

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **216484**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **390277**

(51) Int.Cl.  
**G01V 3/08 (2006.01)**  
**G01V 3/10 (2006.01)**

(22) Data zgłoszenia: **08.12.2009**

(54)

**Sposób i urządzenie do wykrywania obiektów metalowych**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**20.06.2011 BUP 13/11**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**30.04.2014 WUP 04/14**

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA ŚLĄSKA, Gliwice, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**GRZEGORZ WIECZOREK, Zabrze, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzec. pat. Urszula Ziółkowska**

**PL 216484 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób i urządzenie do wykrywania obiektów metalowych. Urządzenie może znaleźć zastosowanie w takich dziedzinach jak wykrywanie min, systemy zabezpieczeń, badania geofizyczne, badania nieniszczące, przemysł (wykrywacze metalu, czujniki zbliżeniowe, separatory, itd.), badania archeologiczne.

Znanych jest kilka metod wykrywania obiektów metalowych, spośród których wyróżnić można trzy główne rodzaje, wynikające z zasady ich działania. Należą do nich metody zdudnieniowe (*BFO* - ang. *Beal Frequency Oscillator*), impulsowe (*PI* ang. *Pulse Induction*) oraz typu nadajnik-odbiornik (*TR* - ang. *Transmitter-Receiver*).

Detektory zdudnieniowe wykorzystują właściwości obwodu rezonansowego tworzącego sondę, a dokładniej zmianę parametrów tego obwodu w przypadku obecności obiektu metalowego. Zmiana indukcyjności i rezystancji cewki sondy wywołuje zmianę generowanej przez generator pomiarowy częstotliwości. Sygnał z generatora pomiarowego jest sumowany z sygnałem z generatora wzorcowego i w przypadku rozstrojenia obu układów dochodzi do zdudnienia częstotliwości.

Wykrywacze impulsowe wykorzystują efekt wzbudzenia prądów wirowych w obiekcie metalowym. Sonda pomiarowa w postaci cewki zostaje pobudzona skokową zmianą napięcia, co wywołuje liniowy wzrost natężenia prądu. Po zgromadzeniu w cewce odpowiednio dużej energii, napięcie zasilające zostaje odcięte, a prąd płynący w obwodzie cewki z równoległym połączonym rezystorem maleje ze stałą czasową zależną od  $L$  i  $R$ . W obwodzie tym indukuje się również druga składowa prądu będąca „odpowiedzią” obiektu metalowego i zmieniająca się ze stałą czasową zależną od właściwości wykrywanego przedmiotu. Subtelne zmiany w przebiegu napięcia w obwodzie  $LR$  sondy są wzmacniane i świadczą o pojawieniu się metalu w okolicy cewki pomiarowej.

Wykrywacze typu nadajnik-odbiornik wykorzystują sondę zbudowaną z dwóch cewek skonfigurowanych przestrzennie w taki sposób, że ich wzajemne sprzężenie jest zerowe (w idealnym przypadku). W momencie, w którym w zasięgu sondy znajdzie się przedmiot metalowy, następuje w nim wzbudzenie prądów wirowych, które z kolei indukują prąd w cewce odbiorczej.

Każdy z trzech wymienionych rodzajów wykrywaczy metali charakteryzuje się pewnymi zaletami, jak i wadami. Detektory *BFO* charakteryzują się stosunkowo prostą konstrukcją, jednakże są bardzo wrażliwe na zmiany parametrów obwodu rezonansowego zupełnie nie związane z badanym obiektem. Zmieniająca się temperatura oraz wilgotność powietrza wpływają na indukcyjność cewki, pojemności kondensatorów i parametry innych elementów, wchodzących w skład oscylatora pomiarowego. Wszystkie te zmiany bezpośrednio oddziałują na generowaną częstotliwość, a więc i na wielkość częstotliwości zdudnienia, która jest bezpośrednio źródłem informacji o badanym obiekcie. Ponadto, żeby uzyskać odpowiednio dużą wartość rozstrojenia przy obecności metalu, a zatem i dużą czułość, konieczne jest stosowanie dużych częstotliwości w generatorze pomiarowym i wzorcowym. Jednakże ze zwiększaniem częstotliwości pomiarowej niestety również wzrasta niekorzystny wpływ minerałów ferromagnetycznych rozproszonych w glebie. Powyższe czynniki wymuszają ciągłą korektę ustawień w wykrywaczu. Wykrywacze *PI* umożliwiają osiągnięcie dużych głębokości penetracji i są mało wrażliwe na wpływ rozproszonych minerałów, jednakże praktycznie nie umożliwiają identyfikacji materiału z którego wykonany jest poszukiwany obiekt. Wykrywacze *TR* dają możliwość identyfikacji rodzaju metalu, lecz ich zasięg, w porównaniu do wykrywaczy impulsowych, jest mniejszy, a złożoność układu i stopień komplikacji sondy pomiarowej jest zdecydowanie większa.

Analiza właściwości powszechnie stosowanych trzech rodzajów detektorów obiektów metalowych wskazuje na konieczność stworzenia nowych urządzeń, które będą łączyły w sobie pozytywne cechy opisywanych wcześniej układów; przy jednoczesnej eliminacji ich wad.

Znany jest sposób detekcji obiektów metalowych, w którym kondensator w układzie rezonansowym cyklicznie ładuje się do wartości napięcia zasilania, a po zamknięciu klucza rozładowuje się przez cewkę sondy pomiarowej, przez co wywołuje się drgania gasnące.

Znane jest urządzenie do wykrywania obiektów metalowych, które posiada cewkę sondy pomiarowej połączoną z jednej strony z kondensatorem połączonym do masy, a z drugiej strony z kluczem połączonym do masy, a w punkcie połączenia klucza z cewką jest wpięty rezystor, który z drugiej strony jest podłączony do napięcia zasilania.

Sposób według wynalazku polega na tym, że drgania gasnące w układzie rezonansowym  $LC$  koreluje się w banku korelatorów, po czym sygnały wyjściowe z banku korelatorów przetwarza się w układzie na współczynnik odstrojenia.

Sposób według wynalazku polega na tym, że drgania gasnące w układzie rezonansowym koreluje się w banku korelatorów w czterech równoległych torach przetwarzania z wzorcowymi funkcjami czasu, korzystnie funkcjami sinus i cosinus o ukształtowanej obwiedni, po czym współczynniki korelacji podnosi się do kwadratu.

Sposób według wynalazku polega na tym, że kwadraty współczynników korelacji z pierwszego i drugiego toru przetwarzania sumuje się w sumatorze i jednocześnie kwadraty współczynników korelacji z trzeciego i czwartego toru przetwarzania sumuje się w układzie sumującym, następnie w układzie odejmującym odejmuje się od sygnału z wyjścia sumatora sygnał z wyjścia układu sumującego, po czym otrzymuje się dzielną współczynnika odstrojenia.

Sposób według wynalazku polega na tym, że sygnały z wyjść sumatorów sumuje się w sumatorze, po czym otrzymuje się dzielnik współczynnika odstrojenia.

Sposób według wynalazku polega na tym, że współczynnik odstrojenia wyznacza się w układzie dzielącym tak, że dzielną współczynnika odstrojenia dzieli się przez dzielnik współczynnika odstrojenia.

Urządzenie do wykrywania obiektów metalowych charakteryzuje się tym, że punkt połączenia cewki z kondensatorem podłączony jest do wejścia banku korelatorów, którego wyjścia są połączone z układem wyznaczania współczynnika odstrojenia, z którego wyjścia jest połączenie do układu decyzyjnego, a dodatkowo układ sterujący jest połączony z wejściem sterującym klucza oraz wejściem sterującym banku korelatorów.

Urządzenie do wykrywania według wynalazku charakteryzuje się tym, że w banku korelatorów ma cztery równoległe tory korelatorów, korzystnie w postaci układu mikroprocesorowego.

Sposób według wynalazku charakteryzuje się tym, że współczynnik odstrojenia wprowadza się do układu decyzyjnego.

Sposób wg wynalazku charakteryzuje się tym, że na podstawie zmian współczynnika odstrojenia doprowadzanego do wejścia układu decyzyjnego, można dokonać identyfikacji rodzaju metalu z podziałem na ferromagnetyczne i nie ferromagnetyczne.

Urządzenie według wynalazku charakteryzuje się tym, że współczynniki korelacji oraz współczynnik odstrojenia wyznaczone są z sygnału w postaci cyfrowej poprzez cyfrowe przetwarzanie sygnałów w układzie cyfrowym, korzystnie mikroprocesorowym.

Urządzenie według wynalazku charakteryzuje się tym, że stosując wysokie napięcie zasilania obwodu rezonansowego można osiągnąć dużą moc chwilową sygnału pobudzającego obiekty metalowe.

Przedmiot wynalazku przedstawiono na rysunku, na którym **Fig. 1** przedstawia schemat blokowy urządzenia. **Fig. 2** przedstawia schemat blokowy przepływu sygnału. **Fig. 3** przedstawia szczegółowy schemat blokowy układu urządzenia.

Kondensator (3) jest ładowany ze źródła zasilania poprzez cewkę sondy pomiarowej (2) i rezystor (1) wtedy, gdy klucz (4) jest otwarty. Gdy napięcie na kondensatorze osiąga wartość zbliżoną do napięcia zasilania, to klucz (4) zostaje zamknięty i w obwodzie rezonansowym złożonym z indukcyjności (2), kondensatora (3) i zamkniętego klucza (4) rozpoczyna się generacja drgań gasnących. Częstotliwość drgań i szybkość ich zaniku zależą od parametrów obwodu rezonansowego, które zmieniają się pod wpływem bliskiej obecności obiektów metalowych. Napięcie zmienne z kondensatora (3) jest korelowane w banku korelatorów (5), a następnie sygnały wyjściowe z banku korelatorów (5) służą do wyznaczenia współczynnika odstrojenia w układzie (6), z którego sygnał jest podawany do wejścia układu decyzyjnego (7). Układu sterujący (8) steruje pracą klucza (4) oraz zerowaniem korelatorów w banku korelatorów (5).

Na **Fig. 2** przedstawiono schemat blokowy przepływu sygnału w układzie według wynalazku przedstawionym na **Fig. 1**.

Po naładowaniu kondensatora (203) przez rezystor (201) i cewkę (202) klucz (204) zostaje zamknięty i w obwodzie rezonansowym rozpoczyna się generacja drgań gasnących. W tym samym momencie rozpoczyna się korelowanie sygnału napięciowego z kondensatora (203) w czterech równoległych torach przetwarzania sygnału. W pierwszym torze sygnał napięciowy z kondensatora (203) jest mnożony w układzie mnożącym (205) przez funkcję wzorcową  $f_{SU}(t)$  (206), a następnie wynik mnożenia jest całkowany w układzie (213) przez czas  $\tau$ , dając współczynnik korelacji oznaczony  $F_{SU}$  poczym współczynnik ten jest podnoszony do kwadratu w układzie (217). W drugim torze sygnał napięciowy z kondensatora (203) jest mnożony w układzie mnożącym (207) przez funkcję wzorcową  $f_{CU}(t)$  (208), a następnie wynik mnożenia jest całkowany w układzie (214) przez czas  $\tau$ , dając współczynnik korelacji oznaczony  $F_{CU}$ , poczym współczynnik ten jest podnoszony do kwadratu w układzie (218). W trze-

cim torze sygnał napięciowy z kondensatora (203) jest mnożony w układzie mnożącym (209) przez funkcję wzorcową  $f_{SL}(t)$  (210), a następnie wynik mnożenia jest całkowany w układzie (215) przez czas  $\tau$ , dając współczynnik korelacji oznaczony  $F_{SL}$ , poczym współczynnik ten jest podnoszony do kwadratu w układzie (219). W czwartym torze sygnał napięciowy z kondensatora (203) jest mnożony w układzie mnożącym (211) przez funkcję wzorcową  $f_{CL}(t)$  (212), a następnie wynik mnożenia jest całkowany w układzie (216) przez czas  $\tau$ , dając współczynnik korelacji oznaczony  $F_{CL}$ , poczym współczynnik ten jest podnoszony do kwadratu w układzie (220). Sygnały z toru pierwszego i drugiego są sumowane w układzie (221), dając wynik oznaczony  $F_U$ . Sygnały z toru trzeciego i czwartego są sumowane w układzie (224), dając wynik oznaczony  $F_L$ . Wynik z sumatora (224) jest odejmowany od wyniku z sumatora (221) w układzie (222). Wynik z sumatora (224) jest dodawany do wyniku z sumatora (221) w układzie (223). Układ dzielący (225) dzieli wynik z wyjścia sumatora (222) przez wynik z wyjścia sumatora (223). Wynik dzielenia z układu (225), oznaczony jako  $\delta_{UL}$  jest doprowadzony do układu decyzyjnego (226), który podejmuje decyzję o wykryciu obiektu metalowego i jego identyfikacji.

Układ według wynalazku przedstawiony na **Fig. 1** można znacznie uprościć w trakcie fizycznej realizacji poprzez wykorzystanie cyfrowego przetwarzania sygnału oraz wstępne przygotowanie funkcji wzorcowych i ich zapisanie w pamięci układu mikroprocesorowego.

Układ według wynalazku z wykorzystaniem cyfrowego przetwarzania sygnału przedstawiono na **Fig. 3**.

Kondensator (303) jest ładowany ze źródła zasilania poprzez cewkę sondy pomiarowej (302) i rezystor (301) wtedy, gdy klucz (304) jest otwarty. Gdy napięcie na kondensatorze osiąga wartość zbliżoną do napięcia zasilania, to klucz (304) zostaje zamknięty i w obwodzie rezonansowym złożonym z indukcyjności (302), kondensatora (303) i zamkniętego klucza (304) rozpoczyna się generacja drgań gasnących. Następnie napięcie zmienne z kondensatora (303) jest tłumione w układzie dzielnika skompensowanego, złożonego z rezystorów (305) i (306) oraz kondensatorów (307) i (308). Dalej sygnał z wyjścia dzielnika jest doprowadzany do wejścia przetwornika analogowo-cyfrowego (309), gdzie jest przetwarzany do postaci cyfrowej i przekazywany dalej do układu mikroprocesorowego (310), gdzie podlega korelacji z czterema wstępnie zapisanymi w pamięci funkcjami wzorcowymi, po czym współczynniki korelacji służą do wyznaczenia współczynnika  $\delta_{UL}$ , na podstawie którego w programowo zrealizowanym układzie decyzyjnym jest podejmowana decyzja o wykryciu i identyfikacji obiektu metalowego.

Sposób według wynalazku przewiduje wykorzystanie funkcji wzorcowych w postaci:

$$f_{SU}(t) = f_W(t) \sin(\omega_U t)$$

$$f_{CU}(t) = f_W(t) \cos(\omega_U t)$$

$$f_{SL}(t) = f_W(t) \sin(\omega_L t)$$

$$f_{CL}(t) = f_W(t) \cos(\omega_L t)$$

gdzie  $f_W(t)$  jest funkcją kształtującą, korzystnie w postaci:

$$f_W(t) = \frac{5}{14} \left( 1 + \frac{1}{300} e^{\frac{100t}{12\tau}} \right) \left[ 1 - \cos\left( 2\pi \frac{t}{\tau} \right) \right]$$

a między pulsacjami  $\omega_L$  i  $\omega_U$  oraz pulsacją drgań o obwodzie rezonansowego muszą zachodzić relacje:

$$\omega_L < \omega < \omega_H$$

oraz:

$$\omega_L = 2\pi \frac{m-1}{\tau}$$

$$\omega_U = 2\pi \frac{m+1}{\tau}$$

gdzie  $m$  jest liczbą naturalną, a  $\tau$  jest okresem całkowania.

## Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób wykrywania obiektów metalowych, w którym kondensator w układzie rezonansowym cyklicznie ładuje się do wartości napięcia zasilania, a po zamknięciu klucza rozładowuje się przez cewkę sondy pomiarowej, przez co wywołuje się drgania gasnące, **znamienny tym**, że drgania gasnące w układzie rezonansowym LC (2, 3) koreluje się w banku korelatorów (5), po czym sygnały wyjściowe z banku korelatorów przetwarza się w układzie (6) na współczynnik odstrojenia.

2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że drgania gasnące w układzie rezonansowym koreluje się w banku korelatorów w czterech równoległych torach przetwarzania (205, 213, 207, 214, 209, 215, 211, 216) z wzorcowymi funkcjami czasu (206, 208, 210, 212), korzystnie funkcjami sinus i cosinus o ukształtowanej obwiedni, po czym współczynniki korelacji podnosi się do kwadratu (217, 218, 219, 220).

3. Sposób według zastrz. 2, **znamienny tym**, że kwadraty współczynników korelacji z pierwszego i drugiego toru przetwarzania sumuje się w sumatorze (221) i jednocześnie kwadraty współczynników korelacji z trzeciego i czwartego toru przetwarzania sumuje się w układzie sumującym (224), następnie w układzie odejmującym (222) odejmuje się od sygnału z wyjścia sumatora (221) sygnał z wyjścia układu sumującego (224), po czym otrzymuje się dzielną współczynnika odstrojenia.

4. Sposób według zastrz. 3, **znamienny tym**, że sygnały z wyjść sumatorów (221, 224) sumuje się w sumatorze (223), po czym otrzymuje się dzielnik współczynnika odstrojenia.

5. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że współczynnik odstrojenia wyznacza się w układzie dzielącym (225) tak, że dzielną współczynnika odstrojenia dzieli się przez dzielnik współczynnika odstrojenia.

6. Urządzenie do wykrywania obiektów metalowych, które posiada cewkę sondy pomiarowej połączoną z jednej strony z kondensatorem połączonym do masy, a z drugiej strony z kluczem połączonym do masy, a w punkcie połączenia klucza z cewką jest wpięty rezystor, który z drugiej strony jest podłączony do napięcia zasilania, **znamiennie tym**, że punkt połączenia cewki (2) z kondensatorem (3) podłączany jest do wejścia banku korelatorów (5), którego wyjścia są połączone z układem (6) wyznaczania współczynnika odstrojenia, z którego wyjścia jest połączenie do układu decyzyjnego (7), a dodatkowo układ sterujący (8) jest połączony z wejściem sterującym klucza (4) oraz wejściem sterującym banku korelatorów (5).

7. Urządzenie do wykrywania według zastrz. 6, **znamiennie tym**, że w banku korelatorów (5) ma cztery równoległe tory korelatorów, korzystnie w postaci układu mikroprocesorowego.

## Rysunki

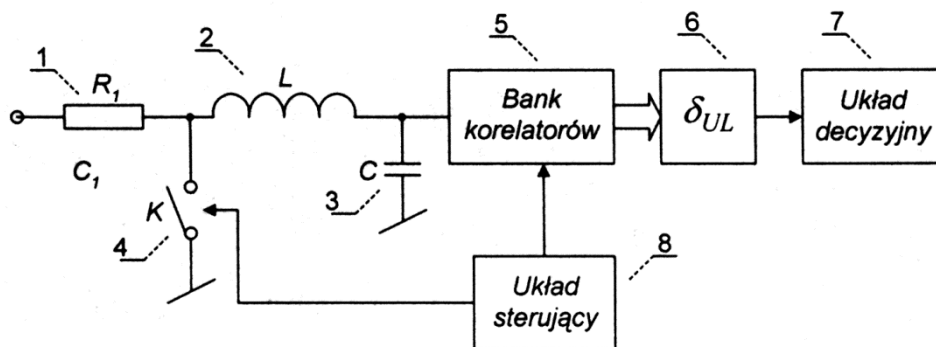


Fig. 1

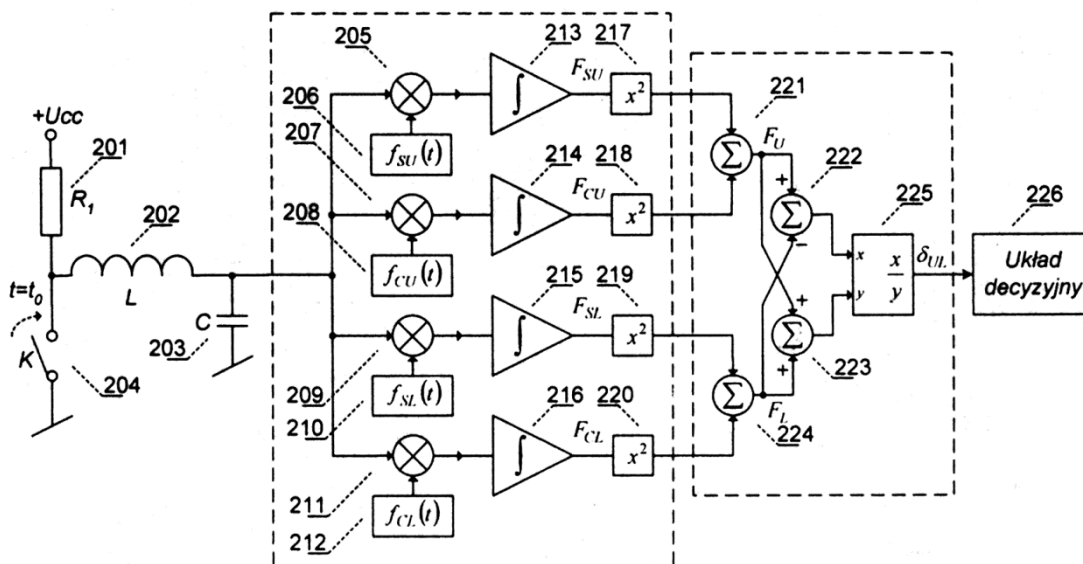


Fig. 2

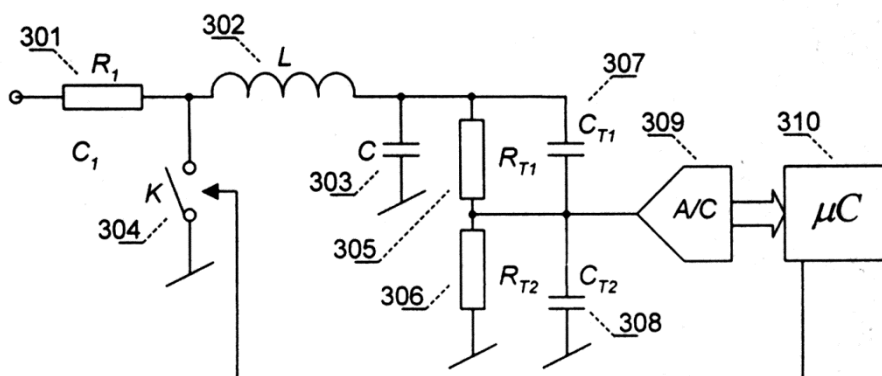


Fig. 3