

Andrzej CIOSKA, Zbigniew RYMARSKI

SYSTEM POMIAROWY NIESYMETRYCZNYCH MASZYN INDUKCYJNYCH MAŁEJ I ŚREDNIEJ MOCY

Streszczenie. Przedstawiono koncepcję i założenia systemu pomiarowego maszyn indukcyjnych małej i średniej mocy, składającego się z trzech subsystemów mikroprocesorowych: układu generacji napięcia zasilającego (o programowalnej amplitudzie, podstawowej częstotliwości, zawartości harmonicznych), układu zbierania i gromadzenia pomiarów z czujników (umieszczonych w badanej maszynie) oraz układu falownika generującego 3-fazowe napięcie zasilające maszynę synchroniczną (wymuszającą prędkość obrotową badanej maszyny).

MEASUREMENT SYSTEM OF SMALL AND MEDIUM POWER NON SYMMETRICAL INDUCTION ENGINES

Summary. The paper shows a conception and assumptions of a measurement system of small and medium power non symmetrical induction engine, that consists of three microprocessor subsystems: a device generating the supplying voltage (with a programmable magnitude, basic frequency and contents of harmonics), a device collecting and storing the results of measurements from sensors (installed in tested engine) and the dc/ac converter generating 3 phase voltage supplying a synchronous engine (forcing a rotational speed of the tested engine).

MEßSYSTEM FÜR ASYMMETRISCHEN INDUKTIONSMASCHINEN KLEINERER UND MITTLERER LEISTUNG

Zusammenfassung. Die vorgestellte Konzeption des Meßsystems für asymmetrische Induktionsmaschinen kleinerer und mittlerer Leistung basiert auf drei untergeordneten Mikroprozessorsteuerungen: 1-Erzeugung der Versorgungsspannung mit parametrierbarer Amplitude, Basisfrequenz und Frequenzen höherer Ordnung; 2-Erfassung der Meßwerte, die von den Meßgebern erzeugt wurden, 3-Spannungs-Frequenz-Umformer (SFU) zur Erzeugung der 3-Phasen-Netz-Spannung, zur Speisung einer Synchronmaschine.

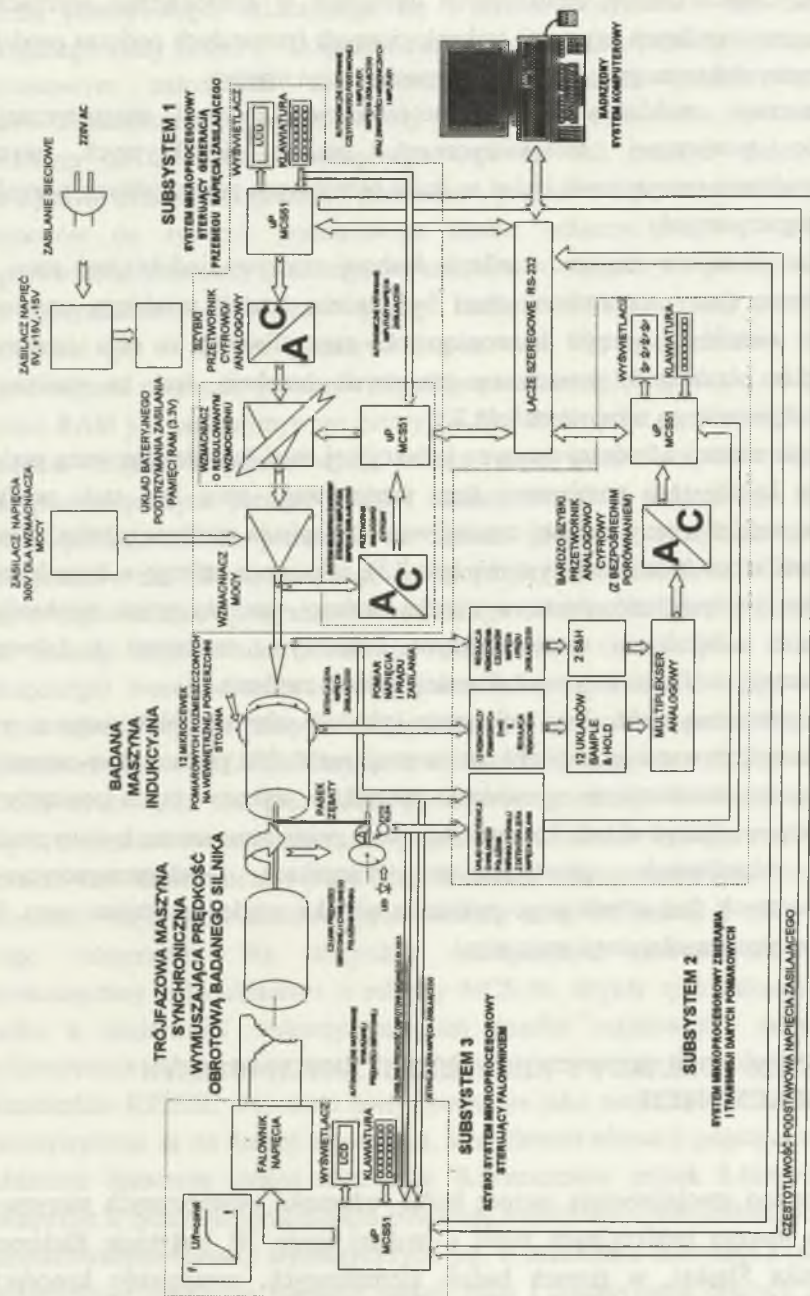
1. WPROWADZENIE

Przy różnych asymetriach technologicznych powstałych podczas produkcji jednofazowych maszyn indukcyjnych zachodzi konieczność wyznaczania wpływu tych asymetrii na podstawowe parametry elektromagnetyczne i elektromechaniczne maszyn. Jest to konieczne w odniesieniu do maszyn elektrycznych małej mocy, gdyż niedotrzymanie w reżimie technologicznym dopuszczalnych odchyłek podstawowych parametrów konstrukcyjno-wykonawczych powoduje występowanie znacznych rozrzutów znamionowych parametrów elektromagnetycznych i elektromechanicznych. Podczas produkcji dużych i średnich maszyn niedotrzymanie takich dopuszczalnych odchyłek parametrów konstrukcyjno-wykonawczych nie powoduje znacznych rozrzutów parametrów znamionowych tych maszyn.

Do podstawowych parametrów konstrukcyjno-wykonawczych zalicza się:

- 1) średnice: zewnętrzną wirnika i wewnętrzną stojana,
- 2) równomierność ewentualnie celowo wprowadzaną nierównomierność promieniowej grubości szczeliny powietrznej,
- 3) mimośrodowość powierzchni wirnika względem osi obrotu maszyny (ekscentryczność dynamiczna) i mimośrodowość położenia osi obrotu wirnika względem osi powierzchni wewnętrznej stojana (ekscentryczność statyczna),
- 4) deformację eliptyczną zewnętrznej powierzchni wirnika i deformację eliptyczną wewnętrznej powierzchni stojana,
- 5) asymetryczne połączenia czołowe stojana i wirnika,
- 6) wadliwie wykonany odlew klatki wirnika,
- 7) nieprecyzyjnie wykonane spawy zwojów zwartych,
- 8) wadliwie zamontowane boczniki magnetyczne,
- 9) nieprecyzyjnie nawinięte uzwojenia główne (np. lokalne przewężenia), itd.

W celu określenia wpływu technologicznej niedokładności wykonawczej (odstępującej od podstawowych parametrów konstrukcyjno-wykonawczych) na parametry elektromagnetyczne i elektromechaniczne produkowanych maszyn należy przeprowadzić odpowiednie badania w specjalistycznym modelowym układzie badawczym, który w swojej części mechanicznej umożliwi odpowiednią symulację odstępstw od niektórych parametrów konstrukcyjno-wykonawczych z jednoczesnym ich pomiarem. Część elektroniczno-pomiarowa (schemat blokowy z rys.1) modelowego układu badawczego, przedstawiona w dalszej części artykułu, nazywana jest systemem pomiarowym (składającym się z trzech zasadniczych części nazywanych trzema subsystemami), który poprzez pomiary rozkładów przestrzenno-czasowych [1] indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej między stojanem a wirnikiem



Rys.1. Schemat blokowy systemu pomiarowego jednofazowego silnika indukcyjnego
 Fig.1. Block diagram of a measurement system of a single-phase induction motor

niesymetrycznych maszyn indukcyjnych umożliwia w konsekwencji wyznaczanie wpływu poszczególnych asymetrii technologicznych (powstałych podczas produkcji) na parametry elektromagnetyczne i elektromechaniczne maszyn.

Wyznaczanie rozkładów przestrzenno-czasowych indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej niesymetrycznych maszyn indukcyjnych wymaga przeprowadzania precyzyjnych badań w ściśle określonych powtarzalnych warunkach elektromagnetycznych.

Podczas pomiarów napięcie zasilania badanej maszyny indukcyjnej musi być stabilizowane (tzn. utrzymywany musi być zadany kształt przebiegu czasowego napięcia: wartość, zawartość harmonicznych, częstotliwość) w celu otrzymania właściwych przebiegów przestrzenno-czasowych indukcji. Jest to realizowane w układzie pierwszego subsystemu (pkt.2.1).

Prędkość obrotowa badanej maszyny indukcyjnej musi być stabilizowana podczas pomiarów każdej serii pomiarowej (tzn. utrzymywana musi być stała prędkość obrotowa wirnika n przy zadanej częstotliwości f napięcia zasilania silnika). Jest to realizowane w tzw. trzecim subsystemie (pkt.2.3), za pomocą którego w konsekwencji wymuszana jest prędkość obrotowa wirnika badanej maszyny przez mechaniczne sprzęgnięcie z silnikiem synchronicznym 3-fazowym, zasilanym z falownika o regulowanej i stabilizowanej częstotliwości napięcia zasilania.

Układ pomiarowy, jako drugi subsystem (pkt.2.2) schematu blokowego z rys.1, umożliwia wykonywanie każdej serii pomiarowej (rozkładów przestrzenno-czasowych indukcji) przez automatyczne wyzwalanie początków wykonywanych pomiarów za pomocą odpowiedniego układu koincydencji (serie pomiarowe muszą być wyzwalane w ściśle określonych powtarzalnych warunkach elektromagnetycznych determinowanych fazą chwilowego położenia wirnika względem stojana oraz fazą przejścia napięcia zasilającego przez zero).

2. SYSTEM POMIAROWY NIESYMETRYCZNYCH MASZYN INDUKCYJNYCH

Opracowano specjalistyczną metodę badań własności wewnętrznych niesymetrycznych maszyn indukcyjnych małej i średniej mocy. W Instytucie Elektroniki (Politechnika Śląska), w ramach badań kierunkowych, opracowano koncepcję i założenia mikroprocesorowego systemu pomiarowego do tych specjalistycznych badań maszyn indukcyjnych. Rysunek 1 przedstawia schemat blokowy zbudowanego

systemu pomiarowego, składającego się z trzech subsystemów oraz komputera nadrzędnego klasy IBM/PC. Komputer nadrzędny zarządza całością systemu, jednak podstawowym założeniem projektowanego urządzenia pomiarowego była możliwość samodzielnej, autonomicznej pracy na stanowisku pomiarowym, oddalonym od komputera nadrzędnego (np. na hali maszyn elektrycznych). Po wstępnym ustawieniu zadanych parametrów pomiarów i przetransmitowaniu tych parametrów do systemu pomiarowego można odłączyć komputer nadrzędny, a wprowadzone parametry pozostają zapamiętane w statycznych pamięciach RAM. Po wstępnym ustawieniu można wyłączyć zasilanie sieciowe systemu pomiarowego, przemieścić go w miejsce pomiarów i ponownie włączyć zasilanie sieciowe, a wprowadzone parametry pomiarów nie ulegną zmianie dzięki temu, że zasilanie tych pamięci RAM jest podtrzymywane bateryjnie. Podobnie, serie pomiarów dla każdego położenia czujników pomiarowych zostają zapisywane do podtrzymywanych bateryjnie statycznych pamięci RAM i transmitowane do nadrzędnego komputera dopiero po zakończeniu pomiarów na żądanie programu zarządzającego. Każdy z subsystemów ma własną klawiaturę i wielopozycyjny wyświetlacz LCD, tworzące wraz z odpowiednim oprogramowaniem danego subsystemu interfejs użytkownika. Taki interfejs użytkownika umożliwia autonomiczne (a nie tylko z komputera nadrzędnego) wprowadzanie nowych parametrów pomiarów do poszczególnych subsystemów. Wszystkie subsystemy są połączone z komputerem nadrzędnym poprzez standardowe złącze RS232C, a szybkość transmisji nie odgrywa roli, ponieważ łącze RS232C służy tylko do przesyłania parametrów pomiarów i odczytu zebranych danych, a nie do sterowania procesami pomiarowymi, które w każdym z subsystemów są realizowane autonomicznie przez odrębne układy mikroprocesorowe. Poszczególne subsystemy mają łącza umożliwiające przekazywanie informacji z subsystemu do innego subsystemu. We wszystkich subsystemach zastosowano 8-bitowe mikrokomputery jednoukładowe z rodziny MCS-51. Wybór tych mikroprocesorów wynika z możliwości wykorzystania ich portów wejść/wyjść szeregowych i wykorzystania ich wewnętrznych liczników do sterowania transmisją szeregową w standardzie RS232C. Pozostałe porty, pracujące jako wejścia/wyjścia równoległe, wykorzystywane są do funkcji sterowania, a możliwość adresacji pojedynczego bitu znakomicie upraszcza proces sterowania. Równocześnie jednak 8-bitowe rejestry wewnętrzne w tych mikroprocesorach powodują wydłużenie i pracochłonność bardziej skomplikowanych operacji arytmetycznych (np. w sterowniku falownika z subsystemu 3, programowe obliczanie wartości funkcji sinus i dokonywanie operacji mnożenia i dzielenia na uzyskanych wynikach). Dlatego w przypadku mikroprocesorowego sterownika falownika lepszy byłby szybszy 16-bitowy układ z rodziny MCS-96,

posiadający wyjście jednego z portów, wyprowadzające sygnał o modulowanej szerokości impulsów (w dalej opisanych układach z MCS-51 należy uzyskać modulację szerokości impulsów - PWM programowo z wykorzystaniem zewnętrznych i wewnętrznych liczników) [5]. Również uzyskanie dynamicznych zmian częstotliwości i współczynnika wypełnienia impulsów sterujących falownikiem skłania do zastosowania tego typu procesora. Niestety, wysokie koszty sprzętowych systemów uruchomieniowych (emulator sprzętowy kosztuje około 7000\$) i programowych (kompilatory, emulatory programowe) powodują, że również w tym subsystemie zastosowano układ z rodziny MCS-51.

2.1. Subsystem generujący napięcie zasilania badanej maszyny indukcyjnej (subsystem 1)

Subsystem 1 generuje napięcie zasilające badaną maszynę. Napięcie to ma stabilizowaną, zadawaną wartość amplitudy (do 300 V), częstotliwość podstawową 50 Hz $\pm 20\%$ i zadawaną zawartość harmoniczných częstotliwości podstawowej. Przebieg o zadanym kształcie (częstotliwości i współczynniku zawartości harmoniczných) i znormalizowanej na wyjściu przetwornika C/A amplitudzie jest generowany przez program zarządzający, a następnie przesyłany i zapisywany w postaci tablicy w pamięci RAM subsystemu 1. Istnieje możliwość zapisu kilku takich tabel dla odmienných przebiegów, a następnie wybieranie ich za pomocą autonomicznej klawiatury tego subsystemu. Uzyskanie dużej dokładności odwzorowania przebiegu wymaga zastosowania 12-bitowego przetwornika C/A (dokładność przetwornika: 0,025%). Przy założeniu amplitudy przebiegu 5 V i częstotliwości 50 Hz, minimalny czas ustalania się napięcia wyjściowego (w otoczeniu przejścia sygnału przez zero) wynosi około 1,6 μs dla rozpatrywanej częstotliwości podstawowej 50 Hz. Składowe harmoniczne przebiegu z jednej strony mają wyższą częstotliwość, lecz z drugiej strony wielokrotnie niższą amplitudę, co powoduje, że przedstawione wymaganie pozostaje niezmienione. Trzeba rozpatrywać przetwornik razem z dołączanym do niego zewnętrznym wzmacniaczem. Dla założonych parametrów przebiegu uzyskuje się najszybsze narastanie napięcia o 2,5 mV w ciągu 1,6 μs . Zatem szybkość narastania napięcia wyjściowego wzmacniacza operacyjnego na wyjściu przetwornika C/A nie jest parametrem krytycznym, natomiast istotny jest krótki czas ustalania się napięcia wyjściowego. Przykładowo, dla przetwornika AD565A wynosi on maksymalnie 0,25 μs , natomiast dla zalecanego w aplikacji firmowej Analog Devices szybkiego wzmacniacza AD509

wynosi on typowo $1 \mu\text{s}$. Odrębnym problemem jest wykorzystanie bezpośredniego odczytu danych z pamięci RAM, sterujących przetwornikiem trwającego łącznie ze sprawdzaniem adresu aktualnie wybieranej komórki pamięci, przy 12 MHz oscylatorze mikroprocesora MCS-51, około $2 \mu\text{s}$, a nie poprzez odczyt najpierw z pamięci zewnętrznej RAM do akumulatora mikroprocesora, a następnie zapis do urządzenia zewnętrznego i dodatkowo sprawdzanie adresu wybieranej komórki pamięci, ponieważ każda z tych operacji zabiera w tym mikroprocesorze około $1 \mu\text{s}$, czyli razem $3 \mu\text{s}$. Z przeprowadzonych rozważań wynika, że największe błędy generowanego przebiegu wystąpią wokół przejścia tego przebiegu przez zero. Przyjmując, na podstawie przeprowadzonych rozważań, odczyt danych z pamięci co $4 \mu\text{s}$, uzyskuje się minimalną dokładność odtworzenia przebiegu około 0,06 % dla $\omega t \approx 2n\pi/2$ ($n=0,1,\dots$), a maksymalną możliwą do uzyskania w 12-bitowym przetworniku C/A dokładność 0,025 % tylko dla ωt w otoczeniu nieparzystej wielokrotności $\pi/2$. Stosowanie wolniejszych układów i rozwiązań wprowadzających większe opóźnienia powoduje, że nigdy nie uzyska się dokładności odwzorowania przebiegu wynikającej ze stosowania 12-bitowego przetwornika C/A, zatem wystarczy stosować tańszy przetwornik 10-bitowy o maksymalnej dokładności 0,1 %. Zmniejszenie amplitudy generowanego przebiegu z jednej strony zmniejszy jego maksymalną szybkość narastania, lecz równocześnie proporcjonalnie zmniejszy się przyrost napięcia przypadający na jeden bit przetwornika C/A, zatem przedstawione wyliczenia pozostaną niezmienione.

Wzmacniacz mocy, którego napięcie wyjściowe jest podawane na badaną maszynę indukcyjną, nie może wprowadzać przesunięć fazowych (związanych z ograniczonym pasmem przenoszenia wzmacniacza), powodujących odkształcanie zaprogramowanych przebiegów w zakresie częstotliwości od 20 Hz do 1 kHz. Zakładając napięcie zasilające o amplitudzie 310 V i podstawowej częstotliwości 50 Hz, maksymalna szybkość narostu napięcia wyjściowego wzmacniacza wynosi zaledwie $0,1 \text{ V}/\mu\text{s}$. Składowe harmoniczne, jak już to wyjaśniono, nie zmieniają tego parametru, ponieważ przy wyższej częstotliwości mają wielokrotnie mniejszą amplitudę. Wzmacniacz powinien mieć moc rzędu kilkuset W. Nie ma, niestety, dostępnych, w pełni odpowiadających przedstawionym warunkom wzmacniaczy scalonych. Najbliższe do spełnienia tych warunków, nowe wzmacniacze firmy APEX MICROTECHNOLOGY CORPORATION, niestety, są albo o zbyt małym prądzie wyjściowym i zbyt małej mocy, albo zbyt niskim dopuszczalnym napięciu zasilającym (np. PA30: 50 A/1000 W/ $\pm 100 \text{ V}$, PA04: 20 A/200 W/ $\pm 100 \text{ V}$). Natomiast ich relatywnie szerokie pasmo przenoszenia (rzędu 1 MHz) gwarantuje stosunkowo niewielkie odkształcenie generowanego przebiegu, spowodowane większym opóźnieniem fazowym wyższych harmonicznych niż przebiegu podstawowego. System stabilizacji amplitudy sygnału

wyjściowego można rozwiązać w technice analogowej znacznie prościej niż wynika to ze schematu blokowego. Jednak możliwość zadawania wartości amplitudy z nadzrędnego komputera bądź autonomicznej klawiatury przemawia za proponowanym rozwiązaniem. Wzmacniacz o regulowanym wzmacnieniu jest wzmacniaczem pomiarowym (np. AD625) z drabinką rezystorów bocznikowanych kluczami z tranzystorów polowych. Przy projektowaniu tej drabinki należy z jednej strony uwzględnić, że załączone analogowe klucze CMOS mają rezystancję rzędu 50Ω do 100Ω , z drugiej strony zbyt duże wartości rezystorów o najwyższych wagach powodują większy wpływ zmian temperatury otoczenia na wzmacnienie układu.

2.2. Subsystem pomiarowy (system 2)

Subsystem 2 służy do pomiaru napięcia i prądu zasilającego badaną maszynę indukcyjną oraz do pomiaru SEM indukowanych w 12 mikrocewkach pomiarowych, rozmieszczonych symetrycznie na wewnętrznej powierzchni stojana badanego silnika. O ile pomiar napięcia i prądu zasilającego badanej maszyny indukcyjnej nie następuje trudności, o tyle pomiar sygnału napięciowego z mikrocewek pomiarowych o amplitudzie od 1 mV do 3 mV w obecności zakłóceń wymaga stosowania specjalnych wzmacniaczy pomiarowych AD524, umożliwiających aktywne tłumienie sygnału wspólnego (zmienny sygnał wspólny jest zakłóceniem nakładanym na mierzony sygnał różnicowy), przy równoczesnym uzyskaniu dużego wzmacnienia. Amplituda napięcia wyjściowego wzmacniaczy pomiarowych jest ustawiana (poprzez kalibrowaną regulację wzmacnienia) na poziomie 1 V . Powtarzany z dostateczną częstotliwością równoczesny pomiar napięć z 12 mikrocewek pomiarowych umożliwia wykreślenie przebiegu indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej pomiędzy stojanem a wirnikiem badanej maszyny. Problem równoczesnego pomiaru rozwiązano [2] zapamiętując każdorazowo 12 sygnałów w 12 układach próbkująco-pamiętających (S&H), będących w praktyce pamięcią analogową. Układy S&H, zaleźnie od wymaganej dokładności śledzenia (np. $0,01 \%$, co wystarcza dla 12-bitowych przetworników A/C) i wydajności źródła prądowego ładującego kondensator, potrzebują od $0,25 \mu\text{s}$ do $10 \mu\text{s}$ na spróbkowanie każdego sygnału wejściowego. Dochodzi do tego czas ustalania się napięcia wyjściowego również tego rzędu. Ponieważ szybkie 12-bitowe przetworniki A/C z bezpośrednim przetwarzaniem są bardzo drogie, a dokładność pomiarów rzędu $0,5 \%$ jest wystarczająca, zastosowano 8-bitowy przetwornik typu "flash converter" sygnału video (np. AD9048 lub jego odpowiednik). Łączny czas porównania napięć i wszystkich opóźnień w układzie tego

typu jest rzędu 25 ns. Zapamiętane w układach S&H wartości są kolejno wybierane przez multiplexer analogowy i przetwarzane na sygnał cyfrowy. W opracowanym w Instytucie Elektroniki układzie [2] wprowadzono oryginalne rozwiązanie kanału DMA (bezpośredniego dostępu do pamięci) dla procesorów MCS-51. Zastosowanie bezpośredniego zapisu do pamięci z pominięciem pośrednictwa akumulatora mikroprocesora skraca czas zapisu do czasu wykonania pojedynczej operacji zapisu do pamięci, czyli około 1 μ s dla 12 MHz częstotliwości taktowania mikroprocesora. Łączny czas pomiaru napięć z 12 kanałów należy oszacować na podstawie przedstawionych danych na około 25 μ s. Można zatem próbować przebieg co 25 μ s. Przy amplitudzie 1 V i częstotliwości 50 Hz czas próbkowania i przetwarzania w każdym kanale, w otoczeniu przejścia sygnału przez zero, powinien wynosić maksymalnie 25 μ s, aby zachować maksymalną dokładność odtwarzania przebiegu, gwarantowaną przez 8-bitowy przetwornik. Ze względu na ograniczoną pojemność pamięci RAM subsystemu i konieczność zapisywania do niej kilku serii pomiarowych w pracy [2] ograniczono się do próbkowania co 140 μ s, co jednak powoduje, że w pobliżu przejścia mierzonego sygnału przez zero występuje większy błąd przy odtwarzaniu mierzonego sygnału niż 0,5 %, wynikający ze stosowania 8-bitowego przetwornika. Do układu tego należy dołączyć dwa dodatkowe kanały pomiaru napięcia i prądu zasilania, również mierzone w tych samych chwilach co SEM z mikrocewk pomiarowych. Odrębnym zagadnieniem jest określenie chwilowego położenia kręcącego się wirnika względem chwili przejścia przez zero napięcia zasilającego badaną maszynę. Do pomiaru położenia chwilowego wirnika służy nieprzeźroczysta tarcza, sprzężona z osią wirnika zębatym bezpośrednio paskiem klinowym, z jednym okienkiem na obwodzie, przez które dioda LED oświetla element fotooptyczny. Chwila pokrycia się (koincydencji) sygnału elementu fotooptycznego z sygnałem detektora zera napięcia zasilającego powoduje inicjację początku przeprowadzenia pomiarów. Ze względu na ograniczenie przestrzeni adresowej zewnętrznej pamięci RAM procesorów MCS-51 do 64kB (ponieważ jest 16 linii adresowych) w zaprojektowanym w Instytucie Elektroniki układzie [2] możliwe jest ręczne przełączanie dwóch 64 kB pamięci RAM, co pozwala na zebranie podwójnej ilości serii pomiarowych.

2.3. Subsystem wymuszający prędkość obrotową badanej maszyny (subsystem 3)

Subsystem 3 jest mikroprocesorowo sterowanym trójfazowym falownikiem podającym napięcia o odpowiedniej częstotliwości i amplitudzie do trójfazowej maszyny synchronicznej, wymuszającej prędkość obrotową badanej maszyny.

Falownik [4] został zbudowany w Instytucie Maszyn i Urządzeń Elektrycznych na tranzystorach złączowych, a w następnej kolejności zgodnie z najnowszymi tendencjami zostanie zbudowany w wersji z tranzystorami IGBT, łączącymi zalety sterowania tranzystorów MOS z niską wyjściową rezystancją nasyconych tranzystorów złączowych i krótkim czasem ich przełączania. Falownikiem tym steruje zbudowany w Instytucie Elektroniki układ mikroprocesorowy [3]. Musi on, po pierwsze, dawać trójfazowe przebiegi sinusoidalne o jak najmniejszej zawartości harmonicznych (harmoniczne prócz drgań mechanicznych powodują straty energii w silniku i jego hałaśliwość), po drugie, utrzymywać stałą wartość stosunku U/f (stosunek wartości skutecznej napięcia generowanego przez falownik do częstotliwości tego napięcia). Częstotliwość f generowanego napięcia musi być wyliczona jako funkcja częstotliwości napięcia zasilającego badany silnik, stosunku ilości par biegunów maszyny synchronicznej oraz silnika indukcyjnego, liczby prętów symetrycznego wirnika, liczby analizowanych okresów napięcia zasilającego badany silnik oraz liczby prętów wirnika, które "nie obróca się" względem stojana w czasie zadanej liczby analizowanych okresów napięcia zasilania. Przy założeniu częstotliwości $50 \text{ Hz} \pm 20\%$ napięcia zasilającego badany silnik częstotliwość napięcia sinusoidalnego generowanego przez falownik musi zmieniać się od kilku do 100 Hz. Współcześnie stosowaną metodą generacji takich przebiegów jest generowanie przez falownik ciągów impulsów o zmodulowanym współczynniku wypełnienia (modulacja PWM, tzw. jedno lub dwubiegunowa). Im stosunek częstotliwości nośnej (częstotliwość przebiegu impulsowego) do modulującej (częstotliwość napięcia, które będzie generowane przez falownik) jest wyższy, tym mniejsza jest zawartość najbardziej szkodliwych niższych harmonicznych w generowanym przebiegu. Powoduje to konieczność zwiększania częstotliwości przebiegu impulsowego wraz ze wzrostem częstotliwości modulującej. Zbyt mała częstotliwość nośna może prowadzić do niemożności uzyskania dostatecznie dużej amplitudy sygnału sinusoidalnego generowanego przez falownik. Należy także ograniczyć minimalną i maksymalną szerokość impulsów oraz powiązany z tym maksymalny współczynnik głębokości modulacji ze względu na parametry elementów wykonawczych falownika. Współczynnik wypełnienia impulsów można obliczać porównując sinusoidalny przebieg modulujący z przebiegiem piłowym lub trójkątnym o częstotliwości przebiegu nośnego. Przy generacji napięć o różnych częstotliwościach powinna być zachowana stałość stosunku U/f . Innym problemem, jaki należy rozwiązać przy sterowaniu maszyn synchronicznych, jest konieczność stopniowego narostu częstotliwości generowanego przebiegu przy rozruchu, szczególnie istotna przy wyższych jego częstotliwościach. W wykonanej w Instytucie Elektroniki pracy [3] zaprojektowano, wykonano

i oprogramowano oryginalnie rozwiązany (np. sposób naprzemiennego wykorzystywania programowalnych liczników służących do ustalenia długości generowanych impulsów, co pozwala na pominięcie czasu przeładowywania liczników) układ sterujący falownika na mikroprocesorze z rodziny MCS-51. Wszystkie funkcje obliczania częstotliwości generowanego przebiegu (na podstawie parametrów maszyny synchronicznej i badanego silnika, zadanej częstotliwości napięcia zasilającego badany silnik i wprowadzonych parametrów) oraz procesu modulacji PWM są wykonywane przez komputer nadrzędny, który transmituje do RAM subsystemu 3 dane dotyczące wyliczonych częstotliwości i tablice (do 124 tablic) programujące poprzez mikroprocesor, scalone liczniki 8253, ładowane naprzemiennie (dla uniknięcia problemu szybkiego przeładowywania liczników) i wyzwalane z zaprogramowaną częstotliwością z wewnętrznego licznika T0 mikroprocesora. Wszystkie dane dotyczące generowanych przebiegów umieszczane są w statycznej pamięci RAM o zasilaniu podtrzymywanym bateryjnie, co umożliwia odłączenie zasilania sieciowego subsystemu po transmisji danych łączem szeregowym i przemieszczenie subsystemu na stanowisko pomiarowe. Autonomiczna klawiatura pozwala na wybór kolejnych załadowanych tablic już po odłączeniu od nadrzędnego komputera na stanowisku pomiarowym. Taka koncepcja, możliwa do zrealizowania na mikroprocesorze 8031/12 MHz, pozwala na statyczne generowanie ustalonych przebiegów przy zadaniu schodkowego narastania częstotliwości w chwili rozruchu.

Nierozwiązany pozostawał problem chwilowego przeciążenia maszyny synchronicznej (po spadku prędkości obrotowej powinna od nowa rozpocząć się procedura rozruchu) oraz modelowania dochodzenia częstotliwości generowanego przebiegu do wartości ustalonej według zadanej charakterystyki, przy równoczesnym zachowaniu stałości stosunku U/f . Generowany przebieg powinien być także synchronizowany z przejściem przez zero napięcia zasilającego badaną maszynę. W dalszych wersjach subsystemu 3 funkcje przeliczania w procesie modulacji przejmie szybszy procesor (najlepszy byłby 16-bitowy procesor z rodziny MCS-96, ale istnieją także nowe znacznie szybsze niż stosowana wersje 8-bitowych procesorów MCS-51), wprowadzone zostanie sprzężenie od detektora zera napięcia zasilającego, od czujnika prędkości obrotowej badanego silnika (równej oczywiście prędkości obrotowej maszyny synchronicznej) i możliwa będzie bezpośrednia (bez pośrednictwa komputera nadrzędnego) transmisja wartości częstotliwości napięcia zasilającego badaną maszynę z pierwszego do trzeciego subsystemu.

Rozbudowany system pomiarowy wymaga rozbudowanego programu zarządzającego w komputerze nadrzędnym, pozwalającego zarówno na ustawianie wszystkich subsystemów, jak i automatyczne przekazywanie raz wprowadzonych parametrów do innych części systemu (przykładowo raz zadana częstotliwość napięcia zasilającego powinna być automatycznie wprowadzona do falownika). Zebrane dane są transmitowane w postaci tablic z subsystemu pomiarowego, a następnie odpowiednio porządkowane w celu wyświetlenia lub wydrukowania pożądanych wykresów przebiegu indukcji z możliwością dalszej obróbki. Programy zarządzające z prac [2] i [3] stanowią podstawę takiego programu zarządzającego.

3. PODSUMOWANIE

Prezentowana koncepcja systemu pomiarowego została praktycznie sprawdzona dla jednego toru pomiarowego, bez automatycznej regulacji wzmocnienia w tym torze, bez mikroprocesorowego układu wymuszającego napięciowe zasilanie badanej maszyny i z podstawową wersją mikroprocesorowo sterowanego falownika [3], bez możliwości kształtowania dynamiki dochodzenia prędkości obrotowej maszyny synchronicznej do zadanej prędkości ustalonej. W oprogramowaniu, w zasadzie standardowym, położono w pracach [2] i [3] główny nacisk na odporność transmisji na zakłócenia, tworząc algorytmy transmisji wielokrotnie sprawdzające (na różne sposoby) transmitowane dane. W tak zbudowanym podstawowym systemie sprawdzono prawidłowość przedstawionej koncepcji i możliwość jej realizacji (szczególnie, jeżeli chodzi o pomiary małych napięć w obecności znacznych zakłóceń oraz wielkość błędów odtwarzania, zmierzonych przebiegów, wynikających z szybkości i dokładności stosowanych układów). Obecnie kontynuowana jest rozbudowa systemu do postaci przedstawionej w artykule postaci.

LITERATURA

- [1] Cioska A., Janik T.: Metoda pomiaru rozkładu pola magnetycznego w szczelinie powietrznej małych maszyn elektrycznych prądu przemiennego. OBRME "EMA-KOMEL", Zeszyty Problemowe 20/74.

- [2] Janczak A.: Wielokanałowy system pomiarowy sterowany przez komputer klasy IBM XT/AT. Praca dyplomowa, Instytut Elektroniki Pol. Śląskiej, Gliwice 1992.
- [3] Tomala R.: Mikroprocesorowo sterowany falownik do systemu pomiarowego silnika elektrycznego. Praca dyplomowa, Instytut Elektroniki Pol. Śląskiej, Gliwice 1993.
- [4] Simon K., Talaga M.: Falownik tranzystorowy do zasilania i regulacji silnika indukcyjnego. Praca dyplomowa, Instytut Maszyn i Urządzeń Elektrycznych Pol. Śląskiej, Gliwice 1993.
- [5] Nowacki Z.: Modulacja szerokości impulsów w napędach przekształtnikowych prądu przemiennego. PWN, Warszawa 1991.

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

Wpłynęło do Redakcji dnia 25 marca 1994 r.

Abstract

The paper shows a conception and assumptions of a measurement system of small and medium power non symmetrical induction engine, that consists of three microprocessor subsystems: a device generating the supplying voltage (with a programmable magnitude, basic frequency and contents of harmonics), a device collecting and storing the results of measurements from sensors (installed in tested engine) and the dc/ac converter generating 3 phase voltage supplying the synchronous engine (forcing the rotational speed of the tested engine).

All the three subsystems co-operate with a superior IBM//PC computer, to which stored measurement results are transmitted through a standard serial interface RS232C. Each of the subsystems shown in fig.1, can work separately and can be controlled by means of user interface: autonomous keyboard and multiposition alphanumeric LCD display module. Each subsystem has battery powered static memories (SRAM) in which subsystem parameters and collected data are stored. Such a design, after initial setting up, enables to use the system in places far away from the superior computer.

The paper presents the choice of component parameters in the subsystems (e.g. conversion times, setting times, slew rates etc. of converters and analogue components and time of completing some instructions of embedded controllers) ensuring a proper accuracy of programmed wave forms generation and accuracy of measurements. The unique, non-standard solutions of the subsystems, speeding them up are briefly described.

The paper presents the existing system as well as the way of rebuilding and modernizing it.