



Patent dodatkowy
do patentu nr _____

Zgłoszono: 09.05.74 (P. 170956)

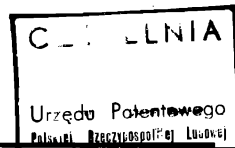
Pierwszeństwo: _____

Zgłoszenie ogłoszono: 02.05.75

Opis patentowy opublikowano: 30.04.1977

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)

Układ do pomiaru i kalibracji indukcji magnetycznej

1

Dziedzina techniki. Przedmiotem wynalazku jest układ do 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 metody są przedstawione w książce M. Nałęcza i J. Jaworskiego „Miernictwo magnetyczne” WNT, W-wa 1961.

Znany jest również sposób pomiaru i kalibracji indukcji magnetycznej, który wykorzystując zjawisko magnetycznego rezonansu jądrowego opiera się na zasadzie pomiaru chwilowej wartości, wyrażonej w jednostkach mierzonej wielkości, jako wartości średniej dwóch wartości. Sposób polega na tym, że częstotliwość generatora autodynowego jest wobulowana 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

2

dwa, zliczanych wartości, uformowanych w napięciowe impulsy we wzorcowych odstępach czasu, a następnie ich zsumowanie w przeliczniku częstotliwości. Stosowane dotychczas podstawowe układy pomiarowe dla pól o indukcji większej od około 10^{-2} T, zawierają generator słabych drgań wysokiej częstotliwości tzw. generator autodynowy, reagujący na rezonansową absorpcję mocy drgań wysokiej częstotliwości przez próbkę umieszczoną w cewce jego obwodu rezonansowego i poddaną działaniu mierzonego pola magnetycznego.

W znanych dotychczas urządzeniach pomiar indukcji magnetycznej wymaga ręcznego lub automatycznego dostrojenia częstotliwości generatora autodynowego do częstotliwości magnetycznego rezonansu jądrowego, danej wzorem $\omega_0 = \gamma B$, gdzie ω_0 jest częstotliwością kołową precesji jąder atomowych w mierzonej polu magnetycznym o indukcji B, γ jest współczynnikiem giromagnetycznym danych jąder. Wyjście wysokiej częstotliwości generatora autodynowego jest połączone za pośrednictwem demodulatora amplitudy i wzmacniacza niskiej częstotliwości z płytkami odchylenia pionowego lampy oscyloskopowej na ekranie której, w przypadku dostrojenia do rezonansu, pojawia się przebieg linii absorpcyjnej. Pomiar indukcji magnetycznej w tego typu urządzeniach wymaga pomiaru częstotliwości generatora autodynowego, albo korzystania ze specjalnych krzywych kalibracyjnych, jak ma to miejsce w rozwiązaniu według ulotki informacyjnej „Mierniki natężenia pola magnetycznego” – Ośrodek d/s Ochrony Patentowej i Wykorzystania Badań Naukowych PAN W-wa 1973.

Znane jest rozwiązanie do bezpośredniego cyfrowego odczytu wartości mierzonej indukcji magnetycznej, podane w *Izmeritn. Tiechn.* 1, 49, 1968. W układzie tym do wyjścia wysokiej częstotliwości generatora autodynowego jest dodatkowo dołączony przelicznik częstotliwości o ściśle dobranym czasie otwarcia bramki licznika, tak by wynik zliczenia był podany na wskaźnikach cyfrowych bezpośrednio w jednostkach mierzonej indukcji magnetycznej. Układ ten zastosowano w krajowych miernikach indukcji magnetycznej.

Bardzo niewygodne jest ręczne dostrajanie generatora autodynowego do rezonansu, gdy wartość indukcji pola magnetycznego nie jest znana nawet w przybliżeniu, a szczególnie, gdy mierzone pole magnetyczne jest niestabilne w czasie, lub celowo wobulowane w czasie jak 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.

Rozwiązaniem tego problemu jest automatyczny „szukający” magnetometr MRJ, opisany w *Journal of Physics* E4, 127, 1971, w którym częstotliwość generatora autodynowego jest samoczynnie wobulowana w całym zakresie pomiarowym i w momencie spełnienia warunku rezonansu przemiatanie zostaje zablokowane, zaś generator autodynowy jest następnie automatycznie dostrajany do rezonansu przez klasyczny układ automatyki z detektorem fazoczułym, gdzie krzywa rezonansu jądrowego jest krzywą dyskryminacji błędu dostrojenia, zaś sygnał błędu w pętli ujemnego sprzężenia zwrotnego jest doprowadzony do diody pojemnościowej w obwodzie rezonansowym generatora autodynowego.

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

Znane jest rozwiązanie urządzenia do kalibracji indukcji magnetycznej podane w publikacji „*Radiospektroskopia twierdowo diela*”, Atomizdat 1967, str. 299, zawierającego w obwodzie rezonansowym generatora autodynowego, szereg skalibrowanych rezonatorów kwarcowych, przełączanych w sekwencji automatycznie sygnałem rezonansu jądrowego z tego samego generatora. Znane jest także rozwiązanie, przedstawione w polskim opisie patentowym nr 66197, w którym do kalibracji wykorzystano pasma boczne, powstałe na skutek modulacji amplitudy generatora autodynowego.

Oprócz tego znane jest rozwiązanie urządzenia podane w publikacji *The Review of Scientific Instruments* 15, 176, 1957, w którym do kalibracji wykorzystano pasma boczne generatora superreakcyjnego, użytego tu do detekcji rezonansu jądrowego zamiast generatora autodynowego.

Wadą wyżej wymienionych urządzeń do kalibracji indukcji magnetycznej jest to, że dokładność, zakres i odległość między znaczkami przy kalibracji są ograniczone; w pierwszym przypadku niewielką ilością możliwych do uzyskania pasm bocznych o dostatecznej amplitudzie. Ponadto urządzenia te nie zapewniają równoczesnego pomia-

ru indukcji magnetycznej, gdy wartość indukcji magnetycznej nie jest wobulowana w czasie.

Dalszą niedogodnością opisanych wyżej urządzeń, zarówno do 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 zmusza do takiego ustawienia sondy, aby pomocnicze przemienne pole magnetyczne było równoległe do mierzonego pola magnetycznego.

Istota wynalazku i skutki techniczne. Rozwiązanie układu według wynalazku, wykorzystuje zasadę magnetycznego rezonansu jądrowego. W układzie zastosowany jest generator wielkiej częstotliwości, w którego obwodzie rezonansowym sondy jest umieszczona dioda pojemnościowa. Do tej diody doprowadzone jest z jednego z wyjść urządzenia sterującego, napięcie o przebiegu trójkątnym, zmienne według zdefiniowanej funkcji czasowej, wobulujące częstotliwość generatora w całym zakresie pomiarowym. Dwa wyjścia generatora wielkiej częstotliwości są odpowiednio połączone i tak jedno z przerzutnikiem monostabilnym, którego wyjście łączy się z pierwszym przełącznikiem elektronicznym i z wejściem na układ wyzwalań przelicznika częstotliwości, drugie natomiast poprzez dzielnik częstotliwości „przez dwa” łączy się z wejściem pomiarowym przelicznika częstotliwości. Ponadto sygnał zerujący przelicznika uzyskiwany jest przez połączenie wejścia zerującego przelicznika z urządzeniem sterującym. Na wyjściu przelicznika częstotliwości jest podłączony przetwornik alfanumeryczny, z którego dwóch wyjść są wykonane połączenia, pośrednio przez przełączniki elektroniczne i wzmacniacze odchylenia z elektrodami lampy oscyloskopowej, natomiast trzecie wyjście jest doprowadzone bezpośrednio na siatkę sterującą tej lampy.

Ponadto połączeniami do elektrod odchylenia pionowego i poziomego lampy oscyloskopowej są doprowadzone: sygnał okresowy z przerzutnika monostabilnego i sygnał liniowy podstawy czasu z urządzenia sterującego. Dekady liczące przelicznika częstotliwości posiadają wyjście kalibrujące. Zaletą układu jest to, że pomiar indukcji magnetycznej odbywa się praktycznie natychmiastowo i całkowicie automatycznie, nie wymaga więc tym samym ręcznego przeszukiwania pasma częstotliwości generatora autodynowego, ani jakichkolwiek regulacji wstępnych. Daje to szczególne korzyści, gdy wartość indukcji magnetycznej mierzonego pola nie jest znana nawet w przybliżeniu oraz w przypadkach, gdy mierzone pole magnetyczne jest niestabilne w czasie, lub jest celowo wobulowane w czasie.

Układ eliminuje znane niedogodności charakterystyki dynamicznej układów do samoczynnego śledzenia zmian mierzonej indukcji magnetycznej zawierających konwencjonalny układ automatyki z detektorem fazoczułym i pętlą ujemnego sprzężenia zwrotnego. Ponadto układ ten umożliwia dokładny, cyfrowy odczyt wartości indukcji magnetycznej oraz dzięki zastosowaniu dwóch typowych przełączników elektronicznych – równoczesne przybliżone wskazanie analogowe w postaci przebiegu absorbcyjnego na tym samym polu odczytowym, którym jest ekran lampy oscyloskopowej.

Dzięki wykorzystaniu wyjść z dekad liczących przelicznika, układ wytwarza jednocześnie impulsy służące do automatycznej kalibracji pola magnetycznego na taśmie rejestratora, łączy więc w sobie funkcje pomiaru i kalibra-

cji indukcji magnetycznej. Ponadto w urządzeniu nie ma dodatkowych cewek modulacyjnych w obszarze sondy, co pozwala na zmniejszenie jej gabarytów i uniezależnia proces pomiaru od położenia sondy względem kierunku pola magnetycznego.

Szczegółowy opis przykładu wykonania rysunku. Układ do pomiaru i kalibracji indukcji magnetycznej zawiera autodynowy generator 1 z diodą pojemnościową, umieszczoną w obwodzie rezonansowym sondy 2, do której z wyjścia sterującego urządzenia 3 doprowadzone jest napięcie wobulujące. Z dwóch wyjść autodynowego generatora 1 są wyprowadzone połączenia, jedno poprzez amplitudowy demodulator 4 na wejście na monostabilny przerzutnik 5. Dalszy obwód tego układu to jest wyjście monostabilnego przerzutnika 5 jest połączone z jednym wejściem elektronicznego przełącznika 6 i z wejściem na układ wyzwalający przelicznika 7. Drugie wyjście z autodynowego generatora 1 jest połączone przez częstotliwościowy dzielnik 8 z wejściem częstotliwościowego przelicznika 7, do którego na zerujące wejście doprowadzone jest połączenie z sterującego urządzenia 3.

Wyjścia częstotliwościowego przelicznika 7 są następujące: z dekad liczących jest wyprowadzone wyjście kalibrujące 17, pozostałe wyjścia lub wejścia połączone są z alfanumerycznym przetwornikiem 16. Trzy wyjścia tego przetwornika są kolejno połączone i tak wyjście 9 z wejściem elektronicznego przełącznika 6, wyjście 10 z wejściem elektronicznego przełącznika 12, a wyjście 11 bezpośrednio jest doprowadzone na siatkę sterującą oscyloskopowej lampy 13. Z elektronicznych przełączników 6 i 12 są wykonane odpowiednie połączenia przez odchylające wzmacniacze 14 i 15 z płytkami odchylania pionowego i poziomego oscyloskopowej lampy 13.

Sposób działania i zakres stosowania układu według przykładowego rozwiązania. Częstotliwość autodynowego generatora 1 jest wobulowana napięciem doprowadzanym ze sterującego urządzenia 3 do diody pojemnościowej, umieszczonej w rezonansowym obwodzie sondy 2. Napięcie to o przebiegu trójkątnym zmienia się samoczynnie w czasie całego cyklu pomiarowego od wartości minimalnej do maksymalnej.

W chwili spełnienia warunku jądrowego rezonansu magnetycznego na wyjściu amplitudowego demodulatora 4 pojawia się sygnał absorpcji, który wyzwala monostabilny przerzutnik 5. Następnie impuls otrzymywany z wyjścia tego przerzutnika jest podany na wejście elektronicznego przełącznika 6 i na wejście częstotliwościowego przelicznika 7 powodując wyzwolenie przelicznika na ściśle zdefiniowany wzorcowy odstęp czasu. W tym określonym czasie, z autodynowego generatora 1 przez częstotliwościowy dzielnik 8, w którym następuje podzielenie częstotliwości generatora przez dwa, jest podana ta wartość częstotliwości na wejście częstotliwościowego przelicznika 7, gdzie zostaje zliczana.

Podobnie jak wznosząca się część wobulującego przebiegu, tak i opadająca częstotliwości autodynowego generatora, wywołuje powtórny rezonans, którego następstwa są analogiczne. Przelicznik 7 sumuje obydwa zliczenia odpowiadające wobulowaniu częstotliwości przez rezonans od wartości minimalnej do maksymalnej i odwrotnie. Czas otwarcia bramki – wyzwolenia przelicznika jest celowo tak dobrany, że końcowy wynik zliczenia, po opisanym cyklu pomiarowym jest podany bezpośrednio w jednostkach indukcji magnetycznej mierzonego pola magnetycznego. Po zakończeniu cyklu pomiarowego, przelicznik zostaje wy-

zerowany doprowadzonym do niego ze sterującego urządzenia 3 impulsem zerującym.

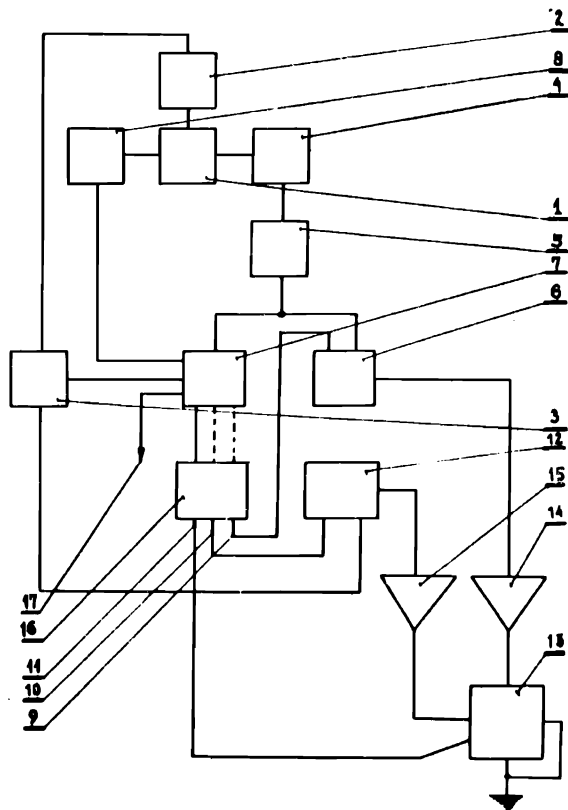
Wynik pomiaru indukcji magnetycznej jest zobrazowany w postaci cyfrowej na ekranie oscyloskopowej lampy 13, do elektrod której, są doprowadzone z wyjść 9 i 10 alfanumerycznego przetwornika 8, poprzez elektroniczne przełączniki 6 i 12 odchylające wzmacniacze 14 i 15 i bezpośrednio z wyjścia 11 – przebiegi napięciowe. Przebiegi te zmieniają się według ściśle zdefiniowanych funkcji czasowych i powodują przemieszczanie plamki na ekranie lampy oscyloskopowej i modulację jej jasności, dają w efekcie wyświetlenie obrazu odpowiednich cyfr przedstawiających wynik zliczenia przelicznika 7.

Jednocześnie do elektrod odchylania pionowego i poziomego lampy 13 jest dołączony okresowo sygnał z wyjścia monostabilnego przerzutnika 5 za pośrednictwem elektronicznego przełącznika 6 i sygnał liniowy podstawy czasu z trzeciego wyjścia sterującego urządzenia 3 poprzez elektroniczny przełącznik 12. Przełączenie obydwóch sygnałów odbywa się z dostatecznie dużą prędkością zapewniając cyfrowe zobrazowanie wartości mierzonej indukcji magnetycznej i przybliżone wskazanie analogowe w postaci ukształtowanej linii rezonansowej na tym samym polu odczytowym, którym jest ekran oscyloskopowej lampy 13. Ponadto w trakcie wobulowania pola, impulsy z dekad liczących przelicznika 7, odbierane na wyjściu są użyte do kalibracji taśmy rejestracyjnej w aparaturze pomiarowej.

Zastrzeżenie patentowe

Układ do pomiaru i kalibracji indukcji magnetycznej, wykorzystujący zasadę magnetycznego rezonansu jądrowego, w skład którego wchodzi samoczynnie przestrajany generator wielkiej częstotliwości, w którego obwodzie rezonansowym znajduje się dioda pojemnościowa, a którego częstotliwość mierzona jest przelicznikiem częstotliwości o ściśle zdefiniowanym czasie otwarcia bramki, **znamienny tym, że** do pojemnościowej diody umieszczonej w obwodzie rezonansowej sondy (2) autodynowego generatora (1) wielkiej częstotliwości jest z jednego z wyjść sterującego urządzenia (3) doprowadzony sygnał wobulujący częstotliwość generatora, zaś dwa wyjścia z generatora (1) są odpowiednio połączone i tak, jedno z wyjściem monostabilnego przerzutnika (5), którego wyjście połączone jest równolegle z wejściem na pierwszy elektroniczny przełącznik (6) i z wejściem na układ wyzwalania częstotliwościowego przelicznika (7), zaś drugie wyjście z generatora (1) jest połączone przez częstotliwościowy dzielnik (8) „przez dwa” z wejściem pomiarowym częstotliwościowego przelicznika (7), do którego sygnał sterujący doprowadzony jest połączeniem ze sterującego urządzenia (3), natomiast na wyjściu przelicznika (7) jest włączony alfanumeryczny przetwornik (16), którego dwa wyjścia (9) i (10) są pośrednio przez elektroniczne przełączniki (6) i (12) odpowiednio połączone przez odchylające wzmacniacze (14) i (15) z płytkami odchylania pionowego i poziomego oscyloskopowej lampy (13), zaś trzecie wyjście (11) jest bezpośrednio połączone z siatką sterującą oscyloskopowej lampy (13), ponadto z dekad liczących częstotliwościowego przelicznika (7) jest wyprowadzone kalibrujące wyjście (17) a z sterującego urządzenia (3) przez elektroniczny przełącznik (12) jest doprowadzony do oscyloskopowej lampy (13) sygnał podstawy czasu.

88 280



Skład wykonano w DSP, zam. 6148
Druk w UP PRL, nakład 125 + 20 egz.

Cena zł 10,-