

Stanisław Niwiński, Teresa Korbel  
Bożena Boreta

Instytut Elektrotechniki

## MINIKOMPUTEROWY SYSTEM AUTOMATYZACJI BADAŃ PEŁNYCH W PROCESIE PRODUKCJI SILNIKÓW ELEKTRYCZNYCH

**Streszczenie.** W artykule zaprezentowano minikomputerowy system automatyzacji prób pełnych silników indukcyjnych. Podano schemat blokowy, omówiono budowę, działanie i oprogramowanie systemu. Przedstawiono sposoby programowej regulacji i stabilizacji parametrów próby i wyznaczania strat mocy w silniku trójfazowym.

### 1. Wprowadzenie

W procesie produkcji silników elektrycznych końcowy etap stanowią narzucone normami badania niepełne wszystkich egzemplarzy wyrobu finalnego, a następnie badania pełne /próby typu/ wybranych losowo próbek z partii jednorodnej pod względem konstrukcji, zastosowanych materiałów i technologii. Produkcja wyrobów w szerokim asortymencie odmian oraz wprowadzenie elastyczności w dostosowaniu wyrobu do potrzeb odbiorcy pociąga za sobą wzrost ilości koniecznych do wykonania badań pełnych. Przy badaniach silników realizowanych metodami klasycznymi wymagany jest równoczesny odczyt wskazań przyrządów pomiarowych. Badania te charakteryzowały się małą dokładnością i długim czasem przeprowadzania prób, dużą pracochłonnością wykonywania obliczeń, wykresów i zestawień. Wymienione wady zostały wyeliminowane dzięki zastosowaniu do badań pełnych systemu minikomputerowego pracującego w czasie rzeczywistym.

W Zakładzie Miernictwa i Sterowania Elektrycznego Instytutu Elektrotechniki, na bazie doświadczeń zdobytych przy budowie systemu laboratoryjnego do badań pełnych silników elektrycznych i automatycznej stacji prób ASP do badań niepełnych silników, opracowano minikomputerowy, automatyczny system MASBEL. System ten zastosowano do automatyzacji badań pełnych w procesie produkcji silników indukcyjnych jednofazowych i trójfazowych o mocy do 1,5 kW w Fabryce Silników Elektrycznych BESEL w Brzegu. System MASBEL ułatwia przeprowadzanie badań silników zgodnie z wymaganiami odpowiednich norm oraz badań diagnostycznych. Ponadto po rozszerzeniu oprogramowania może być wykorzystany do obliczeń inżynierskich, organizacji bazy danych i obliczeń statystycznych dla potrzeb Działu Kontroli Jakości.

## 2. Budowa i działanie systemu

System MABEŁ składa się z zestawu urządzeń funkcjonalnych i pomocniczych oraz oprogramowania. Większość urządzeń systemu jest produkcji krajowej, część stanowi oryginalne opracowania I.EI lub kooperantów, natomiast oprogramowanie użytkowe powstało w całości w I.EI. W skład systemu MABEŁ, którego schemat blokowy przedstawiono na rys.1, wchodzi:

- system informatyczny MERA-400 /FMİK ERA/,
- zestaw automatyki INTEL DIGIT PI /Mera-PIAP/,
- stanowisko operatorsko-pomiarowe SOP-1 /I.EI/,
- indukcyjny regulator napięcia trójfazowego IR59/32U3 /ZSRR/,
- hamownia o stałym momencie hamującym /BOBRNE-KOMEI/,
- stanowiska pomiarowo-badawcze z gniazdami pozycjonowania oraz łączówkami szybkoocucującymi do zacisków silnika /BESEŁ/.

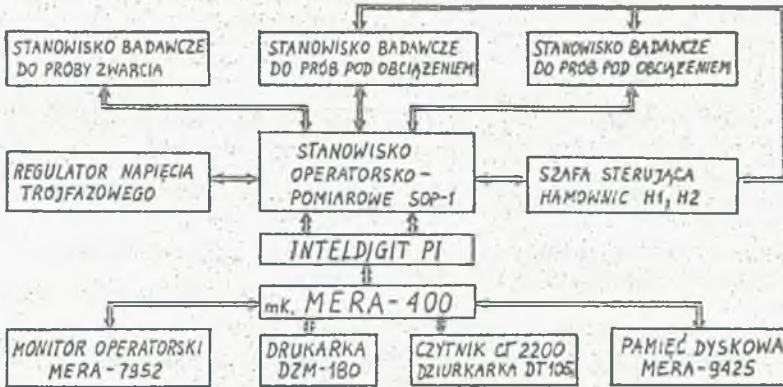
Minikomputer Mera-400 zbudowany jest w systemie modułowym i zawiera w swoim standardowym zestawie 16-bitową jednostkę centralną z pamięcią operacyjną o pojemności 64 kB, dyskową pamięć zewnętrzną Mera-9425 o pojemności 5 MB, drukarkę znakowo-mozaikową DZM-180, monitor ekranowy Mera-7952, czytnik taśmy papierowej CT 2200, dziurkarkę taśmy papierowej DT 105 s. Zestaw ten został dodatkowo wyposażony w kanał automatyki do podłączenia zestawu Intel digit PI. Minikomputer Mera-400 kontroluje działanie wszystkich urządzeń systemu, steruje przebiegiem prób, zbiera informacje o badanym silniku i bazując na parametrach silnika oraz ich dopuszczalnych przedziałach zmienności ocenia jakość wyrobu i sporządza raporty i zestawienia z wykonanych prób.

Intel digit PI zawiera kasetę z pakietami umożliwiającymi współpracę 32 wejść analogowych, 2 wyjść analogowych, 16 wejść cyfrowych przerywających, 32 wejść cyfrowych statycznych, 48 wyjść cyfrowych. Wszystkie wejścia oraz wyjścia są separowane elementami optoelektronicznymi i łączą poszczególne urządzenia systemu z komputerem poprzez stanowisko operatorsko-pomiarowe SOP-1. Zestaw Intel digit PI pośredniczy w wymianie informacji analogowej i cyfrowej między obiektem badanym a komputerem oraz oddziela galwanicznie komputer od obiektu badanego.

Stanowisko operatorsko-pomiarowe SOP-1 zawiera:

- zestaw przetworników pomiarowych,
- zestaw urządzeń przełączających, sterujących i sygnalizacyjnych,
- pulpit operatorski do obsługi ręcznej i automatycznej systemu.

Przetworniki pomiarowe dokonują pomiaru wartości skutecznych napięcia, prądu, mocy czynnej, rezystancji uzwojeń, prędkości obrotowej, poślizgu, momentu rozruchowego, momentu hamującego, temperatury otoczenia oraz rezystancji izolacji. Przetworniki posiadają w większości budowę panelową, przystosowaną do umieszczenia w typowych kasetach 19-calowych. Wielkości wyjściowe z przetworników wyprowadzane są jako napięcie stałe 0 + 10 V.



Rys.1. Schemat blokowy systemu MASBEL  
Block diagram of MASBEL system

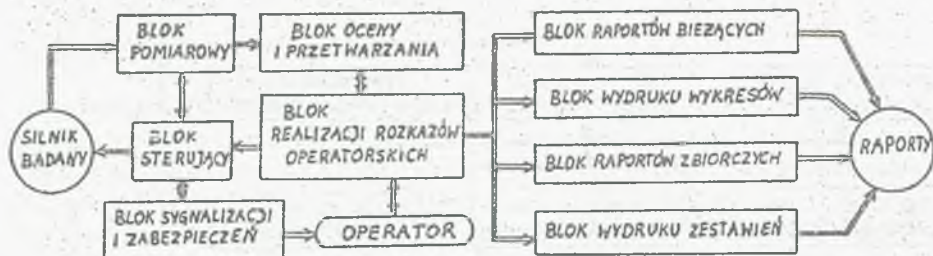
Przetworniki pomiarowe pracujące pod napięciem posiadają oddzielenie galwaniczne między wejściem a wyjściem i zasilaniem.

Zestaw urządzeń przełączających, sterujących i sygnalizacyjnych realizuje wybór właściwej konfiguracji układów zasilających i pomiarowych /np. silniki jednofazowe, trójfazowe/, steruje nastawami napięć zasilających, momentów hamujących oraz sygnalizuje za pomocą wskaźników świetlnych, akustycznych oraz pomocniczych przyrządów pomiarowych aktualny stan systemu oraz wystąpienie niedopuszczalnych odchyłań i stanów awaryjnych. Pulpit operatorski stanowiska SOP-1 umożliwia, poza obserwacją przez operatora stanów systemu, dostęp do przyrządów pomiarowych, ręczne sterowanie systemem oraz przekazywanie systemowi, w czasie pracy automatycznej, instrukcji operatorskich inicjowanych szesnastoma sygnałami przerywającymi. Pozostałe urządzenia stanowią wyposażenie umożliwiające zasilanie, obciążanie oraz mocowanie badanego silnika.

### 3. Struktura oprogramowania systemu

W skład oprogramowania systemu MASBEL wchodzi:

- oprogramowanie systemowe minikomputera Mera-400,
- system operacyjny SOM-3-Basic-PI-FMC z handlerami automatyki,
- fortranowska biblioteka czasu rzeczywistego,
- oprogramowanie użytkowe, którego schemat blokowy przedstawiono na rys.2, zawierające bloki: realizacji rozkazów operatorskich, sterujący, sygnalizacji i zabezpieczeń, pomiarowy, oceny i przetwarzania, wydruków bieżących, raportów zbiorczych, wydruków zestawień,
- oprogramowanie testujące i uruchomieniowe.



Rys.2. Schemat blokowy oprogramowania użytkowego systemu MASBEL  
Software organization of MASBEL system

Oprogramowanie użytkowe systemu MASBEL wykonano w języku Fortran IV S. Procedury specjalne zapewniające komunikację z obiektem badanym, urządzeniami systemu oraz pracę w czasie rzeczywistym napisane są w języku symbolicznym maszyny i stanowią bibliotekę fortranowską. Komunikacja między blokami odbywa się za pomocą obszarów COMMON.

Blok realizacji rozkazów operatorskich wyróżnia i realizuje następujące podstawowe rozkazy operatorskie:

- SYSTEM - regeneracja i zgłoszenie systemu MASBEL
- DANE ZN/TOL - wprowadzenie danych znamionowych i tolerancji
- DANE SIENIKA 1 - wprowadzenie danych pierwszego badanego silnika
- DANE SIENIKA 2 - wprowadzenie danych drugiego badanego silnika
- ZAKRESY - wprowadzenie zakresów pomiarowych przetworników
- PRÓBA NR... - wywołanie próby o numerze nastawionym na wejściach cyfrowych zgodnie z ewidencją prób
- POMIAR - kontrolny odczyt sygnałów obiektowych
- START PRÓBY - uruchomienie lub wznowienie próby po jej zatrzymaniu
- STOP PRÓBY - zatrzymanie wykonywania próby
- RAPORT - wydruk raportu z wybranych wyników badań dwóch silników
- ZESTAWIENIE - wydruk zestawienia wyników badań dwóch silników
- WYNIKI - wydruk nowego egzemplarza wyników z ostatniej próby
- WYKRES - wydruk nowego egzemplarza wykresu z ostatniej próby
- TEST - wywołanie programu testującego

Blok sterujący koordynuje czasowo działanie wszystkich urządzeń i realizuje algorytmy poszczególnych prób.

Blok pomiarowy obsługuje wszystkie układy pomiarowe znajdujące się w stanowisku operatorsko-pomiarowym i innych urządzeniach.

Blok sygnalizacji i zabezpieczeń sprawdza poprawność komunikacji między urządzeniami systemu, kontroluje parametry silników, sygnalizuje stany alarmowe, wyłącza zasilanie w stanach awaryjnych.

Blok oceny i przetwarzania przetwarza wyniki pomiarów i realizuje kryteria ocen silnika po wykonanej próbie. Przetworzone dane umieszcza w bloku wspólnym w celu wykonania raportu z prób.

Blok raportów bieżących drukuje informacje pomocnicze oraz tabele wyników z aktualnie wykonywanej próby.

Blok wydruku wykresów drukuje wykresy punktowe charakterystyk z automatycznym skalowaniem osi zmiennych.

Blok raportów zbiorczych drukuje wyniki pomiarów sześciu określonych prób dla dwóch silników, z podaniem oceny tych wyników.

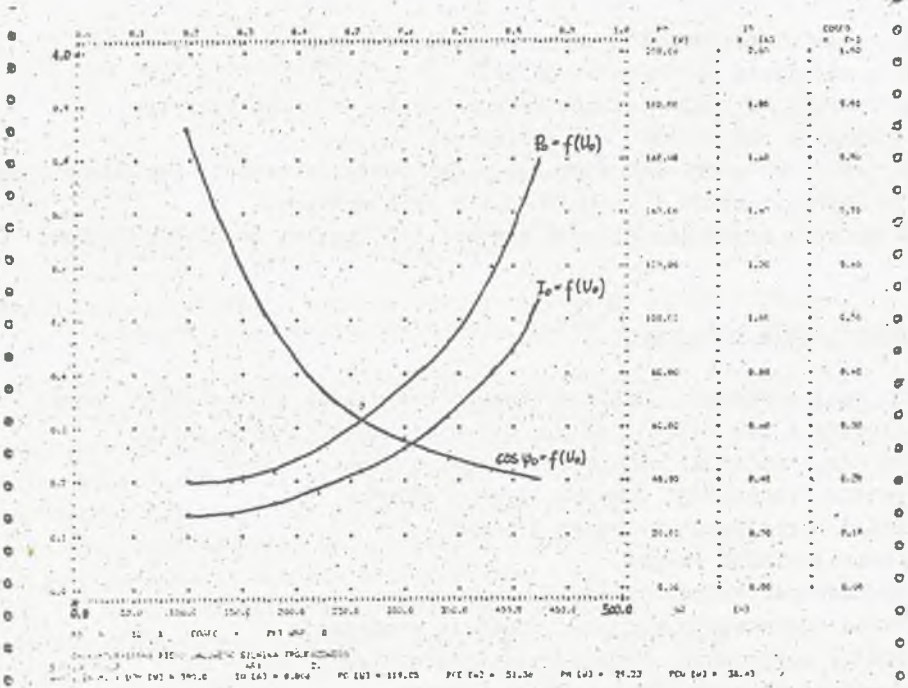
Blok wydruku zestawień drukuje zestawienie wyników badań 2 silników.

#### 4. Przebieg cyklu badawczego

Pełny cykl badawczy wymaga wykonania wszystkich wymienionych niżej prób /zgodnie z ich ewidencją/ dla dwóch silników elektrycznych:

1. Pomiar rezystancji izolacji uzwojeń w stanie zimnym.
2. Pomiar rezystancji uzwojeń zimnego silnika.
3. Próba nagrzewania na biegu jałowym.
4. Próba izolacji zwojów.
5. Wyznaczanie charakterystyki biegu jałowego.
6. Próba nagrzewania przy bezpośrednim obciążeniu.
7. Pomiar rezystancji izolacji uzwojeń w stanie nagrzany.
8. Wyznaczenie charakterystyki obciążenia.
9. Sprawdzenie rozruchu przy stałym momencie hamującym.
10. Próba przeciążalności.
11. Wyznaczenie zależności momentu rozruchowego od położenia kąтового wału silnika.
12. Wyznaczanie charakterystyki zwarcia.
13. Pomiar prądu upływowego.
14. Próba odporności na zwarcie.
15. Pomiar masy silnika.

Cykl badawczy rozpoczynany jest wprowadzeniem do systemu metodą konwersyjną danych znamionowych, tolerancji, numerów badanych silników oraz parametrów próby. Po przygotowaniu stanowiska badawczego operator inicjuje poszczególne próby przyciskami ROZKAZY OPERATORSKIE. System steruje przebiegiem próby, wykonuje niezbędne obliczenia, drukuje wyniki pomiarów i obliczeń w tabelach i na wykresach. Po zakończeniu badań dwóch silników drukowane jest zestawienie wyników i raport zbiorczy zgodnie z wymaganiami Działu Kontroli Jakości. Próby 9, 10, 11, 13, 14 i 15 wykonywane są poza systemem ze względu na brak wyposażenia do pomiaru lub oceny parametrów próby. Wyniki badań wprowadzane są z klawiatury, przetwarzane i uwzględniane w raportach i zestawieniach. Przykładowy wydruk charakterystyki biegu jałowego silnika trójfazowego, wykonany w systemie MASBEL, przedstawiono na rys.3.

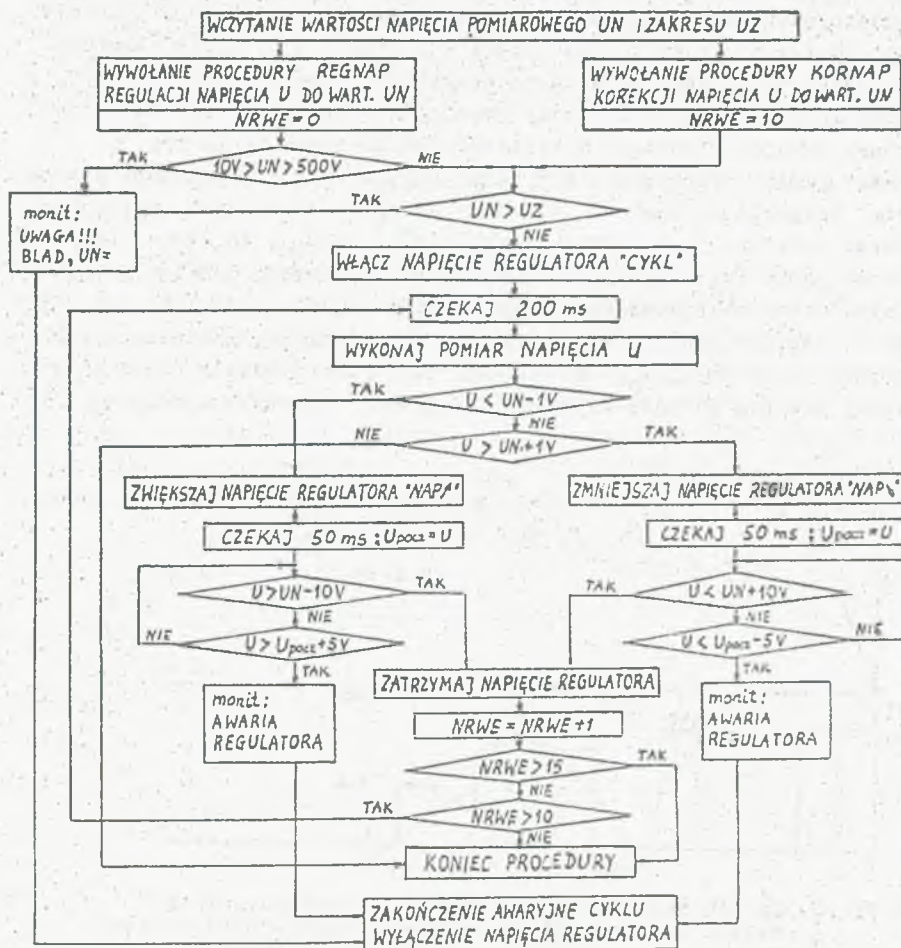


Rys. 3. Charakterystyka biegu jałowego silnika trójfazowego  
 Characteristics of an idle running 3-phase motor

### 5. Programowa regulacja i stabilizacja parametrów próby

W systemie MASBEL możliwe jest realizowanie prób przebiegających ze stabilizacją określonych parametrów, np. napięcia zasilania silnika, mocy na wale przy próbie nagrzewania pod obciążeniem lub temperatury uzwojeń przy próbie zwarcia.

W czasie badań silnik zasilany jest z indukcyjnego regulatora napięcia trójfazowego. Sterowanie pracą regulatora odbywa się programowo. W przypadku gdy napięcie zasilania może być ustawione mniej dokładnie, wywoływana jest procedura REGNAP. W przypadku konieczności ustawienia napięcia z dokładnością  $\pm 1$  V wywoływana jest procedura KORNAP. Algorytm przebiegu regulacji i stabilizacji napięcia zasilania silnika przedstawiono na rys. 4. Procedura została zaprojektowana w taki sposób, że poprzez ustawienie różnych granic warunkujących włączanie i wyłączanie napędu regulatora uzyskano działanie ciągłe w przypadku dużych różnic między wartością zadaną a zmierzoną napięcia regulacji oraz działanie impulsowe w przypadku małych różnic. Procedura realizująca działanie impulsowe umożliwia ustawienie napięcia zasilania z dokładnością  $\pm 1$  V.

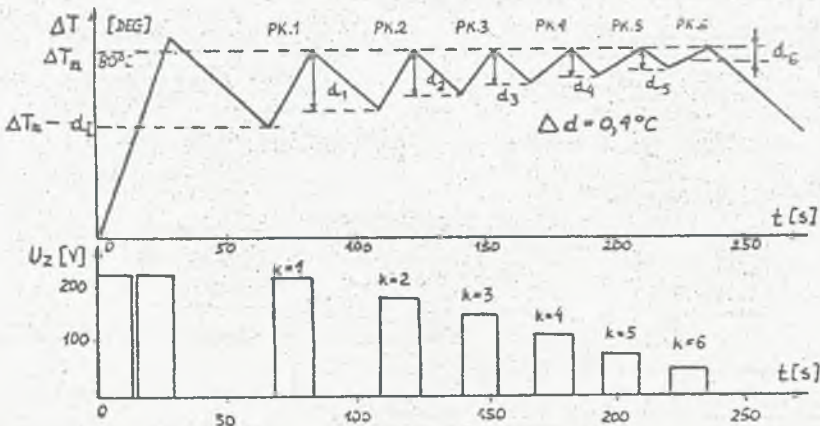


Rys.4. Algorytm regulacji i stabilizacji napięcia zasilania  
Algorithm of supply voltage control

Próba nagrzewania wykonywana jest przy zasilaniu silnika napięciem znamionowym przy obciążeniu znamionową mocą na wale. W założonych przedziałach czasu wykonywany jest pomiar przyrostu temperatury uzwojeń. W czasie badań, przy stabilizacji momentu hamującego  $M_h$  uzyskiwanego z hamownicy o stałym momencie hamującym, zmienia się moc na wale  $P$  ze względu na wpływ nagrzewania silnika na jego parametry elektryczne. Uzyskanie warunku  $P = 1,027 \cdot n \cdot M_h = \text{const}$  wymaga więc wykonania w każdym punkcie charakterystyki nagrzewania pomiaru aktualnej prędkości obrotowej silnika i odpowiedniej korekcji momentu hamującego.

Stan zwarcia powstaje przy zasilaniu uzwojenia stojana napięciem i jednoczesnym zwarcie uzwojenia unieruchomionego wirnika. Moc elektryczna pobierana przez silnik całkowicie zamienia się w ciepło nagrzewając uzwojenia. Warunkiem wyznaczenia charakterystyki zwarcia  $I_z = f/U_z$  / jest utrzymanie stałej temperatury uzwojeń silnika. Sposób stabilizacji temperatury uzwojeń stosowany w systemie MASBEL pokazano na rys. 5.

W pierwszej fazie wykonywania programu uzyskiwany jest założony poziom przyrostu temperatury uzwojeń silnika  $\Delta T_n$  nagrzewanych napięciem pomiarowym. Ustalana jest dolna granica  $\Delta T_n - d_1$ , do której uzwojenie może ostygnąć / $d_1$  - przyrost temperatury wyznaczony doświadczalnie/. W kolejnych krokach programu dolna granica jest zmieniana tak, aby nagrzewanie niższym napięciem dawało ten sam efekt nagrzewania wyznaczony górnym poziomem  $\Delta T_n$ . Zastosowany algorytm umożliwia stabilizację temperatury uzwojeń w poszczególnych punktach pomiarowych z dokład.  $\pm 3^\circ\text{C}$ .



Rys. 5. Sposób stabilizacji temperatury uzwojeń silnika  
Method of motor windings temperature stabilization

## 6. Wyznaczenie strat mocy w silniku trójfazowym

Kolejnym przykładem wykorzystania możliwości minikomputerowego systemu badań silników elektrycznych jest wyznaczenie mechanicznych strat mocy silnika trójfazowego na podstawie pomiarów wykonanych w próbie biegu jałowego. Przy biegu jałowym silnika asynchronicznego wirnik wiruje z prędkością niemal synchroniczną. Straty występujące w tym stanie ocenia się mierząc moc czynną  $P_0$  /rys.3/

$$P_0 = U_0 \cdot I_0 \cdot \cos \varphi_0,$$

która jest sumą strat mocy w miedzianych uzwojeniach  $P_{cu}$ , w rdzeniu wirnika  $P_{Fe}$  i strat mechanicznych  $P_m$ . W systemie MASBEL zmieniane jest



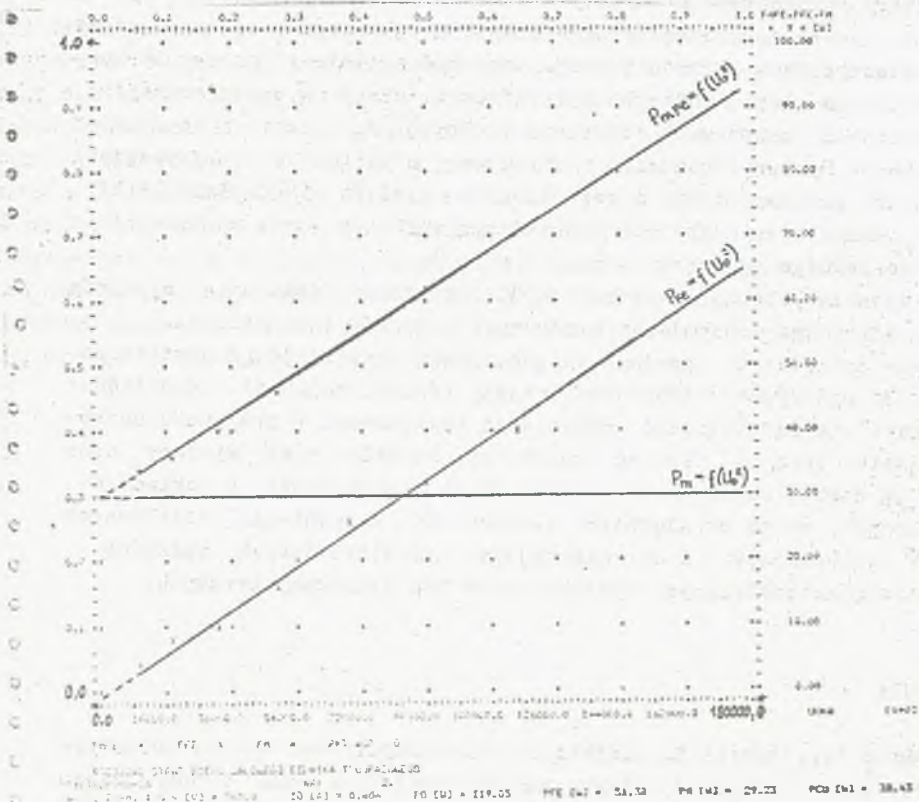
programowo napięcie zasilania silnika i w każdym z 10 punktów pomiarowych mierzone są napięcia i prądy poszczególnych faz, a po zatrzymaniu silnika rezystancje uzwojeń. Na podstawie średnich wartości prądów i rezystancji oraz całkowitej mocy strat obliczane są straty w uzwojeniach

$$P_{cu} = 3 \cdot I_0^2 \cdot R_0$$

oraz sumaryczne straty mechaniczne i w żelazie  $P_{mFe}$  /straty jałowe/

$$P_{mFe} = P_0 - P_{cu}$$

które wykreślone w funkcji kwadratu napięcia zasilania dają w przybliżeniu linię prostą /rys.6/. Stosowane dotychczas metody badań wymagały wykonania próby biegu jałowego, wykreślenia charakterystyki strat  $P_{mFe} = f(U_0^2)$  oraz ekstrapolowania tej charakterystyki w celu odczytania wartości strat mechanicznych. Zastosowanie systemu minikomputerowego umożliwiło wyliczenie wartości strat mechanicznych bez konieczności wykreślenia charakterystyki strat. Przykładowy rozdział strat biegu jałowego silnika trójfazowego wykonany w systemie MABEEL podano na rys.6.



Rys.6. Rozdział strat biegu jałowego silnika trójfazowego.  
The idle run losses distribution for a 3-phase motor.

## 7. Podsumowanie

Prezentowany system pomiarowy MASEBŁ opracowany został w oparciu o układy automatyki i przetwarzania danych produkowane w latach 70. /minikomputer Mera-400, Inteldigit PI/. Doświadczenia zebrane przy projektowaniu, realizacji i wdrażaniu tego systemu w zakładzie przemysłowym stanowią podstawę do wytypowania pewnych wymagań, które powinny być uwzględnione przy projektowaniu podobnych systemów.

Nowoczesne systemy pomiarowe powinny uwzględniać obecny stan techniki /mikrokomputery, sterowniki mikroprocesorowe/. Systemy te mogą być budowane w strukturze hierarchicznej i połączone do ogólnej sieci informatycznej zakładu. Wybór struktury blokowej systemu do badań silników elektrycznych zależał będzie od przeznaczenia systemu /badania pełne czy niepełne/, cyklu badań /skrócony czy pełny/, stopnia automatyzacji /automatyzacja całkowita czy częściowa/ i stopnia elastyczności /systemy sztywne - których funkcje są ściśle określone przez projektanta, systemy półelastyczne - których funkcje mogą być zmieniane przez użytkownika poprzez wymianę oprogramowania dołączonego przez producenta, systemy elastyczne - których funkcje mogą być zmieniane przez użytkownika za pomocą samodzielnego wprowadzania zmian w oprogramowaniu/.

Ograniczenia w wyborze struktury blokowej są natury ekonomicznej i sprzętowej. Systemy bardziej rozbudowane, o większych możliwościach pomiarowych przetwarzania i raportowania wyników są droższe. Wybór systemu uwarunkowany jest też posiadaniem sprzętem oraz możliwościami zakupu niezbędnego oprzyrządowania.

Przy wysokim stopniu elektronizacji optymalne działanie systemów pomiarowych wymaga zapewnienia właściwych warunków eksploatacji. Urządzenia informatyki powinny znajdować się w wydzielonym pomieszczeniu o mało agresywnej atmosferze, należy również zapewnić odpowiednie uziemienie i zminimalizować zakłócenia zewnętrzne. W przypadku uszkodzeń sprzętu powinna istnieć możliwość szybkiej jego wymiany oraz dostęp do usług serwisowych. Użytkownicy, szczególnie w zakładach przemysłowych, muszą uwzględniać konieczność zapewnienia niezbędnych warunków technicznych i organizacyjnych umożliwiających właściwą eksploatację automatycznych systemów mini- lub mikrokomputerowych.

## LITERATURA

- [1] Niwiński St., Boreta B., Korbel T.: Minikomputerowy system automatyzacji badań silników elektrycznych oraz jego rola w podnoszeniu jakości wyrobów. XII Szkoła Niezawodności RELEMA, Kołobrzeg 1985.
- [2] Plamitzar A.M.: Maszyny elektryczne. WNT, Warszawa 1976.

Recenzent: Prof.dr inż. Henryk Kowalowski  
Wpłynęło do Redakcji do 1986.04.30

## МИКРОКОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПОЛНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

### Резюме

В работе представлена миникомпьютерная система для автоматизации испытаний типа индукционных двигателей. Дана структурная схема, представлена работа и программное обеспечение системы. Показаны методы программной регуляции и стабилизации режима испытания и определение потерь мощности трёхфазного двигателя.

### AUTOMATIC MINIKOMPUTER SYSTEM FOR ELECTRIC MOTOR QUALITY TESTS

### Summary

This paper describes the MASBEL system intended for automatic quality tests of both 3-phase and 1-phase induction motor of power up to 1,5 kW. The system has been working in BESEL Company in Brzeg /Poland/ since 1984. Advanges of automatic testing are presented. A short description of equipment constituting the system is given. The list of possible tests is included and the principles of executed measurements are mentioned. The structure of software is explained. A particular stress has been put on the user's software. Examples of tests running in the stabilisation of chosen parameters are developed. Stabilization of voltage supply and windings temperature are illustrated. Characteristics of an induction motor idle run and power losses distribution are presented as examples in the form obtained from the system. The paper ends with several remarks concerning the design and industrial utilisation of the system.