



URZĄD
PATENTOWY
PRL

OPIS PATENTOWY

57262

Patent dodatkowy
do patentu 56 309

Zgłoszono: 09.IV.1966 (P 113 972)

Pierwszeństwo: 22.IV.1965 Francja

Opublikowano: 30.VI.1969

Kl. 21 e, 12

21e 33/08

MKP G 01 r 33/08

UKD

Twórca wynalazku: inż. Antoine Salvi
Właściciel patentu: Commissariat à l'Energie Atomique, Paryż (Francja)

Magnetometr z rezonansem magnetycznym

1

Przedmiotem wynalazku jest magnetometr z rezonansem magnetycznym, który stanowi rozwinięcie magnetometru według patentu nr 56309.

Wynalazek dotyczy w szczególności magnetometru do pomiaru natężenia pól magnetycznych, zwłaszcza słabych pól magnetycznych (poniżej 1 gaussa), oraz zmian ich natężeń, z pokładu samolotu, balonu, sputników itd.

Znanych jest kilka rodzajów magnetometrów których działanie oparte jest na zjawisku rezonansu magnetycznego. Działanie tych urządzeń oparte jest na pomiarze częstotliwości precesji, (zwanej częstotliwością Larmora), momentu magnetycznego, (na ogół jądrowego), cząstki elementarnej atomu, głównie jądra atomowego a w szczególności protonu, w mierzonym polu magnetycznym, przy czym częstotliwość ta jest proporcjonalna do natężenia pola magnetycznego, w którym umieszczona jest wyżej wymieniona cząstka podatomowa.

Jeżeli oznaczmy literą H — natężenie (w gaussach) pola magnetycznego, które ma być pomierzone, w którym umieszcza się cząstkę podatomową, γ — stosunek żyromagnetyczny tej cząstki (istnienie ściśle określonego stosunku γ oznacza, że moment kinetyczny, czyli spin, a więc i moment magnetyczny cząstki różnią się od zera) i F_0 — częstotliwość precesji lub Larmora (w hercach), możemy zastosować wzór

$$2\pi F_0 = H$$

(1)

2

Stosunek żyromagnetyczny γ (w gaussach na sekundę) z dużą dokładnością jest znany dla licznych jąder atomowych, w szczególności znany jest stosunek żyromagnetyczny protonu w wodzie od-
tlenionej z dokładnością do 10^{-8} i równa się on 26751,3 gaussów/sek.

Promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwości F spolaryzowane jest kołowo, przy czym rezonans pojawia się jako ruch obrotowy całkowitego momentu magnetycznego dookoła kierunku pola magnetycznego.

Wirujące pole promieniowania elektromagnetycznego wykrywa się przy pomocy co najmniej jednej cewki otaczającej cząstkę podatomową, w której wirujące pole wytwarza zmienne napięcie elektryczne.

Z powyższego wynika, że jeżeli cewka znajduje się na pokładzie ruchomym posiadającym pewną chwilową prędkość kątową ω obrotu dookoła kierunku pola magnetycznego, to cewka ta również obraca się z tą prędkością kątową, a częstotliwość napięcia zmiennego, które wywołane jest w cewce wskutek rezonansu magnetycznego, już nie będzie odpowiadała wyżej wymienionemu wzorowi (1), który odpowiada absolutnej rotacji całkowitego momentu magnetycznego w stosunku do stałego układu odniesienia, lecz odpowiadać będzie względnej rotacji tego momentu odniesionego do układu odniesienia połączonego z pokładem ruchomym, a więc i do cewki.

Innymi słowami, według prawa składania prędkości kątowych, otrzymuje się, oznaczając literą f częstotliwość w przypadku obracania się z prędkością kątową chwilową, wzór 2

$$2\Pi f = \gamma H - \omega \quad (2)$$

Jeżeli pragnie się w szczególności z dużą dokładnością pomierzyć słabe pole magnetyczne, takie jak ziemskie pole magnetyczne, i jego zmiany, przy pomocy znanego magnetometru z rezonansem magnetycznym, to wynik pomiaru jest błędny, ponieważ pomija się wpływ ω stosując wzór (1). Jak jednak wiadomo ω może zmieniać się w dość znacznych granicach podczas dokonywania pomiaru z pokładu samolotu, statku kosmicznego lub innych pojazdów obracających się dookoła osi pola magnetycznego. Dokonanie korekty ω jest trudne z uwagi na jej zmienne wartości, co jest bezpośrednią przyczyną błędnego pomiaru wartości H , a przede wszystkim jego zmian.

Badania magnetyczne oraz poszukiwania geofizyczne substancji mineralnych oparte na zmianach H , mogą być błędne przy pominięciu wpływu ω .

W patencie głównym opisano magnetometr, który zapobiega tym wyżej wymienionym niedogodnościom, przy czym magnetometr ten zawiera cząstki podatomowe z momentami magnetycznymi i kinetycznymi różnymi od zera, układy, które powodują wzbudzenie i detekcję rezonansu magnetycznego, oraz urządzenia do pomiaru częstotliwości wykrywanego sygnału. Cechą wyróżniającą ten magnetometr jest to, że cząstki, których rezonans wykrywa się są dwojakiego rodzaju, posiadają różne wartości stosunkowo wyżej wymienionych momentów, oraz że zawiera on urządzenie do pomiaru różnicy algebraicznej dwóch częstotliwości rezonansu magnetycznego, przy czym każda z częstotliwości posiada znak stosunku wyżej wymienionych odpowiednich momentów.

Oznaczając przez f' i f'' i przez γ' i γ'' wartości f i γ dla obu rodzajów cząstek, które są na przykład złożone z protonów, dla których γ' jest dodatnie i jądra fluoru, dla których γ'' jest również dodatnie lecz mniejsze od γ' , to równanie (2) można napisać w następujący sposób dla obu jąder:

$$2\Pi f' = \gamma' H - \omega \quad (3)$$

$$2\Pi f'' = \gamma'' H - \omega \quad (4)$$

Oznaczając literą f''' różnicę częstotliwości f' i f'' , uzyskuje się równanie:

$$2\Pi f''' = 2\Pi f' - 2\Pi f'' = (\gamma' - \gamma'') H = GH \quad (5)$$

gdzie G oznacza różnicę $\gamma' - \gamma''$ przy założeniu, że γ' jest większe od γ'' . Ponieważ z dużą dokładnością znane są wartości γ' i γ'' , więc znana jest również wartość G .

Równanie (5) zastępuje więc równanie (1) z tą korzyścią, że częstotliwość f''' jest ściśle proporcjonalna do H , nawet gdy magnetometr wiruje dookoła kierunku H z prędkością ω .

W przypadku gdy γ' i γ'' nie są tego samego znaku, na przykład γ' dodatnie, a γ'' ujemne, równanie (3) pozostaje prawdziwe, podczas gdy rów-

nania (4) i (5) zastąpione są następującymi równaniami:

$$2\Pi f''' = \omega - \gamma'' H \quad (4a)$$

$$2\Pi (f' + f'') = (\gamma' - \gamma'') H = GH \quad (5a)$$

określając w tych wszystkich przypadkach G jako różnicą algebraiczną tych dwóch stosunków żyromagnetycznych.

Odpowiednimi parami cząstek podatomowych, które mogą być zastosowane w przedmiocie wynalazku objętego patentem głównym, są protony i jądra fluoru, protony i jądra fosforu, protony i jądra helu 3, przy czym wszystkie te jądra mają stosunki żyromagnetyczne dodatnie, za wyjątkiem helu 3, który ma ujemny stosunek żyromagnetyczny.

W patencie głównym również wskazano na korzystny przykład wykonania wynalazku (co jest prawdziwe zwłaszcza dla obu pierwszych par), stosując proces polaryzacji dynamicznej przez pompowanie elektronowe, co stanowi przedmiot francuskiego patentu nr 1174136, zgłoszony 6 kwietnia 1957 r., to znaczy, że wykorzystuje się próbki płynu zawierające rozpuszczony (w rozpuszczalniku posiadającym wyżej wymienione jądra-protony, jądra fluoru, jądra fosforu), rodnik paramagnetyczny, który zawiera jeden elektron niesparowany, przy czym nasycenie prądką rezonansu magnetycznego powiększa natężenie sygnału jądrowego. Natomiast każdy z czynników magnetometru wykonany jest najkorzystniej według patentu głównego w postaci oscylatora spinnowego typu opisanego we francuskim patencie nr 1351587 z dnia 28 grudnia 1962 r.

Przedmiotem niniejszego wynalazku jest magnetometr zawierający pojedynczą głowicę pomiarową, w której za pomocą wzajemnego sprzężenia uzyskuje się mieszanie częstotliwości f' i f'' .

Magnetometr według wynalazku jest zespolony z podwójnym naczynkiem, w którym każda z komór zawiera zestaw cząstek podatomowych, ze stosunkami żyromagnetycznymi, różnymi dla obu zestawów, cewkę nawiniętą dookoła każdej komory, przy czym cewki te posiadają sprzężenie wzajemne i połączone są każdą do zacisków wejściowych wzmacniacza prawie liniowego z dużym wzmocnieniem.

Zaciski wyjściowe każdego wzmacniacza połączone są z cewką ustawioną swą osią prostopadle do osi cewki połączonej z zaciskami wejściowymi tego samego wzmacniacza, detektor połączony do wyjścia jednego ze wzmacniaczy, filtr połączony do wyjścia wymienionego detektora i urządzenia do pomiaru częstotliwości napięcia na wyjściu wyżej wymienionego filtru, ewentualnie wzmocnionego, przy czym częstotliwość ta jest ściśle proporcjonalna do natężenia pola magnetycznego w strefie gdzie znajduje się naczynko podwójne.

W korzystnym przykładzie wykonania, każda komora napełniona jest roztworem, który zawiera rozpuszczalnik złożony z wyżej wymienionych cząstek podatomowych i w nim rozpuszczony paramagnetyczny rodnik wolny posiadający odchyłkę nadsobtelną (to znaczy stosunkowo wysoką

częstotliwość rezonansową w polu magnetycznym zerowym) i sprzężenie dipolowe pomiędzy spinami elektronów niesparowanych rodnika wolnego i spinami jąder atomowych rozpuszczalnika. Nasylenie prążka rezonansu elektronowego takiego rodnika na skutek efektu Overhausera i Abragama zwiększa natężenie sygnału, przy częstotliwości Larmora jąder atomowych, przy czym magnetometr zawiera układy przeznaczone do nasycenia tego prążka rezonansowego w obu komorach.

Wynalazek dotyczy również częstościomierza w zakresie uzyskania dokładnych pomiarów przy niskich częstotliwościach, rzędu stu herców, jakie wytwarza magnetometr według wynalazku. W tym celu, częstościomierz magnetometru zawiera urządzenie do kształtowania sygnału niskiej częstotliwości, urządzenie do odliczania z tego ukształtowanego sygnału impulsy jednokierunkowe tej samej częstotliwości co tworzony sygnał, urządzenie do zasilania impulsami kalibrowanymi posiadające częstotliwość znacznie większą od częstotliwości sygnału niskiej częstotliwości, układ przełącznikowy przepuszczający kalibrowane sygnały, dzielnik częstotliwości, do którego połączone jest wyjście układu przełącznikowego, przerywacz z dwoma wejściami, z których jedno otrzymuje wyżej wymienione impulsy jednokierunkowe wynikające z sygnału ukształtowanego, a drugie impulsy sterownicze odliczone z wyjścia tego dzielnika, oraz jedno wyjście, które zasilane jest od chwili gdy jego pierwsze wejście zasilane jest impulsem jednokierunkowym aż do chwili zasilania jego drugiego wejścia impulsem sterowniczym, przy czym wyjście odblokowuje układ przełącznikowy, oraz urządzenie całkujące impuls z wyjścia dzielnika.

Magnetometr według wynalazku przeznaczony jest przede wszystkim do pomiaru z pokładu samolotu, zmian ziemskiego pola magnetycznego, przez co stanowi on w tym przypadku magnetovariometr.

Magnetometr według wynalazku jest dokładnie wyjaśniony na podstawie jego przykładu wykonania uwidocznionego na załączonym rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schematycznie głowicę magnetometru wyposażoną w udoskonalenia według wynalazku, a fig. 2 przedstawia przykład wykonania częstościomierza niskiej częstotliwości, zwłaszcza do pomiaru częstotliwości generowanej przez głowicę magnetometru z fig. 1.

Magnetometr przedstawiony na fig. 1 zawiera podwójne naczynie 1 z komorami 1a, 1b, z których każda zawiera roztwór 2a, 2b składający się z rozpuszczalnika zawierającego jądra atomowe z momentem magnetycznym i z momentem kinetycznym różnym od zera, a więc posiadający stosunek żyromagnetyczny dokładnie określony odpowiednio przez γ' i γ'' oraz rozpuszczony w tym rozpuszczalniku, wolny rodnik paramagnetyczny posiadający odchyłkę nadształtną (to znaczy częstotliwość rezonansu w polu magnetycznym zerowym) oraz sprzężenie dipolowe pomiędzy spinami elektronów niesparowanych wolnego rodnika i spinami jąder atomowych rozpuszczalnika,

przy czym nasycenie prążka rezonansu elektronowego takiego rodnika powiększa wskutek efektu Overhausera i Abragama natężenie sygnału, przy częstotliwości Larmora jąder atomowych. Najkorzystniej jest gdy jądra te posiadają bardzo mały moment kwadrupolowy.

Tytułem przykładu komora 1a zawiera roztwór zawierający $\frac{1}{750}$ mola $\text{NO}[\text{C}(\text{CH}_3)_3]_2$ - dwu-trze-

ciorzędowego-butylo-tlenku azotu, w jednym litrze roztworu składającego się z 50% wody i 50% acetonu, natomiast komora 1b zawiera ten sam związek, w tej samej proporcji znajdujący się w rozpuszczalniku stanowiącym sześćfluorobenzen C_6F_6 .

Prążek rezonansu elektronowego przy 68,8 MHz tlenku dwu-III-rzęd. butyloaminy w obu komórkach 1a, 1b nasyca się przy pomocy generatora wielkiej częstotliwości 3 pracującego na 68,8 MHz i cewki 4 (ściślej dwóch cewek szeregowych) zasilanej przez generator 3 wytwarzający w naczyniu 1 pole magnetyczne o częstotliwości 68,8 MHz.

Dookoła każdej komory 1a, 1b nawinięta jest cewka 5a, 5b, przy czym obie cewki są identyczne i nawinięte według tej samej osi, tak, aby mogły one indukować, jedna w drugiej strumienie przeciwnie.

Każda z cewek 5a, 5b połączona jest z zaciskami wejściowymi 6a, 6b wzmacniacza 7a, 7b który nie zniekształca fazy. Wzmacniacz ten najkorzystniej stanowi wzmacniacz selektywny wąskopasmowy, odpowiednio nastrojony na f' i f'' . W tym przypadku, selektywność obwodu rezonansowego, złożonego z cewek 5a, 5b i kondensatorów 8a, 8b, w układzie równoległym z cewką na zaciskach wejściowych 6a, 6b wzmacniacza 7a, 7b, w dużej mierze eliminuje szumy, a tym samym zwiększa stosunek sygnału do szumu na wyjściu 11a, 11b wzmacniacza 7a, 7b. Wzmacniacz ten ma wzmocnienie rzędu 70 decybeli i przekazuje moc poprzez potencjometr 9a, 9b do podwójnej cewki 10a, 10b,

Osie cewek 5a, 5b i 10a, 10b są do siebie prostopadłe, w celu odsprężenia każdego układu cewek 5a, 10a i 5b, 10b, przy czym pozostałość sprzężenia zredukowana jest do minimum potencjometrami 9a, 9b.

Wskutek nasycenia prążka rezonansu elektronowego dwu-trzeciorzędowego-butylo-tlenku azotu przy 68,8 MHz, sygnał rezonansu magnetycznego protonów zawartych w roztworze wodnym 2a i jąder fluoru bezwodnego roztworu 2b, posiada w polu magnetycznym H, (które istnieje w strefie z naczyniem 1), natężenie wzmocnione efektem Overhausera i Abragama.

Sygnał częstotliwości jądrowej Larmora f' , f'' w każdej komorze 1a, 1b wykrywany jest urządzeniem oscylatorowym typu spinowego zawierającym cewki 5a, 10a oraz 5b, 10b.

W wyżej wymienionych warunkach odsprężenia tylko zjawisko rezonansu jądrowego może sprzęgać cewki 5a, 10a oraz 5b, 10b. Gdy cewka 5a, 5b jest źródłem zmiennej siły elektromotorycznej indukcji jądrowej przy częstotliwości Larmora, od-

powiadającej polu magnetycznemu H i odpowiedniemu stosunkowi żyromagnetycznemu γ' lub γ'' to siła elektromotoryczna jest wzmocniona wzmacniaczem 7a, 7b następnie przyłożona na cewkę 10a, 10b której pole magnetyczne zapewnia ciągłość tej siły elektromotorycznej, co zapewnia ciągłość oscylacji.

Można zatem powiedzieć, że każdy z układów 5a—7a—10a wraz z komorami 1a i 5b—7b—10b oraz z komorą 1b tworzą oscylator kwantowy odpowiadający klasycznemu oscylatorowi reakcyjnemu, w którym krzywa rezonansu jądrowego odgrywa rolę krzywej obwodu oscylującego w klasycznym oscylatorze, a sprzężenie występuje przy częstotliwości Larmora, w związku z czym oscylator kwantowy oscyluje przy tej częstotliwości. Z tego też powodu każdy wzmacniacz 7a, 7b podaje ze swojego wyjścia 11a, 11b napięcie przy częstotliwości Larmora dla protonów oraz jąder fluoru, to jest przy częstotliwości f' dla 7a i f'' dla 7b.

Zgodnie z wynalazkiem, cewki 5a i 5b są również indukcyjnie sprzężone między sobą, a między oboma oscylatorami o sprzężeniu spinowym uzyskuje się pulsację przez co na wyjściu 11a, 11b wzmacniacza 7a, 7b na przykład w punkcie 11, pojawia się częstotliwość pulsowania równa

$$f' - f'' = \frac{\gamma' - \gamma''}{2\pi} \cdot H$$

Powyższy pulsujący sygnał wykrywa się za pomocą detektora 12 zawierającego kondensator 13, diody półprzewodnikowe 14, 15 i opornik 16, przy czym dioda 15 przepuszcza tylko wyprostowaną wielkość prądu. Wyprostowany prąd filtruje się w filtrze 17 zawierającym dławik 18 i kondensatory 19a, 19b. Wyprostowane i przefiltrowane napięcie b, o częstotliwości $f' - f''$, które uzyskuje się w punkcie 20 zostaje następnie wzmocnione we wzmacniaczu 21, przy czym wyjście c wzmacniacza połączone jest z częstotłomierzem 22, na przykład takim jak przedstawiono na fig. 2.

W przykładzie wykonania cewki 5a, 5b zawierają każda 5000 zwojów z drutu nawojowego (w izolacji emaliowanej) średnicy 0,25 mm strojonych kondensatorami 8a i 8b na częstotliwości 1950 Hz dla cewki 5a i 1240 Hz dla cewki 5b w ziemskim polu magnetycznym rzędu 0,5 ersteda. Natomiast cewki 10a, 10b zawierają każda 200 zwojów o średnicy 0,30 mm. Ekran (nie przedstawiony na rysunku) ustawiony jest pomiędzy cewkami 4a i 5a — 5b i przepuszcza częstotliwość rzędu 1950 i 1240 Hz, lecz nie przepuszcza częstotliwości równej 68,8 MHz.

Sprzęgający kondensator 13 posiada pojemność 0,022 mikrofarada, natomiast kondensator 19a i 19b posiadają odpowiednio pojemność 0,5 mikrofarada i 0,1 mikrofarada; opornik upływowy 16 — 15 kilomów, cewka 18 ma 11,2 henrów, a diody 14 i 15 są diodami typu 17 P₂.

Wreszcie, wzmacniacz 21 jest wzmacniaczem z pasmem 50—150 Hz, co odpowiada zakresem pól magnetycznych zawartych między 0,25—0,75 ersteda, przy czym na wyjściu c przyłożone jest

do częstotłomierza 22 napięcie rzędu 2 wolt.

Na fig. 1 przedstawiono sygnał a uzyskany w punkcie 11, oraz sygnał b uzyskany w punkcie 20 (po wyprostowaniu i po przepuszczeniu przez filtr) oraz sygnał c wychodzący na wyjściu wzmacniacza 21.

Sygnał c posiada częstotliwość ściśle proporcjonalną do natężenia badanego pola magnetycznego zgodnie ze wzorem (5), w którym f'' jest właśnie częstotliwością tego sygnału. Częstotliwość ta zawarta jest pomiędzy 50—150 Hz, przy czym średnia wartość 100 Hz odpowiada średniemu natężeniu ziemskiego pola magnetycznego (0,5 ersteda). Tak niska częstotliwość (częstotliwość magnetometru protonowego jest rzędu 2100 Hz w ziemskim polu magnetycznym) ogranicza nieco bezwzględną dokładność magnetometru. Jednak najistotniejszym w poszukiwaniach geofizycznych lub innych pomiarach przy pomocy magnetovariometru umieszczonego na pokładzie lecącego obiektu, jest nie tyle pomiar natężenia ziemskiego pola magnetycznego z bezwzględną dużą dokładnością, ile pomiar zmian i anomalii tego pola ze stosunkowo wysoką dokładnością. Wynalazek umożliwia uzyskanie stałej czułości w zakresie pomiarów, to znaczy w pasmie pożytecznych częstotliwości (50—150 Hz), bez zakłóceń powodowanych obrotem głowicy pomiarowej.

Częstotłomierz przedstawiony na fig. 2 połączony z wyjściem wzmacniacza 21 mierzy małe częstotliwości w szerokim pasmie ze stałą czułością. Zawiera on układ 23, (korzystnie wykonany w postaci przerzutnika Schmidta), w celu ukształtowania sygnału niskiej częstotliwości c na ciąg prostokątnych impulsów d o tej samej częstotliwości f'' , urządzenie do odliczania z tego sygnału d impulsów jednokierunkowych e tej samej częstotliwości f'' co sygnał d, korzystnie wykonane w postaci układu różniczkującego 24 z kondensatorem 25 i opornikiem 26 i z diodami prostowniczymi 27—28, generator kalibrowanych impulsów k posiadających częstotliwość znacznie większą od częstotliwości f'' sygnału niskiej częstotliwości c, przy czym generator ten, na przykład może składać się z zegara 29 podającego sinusoidalny sygnał odniesienia m o częstotliwości F, oraz z przerzutnika Schmidta 30 do przekształcenia sinusoidalnego sygnału m w ciąg impulsów prostokątnych k; urządzenie przełącznikowe 31, zawierające zasadniczo dwa tranzystory 32 tworzące przerzutnik Schmidta, który przepuszcza sygnały kalibrowane k jako ciąg impulsów k' w czasie gdy jego wejście 33 jest zasilane; dzielnik częstotliwości 34 jest połączony do wyjścia 35 wyżej wymienionego urządzenia przełącznikowego, skąd otrzymuje ciąg impulsów k' nadając ciąg impulsów na swoim pierwszym wyjściu 36 oraz ciąg n' na drugim wyjściu 37; przerzutnik 38 ma dwa wejścia 39, 40, z których jedno 39 otrzymuje impulsy jednokierunkowe e, a drugie — 40 łączy się z wyjściem dzielnika 34, oraz jedno wyjście 41 zasilane od chwili pojawienia się pierwszego impulsu e na pierwszym wejściu 39, aż do chwili pojawienia się impulsu n' na jego

wejściu 40, (przy czym n'' stanowi różniczkowany sygnał n) przy czym wyjście 41, w czasie jego zasilania, odblokowuje urządzenie przełącznikowe 31; oraz urządzenia do całkowitego sygnału z wyjścia dzielnika 34, na przykład składające się z opornika 42 i kondensatora 43 dla wyjścia 36, oraz opornika 44 i kondensatora 45 dla dla wyjścia 37.

W przykładzie rozwiązania, częstotliwość f''' zawarta jest pomiędzy 50 a 150 Hz, średnio 100 Hz, przy czym częstotliwość F równa się 204,8 kHz, a dzielnik 34 jest dzielnikiem który dzieli przez 1024. W tych warunkach, dzielnik 34 liczy 1024 kalibrowanych impulsów k' przy częstotliwości 204,8 kHz, zaczynając od pierwszego impulsu e . Po odliczeniu 1024 impulsów k' , dzielnik 34 swym wyjściem 36 zmienia położenie równowagi przetrutnika 38, co w urządzeniu przełącznikowym 31 blokuje przekazywanie impulsów k aż do następnego impulsu e . W konsekwencji, dla każdego okresu ciągu impulsów e , a tym samym sygnału e , uzyskuje się ciąg impulsów n , którego długość jest ściśle stała (odpowiada ona 1024 okresom zegarowym). Całkując ten ciąg uzyskuje się stałe napięcie V_1 w punkcie 46, proporcjonalne do mierzonej częstotliwości f''' .

W celu zwiększania czułości i zmniejszenia szumów, które mogą być spowodowane zmianami napięcia zasilającego (zmiany amplitud sygnału n), pomiaru dokonuje się różnicowo, (odejmując napięcia V_1 i V_2) przy czym napięcie V_2 jest odbierane w punkcie 47 i odpowiada drugiemu wyjściu 37 dzielnika 34. Ten różnicowy pomiar ustala zero przy częstotliwości 100 Hz, ponieważ dzielnie przez 1024, w dzielniku 34, częstotliwość $F=204,8$ kHz daje częstotliwość 200 Hz, dokładnie podwójną w stosunku do średniej częstotliwości $f'''=100$ Hz. Dla tej średniej częstotliwości 100 Hz, oba sygnały n i n' mają ten sam czas trwania lecz przeciwne zwroty. Dla uzyskania takiego ustalenia zera, niezbędna jest stała częstotliwość podstawowa 204,8 KHz, którą uzyskuje się termostatyzowanym zegarem kwarcowym 29.

Częstościomierz według wynalazku pozwala uzyskać impuls n lub n' o stałej długości, jedynie przemieszczenie jego położenia w czasie może nastąpić w zależności od stosunku fazowego sygnału e i sygnału drgań zegarowych m . Przemieszczenie to charakteryzuje się sinusoidalnym napięciem o amplitudzie równej wartości określonej szerokością okresu sygnału odniesienia m ; wystarczy więc, aby stosunek $\frac{F}{f'''}$ był duży w porównaniu z częstotliwością zmiany badanego pola magnetycznego.

W przykładzie wykonania, poszczególne elementy mają następujące wartości; kondensator 25—470 pikofaradów, opornik 26 22 kiloomów, diody 27 i 28 o odpowiednich parametrach, kondensator 48 — 47 pikofaradów, opornik 49 — 100 kiloomów, (Zespół 48, 40 stanowiący układ różniczkujący przetwarza impulsy prostokątne k w impulsy robocze — tego samego kształtu co impulsy e lecz

o częstotliwości F' — urządzenia przełącznikowe 31), kondensator 50 — 47 pikofaradów, diody 51 o odpowiednich parametrach, opornik 52 — 22 kiloomów, opornik 56 — 56 kiloomów, oporniki 42 i 44 — 100 kiloomów, kondensatory 43 i 45 — 8 mikrofaraadów, diody prostownicze 53 o odpowiednich parametrach, kondensator 54 — 470 pikofaradów, opornik 55 — 22 kiloomów (zespół 54, 55, stanowiący układ różniczkujący przekształca sygnały prostokątne n w impulsy n'').

Obwód różniczkujący 50, 52 zapobiega (w przypadku odblokowania tranzystora 32) włączeniu układu liczącego zanim nadejdzie impuls odniesienia. Tranzystor ten, raz odblokowany, uzyskuje stan równowagi przez spadek potencjału jego kolektora poprzez oporność kolektora a przy braku tego obwodu różniczkowego 50, 52, skok napięcia wynikający z tego spadku potencjału mógłby spowodować włączenie dzielnika 34.

Uzyskana czułość jest równa 14 wolt przy 50 Hz, to znaczy 0.6 mV na jedną gamwę (1 gamma = 1×10^{-5} ersteda) i jest ona stała w zakresie 50—150 Hz, to znaczy przy zmianie natężenia pola magnetycznego pomiędzy 0,25 a 0,75 ersteda.

Jak wyżej wspomniano, dokonuje się odejmowania pomiędzy napięciami V_1 i V_2 , przy czym różnicę napięcia $V_1 - V_2$, po przefiltrowaniu żadanego zakresu, przy pomocy wzmacniacza (nie przedstawionego na rysunku) przykładą się do rejestratora, przy czym wzmacniacz dobiera się w zależności od rejestratora. Korzystnie dopasowuje się do wzmacniacza tłumik umożliwiający rozszerzenie skali zakresu rejestrowanego, na przykład 1; 2,5; 5; 10; 25 lub 50 gamma.

W ten sposób wykonuje się magnetometr z rezonansem magnetycznym, który posiada, w porównaniu do znanych magnetometrów tego samego rodzaju, wiele korzyści. Zalety te polegają przede wszystkim na tym, że wyniki pomiarów są niezależne od obrotów magnetometru w stosunku do kierunku badanego pola magnetycznego a czułość jego jest stała w całym zakresie natężeń pól magnetycznych, na który jest on nastawiony. Ponadto umożliwia on samoczynne zarejestrowanie zmian ziemskiego pola magnetycznego, przy czym czułość jego jest regulowana według kilku podzakresów.

Zastrzeżenia patentowe

1. Magnetometr z rezonansem magnetycznym przeznaczony, zwłaszcza do pomiaru zmian natężenia ziemskiego pola magnetycznego, zawierający, jak w patencie głównym 56309 dwa naczynka zawierające każde inny rodzaj cząstek podatomowych z momentami magnetycznymi i momentami kinetycznymi różnymi od zera, to znaczy z określonym stosunkiem żyromagnetycznym, przy czym stosunki żyromagnetyczne obu cząstek są różne, urządzenie do pobierania dwóch napięć, przy częstotliwości rezonansu magnetycznego, indukowanych precesją każdego z obu rodzajów cząstek w polu magnetycznym, w którym umieszczone są na-

- czynka, oraz urządzenie do pomiaru różnicy algebraicznej pomiędzy obu częstotliwościami wyżej wymienionego rezonansu magnetycznego, przy czym każda z tych częstotliwości posiada znak odpowiedniego stosunku żyromagnetycznego, według patentu Nr 56309 **znamienny** tym, że składa się z komór (1a, 1b) ustawionych bezpośrednio przy podwójnym naczyniu (1) a układ do pobierania obu napięć oraz urządzenie do pomiaru algebraicznej różnicy obu częstotliwości składają się z pary cewek (5a, 5b), nawiniętych — każda dookoła poszczególnej komory i ustawianych tak, aby — występowało sprzężenie wzajemne, pary wzmacniaczy (7a, 7b) o charakterystyce prawie liniowej o dużym stopniu wzmocnienia, których wejściowe pary zacisków (6a, 6b) połączone są każda do jednej z cewek (5a, 5b) i których zaciski wyjściowe (11a, 11b) połączone są do cewki (10a, 10b) ustawionej swą osią prostopadłe do osi cewki (5a, 5b) połączonej do zacisków wejściowych tego samego wzmacniacza, a ponadto detektora (12) połączonego do wyjścia (11a) jednego z wyżej wymienionych wzmacniaczy (7a) oraz filtru (17) połączonego do wyjścia wyżej wymienionego detektora i częstotliciemierza (22) połączonego do wyjścia (20) wyżej wymienionego filtru, ewentualnie poprzez wzmacniacz (21), a częstotliwość mierzona przez wymieniony częstotliciemierz jest ściśle proporcjonalna do natężenia pola magnetycznego w strefie, gdzie znajduje się ustawione naczynko podwójne (1).
2. Magnetometr według zastrz. 1, **znamienny** tym, że każda komora (1a, 1b) zawiera roztwór (2a, 2b), który składa się z rozpuszczalnika zawierającego cząstki podatomowe oraz paramagnetyczny rodnik wolny posiadający odchyłkę nadsubtelną to znaczy częstotliwość rezonansową w polu magnetycznym zerowym stosunko-

- wo wysoką oraz sprzężenie dipolowe pomiędzy spinami niesparowanych elektronów rodnika wolnego i spinami jąder atomowych rozpuszczalnika, przy czym nasycenie prążka elektronowego rezonansu takiego rodnika zwiększa wskutek efektu Overhausera-Abragama natężenie sygnału przy częstotliwości Larmora jąder atomowych, gdyż magnetometr zawiera urządzenie do nasycenia tego prążka rezonansowego w obu komorach (1a, 1b).
3. Magnetometr według zastrz. 1 i 2, **znamienny** tym, że częstotliciemierz (22) zawiera układ (23) kształtujący sygnał niskiej częstotliwości (c), połączony z układem (24) odliczającym z tego uformowanego sygnału (d) jednokierunkowe impulsy (e) o tej samej częstotliwości co formowany sygnał, oraz układy (29, 30) zasilające kalibrowanymi impulsami (k), posiadające częstotliwość znacznie większą niż częstotliwość sygnału niskiej częstotliwości, a ponadto urządzenie przełącznikowe (31) przepuszczające kalibrowane sygnały (k) przy stanie odblokowanym, oraz dzielnik częstotliwości (34) połączony do wyjścia (35) wymienionego urządzenia przełącznikowego, jak również przerzutnik (38) o dwóch wejściach (39), (40), z których na pierwsze wejście (39) podawane są jednokierunkowe impulsy (e) wynikające z uformowanego sygnału, a na drugie wejście (40) — impulsy sterownicze (n") odliczono z wyjścia wymienionego dzielnika, oraz jedno wyjście (41) zasilane w czasie gdy jego pierwsze wejście (39) zasilane jest impulsem jednokierunkowym (e) i aż do chwili zasilenia jego drugiego wejścia impulsem sterowniczym (n"), przy czym wymienione wyjście odblokowuje urządzenie przełącznikowe (31) w czasie gdy jest zasilane a ponadto zawiera opornik (42), kondensator (43), opornik (44) i kondensator (45) do całkowania impulsów z wyjścia dzielnika (34).

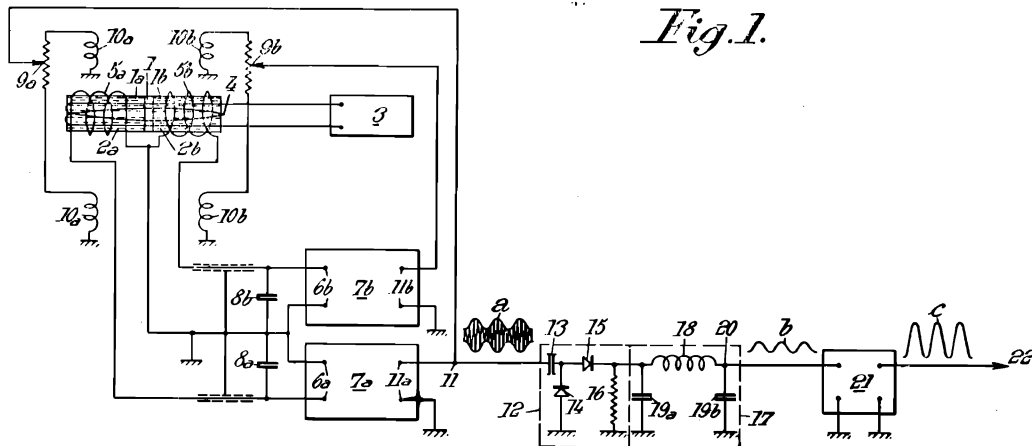


Fig. 1.

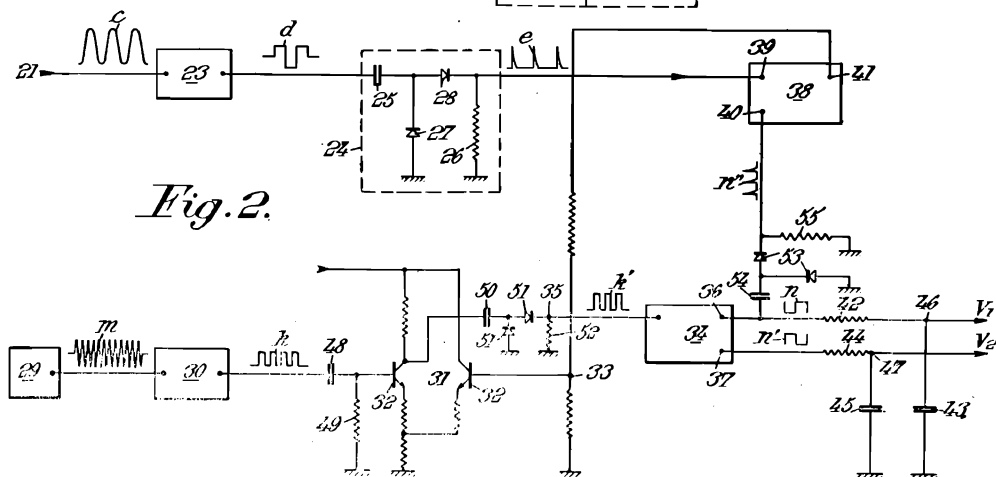


Fig. 2.