

Innowacyjne rozwiązania konstrukcyjne wirników maszyn z magnesami trwałymi

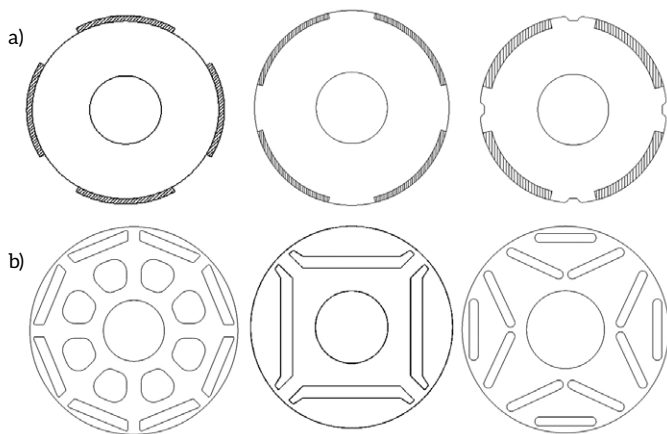
Stanisław Gawron

1. Wstęp

Wirniki maszyn elektrycznych z magnesami trwałymi są produkowane z magnesami na powierzchni jarzma wirnika (ang. SPM *Surface Permanent Magnet*) i wewnątrz jarzma wirnika (ang. IPM *Interior Permanent Magnet*). Przykładowe konstrukcje [2, 3] wirników z magnesami trwałymi zaprezentowano na rysunku 1.

W rozwiązaniu SPM moment elektromagnetyczny wytwarzany przez silnik jest przenoszony przez magnesy trwałe. W stanach dynamicznych moment ten może powodować odrywanie magnesów od powierzchni wirnika. Ponadto magnesy trwałe na powierzchni są narażone na korozję. Z tego powodu w urządzeniach mobilnych [4, 5, 6, 7, 8] częściej stosowane jest rozwiązanie wirników IPM, gdyż w tym rozwiązaniu magnesy trwałe nie przenoszą momentu obrotowego i łatwiej jest zabezpieczyć magnesy trwałe przed korozją. Jednak przy dużych gęstościach prądu w uzwojeniu wirnika uzwojenie twornika może osiągać wysoką temperaturę, np. przy izolacji H temperatura uzwojenia może wynosić 180°C. Ciepło ze stojana przenika do wirnika i naraża magnesy trwałe na rozmagnesowanie termiczne. Poza uzwojeniem ciepło wydziela się także w pakiecie blach magnetycznych, w szczególności w silnikach wielobiegunowych przy dużej częstotliwości zmiany napięcia w pasmach uzwojenia.

Standardowym rozwiązaniem jest chłodzenie silnika przy pomocy wentylatorów zabudowanych na wale silnika lub nadmuchu powietrza do silnika z wentylatora zewnętrznego. Znane jest i stosowane zabudowywanie na powierzchni



Rys. 1. Przykładowe rozwiązania konstrukcyjne wirników z magnesami na powierzchni jarzma wirnika (a) i wewnątrz jarzma wirnika (b)

Streszczenie: W artykule przedstawiono innowacyjne, opatentowane w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej, różne warianty rozwiązań konstrukcyjnych wirników maszyn z magnesami trwałymi. Zaprezentowane rozwiązania mają na celu umożliwienie równomiernego rozkładu temperatury wewnątrz maszyny, co korzystnie wpływa na pracę urządzenia oraz jego trwałość. Powierzchnia zewnętrzna wirnika może być ukształtowana w czasie obliczeń elektromagnetycznych i cieplnych silnika. W zależności od prędkości obrotowej maszyny można dobrać korzystny kształt powierzchni, liczbę bruzd i usytuowanie wzdłuż osi wirnika, bez istotnego pogorszenia permeancji obwodu magnetycznego maszyny.

Słowa kluczowe: maszyna z magnesami trwałymi, wirnik z magnesami trwałymi

🇬🇧 INNOVATIVE DESIGNS FOR ROTORS OF PM MACHINES

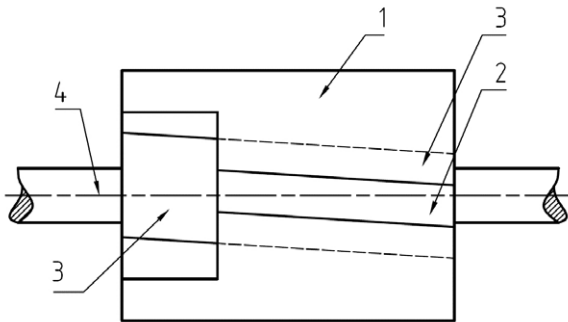
Abstract: Different design variants for rotors of permanent machines are presented in this paper. These designs have been patented by the Polish Patent Office (Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej). The aim of these designs is to attain uniform temperature distribution within the machine. Such distribution has a positive impact on machine operation and its durability. The external surface of the motor may be formed during electromagnetic and thermal calculations. Depending on rotational speed, a satisfactory shape of the surface may be selected together with number of grooves and positioning along rotor axis; this should not lead to significant deterioration in permeance of machine's magnetic circuit.

Keywords: permanent magnet synchronous machines, rotor with permanent magnets

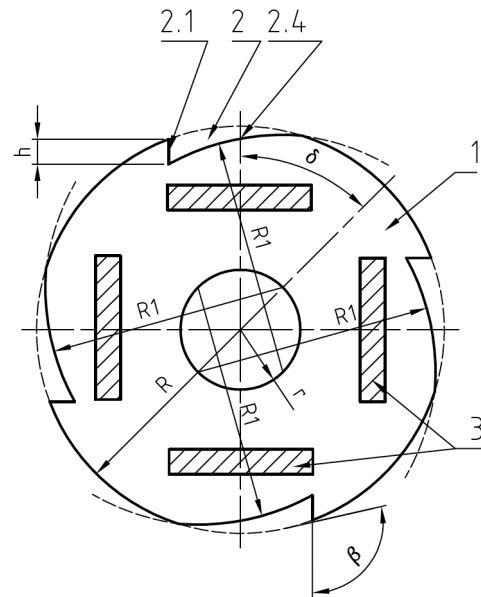
jarzma stojana rurek, w których płynie ciecz chłodząca, najczęściej woda, odprowadzająca ciepło do chłodnicy zewnętrznej. W urządzeniach mobilnych jest to system chłodzenia kłopotliwy, gdyż wymaga dodatkowo chłodnicy, pompki i wentylatora. Obydwa sposoby chłodzenia nie zapewniają przenikania ciepła, poprzez szczelinę, do wirnika.

2. Opisy rozwiązań konstrukcyjnych

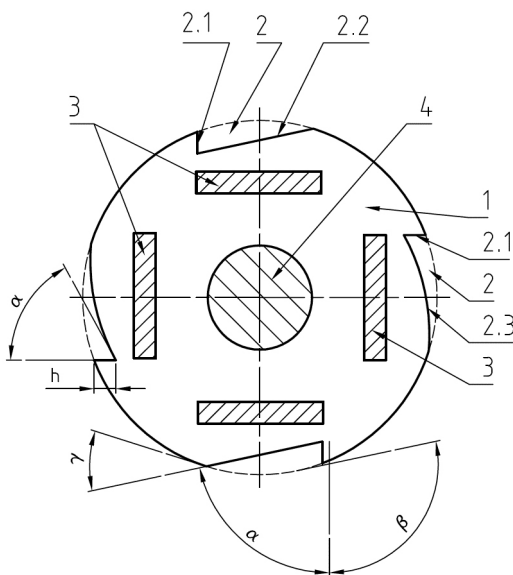
Zaproponowane rozwiązania konstrukcyjne przedstawiono na rysunkach od 2 do 6.



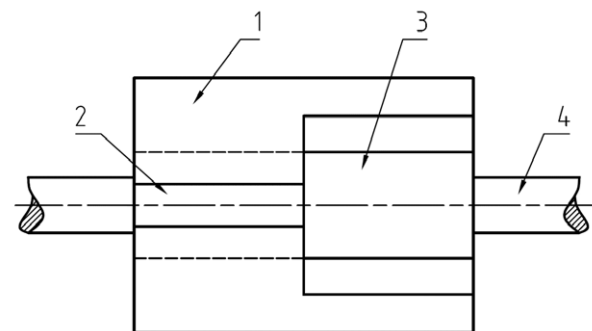
Rys. 2. Wirnik z magnesami trwałymi wewnątrz jarzma ułożonymi ze skosem wzdłuż osi wału i bruzdami z identycznym skosem



Rys. 4. Przekrój poprzeczny wirnika czterobiegunowego z bruzdami utworzonymi przez powierzchnię płaską i powierzchnię walcową



Rys. 3. Przekrój poprzeczny wirnika czterobiegunowego z bruzdami utworzonymi przez dwie powierzchnie płaskie bądź jedną powierzchnię płaską i drugą powierzchnię o kształcie ewolwenty



Rys. 5. Wirnik z magnesami trwałymi wewnątrz jarzma ułożonymi prosto wzdłuż osi wału z bruzdami prostymi wzdłuż osi wału

Wirnik maszyny elektrycznej wzbudzonej magnesami trwałymi umieszczonymi wewnątrz jarzma ma na powierzchni obwodowej jarzma (1) bruzdy (2) o głębokości h . Bruzdy (2) są zlokalizowane w strefie środkowej biegunów magnetycznych i biegną wzdłuż osi wału (4).

Bruzdy (2) mogą mieć różne kształty, w szczególności wyróżniono trzy rodzaje kształtów: pierwszy utworzony przez dwie powierzchnie płaskie (2.1 i 2.2), drugi utworzony przez jedną powierzchnię płaską (2.1) i drugą powierzchnię (2.3) o kształcie ewolwenty oraz trzeci utworzony przez powierzchnię płaską (2.1) i powierzchnię walcową (2.4).

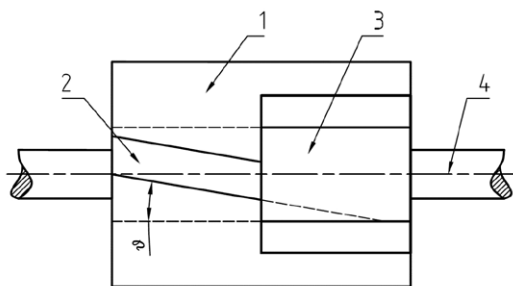
Na rysunku rys. 3 pokazano pierwszy i drugi rodzaj bruzd (2), a na rysunku rys. 4 trzeci rodzaj bruzd (2). Wzdłuż osi wału (4) bruzdy są proste bądź skośne, pokazano to na rysunkach 2, 5 i 6.

Pierwszy rodzaj bruzd (2) tworzą dwie płaskie powierzchnie (2.1 i 2.2) przecinające się pod kątem α , przy czym jedna powierzchnia bruzdy (2.1) leży na płaszczyźnie cięciwy tworzącej z płaszczyzną styczną do powierzchni jarzma (1) kąt

rozarty β , a druga powierzchnia (2.2) leży na płaszczyźnie cięciwy tworzącej z płaszczyzną styczną do powierzchni jarzma (1) kąt ostry γ , przy czym obydwie płaszczyzny styczne przechodzą przez krawędzie utworzone przez powierzchnie (2.1 i 2.2) z powierzchnią jarzma (1).

Drugi rodzaj bruzd (2) jest utworzony przez powierzchnię płaską (2.1) i powierzchnię o kształcie ewolwenty (2.3), przy czym powierzchnia bruzdy (2.1) leży na płaszczyźnie cięciwy tworzącej z płaszczyzną styczną do powierzchni jarzma (1) kąt rozarty β , a powierzchnia ewolwenty (2.3) tworzy z powierzchnią (2.1) kąt α i jest styczna przeciwległą krawędzią do powierzchni cylindrycznej jarzma.

Trzeci rodzaj bruzd (2) jest utworzony przez powierzchnię płaską (2.1) i powierzchnię walcową (2.4) o promieniu $R1$, przy czym powierzchnia (2.1) leży na płaszczyźnie cięciwy tworzącej z płaszczyzną styczną do powierzchni jarzma (1) kąt rozarty β , a powierzchnia walcowa (2.4) ma oś leżącą na krawędzi przecięcia się, współśrodkowej z jarzmem (1), walca



Rys. 6. Wirnik z magnesami trwałymi wewnątrz jarzma ułożonymi prosto wzdłuż osi wału i bruzdami ułożonymi ze skosem wzdłuż osi wału

o promieniu r z płaszczyzną, która przechodzi przez oś wirnika i tworzy z płaszczyzną symetryczną bieguna kąt δ . W wirniku z magnesami trwałymi (3) ułożonymi prosto wzdłuż osi wału (4) bruzdy (2) są proste wzdłuż osi wału (4), lecz bruzdy (2) mogą być także skośne wzdłuż osi wału, kąt skoszenia bruzd (2) względem magnesów trwałych wynosi ϑ . W wirniku z magnesami trwałymi (3) ułożonymi ze skosem wzdłuż osi wału (4) bruzdy (2) mają skos identyczny ze skosem magnesów trwałych (3). Bruzdy (2) są symetrycznie rozłożone pod biegunami na obwodzie jarzma (1), przy czym liczba biegunów podzielona przez liczbę bruzd (2) jest całkowita.

3. Możliwości zastosowań

Wirnik z bruzdami spełnia funkcje wentylatora, na założenie którego nie zawsze jest miejsce, w szczególności w maszynach z zewnętrznym wirnikiem. Korzystne są bruzdy skośne, gdyż wydmuchują gorące powietrze na zewnątrz maszyny. Wynalazek rozwiązuje problem odbierania ciepła w silnikach o dużej gęstości prądu w uzwojeniu twornika, np. większej od 10 A/mm^2 . Takie gęstości prądu występują w silnikach zabudowywanych w kołach urządzeń mobilnych [4, 5, 6, 7, 8]. Bruzdy na powierzchni wirnika pełnią funkcję wentylatora dmuchającego powietrze na powierzchnię wewnętrzną jarzma twornika, to jest od strony szczeliny powietrznej. W ten sposób chłodzony jest stojan, a ciepło ze stojana nie przechodzi do wirnika, chroniąc tym samym magnesy trwałe przed rozmagnesowaniem termicznym.

Wirnik z bruzdami na powierzchni może być stosowany także w innych maszynach elektrycznych, w których wymagane jest utrzymanie stałego i równego rozkładu temperatur poszczególnych elementów maszyny. Bruzdy mogą być wykonane zarówno na wirnikach pakietowanych z blach elektrotechnicznych, jak i litych.

4. Podsumowanie

W publikacji zaprezentowano innowacyjne rozwiązania konstrukcyjne wirników z magnesami trwałymi. Rozwiązania te, zgodnie z decyzją UPRP z dnia 08.03.2019 r., od dnia 11.04.2018 r. uzyskały ochronę patentową pod nr Pat.232571 [1].

Przedstawione rozwiązania konstrukcyjne w celu sprawdzenia ich praktycznej przydatności wymagają opracowania modeli fizycznych i przeprowadzenia badań laboratoryjnych. Powierzchnia wirnika z bruzdami może być ukształtowana już


w czasie obliczeń elektromagnetycznych i cieplnych silnika. W zależności od prędkości obrotowej silnika można dobrać korzystny kształt bruzd, ich liczbę i usytuowanie wzdłuż osi wirnika, bez istotnego pogorszenia permeancji obwodu magnetycznego maszyny. Kryterium doboru bruzd jest równomierny rozptył strugi powietrza w szczelinie powietrznej pomiędzy powierzchnią zewnętrzną wirnika a częścią wewnętrzną twornika. Bruzdy na wirniku rozwiązują problem nierównomiernego nagrzewania się pakietu magnetycznego stojana w okolicach szczeliny powietrznej i wyrównują rozkład temperatur w całej maszynie elektrycznej.

Wszystkie powyżej opisane innowacyjne konstrukcje wirników z magnesami trwałymi bardzo dobrze się wpisują w obecne trendy rozwoju maszyn elektrycznych, jak również w prace i projekty bieżące prowadzone przez Sieć Badawczą Łukasiewicz – Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL. Zaprezentowane rozwiązania techniczne uzupełniają się i są ciekawą alternatywą do obecnych konstrukcji maszyn elektrycznych.

Literatura

- [1] Zgłoszenie patentowe nr P.425191, pt.: „Wirnik maszyn z magnesami trwałymi”.
- [2] BERNATT J.: *Obwody elektryczne i magnetyczne maszyn elektrycznych wzbudzanych magnesami trwałymi*. Monografia BOBRME Komel, Katowice 2010.
- [3] GLINKA T.: *Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi*. Wyd. Pol. Śląskiej, Gliwice 2002.
- [4] GAWRON S.: *Wybrane, innowacyjne projekty maszyn elektrycznych z magnesami trwałymi i ich praktyczne zastosowania*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne” 1(109)/2016.
- [5] ROSSA R., BIAŁAS A.: *Napęd elektryczny e-Kit miejskiego pojazdu dostawczego – rozwiązania techniczne*. „Logistyka” 6/2014.
- [6] ROSSA R., KRÓL E.: *Regulacja prędkości obrotowej w napędzie elektrycznym „E-Kit” dedykowanym do elektryfikacji małych samochodów osobowych i dostawczych*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 4(97)/2012.
- [7] KRÓL E., BIAŁAS A.: *Koncepcja napędu hybrydowego przeznaczonego do samochodu dostawczego*. „Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne” 1/2012.
- [8] KRÓL E.: *Silniki synchroniczne w napędach pojazdów sportowo-rekreacyjnych*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 2/2014.
- [9] www.komel.katowice.pl.

artykuł recenzowany

 dr inż. Stanisław Gawron

e-mail: stanislaw.gawron@komel.lukasiewicz.gov.pl

Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL