

Andrzej CIOSKA, Andrzej JANCZAK

### WIELOKANAŁOWY UKŁAD DO POMIARU ROZKŁADÓW PRZESTRZENNO-CZASOWYCH INDUKCJI MAGNETYCZNEJ W SZCZELINIE POWIETRZNEJ NIESYMETRYCZNYCH MASZYN INDUKCYJNYCH

**Streszczenie.** Przedstawiono układ pomiarowy do wyznaczania rozkładów przestrzennych indukcji magnetycznej poprzez wykonywanie serii badań przebiegów czasowych indukcji za pomocą odpowiednich mikrocewek pomiarowych umieszczonych w szczelinie powietrznej z możliwością ich przesuwania. Opracowano oryginalną koncepcję przeprowadzania pomiarów w ściśle określonych jednoznacznych warunkach elektromagnetycznych.

### MULTICHANNEL DEVICE FOR MEASUREMENT OF SPATIAL-TIME DEPENDING DISTRIBUTION OF MAGNETIC INDUCTION IN AIR GAP OF NON SYMMETRICAL INDUCTION ENGINES

**Summary.** The paper shows a measurement system for determining the spatial distribution of magnetic induction by doing the series of induction timing examinations by means of proper micro coils installed with possibility of shifting them in the air gap. An original conception of measurements in precisely determined electromagnetic conditions are developed.

### DIE MEHRFACHE MEßSCHALTUNG ZUR ERMITTLUNG DER ZEIT-RÄUMLICHEN VERTEILUNGEN DER MAGNETISCHEN INDUKTION IM LUFTSPALT DER ASYMMETRISCHEN INDUKTIONSMASCHINEN

**Zusammenfassung.** Die dargestellte Meßschaltung dient zur Ermittlung der räumlichen Verteilungen der magnetischen Induktion im Luftspalt asymmetrischer Induktionsmaschine, durch mehrfache Meßverfahren. Die Meßwerte werden mittels Mikromeßspulen erfaßt, die im Luftspalt untergebracht sind. Eine Positionierung kann nach Bedarf erfolgen. Es wurde das neue Konzeption des Meßverfahrens unter bestimmten elektromagnetischen Bedingungen bearbeitet.

## 1. WPROWADZENIE

W niesymetrycznych maszynach indukcyjnych małej i średniej mocy zachodzi konieczność przeprowadzania specjalistycznych badań rozkładów przestrzenno-czasowych [1] indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej między stojanem a wirnikiem, aby w konsekwencji poprzez wyznaczenie parametrów wewnętrznych maszyn możliwe było określenie wpływu tzw. technologicznej niedokładności wykonawczej [2] na parametry elektromagnetyczne i elektromechaniczne maszyn.

Przeprowadzenie takich specjalistycznych badań rozkładów przestrzenno-czasowych indukcji wymaga zastosowania odpowiednio skonstruowanego systemu pomiarowego [2], umożliwiającego wykonywanie badań w ściśle określonych powtarzalnych warunkach elektromagnetycznych. Ze względu na wykonywanie pomiarów rozkładów przestrzenno-czasowych indukcji w maszynach indukcyjnych, w których (jak wiadomo) obracający się z odpowiednim poślizgiem wirnik ma istotny wpływ na wyniki badań, zbudowany specjalistyczny system pomiarowy umożliwia badanie tych rozkładów przestrzenno-czasowych przy stabilnej prędkości obrotowej wirnika, zaś wyzwalanie pomiarów dokonywane jest za pomocą odpowiedniego układu koincydencji (sygnał fazy chwilowego położenia wirnika względem stojana, sygnał fazy przejścia przez zero napięcia zasilania).

W artykule [2] przedstawiono system pomiarowy, składający się z trzech subsystemów. Pierwszy subsystem dotyczy układu generowania napięcia zasilania badanej maszyny indukcyjnej. Trzeci subsystem dotyczy układu do wymuszania i stabilizacji prędkości obrotowej wirnika badanej maszyny. Drugi subsystem dotyczy układu pomiarowego przedstawionego w rozdziale 2 artykułu. Umożliwia on wykonywanie serii pomiarowych badań rozkładów przestrzenno-czasowych indukcji za pomocą odpowiednich mikrocewek pomiarowych z możliwością późniejszego przeprowadzania odpowiednich obliczeń [3].

## 2. UKŁAD ELEKTRONICZNY DO POMIARÓW ROZKŁADÓW PRZESTRZENNO-CZASOWYCH INDUKCJI

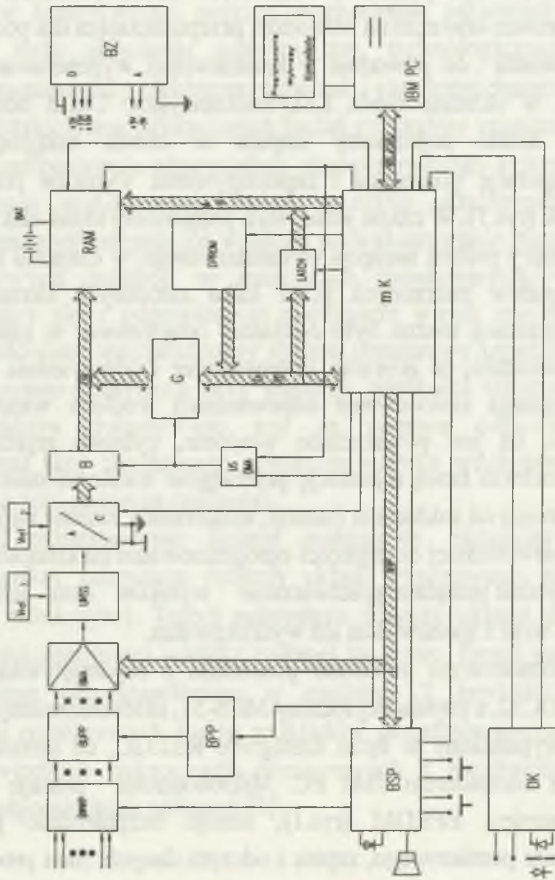
Każdemu położeniu zespołu 12 mikrocewek pomiarowych, umieszczonych symetrycznie w szczelinie powietrznej między stojanem a wirnikiem maszyny indukcyjnej, odpowiada dana seria zbieranych danych. Aby wyniki pomiarów

uzyskane w różnych seriach pomiarowych (przy przesuwaniu cewek w szczelinie) mogły sobie odpowiadać (celem otrzymania rozkładów przestrzennych indukcji) pomiary rozpoczynają się zawsze w ściśle określonej chwili czasu, wyznaczonej przez koincydencję chwilowego położenia obracającego się wirnika z przejściem przez zero napięcia zasilającego od wartości ujemnych do dodatnich.

Detektorem chwilowego położenia wirnika jest tarcza obrotowa osadzona na wale wirnika z odpowiednim otworem na obwodzie, przepuszczająca dla pożądanego położenia wirnika impuls światła, co powoduje w konsekwencji wygenerowanie odpowiedniego impulsu napięcia w układzie dioda LED-fototranzystor. Układ detektora DK (rys.1) generuje zatem krótki pojedynczy impuls w chwili osiągnięcia koincydencji, rozpoczynający operację pobierania i zapamiętywania wyników przez mikrokontroler jednocukładowy K (rys.1). W czasie jednej serii pomiarowej układ elektroniczny dokonuje pobrania kilku tysięcy próbek napięcia wyindukowanego w czujniku (duża częstotliwość próbkowania sygnałów mierzonych przez kilka założonych okresów napięcia sieci zasilającej), aby przebieg można było dokładnie odwzorować w czasie. Biorąc to pod uwagę, można stwierdzić, że zebranie, przetwarzanie i odpowiednia obróbka tak dużej liczby próbek wymaga zastosowania odpowiednich środków wspomagających pracę systemu. Ponadto, co jest powszechnie wiadome, cyfrowa reprezentacja sygnałów pomiarowych umożliwia łatwą rejestrację przebiegów wielkości mierzonych przy dużej wymaganej odporności na zakłócenia (szumy, temperatura, zmiany napięć zasilających), a następnie, dzięki powszechnej dostępności oprogramowania na komputery klasy IBM PC, łatwe staje się dowolnie pożądanego przetwarzanie wyników oraz ich wizualizacja na ekranie monitora wraz z możliwością ich wydrukowania.

W układzie pomiarowym procesem pobierania i zapamiętywania danych steruje mikrokontroler I80C32, z popularnej rodziny MCS-51, ukierunkowanej na sterowanie. Jest on standardowo wyposażony w łącze szeregowe RS232C, co umożliwia bezpośrednie sprzęgnięcie go z komputerem IBM PC. Mikrokontroler pracuje według programu zapisanego w pamięci EPROM (rys.1), steruje bezpośrednio procesem wyboru wzmacnienia, kanału pomiarowego, zapisu i odczytu danych. Stan procesu pomiarowego jest sygnalizowany na bieżąco w bloku BSP (rys.1) diodami LED i tzw. brzęczkiem sygnałowym.

Indukowane w rozłożonych na obwodzie maszyny mikrocewkach pomiarowych napięcie ma wartość rzędu kilku mV wartości międzyszczytowej. Ponadto mała impedancja cewek, brak odniesienia napięcia do masy (połączenie biegunów cewek z masą zniekształcałoby pomiary rozkładów przestrzennych indukcji) oraz fakt, że pomiarom podlega przebieg o częstotliwości równej częstotliwości sieci zasilającej silnik, stwarza poważne utrudnienia. Przetworniki A/C wymagają napięcia



Rys.1. Schemat blokowy wielokanałowego systemu pomiarowego  
 Fig.1. Block diagram of a multi-channel measurement system

wejściowego o amplitudzie kilku woltów, odniesionego do masy (zwykle z nałożoną składową stałą - UNSS z rys.1). Konieczne jest więc wzmocnienie przebiegów mierzonych do takiej wartości (BWWP z rys.1). Najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie wzmacniaczy pomiarowych AD524 firmy Analog Devices. Układy te mają możliwość regulacji wzmocnienia, bardzo dobre parametry statyczne i dynamiczne oraz umożliwiają wykorzystanie układu do dynamicznej zmiany potencjału ekranu ochronnego w celu poprawy tłumienia zakłóceń.

Jednoczesny pomiar napięcia w kilku określonych miejscach obwodu badanej maszyny i jego przetworzenie na postać cyfrową wymaga użycia w najprostszym przypadku tylu przetworników A/C, ile jest kanałów pomiarowych. Gęstość próbkowania zależy odwrotnie proporcjonalnie od czasu przetwarzania przetworników oraz czasu odczytu i zapisu danej z przetwornika do pamięci RAM systemu pomiarowego jako subsystemu opisanego w pracy [2]. Po analizie różnych możliwych rozwiązań zastosowano układ szybkiego przetwornika A/C typu "flash converter" oraz układ wykorzystujący ideę bezpośredniego zapisu danej do pamięci RAM (DMA-direct memory acces) jako najlepsze możliwe rozwiązanie dla tego przypadku. Mikrokontrolery serii MCS-51 nie mają możliwości współpracy z układami DMA. W systemie pomiarowym zastosowano mikrokontroler I8032, który generuje tylko adresy i sygnały sterujące pamięcią, a dane są zapisywane wprost z wyjść przetwornika A/C do pamięci RAM (układ sterujący bramą B i G- przez USDMA z rys.1), bez pośrednictwa rejestrów wewnętrznych mikrokontrolera, co znacznie przyspiesza operację zapisu. Na gęstość próbkowania wpływa również czas przetwarzania wyników pomiarów. Ograniczona lista rozkazów mikrokontrolera jest ukierunkowana na sterowanie, a nie na przetwarzanie danych. Celowe zatem wydaje się zrezygnowanie z przetwarzania polegającego na całkowaniu napięcia indukowanego, aby otrzymać wartość przebiegu indukcji. Do pamięci RAM zapisywane są tylko próbki napięć indukowanych, a operację ich całkowania, jak założono, wykona się później w komputerze nadrzędnym typu IBM PC, po przetransmitowaniu do niego zebranych danych.

Zastosowano tylko jeden przetwornik A/C. Powoduje to konieczność przełączania wyjść wzmacniaczy pomiarowych do wejścia przetwornika. Komutację zrealizowano wykorzystując multipleksery/demultipleksery analogowe z rodziny układów CD40XX (BMA z rys.1), które zbudowane z kluczy analogowych typu CMOS umożliwiają przełączanie sygnałów z częstotliwością  $f \geq 1$  MHz, w pełnym zakresie przenoszonych napięć (od  $-U_{zas}$  do  $+U_{zas}$  układu). Charakteryzują się ponadto krótkim czasem stabilizowania przełączonego napięcia (rzędu ns), małą rezystancją w stanie załączenia klucza ( $R_{ON} \leq 125 \Omega$  przy  $U_{zas} = \pm 7,5$  V) i bardzo dużą rezystancją kluczy wyłączonych ( $R_{OFF} \geq 100 M\Omega$ ).

Należy zwrócić uwagę na fakt, że w tego rodzaju specjalistycznych pomiarach nie jest możliwe zastosowanie do przełączeń odpowiednich przełączników czy kontaktronów ze względu na dyskwalifikujące je zbyt długie czasy przełączenia oraz drgania zestyków.

Przy przełączaniu wyjść wzmacniaczy pomiarowych do wejścia przetwornika A/C formalnie nie jest spełniony warunek jednoczesności pomiaru. Pomiaru są przesunięte względem siebie o pewien niewielki okres czasu (rzędu kilku  $\mu\text{s}$ ), zależny od czasu przełączenia multiplexera, czasu stabilizacji sygnału na wejściu przetwornika, czasu samego przetwarzania, jak i czasu odczytu i zapisu (zapamiętania) danej w pamięci RAM (czas pomiędzy próbkowaniem jest równy sumie tych czasów pomnożonych przez ilość kanałów).

Problem przeprowadzania jednoczesnych pomiarów w 12 kanałach pomiarowych rozwiązano w sposób prosty przez zastosowanie układów próbkująco-pamiętających (S&H) w torach pomiarowych bezpośrednio po wzmacniaczach. W zastosowanym rozwiązaniu układy próbkująco-pamiętające (BUPP z rys.1) służą do pobierania próbek wartości zmiennego w czasie napięciowego sygnału wejściowego w czasie rzędu kilku  $\mu\text{s}$  i zapamiętania tych wartości sygnału przez czas potrzebny na zapisanie danych pomiarowych do pamięci RAM. Układy S&H spełniają więc rolę pamięci analogowej w układzie pomiarowym. Dodatkowo przez to, że układ S&H utrzymuje stałą, zapamiętaną wartość próbek sygnału mierzonego przez czas przetwarzania przetwornika A/C, nie powstają błędy związane z szybkością zmian sygnału na wejściu przetwornika.

Pomimo przesuniętych względem siebie czasów odczytów i przetwarzania sygnałów (rzędu kilku  $\mu\text{s}$ ) uzyskuje się jednak (dzięki zastosowanym układom) jednoczesność pomiarów we wszystkich 12 kanałach pomiarowych, tak istotną przy specjalistycznych badaniach rozkładów przestrzenno-czasowych indukcji w szczelinie powietrznej silnika. Jednoczesność zapamiętania wartości sygnałów w poszczególnych kanałach uzyskuje się przez podanie na zwarte ze sobą wejścia sterujące próbkowaniem układów S&H impulsu zapisującego, generowanego przez mikrokontroler ( $\mu\text{K}$ ). Zastosowane układy S&H typu LF398 mają wystarczająco dobre parametry do tego typu pomiarów. Charakteryzują się krótkim czasem przyjęcia próbki, małym błędem pamiętania i dużym współczynnikiem tłumienia wpływu napięć wejściowych i zasilających na napięcie zapamiętywane.

Wszystkie wyniki pomiarów i dane potrzebne do uruchomienia systemu pomiarowego w czasie inicjalizacji zapisywane są w pamięci RAM o podtrzymywanym bateryjnie napięciu zasilania.

Duża pojemność pamięci (128 kB) zapewnia możliwość zebrania do 128 tysięcy próbek sygnału, a bardzo mały pobór prądu (rzędu kilku  $\mu\text{A}$  dla wersji CMOS) układu pamięci zapewnia wielotygodniową możliwość zapamiętywania zapisanej informacji. Ponadto tak opracowany i wykonany system ma zapewnioną autonomiczność, dzięki czemu można wykorzystywać go z dala od komputera nadrzędnego IBM PC, a małe wymiary i masa pozwalają na jego łatwe przenoszenie na stanowisko pomiarowe w laboratorium maszyn elektrycznych albo na halę produkcji maszyn.

Zebrane dane (cyfrowe wyniki pomiarów) w późniejszym czasie mogą być przetransmitowane do komputera nadrzędnego klasy IBM łączem szeregowym RS232C, gdzie zostają zapamiętane w odpowiednich plikach i mogą podlegać dalszej obróbce cyfrowej (np. cyfrowemu całkowaniu) z możliwością wizualizacji na ekranie monitora, mogą również zostać wydrukowane. Problem ten stanowi jednak odrębną tematykę, nie poruszaną w tym artykule.

## LITERATURA

- [1] Cioska A., Janik T.: Metoda rozkładu pola magnetycznego w szczelinie powietrznej małych maszyn elektrycznych prądu przemiennego. OBRME "EMA-KOMEL". Zeszyty Problemowe 20/74.
- [2] Cioska A., Rymarski Z.: System pomiarowy niesymetrycznych maszyn indukcyjnych małej i średniej mocy. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Elektryka, z. 138, Gliwice 1994.
- [3] Janczak A.: Wielokanałowy system pomiarowy sterowany przez komputer klasy IBM XT/AT. Praca dyplomowa. Instytut Elektroniki Pol. Śl. Gliwice 1992.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Teresa Orłowska-Kowalska

Wpłynęło do Redakcji dnia 25 marca 1994r.

## Abstract

The paper shows a measurement system for determining the spatial distribution of magnetic induction by doing the series of induction timing examinations by mean of proper micro coils installed with the possibility of shifting them in the air gap. The original conception of measurements in precisely determined electromagnetic conditions are developed.

The original method of data measuring in 12 channels at the same time is developed, using the set of sample&hold amplifiers and ultra fast A/D converter to transform the analog to digital data and save them in a static RAM memory. The developed design enables direct memory access (what is not possible in standard applications of MCS-51 micro controllers family) shortening the time of one measurement (of 12 channels). The short time of the measurement (including the time of saving data in the memory) is necessary to minimize tracing errors of sampled waveforms.

The special protocol of the serial data transmission through the RS232C interface to the superior IBM/PC computer is worked out to eliminate errors of transmission that can appear in the presence of interferences.

The battery powered static RAM memory enables displacing the measurement system after initial setting up system parameters (from the superior computer) to the place of collecting data, that can be remote from the superior computer, completing data and moving back the system without losing the collected data stored in memory.

After error free transmission of the collected data to the superior computer, a main supervising program processes them, computes the magnetic induction and displays waveforms on a monitir screen.