

## POLSKIEJ RZECZYPOSPOLITEJ LUDOWEJ

# OPIS PATENTOWY

Nr 42396

21e 33/04  
~~Kl. 21 e, 37/07~~

Výzkumný a zkušební letecký ústav \*)

Letnany k. Prahi, Czechosłowacja

### Elektromagnetyczna sonda różnicowa

Patent trwa od dnia 26 lutego 1958 r.

Pierwszeństwo: 27 lutego 1957 r. (Czechosłowacja).

Wynalazek dotyczy układu elektromagnetycznej sondy różnicowej (szukacz różnicowy), która służy jako urządzenie odbiorcze dla pól magnetycznych, a w szczególności dla słabych stałych pól magnetycznych i pracuje na zasadzie wytworzenia drugiej harmonicznej prądu.

Używane są coraz częściej elektromagnetyczne sondy różnicowe dla różnorodnych pomiarów słabych i silnych pól magnetycznych, szczególnie jednak dla pól stałych. Sondy te są zbudowane na zasadzie wytworzenia drugiej harmonicznej prądu. Sonda taka składa się w zasadzie z dwóch rdzeni, które są wykonane z miękkiego magnetycznie materiału i które magnesuje się powyżej granicy nasycenia jednocześnie za pomocą pola zmiennego i pola mierzonego.

Każdy rdzeń wyposażony w cewkę odbiorczą, w której za pomocą określonego strumienia

magnetycznego zostanie zaindukowane napięcie, które posiada znaczną składową drugiej harmonicznej prądu. Obie cewki są włączone przeciwnie, przez co nieparzyste harmoniczne prądu znoszą się, natomiast parzyste sumują się. Z parzystych harmonicznych prądu pobiera się do zastosowania drugą harmoniczną, której amplituda jest proporcjonalna do natężenia mierzonego pola magnetycznego. Obydwa rdzenie mogą posiadać cewkę odbiorczą i są ustawione przeciwnie, jedna za drugą. Ten układ elektromagnetycznej sondy jest najczęściej używany. Są jednak dwie przyczyny, które oddziałują zakłócająco na przeprowadzane za pomocą tych sond pomiary. W pierwszym rzędzie przyczyną jest zewnętrzne pole magnetyczne, w którym pomiar zostanie przeprowadzony, na przykład ziemskie pole magnetyczne, które może być skompensowane, gdyby chodziło tylko o niezmiennie i wystarczająco jednolite pole zakłócające. W przeciwnym przypadku okazuje się niezbędnym, użycie dwóch identycznych sond

\*) Właściciel patentu oświadczył, że twórcą wynalazku jest inż. Ladislav Markes.

położonych wystarczająco blisko obok siebie, a nawet według niejednorodnej wielkości pola zakłócającego, co w istocie ogranicza mocno możliwości pomiarowe, ponieważ mierzone pole magnetyczne może oddziaływać tylko na jedną z dwóch sond, przy czym sonda jest kompensująca.

Sporządzenie dwóch identycznych sond z punktu widzenia ich wytworzenia jest bardzo ciężkie do przeprowadzenia. Również ciężkie jest sporządzenie sondy o dwóch rdzeniach w postaci zminiaturyzowanej. Dalszą wadą takich sond jest fakt, że strumienie magnetyczne zamykają się przez powietrze wewnątrz rdzeni, a w szczególności te składowe strumieni, które indukują drugą harmoniczną co w istocie powoduje, że w razie, gdy sonda zbliża się do jakiegokolwiek niemagnetycznego, jednak elektrycznie przewodzącego materiału powoduje to zmianę rozkładu sił strumieni magnetycznych, co wpływa na zmianę napięcia wyjściowego. Przyrząd pomiarowy rejestruje fałszywie zmianę natężenia pola, która w ogóle nie miała miejsca. Elektromagnetyczne sondy różnicowe, które są przedmiotem wynalazku nie wykazują wymienionych wad.

Na rysunku są przedstawione dwa przykłady wykonania elektromagnetycznych sond różnicowych. Fig. 1 uwidacznia schematyczny układ sondy z otwartymi rdzeniami, fig. 2 — przekrój strumieni pola magnetycznego sondy, fig. 3 — rozkład pola stałego w rdzeniu, fig. 4 — schematyczny układ sondy z zamkniętymi rdzeniami, fig. 5 przedstawia promienisty układ pola magnetycznego, fig. 6 — sposób namagnesowania mierzonego przedmiotu, fig. 7 — schematyczny układ połączeń przyrządu do pomiaru siły koercji, a fig. 8 — schemat położenia sondy w stosunku do mierzonego przedmiotu. W zasadzie sonda składa się jedynie z jednego rdzenia, który może być zamknięty, i który zaopatrzony jest w uzwojenie magnesujące i w jedną cewkę odbiorczą składającą się z dwóch części o jednakowej liczbie zwojów, które są w stosunku do siebie odwrotnie nawinięte. Kompletnie wykonana sonda, jest zamknięta w puszcze z materiału o bardzo dobrej przewodności prądu elektrycznego.

Fig. 1 przedstawia jeden z możliwych układów elektromagnetycznej sondy różnicowej z prostym rdzeniem. Rdzeń 1 jest wykonany z magnetycznie miękkiego materiału, na który jest nawinięte uzwojenie magnesujące 2, na którym znajduje się jeszcze cewka odbiorcza, składająca się z dwóch części 3 i 4 o jednakowej liczbie zwojów,

które są w przeciwnym kierunku nawinięte. Zaciski wyjściowe odbiorczej cewki są oznaczone cyframi 5 i 6. Kompletna sonda zamknięta w puszcze 7, która jest wykonana z materiału niemagnetycznego o dobrej przewodności elektrycznej. Puszka działa jak ekran elektromagnetyczny i zapobiega przenikaniu zmiennego pola na zewnątrz puszek. W razie gdy na sondę działa jakiekolwiek jednorodne pole, na zaciskach wyjściowych 5 i 6 nie wystąpi napięcie, ponieważ indukowane napięcia, które zostaną doprowadzone do każdej części cewki odbiorczej są tej samej wielkości, ale o odwrotnych znakach i dlatego znoszą się nawzajem. Jeżeli jednak na rdzeń będzie oddziaływać takie pole magnetyczne, że jego składowa  $H$  będzie w pierwszej połowie rdzenia tej samej wielkości, jak składowa drugiej połowy rdzenia, ale z odwrotnymi znakami, (fig. 2), wówczas takie namagnesowanie spowoduje utworzenie się strumieni magnetycznych  $\Phi_1$  i  $\Phi_2$  w obydwóch położeniach rdzenia, które będą miały odwrotne znaki i które będą w poszczególnych częściach cewki odbiorczej indukować napięcia tak, że na zaciskach wyjściowych 5 i 6 powstanie napięcie. Napięcie to będzie proporcjonalne do natężenia pola  $H$ . Oprócz strumieni magnetycznych  $\Phi_1$  i  $\Phi_2$  istnieć będzie także strumień  $\Phi_3$ , który jest wspólny dla obydwóch części cewki odbiorczej. Elektromagnetyczna sonda różnicowa nie reaguje dlatego na jednorodne pole magnetyczne. Gdyby jednak na sondę różnicową działało pole magnetyczne, którego składowe byłyby różnej wielkości w każdej połowie rdzenia, wówczas powstanie w cewce odbiorczej napięcie, które jest mniej więcej proporcjonalne do różnicy tych składowych. Wynika to z następującego rozważania.

W przypadku, aby powstało składowe natężenie jakiegokolwiek pola magnetycznego w lewej połowie rdzenia  $H_1$  i prawej  $H_2$ , tak rozłożone pole może być zastąpione przez parę pól o natężeniu  $+H$  i  $-H$  i przez pole o natężeniu  $H_3$ , które jest wspólne dla całego rdzenia, przy czym dla absolutnej wielkości  $H$  może być wprowadzona następująca zależność:

$$H = \frac{H_2 - H_1}{2}$$

To natężenie pola  $H$  będzie proporcjonalne do napięcia na zaciskach wyjściowych 5 i 6.

Z uwagi na prosty układ elektromagnetycznej sondy różnicowej podaje się następujące dalsze ważne jej właściwości. Sonda według wynalazku może być wykonana w postaci zminia-

turyzowanej, jak również może być użyta wszędzie tam, gdzie nie można zastosować sondy z dwoma rdzeniami z uwagi na trudności wykonania jej w małych rozmiarach.

Dalsze szczególne właściwości tej elektromagnetycznej sondy różnicowej polegają na tym, że ona wcale nie reaguje na tworzywa przewodzące prąd elektryczny, natomiast reaguje wyłącznie na pole magnetyczne. Osiąga się to, jak opisano powyżej przez ekranowanie magnetycznego strumienia magnetycznych sondy za pomocą puszki 7 z materiału niemagnetycznego ale o dobrej przewodności elektrycznej. Grubość ścianki ekranu jest zależna od częstotliwości pola magnetycznego.

W dotychczas znanych elektromagnetycznych sondach, to znaczy w sondach, w których są strumienie magnetyczne nie ograniczone ekranem, lecz przebiegają przez powietrze, powstają znaczne błędy przy zbliżeniu przedmiotów o dobrej przewodności elektrycznej, co w istocie uniemożliwia wykonanie czułych pomiarów.

Błędy, które występują wskutek tego zjawiska, powstają oczywiście przy zbliżaniu wszystkich materiałów o dobrej przewodności, a więc także i seromagnetycznych.

Strumień magnesujący może się zamykać także przez rdzeń 8, tak jak to uwidocznione jest na fig. 4. Układ ten posiada tę niezwykłą właściwość, że obniża wielkość zmiennego, magnesującego strumienia, zakłócającego i w rezultacie zmniejsza wpływ otaczającego pola zakłócającego oraz posiada także większy współczynnik rozmagnesowania (magnetyzm szczątkowy). Układ ten okazuje się jako szczególnie przydatny w wypadku, w którym część rdzenia zaopatrzona w uzwojenia, a więc część pomiarowa, jest narażona w znacznie wyższym stopniu na wpływy mierzonego pola niż druga część rdzenia, która jest bardziej oddalona od mierzonego pola. Cała sonda jest tak samo zamknięta w puszcze, jak zostało to uwidocznione w uprzednio opisanym przypadku.

Ta elektromagnetyczna sonda różnicowa znajduje zastosowanie wszędzie tam, gdzie pomiar jest przeprowadzony w zakłócającym polu magnetycznym, na przykład pola ziemskiego i w razie, gdy chodzi o pomiar lub wskazania pola, które jest szczególnie niejednorodne lub tam, gdzie podmagnesowanie przez mierzone pole jest nierówne wzdłuż długości rdzenia. Sondy te mogą być użyte na przykład w przyrządach, które służą do pomiaru i wskazywania wad materiałowych na zasadzie magnetycznej metody wykrywania, ponieważ wady te powodują

skrzywienie strumienia rozproszenia pola magnetycznego. Sondy mogą być również użyte z dobrym skutkiem do pomiaru stopni natężenia magnetycznego, w przyrządach do pomiaru siły koercji, niemagnetycznych właściwości materiałów, podatności magnetycznej itd. Poniżej opisane są przynajmniej dwa typowe przypadki, w których zostaną zastosowane znane właściwości elektromagnetycznych sond różnicowych według wynalazku.

Pierwszy przypadek dotyczy elektromagnetycznej sondy różnicowej w przyrządzie, który służy do pomiaru siły koercji materiałów magnetycznie miękkich, za pomocą których mogą być przeprowadzone pomiary bez uprzedniego wykonywania modeli także przy użyciu zminiaturyzowanych części blaszanych. Mierzony przedmiot, w danym przypadku część z blachy, zostanie uprzednio przed przeprowadzeniem właściwych pomiarów namagnesowana za pomocą silnego pola magnetycznego w taki sposób, ażeby namagnesowana część posiadała wysoki współczynnik rozmagnesowania, na przykład przez pole, którego linie sił wykazują promieniowo rozbieżny układ promieni, jak to uwidoczniono na fig. 5. Może to być przeprowadzone za pomocą magnesu, którego oś jest umieszczona prostopadle w stosunku do mierzonego przedmiotu (patrz fig. 6, gdzie cyfra 9 przedstawia mierzony przedmiot, a 10 magnes).

Po przeprowadzeniu magnesowania na skutek powstania magnetyzmu szczątkowego istnieje w materiale, jak również w bezpośredniej jego bliskości pole, które wykazuje taki sam podział pola jak pole magnesujące i siła tego pola będzie posiadała bardzo zbliżoną wielkość do wielkości siły koercji  $H_c$ . Pomiary własne tego pola i dlatego także siły koercji  $H_c$  mogą być z powodzeniem przeprowadzone za pomocą elektromagnetycznej sondy różnicowej. Na fig. 7 jest uwidoczniony taki sam przyrząd. Do mierzonego przedmiotu, który jest namagnesowany przez promieniowo-rozbieżne pole, na przykład do części z blachy 9 zostanie przyłożona elektromagnetyczna sonda różnicowa 10, której uzwojenia magnesujące 2 są zasilane ze źródła prądu zmiennego 11, a do zacisków uzwojeń odbiorczych 6 i 5 jest przyłączony wzmacniacz 12, za pomocą którego wskaźnik 13 jest zasilany, który z kolei jest zaopatrzony w skalę, na której może być odczytana bezpośrednio wielkość  $H_c$ . Rdzeń sondy 1 zostanie namagnesowany przez siłę pola  $H_c$ , która w poszczególnych połówkach rdzenia posiada odwrócony kierunek. Za pomocą kondensatora 14 można z powodzeniem wspólnie

z indukcyjnością cewki odbiorczej utworzyć równoległy obwód rezonansowy drugiej harmonicznej prądu. Dzięki swoim właściwościom elektromagnetyczna sonda różnicowa umożliwia skuteczne przeprowadzenie pomiarów dla materiałów, które uważane są magnetycznie za szczególnie miękkie.

Inny przykład wykorzystania elektromagnetycznej sondy różnicowej przedstawia umieszczenie jej w przyrządzie, który użyty będzie do pomiarów siły koercji materiałów, które magnetycznie są miękkie lub twarde, za pomocą metody rozmagnesowania. Pomiary te będą wykonywane bieżąco w selenoidzie o nastawialnym polu elektromagnetycznym, w którym mierzony model zostanie rozmagnesowany po uprzednim przeprowadzeniu pełnego rozmagnesowania, przy czym natężenie pola magnetycznego, w którym model zostanie rozmagnesowany, będzie równe sile koercji  $H_{cl}$ .

Jako wskaźnik zerowego natężenia namagnesowania modelu jest używana najczęściej obrotowa cewka, w której pole modelu indukuje napięcie, które służy jako miara namagnesowania. Cewka jest obracana za pomocą silniczka. Przy przeprowadzeniu takiego pomiaru działa znowu zakłócająca zewnętrzne pole magnetyczne, w szczególności pole ziemskie, które przed przeprowadzeniem pomiarów musi być zkompensovane, na przykład za pomocą pola pomocniczego, przy czym zakłada się, że w czasie pomiarów może zaistnieć zmiana pola zakłócającego, co w rzeczywistości nie jest częstym przypadkiem. Cewka obrotowa nie może być wykonana jako miniaturowa, co w rzeczywistości uniemożliwia przeprowadzenie pomiarów małych modeli.

Trudności występują również przy umieszczeniu modelu, ponieważ położenie cewki nie może być według potrzeby dowolnie wybrane.

Wszystkie wyżej opisane wady mogą być usunięte przez zastosowanie elektromagnetycznej sondy różnicowej. Umieszczenie sondy wewnątrz selenoidu 16 w stosunku do mierzonego modelu 15 jest uwidocznione na fig. 8. Elektromagnetyczna sonda różnicowa 10 o dowolnej formie rdzenia 1 jest tu narysowana schematycznie.

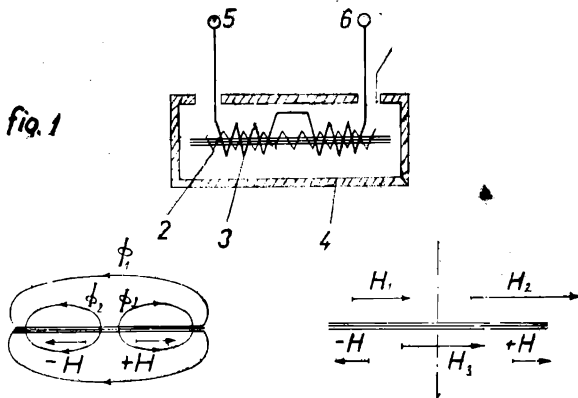
Należy zważyć, że rdzeń sondy nie we wszystkich przypadkach musi być bezwzględnie prosty, lecz że może być w razie potrzeby zakrzywiony.

#### Zastrzeżenia patentowe

1. Elektromagnetyczna sonda różnicowa z rdzeniem z miękkiego żelaza, zaopatrzona w uzwojenia magnesujące znamienne, tym, że cewki odbiorcze sondy o dwóch uzwojeniach (3 i 4) posiadają tę samą liczbę zwojów nawiniętych w przeciwnych kierunkach, które są umieszczone symetrycznie w stosunku do rdzenia.
2. Elektromagnetyczna sonda różnicowa według zastrz. 1, znamienne, tym, że posiada zamknięty obwód magnetyczny (8).
3. Elektromagnetyczna sonda różnicowa według zastrz. 1 i 2, znamienne, tym, że jest umieszczona w zamkniętej puszcze (7) z materiału o dobrej przewodności elektrycznej.

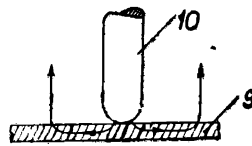
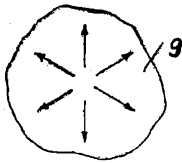
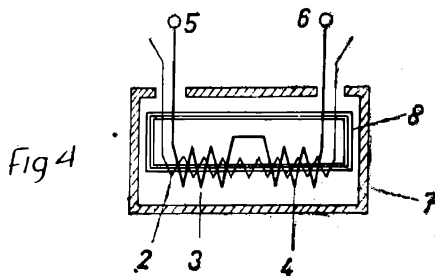
V ý z k u m n ý a z k u š e b n í  
l e t e c k ý ú s t a v

Zastępca: mgr Józef Kamiński  
rzecznik patentowy



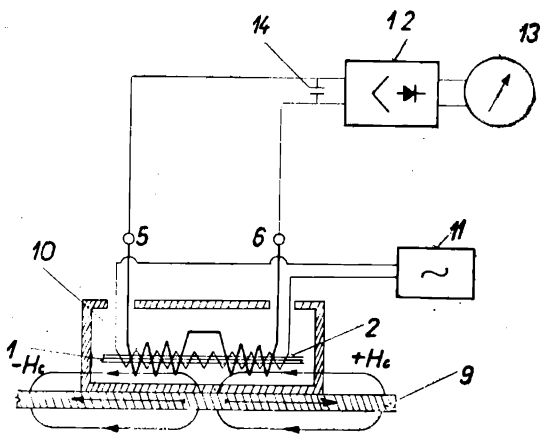
*Fig 3*

*Fig. 2*

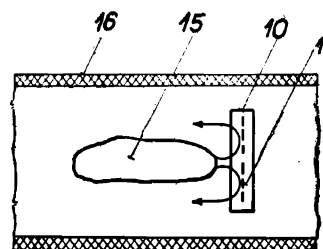


*Fig. 6.*

*Fig. 5*



*Fig. 8*



*Fig 7*