
WYBRANE PROBLEMY INŻYNIERSKIE

NUMER 2

INSTYTUT AUTOMATYZACJI PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH
I ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW WYTWARZANIA

Marcin SZCZYGIEŁ*

Katedra Mechatroniki, Wydział Elektryczny, Politechnika Śląska, Gliwice
*marcin.szczygiel@polsl.pl

SILNIK INDUKCYJNY O DWÓCH STOPNIACH SWOBODY RUCHU

Streszczenie: Referat jest poświęcony 3-fazowemu silnikowi indukcyjnemu o dwóch stopniach swobody ruchu. Obiektem zainteresowania autora jest silnik liniowo – obrotowy o niekonwencjonalnym rozwiązaniu konstrukcyjnym, wynikającym z przyjęcia nietypowych założeń konstrukcyjnych. Tym głównym przyjętym założeniem jest jak najszersze wykorzystanie gotowych elementów 3-fazowego silnika indukcyjnego produkowanego seryjnie, a w szczególności – gotowego: spakietowanego i uzwojonego stojana. Przyjęte założenie upraszcza w znaczący sposób technologię wykonania silnika i obniża koszty jego wytworzenia. Według rozeznania autora taki silnik, powstały na bazie 3-fazowego silnika indukcyjnego produkowanego seryjnie, nie był dotychczas w literaturze rozważany [1].

1. Wstęp

Silniki o dwóch stopniach swobody ruchu: obrotowym oraz liniowym, dają możliwość bezpośredniej realizacji (w stanie ustalonym) ruchu spiralnego bez potrzeby stosowania złożonych mechanicznych układów przeniesienia siły i momentu. Oczywiście, oprócz trajektorii spiralnej, możliwa jest realizacja innych trajektorii, w obrębie przestrzeni, będącej powierzchnią walca. Przy zasilaniu tylko jednego z modułów silnika – tylko modułu R lub tylko modułu L – silnik może pracować odpowiednio w trybie silnika obrotowego lub też w trybie silnika liniowego. Tym samym w jednym napędzie są zintegrowane dwa napędy o różnym charakterze [2-9].

W układach napędowych wiertarek, obrabiarek lub urządzeń do mieszania element napędzany wykonuje ruch złożony (obrotowo – liniowy). Tradycyjnie stosuje się w tych urządzeniach silniki o jednym stopniu swobody (obrotowe lub liniowe) współpracujące z przekładnią mechaniczną. Alternatywnym rozwiązaniem może być w tym przypadku silnik bez przekładni, realizujący dwa stopnie swobody ruchu.

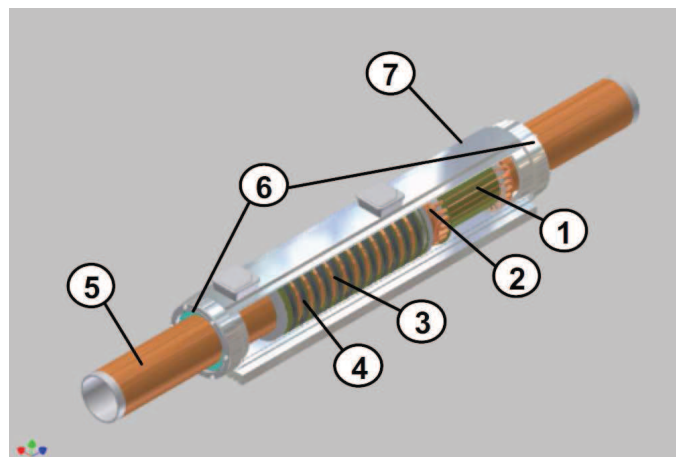
Ze względu na nietypową budowę silników indukcyjnych liniowo – obrotowych i konieczność zastosowania niestandardowych technologii wytwarzanie ich jest kosztowne. Autor podczas opracowywania prototypu skupił się na określeniu możliwości zbudowania silnika indukcyjnego liniowo – obrotowego na bazie standardowego silnika 3-fazowego klatkowego i potwierdzeniu celowości takiego postępowania, które wynika ze znacznie mniejszych kosztów produkcji silnika indukcyjnego o dwóch stopniach swobody, jak też ze znacznego uproszczenia procesu technologicznego wykonania nietypowego napędu.

2. Obiekt badań

Silnik indukcyjny o dwóch stopniach swobody przedstawiony na rysunku 1, jest konstrukcją o dwóch oddzielnych stojanach, umieszczonych w jednej obudowie (o wspólnym korpusie). Moduł realizujący ruch liniowy silnika liniowo – obrotowego jest nazywany modułem L (ang. Linear module), natomiast moduł realizujący ruch obrotowy silnika liniowo – obrotowego jest nazywany modułem R (ang. Rotary module).

Dwa oddzielne stojany silnika liniowo – obrotowego współpracują ze wspólną częścią wtórną – wirnikiem tubowym (rura ferromagnetyczna z naniesioną przewodzącą warstwą miedzi). W stanie ustalonym moduł L wytwarza pole wędrujące osiowe, a moduł R wytwarza pole wirujące kołowe. Moduł L stanowi stojan taki, jaki jest stosowany w silnikach liniowych tubowych, natomiast moduł R posiada konstrukcję taką, jaka jest stosowana w silnikach obrotowych klatkowych.

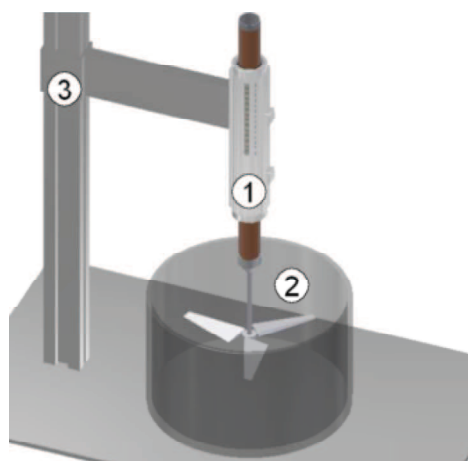
Silniki liniowo – obrotowe mogą znaleźć różnorodne zastosowanie np. jako napędy do urządzeń wykorzystywanych w procesach technologicznych mieszania, mielenia, wiercenia (jako napędy mieszalników, młynków i wiertarek), czy też – jako napędy par kinematycznych IV klasy (przegub rotacyjno – pryzmatyczny) w manipulatorach robotów.



Rys.1. Konstrukcja silnika liniowo – obrotowego o dwóch stojanach: 1 – jarzmo stojana modułu R, 2 – uzwojenie modułu R, 3 – jarzmo stojana modułu L, 4 – uzwojenie modułu L, 5 – wirnik tubowy z litą, miedzianą warstwą przewodzącą, 6 – zespoły łożyskowe ślizgowo – toczne, 7 – korpus silnika

Fig.1. Construction of linear – rotary induction motor: 1 – yoke of stator of rotary module, 2 – winding of rotary module, 3 – yoke of stator of linear module, 4 – winding of linear module, 5 – tubular rotor with conducting copper layer, 6 – bearings system, 7 – casing

Przykładową aplikację silnika liniowo – obrotowego, w której moduł obrotowy jest napędem głównym, a moduł liniowy pozycjonuje końcówkę roboczą względem kadzi mieszalnika, przedstawiono na rysunku 2.



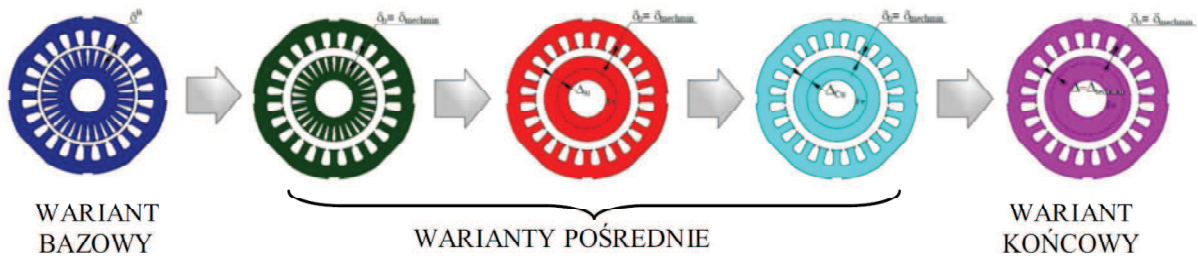
Rys.2. Przykładowa aplikacja silnika liniowo – obrotowego w urządzeniu do mieszania: 1 – silnik liniowo – obrotowy, 2 – mieszadło, 3 – mocowanie silnika

Fig.2. Exemplary application of linear – rotary induction motor in devices for milling: 1 – linear – rotary induction motor, 2 – stirrer, 3 – motor mounting

3. Algorytm projektowania

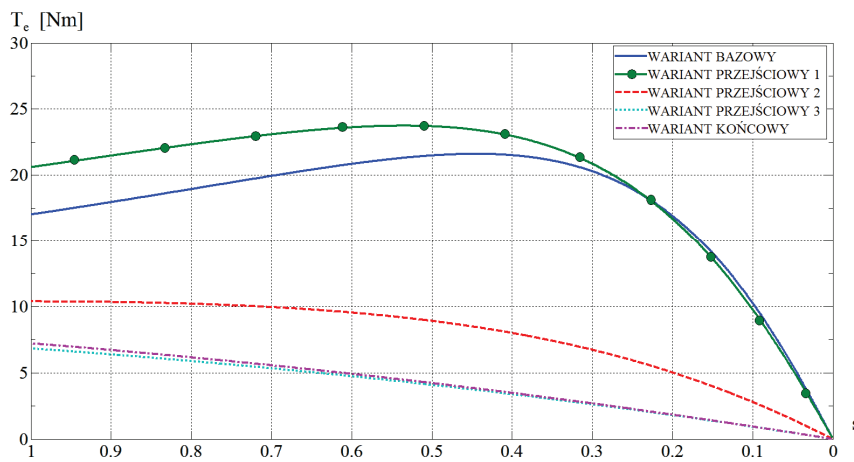
W projekcie silnika liniowo – obrotowego za moduł podstawowy (roboczy) przyjęto moduł R (powstały na bazie 3-fazowego silnika indukcyjnego ShR 90X-8M, produkowanego seryjnie przez Fabrykę Silników Elektrycznych BESEL w Brzegu), który napędza końcówkę roboczą (narzędzie), zaś moduł L (powstały przy wykorzystaniu adaptowanych elementów silnika indukcyjnego ShR 90X-8M) – za moduł dodatkowy (element wykonawczy o ruchu postępowym – aktuator liniowy), służący przede wszystkim do pozycjonowania końcówki roboczej (narzędzia) w przestrzeni roboczej np. względem kadzi, w której wykonywany jest proces mielenia lub mieszania – rysunek 2. Głównym założeniem przyjętym w algorytmie projektowania 3-fazowego silnika indukcyjnego liniowo – obrotowego, jest wykorzystanie maksymalnej liczby gotowych elementów 3-fazowego silnika indukcyjnego klatkowego, produkowanego seryjnie. Konstrukcja nowego, oryginalnego przetwornika na podstawie istniejącego rozwiązania konstrukcyjnego silnika indukcyjnego klatkowego nie wymaga projektowania obwodu magnetycznego stojana oraz uzwojeń stojana dla modułu R. Konieczne jest zaprojektowanie wirnika tubowego oraz dobór obwodu magnetycznego stojana i uzwojeń stojana dla modułu L.

Opracowany „Algorytm projektowania silnika liniowo – obrotowego wykonanego na bazie 3-fazowego silnika indukcyjnego” wykorzystuje metodę „Transformacji struktury” [1]. Metoda „Transformacji struktury” polega na wprowadzeniu kolejnych zmian obwodu elektromagnetycznego 3-fazowego silnika indukcyjnego bazowego, w wyniku których następuje przekształcenie struktury silnika bazowego z wirnikiem o żłobkach kropłowych, zalanych aluminium – do modułu R silnika indukcyjnego liniowo – obrotowego o wirniku tubowym z litą warstwą przewodzącą miedzianą (Rys. 3). Specyfika metody pozwala na śledzenie w trakcie transformacji struktury zmian charakterystyk: mechanicznej $T_e = f(s)$ i prądu stojana $I_s = f(s)$ w funkcji poślizgu (przy przyjętych założeniach upraszczających).



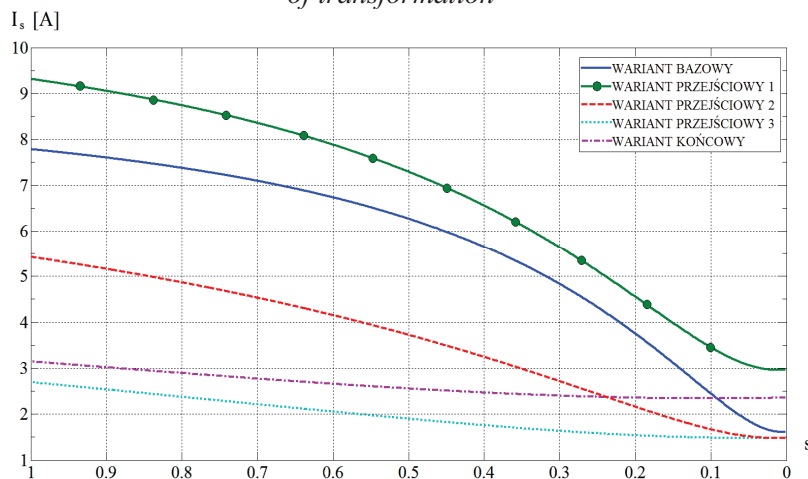
Rys.3. Idea „Transformacji struktury” silnika klatkowego (bazowego) do postaci modułu R silnika liniowo – obrotowego

Fig.3. Idea of „Transformation of structure” induction cage motor to rotary module of linear – rotary induction motor



Rys.4. „Transformacja struktury” – charakterystyki prądu stojana $I_s = f(s)$ dla poszczególnych wariantów transformacji

Fig.4. „Transformation of structure” – stator current versus slip curve $I_s = f(s)$ for adequately stages of transformation



Rys. 5. „Transformacja struktury” – charakterystyki mechaniczne $T_e = f(s)$ dla poszczególnych wariantów transformacji

Fig.5. „Transformation of structure” – electromagnetic torque versus slip curve $I_s = f(s)$ for adequately stages of transformation

4. Właściwości eksploatacyjne silnika

Właściwości eksploatacyjne zaprojektowanego silnika liniowo – obrotowego w ruchu obrotowym można zebrać i przedstawić w następujących punktach:

- Istnieje możliwość pracy ciągłej w całym zakresie prędkości od prędkości synchronicznej $n = n_s$ do $n = 0$ (właściwość pożądana w procesach technologicznych mieszania, mielenia i wiercenia),
- W stanie zwarcia silnika ($n = 0$) nie występuje niebezpieczeństwo uszkodzenia silnika $I_{\text{start}}^R = I_{\text{max}}^R$, albowiem prąd pobierany przez silnik w stanie zwarcia jest równy prądowi dopuszczalnemu,
- Moment rozruchowy silnika jest równy momentowi maksymalnemu (w zakresie pracy silnikowej) $T_{\text{start}}^R = T_{\text{max}}^R = 6 \text{ Nm}$,
- Istnieje możliwość przeprowadzenia bezpośredniego rozruchu przy dowolnym momencie obciążenia w zakresie od $T_m^R = 0$ do $T_m^R = T_{\text{max}}^R$,

Ze względu na wyżej wymienione cechy, zaprojektowany silnik liniowo – obrotowy jest predysponowany do wykorzystania jako napęd w procesach technologicznych mieszania, mielenia, wiercenia itp., które powszechnie występują w przemyśle spożywczym, chemicznym, farmaceutycznym oraz wydobywczym.

5. Podsumowanie

Ze względu na to, że silniki liniowo – obrotowe należą do kategorii napędów specjalnych (niekonwencjonalnych), będą najczęściej projektowane i konstruowane na potrzeby konkretnych procesów technologicznych (do zastosowania w konkretnych urządzeniach) dla realizacji ściśle zdefiniowanych zadań napędowych, wymagających specjalnych i często zróżnicowanych właściwości eksploatacyjnych. Te wymagania odnoszące się do napędu o ruchu liniowym i obrotowym muszą być zawsze jasno i ściśle zdefiniowane w założeniach projektowych. W przedstawionym, w artykule silniku liniowo – obrotowym za moduł podstawowy (roboczy) przyjmuje się moduł R (powstały na bazie 3-fazowego silnika indukcyjnego ShR 90X–8M, produkowanego seryjnie), który napędza końcówkę roboczą (narzędzie), zaś moduł L (powstały przy wykorzystaniu adaptowanych elementów silnika indukcyjnego ShR 90X–8M) – za moduł dodatkowy (element wykonawczy o ruchu postępowym – aktuator liniowy), służący przede wszystkim do pozycjonowania końcówki roboczej. Stąd też w artykule uwagę poświęcono głównie modułowi obrotowemu.

Opracowany „Algorytm projektowania silnika liniowo – obrotowego na bazie silnika produkowanego seryjnie” ograniczono do części umożliwiającej opracowanie konstrukcji silnika liniowo – obrotowego dla wybranej aplikacji silnika przy mniejszych kosztach produkcji wynikających z uproszczenia procesu technologicznego wykonania nietypowego napędu.

Literatura

1. Szczygieł M.: Modelowanie silnika indukcyjnego o dwóch stopniach swobody ruchu oraz badanie jego właściwości eksploatacyjnych przy wykorzystaniu magnetoreologicznego hamulca obrotowo – liniowego, Rozprawa doktorska, Gliwice 2011.
2. Fleszar J., Mendrela E.A.: Twin-armature rotary-linear induction motor, IEE Proceedings, Vol. 130, Pt. B, No. 3, May 1983.
3. Gieras J.F.: Silniki indukcyjne liniowe, WNT, Warszawa 1990.
4. Kamiński G.: Silniki elektryczne o ruchu złożonym, WPW, Warszawa 1994.
5. Kamiński G., Przyborowski W.: Uzwojenia i parametry maszyn elektrycznych, WPW, Warszawa 1996.
6. Kamiński G.: Silniki elektryczne z toczącymi się wirnikami, WPW, Warszawa 2003.
7. Mendrela E. A., Gierczak E.: Double-Winding Rotary-Linear Induction Motor, IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol. EC-2, No. 1, 1987.
8. Mendrela E. A., Fleszar J.: Equivalent circuit of induction motors with two degrees of mechanical freedom. Acta Technica ČSAV 1985, No. 6.
9. Mendrela E., Fleszar J., Gierczak E.: Modeling of induction motors with one and two degrees of mechanical freedom. Kluwer Academic Publishers, Boston 2003.

INDUCTION MOTOR WITH TWO DEGREES OF FREEDOM IN MOTION

Summary: The paper is devoted to 3-phase induction motor with two degrees of freedom. The main object of the author's interest is a linear – rotary induction motor an unconventional design solution, resulting from the adoption of unusual design assumptions. The implicit assumption that the principal is the most extensive use of manufactured 3-phase induction, in particular – finished and complete stator. Assumption significantly simplifies the technology of the engine and reduces the cost of producing it. According to the author's discernment of such an motor, based upon the 3-phase induction motor production series, was not previously considered in the literature [1].