ж}) \cdot 8\pi}{\mu_0 (L_{in1ж} - L_{in2ж}) \cdot l} = \\ &= \frac{(1,507 \cdot 10^{-6} - 1,274 \cdot 10^{-6}) \cdot 8\pi}{4\pi \cdot 10^{-7} (0,82959427 - 0,65663243) \cdot 0,5} = 54,84. \end{aligned}$$

Отримано уточнене значення внутрішньої індуктивності $L_{i1p_{\text{ут}}}$ зразка машинного мастила з дисперсним феромагнітним порошком на першій частоті ТКЕП, з урахуванням знайденого значення μ_{rp} [1-4]

$$L_{i1p_{\text{ут}}} = \frac{L_{in1p} \mu_{rp} \mu_0 l_p}{8\pi} = 0,82959427 \cdot 54,84 \cdot \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,5}{8\pi} = 1,137 \cdot 10^{-6} \text{ Гн.}$$

Далі знаходимо зовнішню уточнену індуктивність L_{e1yT} на першій частоті ТКЕП

$$L_{e1yT} = L_{\Sigma 1p} - L_{i1pyT} = 1,507 \cdot 10^{-6} - 1,137 \cdot 10^{-6} = 0,3696 \cdot 10^{-6} \text{ Гн.}$$

Потім необхідно розрахувати внутрішню уточнену індуктивність зразка машинного мастила з дисперсним феромагнітним порошком на другій частоті L_{i2pyT} [1-4]

$$L_{i2pyT} = \frac{L_{in2p} \mu_{rp} \mu_0 l_p}{8\pi} = 0,65663243 \cdot 54,84 \cdot \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,5}{8\pi} = 0,9002 \cdot 10^{-6} \text{ Гн.}$$

Далі знаходять зовнішню уточнену індуктивність L_{e2yT} на другій частоті ТКЕП

$$L_{e2yT} = L_{\Sigma 2ж} - L_{i2жyT} = 1,274 \cdot 10^{-6} - 0,9002 \cdot 10^{-6} = 0,3738 \cdot 10^{-6} \text{ Гн.}$$

Знаючи a_{1p} і a_{2p} , а також μ_{rp} машинного мастила з дисперсним феромагнітним порошком, знаходять для двох частот магнітного поля ТКЕП питомий електричний опір ρ_{1pr} і ρ_{2pr}

$$\rho_{1pr} = \frac{a^2 \mu_0 \mu_{rt} 2\pi f_1}{x_{1ж}^2} = (9,13 \cdot 10^{-3})^2 \cdot \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2\pi \cdot 54,84 \cdot 95621}{(3,14)^2} = 3,502 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}\cdot\text{м.}$$

Аналогічним чином знаходять опір на частоті f_2 ТКЕП, тобто $\rho_{2жt} = 3,47 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}\cdot\text{м.}$

При цьому формули для визначення температури машинного мастила з дисперсним феромагнітним порошком, при якій здійснюється контроль електромагнітних параметрів, виглядають наступним чином

$$t_1 = \frac{1 + \alpha_p t_H}{\alpha_p} \left[\frac{a_{1p}^2 \mu_0 2\pi f_1 \mu_{rt}}{x_{1p}^2 \rho_H} - 1 \right] + t_H$$

На частоті f_2 ТКЕП формула для визначення температури має наступний вигляд

$$t_2 = \frac{1 + \alpha_p t_H}{\alpha_p} \left[\frac{a_{1p}^2 \mu_0 2\pi f_1 \mu_{rt}}{x_{1p}^2 \rho_H} - 1 \right] + t_H \quad (6)$$

де α_p - температурний коефіцієнт опору контрольованої магнітної рідини, ρ_H - питомий електричний опір магнітної рідини при нормальній температурі [1-4].

Чисельні значення температури зразка контрольованої рідини t_1 на частоті $f_1 = 95621$ Гц теплового ТКЕП знаходимо

$$t_{20^\circ\text{C}} = \frac{1 + 3,5 \cdot 10^{-3} \cdot 20}{3,5 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{3,5 \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot 10^{-4}} - 1 \right) + 20^\circ\text{C} = 20^\circ\text{C};$$

$$t_{60^\circ\text{C}} = 305,714 \left(\frac{3,958 \cdot 10^{-4}}{3,5 \cdot 10^{-4}} - 1 \right) + 20^\circ\text{C} = 305,714 \cdot 0,13086 + 20^\circ\text{C} = 59,807^\circ\text{C}.$$

Розраховані значення температур t_2 магнітної рідини, на частоті $f_2 = 175521$ ТКЕП: $t_{20^\circ\text{C}} = 20^\circ\text{C}$; $t_{60^\circ\text{C}} = 62,994^\circ\text{C}$.

Чисельні значення питомих електричних опорів машинного мастила з дисперсним феромагнітним порошком, при чинних температурах склали відповідно:

$$\rho_{p20^{\circ}\text{C}} = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}\cdot\text{м}; \rho_{p60^{\circ}\text{C}} = 3,958 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}\cdot\text{м}; \rho_{p100^{\circ}\text{C}} = 4,4159 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}\cdot\text{м}.$$

Таким чином, запропоновано контактний електромагнітний трипараметровий метод сумісного вимірювального контролю відносної магнітної проникності μ_{rpt} , питомого електричного опору ρ_p та температури t_p зразка вторинної магнітної рідини.

Список літератури

1. Себко В.П. Индуктивный преобразователь для многопараметровых, бесконтактных измерений – В сб. Локальные автоматизированные системы автоматики и вычислительной техники, Киев: Наукова думка, 1983, с. 103–109.
2. Себко В.В., Гора С.А., Чан Куанг Минь и др. Параметрический преобразователь для определения потерь мощности. – Техническая электродинамика, 1993, №4, с. 75–78.
3. Багмет О.Л., Машнева И.В., Себко В.В., Москаленко И.И. Расчет характеристик электромагнитного преобразователя температуры // Измерительная техника. – Харьков. – 1997. – № 1. – С. 57–60.
4. Себко В.В. Определение электромагнитных параметров проводящих цилиндрических изделий контактным методом с учётом текущей температуры // Український метрологічний журнал. – Харків. – 2006. – Вип. 3. – С. 24-27.
5. Фертман В.Е. Магнитные жидкости. – Минск: Высшая школа. – 1988. – 183 с.
6. Делсинг Й., Линдгрэн П. Технология связи датчиков для создания окружающего интеллекта. "Измерения, контроль, автоматизация". – Москва: Журнал "Датчики и системы". – 2005. – Вып. 12. – С. 63-64.