ZESZYTY NAUKOWE POLIECHNIKI ŚLĄSKIEJ Seria: ELEKTRONIKA z. 3

1994 Nr kol. 1254

Zbigniew RYMARSKI Jarosław KRAWCZYK Instytut Elektroniki Politechnika Śląska Andrzej CIOSKA Instytut Maszyn i Urządzeń Elektrycznych Politechnika Śląska Andrzej JANCZAK Centrum Elektryfikacji i Automatyzacji Górnictwa EMAG

Ryszard TOMALA Energoprojekt

KONCEPCJA I REALIZACJA SYSTEMU POMIAROWEGO MASZYN INDUKCYJNYCH

Streszczenie. Przedstawiono koncepcję i realizację systemu pomiarowego maszyn indukcyjnych małej i średniej mocy, składającego się z układu generacji napięcia zasilającego (o programowalnej amplitudzie, podstawowej częstotliwości, zawartości harmonicznych), układu zbierania i gromadzenia pomiarów z czujników (umieszczonych w badanej maszynie) oraz układu mikroprocesorowo sterowanego falownika, generującego 3-fazowe napięcie zasilające maszynę synchroniczną (wymuszającą prędkość obrotową badanej maszyny). Przedstawiono dobór parametrów elementów poszczególnych subsystemów z punktu widzenia dokładności odwzorowywania generowanych przebiegów i dokładności pomiarów w całym zakresie mierzonych przebiegów. Opisano oryginalne, niestandardowe rozwiązania konstrukcyjne subsystemów istniejącego już systemu pomiarowego, pozwalające przyśpieszyć proces zbierania i przetwarzania danych, jak i kierunki jego przyszłej przebudowy i modernizacji.

The concept and the realisation of a measurement system for induction engines

Summary. The paper shows the concept and realisation of a measurement system for small and medium power non symmetrical induction engines, that consists of a device generating the supply voltage (with a programmable magnitude, basic frequency and contents of harmonics), a device collecting and storing results of measurements from sensors (installed in tested engine), a device collecting and storing results of measurements from sensors (installed in tested engine) and a microprocessor controlled dc/ac converter generating 3 phase voltage supplying the synchronous engine (forcing rotational speed of the tested engine). The paper shows the concept and realization of a measurement system for small and medium power non symmetrical induction engines, that consists of a device generating the supply voltage (with a programmable magnitude, basic frequency and contents of harmonics), a device collecting and storing results of measurements from sensors (installed in tested engine) and a microprocessor controlled dc/ac converter generating 3 phase voltage supplying the synchronous engine (forcing rational speed of the tested engine). The paper presents the choice of performance parameters for the components of particular subsystems (such as conversion times, settling times, slew rates etc. for converters and analogue components and time required by the embedded controllers to complete some instructions) from the point of view of the accuracy of generating the programmed waveforms and of the measurement accuracy. The unique, non-standard solutions of the existing system, which increase its speed, as well as possible ways of rebuilding and modernizing the system are briefly described.

Konzeption und Realisierung des Meßverfahrens für Induktionsmaschinen

Zusammenfassung. Die dargestellte Lösung und die Realisierung des Meßverfahrens für Inductionsmaschinen kleinerer und mittlerer Leistung enthält eine Generierungsschaltung der Versorgungsspansung mit freiprogrammierbarer Amplitude der Basisfrequenz und oberen Schwinngungswellen, Erfassung der Meßwerte, die von in der Maschine eingebauten Meßgebern erzeugt wurden und Spannungs-Freqentz-Umrichter (SFU) zur Erzeugung der 3-Phasen-Netz-Spannung, der mittels Mikroprozessor gesteuert wurde, für die Erzeugung der gewünschter Drehzahl der untersuchten Induktionsmaschine. Die dargestellte Optimierung des entsprechenden Subsystems und unter Berücksichtigung der Genauigkeit der generieten Abläufe im gesamten Meßspektrum. Es wurde eine eigenartige nichtstandardmäßige Lösung des vorhandenen Meßsystems erreicht, um die Meßdaten-und Verarbeitung zu beschleunigen.

1. WPROWADZENIE

Występowanie asymetrii technologicznych jednofazowych maszyn indukcyjnych powstałych podczas ich produkcji powoduje, że zachodzi konieczność wyznaczania wpływu tych asymetrii na podstawowe parametry elektromagnetyczne i elektromechaniczne maszyn. Przekroczenie w procesie produkcyjnym dopuszczalnych odchyłek podstawowych parametrów konstrukcyjno-wykonawczych maszyn elektrycznych małej mocy 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. Dlatego właśnie przedmiotem badań kierunkowych w Instytucie Elektroniki i Instytucie Maszyn i Urządzeń Elektrycznych jest przedstawiony w artykule system pomiarowy maszyn indukcyjnych małej i średniej mocy.

Do podstawowych parametrów konstrukcyjno-wykonawczych maszyn indukcyjnych zalicza się:

- 1. średnice: zewnętrzną wirnika i wewnętrzną stojana,
- równomierność, ewentualnie celowo wprowadzaną nierównomierność promieniowej grubości szczeliny powietrznej,
- mimośrodowość powierzchni wirnika względem osi obrotu maszyny (ekscentryczność dynamiczna) i mimośrodowość położenia osi obrotu wirnika względem osi powierzchni wewnętrznej stojana (ekscentryczność statyczna),
- 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 spe-

cjalistycznym modelowym układzie badawczym, który w swojej części mechanicznej umożliwi odpowiednią symulację odstępstw od niektórych parametrów konstrukcyjno-wykonawczych z jednoczesnym ich pomiarem. Schemat blokowy z rys.1 przedstawia system pomiarowy (składający się z trzech zasadniczych części nazywanych trzema subsystemami) modelowego układu badawczego, który poprzez pomiary rozkładów przestrzenno-czasowych [1] indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej między stojanem a wirnikiem 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) celem otrzymania właściwych przebiegów przestrzenno-czasowych indukcji. Jest to realizowane w układzie pierwszego subsystemu (pkt.2.1 i 3.1).

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 i 3.3), 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 i 3.2) 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 wimika względem stojana oraz fazą przejścia napięcia zasilającego przez zero).

2. KONCEPCJA I ZAŁOŻENIA SYSTEMU POMIAROWEGO

W punkcie 2 artykułu przedstawiona zostanie koncepcja, założenia i wymagania dotyczące poszczególnych subsystemów i stosowanych elementów systemu pomiarowego opracowanego w Instytucie Elektroniki (Politechnika Śląska), w ramach badań kierunkowych [6, 7, 8, 9]. Rys.1 przedstawia schemat blokowy zbudowanego systemu pomiarowego składającego się z trzech subsystemów oraz komputera nadrzędnego klasy IBM/PC. Komputer nadrzędny zarządza całością sytemu, jednak podstawowym założeniem projektowanego urządzenia pomiarowego jest 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 zarówno odłączyć komputer nadrzędny, jak i wyłączyć zasilanie sieciowe systemu pomiarowego



96

Z. Rymarski i in.

Koncepcja i realizacja systemu pomiarowego ...

go, przemieścić go w miejsce pomiarów i ponownie włączyć zasilanie sieciowe, a wprowadzone parametry pozostają zapamiętane w statycznych pamięciach RAM 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 pó 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 łącze szeregowe 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, między innymi 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 dużą 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]. Ponieważ istnieje potrzeba uzyskania dynamicznych zmian częstotliwości i współczynnika wypełnienia impulsów sterujących falownikiem, należy zastanowić się nad możliwością zastosowania tego typu procesora w następnych wersjach sterowników falowników. Na przeszkodzie stoją wysokie koszty sprzętowych systemów uruchomieniowych i programowych.

2.1. Koncepcja i założenia subsystemu generującego napięcie zasilania badanej maszyny indukcyjnej (subsystem 1)

Subsystem 1 generuje napięcie zasilające badaną maszynę. Napięcie to powinno mieć stabilizowaną, zadawaną wartość amplitudy (do 300 V), częstotliwość podstawową 50 Hz ±20 % i zadawaną zawartość harmonicznych częstotliwości podstawowej. Przebieg o zadanym kształcie (częstotliwości i współczynniku zawartości harmonicznych) i znormalizowanej na wyjściu przetwornika C/A amplitudzie jest generowany przez program zarządzający, a następnie prze-

syłany i zapisywany w postaci tablicy w pamięci RAM subsystemu 1. Istnieje możliwość zapisu kilku takich tabel dla odmiennych 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 amlitudy 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 szybkośćnarastania 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 μs. Odrębnym zagadnieniem jest dobór parametrów dynamicznych wzmacniacza mocy zasilającego badaną maszynę.

Wykorzystanie bezpośredniego odczytu danych (sterujących przetwornikiem) z pamięci RAM, uwzględniając czas sprawdzania adresu aktualnie wybieranej komórki pamięci, przy 12 MHz oscylatorze mikroprocesora MCS-51, przyspiesza o 1 µs proces zadawania chwilowej wartości napięcia w stosunku do standardowej operacji zapisu danej z pamięci RAM do urządzenia zewnętrznego, wykorzystującej rejestr-akumulator mikroprocesora.

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 μ s, uzyskuje się minimalną dokładność odtworzenia przebiegu około 0,06 % dla $\omega t \approx 2n\pi/2$ (n=0,1,...), 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, a zatem musi mieć możliwie szerokie pasmo przenoszenia czestotliwości i równocześnie szybkość narastania napięcia wyjściowego nie powodującą odkształcenia przebiegu (szczególnie przy dużej zawartości harmonicznych) w otoczeniu przejścia sygnału przez zero. Wzmacniacz powinien mieć moc ponad 1000 W. Nie ma niestety dostępnych, w pełni odpowiadających przedstawionym warunkom wzmacniaczy scalonych. Najbliższe do spełnienia tych warunków są nowe wzmacniacze firmy APEX MIC-ROTECHNOLOGY CORPORATION, niestety albo o zbyt małym prądzie wyjściowym i zbyt małej mocy, albo zbyt niskim dopuszczalnym napięciu zasilającym (np. PA30: 50A/1000 W/ ±100 V). Natomiast ich relatywnie szerokie pasmo przenoszenia (rzędu 1 MHz) gwarantuje stosunkowo niewielkie odkształcenie generowanégo 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 nadrzędnego komputera, bądź autonomicznej klawiatury przemawia za proponowanym rozwiązaniem: mikroprocesorowego układu regulacji z izolacją galwaniczną od kilkusetwoltowego regulowanego napięcia i detektorem szczytowym na wejściu przetwornika.

Wzmacniacz o regulowanym wzmocnieniu 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 50 Ω do 100 Ω , z drugiej strony zbyt duże wartości rezystorów o najwyższych wagach powodują większy wpływ zmian temperatury otoczenia na wzmocnienie układu.

2.2. Koncepcja i założenia subsystemu pomiarowego (subsystem 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 nastręcza trudności (należy jednak wprowadzić izolację galwaniczną tych sygnałów), 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 wzmocnienia.

Amplituda napięcia wyjściowego wzmacniaczy pomiarowych jest ustawiana (poprzez kalibrowaną regulację wzmocnienia) na poziomie 1 V ze względu na dopuszczalny poziom napięcia wejściowego stosowanego przetwornika A/C. 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 pamięcią analogową. Układy S&H zależnie 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 µs do 10 µs 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 multiplekser 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 μs dla 12 MHz częstotliwości taktowania mikroprocesora. Łączny czas pomiaru napięć z 12 kanałów należy oszacować na podstawie przedstawionych danych na około 25 µs. Można zatem próbkować przebieg co 25 µs. 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 µs, aby zachować maksymalną dokładność odtwarzania przebiegu gwarantowaną przez 8-bitowy przetwornik. W praktyce 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 µs, 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 mikrocewek 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 bezpoślizgowym 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 64 kB (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. Koncepcja i założenia subsytemu wymuszającego prędkość obrotową badanej maszyny (subsystem 3)

Subsytem 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).

Koncepcja i realizacja systemu pomiarowego ...

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 obrócą się" względem stojana w czasie zadanej liczby analizowanych okresów napiecia zasilania. Przy założeniu częstotliwości 50 Hz ±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 generownym 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 piłokształtnym 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 narastania częstotliwości generowanego przebiegu przy rozruchu, szczególnie istotnego przy wyższych prędkościach obrotowych w stanie ustalonym.

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. Nie rozwiązany pozostaje 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 mikroprocesor (najlepszy byłby 16-bitowy procesor z rodziny MCS-96 lub nowa znacznie szybsza niż stosowana wersja 8-bitowego procesora 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.

2.4. Wymagania dotyczące oprogramowania systemu

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. O ile struktura tych programów jest dość standardowa, to w [2] opracowano specjalny protokół transmisji zabezpieczający przed przekłamaniami transmitowanych danych występującymi w obecności silnych zakłóceń.

3. OMÓWIENIE REALIZACJI SYSTEMU POMIAROWEGO

3.1. Konstrukcja subsystemu 1: sterowanego komputerowo generatora napięcia zasilającego o programowanej zawartości harmonicznych

W artykule przedstawiono system generacji napięcia zasilającego badaną maszynę indukcyjną, umożliwiający wykonywanie serii pomiarowych rozkładów przestrzenno-czasowych indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej niesymetrycznych maszyn indukcyjnych przy zasilaniu ich napięciem sinusoidalnym o zróżnicowanej zawartości harmonicznych częstotliwości podstawowej. Subsystem składa się z dwóch modułów funkcyjnych:

- 1. układu generacji napięcia zasilającego,
- układu regulacji i stabilizacji amplitudy napięcia zasilającego, oraz oprogramowania systemowego.

Każdy z bloków został tak zaprojektowany, aby mógł pracować autonomicznie jako samodzielny moduł, jednak dopiero połączenie modułów tworzy generator przebiegu napięcia zasilającego o programowanej zawartości harmonicznych.

3.1.1. Układ generacji napięcia zasilającego

Rys. 2 przedstawia schemat blokowy układu generacji. Moduł układu generacji powstał na bazie mikrokontrolera jednoukładowego 8032 z rodziny mikrokomputerów jednoukładowych MCS-51, których wybór został uzasadniony w punkcie 2.1. Należy on do grupy mikrokontrolerów 8-bitowych z multipleksowaną magistralą adresów i danych. Stąd wynika konieczność zastosowania w układzie rejestru adresowego (RA).



Rys. 2. Schemat blokowy modułu generatora napięcia zasilającego Fig. 2. The block diagram of the power supply voltage waveform generator

Architektura mikrokontrolera 8032 pozwala prosto uzyskać komunikację z komputerem nadrzędnym klasy IBM PC za pomocą łącza szeregowego w standardzie RS232C. Mikrokontroler taktowany jest oscylatorem kwarcowym 12 MHz, co powoduje, że cykl rozkazowy równy jest 1 µs. Szybkość transmisji szeregowej ustalono na ok. 9600 bodów.

Rozkazy sterujące oraz stablicowany ciąg próbek przebiegu napięcia generowanego przez układ przekazywane są łączem RS232C do modułu generacji. Przetransmitowane dane zapisywane są w pamięci RAM modułu generatora. Pamięć modułu generatora przechowująca informacje o przebiegu sygnału została podzielona na dwa banki (BANK0 i BANK1). W celu zachowania przetransmitowanych danych w przypadku zaniku napięcia zasilającego oraz umożliwienia odłączenia subsystemu od komputera nadrzędnego i przeniesienie systemu na stanowisko pomiarowe, pamięć RAM posiada układ bateryjnego podtrzymywania napięcia.

W celu uzyskania dużej dokładności odwzorowania przebiegu w układzie zastosowano 12-bitowy przetwornik C/A firmy Analog Devices AD667. Istnieje kilka standardowych rozwiązań konstrukcyjnych problemu dostarczenia danych do 12-bitowego przetwornika za pomocą 8-bitowej magistrali danych. Dzięki zastosowaniu dwóch banków pamięci RAM możliwe jest jednoczesne podawanie do przetwornika 12 bitów, co przyśpiesza proces generacji kolejnych wartości napięcia. Próbki przetransmitowane do układu generacji poprzez łącze RS232C zapisywane są na przemian raz do BANKU0, raz do BANKU1 w taki sposób, aby pod odpowiadającymi adresami w obu bankach znałazły się wartości jednej próbki (pełne dwanaście bitów). BANK0 zawiera młodszy bajt próbki, a BANK1 starsze 4 bity. Pełne 12-bitowe dane podawane są równocześnie do przetwornika C/A bez udziału rejestrów wewnętrznych procesora, co w wystarczającym stopniu przyspiesza działanie przedstawianego układu.

W celu dokonywania pomiarów przy zmianie położenia cewek pomiarowych i zachowaniu ściśle określonej chwili czasu dokonywania pomiaru układ generacji dostarcza do systemu pomiarowego sygnał koincydencji wyznaczający chwilę przejścia przez zero generowanego napięcia zasilającego.

3.1.2. Układ regulacji i stabilizacji amplitudy

Rys. 3 przedstawia schemat blokowy modułu regulacji i stabilizacji amplitudy. Jego zadaniem jest utrzymanie stałej, zadanej wartości amplitudy generowanego sygnału napięciowego. Moduł został wyposażony w pamięć RAM, w której przechowywane są informacje przetransmitowane do układu za pośrednictwem łącza RS232C z komputera nadrzędnego. Pamięć RAM modułu ma układ podtrzymywania bateryjnego zasilania, co pozwala na odłączenie go od napięcia zasilania, podobnie jak układ generacji napięcia.

Układ firmy Analog Devices AD625 będący wzmacniaczem pomiarowym o programowanym wzmocnieniu w połączeniu z procesorem stanowi pętlę regulacji amplitudy. Wzmocnienie jest ustalane za pomocą kluczowanej drabinki rezystorowej. Istotnym problemem jest dobór wartości rezystancji drabinki oraz niezerowej rezystancji, jaką wnoszą załączone klucze CMOS, które powodują istotne ograniczenie poziomu wzmocnienia wzmacniacza.

Blok detektora szczytowego, układu próbkująco-pamiętającego przetwornika A/C oraz mikrokontrolera stanowią pętlę stabilizacji amplitudy. Blok ten został zrealizowany w technice cyfrowej, a nie analogowej (np. tradycyjne analogowe układy ARW) z przyczyn wymienionych w pkt. 2.1.

Do sterowania autonomicznej klawiatury w układzie regulacji amplitudy wykorzystano sterownik klawiatury I8279. 16-pozycyjny wyświetlacz LCD wyświetla aktualne dane o częstotliwości przebiegu, jego amplitudzie oraz dodatkowe informacje dla operatora systemu o stanie układu. Klawiatura pozwala na wprowadzanie wartości amplitudy przebiegu. Wraz z wyświetlaczem pełni ona funkcję pulpitu sterowniczego. Za jej pomocą jest możliwe przekazywanie dyrektyw dla układu regulacji i stabilizacji amplitudy oraz dla układu generacji napięcia.



Rys. 3. Schemat blokowy modułu regulacji i stabilizacji amplitudy Fig. 3. The block diagram of the amplitude control module

Istotnym problemem jest dokonywanie obliczeń arytmetyki wielobitowej na procesorze 8-bitowym, który nie posiada rejestrów 16-bitowych oraz ma ubogą listę rozkazów arytmetycznych (mnożenia i dzielenia wielobitowego). Opracowanie procedur arytmetycznych oraz integracja całego subsystemu stanowiła jeden z podstawowych problemów przy projektowaniu subsytemu 1.

3.1.3. Oprogramowanie systemowe

Oprogramowanie systemowe ponosi odpowiedzialność za pracę całego systemu oraz pełni rolę nadzorującą. Komputer nadrzędny klasy IBM/PC wykonuje procedury kształtowania przebiegu oraz dokonywania skomplikowanych operacji arytmetycznych. Operacje obliczeniowe przetwarzają dużą ilość danych o przebiegu. Oprogramowanie systemowe zapewnia łatwą ingerencję w generowany przebieg i umożliwia łatwe kształtowanie tego przebiegu. Pozwala także na jego wizualizację po ustaleniu wszystkich parametrów przebiegu jeszcze przed przetransmitowaniem go do systemu generacji. Oprogramowanie musi także zapewnić komunikację operatora systemu z urządzeniem.



106

3.2. Konstrukcja subsystemu 2: wielokanałowego układu do pomiaru rozkładów przestrzenno-czasowych indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej niesymetrycznych maszyn indukcyjnych

Rys. 4 przedstawia schemat blokowy zrealizowanego subsystemu pomiarowego. W szczelinie powietrznej między stojanem a wirnikiem maszyny indukcyjnej rozmieszczono symetrycznie zespół 12 mikrocewek pomiarowych. Każdemu położeniu tego zespołu odpowiada seria zbieranych danych. Aby wyniki pomiarów uzyskane w różnych seriach pomiarowych (przy przesuwaniu cewek w szczelinie) mogły sobie odpowiadać, w celu 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 napięca 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. 4) generuje zatem krótki pojedynczy impuls w chwili osiągnięcia koincydencji rozpoczynający operację pobierania i zapamiętywania wyników przez mikrokontroler jednoukładowy μ K (rys. 4). 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. Cyfrowa reprezentacja sygnałów pomiarowych umożliwia łatwą rejestrację przebiegów wielkości mierzonych przy dużej wymaganej odporności na zakłócenia (szumy, temperatura, zmiany napięć zasilających), a oprogramowanie nadrzędnego komputera klasy IBM PC umożliwia przetwarzanie wyników oraz ich wizualizację 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. 4), sterując bezpośrednio procesem wyboru wzmocnienia, kanału pomiarowego, zapisu i odczytu danych. Stan procesu pomiarowego jest sygnalizowany na bieżąco w bloku BSP (rys. 4) diodami LED i sygnałem dźwiękowym.

Indukowane w rozłożonych na obwodzie maszyny mikrocewkach pomiarowych napięcie ma wartość rzędu kilku mV wartości międzyszczytowej. Ponadto mała impedancja cewek, konieczność stosowania "pływającego" wejścia wzmacniaczy pomiarowych (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 wejściowego o amplitudzie kilku woltów odniesionego do masy (w opisanym dalej przypadku z nałożoną składową stałą układ UNSS z rys. 4). Konieczne jest więc wzmocnienie przebiegów mierzonych do takiej wartości (BWWP z rys. 4). 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 zwiększenia 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 access) jako najlepsze możliwe rozwiązanie dla tego przypadku. Mikrokontrolery serii MCS-51 nie mają możliwości współpracy z układami DMA. W systemie pomiarowym zastosowano mikrokontroler 18032, 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. 4) bez pośrednictwa rejestrów wewnętrznych mikrokontrolera, co znacznie przyśpiesza 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. 4), które zbudowane z kluczy analogowych typu CMOS umożliwiają przełączanie sygnałów z częstotliwością $f \ge 1$ 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 $\le 125 \Omega$ przy $U_{zas} = \pm7,5$ V) i bardzo dużą rezystancją kluczy wyłączonych (R_{OFF} ≥ 100 M Ω).

Przy przełączaniu wyjść wzmacniaczy pomiarowych do wejścia przetwornika A/C formalnie nie jest spełniony warunek jednoczesności pomiaru. Pomiary są przesunięte względem siebie o pewien niewielki okres czasu (rzędu kilku µs), zależny od czasu przełączenia multipleksera, czasu stabilizacji sygnału na wejściu przetwornika, czasu samego przetwarzania, jak i czasu odczytu i żapisu (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 przez zastosowanie układów próbkująco - pamiętających (S&H) w torach pomiarowych bezpośrednio po wzmacniaczach. W zastosowanym rozwiązaniu układy próbkująco - pamiętające (BUPP z rys. 4) służą do pobierania próbek wartości zmiennego w czasie napięciowego sygnału wejściowego w czasie rzędu kilku µs 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.

Koncepcja i realizacja systemu pomiarowego ...

Pomimo przesuniętych względem siebie czasów odczytów i przetwarzania sygnałów (rzędu kilku μ 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 siłnika. 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 (μ 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 zapamiętywane napięcie.

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 układu pamięci (rzędu kilku µA dla wersji CMOS) przy nieaktywnym sygnale wyboru pamięci i zasilaniu z baterii 3.3 V, 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.

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.

3.3. Konstrukcja subsystemu 3: mikroprocesorowego układu sterowania trójfazowym, tranzystorowym falownikiem napięcia do systemu pomiarowego silnika indukcyjnego

Zakres częstotliwości falownika wynosi 2-100 Hz z zachowaniem stałego stosunku U/f w wybranych zakresach częstotliwości ze względu na pracę silnika ze stałym strumieniem magnetycznym.

Minimalizowane są tętnienia prędkości obrotowej napędzanego falownikiem silnika synchronicznego. Sterownik mikroprocesorowy jest maksymalnie uniwersalny, aby miał możliwość współpracy z wysokonapięciowymi obwodami mocy o różnych maksymalnych częstotliwościach przełączeń tranzystorów i różnych poziomach napięć zasilających. Założono także możliwość przyszłej łatwej rozbudowy o cyfrowe układy regulacyjne prądu wzbudzenia twornika w funkcji momentu obciążenia na wale silnika.

Zrealizowano znane z prac teoretycznych [5] metody sterowania tranzystorów wykonawczych falownika.

Subsystem sterowania falownikiem współpracuje z wielokanałowym systemem pomiarowym i generatorem napięcia sinusoidalnego 50 Hz o programowalnym współczynniku zawartości harmonicznych wymieniając z nimi informacje i zadawane parametry pracy poprzez złącze szeregowe RS-232C nadrzędnego komputera.

Sterownik mikroprocesorowy falownika jest urządzeniem autonomicznym; tzn. po zaprogramowaniu parametrów pracy falownika z komputera nadrzędnego klasy IBM/PC dla jego poprawnej pracy (przeprowadzenia serii badań maszyny indukcyjnej) nie powinna być wymagana łączność z komputerem nadrzędnym.

Zaprogramowane parametry pracy falownika są zachowane po zaniku napięcia zasilającego, aby umożliwić po zaprogramowaniu wyłączenie urządzenia przeniesienie go w inne miejsce i ponowne uruchomienie z zaprogramowanymi wcześniej parametrami, w miejscu gdzie nie ma możliwości komunikacji sterownika z komputerem nadrzędnym.

Podstawowe kryteria, które były brane pod uwagę przy wyborze struktury falownika to:

- 1. przewidywany zakres zastosowań,
- 2. szeroki zakres zmian częstotliwości wyjściowej,
- 3. możliwość uzyskania zadowalającego kształtu prądu w całym zakresie pracy falownika.

Zdecydowano się na realizację falownika napięcia sterowanego mikroprocesorowo z programowo realizowaną modulacją szerokości impulsów (PWM - pulse with modulation) i z pośredniczącym obwodem napięcia stałego znanego z literatury [5].

Regulacji częstotliwości i wartości skutecznej napięcia zasilającego silnik prądu przemiennego dokonuje się przez odpowiednie przełączanie elementów obwodu przy stałej wartości napięcia obwodu pośredniczącego (prostownika mostkowego niesterowanego). Podstawowymi elementami takiego układu są półprzewodnikowe przyrządy mocy, które pełnią rolę łączników elektronicznych. Obecnie w tego typu układach dominujące znaczenie mają tranzystory IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) oraz MOSFET. Wchodzą do szerokiego użycia także nowe przyrządy półprzewodnikowę, takie jak np. tyrystory sterowane napięciowo MCT (MOS Controlled Thyristor). Pojawienie się na rynku przyrządów w pełni sterowanych praktycznie wyeliminowało z układów pojemnościowe obwody komutacyjne, które zostały jedynie w układach zbudowanych z tyrystorów konwencjonalnych.

Stosuje się także wysokonapięciowe tranzystory bipolarne o pojedynczej strukturze lub złożone (Darlingtona) o dwóch lub więcej strukturach zintegrowanych w jednej płytce krzemowej.

Wiele firm produkuje typoszeregi bloków elektroizolowanych zawierających komplet 6 tranzystorów wysokonapięciowych MOSFET lub IGBT połączonych w strukturę mostków z diodami zwrotnymi, co znakomicie upraszcza i ułatwia budowanie tego typu falowników. Dostępne są moduły przeznaczone do pracy przy różnych maksymalnych prądach, napięciach i maksymalnych częstotliwościach przełączania.

Firmy produkujące te moduły zalecają w swoich katalogach standardowe rozwiązania układów sterujących bramkami tranzystorów wykonawczych. Stąd wynika unifikacja obwodów wykonawczych tego typu falowników. Rozwiązanie przedstawione na rys. 5 zalecane jest przez firmę TOSHIBA.

Duża różnorodność panuje natomiast w algorytmach sterowania i sposobach ich praktycznej realizacji układowej. Zastosowanie modulacji szerokości impulsów umożliwia regulację amplitudy pierwszej harmonicznej oraz odpowiednie kształtowanie widma wyższych harmonicznych, tak aby minimalizować tętnienia prędkości obrotowej wału silnika.

110



Rys. 5. Układ sterujący tranzystorami wykonawczymi falownika Fig. 5. The driver for the DC/AC converter's power transistor switches

Dzięki PWM staje się możliwe bezstopniowe, precyzyjne regulowanie prędkości obrotowej silników prądu przemiennego w szerokim zakresie pracy. Ciąg impulsów prostokątnych o modulowanej szerokości uzyskuje się w wyniku porównania sygnału nośnego z sygnałem modulującym. Chwile zrównania się wartości tych sygnałów odpowiadają chwilom skokowych zmian wartości zmodulowanego napięciowego sygnału wyjściowego falownika. Skład i wartość amplitud harmonicznych zależą od stosunku częstotliwości nośnej do modulującej - r (liczby przełączeń na okres) oraz od współczynnika głębokości modulacji M (M=S_M/S_N=t_i/T_N, gdzie: S_M i S_N to odpowiednio amplitudy sygnału modulującego, na ogół sinusoidalnego, i prosokątnego sygnału nośnego, a t_i to czas trwania i - tego zmodulowanego impulsu, T_N okres sygnału nośnego).

Kształtowanie korzystnego widma harmonicznych napięcia wyjściowego realizowane jest przez zwiększanie stosunku częstotliwości nośnej do modulującej (r) w miarę zmniejszania się częstotliwości modulującej (równej oczekiwanej częstotliwości prądu wymuszanego przez falownik w uzwojeniach silnika). Jednak wzrost tego stosunku oznaczający wiekszą liczbę przełączeń tranzystorów wykonawczych napotyka barierę szybkości działania kluczy i układów je sterujących.

Kompromisowym rozwiązaniem jest podział zakresu zmian częstotliwości modulującej na strefy, w których stosunek ten jest stały, a zmianom ulega tylko przy przejściu od jednej strefy do drugiej. Podziału na strefy i wyboru obowiązujących w nich wielkości r dokonuje się na podstawie znajomości parametrów czasowych stosowanych elementów wykonawczych oraz sterujących (głównie transoptorów). Parametry te muszą być też uwzględniane przy określaniu maksymalnego współczynnika głębokości modulacji M. Skończone czasy wyłączania kluczy powodują, że dla zapewnienia poprawnej pracy falownika należy ograniczyć minimalną i maksymalną szerokość impulsów.

111

Zadaniem sterownika jest generowanie sześciu sygnałów cyfrowych o poziomach TTL sterujących poprzez układy separujące działaniem kluczy falownika, czuwanie nad poprawnością pracy całego układu falownika i zapewnienie współpracy z całym konstruowanym stanowiskiem badawczym. Ponieważ sterownik współpracuje z komputerem nadrzędnym klasy IBM/PC, postanowiono wykorzystać jego możliwości obliczeniowe do realizacji procesu modulacji PWM, a więc obliczania czasów trwania kolejnych impulsów napięcia sterującego kluczami. Precyzyjne zrealizowanie tego procesu przy użyciu mikrokontrolera 8-bitowego jest znacznie trudniejsze i bardziej pracochłonne. Wymaga bowiem napisania w języku asemblera mikrokontrolera procedur obliczających wartość funkcji sinus i dokonujących operacji dzielenia i mnożenia na wynikach aproksymacji funkcji sinus. Realizacja takich operacji w mikrokontrolerze jest szczególnie pracochłonna, ponieważ z reguły nie mają one możliwości bezpośredniego realizowania operacji mnożenia i dzielenia na słowach dłuższych niż 8 bitów (np. na parze rejestrów 8-bitowych) i wymaga wielokrotnego operowania na słowach 8-bitowych (pojedynczych rejestrach). Szybkość realizacji takiego procesu w mikrokontrolerze 8-bitowym jest mała. Inną możliwością ominięcia ograniczeń mikrokontrolera może być zastosowanie specjalizowanego układu ASIC, realizującego modulację PWM w sposób sprzętowy bądź rozbudowa układu sterownika o uniwersalne, programowalne układy peryferyjne otoczenia mikroprocesora.

Jednak ze względu na fakt, że projektowane urządzenie ma charakter jednostkowego układu przeznaczonego do specjalistycznych badań laboratoryjnych maszyn elektrycznych, zdecydowano się na podział funkcji pomiędzy mikrokontroler i komputer nadrzędny IBM PC. Głównym elementem zaprojektowanego układu sterowania falownika napięcia jest mikrokontroler jednoukładowy 8031 z rodziny MCS-51 firmy INTEL. Schemat blokowy mikroprocesorowego sterownika falownika przedstawiono na rys. 6.

Metoda modulacji szerokości impulsów w układzie falownika napięcia wymaga odmierzania jednocześnie czasu trwania 3 niezależnych impulsów i podawania ich na 6 wyjść sterujących tranzystorami wykonawczymi. Czasy odmierzane mogą zmieniać się w dość szerokim zakresie, zależnie od generowanej przez falownik częstotliwości i liczby przełączeń na okres uzyskiwanego napięcia (prądu).

Do odmierzania tych czasów wykorzystane zostały 2 układy 8253 zawierające po 3 niezależne, programowalne 16-bitowe liczniki. W zrealizowanym układzie w trakcie wstępnej inicjalizacji wszystkie liczniki są programowane do pracy w trybie 1 jako programowalne uniwibratory. W trybie tym każde z 3 wyjść układu przechodzi w stan niski przy pierwszym impulsie zegarowym następującym po narastającym zboczu impulsu wyzwalającego, podanego na odpowiednie wejście GATE.

W przyjętym algorytmie sterowania wyzwalanie liczników (narastającym zboczem na wejściach GATE) następuje co stały okres czasu T_N odmierzany przez układ czasowo-licznikowy mikrokontrolera T_0 . Czasy odmierzane przez zewnętrzne liczniki są różne dla każdego licznika i muszą być pobrane z tablicy opisowej dla zadanej częstotliwości znajdującej się w pamięci RAM. Przeładowywanie i wyzwalanie liczników następuje w procedurze obsługi przerwania układu czasowo- licznikowego T_0 . Na jej początku następuje jednoczesne wyzwo-lenie 3 liczników, które zostały załadowane podczas poprzedniej obsługi przerwania. Kiedy trwa już odmierzanie czasu nowych impulsów, następuje pobranie kolejnych wartości czasów z tablicy opisowej w RAM i załadowanie nimi nie pracujących w tym czasie 3 liczników, które zostaną wyzwolone na początku kolejnej obsługi przerwania T_0 . Czas, jaki upływa od momentu odebrania zgłoszenia przerwania do wyzwolenia impulsów (3 liczników), został w ten sposób



Rys. 6. Schemat blokowy sterownika mikroprocesorowego do falownika napięcia Fig. 6. The block diagram of the microprocessor controller of the DC/AC voltage converter

zredukowany do około 6 μs. Daje to możliwość uzyskania dużego współczynnika głębokości modulacji (M) nawet dla dużej liczby przełączeń (r) przypadajacych na 1 okres napięcia wyjściowego.

Przyjęcie takiego rozwiązania wymaga zrealizowania układu wyboru źródła odmierzanego impulsu czasowego. Układ ten dokonuje jednocześnie wyboru wyjścia, na którym pojawić się ma impuls powodujący załączenie odpowiedniego tranzystora wykonawczego. Takiego układu wymaga każda para liczników pracująca (generująca impulsy) dla jednej fazy napięcia trójfazowego. Są to proste układy logiczne, które zostały scalone w układzie PLD typu GAL22V10.

Zaprojektowany układ sterowania falownikiem wykorzystuje pięć spośród sześciu dostępnych w mikrokontrolerze przerwań. W wykonanym układzie wyższy priorytet został nadany wyłącznie obsłudze przerwania generowanego przez układ czasowo - licznikowy T₀. Układ ten w trakcie pracy falownika (tj. generacji impulsów o modulowanej szerokości, powodujących sekwencyjne włączanie kolejnych wysokonapięciowych tranzystorów wykonawczych odpowiedzialnych za generowanie trójfazowych sinusoidalnych przebiegów prądu w uzwojeniach silnika) generuje cykliczne przerwanie, którego poprawna obsługa warunkuje prawidłowy przebieg zmodulowanych impulsów włączających kolejno wysokonapięciowe tranzystory wykonawcze. Procedura obsługi tego przerwania nie może być przerywana, bo grozi to utratą symetrii

Tabela 1

a pracy calls	Funkcje realizowane przez podprogramy obsługi przerwań subsystemu 3
Źródło przerwania	
RESET	inicjalizacja systemu, wstępne ustawienie zawartości rejestrów;
INTO	natychmiastowe przerwanie generacji zmodulowanych impulsów po zadziałaniu układu zabezpieczeń;
то	wyzwolenie impulsów strobujących zewnętrzne układy czasowe 8253, pobranie z pamięci RAM kolejnych czasów dla generacji modulowanych impulsów i załadowanie nimi liczników zewnętrznych;
INT1	obsługa klawiatury: odczyt z portu A układu 8255 kodu naciśniętego klawisza i ustawienie odpowiedniego znacznika;
T1	nie wykorzystywane, zablokowane przez odpowiedni wpis do rejestru sterującego IE;
SI/O	obsługa portu szeregowego: identyfikacja kodu sterującego i ustawienie odpowiedniego znacznika, odbiór danych i ich zapis do pamięci RAM lub kasowanie zawartości pamięci RAM.

trójfazowej generowanych przebiegów napięć. Pozostałe przerwania znajdują sie na tym samym, niższym poziomie priorytetu. Podprogramy ich obsługi realizują funkcje opisane w tablicy 1.

Podstawową sprawą przy projektowania sterownika jest sposób organizacji danych umieszczanych przez mikrokontroler w zewnętrznej pamięci RAM. Przyjęto rozwiązanie, w którym początkowych 256 bajtów pamięci (o adresach od 0000h do 00FFh) stanowi spis adresów początków tablic opisowych dla aktualnie zaprogramowanych częstotliwości generowanych przez falownik, a pozostała część (o adresach od 100h do 1FFFh) zawiera właściwe dane, czyli dostępne aktualnie tablice opisowe częstotliwości pracy falownika. Taka organizacja danych pozwala na łatwą i szybką wymianę tablic opisowych, a więc na zmianę częstotliwości generowanej przez falownik. Umożliwia ona zaprogramowanie sterownika jednorazowo do pracy z maksymalnie 124 częstotliwościami, o ile nie będą to same bardzo niskie częstotliwości, ponieważ wtedy tablice opisowe stają się długie i mogą nie zmieścić się w pamięci, pomimo że jest wolne miejsce w spisie adresów. Sterownik wykrywa taka sytuację, sygnalizuje i nie pozwala na zapis niekompletnej tablicy opisowej częstotliwości. Sterownik falownika jest wyposażony w prostą klawiaturę funkcyjną, która pozwala na niezależny od komputera nadrzędnego wybór funkcji realizowanej przez falownik. W zrealizowanym układzie przewidziano programową obsługę 7 klawiszy: START, STOP, NASTĘPNA, POPRZEDNIA, KIERUNEK, f/n?, **POTWIERDZENIE**. Pozwalają one na sprawne przeprowadzenie serii badań maszyny indukcyjnej dla różnych częstotliwości bez potrzeby komunikacji z komputerem nadrzędnym (oczywiście po wcześniejszym zaprogramowaniu).

Wizualizację stanu pracy sterownika falownika zapewnia wyświetlacz ciekłokrystaliczny LCD. Ze względu na łatwość obsługi przez mikrokontroler i stosunkowo niską cenę wybrano wyświetlacz LCD ze zintegrowanym sterownikiem LTN111. Wyświetlacz ten pozwala na wyświetlanie jednocześnie 16 znaków alfanumerycznych. Wyświetlane znaki są wysyłane przez mikrokontroler do sterownika wyświetlacza w postaci kodów ASCII.

Poprawne działanie sterownika mikroprocesorowego polegające na sterowaniu obwodu wykonawczego falownika wymaga na wstępie załadowania poprzez łącze szeregowe przynajmniej jednej tablicy opisowej częstotliwości z komputera nadrzędnego.

Tablica taka jest dzięki bateryjnemu podtrzymaniu zasilania zachowana w pamięci RAM aż do momentu wysłania z komputera nadrzędnego rozkazu jej skasowania. W programie obsługi sterownika nie ma możliwości skasowania tablicy opisowej bez udziału komputera nadrzędnego, co zapobiega przypadkowemu skasowaniu jej. Integralną część mikroprocesorowego sterownika stanowi oprogramowanie komputera nadrzędnego klasy PC, które zapewnia komunikację ze sterownikiem poprzez port szeregowy RS-232 i zadawanie parametrów pracy falownika dla serii pomiarów zgodnie z wymogami użytkownika systemu. Oprogramowanie napisane zostało w TURBO PASCAL, w sposób pozwalajacy na maksymalnie prostą obsługę i łatwą dalszą rozbudowę w miarę dalszej rozbudowy stanowiska pomiarowo - badawczego maszyn indukcyjnych. Najistotniejszym fragmentem zrealizowanego programu jest procedura modulacji PWM. Dokonuje ona obliczenia okresu sygnału nośnego: $T_N=1/(rxf_{fal})$.

W procedurze PWM ten czas zamieniany jest na odpowiadającą mu liczbę, która będzie w trakcie pracy falownika cyklicznie ładowana do licznika T_0 mikrokontrolera. Następnie dokonywane są obliczenia amplitudy pierwszej harmonicznej oczekiwanego napięcia, tak by zachować stały stosunek U/f. Przyjęto, że będzie brany pod uwagę stosunek U/f dla 50 Hz i zachowywany dla niższych częstotliwości, a dla częstotliwości większych od 50 Hz stosunek ten nie będzie zachowany i silnik będzie pracował z obniżonym strumieniem skojarzonym stojana Ψ .

Modulacja odbywa się według algorytmu dwustronnej naturalnej modulacji sygnału nośnego trójkątnego o okresie TN sygnałem sinusoidalnym o czestotliwości równej wymaganej częstotliwości pierwszej harmonicznej napięcia wyjściowego i amplitudzie proporcjonalnej do wymaganej amplitudy tej harmonicznej [5].

4. 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 położono ([2], [3]) główny nacisk na odporność transmisji na zakłócenia, tworząc algorytmy transmisji wielokrotnie sprawdzające (np. sprawdzając transmisję zwrotną) transmitowane dane. W tak zbudowanym podstawowym systemie sprawdzono prawidłowość przedstawionej koncepcji i możliwość jej realizacji (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 zgodnie z przedstawionymi w artykule założeniami. Odrębnym, niezwykle istotnym problemem, realizowanym jednak przez odrębny zespół niż autorzy artykułu, jest wykonanie mikrocewek pomiarowych (technologią napylania) i umieszczenie ich w badanej maszynie indukcyjnej.

LITERATURA

- Cioska A., Janik T.L.: 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.
- [6] Cioska A., Rymarski Z., System pomiarowy niesymetrycznych maszyn indukcyjnych małej i średniej mocy. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka z. 138, Gliwice 1994.
- [7] Cioska A., Rymarski Z.: Stanowisko laboratoryjne do zautomatyzowanych pomiarów maszyn indukcyjnych małej i średniej mocy. Zeszyty Problemowe /94, OBRME "EMA-KOMEL", Katowice 1994.
- [8] Cioska A., Janczak A.: Wielokanałowy układ do pomiaru rozkładów przestrzenno--czasowych indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej niesymetrycznych maszyn indukcyjnych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Elektryka z. 138, Gliwice 1994.
- [9] Cioska A., Janczak A.: Mikroprocesorowy układ do pomiaru rozkładów przestrzenno-czasowych indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej maszyn indukcyjnych. Zeszyty Problemowe /94, OBRME "EMA-KOMEL", Katowice 1994.
- [10] Rymarski Z.: Wielokanałowy system pomiarowy współpracujący z kanałem wejścia/wyjścia magistrali VME. Problemy Współczesnej Elektroniki, sesja naukowa, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, Gliwice 1992.
- [11] Rymarski Z.: Współpraca wielokanałowego systemu pomiarowego z kanałem wejścia/wyjścia magistrali VME. Pomiary, Automatyka, Kontrola 6/92, Oficyna Wydawnicza Simpress, Warszawa, czerwiec 1992.

Wpłynęło do Redakcji w czerwcu 1994 r.

Abstract

The paper shows a measurement system for determining the spatial distribution of magnetic induction in small and medium power non symmetrical induction engines, by doing a series of induction timings' examinations by means of proper micro coils installed with the possibility of shifting them in the air gap. The original concept of measurements in precisely determined electromagnetic conditions has been developed. The paper presents the concept and realization of this measurement system, that consists of a device generating the supplying voltage (with a programmable magnitude, basic frequency and contents of harmonics), a device collecting and storing results of measurements from sensors (installed in tested engine) and a microprocessor controlled dc/ac converter generating 3 phase voltage, supplying the synchronous engine (forcing the rational speed of the tested engine). All three subsystems co-operate with an IBM/PC compatible host computer, to which the stored measurements' results are transmitted through the standard serial interface RS232C. Each of the subsystems can work separately and can be controlled by means of a user interface: authonomical keyboard and multiposition alphanumerical LCD module. Each subsystem has battery powered memories (RAM) in which the subsystem's parameters and collected data are stored. Such a design makes it possible to use the system in places remote from the host computer after initial setting up. The paper presents the choice of performance parameters for the components of particular subsystems (such as conversion times, settling times, slew rates etc. of converters and analogue components and time of completing some instructions by embedded controllers) from point of view of the accuracy of programmed wave forms generation and the accuracy of measurements. There are shown the unique, non-standard solutions of the existing system, speeding it, such as DMA in the system with an embedded microcontroller in the multichannel measurement subsystem, use of parallel, complementary loaded programmable counters in the converter controller and others. Apart from this, there are briefly shown problems with creating the software, that has to solve the problem of faults in the transmitted data, caused by periodic and random noise. A special protocol of serial data transmission through the RS232C interface to the host IBM/PC compatible computer has been developed to eliminate the errors of transmission that can appear in the presence of interfaces. At the end of the paper there is presented the actual state of the system together with the direction of its further rebuilding and modernizing.