

Stanisław Gawron
BOBRME Komel, Katowice

SILNIK KLATKOWY Z WAŁEM DRAŻONYM PRZEZNACZONY DO ZABUDOWY W MASZYNIE TECHNOLOGICZNEJ

HOLLOW SHAFT CAGE MOTOR INTENDED FOR MACHINE ASSEMBLY IN PROCESS ENGINEERING

Abstract: Electric motor which will be assembled into any machine used in process engineering must meet definite design and drive requirements. Issues related to design of cage induction motor to be used in machine manufacturing of concrete pillars are discussed in this paper. We have decided to fulfill specified requirements by designing a motor with number of pole pairs $p=1$, but using steel laminations designed previously for motor with $p=2$ pole pairs. This conception has proved to be satisfactory, since the motor meets the technical demands. Motor design and actual test parameters are set out in Table 1.

1. Wstęp

Branżowy Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Maszyn Elektrycznych KOMEL istnieje od 1948 roku [1]. Ośrodek zajmuje się projektowaniem, konstrukcją, badaniami laboratoryjnymi i stanowiskowymi oraz eksploatacją i diagnostyką maszyn elektrycznych wirujących [2]. W tematyce maszyn elektrycznych wirujących KOMEL jest w Polsce liderem. Głównymi zagadnieniami jakimi zajmuje się Ośrodek są [3]: silniki o dużej częstotliwości rozruchów, silniki o dopuszczalnym długim czasie rozruchu, silniki o zmniejszonych stratach mocy, silnik indukcyjny dużej mocy zasilane z falowników, silnik w wykonaniu morskim, silniki górnicze, silniki trakcyjne, silniki pierścieniowe oraz silniki specjalne np. silniki szybkoobrotowe, silniki z wałem drażonym itp.

Zupełnie odrębną grupą są maszyny z magnesami trwałymi [4]. Maszyny te w wykonaniu prądnicowym znajdują szerokie zastosowanie w elektrowniach wiatrowych, hydroelektrowniach i innych [5], [6]. Natomiast silniki z magnesami trwałymi stosowane są w napędach, w których istnieje konieczność szerokiej regulacji prędkości obrotowej [7]. Silniki tego typu znalazły zastosowanie w pojazdach trakcyjnych [8], np. lokomotywa kopalniana, samochody elektryczne i w innych pojazdach o napędzie elektrycznym. Maszyny elektryczne z magnesami trwałymi uzyskują największą moc z jednostki masy w stosunku do innych typów maszyn [9]. W artykule przedstawiono problematykę projektowania specjalnego silnika indukcyjnego klatkowego przeznaczonego do zabudowania w

maszynie technologicznej do produkcji słupów betonowych.

Na rysunku 1 pokazano fotografię przedstawiającą umiejscowienie silnika podczas procesu technologicznego cementowania słupa.



Rys. 1. Umiejscowienie silnika podczas procesu cementowania słupa

2. Wymagania projektowe silnika

Głównym wymaganiem, z punktu widzenia ekonomicznego projektu, było maksymalne obniżenie kosztów produkcji silnika, co uniemożliwiło opracowanie nowego dedykowanego do specjalnych zastosowań obwodu elektromagnetycznego silnika. W tym celu wykorzystano dostępne na rynku elementy obwodów elektromagnetycznych z produkowanych silników ogólnego zastosowania.

W celu prowadzenia prawidłowego procesu technologicznego cementowania rur silnik powinien dysponować mocą minimum 1 kW i pracować z prędkością obrotową minimum 2600 obr/min. Dodatkowo, silnik gabarytowo był ograniczony dwoma wymiarami: maksymalną średnicą zewnętrzną oraz minimalną średnicą otworu w wale (ze względu na proces technologiczny).

Dodatkowo budowa silnika musiała zapewniać szczelność na poziomie stopnia ochrony IP 65 [10], a odprowadzenie ciepła (chłodzenie) powinno odbywać się będzie w sposób konwekcyjny IC410 [11].

Ze względów ekonomicznych układ napędowy składający się z silnika i falownik nie wchodził w rachubę.

Po wstępnej analizie okazało się, że nie ma możliwości zastosowania klasycznego silnika o liczbie biegunów $2p=2$ (pomimo odpowiedniej dla założeń projektowych średnicy zewnętrznej), gdyż niewielka średnica wirnika uniemożliwiała zastosowanie wału drążonego o założonym prześwicie wewnętrznym. Z tego powodu zdecydowano się na specjalny projekt maszyny o liczbie biegunów $2p=2$ bazujący na elementach obwodu elektromagnetycznego silnika o liczbie biegunów $2p=4$.

3. Obliczenia symulacyjne obwodu elektromagnetycznego silnika

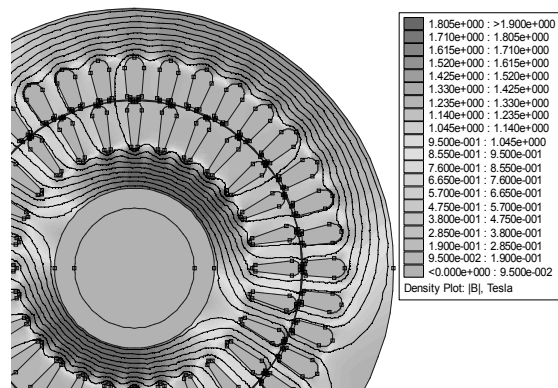
W celu uzyskania założonej średnicy otworu w wale, wał silnika musiał mieć średnicę zewnętrzną znacznie większą od standardowej średnicy wewnętrznej pakietu wirnika.

Dla silnika dwubiegunowego projektowanego na blachach $2p=4$ zarówno jarzmo stojana, jak i jarzmo wirnika mają mały przekrój, a to powoduje szybkie ich nasycenie się. W przypadku wirnika, jarzmo mamy dodatkowo pomniejszone w celu uzyskania odpowiedniej technologicznej średnicy wewnętrznej wału.

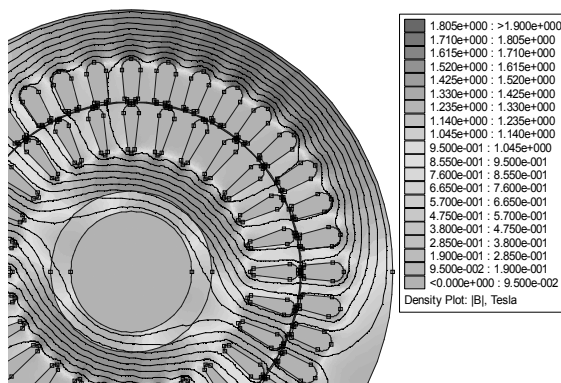
W związku z tym należało oszacować i uwzględnić, na ile wał wirnika będzie częścią obwodu elektromagnetycznego maszyny, tj. ile strumienia magnetycznego może wnikać do wału powodując zmniejszenie nasycen w jarzmie wirnika.

W tym celu przeprowadzono 2 symulacje stałoprądowe maszyny przy założeniu idealnego biegu jałowego, tj. częstotliwość obrotu wirnika równa się częstotliwości napięcia zasilania stojana.

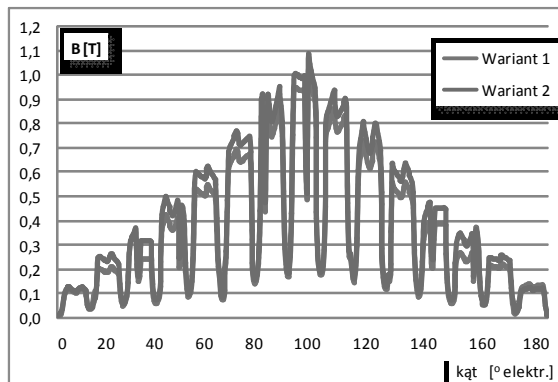
Na rysunku 2 przedstawiono wyniki rozkładu strumienia magnetycznego przy założeniu, że do wału maszyny strumień magnetyczny nie wpływa. Natomiast na rysunku 3 pokazano rozkład strumienia magnetycznego przy założeniu, że wał wirnika jest częścią obwodu elektromagnetycznego maszyny.



Rys. 2. Rozkład strumienia magnetycznego, bez wnikania strumienia magnetycznego w wał silnika. Wariant 1

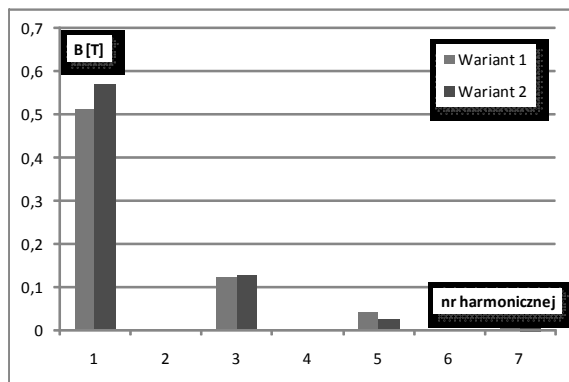


Rys. 3. Rozkład strumienia magnetycznego przy uwzględniając wnikania strumienia magnetycznego w wał silnika. Wariant 2



Rys. 4. Porównanie obliczonych rozkładów indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej dla omawianych przypadków

Dla porównania na rys. 4 przedstawiono kształt rozkładu indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej dla obu przypadków. Natomiast na rys. 5 pokazano jak wzrosła wartość pierwszej harmonicznej indukcji w szczelinie powietrznej w przypadku zmniejszenia nasycenia w jarzmie wirnika (przy założeniu, że część strumienia popłynie przez wał silnika).



Rys. 5. Porównanie wartości harmonicznych indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej dla omawianych przypadków

Silnik zaprojektowano stosując programy komputerowe bazujące na sprawdzonych algorytmach analitycznych oraz współczynnikach doświadczalnych z uwzględnieniem przypadku mniejszego nasycania się jarzma wirnika.

4. Prototyp silnika oraz wyniki badań laboratoryjnych

Na rysunku 6 przedstawiono prototyp silnika, którego obwód elektromagnetyczny bazuje na blachach serii Sg 2p=4 wzniosu mechanicznego 112 mm.



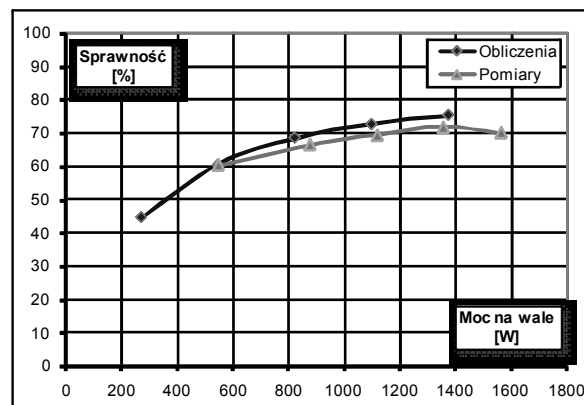
Rys. 6. Wygląd zewnętrzny prototypowego silnika typu Sg112M(4)-2 o mocy 1.1 kW

W tabeli 1 zestawiono najważniejsze parametry obliczeniowe silnika oraz wyniki badań laboratoryjnych.

Na rysunku 7 przedstawiono porównanie wyników obliczeń z wynikami badań laboratoryjnych charakterystyki sprawności silnika.

Tabela 1. Porównanie parametrów obliczeniowych z wynikami badań laboratoryjnych

Parametr/ Jednostka	Obliczenia	Wyniki pomiarów	
$R_{st20^{\circ}C}$	[Ω]	7.15	7.13
I_0	[A]	1.48	1.11
ΔP_m	[W]	120	155
ΔP_{Cu}	[W]	86.54	64.20
ΔP_{Al}	[W]	30.7	24.51
$\Sigma \Delta P$	[W]	134.6	135
I_1	[A]	1.7	1.51
P_1	[kW]	1.52	1.61
P_2	[kW]	1.1	1.1
η	[%]	72.63	68.3
M_N	[Nm]	3.58	3.58
$\cos\phi$	[-]	0.811	0.899
s_N	[-]	0.022	0.023
n_N	[min^{-1}]	2931	2931



Rys. 7. Zestawienie charakterystyki sprawności silnika - obliczonej i zmierzonej

5. Podsumowanie i wnioski końcowe

Celem pracy było zaprojektowanie i wykonanie maszyny specjalnej z wałem drążonym do zabudowania w maszynie technologicznej służącej do produkcji słupów betonowych.

Głównymi ograniczeniami projektowymi w celu zapewnienia właściwego procesu technologicznego były:

- maksymalna średnica zewnętrzna silnika,
- minimalny prześwit drążonego wału,
- prędkość obrotowa ok. 2600-3000 obr/min,
- niskie koszty budowy prototypu i późniejszej małoseryjnej produkcji.

Powyższe ograniczenia spowodowały, że projekt maszyny o liczbie biegunów $2p=2$ został zrealizowany na elementach obwodu elektromagnetycznego silnika o liczbie biegunów $2p=4$.

Silnik projektowano programami komputerowymi, których algorytm obliczeniowy bazuje na klasycznych metodach analitycznych [12].

Szacunkowe obliczenia Metodą Elementów Skończonych (rys. 2 i 3) dają podstawę do założenia, że część strumienia magnetycznego z jarzma wirnika zaabsorbuje wał silnika. Po przeprowadzeniu analizy harmonicznej indukcji magnetycznej w szczelinie widać, że w przypadku udziału wału w części czynnej obwodu wartość pierwszej harmonicznej indukcji wzrosnie o ok. 10%. To daje informację, że jarzmo wirnika nie będzie tak bardzo nasycone jak wynika z wstępnych obliczeń analitycznych.

Wiadomo, że nasycenie jarzma wirnika ma bezpośredni wpływ na poprzeczną gałąź magnesującą w schemacie zastępczym silnika, czyli na wartość prądu magnesującego. Dlatego też podstawowe algorytmy bazujące na założeniach przyjętych przez Arnolda [13], które w obliczeniach maksymalnej indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej uwzględnia wyłącznie wpływ nasycenia zębów, nie mogą być stosowane. W związku z tym, w celu prawidłowego projektowania maszyn, w których jarzmo stojana nasyci się bardziej, niż zęby stojana, należy stosować metody, które w obliczeniach indukcji maksymalnej w szczelinie uwzględniają wpływ nasycenia zarówno zębów jak i jarzma stojana.

Reasumując powyższe, cel pracy został osiągnięty i zaprojektowany silnik uzyskał zakładane parametry oraz charakterystyki zewnętrzne. Zgodność obliczeń z wynikami badań jest zadowalająca i wystarczająca.

Literatura

- [1]. Działalność merytoryczna Ośrodka w latach 1998-2008. Monografia „10 lat po 50-tce”. ISBN 978-83-910585-8-9. Wyd. BOBRME Komel, 2008.
- [2]. GAWRON s. BERNATT J.: „Problemy projektowania i konstrukcji maszyn indukcyjnych”, Jubileusz 90 – lecia Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, Materiały Konferencyjne, Kraków 2009.
- [3]. BERNATT J., GLINKA T.: „Problemy konstrukcji maszyn elektrycznych w aktualnych pracach BOBRME KOMEL” Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne Nr 83/2009, Wyd. BOBRME Komel, Katowice 2009.

[4]. GAWRON S. BERNATT J.: „Problemy projektowania i konstrukcji maszyn wzbudzonych magnesami trwałymi”, Jubileusz 90 – lecia Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie, Materiały Konferencyjne, Kraków 2009.

[5]. BERNATT J. „Wykorzystanie prądnic synchronicznych do budowy małych elektrowni wiatrowych”. Zeszyty Problemowe Maszyny Elektryczne. Nr 68/2004, Wyd. BOBRME Komel, Katowice 2004.

[6]. GLINKA T. „Autonomiczne elektrownie wiatrowe. Materiały konferencyjne II Ogólnopolskiej Konferencji ETW 2004, Wyd. Centralny Ośrodek Szkolenia i Wydawnictw SEP, Warszawa 2004.

[7]. ROSSA R., KRÓL E.: „Modern electric machines with permanent magnet.”, Przegląd Elektrotechniczny nr 12/2008, str. 12-17.

[8]. GAWRON S. BERNATT J., KRÓL E.: „Zastosowania trakcyjne nowoczesnych silników z magnesami trwałymi”, Przegląd Elektrotechniczny nr 12/2009,

[9]. GLINKA T.: Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi. Wyd. Pol. Śląskiej. Gliwice 2002r.

[10]. Norma PN-EN 600034-5

[11]. Norma PN-EN 600034-6

[12]. GŁOWACKI A. „Obliczenia Elektromagnetyczne silników indukcyjnych trójfazowych. WNT, Warszawa 1993.

[13]. ARNOLD E., LA COUR J. L.: Die Wechselstromtechnik. Die Induktionsmaschinen. Berlin, Springer 1909.

Autor

mgr inż. Stanisław Gawron
BOBRME Komel,
tel. (032) 258-20-41

e-mail: s.gawron@komel.katowice.pl