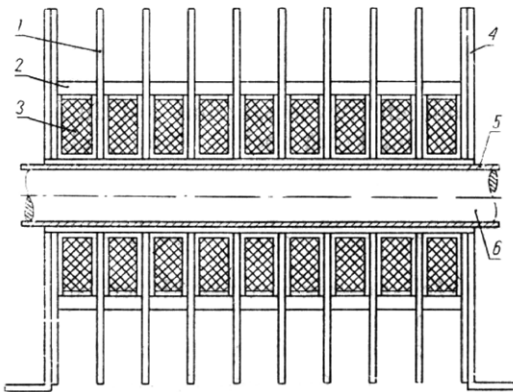


Badanie silnika indukcyjnego tubowego zasilanego z przetwornicy częstotliwości

Grzegorz Kamiński, Karol Bielecki

Silnik tubowy należy do jednej z odmian silników liniowych, które przetwarzają energię elektryczną na energię mechaniczną ruchu liniowego bez dodatkowych przekładni mechanicznych. Indukcyjne silniki tubowe charakteryzują się prostą konstrukcją (rys. 1). W jarzmie stojana umieszczone jest uzwojenie koncentryczne, które po zasileniu z sieci trójfazowej wytwarza wędrujące pole magnetyczne.



Rys. 1. Przekrój silnika liniowego tubowego [1]:
1 - żebro chłodzące; 2 - jarzmo stojana; 3 - uzwojenie koncentryczne;
4 - żebro zamykające; 5 - płaszcz bieźnika; 6 - bieźnik

Bieźnik silnika wykonywany jest jako stalowa rura, której powierzchnia pokrywana jest galwanicznie miedzią. Bieźnik łożyskowany jest poprzez teflonowe pierścienie ślizgowe bądź liniowe łożyska toczne. Ze względu na niewielką długość bieźnika silniki liniowe tubowe pracują najczęściej w stanie nieustalonym. Tego typu konstrukcje stanowią alternatywę do typowych pneumatycznych siłowników liniowych. Silniki tubowe znajdują zastosowanie w elementach wykonawczych automatyki jako napędy manipulatorów, podnośników oraz w obrabiarkach CNC.

W pracy badano indukcyjny silnik tubowy skonstruowany w Zakładzie Maszyn Elektrycznych Politechniki Warszawskiej (rys 2).

Bieźnik silnika łożyskowany jest poprzez teflonowe pierścienie ślizgowe. Podczas pracy silnika wskutek tarcia powierzchni bieźnika o łożyska wydzielane są duże wartości ciepła. Przyrost temperatury bieźnika prowadzi na skutek rozszerzalności cieplnej materiałów do zwiększenia średnicy bieźnika, co powodować może jego zakleszczenie w łożyskach ślizgowych. Podczas badań wykonano pomiary termograficzne pracującego silnika

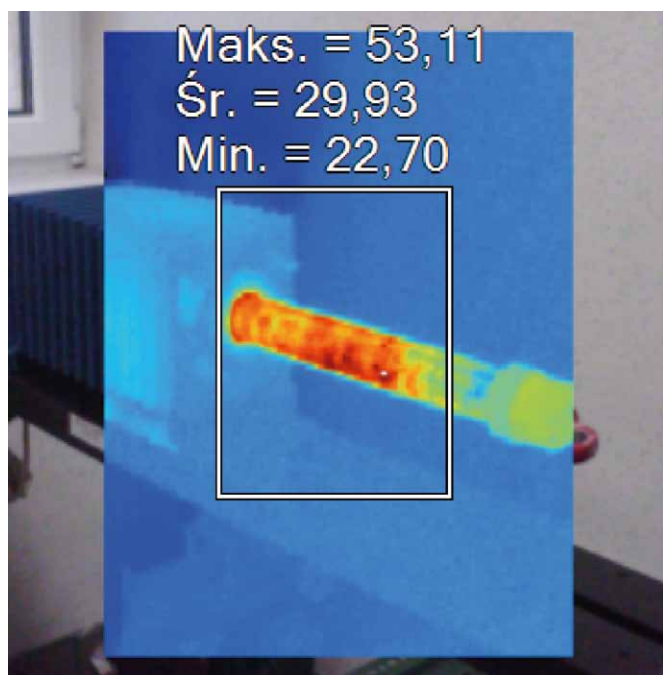
Streszczenie: We współczesnych procesach produkcyjnych wymagana jest realizacja precyzyjnych ruchów liniowych. W tradycyjnych układach napędowych realizację tego typu ruchów zapewniają silniki elektryczne o jednym stopniu swobody w połączeniu z odpowiednim układem mechanicznym. Silniki elektryczne o ruchu liniowym stanowią alternatywę dla układów napędowych powstałych z połączenia obiektów mechanicznych i elektrycznych. W niniejszej pracy przeprowadzono badania indukcyjnego silnika tubowego przy zasilaniu z sieci sztywnej i poprzez przetwornice częstotliwości. Na podstawie otrzymanych wyników wyznaczono podstawowe charakterystyki dla silnika w wybranych stanach. Zbadano również nagrzewanie silnika tubowego z wykorzystaniem kamery termowizyjnej.

Abstract: In modern production processes require precise linear movements implementation. In traditional drive systems implementation of this type of movements provide electric motors with one degree of freedom in combination with a suitable mechanical system. Electric motors linear motion an alternative for drive systems resulting from a combination of mechanical and electrical properties. In this study, research was conducted induction linear tubular motor with supply from mains supply and by frequency converters. Based on these results were determined the basic characteristics of the motor in selected states. It was also examined the tubular motor heating using a thermal imaging camera.



Rys. 2. Indukcyjny silnik tubowy skonstruowany w Zakładzie Maszyn Elektrycznych Politechniki Warszawskiej

[Zakład Maszyn Elektrycznych Politechniki Warszawskiej]



Rys. 3. Obraz termograficzny liniowego silnika tubowego [opracowanie własne]

tubowego przy użyciu kamery termowizyjnej Fluke Ti105. Obraz z kamery termograficznej został przedstawiony na rys. 3. Wartość temperatury bieznika przyjmuje największe wartości w jego dolnej części. Tłumaczyć to należy działaniem siły grawitacji, która dociska bieznik do powierzchni łożyska ślizgowego. Ze względu na niewielki strumień rozproszenie temperatura oraz wykorzystanie żeber chłodzących w konstrukcji silnika tubowego, temperatura jarzma podczas pracy silnika nie przekracza wartości 35°C.

Tabela 1. Wyniki badań prędkości i przyspieszenia silnika liniowo-obrotowego w stanie jałowym przy stałej częstotliwości i zasilaniu wyłącznie uzwojenia ruchu liniowego

Napięcia silnika [V]	Siła [N]
20	8
40	8
50	20
60	24
70	38
80	48
90	58
100	77
120	130
140	160
160	200
180	250
200	310
210	320



Rys. 4. Czujnik siły zamontowany na stanowisku pomiarowym liniowego silnika tubowego [opracowanie własne]

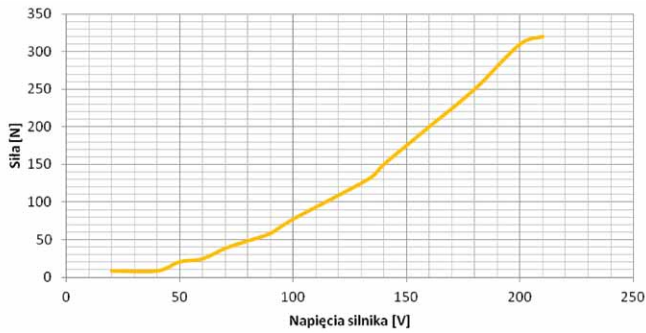
W celu wyznaczenia zależności siły od napięcia przy zasilaniu z sieci sztywnej silnik tubowy został zasilony poprzez regulator indukcyjny. Wartość siły rejestrowana była przez tensometryczny czujnik siły MEGATRON KTB52 (rys. 4) połączony z układem wzmacniacza z wyjściem analogowym napięciowym 1–10 V. Napięcie zostało odczytane na cyfrowym multimetrze i przeliczone na wartość siły. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1.

Ze względu na intensywne grzanie się silnika pomiary ograniczono do wartości napięcia 210 V.

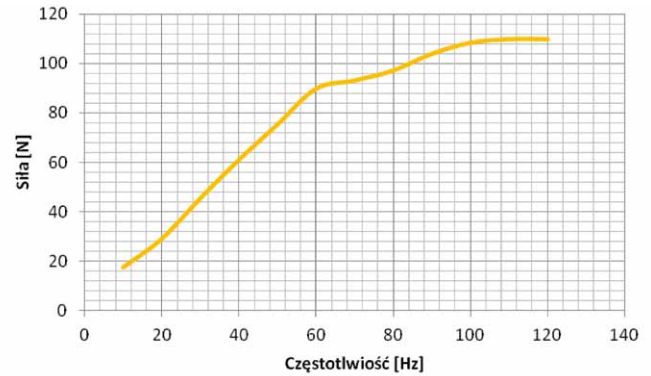
W dalszej części pracy indukcyjny silnik tubowy zasilono z przetwornicy częstotliwości Danfoss VLT FC 301. Wartości wielkości takich, jak napięcie, prąd i częstotliwość zasilania,

Tabela 2. Wyniki badań prędkości i przyspieszenia silnika liniowo-obrotowego w stanie jałowym przy stałej częstotliwości i zasilaniu wyłącznie uzwojenia ruchu liniowego

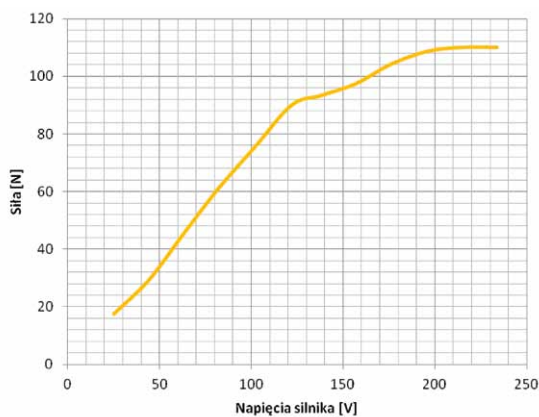
Napięcie silnika [V]	Prąd silnia [A]	F [Hz]	Siła [N]
25	3,3	10	17,6
43,9	4,16	20	29,2
63,3	5,13	30	45,6
82,2	6,22	40	61,2
102	7,35	50	75,5
122	8,3	60	90
138	8,72	70	93,3
157	9,22	80	97,4
176	9,9	90	104,1
196	10,4	100	108,6
215	10,8	110	110
234	11	120	110



Rys. 5. Siła w zależności od napięcia silnika przy stałej częstotliwości
 $f = \text{const}$ [opracowanie własne]



Rys. 7. Zależność siły od częstotliwości zasilania [opracowanie własne]



Rys. 6. Zależność siły od napięcia silnika przy zmiennej częstotliwości [opracowanie własne]

rejestrowane były poprzez falownik. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 2.

Powyżej częstotliwości 100 Hz wartość siły pozostaje niezmienna. Tłumaczyć to można nasyceniem się obwodu magnetycznego silnika.

Badania wykazały, że indukcyjny silnik tubowy bez przeszkód może współpracować z ogólnie dostępnymi na rynku przetwornicami częstotliwości, które poszerzają możliwości sterowania i kontroli silnika. Dalsze badania zostały ukierunkowane na dobranie najoptymalniejszej metody sterowania falownikiem zasilającym silnik tubowy.

Literatura

- [1] KAMIŃSKI G., BIERNAT A., HERBST A.: *Pomiar przyspieszenia w badaniach silników liniowych*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne” 88/2010, s. 69–73.
- [2] KAMIŃSKI G.: *Silniki elektryczne o ruchu złożonym*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1994.
- [3] MENDRELA E., FLESZAR J., GIERCZAK E.: *Modeling of Induction Motors with One and Two Degrees of Mechanical Freedom*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht 2003.

prof. dr inż. Grzegorz Kamiński, mgr inż. Karol Bielecki

artykuł recenzowany