

Jakub WIERCIAK
Instytut Konstrukcji Przyrządów
Precyzyjnych i Optycznych
Politechnika Warszawska

MODEL MIKROSILNIKA PRĄDU STAŁEGO W POMIARACH JEGO CHARAKTERYSTYK OBCIĄŻENIOWYCH

Streszczenie. Do metrologicznej oceny metod wyznaczania obciążeniowych charakterystyk mikrosilników elektrycznych można wykorzystać badania symulacyjne. W badaniach tych obiekt zastępowany jest tzw. modelem odniesienia. Zaproponowano model mikrosilnika prądu stałego uwzględniający występowanie zjawisk cieplnych. Wyniki prac doświadczalnych i symulacyjnych wykazały wpływ niestacjonarności obiektu na wyznaczone charakterystyki.

MODEL OF DC MICROMOTOR IN DETERMINATION OF ITS PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Summary. Simulation tests may be used for evaluation of methods of micromotors' load characteristics determination. The tests are performed upon so called "reference model". DC micromotor model with thermal phenomena taken into account was developed. Results of experimental and simulation tests revealed the influence of motor unstability on determined characteristics.

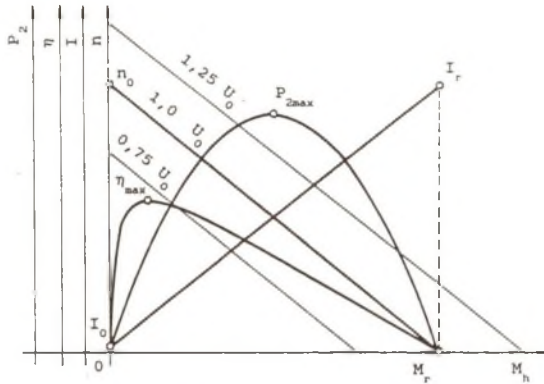
МОДЕЛЬ МИКРОЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА В ОПРЕДЕЛЕНИИ ЕГО НАГРУЗОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Резюме. Метрологическая оценка методов определения нагрузочных характеристик микроэлектродвигателей может быть передана с помощью симуляционных экспериментов. В этих экспериментах используют так называемый "модель отнесения". Разработано модель в котором учитываются термические эффекты происходящие в двигателе. Результаты экспериментальных и симуляционных дел доказали влияние неустойчивости объекта на определённые характеристики.

1. WPROWADZENIE

Obciążeniowe charakterystyki mikrosilników elektrycznych na ogół wyznacza się metodami z zadawaniem momentu hamującego: punktową lub ciągłą, bądź też metodą dynamiczną [4]. Charakterystyki te (rys.1) są istotne z użytkowego punktu widzenia, ponieważ służą do obliczania szeregu elektromechanicznych parametrów silnika. W przypadku, gdy do zastosowania silnika wymagana jest szczególnie dobra znajomość jego charakterystyk, ważnym zagadnieniem staje się dobór właściwej metody

badawczej. Można bowiem wykazać, że wyniki badań zależą od zastosowanej metody i jej parametrów (rys.2). Skok M_{hj} momentu hamującego jest podstawowym parametrem metody punktowej. W cyklu pomiarowym rejestrowana jest odpowiedź silnika na wymuszenie w postaci ciągu takich skoków tworzących krzywą schodkową i prowadzących ostatecznie do zatrzymania wirnika.

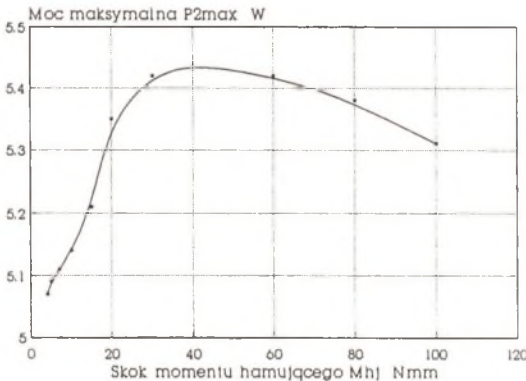


Rys.1. Przebieg obciążeniowych charakterystyk silnika prądu stałego z wirnikiem bezrdzeniowym

M_h - moment obciążenia, P_2 - moc oddawana, n - prędkość obrotowa, I - prąd pobierany, η - sprawność silnika, M_r - moment rozruchowy, I_r - prąd rozruchowy, n_0 - prędkość obrotowa biegu jałowego, I_0 - prąd biegu jałowego, U_0 - znamionowe napięcie zasilania

Fig.1. Electromechanical characteristics of DC motor with ironless rotor

M_h - load torque, P_2 - power output, n - rpm speed, I - current, η - motor efficiency, M_r - stall torque, I_r - stall current, n_0 - no-load speed, I_0 - no-load current, U_0 - measuring voltage



Rys.2. Przykładowa zależność wyznaczanego parametru silnika PBM-40 od parametru zastosowanej metody badawczej (wyniki pomiarów metodą punktową)

Fig.2. Exemplary relation between determined value of PBM-40 motor parameter and parameter of applied test method (results obtained with point-by-point method)

2. BŁĘDY WYZNACZENIA CHARAKTERYSTYK

Systematyczne błędy obciążające wyznaczone charakterystyki wynikają z uproszczeń przyjętego modelu mikrosilnika oraz faktu, że podczas badań w rzeczywistym systemie pomiarowym nie w pełni zachowane są warunki [6]:

- a) stałego napięcia zasilania,
- b) statyczności pomiarów,
- c) stacjonarności badanego obiektu.

Dodatkowym źródłem błędu metody jest algorytm przetwarzania danych. Jeśli badania prowadzone są w zautomatyzowanym stanowisku pomiarowym [1], to stosunkowo łatwo można osiągnąć stabilność napięcia zasilania, a także zapewnić wymaganą statyczność rejestrowanych sygnałów. W tej sytuacji o wartości błędu decydują zjawiska zachodzące w mikrosilniku - nie uwzględnione w opisie identyfikowanego modelu. Na wymienione wpływy nakłada się losowy rozrzut rejestrowanych wielkości, który powoduje niepewność uzyskiwanych wyników.

Do poszukiwania metod badawczych właściwych ze względu na założony cel badań może być wykorzystana metoda analizy mierzalności opracowana w AGH [2]. Analiza mierzalności polega na prowadzeniu symulacyjnych badań modelu systemu pomiarowego, w którym badany obiekt zastąpiony jest tzw. modelem odniesienia. Model odniesienia stanowi sformalizowany opis najlepszej wiedzy o badanym obiekcie posiadanej aktualnie przez eksperymentatora. Dane pochodzące z symulacji procesu pomiarowego poddawane są matematycznemu przetworzeniu zgodnie z przyjętymi algorytmami. Wyliczone wartości parametrów obiektu porównuje się z założonymi parametrami modelu odniesienia. Błędy wyznaczenia parametrów służą do obliczania kryteriów oceny systemu pomiarowego.

3. MODEL MIKROSILNIKA

W modelu odniesienia mikrosilnika prądu stałego uwzględniono przede wszystkim cieplną niestacjonarność badanej maszyny. Przyjęto, że źródłem ciepła są straty uzwojeniowe wirnika [3]. Uwzględniono wpływ temperatury elementów silnika na rezystancję obwodu twornika oraz wartość indukcji magnesu wzbudzającego. Zgodnie z tymi założeniami klasyczny model mikrosilnika z wirnikiem bezrzedzeniowym opisany równaniami (1) i (2) [4] został rozszerzony o zależności (3) do (9):

- równanie momentów

$$K_T i = (J_s + J_h)(d\omega/dt) + K_D \omega + (M_F + M_h), \quad (1)$$

- równanie napięć

$$u = R_1 i + L(di/dt) + K_E \omega, \quad (2)$$

- opis cieplnego stanu wirnika

$$\tau_{1w} (dT_w/dt) + (T_w - T_s) = \rho_1 P_v, \quad (3)$$

- opis cieplnego stanu stojana

$$\tau_{1s} (dT_s/dt) + (T_s - T_{01}) = \rho_2 W, \quad (4)$$

- zależność rezystancji uzwojeń od temperatury

$$R_1 = R_0 [1 + \alpha (T_w - T_0)], \quad (5)$$

- zależności stałych: momentu i napięcia od temperatury

$$K_T = K_{T0} [1 - \beta (T_s - T_0)], \quad (6)$$

$$K_E = K_{E0} [1 - \beta (T_s - T_0)] , \quad (7)$$

- chwilowa moc strat uzwojeniowych

$$P_v = i^2 R_t , \quad (8)$$

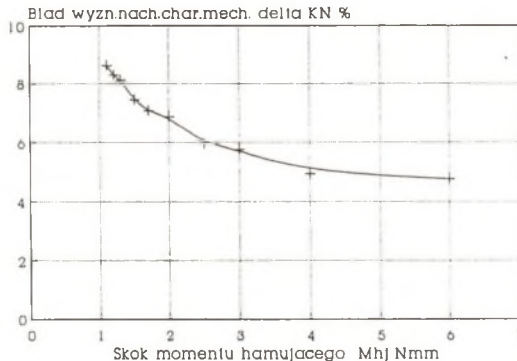
- moc cieplna oddawana z wirnika

$$W = (T_w - T_s) / \rho_1 , \quad (9)$$

w których przyjęto następujące oznaczenia: α - cieplny współczynnik rezystywności uzwojeń, β - cieplny współczynnik indukcji magnesu wzbudającego, i - prąd twornika, J_h - moment bezwładności napędzanych podzespołów, J_s - moment bezwładności wirnika, K_D - stała tłumienia lepkiego w silniku, K_E - stała napięcia, K_{E0} - stała napięcia w temperaturze T_0 , K_T - stała momentu, K_{T0} - stała momentu w temperaturze T_0 , L - indukcyjność uzwojenia twornika, M_h - moment obciążenia, M_F - moment tarcia silnika, P_v - chwilowa moc strat uzwojeniowych, R_t - całkowita rezystancja obwodu twornika, τ_{is} - cieplna stała czasowa stojana, τ_{iw} - cieplna stała czasowa wirnika, T_0 - temperatura odniesienia parametrów silnika, T_{ot} - temperatura otoczenia, T_s - chwilowa temperatura stojana, T_w - chwilowa temperatura wirnika, R_0 - rezystancja twornika w temperaturze T_0 , R_t - całkowita rezystancja obwodu twornika, ρ_1 - rezystancja cieplna układu wirnik-stojan, ρ_2 - rezystancja cieplna układu stojan-otoczenie, u - napięcie zasilania, W - chwilowa moc oddawana z wirnika, ω - prędkość kątowna wirnika.

4. BADANIA SYMULACYJNE

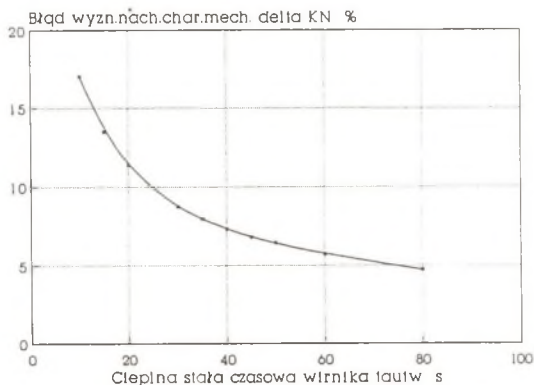
Badania symulacyjne z wykorzystaniem opracowanego modelu mikrosilnika pozwoliły na dokonanie wstępnej metrologicznej oceny metod wyznaczania charakterystyk. Jako najprostsze kryteria oceny wykorzystano przy tym systematyczne błędy obciążające wyznaczane wartości parametrów silnika [5]. Przykładowa zależność zamieszczona na rys.3 ilustruje wpływ cieplnej niestacjonarności maszyny na błąd identyfikacji. Mniejszym wartościom skoku M_{hj} momentu hamującego odpowiadały dłuższe cykle pomiarowe, a zarazem silniejsze nagrzewanie się elementów silnika.



Rys.3. Zależność błędu wyznaczenia nachylenia K_N charakterystyki mechanicznej silnika PBM-40 od skoku M_{hj} momentu hamującego, uzyskana w wyniku symulacji procesu pomiarowego metodą punktową

Fig.3. Error of K_N parameter of PBM-40 motor versus braking torque stroke M_{hj} obtained as a result of point-by-point method simulation tests

Oprócz oceny wpływu, jaki na wyznaczane charakterystyki wywierają stosowane metody badawcze, prowadzone prace pozwalają na formułowanie innych wniosków dotyczących systemu pomiarowego - w szczególności budowy stanowiska i zasad przetwarzania danych. Eksperymenty symulacyjne umożliwiają ponadto analizę wpływu parametrów badanego mikrosilnika na uzyskiwane wyniki. Zgodnie z wcześniejszymi rozważaniami istotną rolę odgrywają parametry cieplne - w szczególności stała czasowa wirnika. Na rys.4 zamieszczono przykładową zależność wyznaczonego parametru silnika od tej właśnie stałej.



Rys.4. Błąd nachylenia K_N charakterystyki mechanicznej silnika PBM-40 w zależności od cieplnej stałej czasowej τ_{tw} wirnika, wyznaczony w wyniku symulacji procesu pomiarowego metodą ciągłą

Fig.4. Error of K_N parameter of PBM-40 motor versus thermal constant τ_{tw} of rotor as obtained in computer simulation of continuous line method

5. PODSUMOWANIE

Symulacyjne badania systemów pomiarowych umożliwiają prowadzenie szczegółowej analizy procesu identyfikacji wyznaczonego modelu. Ważny fragment takich prac stanowi budowanie modelu odniesienia badanego obiektu. Gdy rozpatrywanym obiektem jest mikrosilnik elektryczny lub inny elektromechaniczny przetwornik energii, należy mieć na uwadze potrzebę uwzględnienia występujących w nim zjawisk wydzielania i rozplywu ciepła. Zjawiska te mają istotny wpływ na wyniki pomiarów, co potwierdzają rezultaty prowadzonych prac. W praktyce do pełnej oceny systemów pomiarowych stosowane są kryteria budowane z użyciem nie tylko systematycznych, lecz także losowych składowych błędów.

LITERATURA

- [1] Bodnicki M., Dziubalski Ł., Wierciak J., Wolski W.: Skomputeryzowane stanowisko do wyznaczania statycznych właściwości mikrosilników prądu stałego. *Pomiary Automatyka Kontrola*. Nr 4/1993, ss. 88-90

- [2] Gajda J.: Mierzalność modeli złożonych obiektów przemysłowych. Zeszyty Naukowe AGH nr 1407. Kraków 1991
- [3] Mikrosilniki elektryczne. Badanie właściwości statycznych i dynamicznych. Praca zbiorowa pod red. W.Jaszczuka. PWN, Warszawa 1991
- [4] Jucker E.: Physical Properties of Small DC Motors Using an Ironless Rotor. Portescap. La Chaux-de-Fonds 1974
- [5] Wierciak J.: Wyznaczanie charakterystyk mikrosilnika prądu stałego - badania procesu pomiarowego. Materiały II Sympozjum "Modelowanie i Symulacja Systemów Pomiarowych". Krynica 28-30 września 1992, ss. 137-146
- [6] Wierciak J.: Problems in Determination of Electric Micromotors Performance Characteristics. Mezinárodní seminár "Dynamická a Pevnostní Analýza Pohonych Systému. Svratka 3-6.05.1993, ss. 310-313

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jan Kosmol

Wpłynęło o Redakcji w grudniu 1993 r.

Abstract

Electric micromotors performance characteristics (Fig.1) are usually determined with either braking torque input methods or dynamic method. These load power curves seem to be very essential as they are used for calculating several electromechanical parameters of motor. When motor application requires the characteristics to be determined accurately the question of appropriate test method appears for it can be demonstrated by the way of experiment that method effects on the determination results (Fig.2). Systematic errors of characteristics are caused by both: the simplification of micromotor model and the fact that following defining conditions are not met during the test:

- a) constant supply voltage,
- b) stable readings,
- c) motor stability.

Data processing algorithm is another important source of method error. In automatic measuring systems there is possibility of reducing the influence of conditions a) and b) on results. Thus motor instability becomes the main reason of systematic error.

"Measureability analysis" method may be used while searching proper test methods. This analysis is based on simulation tests which are carried out on the so called "reference model" of the object. Simulation data are being processed with the assumed algorithms. Determined parameters are compared with their reference values. Parameters' errors are used in calculating evaluation criteria. To arrive at the reference model of micromotor the set of conventional equations (1) and (2) as applicable to a DC motor performance, was extended by the relations describing the heat generation and distribution phenomena (3) to (9).

Simulation tests have provided amount of information to be utilised during evaluation of test methods (Fig.3). Impact of motor thermal parameters has been

analysed as well (Fig.4). Another analysis concern the structure of measuring system. Conclusions relate particularly to test stand construction as well as data processing algorithms.