



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **140586** (13) **U**  
(51) МПК

**G01R 33/12** (2006.01)

**G01K 7/36** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ  
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
УКРАЇНИ

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ**

(21) Номер заявки: <b>u 2019 06833</b>	(72) Винахідник(и): <b>Себко Вадим Вадимович (UA), Ойтугдієва Людмила Вікторівна (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>18.06.2019</b>	(73) Власник(и): <b>НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", вул. Кирпичова, 2, м. Харків-2, 61002 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>10.03.2020</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>10.03.2020, Бюл.№ 5</b>	

**(54) СПОСІБ СУМІСНОГО НЕРУЙНІВНОГО ЧОТИРИПАРАМЕТРОВОГО КОНТРОЛЮ ЗРАЗКА  
ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСТИЛА**

**(57) Реферат:**

Спосіб сумісного неруйнівного контролю геометричних, магнітних, електричних і температурних параметрів зразків охолоджуючих рідин включає металевий порошок та інші металеві включення, передбачає, що подовж зразка рідини, який розміщується у скляній трубці (пробниці) пропускають двочастотний електричний струм, який наводить вихрові струми усередині зразка, котрі створюють власне магнітне поле, яке геометрично додається до зовнішнього магнітного поля та, унаслідок, сумарне магнітне поле двох близьких частот  $f_1$  і  $f_2$  має вплив на напругу поміж кінцями скляної трубки та фазовий кут зсуву поміж струмом та напругою на двох частотах магнітного поля. Скляна пробниця разом зі зразком рідини у даному випадку і є тепловим КВП з подовжнім електричним струмом, оскільки струм створює своє магнітне поле, феромагнітні частинки порошку притягуються у рідині одна до одної, створюючи монолітну структуру стрижня, таким чином це надає можливість визначати на частотах  $f_1$  і  $f_2$  магнітного поля теплового КВП: діаметр  $d_p$ , відносну магнітну проникність  $\mu_{rtp}$ , питому електричну провідність  $\sigma_t$  та температуру  $t$  зразка трансформаторного мастила, саме за чисельними значеннями цих фізико-механічних параметрів приймають рішення стосовно наявності або відсутності металевих включень та подальшому відбракуванні охолоджуючої рідини. За вимірними характеристиками і на основі встановлених залежностей нормованих параметрів теплового КВП зі зразком рідини, який зондується магнітним полем двох близьких частот, здійснюється чотирипараметровий вимірвальний контроль фізико-механічних параметрів зразка трансформаторного мастила на двох частотах магнітного поля.

UA 140586 U



Корисна модель належить до неруйнівного контролю та може бути використана в термометрії, промислової екології і вимірювальній техніці. Відомі засоби вимірювання температури зразків технічних охолоджуючих рідин (трансформаторних мастил з дисперсним феромагнітним порошком та з металевими включеннями) засновано на контактному способі вимірювання температури [1]. Це дилатометричні методи (ртутні та спиртові термометри), термочастотні методи вимірювання температури, термомагнітні методи, термометри електричного опору (напівпровідникові та металеві) і термопари. Вони мають суттєві недоліки стосовно вимірювання температури зразків технічних рідин: це значні похибки вимірювання, які пов'язано з тим, що поміж зі скляною трубкою з рідиною, та чутливим елементом термометра (наприклад резервуаром з ртуттю, дротом терморезистору, злutom термопари) є завжди присутнім шар повітря, зокрема розкид коефіцієнтів опору та температури у функціях перетворення цих температурних приладів становить тільки згідно з нормативними документами 17 % - 20 %, що у свою чергу, призводить до значних похибок вимірювання температури та залежних від неї фізико-механічних параметрів. Також є відомим спосіб [2] безконтактного неруйнівного контролю діаметра  $d$ , питомого електричного опору  $\rho$  та температури  $t$ , який полягає в тому, що контрольований металевий зразок розміщують у трансформаторному електромагнітному перетворювачі (ТЕМП), при цьому збуджуючий магнітний потік створює вихрові струми у середині об'єкта, які в свою чергу, створюють вихрові магнітні потоки, котрі геометрично складаються зі збуджуючими потоками і таким чином, реалізують сумарний магнітний потік  $\Phi$ , що наводить вносиму ЕРС і фазовий кут зсуву поміж цією ж ЕРС та опорною ЕРС у вимірювальній обмотці електромагнітного (вихорострумове) перетворювача, при цьому вихідні сигнали вихорострумове перетворювача пов'язані за допомогою функціональних залежностей з параметрами суцільних циліндричних немагнітних виробів, що контролюються. Відносно рисою даного способу є підвищення вірогідності контролю фізико-механічних параметрів циліндричних немагнітних виробів, оскільки на відміну від попередніх способів значення діаметра  $d$ , питомого електричного опору  $\rho$  і температури  $t$  визначають сумісно. Недоліком даного способу є вузький асортимент досліджуваних циліндричних електропровідних деталей, виробів та конструкцій пов'язаний з відсутністю можливості контролю феромагнітних металевих виробів, а також низька точність вимірів температури, яка обумовлена похибкою пов'язаною з нагріванням об'єктів контролю безпосередньо ТЕМП та вихровими струмами.

Найбільш близьким до заявленого з технічної суті є спосіб [3] вимірювання електромагнітних параметрів та температури на основі контактної вихорострумове перетворювача (КВП), тобто відносної магнітної проникності  $\mu_r$ , питомого електричного опору  $\rho$  і температури  $t$  циліндричних металевих виробів, який полягає в тому, що повздовж циліндричного стрижня пропускають електричний струм  $I$  та вимірюють напругу  $U$  поміж контактами стрижня та фазовий кут зсуву  $\varphi$  поміж струмом та за цією ж напругою, а далі за допомогою прийнятих нормованих параметрів знаходять відносну магнітну проникність  $\mu_r$ , питомий електричний опір  $\rho$  та температуру  $t$  циліндричного стрижня. Недоліками даного способу є наявність контакту з об'єктом контролю, що призводить до суттєвих похибок вимірювань електромагнітних параметрів виробів, а також необхідність компенсації зовнішньої індуктивності  $L_e$ , яку пов'язано з проходженням зовнішнього магнітного потоку  $\Phi_e$ . Все це ускладнює контроль геометричних параметрів феромагнітних стрижнів та зразків технічних охолоджуючих рідин, які містять частинки металевих порошків, оскільки на різних частотах магнітного поля діаметри таких рідин відрізняються за чисельними значеннями й не визначаються діаметрами скляної трубки (стандартної пробниці), в якій розміщується зразок досліджуваної рідини.

Задача корисної моделі - розширення функціональних можливостей способу, стосовно неруйнівного контролю параметрів зразків відпрацьованих трансформаторних мастил (охолоджуючих рідин при наявності у зразку рідини металевих порошків або металевих включень) і підвищення точності виміру та вірогідності контролю діаметра  $d$ , відносної магнітної проникності  $\mu_r$ , питомої електричної провідності  $\sigma$  та температури  $t$  зразка рідини задля рішення питань пов'язаних з подальшим відбраковуванням і утилізацією охолоджуючої рідини. Задача вирішується шляхом пропускання постійного струму та двочастотного змінного струму крізь рідину, яка розміщується у скляній пробниці. Суть цієї реалізації полягає у тому, що пробниця разом зі зразком рідини у даному випадку і є тепловим КВП з повздовжнім електричним струмом, оскільки струм створює своє магнітне поле, феромагнітні частинки порошку притягуються у рідині одна до одної, створюючи монолітну структуру стрижня. За

чисельними значеннями діаметра  $d$ , відносної магнітної проникності  $\mu_r$ , питомої електричної провідності  $\sigma$  та температури  $t$  зразка, приймають рішення стосовно наявності або відсутності металевих включень та подальшому відбракуванню охолоджуючої рідини. Визначення температури має важливе самостійне значення, оскільки збільшення температури охолоджуючої рідини за сигналами теплового пристрою можна помилково ідентифікувати з ростом числа часток усередині рідини (від усіх деталей, що труться, тепло передається рідині та, внаслідок, часткам металевих пороху).

Методика вимірів діаметра  $d$ , відносної магнітної проникності  $\mu_r$ , питомої електричної провідності  $\sigma$  та температури  $t$  зразка рідини, полягає у тому, що спочатку на постійному струмі вимірюють опір  $R_0$  та індуктивність  $L_0$ , далі на двох частотах змінного магнітного поля  $f_1$  і  $f_2$  вимірюють опори  $R_{1t}$  і  $R_{2t}$  та струм  $I$  (який проходить у рідині), потім поміж контактами скляної трубки вимірюють напругу  $U$  та значення фазових кутів зсуву поміж струмом та напругою на двох частотах. Визначають опір стрижня  $R_{нт}$  на частоті  $f_1$

$$R_{нт} = \frac{R_{1t}}{R_0}, \quad (1)$$

де індекс  $t$  - характеризує собою залежність виміряного параметра від температури.

На другій частоті магнітного поля теплового КВП визначають нормований опір  $R_{нт2}$

$$R_{нт2} = \frac{R_{2t}}{R_0}. \quad (2)$$

Знаходять внутрішню індуктивність рідини  $L_{it}$  на частотах  $f_1$  і  $f_2$ , при зондуванні зразка магнітним полем теплового КВП

$$L_{i1t} = \frac{U_{1t}}{I \cdot 2\pi \cdot f_1} \sin \varphi_{1t}, \quad (3)$$

$$L_{i2t} = \frac{U_{2t}}{I \cdot 2\pi \cdot f_2} \sin \varphi_{2t}, \quad (4)$$

де  $L_{i1t}$  і  $L_{i2t}$  - внутрішні індуктивності на першій та другій частотах магнітного поля теплового КВП;  $U_{1t}$  і  $U_{2t}$  та  $\varphi_{1t}$  і  $\varphi_{2t}$  - значення напруг та фазових кутів зсуву КВП на частотах  $f_1$  і  $f_2$ .

Визначають сумарні індуктивності  $L_{\Sigma 1p}$  і  $L_{\Sigma 2p}$  зразка рідини на частотах  $f_1$  і  $f_2$

$$L_{\Sigma 1p} = \frac{R_{1t} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{1t}}{2\pi \cdot f_1}, \quad (5)$$

$$L_{\Sigma 2p} = \frac{R_{2t} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{2t}}{2\pi \cdot f_2}. \quad (6)$$

Знаходять зовнішні індуктивності зразка  $L_{e1}$  і  $L_{e2}$  на першій та другій частотах магнітного поля теплового КВП, за допомогою формул

$$L_{e1} = L_{\Sigma 1p} - L_{i1t}, \quad (7)$$

$$L_{e2} = L_{\Sigma 2p} - L_{i2t}. \quad (8)$$

Діаметри зразка рідини  $d_{1p}$  і  $d_{2p}$  на двох частотах теплового КВП знаходять за формулами

$$d_{1p} = \frac{4I_p}{e \left( 1 + \frac{2 \cdot \pi \cdot L_{e1}}{\mu_0 \cdot I_p} \right)}, \quad (9)$$

$$d_{2p} = \frac{4I_p}{e \left( 1 + \frac{2 \cdot \pi \cdot L_{e2}}{\mu_0 \cdot I_p} \right)}, \quad (10)$$

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

Визначають нормовану внутрішню індуктивність  $L_{i1н}$  та  $L_{i2н}$  на частотах  $f_1$  і  $f_2$  за універсальними функціями перетворення  $L_{i1н} = F(R_{y1t})$  і  $L_{i2н} = F(R_{y2t})$  фіг. 1 а, б (на залежностях позначено експериментальні робочі точки).

Величину відносної магнітної проникності  $\mu_{rtp}$ , визначають за формулою

$$\mu_{rtp} = \frac{(L_{\Sigma 1p} - L_{\Sigma 2p}) \cdot 8 \cdot l}{\mu_0 \cdot (L_{i1H} - L_{i2H}) \cdot I_p} \quad (11)$$

Знаходять узагальнені магнітні параметри  $X_{1t}$  та  $X_{2t}$  на частотах  $f_1$  і  $f_2$ , за універсальними функціями перетворення  $R_{H1t} = F(X_{1t})$  і  $R_{H2t} = F(X_{2t})$  фіг.2 а, б (на залежностях позначено експериментальні робочі точки).

5     Питому електричну провідність  $\sigma_{1t}$  та  $\sigma_{2t}$  зразка трансформаторного мастила, знаходять за формулами

$$\sigma_{1t} = \frac{2 \cdot X_{1t}^2 \cdot L_{i1H} \cdot L_0}{d_{1p}^2 \cdot L_{i1p} \cdot \mu_0 \cdot \pi \cdot f_1}, \quad (12)$$

$$\sigma_{2t} = \frac{2 \cdot X_{2t}^2 \cdot L_{i2H} \cdot L_0}{d_{2p}^2 \cdot L_{i2p} \cdot \mu_0 \cdot \pi \cdot f_2}, \quad (13)$$

де  $L_0$  - індуктивність зразка рідини на постійному струмі (тобто при  $f = 0$ ).

Значення температур  $t_1$  і  $t_2$  в діапазоні від 20 до 100 °С, знаходять

$$t_1 = \frac{\alpha_p \cdot t_n \left( \frac{2 \cdot \sigma_n \cdot X_{1t}^2 \cdot L_{i1H} \cdot L_0}{d_{1t}^2 \cdot \mu_0 \cdot L_{i1t} \cdot \pi \cdot f_1} - 1 \right) + t_n}{\alpha_p}, \quad (14)$$

$$t_2 = \frac{1 + \alpha_p \cdot t_n \left( \frac{2 \cdot \sigma_n \cdot X_{2t}^2 \cdot L_{i2H} \cdot L_0}{d_{2t}^2 \cdot \mu_0 \cdot L_{i2t} \cdot \pi \cdot f_2} - 1 \right) + t_n}{\alpha_p}, \quad (15)$$

де  $\alpha_p$  - температурний коефіцієнт опору (ТКО);  $t_n$  - початкова температура,  $t_n = 20$  °С;  $\sigma_n$  -

10     питома електрична провідність при початковій температурі  $t_n$ .

На фіг. 3 показана схема пристрою, на основі якого здійснюється реалізація чотирипараметрового методу сумісного контролю параметрів зразка трансформаторного мастила з дисперсним феромагнітним порошком. Схема містить тепловий КВП у вигляді послідовно увімкнутого опору  $R$  та індуктивності  $L_{\Sigma}$  (позначений пунктирною лінією), у КВП розміщується зразок рідини 3. При проходженні за рідиною повздовжнього двочастотного струму вимірюють електричні опори  $R_{1t}$  і  $R_{2t}$  та сумарні індуктивності  $L_{\Sigma 1p}$  і  $L_{\Sigma 2p}$ . У суміжне з КВП плече моста увімкнено змінну індуктивність  $L_{\sim}$  та змінний електричний опір  $R_{\sim}$ . Схема також містить електричні опори моста  $R_1$  і  $R_2$ , котрі застосовують для створення умови зрівноваження, яка визначається нуль-індикатором НІ. За допомогою задавального генератора Г встановлюють частоти  $f_1$  і  $f_2$  струму  $I$ , які реєструються частотоміром Ч. По торцях скляної пробниці передбачено контакти, для підведення електричного струму, який надходить з генератора Г. Експериментально доведено, що реалізація чотирипараметрового методу контролю фізико-механічних параметрів зразків трансформаторного мастила підвищує точність вимірювань та вірогідність контролю на 20-25 % у порівнянні з відомими методами.

25     Джерела інформації:

1. Долинский А.А., Грищенко Т.Г. Теплофизические приборы и ТТФ НАН Украины для контроля и учета тепловой энергии //А.А. Долинский, Т.Г. Грищенко. - Промислова теплотехніка. - К., 2001. - № 3. - С. 120-127.

30     2. Себко В.В. Безконтактний модифікований спосіб контролю параметрів немагнітних виробів сумісно з температурою. Патент України на корисну модель № 18632; Заявл. 22.05.2006; Опубл. 15.11.2006; Бюл. - № 11.

3. Себко В.В. Спосіб сумісного неруйнівного контролю електромагнітних параметрів і температури циліндричних виробів. Патент України на корисну модель № 14958; Заявл. 04.10.2005; Опубл. 15.06.2006; Бюл. - № 6.

35

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб сумісного неруйнівного контролю геометричних, магнітних, електричних і температурних параметрів зразків охолоджуючих рідин, що включає металевий порошок та інші металеві включення, передбачає, що повздовж зразка рідини, який розміщується у скляній трубці (пробниці) пропускають двочастотний електричний струм, який наводить вихрові струми усередині зразка, котрі створюють власне магнітне поле, яке геометрично додається до зовнішнього магнітного поля та, унаслідок, сумарне магнітне поле двох близьких частот  $f_1$  і  $f_2$  має вплив на напругу поміж кінцями скляної трубки та фазовий кут зсуву поміж струмом та напругою на двох частотах магнітного поля, скляна пробниця разом зі зразком рідини у даному випадку і є тепловим КВП з подовжнім електричним струмом, оскільки струм створює своє магнітне поле, феромагнітні частинки порошку притягуються у рідині одна до одної, створюючи монолітну структуру стрижня, таким чином це надає можливість визначати на частотах  $f_1$  і  $f_2$  магнітного поля теплового КВП: діаметр  $d_p$ , відносну магнітну проникність  $\mu_{rtp}$ , питому електричну провідність  $\sigma_t$  та температуру  $t$  зразка трансформаторного мастила, саме за чисельними значеннями цих фізико-механічних параметрів приймають рішення стосовно наявності або відсутності металевих включень та подальшому відбраковуванні охолоджуючої рідини, за вимірними характеристиками і на основі встановлених залежностей нормованих параметрів теплового КВП зі зразком рідини, який зондується магнітним полем двох близьких частот, здійснюється чотирипараметровий вимірний контроль фізико-механічних параметрів зразка трансформаторного мастила на двох частотах магнітного поля за формулами

$$e^{\left(\frac{4I_p}{1 + \frac{2 \cdot \pi \cdot L_{e2}}{\mu_0 \cdot l_p}}\right)},$$

$$d_{2p} = \frac{4I_p}{e^{\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot L_{e2}}{\mu_0 \cdot l_p}\right)}},$$

$$\mu_{rtp} = \frac{(L_{\Sigma 1p} - L_{\Sigma 2p}) \cdot 8\pi}{\mu_0 \cdot (L_{i1H} - L_{i2H}) \cdot l_p},$$

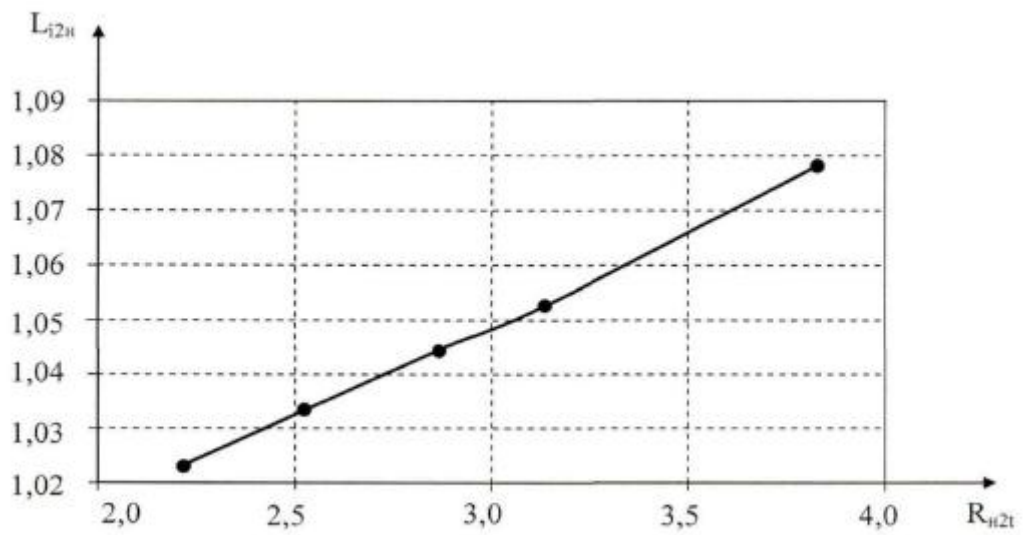
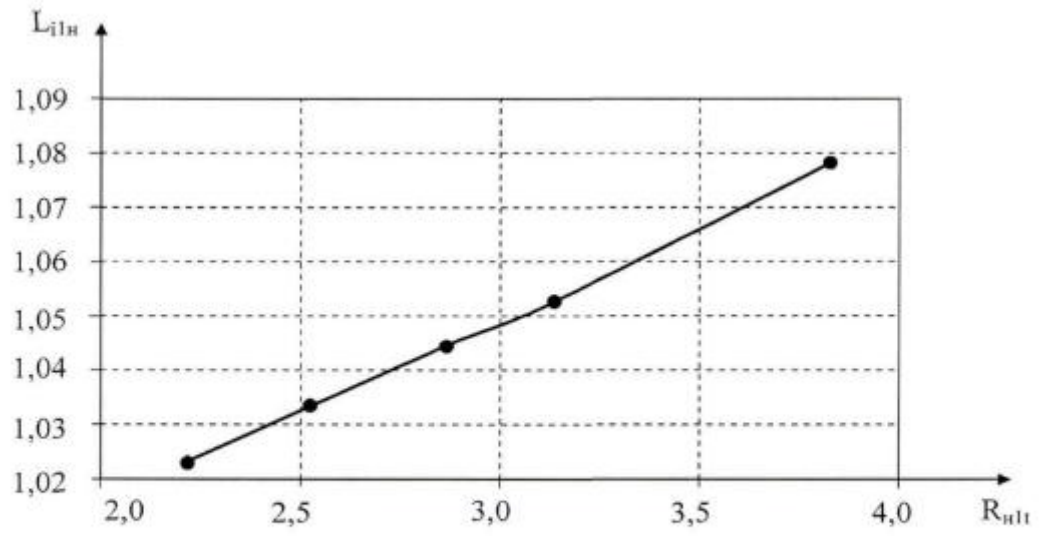
$$\sigma_{1t} = \frac{2 \cdot X_{1t}^2 \cdot L_{i1H} \cdot L_0}{d_{1p}^2 \cdot L_{i1p} \cdot \mu_0 \cdot \pi \cdot f_1},$$

$$\sigma_{2t} = \frac{2 \cdot X_{2t}^2 \cdot L_{i2H} \cdot L_0}{d_{2p}^2 \cdot L_{i2p} \cdot \mu_0 \cdot \pi \cdot f_2},$$

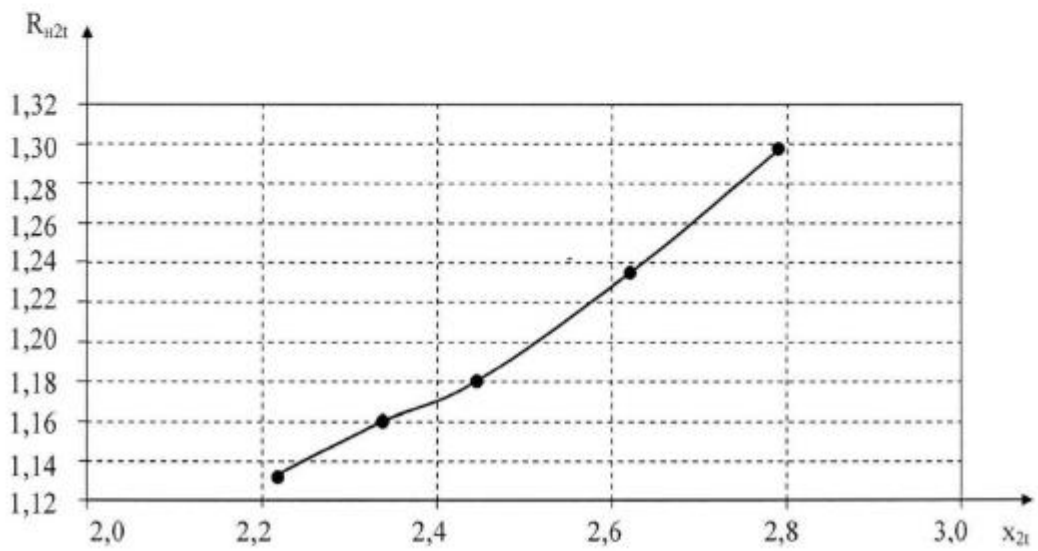
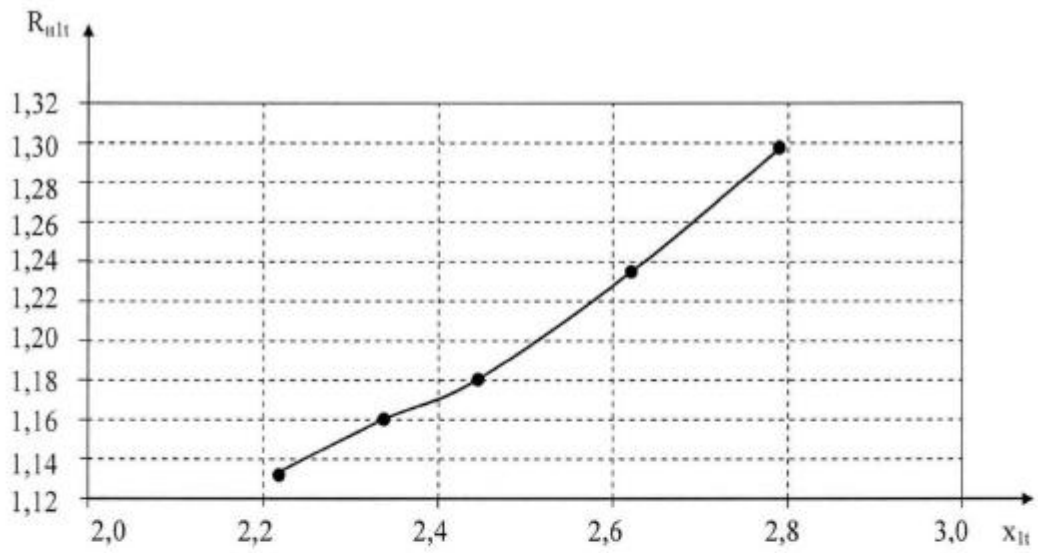
$$t_1 = \frac{1 + \alpha_p \cdot t_n}{\alpha_p} \left( \frac{2 \cdot \sigma_p \cdot X_{1t}^2 \cdot L_{i1H} \cdot L_0}{d_{1t}^2 \cdot \mu_0 L_{i1t} \cdot \pi \cdot f_1} - 1 \right) + t_n,$$

$$t_2 = \frac{1 + \alpha_p \cdot t_n}{\alpha_p} \left( \frac{2 \cdot \sigma_p \cdot X_{2t}^2 \cdot L_{i2H} \cdot L_0}{d_{2t}^2 \cdot \mu_0 L_{i2t} \cdot \pi \cdot f_2} - 1 \right) + t_n,$$

де  $d_{1p}$  і  $d_{2p}$  - діаметри рідини на двох частотах теплового КВП;  $l_p$  - довжина рідини, яка дорівнює довжині теплового КВП;  $L_{e1}$  і  $L_{e2}$  - зовнішні індуктивності на частотах  $f_1$  і  $f_2$ ;  $\mu_0$  - магнітна стала,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м;  $\mu_{rtp}$  - відносна магнітна проникність, індекс  $t$  - характеризує собою залежність виміряного параметра від температури;  $L_{\Sigma 1p}$  і  $L_{\Sigma 2p}$  - сумарні індуктивності зразка рідини на частотах  $f_1$  і  $f_2$ ;  $L_{i1H}$  - нормована внутрішня індуктивність на частоті  $f_1$ ;  $L_{i2H}$  - нормована внутрішня індуктивність на частоті  $f_2$ ;  $X_{1t}$  і  $X_{2t}$  - узагальнені магнітні параметри на частотах  $f_1$  і  $f_2$ ;  $L_0$  - індуктивність зразка рідини на постійному струмі;  $L_{i1t}$  і  $L_{i2t}$  - внутрішні індуктивності на частотах  $f_1$  і  $f_2$  теплового КВП;  $t_1$  і  $t_2$  - значення температур відповідно на частотах  $f_1$  і  $f_2$ ;  $\alpha_p$  - температурний коефіцієнт опору (ТКО);  $t_n$  - початкова температура,  $t_n = 20$  °C;  $\sigma_p$  - питома електрична провідність при початковій температурі  $t_n$ .

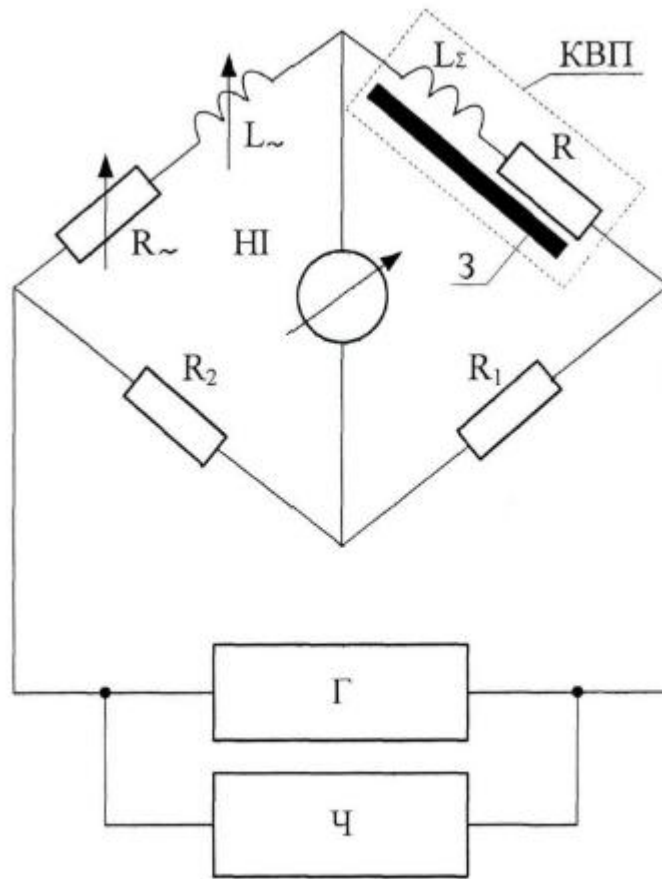


Фиг. 1 а, б



Фиг. 2 а, б





Фиг. 3

---

Комп'ютерна верстка Л. Литвиненко

---

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,  
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

---

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601