



Patent dodatkowy
do patentu nr _____

Zgłoszono: 05.04.74 (P. 170126)

Pierwszeństwo: _____

Zgłoszenie ogłoszono: 01.04.75

Opis patentowy opublikowano: 31.05.1977

MKP G01r 33/08

Int. Cl.² G01R 33/08



Twórcy wynalazku: Jarosław Kubiak, Michał Ostafin, Grzegorz Kienitz
Uprawniony z patentu: Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Poznań
(Polska)

Sposób pomiaru i kalibracji indukcji magnetycznej

1

Dziedzina techniki. Przedmiotem wynalazku jest sposób pomiaru i kalibracji indukcji magnetycznej, znajdujący zastosowanie w placówkach naukowo-badawczych, zwłaszcza do współpracy ze spektrometrami magnetycznego rezonansu jądrowego, magnetycznego rezonansu elektronowego oraz z zestawami pomiarowymi do pomiaru dowolnych wielkości fizycznych w funkcji stałego pola magnetycznego.

Dotychczasowy stan techniki. Do pomiaru indukcji magnetycznej z maksymalną osiągalną przy obecnym stanie techniki dokładnością, stosuje się metody oparte na zjawisku magnetycznego rezonansu jądrowego. Stosowane dotychczas sposoby pomiaru indukcji magnetycznej, wykorzystujące zjawisko magnetycznego rezonansu jądrowego, opisane są w książce M. Nałęcza i J. Jaworskiego „Miernictwo magnetyczne” WNT W-wa 1961 r. Do pomiaru pól indukcji większej od ok. 10^{-2} T stosuje się metodę rezonansowej absorpcji wysokiej częstotliwości generatora autodynowego, z powodu łatwości przystrajania go w szerokim zakresie częstotliwości. W znanych dotychczas rozwiązaniach pomiar indukcji magnetycznej polega na ręcznym lub automatycznym dostrojeniu częstotliwości generatora autodynowego do częstotliwości magnetycznego rezonansu jądrowego — określanej wzorem $\omega_0 = \gamma B_0$, gdzie ω_0 (omega) jest częstotliwością kołową precesji jąder atomowych w mierzonym polu magnetycznym o indukcji B_0 , a γ (gamma) — jest współ-

2

czynnikiem giromagnetycznym danych jąder. Jako wskaźnik dostrojenia stosuje się lampę oscyloskopową na ekranie której w przypadku dostrojenia do rezonansu, pojawia się przebieg linii absorpcyjnej. W tym celu w obszarze czujnika wytwarza się niewielkie zmienne pole magnetyczne o przebiegu sinusoidalnym i częstotliwości rzędu kilkudziesięciu herców, lub przebiegiem tym moduluje się częstotliwość generatora autodynowego. Pomiar polega na takim dostrojeniu generatora autodynowego, by przebieg absorpcyjny pojawiał się na środku ekranu, następnie na zmierzeniu częstotliwości generatora autodynowego i obliczeniu z podanego wyżej wzoru wartości indukcji magnetycznej mierzonego pola.

15 Zamiast pomiaru częstotliwości generatora autodynowego stosuje się odczyt z tabel lub krzywych kalibracyjnych, które umownym podziałkom skali częstotliwości generatora autodynowego podporządkowują odpowiednie wartości indukcji magnetycznej. To ostatnie rozwiązanie zastosowano np. w krajowym mierniku indukcji magnetycznej typu MJ-106, skonstruowanym w Instytucie Fizyki PAN — „Mierniki natężenia pola magnetycznego działające na zasadzie magnetycznego rezonansu jądrowego”, ulotka informacyjna Ośrodka d/s Ochrony

20 Patentowej i Wykorzystania Badań Naukowych PAN — Warszawa 1973 r.

Znane jest również rozwiązanie podane przez L. Widomskiego „Cyfrowy wskaźnik indukcji magnetycznej — adaptacja falomierza”. Materiały

V Ogólnopolskiej Konferencji „Radiospektroskopia i Elektronika Kwantowa w Fizyce Ciała Stałego” — Poznań, 24—27.IV.1972 r., gdzie uzyskuje się cyfrowy odczyt w jednostkach indukcji magnetycznej przy pomocy częstotliwościomierza cyfrowego, w którym odpowiednio zmieniono jednostki czasu otwarcia bramki licznika. Częstotliwościomierz ten mierzy częstotliwość generatora autodynowego, który jest dostrajany do rezonansu w sposób opisany wyżej.

Sposób ten zastosowano w krajowych miernikach indukcji magnetycznej typu MJ-106 oraz MJ-106 EP i MJ-106 NP — „Mierniki natężenia pola magnetycznego działające na zasadzie magnetycznego rezonansu jądrowego” — ulotka informacyjna Ośrodka d/s Ochrony Patentowej i Wykorzystania Badań Naukowych PAN, Warszawa 1973 r.

Wadą powyższych sposobów pomiaru indukcji magnetycznej jest konieczność ręcznego przeszukiwania szerokiego zakresu częstotliwości generatora autodynowego. Jest to szczególnie niedogodne, gdy wartość indukcji pola magnetycznego nie jest znana nawet w przybliżeniu. W tych przypadkach pomiar może trwać do kilkunastu minut. Bardzo niedogodne jest stosowanie powyższych sposobów pomiaru indukcji magnetycznej, gdy mierzone pole magnetyczne jest niestabilne w czasie lub jest celowo wobulowane w czasie np. w spektrometrach magnetycznego rezonansu jądrowego lub elektronowego, gdyż zmusza to operatora do ciągłego śledzenia linii absorbcyjnej, na ekranie lampy oscyloskopowej i podstrajania częstotliwości generatora autodynowego. Ponadto w metodzie tej polegającej na wzrokowym zgraniu centrum przebiegu absorbcyjnego ze środkiem ekranu lampy oscyloskopowej, pomiar jest obciążony błędem subiektywnym.

Niedogodność ręcznego dostrajania generatora autodynowego została wyeliminowana w sposobie podanym przez Junga i Otha — Journal of Physics R. 4, 127, 1971 r., gdzie częstotliwość generatora autodynowego jest samoczynnie wobulowana w całym zakresie pomiarowym i w momencie uzyskania przez nią wartości rezonansowej, wobulowanie zostaje zatrzymane, natomiast częstotliwość generatora autodynowego jest automatycznie dostrajana do wartości rezonansowej. Utrzymywanie tego stanu odbywa się w oparciu o klasyczny układ automatycznej regulacji częstotliwości z detektorem fazoczułym, który śledzi zmiany mierzonego pola magnetycznego za pomocą sygnału błędu pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego.

W praktyce laboratoryjnej, a zwłaszcza w spektroskopii magnetycznego rezonansu jądrowego i elektronowego stosuje się automatyczną rejestrację analogową odpowiedniej wielkości fizycznej (np. absorpcji rezonansowej) na taśmie rejestratora, w funkcji wobulowanego liniowo w czasie pola magnetycznego. W celu automatycznego wyskalowania (kalibracji) taśmy rejestracyjnej w jednostkach indukcji magnetycznej — opracowano sposoby uruchamiania dodatkowego piórka piszącego znaczki (podziałkę) pola magnetycznego na brzegu taśmy rejestracyjnej.

Znane jest rozwiązanie sposobu kalibracji indukcji magnetycznej podane przez Nersfielda i in. w

czasopiśmie „The Review of Scientific Instruments” 38, 322/1961 r. Sposób ten polega na automatycznym przełączeniu sygnałem rezonansu jądrowego szeregu skalibrowanych rezonatorów kwarcowych w obwodzie rezonansowym generatora autodynowego.

Znane jest także rozwiązanie z opisu patentowego polskiego nr 66197, w którym do kalibracji wykorzystano pasma boczne, powstałe na skutek modulacji amplitudy generatora autodynowego.

Oprócz tego znane jest rozwiązanie podane przez R. L. Collinsa w „the Review of Scientific Instruments” 15, 176, 1957 r., w którym do kalibracji wykorzystano pasma boczne generatora superreakcyjnego.

Wadą wyżej wymienionych sposobów kalibracji jest to, że dokładność, zakres i odległość między znaczkami przy kalibracji są ograniczone; w pierwszym przypadku ilością rezonatorów kwarcowych zaś w drugim i trzecim przypadku niewielką ilością możliwych do uzyskania pasm bocznych o dostatecznej amplitudzie. Ponadto sposoby te nie zapewniają równoczesnego pomiaru indukcji magnetycznej, gdy pole magnetyczne nie jest wobulowane w czasie. Dalszą niedogodnością opisanych wyżej sposobów, zarówno pomiaru jak i kalibracji indukcji magnetycznej jest konieczność stosowania w obszarze sondy — pomocniczej modulacji pola magnetycznego o dużej stałości amplitudy. Stosowane do tego celu cewki modulacyjne zwiększają gabaryty sondy, co utrudnia wykonywanie pomiarów indukcji magnetycznej w wąskich szczelinach elektromagnesów oraz zmuszają do takiego ustawienia sondy w polu magnetycznym, aby pomocnicze przemienne pole magnetyczne cewek modulacyjnych było równoległe do mierzonego pola magnetycznego.

Istota wynalazku. Sposób według wynalazku wykorzystuje zjawisko magnetycznego rezonansu jądrowego oraz zasadę pomiaru chwilowej wartości wyrażonej w jednostkach mierzonej wielkości, a polegającą na uśrednieniu dwóch wielkości mierzonych.

Istota sposobu polega na tym, że punktowego pomiaru wielkości indukcji magnetycznej dokonuje się przez wobulowanie częstotliwości pracy generatora wielkiej częstotliwości, zwłaszcza generatora autodynowego. Wobulowanie prowadzi się okresowo zmiennym napięciem o przebiegu trójkątnym w całym zakresie pomiarowym. Sygnały absorpcji jąder uzyskuje się dla warunku magnetycznego rezonansu i następnie kształtuje się je w formie impulsów napięciowych i wprowadza na przelicznik częstotliwości, wywołując wyzwolenie zliczania na odstęp wzorcowych czasów odpowiadających dwukrotnemu przejściu przez rezonans, to jest częścią wznoszącą i opadającą wobulowanego przebiegu częstotliwości. Wynik pomiaru uzyskuje się przez podzielenie przez dwa zliczanych wartości, uformowanych w napięciowe impulsy we wzorcowych odstępach czasu, a następnie ich zsumowanie w przeliczniku częstotliwości.

Skutki techniczne-użytkowe wynalazku. Sposób według wynalazku nie wymaga zachowania bardzo

5

dobrej liniowości przebiegu trójkątnego, a przede wszystkim eliminuje błąd pomiaru powstający na skutek przemiatania częstotliwości, której wartość w czasie narastającej części przebiegu przemiatającego wzrasta $\omega_0 + \Delta\omega$ i w takim samym stopniu maleje $\omega_0 - \Delta\omega$, w czasie opadającej części tego przebiegu. Uzyskana wartość średniej arytmetycznej częstotliwości z obydwóch zliczeń określa dokładnie częstotliwość ω_0 i pozwala na tej podstawie przeprowadzać kalibrację taśmy rejestratora np. w spektrometrze MRE lub MRJ. Wynalazek umożliwia natychmiastowy i w pełni automatyczny cyfrowy pomiar indukcji magnetycznej w szerokim zakresie, bez konieczności regulacji wstępnych oraz automatyczną kalibrację taśmy rejestratora w jednostkach pola magnetycznego.

Wstępne omówienie rysunku. W celu wyjaśnienia mechanizmu sposobu według wynalazku, przykładowo uwidoczniono na rysunku zasadę pomiaru w oparciu o wykresy przebiegów częstotliwości ω i impulsów U_2 i U_1 funkcji czasu mierzonego w tych samych wartościach.

Szczegółowy opis sposobu według wynalazku. Sposób według wynalazku, w przykładowo przedstawionym rozwiązaniu polega na tym, że częstotliwość generatora wielkiej częstotliwości, zwłaszcza autodynowego jest wobulowana napięciem o okresowym przebiegu trójkątnym w całym zakresie pomiarowym. W czasie t_1 , częstotliwość generatora autodynowego spełnia warunek rezonansu jądrowego, wyrażony wzorem: $\omega_0 = \gamma \cdot B_0$ gdzie ω_0 jest częstotliwością kołową precesji jąder atomowych w mierzonym polu magnetycznym o indukcji B , zaś γ to współczynnik giromagnetyczny danych jąder. W chwili osiągnięcia przez częstotliwość wartości rezonansowej na wyjściu generatora autodynowego pojawia się sygnał absorpcji jądrowej, który po ukształtowaniu w formie impulsu napięciowego U_2 powoduje wyzwolenie zliczania przelicznika częstotliwości na wzorcowy odstęp czasu T_1 . Podobnie opadające zbocze przebiegu okresowego, wywołuje powtórny rezonans w czasie t_2 i analogicznie wyzwolenie przelicznika częstotli-

6

wości na wzorcowy odstęp czasu T_2 . W obydwu wzorcowych odstępach czasu T_1 i T_2 częstotliwość generatora autodynowego w formie impulsu U_1 , po podzieleniu przez dwa jest przekazana na przelicznik częstotliwości, gdzie zostaje zliczana. Skutkiem tego, częstotliwość ta stanowi wartość średniej arytmetycznej częstotliwości odpowiadającej obydwu przypadkom rezonansu. Tym sposobem zostaje wyeliminowany błąd pomiaru $\Delta\omega$ powstały na skutek wobulowania częstotliwości generatora w czasie zliczania, bo zostaje zachowana zależność, że

$$\omega_0 = \frac{(\omega_0 + \Delta\omega) + (\omega_0 - \Delta\omega)}{2}$$

Stan końcowy przelicznika jest zobrazowany bezpośrednio w jednostkach indukcji magnetycznej na wskaźnikach indukcyjnego układu cyfrowego. Impulsy na wyjściu tego układu służą do automatycznej kalibracji taśmy rejestratora. Przed każdym z wyżej opisanych cykli pomiarowych przelicznik zostaje samoczynnie wyzerowany.

Zastrzeżenie patentowe

Sposób pomiaru i kalibracji indukcji magnetycznej, wykorzystujący zjawisko magnetycznego rezonansu jądrowego oraz zasadę pomiaru wartości chwilowej polegający na wobulowaniu częstotliwości generatora w całym zakresie pomiarowym, **znamienny tym**, że częstotliwość pracy (ω) generatora wielkiej częstotliwości, zwłaszcza generatora autodynowego, wobuluje się okresowym napięciem o przebiegu trójkątnym w całym zakresie pomiarowym, a uzyskane sygnały absorpcji jąder, odpowiadające warunkowi magnetycznego rezonansu jądrowego kształtuje się w formie napięciowego impulsu (U_2) i wprowadza na przelicznik częstotliwości, powodując wyzwolenie zliczania na odstęp wzorcowego czasu (T_1), odpowiadający części wznośzącej i (T_2) dla części opadającej przebiegu wobulującego, ukształtowanego w formie impulsu (U_1), przy czym zliczane wartości częstotliwości ($\omega_0 + \Delta\omega$) i ($\omega_0 - \Delta\omega$) dzieli się przez dwa, a następnie w przeliczniku sumuje i wynik otrzymuje się w jednostkach indukcji magnetycznej.

