



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 54031

(13) A

(51) 7 G01R31/12

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ  
НА ВІНАХІДВидається під  
відповідальність  
власника  
патенту**(54) ПРИСТРІЙ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЙНОГО ПОКРИТТЯ ПІДЗЕМНИХ ТРУБОПРОВОДІВ**

1

2

(21) 2002043353

(22) 23 04 2002

(24) 17 02 2003

(46) 17 02 2003, Бюл. № 2, 2003 р.

(72) Кисіль Ігор Степанович, Ващишак Сергій Петрович, Яворський Андрій Вікторович

(73) ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

(57) 1 Пристрій дистанційного контролю стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів, який складається з чотирьох перетворювачів магнітного поля, попередніх та вибіркового підсилювачів, аналого-цифрового перетворювача та дисплея, який відрізняється тим, що він додатково містить ще один перетворювач магнітного поля з попереднім та вибілковими підсилювачами і филь-

тром, мультиплексор, блок керування, блок приведення амплітуди, суматор, звуковий підсилювач, звуковий індикатор, детектор та цифровий індикатор

2 Пристрій за п 1, який відрізняється тим, що перетворювачі магнітного поля розміщені вертикально один над одним

3 Пристрій за п 1, який відрізняється тим, що п'ятий перетворювач магнітного поля разом з попереднім підсилювачем, вибіркового підсилювачем та інвертором утворюють компенсуючий завади канал

4 Пристрій за п 1, який відрізняється тим, що суматор, звуковий підсилювач та звуковий індикатор утворюють паралельний контрольний канал

Винахід відноситься до галузі технологічних вимірювань і призначений для неруйнівного контролю стану ізоляційного покриття підземних трубопроводів, визначення місця їхнього проходження та глибини залегання шляхом визначення сили струму у трубопроводі

Відомий безконтактний вимірювач постійного струму у підземних трубопроводах (Безконтактний вимірювач постійного струму у підземних трубопроводах Патент України №22025, МКВ G 01 R 19/00, С 23 F 13/00 /Джала Р М., Сенюк О М.), який складається з першого і другого приймачів магнітного поля, індуктивної котушки, кутоміра, блока компенсації, першого та другого підсилювачів, блока збудження, індикатора осі, першого і другого синхронного детекторів, двох фільтрів низьких частот, блока віднімання, трьох блоків перемноження, блока ділення та вихідного індикатора. Для роботи пристрою, як генератор, використовується станція катодного захисту. Вимірювання струму у трубопроводі здійснюється сприймачами магнітного поля після виходу на його вісь

Даний пристрій не забезпечує високої точності вимірювань, оскільки на результати вимірювань

впливає магнітне поле Землі, намагніченість самого трубопроводу, або металевих комунікацій, які розташовані поряд з ним. Крім того, даний пристрій містить доволі громіздку і складну систему обробки результатів вимірювань

Найближчим до винаходу за принципом дії є пристрій для безконтактного виявлення і обстеження прихованих струмопроводів (Пристрій для безконтактного виявлення і обстеження прихованих струмопроводів Патент України №25113, МКВ G 01 R 31/02 /Вакульський О А., Дуб П Б., Мізюк Л Я.), який складається з чотирьох однакових перетворювачів магнітного поля, чотирьох резисторів навантаження, перемикача на два положення, двох попередніх та двох вибіркового підсилювачів, мультиплексора, керованого підсилювача, випростовувача, демультіплексора, блока запам'ятовуваних конденсаторів, аналого-цифрового перетворювача, мікрокомп'ютера та дисплея. З метою компенсації промислових завад у цьому пристрої перетворювачі магнітного поля утворюють дві зміщені вздовж струмопроводу пари рознесених по висоті перетворювачів з паралельними осями чутливості. Це дає змогу компенсувати заваду при

(13) A

(11) 54031

(19) UA

умови певного співвідношення амплітуд сигналів на перетворювачах. Вимірювання струму у трубопроводі здійснюється магніточутливим перетворювачем після орієнтації вимірювальної частини пристрою на вісь трубопроводу.

Даний пристрій має низьке значення відношення сигнал/завада внаслідок використання у вимірювальних колах звичайних перемикачів, які до того ж вносять додатковий шум у корисний сигнал. Наявність у первинних вимірювальних колах постійних резисторів суттєво знижує амплітуду корисного сигналу. Крім того, вибраний метод компенсації завади є низько ефективним у випадку, коли джерелом завади є сам трубопровід, або сусідня з ним металева комунікація. Блок запам'ятовуючих конденсаторів пристрою не дає змоги запам'ятовувати точне значення вимірювального сигналу при умові впливу на ємність конденсаторів зміни температури та напруги живлення. До того ж пристрій має складну систему орієнтації перетворювачів магнітного поля.

В умовах експлуатації підземних трубопроводів такі фактори, як наявність потужних джерел завад, намагнічених металевих комунікацій, працюючих станцій катодного захисту створюють суттєвий негативний вплив на достовірність результатів вимірювань. Це пояснюється тим, що конструкції існуючих пристроїв для безконтактного вимірювання струму у трубопроводі не дають змоги повністю усунути вплив цих негативних факторів.

В основу винаходу покладено завдання створити такий пристрій, у якому нове конструктивне виконання первинних вимірювальних ланок, системи обробки інформації та застосування системи компенсації завади дозволили б вимірювати і запам'ятовувати точне значення змінного струму у трубопроводі, а за його зміною встановлювати місце пошкодження ізоляції трубопроводу, визначати місце його проходження під землею та глибину залягання, зменшити вплив завад на результати вимірювань.

Задача вирішується наступним чином. У відомий пристрій додатково введено ще один перетворювач магнітного поля для компенсації сигналу завади. Кожен з п'яти вимірювальних каналів містить попередній та вибіркового підсилювачі з фільтрами для чіткого виділення корисного сигналу. З метою зменшення габаритів пристрою і підвищення зручності у користуванні усі вимірювальні перетворювачі у пристрої розміщені один над одним методом ешелонування. Суматор пристрою, підсилювач та звуковий індикатор утворюють паралельний контрольний канал для слухового контролю вимірюваних сигналів. Для цифрової обробки та запам'ятовування вимірюваних значень сигналу у пристрій введено мультиплексор, який під'єднаний до блоку керування, блок приведення амплітуди сигналу, аналого-цифровий перетворювач, індикатор, пристрої обробки та запам'ятовування інформації.

Структурна схема пристрою пояснюється кресленням, наведеним на фіг 1. Схематичне зображення просторового розміщення перетворювачів магнітного поля пристрою над трубопроводом наведено на фіг 2.

Пристрій (фіг 1) складається з п'яти перетворювачів магнітного поля 1, 2, 3, 4, 5, п'яти попередніх підсилювачів 6, 7, 8, 9, 10, п'яти вибіркового підсилювачів 11, 12, 13, 14, 15, чотирьох фільтрів 16, 17, 18, 19, інвертора 20, мультиплексора 21, блоку керування 22, блоку приведення амплітуди 23, суматора 24, звукового підсилювача 25, звукового індикатора 26, детектора 27, аналого-цифрового перетворювача 28, цифрового індикатора 29. У відповідності до фіг 2 усі перетворювачі магнітного поля мають вертикальне ешелонне розміщення в корпусі пристрою, тобто закріплені на одній осі. Обмотки перетворювачів 1, 2, 4, 5 розміщені в одній площині, перпендикулярно до неї лежить площина в якій розміщена обмотка перетворювача 3. Перетворювачі магнітного поля 1, 2, 3, 4, разом з попередніми підсилювачами 6, 7, вибіркового підсилювачами 11, 12, 13, 14 і фільтрами 16, 17, 18, 19 утворюють чотири незалежних вимірювальних канали. Перетворювач магнітного поля 5 разом з попереднім підсилювачем 10, вибіркового підсилювачем 15 та інвертором 20 утворює компенсуючий канал. Виходи вимірювальних каналів 1, 2, 3, 4 заводяться на вхід мультиплексора 21, вихід якого разом з виходом компенсуючого каналу 1 з'єднаний з блоком приведення амплітуди 23, виходи якого підключені до входів суматора 24. Виходи суматора відповідно з'єднані з входом детектора 27 і з звуковим підсилювачем 25, вихід якого під'єднаний до звукового індикатора 26. Вихід детектора 27 під'єднаний до аналого-цифрового перетворювача 28, який у свою чергу, з'єднаний з блоком керування 22. Керуючі виходи блоку керування 22 з'єднані з керуючими входами мультиплексора 21 і блоку приведення амплітуди 23, а інформаційний вихід блоку керування з'єднаний з входом цифрового індикатора 29.

Пристрій забезпечує знаходження місця пошкодження ізоляції підземного трубопроводу за допомогою вимірювання глибини його залягання та визначення струму в стінках трубопроводу і працює наступним чином.

До досліджуваного трубопроводу поєднується спеціальний генератор, сигнал з якого зумовлює протікання струму у стінках трубопроводу. Струм І (фіг 2), що протікає в стінках трубопроводу представляє собою амплітудно-модульований сигнал. Несуча частота сигналу з метою усунення впливу завад повинна бути не кратна промисловій частоті 50 Гц. Вона вибирається з діапазону 500 - 1000 Гц і використовується для визначення вісі траси трубопроводу та вимірювання глибини його залягання. Частота сигналу модуляції вибирається з інфранизькочастотного діапазону (8 - 20 Гц). З метою підвищення завадозахищеності і уникнення впливу зовнішніх факторів, що не впливають на стан ізоляційного покриття, визначення сили струму в стінках трубопроводу проводиться для інфранизькочастотної складової сигналу. Струм, що протікає по стінках трубопроводу збуджує електромагнітне поле, силові лінії якого є концентричними колами, що лежать в площині перпендикулярній до осі трубопроводу. Магнітне поле, яке виникає навколо трубопроводу є багатокомпонентним і складається з магнітних полів несучого сигналу, сигналу модуляції і сигналу промислових

завад з частотою 50Гц Перетворювачі магнітного поля 1, 2, 4, 5 розміщені так, що при встановленні осі пристрою перпендикулярно до осі трубопроводу (фіг 2) їх чутливість буде максимальною, а у перетворювача 3 - мінімальною Напряга на виході перетворювача, у цьому випадку, буде пропорційною напруженості магнітного поля, яку він сприймає

Визначення наявності пошкодження ізоляційного покриття трубопроводу вимагає здійснення таких послідовних операцій визначення просторового розміщення осі трубопроводу, вимірювання глибини його залягання і струму, що протікає в стінках трубопроводу

Кожен вимірювальний канал пристрою налаштовується на певну робочу частоту Вимірювальний канал 1 налаштований на частоту сигналу модуляції Сигнал з перетворювача магнітного поля 1, який представляє собою резонансний контур налаштований на робочу частоту, подається на попередній підсилювач 6, де підсилюється до необхідного рівня Після підсилювача 6 сигнал ще раз підсилюється вибіркоким підсилювачем 11, де відбувається виділення сигналу тільки з робочою частотою, після цього сигнал надходить на активний фільтр високої частоти 16, в якому подавляються складові сигналу, які лежать вище частоти зрізу (верхня межа робочого діапазону) Вимірювальні канали 2, 3, 4 використовуються для визначення осі трубопроводу і вимірювання глибини його залягання Робоча частота цих каналів відповідає несучій частоті сигналу, а принцип роботи аналогічний принципу роботи вимірювального каналу 1, тільки замість фільтра високої частоти 16 використовуються фільтри низької частоти 17, 18, 19, які подавляють складові сигналу з частотами, що є нижчими за робочі Це зроблено для того, щоб виділити з сумарного сигналу сигнал з робочою частотою і максимально подавити заваду з промисловою частотою 50Гц

Сигнал на виході вимірювального каналу представляє собою суму сигналів з частотами, що відповідають робочій, але в ньому при наявності потужного джерела завади може бути і гармоніка промислової частоти - 50Гц Для подавлення сигналу завади досліджуваний сигнал після вимірювального каналу сумується в суматорі 24 з сигналом завади, що поступає у протифазі з компенсуючого каналу 1 Компенсуючий канал 1 налаштований на частоту завади 50Гц Сигнал завади, сприйнятий перетворювачем 5 підсилюється підсилювачем 10 і виділяється вибіркоким підсилювачем 15, з виходу якого подається на інвертор 20 Після інвертора 20 сигнал, що знаходиться у протифазі до прийнятого перетворювачем 5 подається на блок приведення амплітуди 23, який використовується для встановлення однакового рівня амплітуд сигналів, оскільки амплітуда сигналу завади у сумарному сигналі після кожного вимірювального каналу є різною Подача сигналу з кожного вимірювального каналу на суматор 24 здійснюється за допомогою мультиплектора 21 Режим роботи мультиплектора задає режим роботи усього пристрою У суматорі 24 відбувається сумування корисного сигналу з протифазним сигналом завади При цьому відбувається повне по-

давлення завади у корисному сигналі З виходу суматора 24 сигнал подається на вхід детектора 27, де відбувається випростовування сигналу, який подається на вхід аналого-цифрового перетворювача 28 Перетворений у цифрову форму сигнал надходить на інформаційний вхід блоку керування 22, який представляє собою мікропроцесорну систему, що дає можливість вводити команди з клавіатури, яка входить у її склад Мікропроцесорна система за отриманими даними вимірювання проводить розрахунки і зберігає в пам'яті отримані результати Блок керування 22, керуючи роботою мультиплектора 21 і блоку приведення амплітуди задає режим роботи пристрою Візуальне відображення результатів вимірювання здійснюється на цифровому індикаторі 29 Крім візуального відображення інформації оператор здійснює оцінку інтенсивності сигналу за допомогою звукового індикатора 26, сигнал на який подається з виходу суматора 24 через звуковий підсилювач 25

Для визначення осі трубопроводу (траси) використовується перетворювач 3, вихідна напруга якого є мінімальною при виході на вісь трубопроводу, якщо розмістити корпус пристрою, як показано на фіг 2 Для визначення напрямку пролягання трубопроводу корпус пристрою повертається на 90°, по відношенню до попередньої позиції Вихід на напрям комунікації здійснюється по мінімуму сигналу на виході перетворювача 3, а орієнтація в просторі корпусу пристрою вказує на напрям пролягання трубопроводу Вихід на вісь траси здійснюється, за мінімальним рівнем сигналу на виході вимірювального каналу 3, значення, якого відображається на цифровому індикаторі 29 і по мінімальній інтенсивності випромінювання звукового індикатора 26

Вимірювання глибини залягання трубопроводу і величини струму в його стінках здійснюється наступним чином Для визначення глибини використовуються вимірювальні канали 2 і 4 Напруженість магнітного поля в точках розташування магнітних перетворювачів 2, 4 при розміщенні пристрою згідно фіг 2 для струму  $I_n$ , який створює в стінках трубопроводу сигнал несучої частоти знаходиться з виразу

$$H_2 = \frac{I_n}{2\pi(h+q+l)} \quad (1)$$

$$H_4 = \frac{I_n}{2\pi(h+q+l+d)} \quad (2)$$

де  $h, q, l, d$  - відстані, які вказані на фіг 2

Вихідна напруга для кожного з цих каналів на виході суматора 24 (після компенсації завади) визначається наступними залежностями

$$U_2 = \frac{k_2 I_n}{2\pi(h+q+l)} \quad (3)$$

$$U_4 = \frac{k_4 I_n}{2\pi(h+q+l+d)} \quad (4)$$

де  $k_2$  і  $k_4$  - коефіцієнти передачі відповідно 2 і 4 вимірювальних каналів Оскільки для виразів (3) і (4) спільним множником є  $I_n$ , то можна отримати наступну рівність

$$\frac{1}{k_2} U_2(h+q+l) = \frac{1}{k_4} U_4(h+q+l+d) \quad (5)$$

При умові, що коефіцієнти передачі вимірювальних каналів є однаковими, тобто  $k_2 = k_4$ , рівність (5) запишеться у виді

$$U_2(h+q+l) = U_4(h+q+l+d) \quad (6)$$

З рівності (6) значення глибини залягання трубопроводу запишеться у вигляді наступної формули (при відомих значеннях  $q, l, d$ )

$$h = \frac{(U_4 - U_2)(q+l) + U_4 d}{U_2 - U_4} \quad (7)$$

Вимірювання струму у стінках трубопроводу здійснюється за допомогою вимірювального каналу 1. При цьому проводиться вимірювання струму  $I_m$ , протікання якого зумовлює сигнал з частотою модуляції. Напруженість магнітного поля в точці розташування магнітного перетворювача 1 буде становити

$$H_1 = \frac{I_m}{2\pi(h+q)} \quad (8)$$

Вихідна напруга для цього вимірювального каналу на виході суматора 24 (після компенсації завади) визначається наступною залежністю

$$U_1 = \frac{k_1 I_m}{2\pi(h+q)} \quad (9)$$

де  $k_1$  - коефіцієнт передачі для вимірювального каналу 1. З виразу (9) значення струму  $I_m$  визначається з виразу

$$I_m = \frac{2\pi}{k_1} U_1(h+q) \quad (10)$$

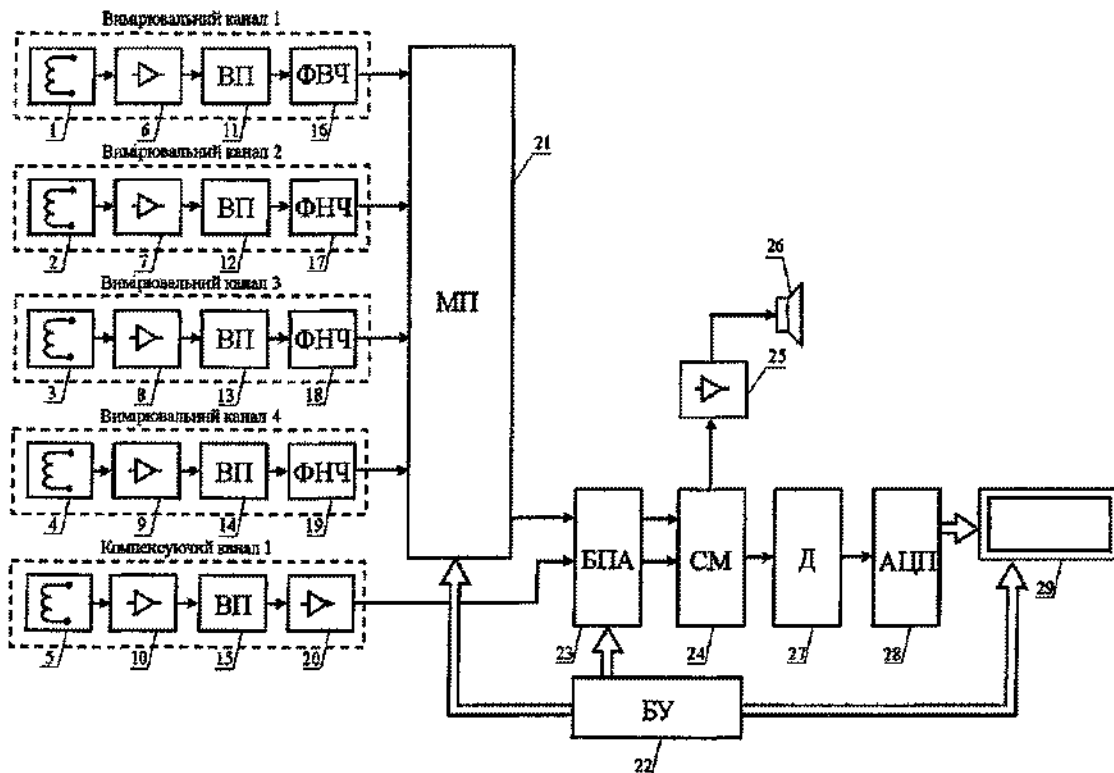
Підставляючи у формулу (10) значення глиби-

ни  $h$  з виразу (7) отримується кінцевий вираз для визначення  $I_m$

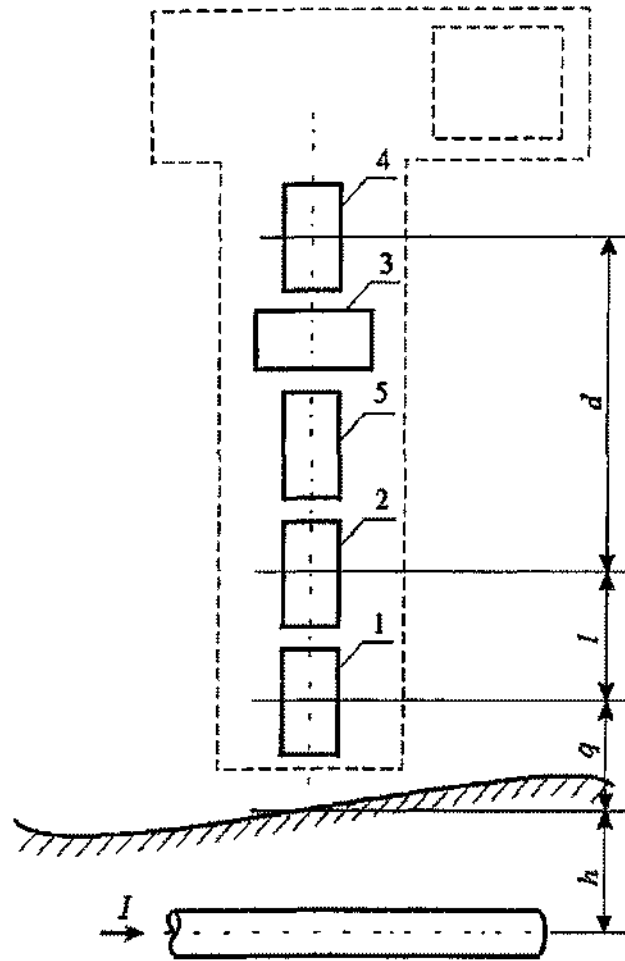
$$I_m = \frac{2\pi}{k_1} U_1 \left( \frac{(U_4 - U_2)(q+l) + U_4 d}{U_2 - U_4} + q \right) \quad (11)$$

Як видно з виразу (11) для визначення струму у стінках трубопроводу потрібно проводити вимірювання на різних частотах, для напруг  $U_2$  і  $U_4$  на несучій частоті, а для напруги  $U_1$  - на частоті модуляції, не змінюючи положення пристрою. Розраховані значення  $I_m$  для кожної точки контролю повинні спадати за експоненціальним законом у місці, де відбулося різке спадання значення  $I_m$  знаходиться пошкодження в ізоляції трубопроводу.

Даний пристрій дозволяє одночасно провести вимірювання глибини залягання і струму у стінках трубопроводу в певній точці над визначеною висотою комунікації на певній заданій висоті  $q$  над нею, оскільки сигнал, що подається в трубопроводі є модульованим і вимірювальні канали є повністю автономними та не вимагають додаткової переорієнтації в просторі магнітних перетворювачів для вимірювання глибини і струму. На цифровий дисплей пристрою виводяться безпосередні значення глибини  $h$  і струму  $I_m$  в певній точці над віссю трубопроводу, які розраховуються мікрокомп'ютером блоку керування 22 на основі вимірних значень ( $U_1, U_2, U_4$  і відомих констант  $k_1, q, l, d$ ). Дані вимірювань вздовж контрольованої ділянки трубопроводу заносяться в пам'ять мікрокомп'ютера блоку керування, на основі яких в подальшому робиться висновок про наявність дефектів ізоляції на проконтрольованій ділянці підземної комунікації.



Фиг.1



Фиг.2