



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **46615** (13) **U**  
(51) МПК (2009)  
G01N 27/90

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

### (54) ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПОШУКУ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ ПРЕДМЕТІВ

1

(21) u200907982

(22) 29.07.2009

(24) 25.12.2009

(46) 25.12.2009, Бюл. № 24, 2009 р.

(72) СКРИПНИК ЮРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ, ШЕВЧЕНКО КОСТЯНТИН ЛЕОНІДОВИЧ, АХОНЧЕНКО ДМИТРО МИКОЛАЙОВИЧ, ГОРКУН ВАЛЕНТИНА ВАСИЛІВНА, ІПАТОВ ВОЛОДИМИР АРКАДІЙОВИЧ

(73) КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

(57) Пристрій для пошуку електропровідних предметів, який містить вихрострумний датчик з вимірювальною та компенсаційними обмотками, розміщеними на П-подібному магнітопроводі, підсилювач з додатним зворотним зв'язком, в ланцюг якого включений конденсатор і вимірювальна обмотка вихрострумного датчика, формувач імпульсів, підключений до виходу підсилювача, комутаційний генератор і реєструючий пристрій, який відрізняється тим, що в нього додатково введені

2

послідовно з'єднані інтегратор, підсилювач частоти комутації, фазочутливий випрямляч і фільтр нижніх частот, два автоматичних ключі, додаткові компенсаційна обмотка та П-подібний магнітопровід та прошарок з діелектрика, розташований між П-подібними магнітопроводами, які примикають один до одного і утворюють П-подібний магнітопровід, при цьому вимірювальна обмотка розміщена на двох паралельно розташованих суміжних частинах П-подібного магнітопроводу, а компенсаційні обмотки розташовані на протилежних його частинах, вхід інтегратора з'єднаний з виходом формувача імпульсів, реєструючий пристрій підключений до виходу фільтра нижніх частот, кінці компенсаційних обмоток з'єднані між собою автоматичними ключами, керуючі входи яких з'єднані з прямим і інверсними виходами комутаційного генератора, а керуючі входи фазочутливого випрямляча підключені до обох виходів комутаційного генератора.

Корисна модель відноситься до області дослідження неоднорідності різних середовищ за допомогою вихрових струмів і може бути використана для знаходження прихованих електропровідних предметів, які знаходяться в діелектричному середовищі (землі, піску, будівельних конструкціях, біологічній тканині).

Для виявлення електропровідних предметів із кольорових і чорних металів використовують вихрострумні датчики, які створюють змінне магнітне поле, що зондує досліджуване середовище. При наявності в діелектричному середовищі металевих предметів, в них збуджуються вихрові струми, які в датчику змінюють електричні параметри обмоток або котушок, збуджуючих магнітні поля. По ступеню зміни індуктивності котушки або її добротності судять про наявність в діелектричній масі деякого електропровідного предмета.

Відомий пристрій для пошуку електропровідних предметів [Авт. свід. СРСР №403127, МПК G 01 N 27/83, 1972р.], що містить вихрострумний датчик у вигляді котушки індуктивності, підключеної до автогенератора, підсилювач-обмежувач,

частотний детектор і реєструючий пристрій, контролюючий зміну частоти автогенератора в залежності від місця положення або маси предмета, що розшукується.

Але автогенераторам властивий температурний та часовий дрейф початкової частоти, що призводить до великої похибки вимірів.

Відомий пристрій для пошуку електропровідних предметів [Авт. свід. СРСР №798574, МПК G01N27/00, 1979р.], що містить автогенератор, вимірювальний та компенсаційний датчики у вигляді котушок індуктивності, розміщених взаємно перпендикулярно на одному П-подібному магнітопроводі, два керованих перемикача, що керуються комутаційним генератором, частотний детектор, два згладжуючих фільтри та реєструючий пристрій. Почергове підключення вимірювального і компенсаційного датчиків до одного автогенератора за допомогою перемикача зменшує вплив його дрейфу нуля на результат вимірювання. Але, по чергове підключення двох згладжуючих фільтрів, включених назустріч на вході реєструючого при-

(13) **U**(11) **46615**(19) **UA**

ладу, не забезпечує високу чутливість до маси предмета, який розшукується.

Відомий пристрій для пошуку електропровідних предметів [Авт. свід. СРСР №940036, МПК G01N27/00, 1982р.], який містить автогенератор, вимірювальний та компенсаційні датчики, виконані у вигляді котушок індуктивності, розміщених на двох U-подібних магнітопроводах, частотний детектор, два амплітудних модулятори, комутаційний генератор, реєструючий пристрій, вимірювально-компенсаційний датчик, включений у часозадаючий ланцюг автогенератора.

Але нестабільність і неідентичність характеристик двох амплітудних детекторів, виконаних на напівпровідникових елементах, є джерелом додаткових похибок, що не забезпечує високу точність вимірювання.

Відомий також пристрій для пошуку електропровідних предметів [Патент України №70232А, МПК G01N27/90, 2004р.], який містить вихрострумний датчик з вимірювальною та компенсаційними обмотками, розміщеними на П-подібному магнітопроводі, підсилювач з додатним зворотнім зв'язком, в ланцюг якого включений конденсатор і вимірювальна обмотка вихрострумного датчика, формувач імпульсів, підключений до виходу підсилювача, комутаційний генератор і реєструючий пристрій. Крім того, пристрій містить двійковий лічильник імпульсів, регістр пам'яті, дешифратор, цифровий індикатор, блок управління і два автоматичних перемикачі, підключених через подільник частоти до блоку управління.

Залежність результатів вимірювання відомим пристроєм обумовлена не тільки масою прихованих металевих предметів, але й наявністю електропровідного фону в досліджуваному середовищі. Особливо сильно впливає вологість діелектричного середовища. Так, у землі або будівельних конструкціях безперечно присутні солі різних речовин. В вологому середовищі вони неминуче дисоціюють на іони, які створюють електропровідний фон, який маскує розшукувані електропровідні предмети.

В основу корисної моделі покладена задача розробити такий пристрій для пошуку електропровідних предметів, в якому введення нових елементів і зв'язків забезпечило б інваріантність результатів пошуку до електропровідного фону, що підвищить достовірність знаходження локально розташованих електропровідних предметів.

Поставлена задача вирішується тим, що в пристрій для пошуку електропровідних предметів, який містить вихрострумний датчик з вимірювальною та компенсаційними обмотками, розміщеними на П-подібному магнітопроводі, підсилювач з додатним зворотнім зв'язком, в ланцюг якого включений конденсатор і вимірювальна обмотка вихрострумного датчика, формувач імпульсів, підключений до виходу підсилювача, комутаційний генератор і реєструючий пристрій, згідно корисної моделі, додатково введені послідовно з'єднані інтегратор, підсилювач частоти комутації, фазочутливий випрямляч і фільтр нижніх частот, два автоматичних ключа, додаткові компенсаційна обмотка та П-подібний магнітопровід та прошарок з

діелектрика, розташований між П-подібними магнітопроводами, які примикають один до одного і утворюють Ш-подібний магнітопровід, при цьому вимірювальна обмотка розміщена на двох паралельно розташованих суміжних частинах Ш-подібного магнітопроводу, а компенсаційні обмотки розташовані на протилежних його частинах, вхід інтегратора з'єднаний з виходом формувача імпульсів, реєструючий пристрій підключений до виходу фільтра нижніх частот, кінці компенсаційних обмоток з'єднані між собою автоматичними ключами, керуючі входи яких з'єднані з прямим і інверсними виходами комутаційного генератора, а керуючі входи фазочутливого випрямляча підключені до обох виходів комутаційного генератора.

Саме введення в схему пристрою для пошуку електропровідних предметів інтегратора, підсилювача частоти комутації, фазочутливого випрямляча і фільтра нижніх частот, з'єднаних послідовно, двох автоматичних ключів, другої компенсаційної обмотки і другого П-подібного магнітопроводу, що примикає до першого П-подібного магнітопроводу і утворюючий з ним складений Ш-подібний магнітопровід, розділений прошарком з діелектрика з великим магнітним опором і високою теплопровідністю, а також розміщення вимірювальної обмотки на двох паралельно розміщених частинах складеного Ш-подібного магнітопроводу, забезпечує формування двох однакових, але просторово розділених магнітних потоків, які зондують сусідні ділянки досліджуваного середовища. Почергове замикання компенсаційних обмоток, розміщених на протилежних частинах, що не доторкуються, складеного Ш-подібного магнітопроводу, автоматичними ключами, котрі управляються протифазними напругами комутаційного генератора, забезпечує почергове зондування сусідніх ділянок досліджуваного середовища. В результаті підсилювачем з вимірювальною обмоткою в ланцюгу додатного зворотного зв'язку почергово, з частотою перемикання компенсаційних обмоток, генеруються пакети коливань з різними частотами, різниця значень яких свідчить про наявність розшукуваного предмета. Одноканальне перетворення частотних сигналів в напругу, виділення і підсилення змінної складової результуючої напруги забезпечує, високу чутливість пристрою до маси розшукуваного предмету при відсутності температурного і часового дрейфу нуля пристрою, що підвищує достовірність знаходження локального розміщення електропровідних предметів.

На кресленні надана електрична функціональна схема пристрою, для пошуку електропровідних предметів.

Пристрій містить вихрострумний датчик 1, який включає 2 П-подібних магнітопровода 2 і 3, що примикають один до одного, та розділені прошарком з діелектрику 4. В результаті створюється складений Ш-подібний магнітопровід, на двох паралельно розміщених суміжних частинах якого розміщена вимірювальна обмотка 5, а на протилежних частинах Ш-подібного магнітопроводу, що не доторкуються, розміщені компенсаційні обмотки 6 та 7. Кінці вимірювальної обмотки 5 з'єднані з конденсатором 8 і утворюють коливальний кон-

тур, який включений в ланцюг зворотного зв'язку підсилювача 9. До виходу підсилювача 9 підключені послідовно з'єднаний формувач імпульсів 10, інтегратор 11, підсилювач частоти комутації 12, фазочутливий випрямляч 13, фільтр 14 нижніх частот і реєстратор 15, комутаційний генератор (мультивібратор) 16, прямим виходом з'єднаний з управляючим входом автоматичного ключа 17, інверсним виходом з'єднаний з управляючим входом автоматичного ключа 18, а обома виходами з'єднаний з управляючими входами фазочутливого випрямляча 13.

Позицією 19 позначене досліджуване діелектричне середовище, а позицією 20-електропровідний предмет, що розшукується.

Пристрій працює наступним чином.

Компенсаційні котушки 6 і 7 мають однакове число витків і замикаються накоротко при спрацюванні автоматичних ключів 17 і 18. Вимірювальна обмотка 5 включена в ланцюг додатного зворотного зв'язку підсилювача 9, збуджується резонансним струмом коливального контуру і утворює рівні магнітні потоки  $\Phi_1$ , та  $\Phi_2$ . При вказаному підключенні автоматичних ключів 17 і 18 к протифазних виходів мультивібратора 16 один з ключів замкнутий, а другий розімкнутий, і навпаки. При замиканні ключа, наприклад, 17, в котушці 6 виникає змінний струм, який практично розмагнічує магнітопровід 2 ( $\Phi_1 \approx 0$ ). В цьому випадку індуктивність  $L_1$  загальної вимірювальної обмотки 5 визначається магнітним потоком  $\Phi_2$  магнітопроводу 3:

$$L_1 = L - \Delta L_1, \quad (1)$$

де  $L$  - індуктивність обмотки датчика при зондуванні ідеального діелектричного середовища;  $\Delta L_1$  - реакція провідного фону досліджуваного середовища.

З урахуванням (1) підсилювач 9 збуджується на резонансній частоті

$$f_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L - \Delta L_1)C}}, \quad (2)$$

де  $C$  - ємність конденсатора 8.

При розмиканні ключа 17 та замиканні ключа 18 розмагнічується магнітопровід 3 ( $\Phi_2 \approx 0$ ). При цьому індуктивність  $L_2$  загальної вимірювальної обмотки 5 буде визначатись тільки магнітним потоком  $\Phi_1$ , в зоні дії якого знаходиться розшукуваний електропровідний предмет 20. Через розмагнічуючу дію вихрових струмів, що наводяться в розшукуваному електропровідному предметі 20, індуктивність  $L_2$  вимірювальної обмотки 5 приймає значення

$$L_2 = L - \Delta L_2 - \delta L, \quad (3)$$

де  $\Delta L_2$  - реакція провідного фону досліджуваного середовища;  $\delta L$  - реакція предмета, що розшукується.

Відповідно виразу (3) підсилювач 9 починає генерувати коливання резонансної частоти

$$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L - \Delta L_1 - \delta L)C}}, \quad (4)$$

При періодичному переключенні ключів 17 і 18 частота автоколивань в підсилювачі 9 також періодично змінюється від значення (2) до значення (4) і навпаки. Частоту  $F$  комутації ключів 17 і 18 вибирають менше резонансної, але кратною частоті автоколивань

$$F = \frac{f_1 + f_2}{2k}, \quad (5)$$

де  $k \geq 10$  - кратність комунікаційного модуляційного перетворення.

При вказаному співвідношенні частот на виході підсилювача 9 генерується почергово пакети

електричних коливань з частотою  $f_1$ , і  $f_2$ . За допомогою формувача імпульсів 10 в кожному пакеті по моментам переходу через нуль кривих напруг формуються однополярні імпульси зі сталою вольт-секундною площею, які заряджають інтегратор 11. Постійна часу інтегратора 11 вибирається менше півперіоду комутаційної напруги генератора 16. Відповідно з (5) постійна часу інтегратора повинна задовольняти умови

$$\tau \leq \frac{2k}{f_1 + f_2}, \quad (6)$$

З урахуванням (6) інтегратор 11 при генерації частоти 2 заряджається до напруги

$$U_1 = k_1 U_0 \Delta t f_1, \quad (7)$$

де  $k_1$  - коефіцієнт передачі інтегратора;

$U_0$  - амплітуда однополярних імпульсів;

$\Delta t$  - тривалість однополярних імпульсів;

$f_1$  - частота слідування однополярних імпульсів.

Протягом генерування підсилювачем 9 частоти (4) інтегратор 11 заряджається до напруги

$$U_1 = k_1 U_0 \Delta t f_2, \quad (8)$$

При періодичній зміні частоти генерації від значення (2) до значення (4) і навпаки, на виході інтегратора 11 буде утворюватись змінна складова напруги з амплітудою

$$U_3 = \frac{U_1 - U_2}{2} = \frac{k_1 U_0 \Delta t}{2} (f_2 - f_1), \quad (9)$$

і частотою комутації компенсаційних обмоток 6 і 7  $F$ .

Змінна напруга 9 підсилюється підсилювачем 12 частоти комутації і випрямляється фазочутливим випрямлячем 13, який керується безпосередньо протифазними напругами мультивібратора 16. Випрямлена напруга згладжується фільтром 14 нижніх частот і фіксується реєстром 15. Зареєстрована напруга

$$U_4 = \frac{1}{2} k_1 k_2 k_3 k_4 U_0 \Delta t (f_1 - f_2) = S(f_2 - f_1), \quad (10)$$

де  $k_2$  - коефіцієнт підсилення підсилювача 12 частоти комутації;

$k_3$  - коефіцієнт випрямлення фазочутливого випрямляча 13;

$k_4$  - коефіцієнт передачі фільтра 14 нижніх частот;

$S = \frac{1}{2} k_1 k_2 k_3 k_4 U_0 \Delta t$  - результуюча крутизна

перетворення різницевої частоти в напругу, що вимірюється.

Підставляючи в рівняння (10) значення частот з (2) та (4), отримаємо напругу

$$U_4 = \frac{S}{2\pi} \frac{\sqrt{(L - \Delta L_1)C} - \sqrt{(L - \Delta L_2 - \delta L)C}}{C\sqrt{(L - \Delta L_1)(L - \Delta L_2 - \delta L)}}, \quad (11)$$

Після математичних перетворень вираз (11) представляємо в вигляді

$$U_4 = \frac{S}{2\pi\sqrt{LC}} \frac{\sqrt{1 - \frac{\Delta L_1}{L}} - \sqrt{1 - \frac{\Delta L_2 - \delta L}{L}}}{\sqrt{(1 - \frac{\Delta L_1}{L})(1 - \frac{\Delta L_2 - \delta L}{L})}}, \quad (12)$$

В вихрострумовому датчику 1 відносні зміни індуктивності  $L$ , вимірювальної обмотки 5 від електропровідного фону невеликі ( $\frac{\Delta L_1}{L} < 1$ ,  $\frac{\Delta L_2}{L} < 1$ ).

Відносно невеликі і інформаційні зміни індуктивності обмотки 5 від вихрових струмів в шуканому електропровідному предметі 20 ( $\frac{\delta L_1}{L} \ll 1$ ). Використовуючи формулу наближених обчислень

$$(\sqrt{1-x} = 1 - \frac{x}{2} \text{ вираз (12)})$$

можна спростити і звести до вигляду

$$U_4 = S f_0 \frac{\frac{\Delta L_2}{L} - \frac{\Delta L_1}{L} + \frac{\delta L}{L}}{2\sqrt{(1 - \frac{\Delta L_1}{L})(1 - \frac{\Delta L_2 - \delta L}{L})}}, \quad (13)$$

де  $f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$  - резонансна частота ненавантаженого коливального контуру із індуктивності обмотки 5 датчика і конденсатора 8.

В межах геометричних розмірів вихрострумового датчика 1 можна вважати вплив електропровідного фону зонduючого середовища на магнітопроводи 2 і 3 однаковим ( $\Delta L_1 = \Delta L_2 = \Delta L_3$ ). Тоді напруга, що реєструється

$$U_5 = S f_0 \frac{\frac{\delta L}{L}}{2\sqrt{(1 - \frac{\Delta L}{L})(1 - \frac{\Delta L}{L} - \frac{\delta L}{L})}} = S f_0 \frac{\frac{\delta L}{L}}{2\sqrt{1 - (\frac{\Delta L}{L})^2}}, \quad (14)$$

З урахуванням вищесказаного ( $\frac{\Delta L}{L} < 1$ ) можна вважати, що знаменник (14) близький до 1. Тоді напруга

$$U_5 = \frac{1}{2} S f_0 \frac{\delta L}{L}, \quad (15)$$

З виразу (15) видно, що при відсутності електропровідного предмета в зоні дії вихрострумового датчика ( $\frac{\delta L}{L} = 0$ ) вихідна напруга пристрою відсут-

ня при будь якій нестабільності частоти  $f_0$  автоколивальної системи. Не впливає на стабільність нуля пристрою, що пропонується, і немінуча нестабільність крутизни перетворення  $S$  частоти в напругу. За рахунок симетрії магнітопроводів 2 і 3 датчика 1 виключено вплив і електропровідного фону в зонduючому середовищі, який однаковий мірі почергово розмагнічує обидва магнітопроводи. Діелектричний прошарок 4 з великим магнітним опором і високою теплопровідністю забезпечує температурну симетрію складеного Ш-подібного магнітопроводу і виключає вплив компенсаційних обмоток 6 і 7 одна на одну. В результаті введених конструкційних і схемних відмінностей в пристрій, що пропонується, суттєво підвищується достовірність знаходження локально розміщених електропровідних предметів навіть на фоні електропровідного фону.

Таким чином використання диференційного вихрострумового чутливого елемента з одною вимірювальною обмоткою і двома комутованими компенсаційними обмотками забезпечує почергове проходження зонduючих магнітних потоків через сусідні ділянки досліджуваного середовища. Хороший тепловий контакт і магнітна ізоляція магнітопроводів чутливого елемента, а також їх почергове намагнічування усуває вплив електропровідного фону досліджуваного середовища на результат контролю і виключає появу температурного і часового дрейфу вихідного сигналу. Незалежну роботу двох магнітопроводів одного вихрострумового датчика забезпечує діелектричний прошарок з гарною теплопровідністю. Висока стабільність нуля запропонованого пристрою дозволяє отримати високу чутливість до маси і глибини розміщення досліджуваного предмету за рахунок підсилення різницевого сигналу на змінній напрузі одним підсилювачем частоти комутації. Фазочутливе випрямлення інформаційного сигналу підвищує завадостійкість та стабільність роботи пристрою.

