



URZĄD
PATENTOWY
PRL

OPIS PATENTOWY

57268

21e, 33/08

Patent dodatkowy
do patentu _____

Zgłoszono: 09.IV.1966 (P 113 971)

Pierwszeństwo: 22.IV.1965 Francja

Opublikowano: 30.VI.1969

Kl. 21 e, 12

MKP G 01 r

33/08

UKD

Twórca wynalazku: Antoine Salvi

Właściciel patentu: Commissariat a l'Energie Atomique, Paryż (Francja)

Magnetometr oscylacyjny z rezonansem magnetyczno-jądrowym o sprzężeniu spinowym

1

Przedmiotem wynalazku jest oscylacyjny magnetometr z rezonansem magnetyczno-jądrowym ze sprzężeniem spinowym, to znaczy z dwiema cewkami Blocha włączonymi do wejścia i wyjścia liniowego wzmacniacza i odsprężonych elektromagnetycznie. Wynalazek dotyczy zwłaszcza, lecz nie wyłącznie, magnetometrów wyżej wspomnianego rodzaju, które przeznaczone są do najdokładniejszych pomiarów słabych pól magnetycznych, z dokładnością większą od 10^{-5} ersteda, takich pól jak na przykład pole magnetyczne ziemskie (którego natężenie jest rzędu 0,5 ersteda), którego to pomiaru dokonuje się w szczególności z pokładu samolotu lub rakiety.

Celem wynalazku jest przede wszystkim wyeliminowanie wpływów na działanie tych magnetometrów pochodzących z zewnętrznych pól elektromagnetycznych, oraz pochodzących z szybkiego przemieszczenia się magnetometru w badanym polu magnetycznym.

Dotychczas magnetometr typu oscylacyjnego ze sprzężeniem spinowym zawierał dwie cewki Blocha nawinięte dookoła naczynia zawierającego próbkę materiału o właściwościach żyromagnetycznych, z których pierwsza połączona była do wejścia, a druga do wyjścia wzmacniacza prawie liniowego, który zasila również częstotściomierz, określający częstotliwość napięcia wyjściowego wzmacniacza, przy czym częstotliwość ta jest pro-

2

porcjonalna do natężenia pola magnetycznego, w którym umieszczone jest naczynko.

Przedmiotem wynalazku jest magnetometr zawierający parę naczyń, które z kolei zawierają 5 próbkę materiału o właściwościach żyromagnetycznych — wzmacniacz prawie liniowy, oraz dwie pary cewek, z których pierwsza połączona jest do wejścia a druga do wyjścia wyżej wymienionego wzmacniacza, przy czym dwie jed- 10 nej pary są mniej więcej podobne do siebie i nawinięte, według równoległych osi lecz w przeciwnych kierunkach, dookoła innego naczynka w taki sposób, że na wejściu wyżej wymienionego wzmacniacza siły elektromotoryczne indukowane 15 w obu cewkach połączonych do tego wejścia, poprzez magnetyczny rezonans jądrowy, dodają się, podczas gdy siły elektromagnetyczne, które mogłyby być indukowane w tych dwóch cewkach, zarówno przez ewentualne pola elektromagnetyczne 20 zewnętrzne jak przez ewentualne przemieszczenie magnetometru w badanym polu magnetycznym, przeciwstawiają się i znoszą. Częstotściomierz połączony jest również na wyjście wyżej wymienionego wzmacniacza.

25 Według pierwszej odmiany wykonywania, obie cewki nawinięte są dookoła wspólnego naczynka, przy czym jedna połączona jest do wejścia, a druga do wyjścia wzmacniacza. Cewki te są między sobą odsprężone i ustawione osiami prostopadle 30 do siebie. Obie próbki posiadające płyn zawiera-

3 jący rozpuszczalnik z jądrami atomowymi z momentem magnetycznym i momentem kinetycznym różnym od zera, a więc o określonych stosunkach żyromagnetycznych, rozpuszczoną w tym rozpuszczalniku substancję paramagnetyczną, zwłaszcza jon lub rodnik wolny z elektronem niesparowanym, posiadający co najmniej jeden prążek elektronowego rezonansu nasycanego w polu elektromagnetycznym o częstotliwości różnej od zera nawet w polu magnetycznym dążącym do zera. Omawiane wykonanie posiada również układy przeznaczone do wytwarzania tego pola elektromagnetycznego o częstotliwości elektronowego rezonansu dla nasycenia prążka w obu próbkach.

Według drugiej odmiany wykonania, obie cewki nawinięte są dookoła wspólnego naczynka i równolegle ustawione według swoich osi. Współczynniki sprzężenia są przeciwne dla obu próbek o jądram atomowych z określonym stosunkiem żyromagnetycznym i z rozpuszczoną substancją paramagnetyczną. Zespół tych dwóch próbek, prawie identycznych lub różniących się (lecz zawierających wtedy te same jądra atomowe w rozpuszczalniku) zawiera dwa prążki elektronowego rezonansu, z częstotliwościami różniącymi się lub z tą samą częstotliwością. Nasycenie jednego z prążków, powoduje przyrost absorpcji energii przy jądrowej częstotliwości rezonansowej tych jąder atomowych, podczas gdy nasycenie drugiego prążka powoduje wzmożoną emisję energii przy tej jądrowej częstotliwości rezonansowej. Odmiana ta posiada również układy przeznaczone do wytwarzania w każdej próbce elektromagnetycznego pola o częstotliwości prążka elektronowego rezonansu w celu nasycenia dla zespołu obu próbek obu prążków wyżej wymienionego rezonansu elektronowego.

Przedmiot wynalazku jest uwidoczniiony w przykładzie wykonania rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schematycznie znany oscylator ze sprzężeniem spinowym.

Figury 2 do 4 przedstawiają zastosowanie ulepszeń według wynalazku z oscylatorem ze sprzężeniem spinowym, przy czym figura 2 przedstawia przykład wykonania ze skrzyżowanymi cewkami nawiniętymi dookoła każdego naczynka, podczas gdy figury 3 i 4 przedstawiają dwa przykłady wykonania z cewkami równoległymi, nawiniętymi dookoła każdego naczynka. Figura 5, przedstawia przekrój poprzez głowicę pomiarową z cewkami równoległymi.

Obecnie zostanie opisane działanie znanych magnetometrów z oscylatorem spinowym według fig. 1.

Oscylator taki opisany jest na przykład w patencie francuskim nr 1351587 i zawiera w szczególności dwie cewki Blocha 1 i 2, z których każda włączona jest odpowiednio do wejścia 3 i do wyjścia 4 liniowego wzmacniacza 5. Cewki 1 i 2, w możliwych granicach odsprężone elektromagnetycznie, przy czym kierunki X, Y ich osi są do siebie prostopadłe.

Cewki 1 i 2 nawinięte są dookoła naczynka 6 zawierającego próbkę płynu 12 składającego się z rozpuszczalnika zawierającego jądra atomowe

4 (zwłaszcza protony) z momentem magnetycznym i momentem kinetycznym różnym od zera, to znaczy ze stosunkiem żyromagnetycznym γ różnym od zera, przy czym częstotliwość rezonansowa tych jąder atomowych w magnetycznym polu o natężeniu H można wyrazić wzorem

$$f = \frac{\gamma}{2} H$$

10 Rozpuszczalnik ten zawiera ponadto substancję paramagnetyczną rozpuszczoną w tym rozpuszczalniku. Substancja ta zawierająca w swej drobnie elektron niesparowany o wzajemnym oddziaływaniu z jądrem atomowym wyżej wymienionych substancji na przykład w przypadku, gdy rodnik wolny zawiera nitrozodwusulfonian $\text{NO}(\text{SO}_3)_2$ istnieje sprzężenie bipolarne, jedyne, pomiędzy elektronowym spinem jonu NO i spinem jąder rozpuszczalnika, przy czym substancja 15 posiada prążek rezonansu elektronowego nasycanego częstotliwością różną od zera w polu magnetycznym zerowym.

Generator zawiera również układy do nasycania tego prążka, składające się z generatora 25 wysokiej częstotliwości 7 o częstotliwości prążka (rzędu 55 MHz w przykładzie nitrozodwusulfonianu) oraz z cewki 8 zasilanej przez ten generator i zanurzonej w płynnej próbce 12 wewnątrz naczynka 6. Dla przejrzystości na figurze 1, cewki 30 2 i 8 przedstawiono oddzielnie.

Pomiędzy cewką 8 zanurzoną w naczynku 6 oraz cewką 1 i 2 nawiniętymi na zewnątrz naczynka 6, umieszcza się ekran elektromagnetyczny (nie przedstawiony na rysunku), przy czym 35 ekran ten nie ekranuje dla częstotliwości rezonansu jądrowego a ekranuje dla częstotliwości rezonansu elektronowego.

Kondensator 9 jest przyłączony na zaciski cewki 1, w celu stworzenia z nią obwodu rezonansowego strojonego na częstotliwości rezonansu 40 jądrowego f o małym współczynniku dobroci lub przepięcia Q (rzędu 5) w celu zredukowania dudnienia które nastąpiłoby w przypadku jeżeli Q miałoby wyższą wartość.

45 Częstościomierz 10 jest przyłączony do wyjścia 4 wzmacniacza 5 dla pomiaru częstotliwości rezonansu jądrowego lub częstotliwości Larmora f, przy czym częstościomierz może być wyskalowany bezpośrednio w jednostkach natężenia pola mag-

50 netycznego, ponieważ $H = \frac{2Hf}{\gamma}$

Podczas działania, nasycenie prążka rezonansu elektronowego wytwarza inwersję spinów jądrowych w próbce naczynka 6, stąd następuje wzmożona emisja energii dla częstotliwości rezonansu jądrowego przez spiny jądrowe powracające do 55 niższego poziomu. Ta wzmożona emisja wyraża się momentem skracającym dla częstotliwości rezonansu jądrowego (około 200 Hz dla protonu 60 w ziemskim polu magnetycznym), który wytwarza sprzężenie m pomiędzy cewkami 1 i 2 (normalnie są odsprężone) dla tej częstotliwości.

W ten sposób, wytwarza się generator reakcyjny w którym krzywa rezonansu jądrowego stosunkowo spiczasta (ponieważ prążki rezonansu jądrowo-

wego są wąskie) odgrywa tę samą rolę co krzywa rezonansowa obwodu drgającego w klasycznym generatorze reakcyjnym, przy czym warunek synchronizmu, a więc i rzeczywistego działania, polega na tym, że wzmocnienie wzmacniacza 5 musi przekroczyć ustalony próg obliczony dla każdego generatora ze sprzężeniem spinowym (pod uwagę należy brać fakt, że część energii generatora pobierana jest w miejscu 11 dla zasilania częstotściomierza 10).

Taki magnetometr daje, w zasadzie, dobre wyniki, lecz jego pomiary, choć dokładne są zakłócone, ponieważ cewka 1 zawiera liczne zwoje (na przykład 6000 zwojów), dwoma zjawiskami. Cewka 1 przedstawia dla zewnętrznych pól elektromagnetycznych znaczną powierzchnię i z tego powodu, indukują one w cewce zakłócające siły elektromotoryczne które dodają się do siły elektromotorycznej rezonansu jądrowego o słabej amplitudzie (rzędu 50 μV na zaciskach cewki 1); ponieważ wzmacniacz 5 nie jest dokładnie liniowy, przekształca on napięcie wejściowe w napięcie modulowane częstotliwościowo, bowiem brak liniowości wprowadza na wyjściu wzmacniacza częstotliwości (harmoniczne) nie podane na wejściu, tak że ostatecznie w miejscu 11 pojawiają się dudnienia, których częstotściomierz 10 nie może wyeliminować.

Strumień magnetyczny przecinany przez cewkę 1, w czasie przemieszczenia magnetometru (gdy na przykład znajduje się on na pokładzie samolotu) indukują w niej siłę elektromotoryczną w paśmie częstotliwości obwodu rezonansowego 1, 9, stąd pojawienie się szumów na wyjściu wzmacniacza 5, a więc i na wejściu 11 częstotściomierza 10, przy czym szumy te mogą być utożsamione przez częstotściomierz jako zmiany pola magnetycznego o wartość rzędu 10^{-5} ersteda.

Te dwa zjawiska ograniczają dokładność magnetometru z oscylatorem spinowym przedstawionym na figurze 1, który jednak w przypadku braku zewnętrznego pola elektromagnetycznego i szybkich przemieszczeń daje poprawne wyniki.

Wszystkich wyżej wymienionych niedogodności pozbawiony jest magnetometr według wynalazku który składa się z pary naczyń 6a, 6b (przedstawionych na figurze 3) z których każde zawiera próbkę 12a, 12b o właściwościach żyromagnetycznych, wzmacniacz prawie liniowy 5, (przedstawiony tylko na figurach 2 i 3), dwie pary cewek z których pierwsza 1a—1b, jest przyłączona do wejścia 3 i druga 2a—2b, do wyjścia 4 wyżej wymienionego wzmacniacza 5.

Obie cewki jednej pary są prawie identyczne między sobą i nawinięte według osi X_a — X_b , Y_a — Y_b równolegle, lecz w przeciwnych kierunkach, dookoła naczynka 6, dzięki czemu na wejściu 3 wzmacniacza 5 siły elektromotoryczne indukowane w obu cewkach 1a, 1b (włączonych do tego wejścia) przez rezonans jądrowy, dodają się, podczas gdy siły elektromotoryczne, które mogą być indukowane w tych dwóch cewkach 1a, 1b tak przez przypadkowe zewnętrzne pola elektromagnetyczne jak i przypadkowe przemieszczenie

magnetometru w badanym polu magnetycznym, przeciwstawiają się i znoszą się.

Ponadto magnetometr składa się z częstotściomierza 10 (nie przedstawionego na fig. 4), który również włączony jest do wyjścia wzmacniacza 5 dla pomiaru częstotliwości napięcia dostarczanego przez ten wzmacniacz, które to napięcie jest ściśle proporcjonalne do natężenia pola magnetycznego, w którym umieszczona jest para naczyń 6a—6b.

Wynalazek dotyczy nie tylko generatorów ze sprzężeniem spinowym z cewkami włączonymi do wejścia i wyjścia wzmacniacza „skrzyżowanymi”, to znaczy że ich osie są do siebie prostopadłe, lecz również generatorów z cewkami równoległymi.

Według pierwszej odmiany wykonania, obie cewki 1a—2a lub 1b—2b nawinięte dookoła tego samego naczynka są skrzyżowane, osie X_a , Y_a i X_b , Y_b są do siebie prostopadłe tak jak pokazano na fig. 2 natomiast według drugiej odmiany wykonania, cewki 1a—2a lub 1b—2b nawinięte są dookoła tego samego naczynka, a tym samym wszystkie cztery cewki są równoległe, tak jak pokazano na fig. 3 i 4. Na fig. 2 przedstawiono kondensator 9, który tworzy z cewkami 1a, 1b obwód rezonansowy nastrojony na częstotliwość rezonansu jądrowego, oraz wzmacniacz 5, na którego wejściu 3, w szereg, połączone są cewki 1a i 1b oraz, do jednego z zacisków wyjściowych 4, za pośrednictwem regulowanych potencjometrów 13a i 13b, są połączone cewki 2a i 2b, których punkty środkowe 14a, 14b są uziemione, przy czym masa stanowi drugi zacisk wyjścia. Jako 10 oznaczono częstotściomierz.

Na wstępie reguluje się potencjometry 13a i 13b tak, aby przy braku pola magnetycznego, zostało dokonane jak najdokładniej odsprężenie pomiędzy skrzyżowanymi cewkami 1a i 2a oraz skrzyżowanymi cewkami 1b i 2b.

W chwili braku pola magnetycznego (cewki 1a, 1b sąsiadujące są równoległe, mniej więcej podobne do siebie i przeciwnie nawinięte — ich osie X_a i X_b są przeciwrównoległe), przypadkowe pole elektromagnetyczne lub przecinany strumień wynikły z ewentualnego przemieszczenia magnetometru, wzbudzą w każdej cewce 1a i 1b siły elektromotoryczne które przeciwstawiają się i znoszą się. Eliminuje się w ten sposób wszystkie indukowane szumy zakłócające tak, że generator nie zasila częstotściomierza 10.

Natomiast, w obecności magnetycznego pola o natężeniu H , nastąpi sprzężenie pomiędzy cewkami 1a, 2a, z jednej strony oraz 1b, 2b z drugiej

strony, przy częstotliwości $f = \frac{\gamma}{2} H$, gdzie γ

jest stosunkiem żyromagnetycznym jąder atomowych, zakładając że są one te same, dla rozpuszczalnika tych dwóch próbek. Wzbudzące cewki 2a, 2b mają osie Y_a , Y_b przeciwrównoległe, dzięki czemu nastąpi przesunięcie fazowe pomiędzy siłami elektromotorycznymi indukcji jądrowej. Ponieważ cewki 1a, 1b również mają przeciwrównoległe osie X_a , X_b to nastąpi drugie przesunięcie fazowe w obwodzie cewek 1a, 1b, przy czym indukowane przez rezonans jądrowy siły elektromotoryczne w tych dwóch cewkach 1a, 1b

dodają się na zaciskach kondensatora 9 i wzmacniacza 5.

Na wejściu 3 wzmacniacza 5, uzyskuje się ten sam sygnał rezonansu jądrowego przy częstotliwości f , w układzie na figurze 2 z dwoma cewkami jak w układzie fig. 1 z jedną, jedyną cewką lecz w układzie z fig. 2 wyeliminowano sygnały zakłócające.

Przy pomocy tego magnetometru pomierzono — (z cewkami 1a, 1b każda po 3000 zwojów i cewkami 2a, 2b każda po 100 zwojów oraz z próbką zawierającą wodny roztwór odtleniony nitrozodwusulfonianu $\text{NO}(\text{SO}_3)_2$ który posiada prążek rezonansu elektronowego na 55 MHz lub odtleniony wodny roztwór dwu-trzeciorzędowego-butylu-tlenku azotu o wzorze $\text{NO}[\text{C}(\text{CH}_3)_2]_2$, który posiada prążek rezonansu elektronowego na 72,5 MHz) — zmiany pola ziemskiego z dokładnością większą niż $1 \cdot 10^{-6}$ ersteda, przy czym magnetometr umieszczony był na pokładzie samolotu.

Omówione generatory ze sprzężeniem spinowym o skrzyżowanych cewkach (fig. 1 i 2) mają cewki wzbudzające lub zasilające 1, 1a—1b oraz cewki odbiorcze lub pomiarowe 2, 2a—2b prawie dokładnie odsprężone.

Jedną z korzyści, takiego odsprężenia stanowi możliwość pracy jądrowego generatora drgań w szerokim paśmie częstotliwości, ponieważ współczynnik przebiegu lub dobroci Q obwodu rezonansowego 1, 9 lub 1a—1b, 9 może być mały, stąd małe dudnienie.

Natomiast, użycie cewek krzyżowych wprowadza dwie osie zabronione (osie cewek) zamiast jednej osi zabronionej magnetometrów typu maserowego z polaryzacją dynamiczną.

O ile obecność osi zabronionej, na ogół nie jest szkodliwa dla magnetometru stałego, znajdującego się na ziemi (gdy kierunek badanego pola elektromagnetycznego jest prawie stały), lub w przypadku układu magneto-wariometru znajdującego się na pokładzie samolotu, którego ruch nie powoduje przecinania się jednej z osi zabronionej z osią kierunku pola magnetycznego, o tyle będzie ono szkodliwe dla samolotu lecącego bez zachowania odpowiednich warunków na przykład przy standardowym zakręcie (360° w ciągu 2-ch minut) podczas którego samolot nachyla magnetometr o około 25° , przez co wszystkie pomiary stają się wątpliwe, gdyż nachylenia te dodają się do nachyleń ziemskiego pola magnetycznego.

Dlatego też, w praktyce pomiarów dokonywanych z pokładu samolotu, stabilizuje się głowicę pomiarową (naczynko lub naczynia oraz cewki) według osi pionowej (tak aby zabronione osie cewek były poziome).

Według drugiej odmiany wykonania przedstawionej na fig. 3 i 4 z cewkami o osiach równoległych, w tym przypadku istnieje tylko jedna oś zabroniona to jest oś cewek. Wystarczy wtedy aby na pokładzie samolotu, oś zabroniona była równoległa do osi wzdłużnej samolotu.

W układzie przedstawionym na fig. 3, cewki 1a, 1b usytuowane są jak w przykładzie wykonania fig. 2 z ich osiami równoległymi, lecz zorientowaniem w przeciwnych kierunkach, co przez kom-

pensację eliminuje (jak w przykładzie fig. 2) siły elektromotoryczne indukowane w tych cewkach przez zewnętrzne pole elektromagnetyczne lub przez przemieszczenia magnetometru. Natomiast cewki wzbudzające 2a, 2b usytuowane są szeregowo z ich osiami w tym samym kierunku co osie 1a, 1b. Obie cewki 2a i 1a z jednej strony, oraz 2b i 1b z drugiej strony, nie będące naturalnie odsprężone, powodują, że ich współczynnik sprzężenia przez indukcję wzajemną ma pomiędzy cewkami 2a i 1a oraz mb pomiędzy cewkami 2b i 1b, byłyby do siebie przeciwne to jest $mb = -ma$. Zniesienie indukowanych sił elektromotorycznych na zaciskach wejścia 3 wzmacniacza 5 jest dokonywane przy pomocy potencjometru 13.

Aby siły elektromotoryczne pochodzenia jądrowego, indukowane w obu cewkach odbiorczych 1a, 1b dodawały się na zaciskach wejściowych 3 wzmacniacza 5, konieczne jest (i wystarczające) aby wypadkowe makroskopowe momentów magnetycznych zespołu jąder atomowych obu próbek były w przeciwnych fazach, ponieważ obie cewki 1a i 1b nawinięte są w przeciwnych kierunkach, natomiast sprzężenia cewek pomiędzy cewkami 1a, 2a, 1b, 2b, narzucone są układem konstrukcyjnym.

Przeciwstawienie tych dwóch składowych makroskopowych uzyskuje się za pomocą działania, w obu próbkach, dwóch prążków rezonansu elektronowego (o częstotliwościach różnych lub mniej więcej podobnych) rozpuszczonej substancji paramagnetycznej, tak że nasycenie jednej z nich w próbce 12a, przy pomocy generatora wysokiej częstotliwości 7a i cewki 8a (przedstawionej jako jeden zwoj) połączonej do tego generatora i zanurzonej w próbce 12a, wytwarza składową makroskopową w pierwszym kierunku, podczas gdy nasycenie drugiego prążka w próbce 12b przy pomocy generatora 7b i cewki 8b (również przedstawionej jako jeden zwoj) połączonej do tego generatora 7b i zanurzonej w próbce 12b, wytwarza składową makroskopową w drugim kierunku, przeciwnym do pierwszego.

Innymi słowy, nasycenie jednego z prążków rezonansu elektronowego musi spowodować wzrost natężenia absorpcji energii dla częstotliwości tego prążka, podczas gdy nasycenie drugiego prążka rezonansu elektronowego musi spowodować wzmożoną emisję energii (na skutek inwersji spinów jądrowych wynikających z inwersji spinów elektronowych i sprzężenia pomiędzy tymi dwoma rodzajami spinów) dla częstotliwości tego drugiego prążka.

W tym celu, możemy najpierw wybrać tę samą substancję paramagnetyczną dla obu próbek 12a, 12b, przy czym substancja ta składa się z rodnika wolnego zawierającego dwa prążki rezonansu elektronowego, z których jeden, przez nasycenie, daje emisję energii, a drugi absorpcję energii. W tym przypadku, dwa generatory wysokiej częstotliwości 7a, 7b pracują na różnych częstotliwościach. Tak jest na przykład dla nitrozodwusulfonianu, który zawiera dwa prążki, dla 53,5 i 55,9 MHz w polu ziemskim, a np. dwu-

-trzeciorzędowy-butylo-tlenek azotu zawiera dwa prążki dla 69,4 i 72 MHz w polu ziemskim.

Można również zastosować dwie substancje paramagnetyczne, dla których ta sama częstotliwość wzbudza dwa prążki elektronowe przeciwne (jeden prążek z każdej substancji). W tym przypadku, wystarczy tylko jeden generator wysokiej częstotliwości do zasilania obu cewek umieszczonych w naczynkach 6a i 6b celem wzbudzenia obu prążków rezonansu przy tej samej częstotliwości. Odpowiedni przyrząd wykrywa właśnie parę rodników paramagnetycznych odpowiadających temu warunkowi. Przykładowo dwu-trzeciorzędowy-butylo-tlenek azotu rozpuszczony był w rozpuszczalniku składającym się (objętościowo) z 50% wody i z 50% acetonu a trójacetoamina tlenku azotu $\text{NO}[\text{C}(\text{CH}_3)_2-\text{CH}_2]_2\text{CO}$ rozpuszczona była w rozpuszczalniku złożonym z siedmiu części wody i trzech części glikolu etylenowego.

Pole wielkiej częstotliwości o 68,5 MHz nasycza prążek niższego rezonansu elektronowego pierwszego rodnika (skąd przyrost absorpcji energii), a dla drugiego, nasycza prążek wyższego rezonansu elektronowego (skąd wzmożona emisja energii).

W obu przypadkach, zamiast obu cewek wzbudzających umieszczonych w naczynkach 6a, 6b można zastosować dwie wnęki współosiowe wypełnione odpowiednio dwoma próbkami.

Inna odpowiednia para rodników paramagnetycznych, składa się z wyżej wymienionej trójacetoaminy tlenku azotu oraz substancji o wzorze $\text{NO}[\text{C}(\text{CH}_3)_2\text{CH}_2\text{C}=\text{NOH}]$.

Figura 4 przedstawia elektryczny schemat doprowadzenia sygnału od jednego lub dwóch rodników paramagnetycznych. Na tej zredukowanej figurze odnajdujemy cewki 1a i 2a z współczynnikami sprzężenia m_a , cewki 1b i 2b ze współczynnikami sprzężenia $m_b = -m_a$, oraz strojeniowy kondensator 9; cztery opory $13_1 = 1/2r$, $13_2 = 1/2r$, $13_3 = R_0$ i $13_4 = R$ (zmienne) zastępują potencjometr 13a, przy czym kondensator 14 zawęza wstęgę rezonansu w układzie.

Na figurze 5, przedstawiono głowicę pomiarową o małych wymiarach zawierającą osiowe cewki, tak jak na figurze 4.

Na fig. 5 użyto tych samych oznaczeń liczbowych jak na innych figurach dla oznaczenia tych samych elementów.

Głowica pomiarowa umieszczona jest w obudowie 15 nie stanowiącej ekranu dla badanego pola magnetycznego. Zawiera ona podwójne naczynko z dwoma przedziałami 6a, 6b dla obu próbek 12a, 12b z których każda zawiera 1/1600 mola trójacetoaminy tlenku azotu w 1 litrze wody i 1/800 mola związku $\text{NO}[\text{C}(\text{CH}_3)_2]_2$ w 1 litrze roztworu składającego się z 50% objętości wody i 50% objętości acetonu.

Nasycenie prążków lub pasm rezonansu elektronowego dla 68,5 MHz dla obu próbek dokonuje się przy pomocy kilku zwojów 8 zasilanych z generatora 7 (nie przedstawiony) poprzez osiowy kabel 16 z przewodnikami 16a i 16b.

Dookoła przedziałów lub naczyń 6a, 6b ustawiane są, z jednej strony, cewki 1a, 1b do pobierania napięcia przy częstotliwości rezonansu jądrowego,

przy czym cewki te połączone są w szereg pomiędzy zaciskami kondensatora 9 (nie przedstawiony) poprzez przewód 17 i, z drugiej strony, cewki 2a, 2b są połączone równolegle, pomiędzy masą i zespołem oporników 13 z fig. 4, poprzez przewód 18. Na przykład, cewki 1a i 1b mogą zawierać 4000 zwojów o średnicy 30/100 mm, natomiast cewki 2a, 2b około 250 zwojów o średnicy 30/100 mm.

W ten sposób konstruuje się magnetometr z rezonansem magnetycznym, który posiada, w porównaniu ze znanymi magnetometrami typu oscylującego z sprzężeniem spinowym, wiele korzyści, zwłaszcza następujące.

Przedewszystkim umożliwia on dokonania pomiarów słabych pól magnetycznych, na przykład jak ziemskie pola magnetyczne, z dużą dokładnością, zarówno w pomiarach stałych, jak i na pokładzie samolotu, rakiety lub urządzeń kosmicznych.

Wskazania magnetometru nie zależą od jego przemieszczania się, ani też nie zależą od zewnętrznych pól magnetycznych.

Zastrzeżenia patentowe

1. Magnetometr oscylacyjny z rezonansem magnetyczno-jądrowym o sprzężeniu spinowym zawierający wzmacniacz prawie liniowy, częstotściomierz połączony do wyjścia wymienionego wzmacniacza i układ cewek połączonych, bądź do wejścia, bądź do wyjścia wzmacniacza, przy czym w stanie normalnym cewki są między sobą odsprężone, lecz sprężone są one przy pomocy cząstek materialnych, o właściwościach żyromagnetycznych, **znamienny tym**, że zawiera dwa naczynka (6a, 6b) z których każde zawiera próbkę (12a, 12b) cząsteczek o właściwościach żyromagnetycznych, przy czym wyżej wymieniony układ cewek zawiera dwie pary cewek z których pierwsza para (1a, 1b) połączona jest do wejścia (3) wzmacniacza, a druga para (2a, 2b) do wyjścia przy czym obie cewki (1a, 1b, 2a, 2b) tej samej pary będące mniej więcej takie same są nawinięte, według równoległych osi (Xa, Xb, Ya, Yb), lecz o przeciwnych zwrotach, dookoła naczyń (6a, 6b) w taki sposób, że na wejściu (3) wzmacniacza (5) siły elektromotoryczne indukowane w obu cewkach (1a, 1b) połączonych do wejścia (3) jądrowym rezonansem magnetycznym dodają się, natomiast te siły elektromotoryczne, które mogą być indukowane w tych samych cewkach (1a, 1b), przez ewentualne przemieszczanie magnetometru w badanym polu magnetycznym, — przeciwstawiają się i znoszą się.
2. Magnetometr według zastrz. 1, **znamienny tym**, że obie cewki (1a, 1b; 2a, 2b) nawinięte dookoła tego samego naczynka (6a, 6b) z których jedna jest połączona do wejścia (3) a druga do wyjścia (4) wzmacniacza (5), będące normalnie między sobą w stanie odsprężonym, ustawione są osiami (Xa, Xb; Ya, Yb) prostopadle do siebie przy czym obie próbki (12a, 12b) zawierają taki sam dla każdej próbki rozpuszczalnik z jądrami atomowymi, z magnetycz-

nym i kinetycznym momentem różnym od zera, to znaczy z określonym stosunkiem żyromagnetycznym oraz rozpuszczoną w tym rozpuszczalniku, taką samą substancję paramagnetyczną posiadającą co najmniej jeden próbek rezonansu elektronowego nasycany polem magnetycznym o częstotliwości różnej od zera, nawet w polu magnetycznym dążącym do zera, przy czym zawiera on generatory wysokiej częstotliwości (7a, 7b) oraz cewki (8a) i (8b) dla wywoływania pola elektromagnetycznego o częstotliwości rezonansu elektronowego celem nasycenia wyżej wymienionego prążka w obu próbkach.

3. Magnetometr według zastrz. 1, **znamienny tym**, że obie cewki (1a, 2a; 1b, 2b) nawinięte dookoła tego samego naczynka (6a, 6b) ustawiane są swoimi osiami (Xa, Xb; Ya, Yb) równolegle, przy czym współczynniki sprzężenia są względem siebie przeciwne dla obu próbek (12a, 12b), zawierających ten sam dla obu próbek rozpuszczalnik z jądrami atomowymi o magnetycznym i kinetycznym momencie różnym od zera, a więc o określonym stosunku żyromagnetycznym, i rozpuszczoną w tym rozpuszczalniku, substancję paramagnetyczną posiadającą co najmniej jeden prążek rezonansu elektronowego nasycanego w polu elektromagnetycznym o częstotliwości różnej od zera, nawet dla pola magnetycznego dążącego do zera, przy czym nasycenie jednego z wyżej wymienionych prążków rezonansu elektronowego wywołuje przyrost absorpcji energii przy częstotliwości rezonansu jądrowego wyżej wspom-

nianych jąder atomowych, natomiast nasycenie drugiego prążka rezonansu elektronowego przy tej samej częstotliwości, lub przy częstotliwości różnej od tej dla prążka pierwszego — wywołuje wzmożoną emisję energii przy powyższej częstotliwości rezonansu jądrowego, i że zawiera generatory wysokiej częstotliwości (7a), (7b) oraz cewki (8a), (8b) dla wywoływania w każdej próbce (12a, 12b) pola elektromagnetycznego przy częstotliwości prążka rezonansu elektronowego, celem uzyskania obu wyżej wymienionych prążków rezonansu elektronowego, w zespole tych dwóch próbek.

4. Magnetometr według zastrz. 2 i 3, **znamienny tym**, że wyżej wymieniona substancja paramagnetyczna zawiera jony lub rodniki wolne z elektronami niesparowanymi.
5. Magnetometr według zastrz. 4, **znamienny tym**, że obie próbki wykonane są z roztworu zawierającego dwu-trzecziorzędowy-butylo-tlenek azotu w rozpuszczalniku zawierającym około 35% acetonu i 65% wody, przy czym uzyskuje się dwa prążki rezonansu elektronowego o częstotliwościach 69,4 i 72 MHz.
6. Magnetometr według zastrz. 4, **znamienny tym**, że jedna z próbek zawiera dwu-trzecziorzędowy-butylo-tlenek azotu rozpuszczony w rozpuszczalniku zawierającym około 50% wody i 50% acetonu, podczas gdy druga próbka zawiera trójacetoaminę tlenku azotu rozpuszczoną w rozpuszczalniku zawierającym około siedem części wody oraz trzy części glikolu etylenowego, przy czym oba prążki mają mniej więcej tę samą częstotliwość 68,5 MHz.

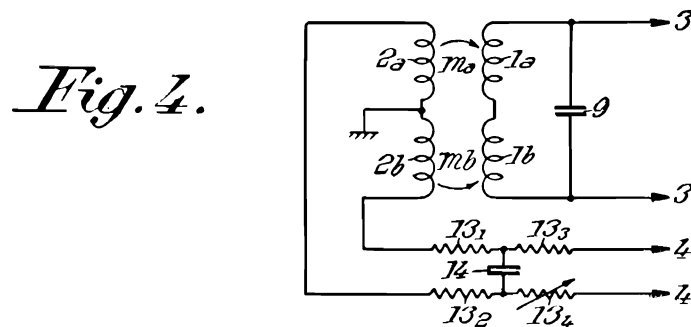
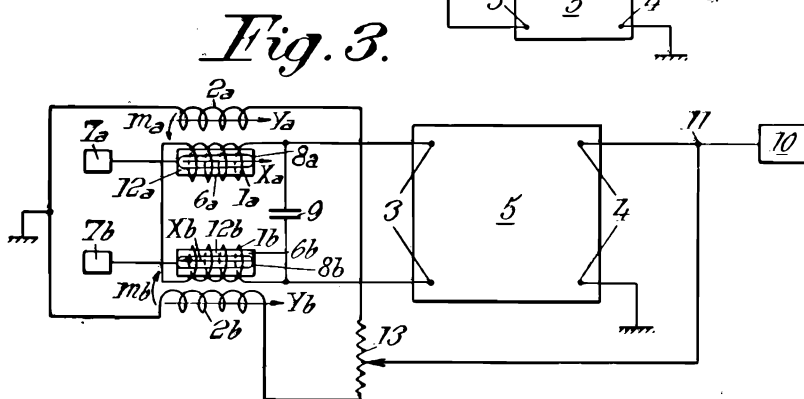
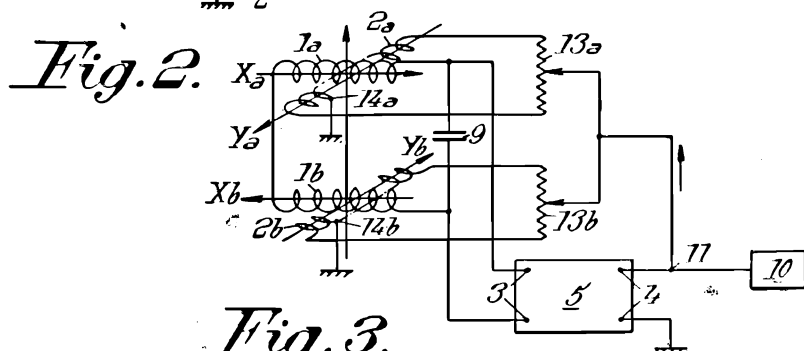
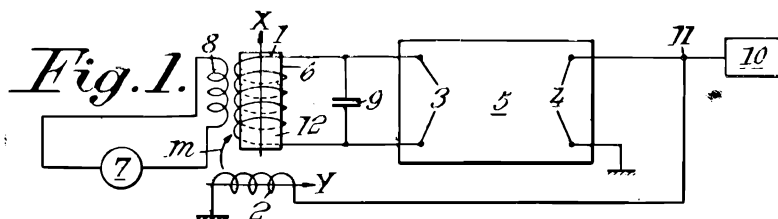


Fig. 5.