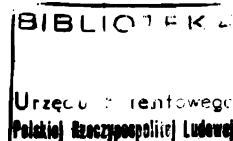


G01 33/00



POLSKIEJ RZECZYPOSPOLITEJ LUDOWEJ

OPIS PATENTOWY

Nr 44875

Kl. 42 c, 43

Commissariat à l'Energie Atomique

Paryż, Francja

Sposób mierzenia pól magnetycznych i urządzenie do stosowania tego sposobu

Patent dodatkowy do patentu nr 44461

Patent trwa od dnia 26 stycznia 1960 r.

Pierwszeństwo: 30 stycznia 1959 r. (Francja).

W patencie głównym nr 44461 został opisany sposób i urządzenie do mierzenia pól magnetycznych nawet o bardzo małym natężeniu, a zwłaszcza do mierzenia pól magnetycznych ziemskich, korzystające z wzorca ciekłego, utworzonego z roztworu zawierającego, z jednej strony w rozpuszczalniku, jądra atomów (a w szczególności protony lub jądra wodoru) mające różny od zera moment kinetyczny (spin) i różny od zera moment magnetyczny, a z drugiej strony substancje paramagnetyczne w stanie rozpuszczonym w tym rozpuszczalniku o budowie typu stałego lub związanego tzn. zawierającego co najmniej jeden elektron bez pary w konfiguracji S w stosunku do jądra wspomnianej substancji (również o różnym od zera momencie kinetycznym i o różnym od zera momencie magnetycznym) i mający wąskie,

różne od zera widmo rezonansu elektronowego, nawet w polu o natężeniu zerowym.

Mierzenie pól magnetycznych, nawet o małym natężeniu, jest możliwe za pomocą takiego wzorca dlatego, że częstotliwość rezonansu jądrowego (nazywana również częstotliwością Larmora) jąder rozpuszczalnika jest dokładnie proporcjonalna do natężenia pola magnetycznego, w którym jest umieszczony wzorec oraz, że gdy do roztworu tego rodzaju substancji paramagnetycznych zastosuje się intensywne pola magnetyczne o częstotliwości rezonansu elektronowego wspomnianej substancji paramagnetycznej, to uzyska się wzrost polaryzacji jądrowej rozpuszczalnika (utworzonego na przykład z takiej cieczy jak woda zawierająca protony), to znaczy wzrost impulsu makroskopowego rezonansu jądrowego tego rozpuszczal-

nika, przy czym impuls ten jest wykrywalny w obwodzie dającym się nastrajać na częstotliwość jądrową, przy czym częstotliwość nastrajenia jest proporcjonalna do pola magnetycznego, w którym jest umieszczony wzorec.

Po nasyceniu pasm rezonansu elektronowego wzorec absorbuje lub emituje energie o częstotliwości rezonansu jądrowego jąder rozpuszczalnika ale o natężeniu zwiększonym przez ciągle lub dynamiczne przenoszenie energii spinów elektronowych do spinów jądrowych (określając przez spin cząsteczkę lub część atomu mającą różny od zera moment magnetyczny i różny od zera moment kinetyczny) i powodując to co możnaby nazwać „polaryzacją dynamiczną” tzn. ciąglą. W przypadku pola magnetycznego o małym natężeniu, takiego jak pole magnetyczne ziemskie (rzędu 0,5 gaussa) obserwowane zwiększenia polaryzacji jąder atomowych rozpuszczalnika jest spowodowane tym, że nie związany elektron paramagnetyczny jest zależny, nie tylko od zewnętrznego pola magnetycznego o małym natężeniu, ale również od pola wytworzonego przez moment magnetyczny jądra wspomnianej substancji paramagnetycznej, z którym jest on sprzężony przez swoją budowę.

W patencie głównym zostało podane, że przy zrealizowaniu warunków dotyczących znaku momentu magnetycznego, to uzyskuje się z jąder atomowych rozpuszczalnika emisję energii o częstotliwości ich rezonansu jądrowego, zamiast zwykłego absorbowania energii. Na fig. 4 i 5 patentu głównego uwidoczniono urządzenie, pozwalające na mierzenie bez żadnego zakłócenia natężenia pól magnetycznych (zwłaszcza ziemskich pól magnetycznych). Urządzenie to oparte na tego rodzaju spontanicznej emisji energii, zawiera zasadniczo elementy do nasycania częstotliwości rezonansu elektronowego roztworu, elementy do gromadzenia energii emitowanej przez wspomniany roztwór z częstotliwością rezonansu jądrowego jąder rozpuszczalnika oraz elementy do mierzenia częstotliwości w ten sposób zgromadzonej energii, przy czym jak to było podane wyżej, częstotliwość ta jest ściśle proporcjonalna do natężenia pola magnetycznego, w którym jest umieszczony roztwór, a współczynnik proporcjonalności jest znany z bardzo dużą dokładnością. Z literatury wynika, iż częstotliwości rezonansu jądrowego (lub Larmera) w megacyklach są znane dla pól o natężeniu 10000 gausów.

Zgodne z patentem głównym urządzenie do pomiaru pól magnetycznych, stosujące spontaniczną emisję energii o częstotliwości proporcjonalnej do pola magnetycznego za pomocą roztworu zawierającego z jednej strony jądra atomowe o różnym od zera momencie kinetycznym i różnym od zera momencie magnetycznym, a z drugiej strony przytoczoną wyżej substancję paramagnetyczną, składa się z:

1) naczynia zawierającego wymieniony wyżej roztwór, którym może być na przykład: roztwór wodny nitrozodwusulfonianu (nazywanego również dwusulfonianem nadtlenolaminy) potasowy lub sodowy, roztwór benzenowy (lub roztwór w innym rozpuszczalniku organicznym) dwufenyloolikrynianu hydrazyny, roztwór benzenowy pikrynianu aminokarbazyli lub roztwór wodny jonów izochinonu takiego jak ($O=C_6H_4-O$).

2) obwodu wysokiej częstotliwości do nasycania widma rezonansu elektronowego wspomnianej substancji paramagnetycznej, przy czym obwód ten jest nastrójony na częstotliwość wspomnianego widma (55 MHz dla nitrozodwusulfoninu w polu o natężeniu zerowym lub bardzo słabym) i zawiera z jednej strony cewkę wysokiej częstotliwości, otaczającą wspomniane naczynie w celu uzyskania nasycenia wspomnianego widma i kondensator zmienny, a z drugiej strony oscylator takiej samej wysokiej częstotliwości, do zasilania wspomnianej cewki,

3) obwodu niskiej częstotliwości do pobierania energii emitowanej przez roztwór o częstotliwości rezonansu jądrowego rozpuszczalnika (około 2100 Hz dla protonów wody w polu magnetycznym ziemskim), obwodu, który zawiera cewkę niskiej częstotliwości, pobierającą wspomnianą energię i kondensator zmienny, nastawiony na wymienioną częstotliwość i mający bardzo wysoki współczynnik przepięcia lub jakości Q aby mógł w ten sposób działać, jako autooscylator.

4. Urządzenie pomiarowe (na przykład typu licznika dekadowego) o częstotliwości drgań obwodu niskiej częstotliwości, przy czym częstotliwość ta jest ściśle proporcjonalna do natężenia pola magnetycznego, w którym jest umieszczone naczynie.

Rzeczywisty wzrost impulsu rezonansu jądrowego przez polaryzację dynamiczną, stosującą zmieniające znak pole o wysokiej częstotliwości dla nasycenia widma rezonansu elektronowego wspomnianego wzorca, jako za-

lecaną w patencie głównym, jest często (a zwłaszcza w przypadku pól magnetycznych o małym natężeniu) niższy od wzrostu teoretycznego, a to ze względów opisanych poniżej.

Natomiast zwiększony wzrost rzeczywistego impulsu rezonansu jądrowego można urzeczywistnić przez nasycanie widma rezonansu elektronowego za pomocą pola polaryzowanego kołowo, tzn. pola wirującego w płaszczyźnie wyraźnie prostopadłej do wektora pola magnetycznego w elemencie objętości, w którym jest umieszczony wzorzec.

Celem wynalazku jest sposób mierzenia pól magnetycznych polegający według patentu głównego na umieszczeniu w przeznaczonym do mierzenia polu magnetycznym wzorca, który obejmuje z jednej strony rozpuszczalnik, zawierający jądra atomowe o różnym od zera momencie magnetycznym i różnym od zera momencie kinetycznym a z drugiej strony rozpuszczoną w tym rozpuszczalniku substancję paramagnetyczną o budowie niewrażliwej na wąskie widma rezonansu elektronowego i przeznaczoną do określania częstotliwości emitowanej energii przez rezonans jądrowy wywołany przez wspomniane jądra atomowe w wymienionym polu magnetycznym, gdy co najmniej jedno z tych widm nasyci się przez pole o wysokiej częstotliwości aż do częstotliwości rezonansu tego widma, odznacza się tym, że nasycenie to realizuje się za pomocą pola o wysokiej częstotliwości, wirującego w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny wspomnianego pola magnetycznego o częstotliwości rezonansu tego widma.

Wynalazek dotyczy również urządzenia do mierzenia pól magnetycznych, które stosuje wymieniony wyżej sposób, a zgodnie z patentem głównym składa się z naczyń, które zamyka w sobie wymieniony wzorzec, z elementów do nasycania co najmniej jednego z wymienionych widm rezonansu elektronowego, z elementów do pobierania energii emitowanej pod wpływem tego nasycania elementów do mierzenia częstotliwości wspomnianej energii, a odznacza się tym, że wspomniane elementy do nasycania wymienionego widma są utworzone z elementów do wytwarzania pola, wirującego w płaszczyźnie prostopadłej do wspomnianego pola magnetycznego i o częstotliwości równej częstotliwości wymienionego widma rezonansu elektronowego.

Wymienione elementy do wytwarzania wirującego pola w najkorzystniejszym przykładzie

wykonania według wynalazku składają się z cewki pierwotnej i cewki wtórnej, których osie tworzą z kierunkiem wspomnianego pola magnetycznego trójskian o trzech kątach prostych z oscylatora drgającego z częstotliwością wymienionego widma rezonansu elektronowego i z elementów do wywoływania, począwszy od wspomnianego oscylatora, pierwotnego i wtórnego prądu, przesuniętych w fazie względem siebie o 90° i do doprowadzania pierwotnego prądu do pierwszej cewki, a wtórnego prądu — do drugiej cewki.

Dzięki tym udoskonaleniom uzyskuje się: dodatkowy wzrost skutecznego natężenia impulsu rezonansu jądrowego, wzrost stosunku impulsu do poziomu szumów, zwiększoną dokładność, bardziej ustalone działanie autooscylatora, większą płaskość dostrajania działania do autooscylatora oraz wyeliminowanie przewidywanej w patencie głównym konieczności uciekania się do reakcji dodatniej (albo do dodatkowej cewki o wysokim współczynniku jakości) lub przepięcia w celu zwiększenia współczynnika jakości obwodu o małej częstotliwości w którym zjawia się impuls rezonansu jądrowego.

Urządzenie według wynalazku jest stateczne i bardzo dokładne, umożliwiające dokładne mierzenie nawet bardzo słabych pól o natężeniu równym lub mniejszym od 0,2 gaussa.

Na rysunku jest uwidoczniony przykład wykonania wynalazku.

Fig. 1 przedstawia krzywe ilustrujące zmianę odkładanych na osi rzędnych poziomów energetycznych, w funkcji pola magnetycznego, odkładanego na osi odciętych, w przypadku roztworu wodnego substancji paramagnetycznej, fig. 2 przedstawia schematycznie urządzenia według wynalazku do mierzenia pola magnetycznego przy pomocy rezonansu jądrowego, fig. 3 przedstawia obwody wielkiej częstotliwości, które w urządzeniu według fig. 2 wytwarzają pole wirujące, a fig. 4 wreszcie ilustruje inny sposób wykonania obwodów wielkiej częstotliwości, wytwarzających pola wirujące nasycania.

Fig. 1, która odtwarza fig. 2 z patentu głównego, przedstawia część krzywych E_a , E_b , E_c , E_d , E_f i E_g poziomów energetycznych, spowodowanych sprzężeniem spinu elektronowego $I' = \frac{1}{2}$ z spinem jądrowym $I = 1$ jonu nitrozodwusulfonianu.

Wiadomo, że jądro atomowe o kwantowej liczbie spinu I , w takim polu magnetycznym

jak $\vec{H}$, posiada $2I + 1$ wartości dla swych składowych, które można mierzyć. Pochodzi to stąd, iż według definicji spin I jest równy pomnożonej przez $\frac{1}{h/2\pi}$, obserwowanej wartości maksymalnej średniej czasowej składowej momentu kinetycznego $\vec{R}$ w danym kierunku, na przykład składowej pola magnetycznego $\vec{H}$, tzn. R_H , albo wzór dla wartości dopuszczalnych R_H ma postać $R_H = \frac{mh}{2\pi}$ gdzie m jest magnetyczną liczbą kwantową, która może przybierać wartości $I, I - 1, I - 2, \dots, -I + 1, -I$ to znaczy ogółem $2I + 1$ wartości. Ponieważ jest scharakteryzowany przez dwa niestale stany charakterystyczne, odpowiadające dwóm różnym wartościom m i które różniące się energią ΔE , układ może wykonywać przejście, z jednego stanu do drugiego, przez emisję lub absorbowanie fotonu, a więc jądro o spinie I , mające w polu magnetycznym $2I + 1$ stanów charakterystycznych, a zatem $2I + 1$ poziomów energetycznych może podlegać przejściom między tymi poziomami, przy czym przejścia te oczywiście powinny spełniać reguły selekcji kwantowej, które umożliwiają tylko niektóre przejścia (reguła selekcji kwantów magnetycznych przedstawia się w szczególności zależnością $\Delta m \pm 1$, tzn., że są dopuszczalne tylko przejścia zmieniające całkowitą liczbę m od -1 do $+1$), przy czym zmiana energii ΔE pomiędzy dwoma poziomami energetycznymi, pomiędzy którymi dozwolone jest przejście, jest dana przez wzór $\Delta E = \frac{mH}{I}$.

Z drugiej strony wiadomym jest, że wzajemne oddziaływania substancji o ustalonej budowie, na przykład paramagnetycznego jonu, przejawia się jako sprzężenia typu Russel — Saundersa, łączące wektor jądrowego momentu kinetycznego $\vec{R}$ z wektorem elektronowego momentu kinetycznego tzn. przez sprzężenie spinu jądrowego I ze spinem elektronowym I' . Każdy z $2I + 1$ poziomów energetycznych, odpowiadający spinowi jądrowemu jest zatem podzielony na $2I' + 1$ podpoziomów odpowiadających spinowi elektronowemu I' . Istnieje zatem $(2I + 1)(2I' + 1)$ poziomów energii. Gdy $I = 1$ dla jonu nitrozodwusulfonionu, a $I' = \frac{1}{2}$ (spin elektronu), to sprzężenie to da $3 \times 2 = 6$ poziomów energetycznych (albo war-

tości dozwolonych energii), przedstawianych przez krzywe od E_a do E_g na fig. 1, na której różnica DE poziomów energii dla zerowego pola magnetycznego została przyjęta jako jednostka dla energii, natomiast pola magnetyczne są podane w gausach. Przebieg tych krzywych jest taki sam dla innych substancji paramagnetycznych o budowie, odpowiedniej dla zastosowania w wynalazku.

Jak to było wyłożone w patencie głównym wzrost impulsu rezonansu jądrowego rozpuszczalnika (na przykład protonów wody) zostaje uzyskany przez nasycenie widma rezonansu elektronowego rodnika paramagnetycznego na przykład rodnika odpowiadającego przejściu a (fig. 1), które daje impuls rezonansu jądrowego (rozpuszczalnika) emisji tzn. dostarcza energii o częstotliwości rezonansu jądrowego. Praktycznie, w przypadku pól magnetycznych bardzo słabych (poniżej jednego gausa), a w szczególności ziemskiego pola magnetycznego (około 0,5 gausa, a przedstawianego pionową linią kreskową), zmiana poziomu energii odpowiadająca przejściu a nie różni się więcej od zmian poziomu energii w innych dozwolonych przejściach b, c i d jak tylko o energię, która jest rzędu energii jaka odpowiada szerokości widma elektronowego (na przykład widma odpowiadającego przejściu a).

Wynika więc z tego, że skoro nasycy się przejście a przez pole zmienne o wielkiej częstotliwości, to jednocześnie nasycy się co najmniej częściowo, przejścia b, c i (lub) d . Nasycenie niektórych innych przejść na przykład przejścia c i d w rozpatrywanym przypadku szczególnym, daje absorbcję energii dlatego, że impuls jądrowy wytworzony przez przejścia c i d jest przeciwnego znaku niż impuls wytworzony przez przejście a) a również i przejście b). W ten sposób wytwarza się częściowa kompensacja pomiędzy różnymi wzrostami impulsu jądrowego o znakach przeciwnych a impuls wypadkowy, na przykład w polu magnetycznym ziemskim, jest czasami rzędu dziesięciokrotnie mniejszego niż impuls jaki otrzymałoby się nasycając selektywnie tylko przejście a (lub przejście a i b , które dają impulsy jądrowe tego samego znaku).

Natomiast, gdy zgodnie z wynalazkiem, nasycanie zostaje realizowane tylko przez jedno pole wirujące w płaszczyźnie prostopadłej do pola magnetycznego, i o ile pole magnetyczne wiruje tylko w jednym kierunku, to nasycają się tylko widma (takie jak a, b), emitujące

energię, natomiast widma (takie jak c i d), dające absorbowanie energii, nasycaliby się tylko, gdyby pole wirowało w kierunku przeciwnym, przy czym tylko jedna ze składowych wirujących pola zmiennego bierze udział w nasycaniu poszczególnych składowych widma elektronowego.

Widoczne jest zatem, że można w ten sposób realizować nasycanie selektywne pojedynczych widm wytwarzających emisję energii, co zwiększa polaryzację jądrową obserwowaną mikroskopowo i ułatwia działanie urządzenia w autooscylatorze.

Na fig. 2 uwidocznione jest urządzenie według wynalazku. Urządzenie to składa się z ciekłego wzorca 1 na przykład roztworu wodnego itrozodwusulfonianu we wnętrzu naczynia 2 (na przykład ze szkła typu „Plexiglass”), które jest otaczane z jednej strony przez dwie cewki 3a, 3b dla doprowadzenia prądu wielkiej częstotliwości, przy czym osie cewek są wzajemnie prostopadłe i prostopadłe do mierzonego pola H, przy czym każda cewka jest utworzona z kilku zwoi stosunkowo grubego drutu na przykład o średnicy od dwudziestu do trzydziestu dziesiątych milimetra, a z drugiej strony przez cewkę 4 do gromadzenia energii o małej częstotliwości, która jest utworzona z wielu (na przykład około 3500) zwojów cienkiego drutu (na przykład o średnicy czterech dziesiątych milimetra) i która jest oddzielona od cewek wielkiej częstotliwości 3a i 3b za pomocą metalowego ekranu osłaniającego, połączonego z masą.

Cewki 3a i 3b stanowią część obwodu dostrójonego do częstotliwości rezonansu elektronowego wzorca 1, (55 MHz dla roztworu w wodzie jonów nitrozodwusulfonianu w słabym polu magnetycznym, takim jak pole ziemskie) albo na czułość ustanowioną, za pomocą kondensatorów 6a i 6b, ażeby nasycać selektywnie za pomocą obwodu widmo rezonansu elektronowego, na przykład takie jak oznaczone literą a na (fig. 1), odpowiadające emisji energii.

Cewka 4 tworzy również część obwodu dostrójonego za pomocą kondensatora zmiennego (nie uwidocznionego na rysunku) na częstotliwość rezonansu jądrowego jąder rozpuszczalnika (2100 Hz w ziemskim polu magnetycznym dla protonów wody służącej jako rozpuszczalnik) aby w ten sposób wywołać impuls rezonansu tych jąder.

Wspólny obwód wejściowy 7 prądu wielkiej częstotliwości, który jest połączony za pomocą

współosiowego kablem 8 ze stałym oscylatorem 8, na przykład oscylatorem kwarcowym o częstotliwości identycznej z częstotliwością rezonansu elektronowego, jest połączony za pomocą przewodników 10a i 10b z jednym z końców każdej cewki 6a i 6b, przy czym pozostałe końce każdej z tych cewek są połączone z masą, na przykład za pomocą wspólnego przewodnika 11 połączonego z ekranem 5 (połączonym z masą), przy czym jeden z końców cewki 4 jest również połączony z masą.

Obwód małej częstotliwości, odbierający impuls rezonansu magnetycznego za pomocą cewki 4, ma wysoki współczynnik przebiegu i współczynnik jakości Q, który można uzyskać według wynalazku bez specjalnego trudu. W uwidocznionym na rysunku przykładzie wykonania, zacisk wyjściowy 12 cewki wielkiej częstotliwości jest połączony współosiowym kablem 13, — najkorzystniej poprzez wzmacniacz wstępny 14 o reakcji dodatniej (na przykład typu opisanego w patencie głównym) i nastawny wzmacniacz 15 o wąskim paśmie przenoszenia (w celu uniknięcia wzmacniania impulsów pasywnych, wielkiej częstotliwości, nie tłumionych przez ekran oddzielających 5) — z licznikiem 16 utworzonym na przykład z czterech dekad (lub podziałek dziesiętnych), umożliwiającym liczenie 10^4 bądź 10000 okresów Larmora i emitującym po takiej liczbie impulsów do wyłącznika stopniowego 17 (utworzonego na przykład z multiwibratora), który wysyła wtedy impuls wyłączania i przedstawienia na zero.

Z drugiej strony zegar utworzony z klasycznego oscylatora kwarcowego 18 o częstotliwości 100 kHz dostarcza do układu 19, który na przykład przy pomocy ścinania wierzchołków i kolejnego wzmacniania (jak to jest na przykład podane w książce Fredericka E. Termiana („Electronic and Radio Engineering” 4 wydanie 1955 r. str. 637), przekształca fale sinusoidalną w impulsy prostokątne i dostarcza te impulsy albo sygnały o tej samej częstotliwości, co jedna tysięczną sekundy do licznika 20, utworzonego na przykład przez sześć dekad, który liczy impulsy zegara. Liczenie impulsów zegara w liczniku 20 zostaje zatrzymane po 10000 okresów Larmora za pomocą wyłącznika 17, który posyła impuls blokujący do każdego stopnia licznika 20, przy czym stan tego licznika (który przedstawia czas działania w 10^{-5} sek. 10000 okresów Larmora, bądź okres Larmora w 10^{-9} sek, który jest odwrotnie proporcjonalny do natężenia pola magnetycznego H_0),

jest przekazywany do przyrządu zapisującego 21 typu MECI.

Do urządzenia zapisującego 21 można przekazywać z korzyścią tylko stan dwóch kolejnych dekad licznika 20, przy czym wybranie przekazywanej pary dekad określa dokładność liczenia, na przykład jeśli wybierze się dwie pierwsze dekady, poczynając od strony prawej, to uzyskuje się dokładność maksymalną (0,1 gamma) a przez inne odpowiednie połączenia można uzyskać dokładność od 1 gamma do 10 gamma (jeden gamma odpowiada 10^{-5} gaussa).

Na fig. 3 i 4 przedstawiono dwa korzystne przykłady wykonania elementów dla uzyskiwania wirującego pola w płaszczyźnie prostopadłej do natężenia pola magnetycznego H_0 .

W przykładzie wykonania przedstawionym na fig. 3 odpowiadającym układowi według fig. 2, oscylator 9, który drga z częstotliwością rezonansu elektronowego (55 MHz dla pola ziemskiego), zasila za pomocą kabla współosiowego 8 dwa obwody drgające 3a—6a i 3b—6b których jeden koniec jest połączony przewodem 10a, 10b ze wspólnym wejściem 7, a drugi koniec każdego obwodu drgającego jest połączony z masą (na przykład w sposób uwidoczniiony na fig. 2, przez połączenie z ekranem 5 za pomocą przewodnika 11). W celu wytworzenia pola wirującego wystarczy nastawić kondensatory zmienne 6a i 6b na obydwie strony rezonansu, przy czym jeden z obwodów (na przykład obwód 3a—6a) drga z wyprzedzeniem $\frac{1}{8}$ okresu w odniesieniu do oscylatora 9, natomiast drugi obwód (na przykład 3b—6b) drga z opóźnieniem $\frac{1}{8}$ okresu względem oscylatora 9, przy czym zespół ten wytwarza w ten sposób pole polaryzowane o wielkiej częstotliwości, które wiruje w płaszczyźnie prostopadłej do wektora H_0 dlatego, że cewki 3a i 3b są ułożone w ten sposób, że osie ich są prostopadłe do siebie jak również do wektora H jak to jest przedstawione na fig. 3.

W odmianie przedstawionej na fig. 4, polaryzowanie kołowe pola nasycającego wielkiej częstotliwości jest uzyskiwane za pomocą dwóch współosiowych kabli 22a i 22b, których długości różnią się o wielkość która dla prędkości rozchodzenia się stosowanej wielkiej częstotliwości odpowiada $\frac{1}{4}$ okresu w sposób, umożliwiający uzyskanie przesunięcia fazowego o $\frac{1}{4}$ okresu pomiędzy prądami obydwóch obwodów drgających 23a i 23b dostrajanych na tę samą częstotliwość i składających się każdy z cewek 3a, 3b, umieszczonych w ten sposób, że osie ich są wzajemnie prostopadłe i prosto-

padłe do wektora H_0 oraz z kondensatorów zmiennych 24a, 24b umożliwiających dostrojenie tych obwodów (tak samo jak kondensatory 6a i 6b w przykładzie wykonania z fig. 2 i 3), natomiast kondensatory 25a, 25b umożliwiają pasowanie oporności pozornych układu.

Pewne elementy układu według fig. 2 mogą być wykonane w sposób przedstawiony w pa-tencie głównym.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób mierzenia pól magnetycznych według patentu nr 44461, polegający na umieszczeniu w przeznaczonym do mierzenia polu magnetycznym wzorca, który obejmuje z jednej strony rozpuszczalnik, zawierający jądra atomowe o różnym od zera momencie magnetycznym i różnym od zera momencie kinetycznym, a z drugiej strony rozpuszczoną w tym rozpuszczalniku substancję paramagnetyczną niewrażliwą na wąskie widma rezonansu elektronowego, przeznaczoną do określania częstotliwości emitowanej energii przez rezonans jądrowy wywołany przez jądra atomowe w wymienionym polu magnetycznym, gdy co najmniej jedno z tych widm nasycia się przez pole o wielkiej częstotliwości, aż do częstotliwości rezonansu tego widma, znamienny tym, że nasycenie to realizuje się za pomocą pola wielkiej częstotliwości wirującego w płaszczyźnie prostopadłej do płaszczyzny pola magnetycznego o częstotliwości rezonansu tego widma.
2. Urządzenie do mierzenia pól magnetycznych sposobem według zastrz. 1, składające się z naczynia, w którym zamknięty jest wymieniony wzorec, elementów do nasycania co najmniej jednego z wymienionych widm rezonansu elektronowego, elementów do pobierania energii emitowanej pod wpływem tego nasycania i z elementów do mierzenia częstotliwości wspomnianej energii, znamienny tym, że wspomniane elementy do nasycania wymienionego widma są utworzone z elementów do wytwarzania pola, wirującego w płaszczyźnie prostopadłej do wspomnianego pola magnetycznego i o częstotliwości równej częstotliwości wymienionego widma rezonansu elektronowego.
3. Urządzenie do mierzenia pól magnetycznych, według zastrz. 2, znamienny tym, że elementy do wytwarzania pola wirującego składają się z cewki pierwotnej i cewki

wtórnej (3a, 3b), których osie tworzą z kierunkiem pola magnetycznego (H_0) trójscian o trzech kątach prostych, z oscylatora 9 działającego z częstotliwością widma rezonansu elektronowego i z elementów, które wywołują przesunięcie fazowe między prądami pierwotnym i wtórnym obydwóch obwodów drgających o 90° , i służą do doprowadzania prądu pierwotnego do pierwszej cewki, a wtórnego do drugiej cewki.

4. Urządzenie do mierzenia pól magnetycznych, według zastrz. 3, znamienne tym, że elementy do wytwarzania prądów pierwotnego i wtórnego, przesuniętych w fazie względem siebie o 90° , składają się z pary kondensatorów zmiennych (6a, 6b), przy czym każdy z wymienionych kondensatorów tworzy z cewkami (3a, 3b) szeregowy obwód rezonansowy, zasilany przez oscylator (9) i jest nastawiany tak, aby jeden z obwodów rezonansowych drgał z wyprzedzeniem o $1/8$ okresu na wymienionym oscylatorze

oraz, aby drugi obwód drgał z opóźnieniem o $1/8$ okresu na wspomnianym oscylatorze.

5. Urządzenie do mierzenia pól magnetycznych według zastrz. 3, znamienne tym, że elementy do wytwarzania prądu pierwotnego i wtórnego, przesuniętych w fazie względem siebie o 90° , składają się z dwóch współosiowych kabli (22a, 22b) z których każdy ma jeden koniec, zasilany z oscylatora (9) i drugi koniec prowadzący w pierwszym przypadku do pierwszego równoległego obwodu drgającego (23a), który zawiera cewkę (3a), a w drugim przypadku do drugiego równoległego obwodu drgającego (23b), który zawiera cewkę (3b), przy czym długości dwóch kabli współosiowych różnią się o ćwierć długości fali dla widma o częstotliwości rezonansu elektronowego.

Commissariat à l'Energie Atomique

Zastępca: mgr Józef Kamiński,
rzecznik patentowy

Fig.1.

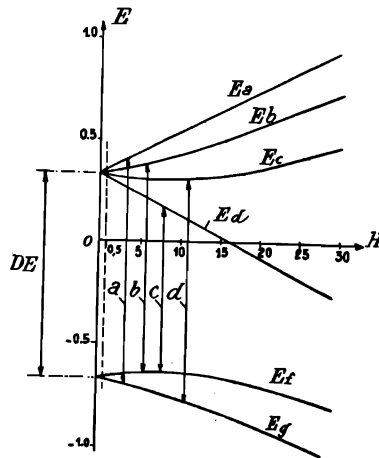


Fig.2.

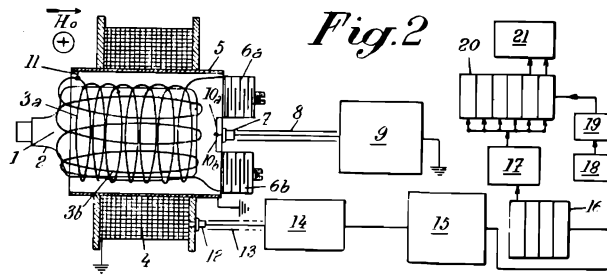


Fig.3.

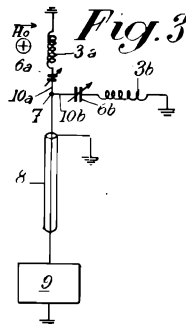


Fig.4.

