

Ciepły model obwodowy hybrydowego silnika skokowego

Tomasz Tański

Od charakterystyk układu napędowego zależą właściwości całego urządzeń mechatronicznego. Jedną z obserwowanych tendencji odnoszącą się do większości napędów elektromechanicznych jest zwiększanie mechanicznej mocy użytecznej silnika przy zachowaniu stałych wymiarów gabarytowych napędu. Jest to osiągane poprzez rozwój nowych konstrukcji silników i wprowadzanie nowych materiałów oraz przez zwiększanie mocy elektrycznej zasilania. Z kolei zwiększanie mocy zasilającej napęd powoduje dodatkowy przyrost jego temperatury, z czym wiąże się następujące zagadnienia:

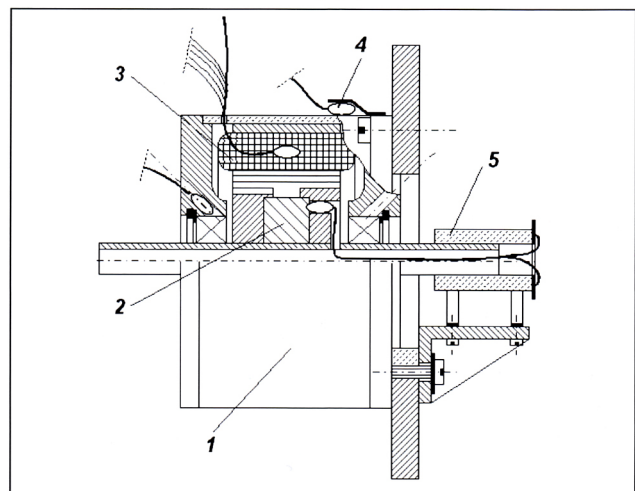
- zmiana charakterystyk użytkowych silnika – na skutek zmian rezystancji uzwojenia i parametrów magnesu,
- odprowadzanie ciepła z silnika do urządzenia, w którym silnik pracuje,
- zależność dopuszczalnej mocy elektrycznej zasilającej silnik od warunków odprowadzania ciepła do otoczenia.

Wymienione problemy, istotne z punktu widzenia konstruktora układu napędowego, stały się podstawą do rozpoczęcia prac nad badaniem zjawisk cieplnych zachodzących w mikrosilnikach elektrycznych. Celem tych badań jest dostarczenie inżynierowi matematycznych modeli silników, za pomocą których – na podstawie informacji o warunkach pracy silnika: zasilania, obciążenia i warunków odprowadzania ciepła – będzie możliwe przewidywanie zachowania się silnika (przyrostu temperatury jego części zewnętrznych, mocy cieplnej wydzielanej do urządzenia, w którym silnik pracuje oraz zmian parametrów mechanicznych silnika). Dobrym przykładem modelu spełniającego powyższe założenia jest, powszechnie już występujący w katalogach producentów matematyczny model bezrdzeniowego silnika prądu stałego [1, 2]. Model ten składa się z dwóch ciał cieplnych i mimo niewielkiego stopnia komplikacji jest stosunkowo dokładny, co powoduje jego coraz powszechniejsze zastosowanie wśród inżynierów. Te czynniki zadecydowały o wszczęciu prac nad modelowaniem hybrydowego silnika skokowego. Wybór tego silnika spowodowany był jego częstym zastosowaniem w budowie urządzeń mechatronicznych.

Modelowanie zjawisk cieplnych w hybrydowym silniku skokowym

Prace nad modelowaniem zjawisk cieplnych występujących w hybrydowym silniku skokowym rozpoczęto od wstępnych badań doświadczalnych [3]. Do tego celu zbudowano skomputeryzowane stanowisko pomiarowe do

badania zachowań cieplnych mikrosilników elektrycznych. Stanowisko wyposażono w dwa tory pomiarowo-sterujące, umożliwiające zasilenie silnika zadaną funkcją mocy elektrycznej (wydzielanie ciepła w obiekcie) oraz pomiar i akwizycję temperatury wybranych elementów obiektu. Badania prowadzono na specjalnie przystosowanym hybrydowym silniku skokowym FA 23-4-1 firmy Mikro-ma, wyposażonym w dwa wbudowane oraz dwa swobodne czujniki temperatury (rys. 1).



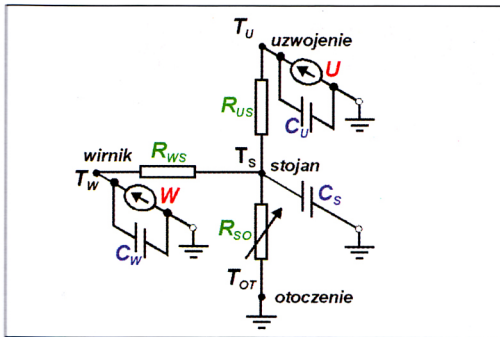
Rys. 1. Miniaturowy hybrydowy silnik skokowy wyposażony w czujniki temperatury. 1 – stojan, 2 – wirnik, 3 – uzwojenie, 4 – czujnik temperatury, 5 – ślizgowy tor transmisji sygnału temperatury z wirnika.

Następnie przeprowadzono badania wstępne, które polegały na wykonaniu serii doświadczeń, obejmujących zasilenie silnika ze sterownika producenta silnika ESB 23-11, przy zadanej częstotliwości i rejestracji jego odpowiedzi temperaturowych. Na podstawie analizy danych empirycznych otrzymanych z eksperymentów, analizy budowy silnika oraz wcześniej zdobytych doświadczeń przy badaniach modelu cieplnego bezrdzeniowego silnika prądu stałego, zaproponowano przedstawienie cieplnej struktury miniaturowego hybrydowego silnika skokowego jako zbioru trzech ciał cieplnych: uzwojenia, wirnika i stojana (rys. 2).

Przedstawiony model można pokrótce scharakteryzować w następujących punktach:

- w każdym z wytypowanych ciał cieplnych występuje izotermiczne pole temperatury,
- zastępcze opory cieplne charakteryzują drogi przepływu ciepła między ciałami i otoczeniem oraz opisują przepływ ciepła przez przejmowanie (przewodzenie w warstwach przyściennych, konwekcję i radiację),
- zastępczy opór cieplny stojan-otoczenie nie należy do modelu, ale jest w głównej mierze cechą środowiska, w którym silnik pracuje,

Mgr inż. Tomasz Tański jest doktorantem w Instytucie Mikromechaniki i Fotoniki na Wydziale Mechatroniki Politechniki Warszawskiej.



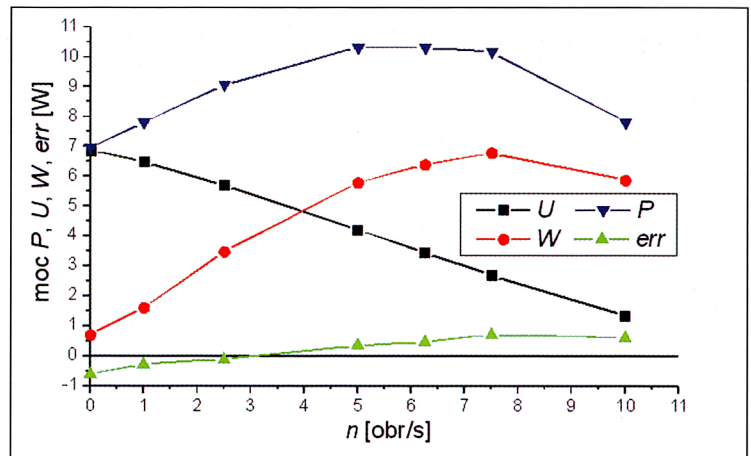
Rys. 2. Proponowana struktura modelu cieplnego hybrydowego silnika skokowego. T_U , T_W , T_S , T_{OT} – temperatura odpowiednio: uzwojenia, wirnika, stojana i otoczenia; C_U , C_W , C_S – pojemności cieplne odpowiednio uzwojenia, wirnika i stojana; R_{US} , R_{WS} , R_{SO} – zastępcze opory cieplne odpowiednio uzwojenie-stojan, wirnik-stojan, stojan-otoczenie; U , W – źródła ciepła odpowiednio w uzwojeniu (straty rezystancyjne) i wirniku (straty wiropądowe i histerezowe)

- wyróżnione w modelu źródła ciepła zawierają jedynie straty rezystancyjne w uzwojeniu oraz wiropądowe i histerezowe w wirniku.

Identyfikacja parametrów i źródeł ciepła modelu obwodowego

Kolejnym etapem prac badawczych była identyfikacja parametrów cieplnych opracowanego modelu [4]: zastępczych oporów cieplnych między wytypowanymi ciałami oraz pojemności cieplnych tych ciał. Identyfikacja polegała na przeprowadzeniu serii doświadczeń, w których obiekt zasilano skokami mocy cieplnych o różnych wartościach – wydzielanych w wirniku, na wprowadzonym tam, przez przelotowy otwór w wałku, miniaturowym elemencie grzejmym, bądź w uzwojeniu – oraz rejestracji odpowiedzi temperaturowych silnika, aż do osiągnięcia przez niego stanu ustalonego cieplnie. Z wartości temperatur silnika w stanie ustalonym oraz mocy cieplnej dostarczanej do silnika wyznaczano metodą regresji wartości oporów cieplnych między ciałami, natomiast z całości odpowiedzi czasowych wyznaczano przy użyciu metody najmniejszej sumy kwadratów wartości pojemności cieplnych ciał. Osiągnięte przy tym parametry opisujące jakość identyfikacji wykazały dobrą adekwatność zaproponowanego opisu struktury cieplnej silnika. Otrzymało następujące wyniki: $R_{US} = 2,91$ K/W, $R_{WS} = 2,33$ K/W, $R_{SO} = -0,13113 \cdot (T_S - T_{OT}) + 5,73744$ K/W, $C_U = 16$ J/K, $C_W = 55$ J/K, $C_S = 270$ J/K.

Następnym etapem prac nad modelowaniem cieplnej struktury miniaturowego hybrydowego silnika skokowego była analiza i identyfikacja źródeł ciepła w silniku [5]. Przeprowadzono badania wydzielania ciepła w silniku zasilanym przy użyciu sterowników bipolarnych: prądowych i napięciowych. Program badań polegał na przeprowadzeniu serii doświadczeń, które obejmowały zasilanie silnika ze sterownika przy zadanej częstotliwości i rejestrację jego odpowiedzi temperaturowych. Następnie, w stanie cieplnie ustalonym na podstawie modelu i wyznaczonych poprzednio wartości parametrów obliczono moce cieplne wydzielane w poszczególnych cia-



Rys. 3. Bilans mocy w silniku w stanie cieplnie ustalonym w funkcji prędkości obrotowej dla sterowania prądowego. Praca jałowa, sterownik DM 224i-o, prąd kluczowania 0,5 A. P – całkowita moc cieplna wydzielana w silniku liczona z różnicy temperatur stojana i otoczenia, e_{rr} – wartość błędu bilansu mocy cieplnych, liczonego jako różnica między mocą P a sumą mocy U i W

łach silnika. Przykładową charakterystykę wydzielanych mocy cieplnych w funkcji prędkości obrotowej silnika przedstawiono na rys. 3.

Podsumowanie

W wyniku przeprowadzonych prac zaproponowano dynamiczny model obwodowy zastępczej struktury cieplnej hybrydowego silnika skokowego. Opracowano metody wyznaczania parametrów statycznych i dynamicznych tego modelu oraz wyznaczania źródeł ciepła w silniku. Podczas weryfikacji modelu na podstawie rzeczywistego obiektu – odpowiedź silnika na zasilanie skokiem mocy, maksymalne błędy dynamiczne nie przekraczały 3 K, przy przyrostach temperatury około 50 K, co daje błąd względny około 3 %. Otrzymane wyniki mogą stanowić o przydatności zaproponowanej struktury cieplnej dla konstruktorów urządzeń, którzy zdecydują się na zastosowanie tego typu silnika w projektowanej przez siebie konstrukcji.

Bibliografia

1. Portescap. „Motion Systems”. Katalog mikrosilników.
2. „Cieplne modele mikrosilników elektrycznych”, sprawozdanie z projektu badawczego KBN Nr 8 T10A 072 14, Instytut Mikromechaniki i Fotoniki 2000.
3. Tański T, Dubiel C.: Badania zjawisk cieplnych w hybrydowym silniku skokowym FA 23-4-1. Materiały konferencyjne – Mikromaszyny i Serwonapędy, Malbork 98, Wydawnictwo Instytutu Elektrotechniki, Warszawa 1998
4. Tański T.: Identyfikacja parametrów cieplnych modelu hybrydowego silnika skokowego. Materiały konferencyjne – Modelowanie i Symulacja Systemów Pomiarowych, Krynica 2001, Wydawnictwo Zakładu Metrologii AGH, Kraków 2001
5. Tański T., Pochanke A.: Badania źródeł ciepła w hybrydowym silniku skokowym. Materiały konferencyjne – Mikromaszyny i Serwonapędy, Kamień Śląski 2000, Wydawnictwo Instytutu Elektrotechniki, Warszawa 2000

Streszczenia artykułów naukowych

Ciepły model obwodowy hybrydowego silnika skokowego, Tomasz Tański — s. 16

Przedstawiono propozycję ciepłego modelu obwodowego hybrydowego silnika skokowego. Opisano metody identyfikacji parametrów tego modelu: oporów i pojemności cieplnych. Opisano przebieg wyznaczania źródeł ciepła w modelu oraz dokonano wstępnej oceny modelu.

Thermal circumferential model of hybrid stepper motor, Tomasz Tański — p. 16

There is a proposal of thermal circumferential model of hybrid stepper motor introduced in the paper. The paper presents methods of identifying the following parameters of this model: thermal resistances and heat capacities. There is also described the process of identification of the heat sources in the model. One performed an initial evaluation of the proposed model.