

doi:10.15199/48.2017.02.17

Wyniki badania momentów statycznych silnika reluktancyjnego ze wspólnym obwodem magnetycznym

Streszczenie. W niniejszym artykule przedstawione zostały wyniki badania momentów statycznych modelu fizycznego silnika reluktancyjnego o ruchu złożonym ze wspólnym obwodem magnetycznym. Celem badań było wskazanie stopnia oddziaływania wspólnego obwodu na osiągi silnika.

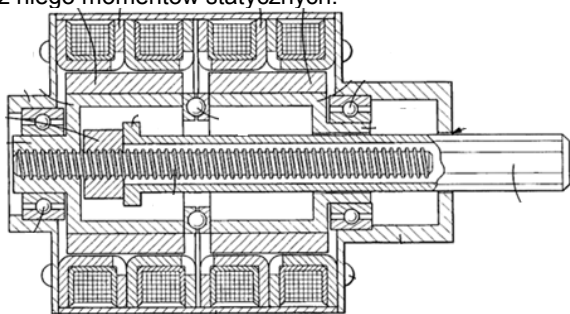
Abstract. In this article the results of static torque measurements of the physical model of common magnetic circuit reluctance motor are presented. The aim of the study was to determine the degree of the impact of common circuit on the motor performance. (The results of common circuit reluctance motor static torques measurements).

Słowa kluczowe: elektrotechnika, maszyny elektryczne, silnik reluktancyjny, wspólny obwód magnetyczny.

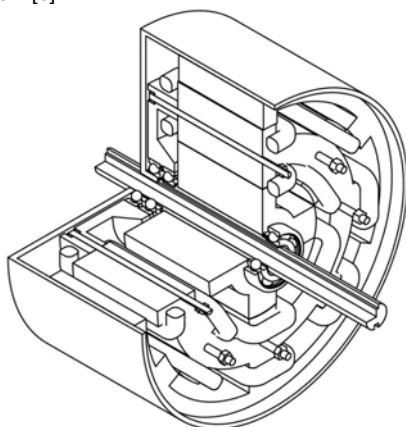
Keywords: electrical engineering, electrical machines, reluctance motor, common magnetic circuit.

Wstęp

Istnieją dwa sposoby realizacji ruchu liniowo-obrotowego. Pierwszym z nich jest połączenie silnika liniowego tubowego z silnikiem o ruchu obrotowym. Drugim natomiast jest wykorzystanie mechanizmu liniowo-obrotowego. Opisywany przypadek dotyczy silnika będącego napędem mechanizmu liniowo-obrotowego. W dotychczasowych rozwiązaniach były to ustawione w szeregu dwa wzbudniki, (rysunek 1). W proponowanej konstrukcji napędem jest silnik ze wspólnym obwodem magnetycznym. Składa się z wirnika wewnętrznego i wirnika zewnętrznego. Pomiędzy wirnikami znajduje stojan. W jego konstrukcji można wyróżnić część wewnętrzną i zewnętrzną z uzwojenymi zębami. (rysunek 2, 3 i 4). Na podstawie wniosków z wykonanych wcześniejszych badań, które opisano w [1,2,3,4,5] został wykonany model fizyczny silnika (rysunek 4). W dalszej części zostały przedstawione wyniki badania rozwijanych przez niego momentów statycznych.



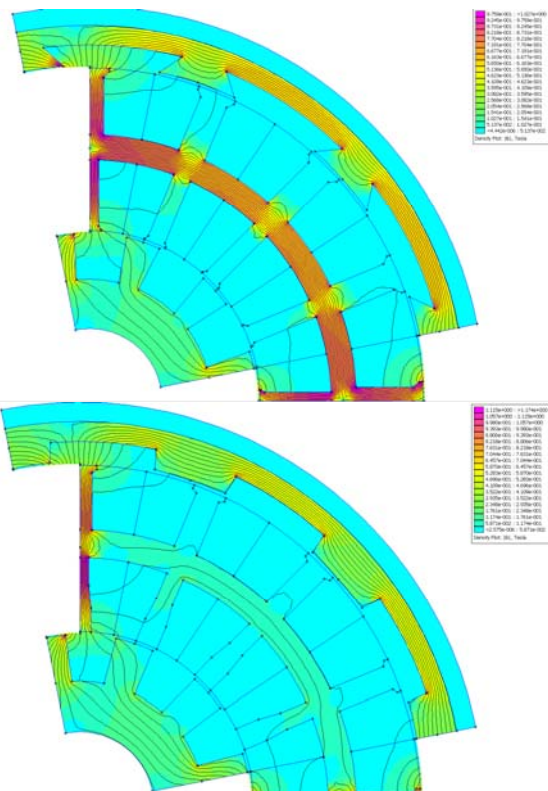
Rys. 1. Silnik liniowo-obrotowy z dwoma wzbudnikami, zaczerpnięty z [6]



Rys. 2. Silnik liniowo-obrotowy ze wspólnym obwodem magnetycznym, ilustracja własna

Budowa silnika

Badany silnik został wykonany według podstawowej koncepcji silnika reluktancyjnego. Posiada 16 zębów na stojanie i 12 zębów na wirniku. Wykorzystano podwojony układ 8x6, co jest odpowiednikiem dwóch par biegunów. Głównym powodem zastosowania tego rozwiązania była chęć uzyskania lepszej proporcji wysokości zęba stojana do jego szerokości, w porównaniu do wersji z jedną parą biegunów. W wyniku tego zabiegu skróceniu uległ skok podstawowy silnika z 15° do $7,5^{\circ}$. Bieguny są zorganizowane w cztery pasma fazowe po 4 cewki w każdym pasmie.



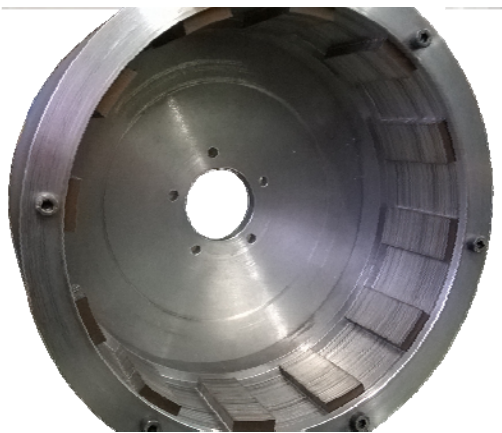
Rys. 3. Strumień magnetyczny w jarzmie silnika w zależności od biegunowości wymuszenia

Silnik ma wspólne jarzmo stojana. W nim będą drogi strumieni Ψ poszczególnych pasm fazowych. W zależności od biegunowości wymuszeń, wypadkowy strumień płynący przez jarzmo stojana, może być sumą, albo różnicą strumieni wzbudzanych przez uzwojenie. W związku z tym ich wartość może się różnić, co przedstawia rysunek 3.

Przyjęto następujące oznaczenia pasm fazowych, dla części wewnętrznej **a, b, c, d**, a dla części zewnętrznej **A, B, C, D**.



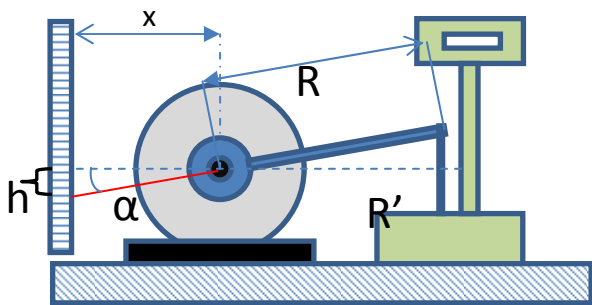
Rys. 4. Widok na uzwojony stojan z wirnikiem wewnętrznym i wałem



Rys. 5. Widok na wirnik zewnętrzny

Przebieg badania

Celem badania było potwierdzenie wpływu wspólnego obwodu magnetycznego na statyczne momenty obrotowe. Pomiarzy zostały wykonane prostą metodą techniczną. Polegała ona na pomiarze siły wywieranej na wagę w zależności kąta obrotu badanego wirnika. Szczegóły zamieszczono na rysunku 5.



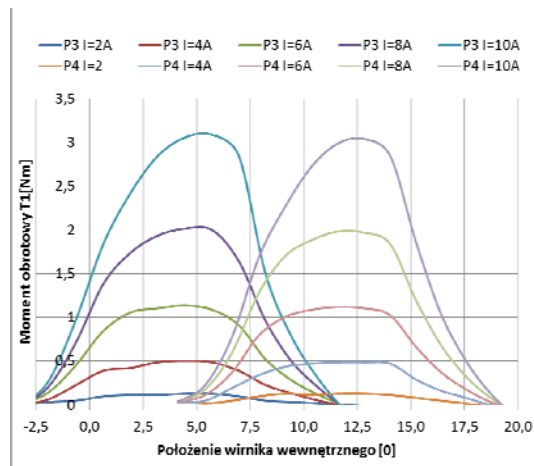
Rys. 5. Schemat pomiarowy układu do pomiaru momentu obrotowego

- (1) $T = mgR'$
- (2) $R' = R \cos(\alpha)$
- (3) $\alpha = h/x$

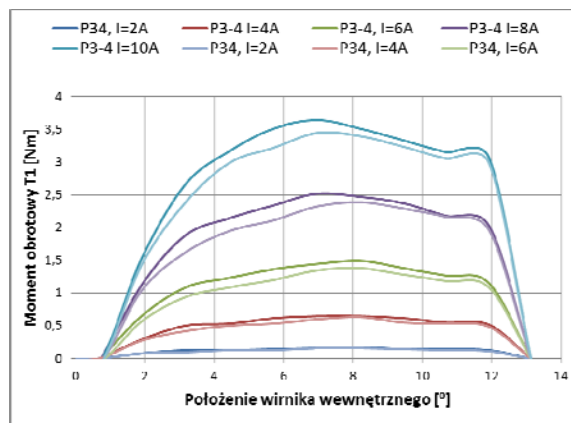
W zależności od konfiguracji zasilania pasm fazowych istnieją cztery możliwe niepowtarzalne przypadki dla każdego z wirników, aA, aB, aC, aD oraz Aa, Ab, Ac, Ad.

Badanie wirnika wewnętrznego

Badanie wirnika rozpoczęto od pomiaru momentu w dwóch pasmach fazowych, dla różnych wartości prądu. Wartości prądu odpowiadają gęstości prądu od 2,1 do 10,5 A/mm². Wyniki zostały zaprezentowane na rysunku 6. Można na nim zauważyć wartości minimalne momentu obrotowego w miejscu przecinania się charakterystyk z pasma pierwszego i pasma drugiego. Znamionym jest fakt, że im większa wartość prądu zasilania pasma, tym większa różnica pomiędzy wielkością maksymalną, a wartością minimalną.



Rys. 6. Wyniki pomiaru momentów statycznych pasm a i b dla różnej wartości wymuszenia prądowego



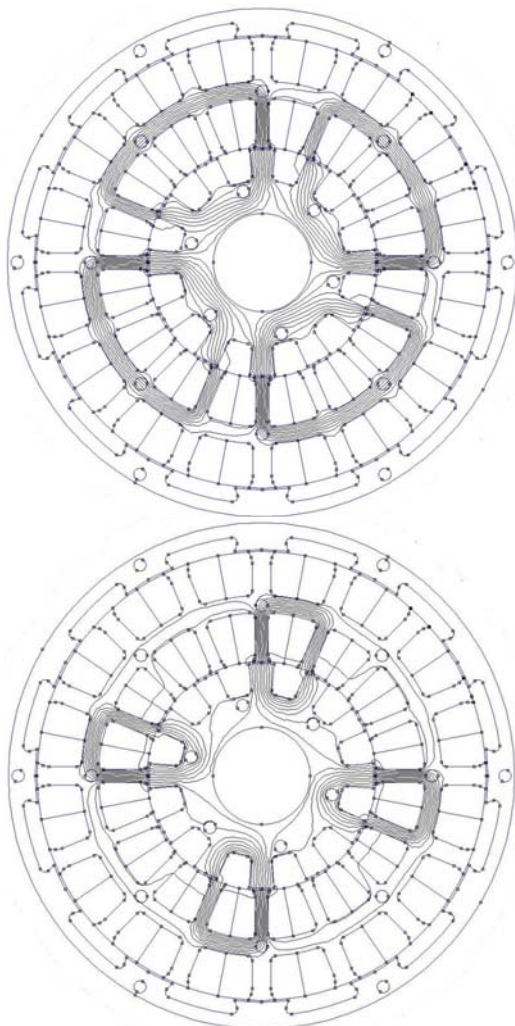
Rys. 7. Wyniki pomiaru momentów statycznych przy wspólnej pracy pasm a i b, dla różnej wartości wymuszenia prądowego i różnej biegunowości

W czasie pomiarów zbadano również, charakterystyki momentu obrotowego, podczas jednoczesnej pracy dwóch pasm fazowych z uwzględnieniem ich wzajemnej biegunowości. Wspólna praca pasm fazowych poszerza zakres wysokiego momentu obrotowego (rys. 7). Bardzo istotną kwestią jest biegunowość między aktywnym pasmami. Mimo, że według teorii maszyn reluktancyjnych, biegunowość prądu w cewce nie ma wpływu na moment obrotowy pojedynczego pasma, to przy pracy wielopasmowej ma już znaczenie. W sytuacji, gdy jest ona zgodna, przepływy θ również mają zgodny zwrot. Powoduje, to, że jarzmem stojana oraz jarzmem wirnika na odcinku od pasma **b** do pasma **-a** płynie zsumowany strumień. Muszą być zatem tak dobrane wymiary jarzma, by spadek napięcia magnetycznego był możliwie mały. Jest to warunek o charakterze sprzecznym z innym bardzo ważnym warunkiem, szczególnie w opisywanej konstrukcji, tj. z miejscem na przeznaczonym na uzwojenie. W sytuacji, gdy biegunowość jest przeciwna, część strumienia

z pasma **a** przemieszcza się do pasma **b**. Dzięki temu (w zależności od położenia), główny strumień nie płynie przez całą długość jarzma, a jedynie od bieguna **a** do **b**. Efekt tego rozwiązania, w postaci wyższego momentu obrotowego, jest widoczny na rysunku 7. Różnice są tym większe im większe natężenie prądu w cewkach, czyli im bardziej nasycony rdzeń. Ponadto im krótsza droga przepływu strumienia, tym mniejsze rozproszenie strumienia wzdłuż całego obwodu.

Biegunowość pasm w pracy dwupasmowej powoduje występowanie zjawiska przemagnesowania rdzenia. W przypadku pracy w stanie nasycenia rdzenia istnieje ryzyko utyku silnika.

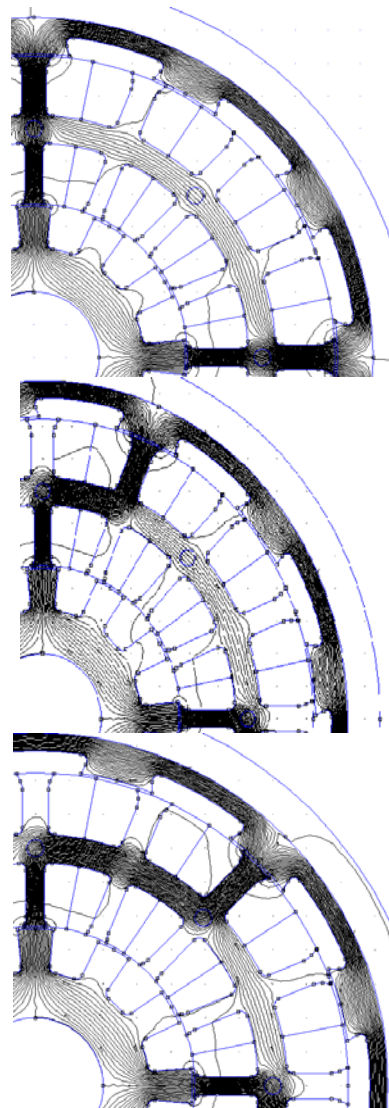
Ilustrację wyjaśniającą ten przypadek jest zamieszczona na rysunku 8.



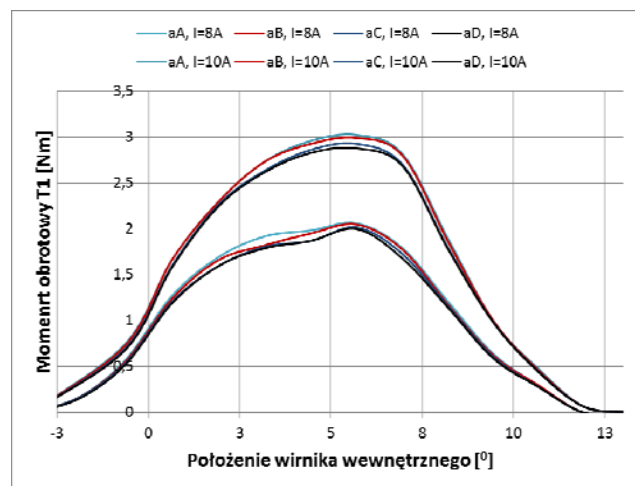
Rys. 8. Rozpływ strumienia magnetycznego dla różnych biegunowości pasm fazowych, na górze biegunowość zgodna, na dole biegunowość przeciwna

Trzecim badanym przypadkiem, był wpływ oddziaływania silnika zewnętrznego na silnik wewnętrzny. Wirnik zewnętrzny znajdował się w położeniu współosiowym dla załączonego pasma, wirnik wewnętrzny był obracany. Badano konfiguracje **aA**, **aB**, **aC**, **aD**. Biegunowość pasm jest tak dobrana, że dla ustawienia **aA** główny strumień przebiega od bieguna **a** do **A** później przez jarzmo wirnika zewnętrznego do bieguna **-A**, dalej do **a**, a później przez jarzmo wirnika wewnętrznego do bieguna **a**. W drugim ustawieniu **aB**. Strumień wypływa z bieguna **a** dalej wpływa do jarzma przepływa jedną podziałką biegunowa do bieguna **B**. Następnie poprzez szczelinę powietrzną dociera do wirnika zewnętrznego i jarzmem podąża do bieguna **-B**.

W dalszej części wpływa do jarzma i cofa się przez jedną podziałkę do bieguna **-a** i przez wirnik wewnętrzny wraca do bieguna **a**. W każdym kolejnym przypadku wydłużał się fragment jarzma stojana, jakim przepływa strumień. Ilustrację tego zjawiska zamieszczono na rysunku 9, a jego wpływ na moment obrotowych na rysunku 10.



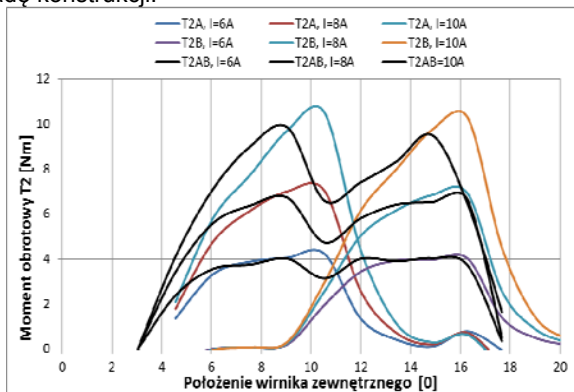
Rys. 9. Rozpływ strumienia magnetycznego w zależności od biegunowości i położenia aktywnych pasm fazowych



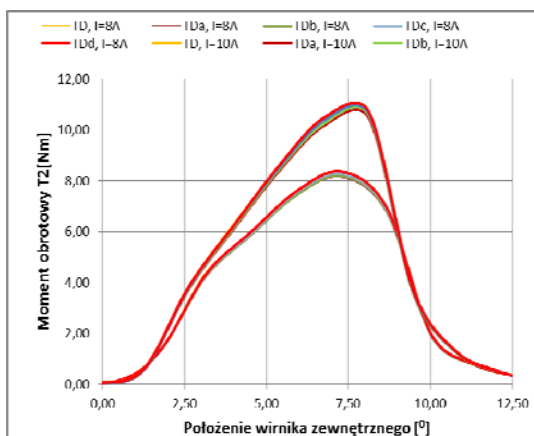
Rys. 10. Przebiegi momentów obrotowych w zależności od konfiguracji aktywnych pasm dla wymuszenia 8A i 10A

Badanie wirniki zewnętrznej

W zbliżony sposób zbadane zostały osiągi silnika zewnętrznego. Na rysunku 11. można zaobserwować przebiegi momentów dwóch następujących po sobie pasm fazowych oraz podczas ich pracy równoległej. Znamienną jest dysproporcja wartości momentów pomiędzy wirnikiem wewnętrznym i zewnętrznym. Kolejną istotną obserwacją są różnice pomiędzy wartościami minimalnymi i maksymalnymi w miejscach przełączeń pasm. Świadczy to wysokim współczynnikiem tętnienia i jednocześnie wykazuje wadę konstrukcji.



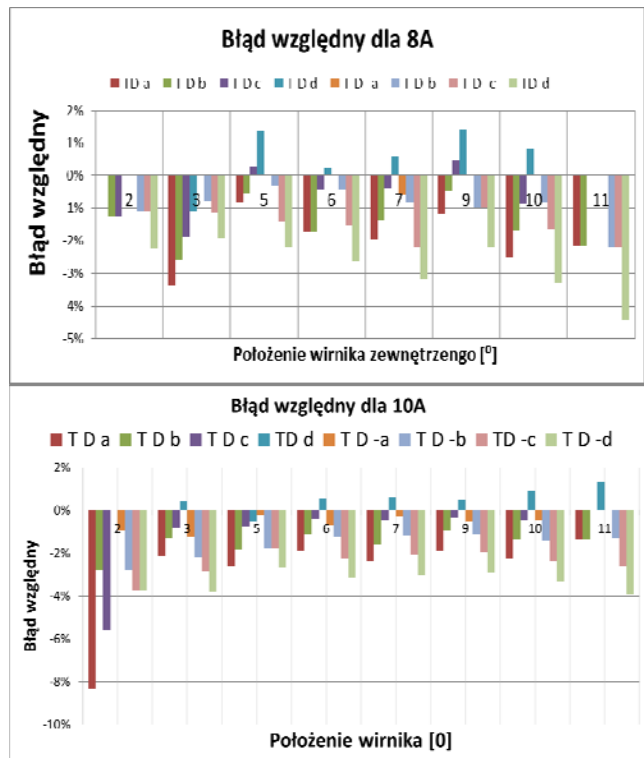
Rys. 11. Przebiegi statycznych momentów obrotowych przy pracy pojedynczych pasm i wspólnej



Rys. 12. Przebiegi statycznego momentu obrotowego wirnika zewnętrznego, przy pracy pojedynczych pasm fazowych w różnych konfiguracjach

W dalszej części zbadany został wpływ wspólnego obwodu magnetycznego na moment statyczny wirnika zewnętrznego. Badane były następujące konfiguracje zasilonych pasm **Da**, **Db**, **Dc**, **Dd**, **D-a**, **D-b**, **D-c**, **D-d**. Charakterystyki zamieszczono na rysunku 10. Uzyskane wyniki były odnoszone do wartości podczas pracy wirnika zasilanym jedynie pasmem **D** i wyznaczone zostały błędy względne. Obliczenia wykonano dla wartości prądów 8A i 10A. Wartości błędów zostały przedstawione na rysunkach 12 i 13. Na ich podstawie można zauważyć analogiczne zachowanie momentu. Można zauważyć, że im mniejsza odległość pomiędzy pasmami, tym mniejszy błąd względny. W niektórych przypadkach tj. dla konfiguracji **Dd**, ale również **Aa**, **Bb** itd. można uzyskać dodatnią wartość błędu względnego. Jest to efektem uzyskania większego momentu obrotowego ze względu na ograniczenie przepływu strumienia przez wspólne jarzmo.

Na podstawie rysunku 13 można zaobserwować, że maksymalny uzyskany błąd względny dla maksymalnej przewidzianej wartości prądu nie przekracza 8%.



Rys. 13. Błąd względy wyznaczone od wartości odniesienia

Podsumowanie

W wyniku badań potwierdzono wpływ wspólnego obwodu magnetycznego na statyczne momenty obrotowe. Ma on związek z biegunowością zasilanych w obu częściach pasm fazowych.

Uzyskane różnice uzyskanych momentów obrotowych nie przekraczają 8%.

Ponadto wskazano mankamenty układu liczby zębów (stojana wirnik) 16x12 dla wirnika zewnętrznego. Konieczne będzie sprawdzenie układu 16x20.

Autorzy: Prof. dr hab. inż. Grzegorz Kamiński
e-mail: g.kamiński@ime.pw.edu.pl, Instytut Maszyn Elektrycznych Politechniki Warszawskiej, 00-660 Warszawa Pl. Politechniki 1
mgr.inż. Paweł Góralski, e-mail: Paweł.Goralski@orlen.pl, PKN ORLEN S.A. 09-411 Płock Chemików

LITERATURA

- [1] Kamiński G, Góralski P.: „Opis prac badawczych nad konstrukcją przetwornika położenia o ruchu złożonym o wspólnym obwodzie magnetycznym”, Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej, Nr 66, 251-260, 2012
- [2] Kamiński G, Góralski P.: Obliczenia elektromagnetyczne przetwornika o ruchu złożonym opartego na wspólnym obwodzie magnetycznym. Maszyny Elektryczne : zeszyty problemowe, Nr 3(100), cz. 1, 157-161., 2013.
- [3] Kamiński G, Góralski P.: “The electromagnetic calculations of complex motion common magnetic circuit electromagnetic converter”, ARCHIVES OF ELECTRICAL ENGINEERING Vol 63(1), 125-133, 2014.
- [4] Kamiński G, Góralski P.: „Wpływ geometrii na wielkości momentów obrotowych wytwarzanych w elektromechanicznym przetworniku położenia o ruchu złożonym opartym na strukturze radialnej, Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne, Nr 3/2014 (103), 241-245, 2014.
- [5] Kamiński G, Góralski P.: The influence of geometric dimensions on a torque value in a complex motion common magnetic circuit electromagnetic converter, Technical Transactions Electrical Engineering, 1-E/2015, 182-190, 2015
- [6] A. Palmero. Patent US6531798 B1, 2003