

mgr inż. A. DŁUBAK
mgr inż. W. KIBLER
mgr inż. S. NIWIŃSKI
doc.dr inż. Cz. SZCZEPANIAK

Instytut Elektrotechniki
Warszawa

MINIKOMPUTEROWY SYSTEM DO BADAŃ MASZYN ELEKTRYCZNYCH

1. Wprowadzenie

Koncepcja zautomatyzowania pomiarów w Zakładzie Maszyn Elektrycznych Instytutu Elektrotechniki powstała na początku 1973 r. Celem automatyzacji było zmniejszenie pracochłonności najczęściej wykonywanych prób silników indukcyjnych, zwiększenie precyzji pomiarów, między innymi przez zapewnienie wymaganej praktycznej jednoczesności odczytu dużej liczby wielkości mierzonych oraz zwiększenie szybkości odczytów. Automatyzacja pomiarów umożliwia ponadto otrzymanie, praktycznie natychmiast po zakończeniu próby, danych umożliwiających ocenę jej rezultatów.

Trudności sprzętowe sprawiły, że do urzeczywistnienia zmodyfikowanego programu automatyzacji można było przystąpić dopiero dopiero w roku 1976.

Referat zawiera informacje o strukturze systemu automatycznych pomiarów silników indukcyjnych i zasadach jego działania. Eksperymentalny system tego typu został uruchomiony w listopadzie ubiegłego roku.

2. Struktura i charakterystyka urządzeń systemu

Schemat blokowy zrealizowanego systemu automatycznych pomiarów silników indukcyjnych ASP-1-NIST przedstawiono na rysunku 1. W skład systemu wchodzi następujące urządzenia:

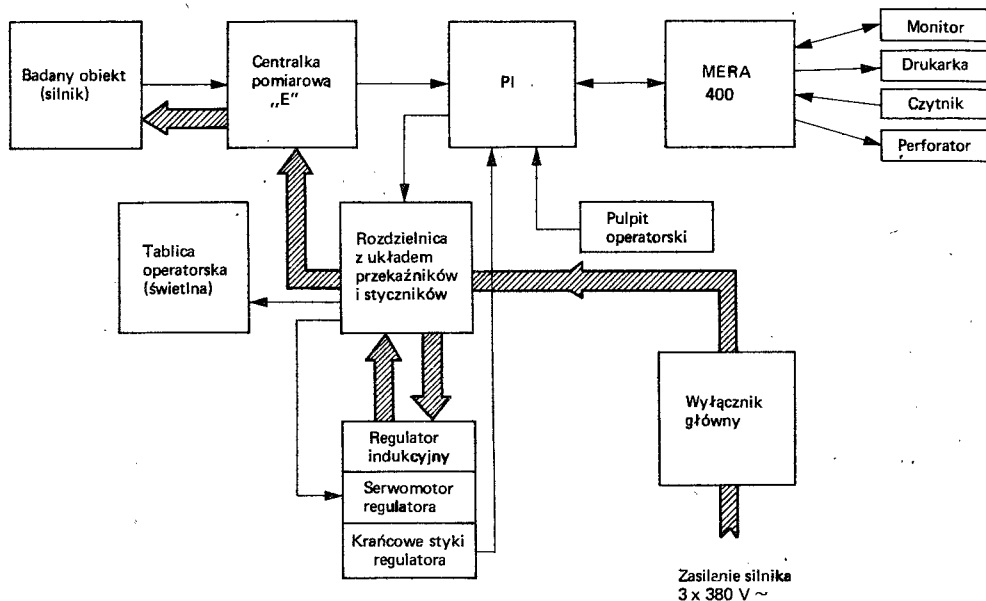
- minikomputer MERA 400 z kanałem automatyki PI i standardowym zestawem urządzeń peryferyjnych we/wy,
- zestaw wchodzący w skład Krajowego Systemu Automatyki i Pomiarów POLMATIK, podsystem INTEL DIGIT PI, sprzęgający elementy układu z komputerem,
- centralka przetwarzania z zestawem przetworników pomiarowych i dodatkowe przetworniki laboratoryjne,
- rozdzielnica z układem przekaźników i styczników,
- zestaw urządzeń energetycznych (zasilających i obciążających silnik),
- tablica operatorska (światlna),
- pulpit operatorski.

Badany obiekt podczas próby jest zasilany i obciążany zestawem urządzeń energetycznych. Wielkości elektryczne i nieelektryczne, których pomiar jest wymagany w danej próbie, są przetwarzane na napięcia stałe za pomocą przetworników wchodzących w skład tak zwanej centralki przetwarzania. Następnie w zestawie INTEL DIGIT PI napięcia stałe zostają przetworzone na sygnał cyfrowy, wprowadzone do minikomputera MERA 400 i zapamiętane w jego pamięci operacyjnej. Minikomputer za pośrednictwem PI steruje urządzeniami wykonawczymi, realizując tym samym cykl pomiarowy. Po zakończeniu pomiarów i przetworzeniu danych następuje wydruk protokołu pomiarowego przez drukarkę wierszową. Rolę elementów wykonawczych zestawu PI, bezpośrednio sterujących zestawem urządzeń energetycz-

nych systemu, spełnia rozdzielnica z układem przekaźników i styczników, poprzez które są zasilane serwomotory urządzeń zasilania i obciążania badanego obiektu (silnika).

Informacje o realizowanych przez system zadaniach bądź stanach pracy układu są wyświetlane na tablicy operatorskiej.

Inicjacja kolejnej próby, jak i ewentualne ingerencje operatora w pracę systemu są realizowane z pulpitu operatorskiego, umożliwiającego sterowanie cyklem pomiarowym w laboratorium maszyn elektrycznych, poza pomieszczeniem komputera.



Rys.1. Schemat blokowy ASP-1-NIST

2.1. Minikomputer MERA-400 z kanałem automatyki PI

Minikomputer MERA 400, z pamięcią operacyjną o pojemności 32 k słów 16 bitowych i kanałem automatyki PI jest w opisanym układzie jednostką decyzyjną, zawiadującą przebiegiem wykonywanej próby oraz zbieraniem, obróbką i wydrukiem danych uzyskanych z pomiarów. Za przyjęciem minikomputera MERA-400 jako jednostki centralnej układu przemawiały następujące argumenty:

- 16 bitowa długość słowa jednostki centralnej MERA 400 jest taka sama jak zestawu INTEL DIGIT PI, dzięki czemu komunikacja pomiędzy tymi urządzeniami jest realizowana jednym standardowym rozkazem zawierającym 11 bitów słowa adresowego i 5 bitów kodu rozkazowego minikomputera;
- Pamięć operacyjna jest stosunkowo duża (32 k) i istnieje możliwość jej rozszerzania przez zamontowanie dodatkowych bloków, co wraz z bogatym oprogramowaniem w systemach operacyjnych SOM-1 (jednoprogramowym) i SOM-3 (wieloprogramowym), w skład którego wchodzi translator języków programowania FORTRAN IV i BASIC, umożliwia eksploatację programów użytkowych o znacznym stopniu skomplikowania, a translatory języków wyższego rzędu ułatwiają ich pisanie i wprowadzanie ewentualnych zmian;

- System operacyjny jest zabezpieczony przed przypadkowym zamazaniem go przez użytkownika i przed zanikiem napięcia zasilającego (standardowa obsługa alarmu zasilania).

Wymienione zalety przesądziły o zastosowaniu MERA-400 jako jednostki centralnej systemu. Ponadto brano pod uwagę możliwość równoczesnego wykorzystania minikomputera do prowadzenia obliczeń nie związanych z pracą automatycznego stanowiska pomiarowego.

2.2. Urządzenie INTEL DIGIT PI

Zrealizowany system jest jednym z pierwszych w kraju, w którym minikomputer MERA 400 współpracuje z urządzeniem INTEL DIGIT PI. Wykorzystano do tego celu jednokasetowy zestaw wyprodukowany w Zakładzie Doświadczalnym MERA-PIAP. W chwili obecnej są wykorzystywane w systemie następujące pakiety:

- a) Przetwornik integracyjny analogowo—cyfrowy PE-01 — 2 szt.
- b) Komutator stykowy PE-04 (16 wejść 3 stykowych) — 2 szt.
- c) Pakiet wejść dwustanowych statycznie—przerwywających PI-01 — 1 szt.
- d) Pakiet wyjść dwustanowych PO-04 — 1 szt.
- e) Obwody dopasowujące
- f) Sterownik kasyety
- g) Zasilacze

Deklarowana przez zestaw PI dokładność przetwarzania zmierzonych wartości wynosi 1/2048, czyli ok. 0,05 %.

Zainstalowany zestaw pozwala wykorzystać: 32 wejścia analogowe o sygnale 0...10 V, 8 wejść dwustanowych statycznie—przerwywających, generujących przerwanie od pojawienia się sygnału 0/20 mA i 8 wyjść dwustanowych o sygnale 0/200 mA.

Wejścia analogowe współpracują z dwoma przetwornikami analogowo—cyfrowymi i wszystkie są wyposażone w odpowiednie do sygnału obwody dopasowujące. Wejścia dwustanowe są także wyposażone w obwody dopasowujące. Wszystkie wejścia i wyjścia zestawu posiadają obwody separacji. Przyjęto zasilanie obwodów obiektowych od strony PI, z zasilacza umieszczonego w zestawie.

Zestaw PI umieszczono w standardowej obudowie, zapewniając możliwość rozbudowy o 9 stanowisk jednomodułowych obwodów dopasowujących, 16 jednomodułowych stanowisk adresowanych dla pakietów PI oraz o dodatkowe zasilacze.

2.3. Centralka przetwarzania analogowego

Centralka przetwarzania wykonana w Zakładzie Miernictwa i Sterowania Elektrycznego Instytutu Elektrotechniki jest wyposażona w przetworniki wielkości elektrycznych i nieelektrycznych. Mierzone wielkości są przetwarzane na standardowe napięcia stałe 0...10 V. Spośród kilkunastu typów przetworników (część z nich została wykonana przez zaadaptowanie wyrobów Lubuskich Zakładów Aparatów Elektrycznych MERA—LUMEL, a reszta opracowana i wykonana w Zakładzie Miernictwa i Sterowania Elektrycznego Instytutu Elektrotechniki) w chwili obecnej wykorzystuje się: trzy przetworniki napięcia przemiennego, trzy przetworniki prądu oraz przetwornik rezystancji uzwojeń silnika w stanie beznapięciowym. Od jakości przetworników centralki zależy przede wszystkim dokładność pomiarów, gdyż zestaw PI oraz minikomputer zapewniają łącznie dokładność pomiaru napięcia stałego rzędu 0,05 %. Oprócz przetworników krajowych, umieszczonych w centralce, w systemie są stosowane do pomiarów przetworniki mocy produkowane przez japońską firmę Yokogawa E.W. Zapewniają one klasę dokładności lepszą niż 0,2 przy małych wartościach współczynnika mocy oraz w szerokim zakresie napięć i są odporne na przeciążenia prądowe (do 3,5 wartości znamionowej). Jako przetwornik siły, służący do wyznaczania momentu rozruchowego silnika indukcyjnego podczas próby zwarcia, jest wykorzystywany czujnik i wzmacniacz firmy Brüel & Kjaer (Dania).

3. Praca systemu ASP-1-NIST

Program automatycznego systemu pomiarowego silników indukcyjnych jest dany w postaci taśmy binarnej. Bazuje on na systemie operacyjnym minikomputera SOM-1, rozszerzonym o ekstrakody komunikacji z urządzeniem INTEL DIGIT PI. Po wczytaniu i wystartowaniu programu oraz wykonaniu czynności przygotowawczych w fazie wstępnej, która będzie omówiona w dalszej części pracy, sterowanie systemem odbywa się z pulpitu operatorskiego. Stan systemu w danej chwili sygnalizuje operatorska tablica świetlna. Polecenia operatorskie wydawane poprzez naciśnięcie przycisków pulpitu są kodowane binarnie i przekazywane w postaci przerwań systemowych do minikomputera. System wykonuje następujące polecenia:

Inicjacja lub kontynuacja cyklu pomiarowego (przycisk START CYKLU).

Zatrzymanie cyklu pomiarowego (przycisk STOP CYKLU).

Przejsie do czytania danych nowego obiektu (przycisk KONIEC PRÓBY).

Zmiana zakresów pomiarowych; w stanie STOP (przycisk ZMIANA ZAKRESÓW).

Powtórny wydruk protokołu pomiarowego; w stanie GOTÓW po zakończeniu cyklu pomiarowego (przycisk WYDRUK).

Podczas pracy ASP-1-NIST następuje przepływ sygnałów pomiędzy blokami systemowymi oraz obróbka w minikomputerze dostarczonych informacji. Ze względu na rodzaj przesyłanego sygnału można wyróżnić komunikacje: sygnałów sterujących, sygnałów pomiarowych, sygnałów wejścia-wyjścia z minikomputera oraz sygnałów zasilających (energetycznych).

Cykl pomiarowy realizowany przez system można podzielić na następujące części zwane dalej fazami: faza przygotowawcza, faza wstępna, faza gotów i faza cykl.

Wszystkie stany cyklu pomiarowego są sygnalizowane na tablicy operatorskiej lub monitorowane na monitorze minikomputera.

W fazie przygotowawczej następuje sprzętowe przygotowanie całości do pracy (załadowanie właściwych programów do maszyny cyfrowej).

Faza wstępna rozpoczyna się wystartowaniem systemu sterującego, potwierdzonym odpowiednimi zgłoszeniami na monitorze i tablicy operatorskiej oraz podaniem niezbędnych danych identyfikujących badany obiekt, które później zostają umieszczone w nagłówku protokołu pomiarowego, przez program drukujący wyniki próby. Dane te, takie jak typ i numer silnika oraz określenia zakresów pomiarowych przyrządów, rodzajów połączeń, wartości napięć punktów pomiarowych itp., są wprowadzane z monitora maszyny cyfrowej, w przypadku pomiarów niepowtarzalnych lub z czytnika taśmy perforowanej, w przypadku pomiarów seryjnych. Po podaniu zakresów pomiarowych przetworników, następuje automatyczne przejście systemu do fazy gotów oraz przekazanie sterowania do pulpitu operatora systemu. Regulator napięcia (nastawnik) zostaje ustawiony w położeniu minimum napięcia przy pomocy serwowomotoru, następnie wyświetla się sygnalizacja stanu gotów i system przechodzi w stan oczekiwania na instrukcje. Sterowanie systemem zostaje przekazane z klawiatury monitora na pulpit operatorski.

W fazie gotów może nastąpić inicjacja cyklu pomiarowego przez przyciśnięcie na pulpicie operatorskim przycisku START CYKLU lub przejście do fazy wstępnej (przycisk KONIEC PRÓBY), umożliwiające rozpoczęcie badań nowego obiektu, co musi być poprzedzone podaniem nowych danych wstępnych.

Faza cyklu jest automatycznie kontynuowana aż do momentu wydruku pełnej informacji o obiekcie i kończy się przejściem do fazy gotów, co umożliwia natychmiastowe wykonanie następnej próby.

Na przykład podczas próby zwarcia, w fazie cyklu są realizowane kolejno:

- włączenie zasilania nastawnika (regulatora indukcyjnego),
- załączenie serwowomotoru nastawnika, co powoduje wzrost napięcia wyjściowego do zadanej w fazie wstępnej wartości, przy której może być ono załączone do zahamowanego silnika (obiektu badanego),

- zatrzymanie serwowmotoru nastawnika,
- pomiar rezystancji uzwojeń w stanie zimnym,
- załączenie napięcia silnika,
- podwyższenie wartości napięcia (serwowmotorem nastawnika), do wartości pierwszego punktu pomiarowego,
- wykonanie sekwencji pomiarów prądów, napięć, mocy i momentu,
- odłączenie napięcia zasilającego silnik i natychmiastowy pomiar rezystancji uzwojeń,
- obniżenie napięcia do wartości, przy której może być ono ponownie załączone do silnika,
- załączenie napięcia silnika i podwyższanie jego wartości do wartości kolejnego punktu pomiarowego,
- wykonanie pomiarów dla tego punktu,
- minimalizacja napięcia nastawnika po zakończeniu pomiarów,
- odłączenie napięcia nastawnika
- przekazanie sterowania do podprogramów obliczeniowych,
- wydruk wyników pomiarów, obliczeń oraz wykresów,
- przejście do fazy gotów z wyświetleniem zgłoszenia na tablicy operatorskiej.

Jeżeli wartość napięcia danego punktu pomiarowego leży poniżej zadanej wartości załączania napięcia do silnika, przejście do kolejnych punktów pomiarowych odbywa się przez stałe tylko obniżanie napięcia wyjściowego nastawnika. Po każdej sekwencji pomiarów prądu, napięcia i mocy, napięcie jest odłączane od silnika celem dokonania pomiaru rezystancji uzwojeń.

W fazie gotów układ jest przygotowany do wykonania kolejnych prób tego samego obiektu lub do zmiany obiektu. W trakcie wykonywania automatycznej sekwencji cyklu jest możliwa ingerencja w pracę systemu przy pomocy pulpitu operatorskiego. Przyciśnięcie przycisku STOP CYKLU powoduje w dowolnym momencie zatrzymanie serwowmotorów nastawnika lub nie włączenie ich, jeżeli były zatrzymane. Umożliwia to dokonanie pomiarów metodami konwencjonalnymi lub zainicjowanie cyklu tak zwanego wdrażania silnika do pracy przed próbą biegu jałowego. Przyciśnięcie przycisku ZMIANA ZAKRESÓW umożliwia, poprzez monitor minikomputera, zadanie nowych wartości zakresów pomiarowych, jeżeli zaistnieje konieczność ich zmiany. Wyjście ze stanu STOP następuje poprzez przyciśnięcie przycisku START CYKLU. Przyciśnięcie w stanie STOP przycisku KONIEC PRÓBY powoduje odłączenie zasilania od obiektu i nastawnika oraz natychmiastowe przejście do fazy wstępnej, czyli czytania danych nowego obiektu.

Zakończenie badań jest możliwe poprzez realizację rozgałęzienia na początku fazy wstępnej. System sterujący powoduje wyzerowanie jednostek wykonawczych i oddanie sterowania do systemu operacyjnego minikomputera z jednoczesnym zgłoszeniem na tablicy operatorskiej.

System posiada następujące zabezpieczenia programowe: zanik napięcia zasilającego minikomputer, błąd w obliczeniach (nadmiary), brak napięcia na obiekcie badanym, nadmiar wielkości mierzonych, brak zestawu PI, błąd z zestawu PI oraz zajętość pakietu PI.

Wykrycie jakiegokolwiek stanu awaryjnego związanego z wyżej wymienionymi przypadkami powoduje pojawienie się monitu na ekranie monitora minikomputera dekodującego przyczynę awarii oraz ponowne wystartowanie programu decyzyjnego. Na podkreślenie zasługuje fakt, że obsługa zaniku napięcia zasilania minikomputera umożliwia startowanie systemu sterującego z pominięciem fazy przygotowawczej (ładowanie programów) także w przypadku przystępowania do badań po przerwie np. następnego dnia.

Po przeprowadzeniu cyklu pomiarowego, system samoczynnie przechodzi do drukowania wyników, które są podawane w postaci dwu tabel i wykresów. Pierwsza tabela zawiera wartości zmierzone, druga — przetworzone przez minikomputer. Ponadto, w przypadku próby biegu jałowego jest dokonywany metodą ekstrapolacji liniowej rozdział strat jałowych silnika na straty mechaniczne i straty w rdzeniu.

Wykresy drukowane na drukarce pozwalają na uzyskanie dokładności 1 % w stosunku do całej długości skali, która jest każdorazowo automatycznie dostosowana do zmierzonych wartości. System ASP-1—NIST pozwala w prosty sposób modyfikować redakcję wydruku wyników, tak aby wydruk ten posiadał cechy dokumentu próby.

4. Uwagi końcowe — perspektywy zastosowań

Wstępne doświadczenia wynikające z dotychczasowej eksploatacji uruchomionego w Instytucie Elektrotechniki automatycznego systemu pomiarów silników indukcyjnych pozwalają sformułować następujące wnioski:

- Opracowany system, dzięki elastycznej konfiguracji, daje się rozbudowywać zarówno sprzętowo jak i programowo, umożliwiając objęcie automatyzacją większości prób wykonywanych w laboratoriach maszyn elektrycznych.
- Przedstawiony w referacie system jest pierwszym modelowym rozwiązaniem umożliwiającym wykonywanie prób silników indukcyjnych. Zdobyte doświadczenia będą zapewne podstawą do prac nad układem automatycznych pomiarów dla zakładów produkujących maszyny elektryczne oraz dla laboratoriów naukowo—badawczych.
- Zastosowany minikomputer MERA—400 dobrze pełni rolę jednostki decyzyjnej, odznaczając się małą awaryjnością. Pozwala on na dalszą rozbudowę systemu oraz równoległe wykorzystanie go zarówno dla celów obliczeń inżynierskich jak i innych (np. z dziedziny organizacji i zarządzania).
- Zestaw INTEL DIGIT PI wykazał pełną przydatność dla celów automatyzacji pomiarów stanów quasi — ustalonych w maszynach elektrycznych, pracując bezawaryjnie przez okres około 1 roku w laboratorium Zakładu Maszyn Elektrycznych Instytutu Elektrotechniki. Obecnie rysuje się potrzeba wyposażenia zestawu w szybsze przetworniki analogowo—cyfrowe automatycznie zmieniające zakres pomiarowy oraz szybkie komutatory, które będą niezbędne w przypadku stosowania systemu do analizy procesów przejściowych. Właściwe wydaje się przeprowadzenie dodatkowych ustaleń pomiędzy producentami INTEL DIGIT PI i MERA—400 w celu usunięcia niektórych niedoskonałości komunikacji PI — MERA—400 np. z zakresu systemu przerwań oraz dekodowania stanów awaryjnych zarówno minikomputera jak i samego zestawu.
- Wprowadzenie zautomatyzowanych pomiarów do praktyki zakładów produkujących silniki indukcyjne, wymaga szybkiej decyzji uruchomienia produkcji lub zapewnienia dostaw odpowiedniej liczby (oprócz minikomputerów i zestawów INTEL DIGIT) pełnego podstawowego zestawu przetworników pomiarowych w szczególności: napięcia, prądu, mocy, oporności uzwojeń w stanie beznapięciowym i pod napięciem, momentu i siły, poślizgu, oporności izolacji oraz urządzeń do prowadzenia prób wytrzymałości izolacji na przebicie. Przetworniki powinny odpowiadać co najmniej klasie dokładności 0,2 dla prób pełnych (typu) i klasie 0,5 dla prób niepełnych (wyrobu).
- Mutacje systemu mogą znaleźć zastosowanie w automatyzacji prób innych urządzeń produkowanych przez przemysł elektrotechniczny.