



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **104022** (13) **C2**
(51) МПК (2013.01)
G01R 27/02 (2006.01)
G01N 27/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2011 13590	(72) Винахідник(и): Шоповалов Юрій Іванович (UA)
(22) Дата подання заявки: 18.11.2011	(73) Власник(и): МОРСЬКИЙ ГІДРОФІЗИЧНИЙ ІНСТИТУТ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, вул. Капітанська, 2, м. Севастополь, 99000, Україна (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.12.2013	(74) Представник: Фоміна Ганна Георгіївна, зав. відділом інтелектуальної власності МГІ НАН України
(41) Публікація відомостей про заяву: 10.04.2013, Бюл.№ 7	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: SU 1337821 A1, 15.09.1987 SU 1599744 A1, 15.10.1990 RU 2365909 C2, 27.08.2009 SU 1374144 A1, 15.02.1988 US 3963979 A, 15.06.1976 US 7110895 B2, 19.09.2006 US 2011/0140716 A1, 16.06.2011
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.12.2013, Бюл.№ 24	

(54) КОНДУКТОМЕТР**(57) Реферат:**

Винахід належить до техніки вимірювань відносної електричної провідності і солоності рідин (наприклад морської води) і може бути використаний в метрології як зразкові засоби, а також для вимірювання активних провідностей і опорів. Технічний результат - підвищення точності вимірювання і розширення функціональних можливостей кондуктометра. Додатковий технічний результат - можливість прецизійного вимірювання активних провідностей і опорів. Кондуктометр містить генератор (1) змінної напруги, вихід якого підключений до опорного входу перетворювача (2) код-напруга і до трансформаторного диференціального кондуктометричного перетворювача (3). Трансформаторний перетворювач містить три трансформатори (4, 5, 6), два елементи зв'язку (8, 11). Він також містить дротяні обмотки зв'язку (9, 12), клемники (14, 15), синхронний детектор (17), блок керування (18). Перший вивід першої обмотки (13) третього трансформатора (6) сполучений з входом вибірного підсилювача (16), вихід якого сполучений з керуючим входом синхронного детектора (17), вихід якого сполучений послідовно з блоком керування (18), мікроконтролером (19) і пристроєм цифрової індикації (20). Другі виводи перших обмоток всіх трьох трансформаторів сполучені із загальною шиною пристрою.

UA 104022 C2

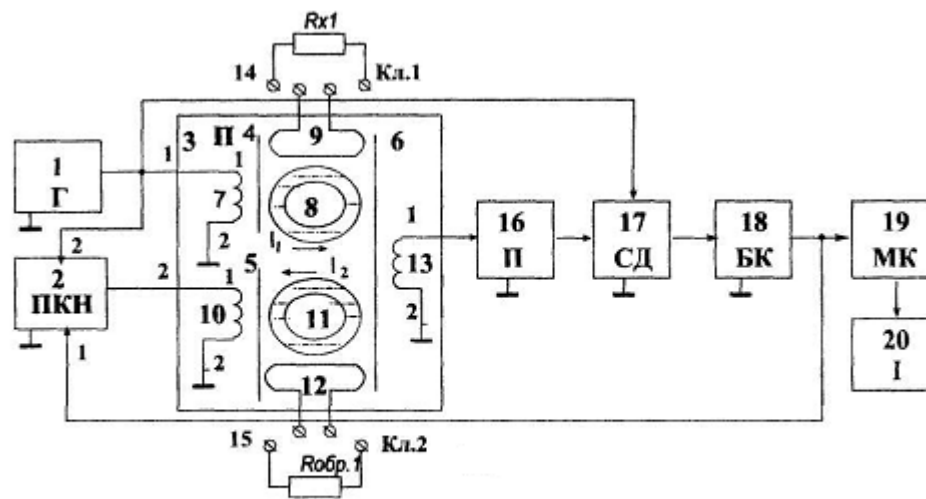


Fig. 1

Винахід належить до техніки вимірювань відносної електричної провідності і солоності рідин (наприклад морської води) і може бути використаний в метрології як зразкові засоби, а також для вимірювання активних провідностей і опорів.

Відомий солемір [1], який містить генератор змінної напруги, вихід якого сполучений через аналоговий перемикач з трансформаторним кондуктометричним перетворювачем. Перетворювач складається з першого, другого і третього трансформаторів, першого елемента зв'язку, усередині якого є порожнина для заповнення досліджуваною або зразковою рідиною, охоплюючого перший і третій трансформатори, і другого елемента зв'язку, для заповнення досліджуваною рідиною, охоплюючого другий і третій трансформатори. Пристрій містить перетворювач код-напруга і струм, який сполучений з першим виводом обмотки другого трансформатора. Перший вивід третього трансформатора сполучений з підсилювачем, який послідовно сполучений з синхронним детектором і блоком індикації. Вихід генератора змінної напруги сполучений з опорним входом синхронного детектора, з опорним входом перетворювача код-напруга і струм і з першим виводом обмотки першого трансформатора кондуктометричного перетворювача. Виходи однієї з обмоток кожного трансформатора сполучені із загальною шиною. Другий вивід третього трансформатора сполучений з виводом резистора, другий вивід якого сполучений з другим виходом аналогового перемикача.

Схожими з суттєвими ознаками заявленого винаходу є такі ознаки даного аналога: генератор змінної напруги, який підключений до одного з входів кондуктометричного перетворювача на базі трьох трансформаторів і двох елементів зв'язку, при цьому одна з обмоток кожного трансформатора підключена до загальної шини, перетворювач код-напруга і струм, підключений до генератора і до одного з входів кондуктометричного перетворювача, підсилювач, сполучений з виходом кондуктометричного перетворювача і з входом синхронного детектора, який підключений до перетворювача код-напруга і струм і пов'язаний з пристроєм індикації.

Цей аналог певною мірою підвищує точність вимірювання, проте його недоліком є внесення додаткової погрішності аналогового перемикача і погрішності вимірювання температури за допомогою рідинного витка зв'язку із зразковою водою. Сольмір не дозволяє здійснювати оцінку лінійності характеристики перетворення у всьому діапазоні вимірювання відносної електричної провідності (ВЕР) і солоності.

Найближчим до винаходу по сукупності суттєвих ознак є кондуктометр [2], вибраний як прототип. Він містить генератор змінної напруги, підключений до одного з входів трансформаторного кондуктометричного перетворювача. Перетворювач складається з першого, другого і третього трансформаторів, першого елемента зв'язку, що охоплює сердечники першого і третього трансформаторів, і другого елемента зв'язку, що охоплює сердечники другого і третього трансформаторів. Пристрій містить підключений до одного з виводів обмотки третього трансформатора підсилювач, послідовно сполучений з синхронним детектором, блоком керування і пристроєм цифрової індикації. До складу пристрою входить перетворювач код-напруга, опорний вхід якого підключений до одного з виходів генератора, керуючий вхід якого підключений до виходу блока керування і входу пристрою цифрової індикації, а вихід - до входу масштабного підсилювача, вихід якого підключений до однієї з обмоток другого трансформатора. При цьому вихід генератора підключений до однієї з обмоток першого трансформатора. Інший вихід генератора сполучений з опорним входом синхронного детектора. Виводи однієї з обмоток кожного з трансформаторів кондуктометричного перетворювача сполучені із загальною шиною пристрою.

Схожими суттєвими ознаками прототипу і заявленого технічного рішення є: генератор змінної напруги, вихід якого підключений до опорного входу перетворювача код-напруга і до трансформаторного диференціального кондуктометричного перетворювача, який містить перший, другий і третій трансформатори, перший елемент зв'язку, що охоплює сердечники першого і третього трансформаторів, і другий елемент зв'язку, охоплюючий сердечники другого і третього трансформаторів, при цьому перший вивід першої обмотки першого трансформатора сполучений з виходом генератора змінної напруги, опорним входом синхронного детектора і опорним входом перетворювача код-напруга, вихід якого пов'язаний з першим виводом першої обмотки другого трансформатора, а керуючий вхід якого сполучений з виходом блока керування, перший вивід першої обмотки третього трансформатора сполучений з входом виборчого підсилювача, вихід якого сполучений з керуючим входом синхронного детектора, вихід якого сполучений з входом блока керування, вихід якого пов'язаний з пристроєм цифрової індикації, при цьому другі виводи перших обмоток всіх трьох трансформаторів сполучені із загальною шиною пристрою.

Сумарна погрішність $\Delta_{\text{сум}}$ вимірювання відносної електричної провідності прототипу визначається сумою погрішностей перетворювача код-напруга $\Delta_{\text{пкн}}$ масштабного підсилювача $\Delta_{\text{пс}}$ і геометричних постійних рідинних витків зв'язку зразкової води Δ_3 і проби $\Delta_{\text{п}}$, що вимірюється:

$$\Delta_{\text{сум}} = \Delta_{\text{пкн}} + \Delta_{\text{пс}} + \Delta_3 + \Delta_{\text{п}}. \quad (1)$$

Калібрування такого кондуктометра виконують в двох точках по дистилюючій воді і по зразковій, стандартній (IAPSO STANDARD SEEWATER) воді, що випускається тільки за кордоном. (Перевірку лінійності характеристики перетворення кондуктометра можна проводити в окремих точках по зразкових водах різної відносної електричної провідності і солоності, які виготовляють за кордоном по окремому замовленню. За наслідками визначення нелінійності, для підвищення точності вимірювань, особливо при прецизійних вимірюваннях, вносять відповідні поправки на нелінійність). Такий спосіб є дорогим (одна ампула стандартної води коштує 150 \$ США) і не дозволяє повною мірою визначати нелінійність характеристики перетворення у всьому діапазоні вимірювання. Недоліком прототипу є те, що він не забезпечує необхідної точності у всьому діапазоні вимірювання відносної електричної провідності і вимагає значних експлуатаційних витрат.

Вилучення масштабного підсилювача і введення мікроконтролера, що дозволяє виконувати масштабування в цифровому вигляді, виключає погрішність масштабного підсилювача.

Окрім цього, введення додаткових двох дротяних обмоток зв'язку, одна з яких - між першим і третім трансформаторами, а інша - між другим і третім трансформаторами, дає можливість визначати і контролювати нелінійність перетворення кондуктометра у всьому діапазоні вимірювання, що дозволяє підвищити точність вимірювання і, додатково, проводити вимірювання з високою точністю активних провідностей і опорів.

Суть винаходу пояснюється за допомогою креслень, на яких зображено: фіг. 1 - функціональна схема пристрою; фіг. 2 - схема трансформаторного кондуктометричного перетворювача.

Кондуктометр містить генератор 1 змінної напруги, вихід якого підключений до опорного входу перетворювача 2 код-напруга (ПКН) і до першого входу трансформаторного диференціального кондуктометричного перетворювача 3, до другого входу якого підключений перетворювач ПКН.

Трансформаторний кондуктометричний перетворювач 3 включає перший 4, другий 5 і третій 6 трансформатори. Перший трансформатор 4 (Т1) має першу обмотку 7, до першого виводу якої підключений вихід генератора 1, другу обмотку 8 і третю обмотку 9. Другий трансформатор 5 (Т2) має першу обмотку 10, до першого виводу якої підключений вихід перетворювача 2 код-напруга, другу обмотку 11 і третю обмотку 12. Третій трансформатор 6 (Т3) має першу (вихідну) обмотку 13, перший вивід якої є виходом трансформаторного перетворювача 3, і другу, третю, четверту і п'яту обмотки, які одночасно є, відповідно, другою і третьою (8 і 9) обмотками першого трансформатора 4 і другою і третьою (11 і 12) обмотками другого трансформатора 5. Тобто, обмотки зв'язку 8 і 9 охоплюють перший 4 і третій 6 трансформатори, а обмотки зв'язку 11 і 12 охоплюють другий 5 і третій 6 трансформатори. Другі виводи першої обмотки кожного з трансформаторів 4-6 сполучені із загальною шиною пристрою.

Обмотки 8 і 11 є рідинними витками зв'язку, виконаними з скляних (кварцових) комірок, які схемно представлені на фіг. 2. При цьому комірка 11 заповнена зразковою рідиною (морською водою), а комірка 8 - пробою, що вимірюється. Обидві комірки 8, 11 з трансформаторами 4-6 поміщаються в місткість, заповнювану силіконовим маслом з метою вирівнювання температур обох комірок.

Обмотка зв'язку 9 своїми виводами підключена до клемника 14 (Кл.1), а обмотка зв'язку 12 - до клемника 15 (Кл.2). До клемників 14, 15 підключають резистори, магазини опорів з метою перевірки лінійності характеристики перетворення кондуктометра і використання кондуктометра в режимі вимірювань активних опорів або провідностей.

Перший вивід першої обмотки 13 третього трансформатора 6 підключений до входу виборчого підсилювача 16, який послідовно сполучений з керуючим входом синхронного детектора 17, блоком керування 18, мікроконтролером 19 і пристроєм цифрової індикації 20.

Вихід блока керування 18 і вхід мікроконтролера 19 сполучені з першим (керуючим) входом перетворювача код-напруга 2, другий (опорний) вхід якого сполучений з виходом генератора 1, з першим виводом першої обмотки 7 першого трансформатора 4 і опорним входом синхронного детектора 17. Передбачено необхідне заземлення елементів пристрою.

Робота кондуктометра при вимірюванні відносної електричної провідності відбувається таким чином.

Трансформаторний диференціальний кондуктометричний перетворювач 3 в даному випадку є трансформаторним врівноважуючим мостом змінного струму, в якому одне плече моста утворено першим трансформатором 4 і провідністю рідинного витка зв'язку 8, а друге плече - другим трансформатором 5 і провідністю рідинного витка зв'язку 11. Третій трансформатор 6 є компаратором струмів. В спрощеній формі, без урахування комплексності елементів моста, рівняння перетворення такого трансформаторного кондуктометричного перетворювача матиме наступний вигляд.

Так, у витку зв'язку 8 під дією напруги $U_{он}$ генератора 1 протікає струм I_1 рівний (з урахуванням того, що кількість витків обмотки витка зв'язку 8 рівно один):

$$I_1 = \frac{U_{он}}{W_1 \times R_{в.п}}, \quad (2)$$

де: W_1 - число витків першої обмотки 7 першого трансформатора 4;

$R_{в.п}$ - опір рідинного витка зв'язку 8 проби, що вимірюється.

У витку зв'язку 11 під дією напруги з виходу ПКН 2 протікає компенсуючий струм I_2 , рівний

$$I_2 = \frac{U_{он} \times K_{пкн}}{W_2 \times R_{в.зр}}, \quad (3)$$

де: $K_{пкн}$ - коефіцієнт передачі перетворювача код-напруга 2;

W_2 - число витків першої обмотки 10 другого трансформатора 5;

$R_{в.зр}$ - опір рідинного витка зв'язку 11 зразкової води.

На вихідній обмотці 13 третього трансформатора 6, що є компаратором струму, одержуємо різницю струмів I_1 і I_2 , яка на обмотці 13 перетворюється в напругу, яка потім посилюється у виборчому підсилювачі 16 до величини, що забезпечує нормальну роботу синхронного детектора 17 і блока керування 18. В синхронному детекторі 17 здійснюється виділення активної складової сигналу і перетворення в напругу $\pm U_{дет}$, яка сигналізує, по зміні полярності вихідного сигналу в процесі вимірювання, про стан урівноваження трансформаторного моста.

Блок керування 18 призначений для виробітку алгоритму урівноваження трансформаторного моста і формування по вихідному сигналу з синхронного детектора 17 цифрового еквівалента (коду) параметра, що вимірюється.

В процесі вимірювання код послідовно змінюється по заданому, блоком керування 16, алгоритму урівноваження, наприклад, порозрядного урівноваження, який надходить на ПКН 2, на виході якого формується напруга компенсації. Послідовним підбором напруг компенсації, формованого на виході ПКН, досягають рівності струмів її и I_2 , тим самим врівноважуючи трансформаторний міст:

$$I_1 - I_2 = 0. \quad (4)$$

Підставляємо (2), (3) в (4) і одержуємо наступне рівняння перетворення трансформаторного моста:

$$\frac{R_{в.зр}}{R_{в.п}} = K_{пкн} \times \frac{W_1}{W_2}. \quad (5)$$

В свою чергу, опори $R_{в.п.}$ і $R_{в.зр}$ рідинних витків зв'язку пов'язані з питомою електричною провідністю (ПЕП) рідинних витків, відповідно, 8 і 11, наступними виразами:

$$R_{в.п.} = \frac{1}{C_n \times A_n}, \quad (6)$$

де C_n - ПЭП проби, що вимірюється, при температурі t_n ;

A_n - коефіцієнт перетворення (геометричний коефіцієнт форми) рідинного витка зв'язку (комірки) з пробой, що вимірюється;

$$R_{в.зр} = \frac{1}{C_{зр} \times A_{зр}}, \quad (7)$$

де $C_{зр}$ - ПЭП зразкової води при температурі t_0 ;

$A_{зр}$ - коефіцієнт перетворення (геометричний коефіцієнт форми) рідинного витка зв'язку (комірки) із зразковою водою.

Для забезпечення рівності температур, з метою виключення температурної погрішності проби і зразкової води ($t_i = t_n = t_{зр}$), що вимірюється, трансформаторний кондуктометричний

перетворювач 3 поміщують (фіг. 2) в місткість 21, заповнену маслом, із забезпеченням ретельного перемішування масла.

Коефіцієнт передачі ПКН, як відомо, змінюється в процесі вимірювання від 0 до 1 і рівний

$$K_{\text{пкн}} = \frac{N_{\text{Ri}}}{N_{\text{max}}} \quad (8)$$

де N_{Ri} , N_{max} - відповідно поточне і максимальне значення десяткового коду ПКН. Наприклад, для 17-ти розрядного двійкового коду ПКН $N_{\text{m}} = (2^{17} - 1) = 131071$.

Підставляючи вираз (8) в (7), набуваємо значення ВЕП проби, що вимірюється, прямо пропорційне коду такого аналого-цифрового перетворювача, що працює на змінній напрузі:

$$R_{\text{ti}} = \frac{C_n(S, t, 0)}{C_{\text{зр}}(35, t, 0)} = \frac{N_{\text{Ri}}}{N_{\text{max}}} \times \frac{W_1 \times A_{\text{зр}}}{W_2 \times A_n} \quad (9)$$

Далі код надходить на мікроконтролер 19, де здійснюється його перетворення у фізичну величину. Для забезпечення обчислення цієї фізичної величини спочатку здійснюється операція визначення градуованого коефіцієнта C_{Rt} . Для цього в обидві комірки 8, 11 заливають зразкову воду, тобто, $C_n = C_{\text{зр}}$, і при цьому значення ВЕП приймають рівним один ($R_{\text{ti}} = R_{\text{trf}} = 1$) для отримання в результаті вимірювання

вихідного коду $N_{\text{ri}} = I_{\text{Rtrf}}$. В цьому випадку в мікроконтролері 19 автоматично здійснюється визначення градуовального коефіцієнта C_{Rt} , по якому надалі обчислюється значення ВЕП:

$$C_{\text{Rt}} = \frac{1}{N_{\text{Rtrf}}} = \frac{W_1 \times A_{\text{зр}}}{W_2 \times A_n} \times \frac{A_{\text{mn}}}{N_{\text{max}}} \quad (10)$$

де A_{mn} - мікропроцесорний коефіцієнт, що враховує різні геометричні коефіцієнти форми рідинних витків зв'язку.

По певному коефіцієнту C_{Rt} і визначається фізична величина ВЕП:

$$R_{\text{ti}} = N_{\text{Ri}} \times C_{\text{Rt}} \quad (11)$$

Приведене вище справедливо при ідеальній лінійній характеристиці вимірювального тракту - лінійності ГЖН 2, трансформаторного диференціального кондуктометричного перетворювача 3. В реальності, особливо для високоточних вимірювань, вимірювальний тракт має диференціальну нелінійність, причому по всій шкалі вимірювання.

Для визначення нелінійності характеристики перетворення використовуються введені обмотки зв'язку 9 і 12. В цьому випадку з рідинних витків зв'язку 8 і 11 зливається рідина, тим самим розриваються ці витки зв'язку. Після цього до витка зв'язку 12 за допомогою клемника 15 підключається прецизійний зразковий опір (наприклад, С5-61, С2-29, спеціально відібрані) величиною, близькою до опору рідинного витка зв'язку 11 (із зразковою рідиною), а до витка зв'язку 9 за допомогою клемника 14 підключається прецизійний магазин опору або (якщо точність магазину опору недостатня) послідовно підключається ряд прецизійних опорів. В цьому режимі робота кондуктометра аналогічна вищеописаній, і характеристика перетворення для електричного опору, відповідно до виразів (5) і (10), матиме наступний вигляд:

$$R_{\text{xi}} = \frac{R_{\text{зр}}}{N_{\text{Ri}} \times C_{\text{Rt}}} \quad (12)$$

де $R_{\text{зр}}$ - зразковий опір;

R_{xi} - опір, що вимірюється.

Виконавши вимірювання магазину опору або прецизійних опорів, визначають різницю між показаннями кондуктометра і фактичним значенням опору:

$$\Delta R_{\text{xi}} = R_{\text{измi}} - R_{\text{факт.i}} \quad (13)$$

Ці відхилення і характеризують відхилення від лінійності характеристики перетворення кондуктометра. Таким чином, знаючи ці відхилення, можна вводити

поправки в показання кондуктометра при проведенні вимірювань ВЕП морської води або апроксимувати характеристику перетворення ВЕП кондуктометра, вираз (11), поліномом відповідного ступеня.

Заявником проведені випробування, які показали, що такий спосіб корекції результатів вимірювань дозволяє підвищити точність вимірювання в три рази.

Для електричної провідності характеристика перетворення матиме вигляд:

$$Y_{\text{xi}} = Y_{\text{обр}} \times N_{\text{Yi}} \times C_{\text{Rt}}$$

Джерела інформації:

1. Авторське свідоцтво СРСР № 1599744, опубліковано 15.10.1990, Бюлетень №38.

2. Авторське свідоцтво СРСР № 1337821, опубліковано 15.09.1987, Бюлетень № 34 - прототип.

ФОРМУЛА ВІНАХОДУ

5

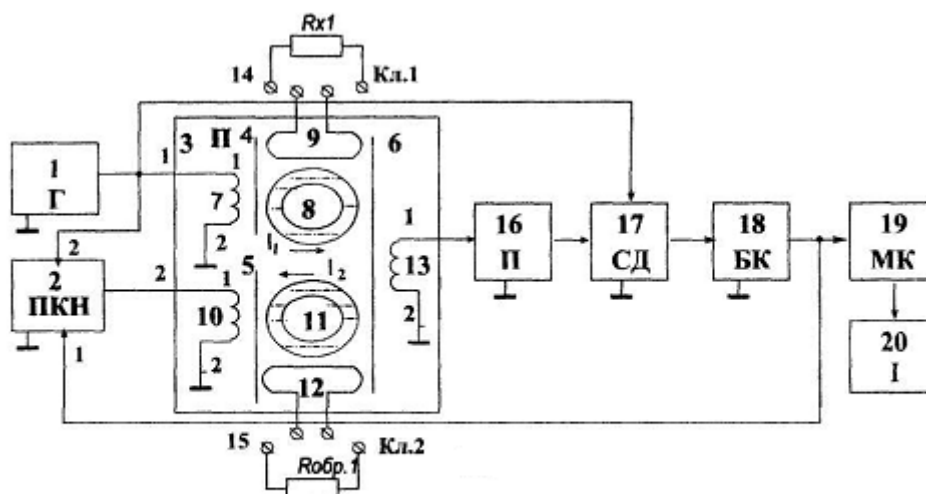
Кондуктометр, який містить генератор (1) змінної напруги, вихід якого підключений до опорного входу перетворювача (2) код-напруга і до трансформаторного диференціального кондуктометричного перетворювача (3), який містить перший (4), другий (5) і третій (6) трансформатори, перший елемент зв'язку (8), що охоплює сердечники першого (4) і третього (6) трансформаторів, і другий елемент зв'язку (11), що охоплює сердечники другого (5) і третього (6) трансформаторів, при цьому перший вивід першої обмотки (7) першого трансформатора (4) сполучений з виходом генератора (1) змінної напруги, опорним входом синхронного детектора (17) і опорним входом перетворювача (2) код-напруга, вихід якого пов'язаний з першим виводом першої обмотки (10) другого трансформатора (5), а керуючий вхід якого сполучений з виходом блоку керування (18), перший вивід першої обмотки (13) третього трансформатора (6) сполучений з входом вибірного підсилювача (16), вихід якого сполучений з керуючим входом синхронного детектора (17), вихід якого сполучений з входом блоку керування (18), при цьому другі виводи перших обмоток всіх трьох трансформаторів сполучені із загальною шиною, і пристрій цифрової індикації (20), який **відрізняється** тим, що трансформаторний перетворювач (3) містить першу дріт'яну обмотку зв'язку (9), між першим (4) і третім (6) трансформаторами, виводи якої приєднані до першого клемника (14), і другу дріт'яну обмотку зв'язку (12), між другим (5) і третім (6) трансформаторами, виводи якої приєднані до другого клемника (15), вихід перетворювача (2) код-напруга безпосередньо сполучений з першим виводом першої обмотки (10) другого трансформатора (5), вихід блоку керування (2) сполучений з входом мікроконтролера (19), вихід якого сполучений з входом пристрою цифрової індикації (20).

10

15

20

25



Фиг. 1

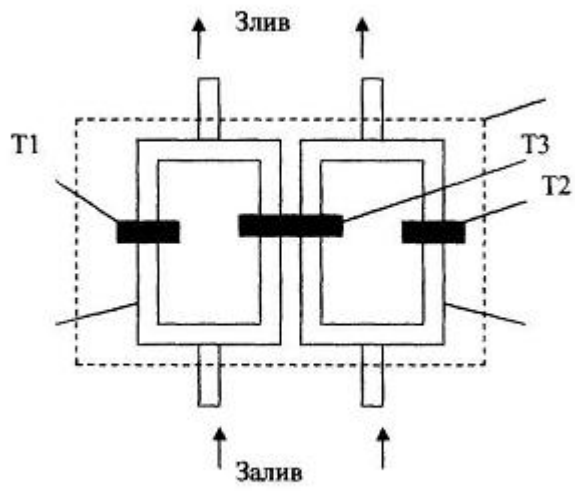


Fig. 2

Комп'ютерна верстка Г. Паяльніков

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

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