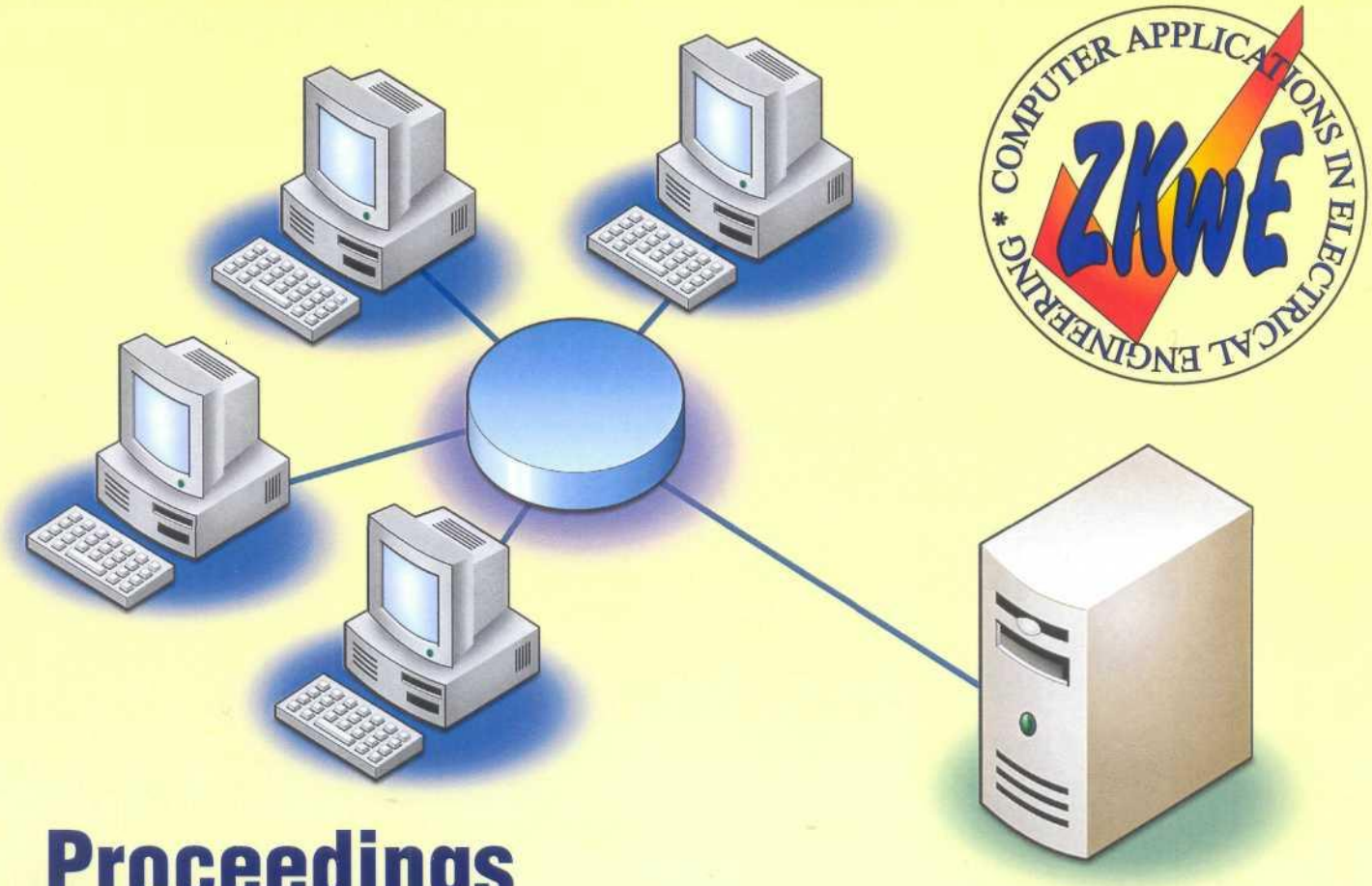
INSTITUTE OF ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTRONICS
POZNAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ELECTRICAL ENGINEERING COMMITTEE
OF POLISH ACADEMY OF SCIENCES

IEEE POLAND SECTION

XII Conference
COMPUTER APPLICATIONS IN ELECTRICAL ENGINEERING



Proceedings

Poznan, April 16-18, 2007

XII Conference COMPUTER APPLICATIONS IN ELECTRICAL ENGINEERING'2007

This materials presents continuation of Conference "ZASTOSOWANIA KOMPUTERÓW W ELEKTROTECHNICE"

Scientific Editor – Ryszard Nawrowski
Technical Editor – Dorota Warchalewska-Hauser
Cover design – Piotr Gołębniak & Krystyna Horemska

SECTIONS:

1. **COMPUTER APPLICATIONS IN ELECTRICAL ENGINEERING**
   a. Databases
   b. Numerical methods and algorithms
   c. Parallel computation
   d. Optimisation, genetic algorithms, neural networks and expert systems
   e. Computer networks, information networks
   f. Programming techniques
   g. Internet technologies
   h. Visualization, CAE/CAD systems

2. **BASE OF ELECTRICAL ENGINEERING**
   a. Electromagnetic field, electromagnetic compatibility
   b. Theory of circuits and signals

3. **APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING**
   a. Bioelectromagnetism
   b. Power engineering, renewable energy
   c. Electronics and power electronics
   d. Electrical engineering of vehicles
   e. Electrical heating
   f. Electrical machines, electrical drive
   g. Materials technology
   h. Mechatronics
   i. Electrical and electronic metrology
   j. Microprocessor technology and control systems
   k. Lighting technology

4. **DIDACTICS, EDUCATION AND SCIENTIFIC INFORMATION**

ISBN 978-83-923978-4-7

Edition based on ready-to-print materials submitted by authors

© 2007, Poznan University of Technology
Institute of Electrical Engineering and Electronics
Piotrowo 3a, 60-965 Poznan/POLAND
Phone: +48 61 6652-521, 6652-388
Fax: +48 61 6652-389
E-mail: zkwe@put.poznan.pl, http://www.iee.put.poznan.pl/zkwe/

Copyright by POLI-GRAF-JAK
Przesiębiorstwo Usługowo-Handlowe i Produkcyjne, Andrzej Jakubowski
60-149 Poznań, ul. Jugosłowiańska 44B
All rights reserved

Chairman of the Programming Committee
Stanisław Bolkowski – Warsaw University of Technology

PROGRAMMING COMMITTEE

Bernard Baron	Silesian University of Technology
Mikołaj Busłowicz	Bialystok Technical University
Zbigniew Ciok	Warsaw University of Technology
Andrzej Demenko	Poznan University of Technology
Leszek Frąckowiak	Poznan University of Technology
Zbigniew Gacek	Silesian University of Technology
Tadeusz Glinka	Silesian University of Technology
Jacek Hauser	Poznan University of Technology
Tadeusz Janowski	Lublin University of Technology
Grażyna Frydrychowicz-Jastrzębska	Poznan University of Technology
Andrzej Jordan	Bialystok Technical University
Tadeusz Kaczmarek	Poznan University of Technology
Tadeusz Kaczorek	Warsaw University of Technology
Ewa Lipowska-Nadolska	Technical University of Lodz
Józef Lorenc	Poznan University of Technology
Tadeusz Łobos	Wroclaw University of Technology
Wojciech Machczyński	Poznan University of Technology
Kazimierz Mikołajuk	Warsaw University of Technology
Stanisław Mitkowski	AGH University of Science and Technology
Roman Muszyński	Poznan University of Technology
Ryszard Nawrowski	Poznan University of Technology
Lech Nowak	Poznan University of Technology
Władysław Opydo	Poznan University of Technology
Stanisław Osowski	Warsaw University of Technology
Marian Pasko	Silesian University of Technology
Zygmunt Piątek	Czestochowa University of Technology
Wiktor Pietrzyk	Lublin University of Technology
Henryk Rawa	Warsaw University of Technology
Stanisław Rawicki	Poznan University of Technology
Jan Sikora	Warsaw University of Technology
Ryszard Sikora	Szczecin University of Technology
Konrad Skowronek	Poznan University of Technology
Zbigniew Stein	Poznan University of Technology
Wojciech Szeląg	Poznan University of Technology
Stanisław Wincenciak	Warsaw University of Technology
Kazimierz Zakrzewski	Technical University of Lodz
Bolesław Zaporowski	Poznan University of Technology
Janusz Zarębski	Gdynia Maritime University
Krzysztof Zawirski	Poznan University of Technology
Paweł Zimny	Gdansk University of Technology

Mediumistic Sponsor's

INFORMATIONS ABOUT JOURNAL
"PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY"
Address of the Journal:
00-950 Warszawa, Ratuszowa 11
Phone/Fax: +48 22 818-95-10
E-mail: red.pe@iem.pw.edu.pl
JOURNAL INFORMATION ONLINE: www.red.pe.org.pl

PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY

NFORMATIONS ABOUT JOURNAL
"NAPĘDY I STEROWANIE"
Address of the Journal:
47-400 Racibórz, ul. Środkowa 5
Phone/Fax: +48 32 755 19 17, 755 18 23
E-mail: redakcja.nis@drukart.pl
JOURNAL INFORMATION ONLINE: www.nis.com.pl

napędy i sterowanie
miesięcznik techniczno-informacyjny

Zastosowanie klinów magnetycznych w maszynie elektrycznej z magnesami trwałymi

Marcin Wardach
Politechnika Szczecińska, Instytut Elektrotechniki
70 – 313 Szczecin, ul. Gen. Wł. Sikorskiego 37, e-mail: marwar@op.pl

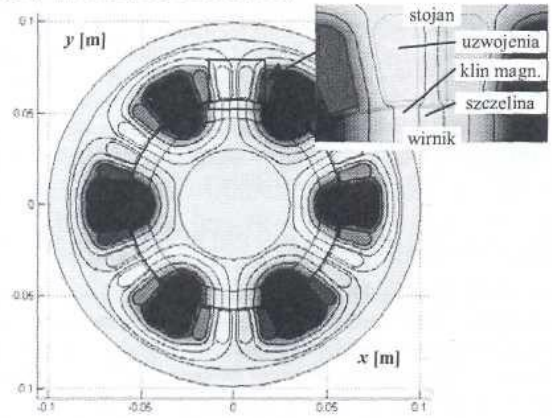
Streszczenie - Praca prezentuje badania symulacyjne obwodu magnetycznego użłobkowanej maszyny elektrycznej z magnesami trwałymi. W żłobkach tego obwodu zastosowano kliny magnetyczne. Podczas badań obwodu magnetycznego zmieniano wartość przenikalności klinów magnetycznych następnie sprawdzano wartość momentu elektromagnetycznego. Pozwoliło to wyznaczyć przenikalność klinów, dla której moment w danej strukturze jest możliwie największy natomiast pulsacje minimalne.

I. Wstęp

Pulsacje momentu elektromagnetycznego w użłobkowanych maszynach elektrycznych spowodowane są głównie bardzo dużą różnicą reluktancji obszarów przyszczelinowych zęba i żłobka. Można je ograniczać zmniejszając moment zaczepowy [1, 2]. Jest znanych kilka sposobów eliminowania pulsacji żłobkowych, jednak wszystkie powszechnie stosowane powodują znaczne zmniejszenie wypadkowego momentu elektromagnetycznego. W pracy zaproponowano inne rozwiązanie - mianowicie zastosowanie klinów magnetycznych.

II. Model symulacyjny badanej struktury

Przedmiotem badań zaprezentowanych w pracy jest sześciobiegunowy model maszyny elektrycznej, której przekrój przedstawiony został na rys. 1. Model posiada 36 żłobków w stojanie, które zamknięte zostały klinami magnetycznymi o grubości 1,5 mm. Wewnętrzna średnica stojana wynosi 115 mm, natomiast zewnętrzna 190 mm, średnica wirnika to 114 mm. Obliczenia momentu elektromagnetycznego zostały przeprowadzone przy założeniu, że długość silnika wynosi 30 mm. Na wirniku w sposób konwencjonalny umieszczono magnesy trwałe, których B_r = 1,44 T. Badania przeprowadzono przy użyciu programów MATLAB-FEMLAB.

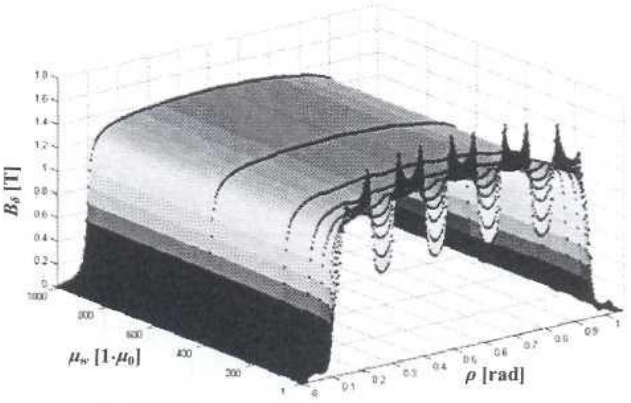


Rys.1. Model maszyny elektrycznej z klinami magnetycznymi

II. Pulsacje indukcji magnetycznej

W wyniku badań symulacyjnych wyznaczone zostały rozkłady indukcji magnetycznej pośrodku szczeliny powietrznej na szerokości jednej podziałki biegunowej. Na rys. 2 przedstawiono ww. rozkłady w postaci trójwymiarowej, gdzie:

- oś OX oznacza kąt położenia ρ punktu pomiaru na łuku biegnącym pośrodku szczeliny na szerokości jednej podziałki biegunowej ($\rho = 0..\ \pi/3$)
- oś OY oznacza względną przenikalność magnetyczną μ_k klinów magnetycznych (μ_k przyjmuje wartości: 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 i 1000)
- oś OZ oznacza uzyskane wartość indukcji magnetycznej B_δ



Rys.2. Indukcja magnetyczna pośrodku szczeliny w maszynie elektrycznej z klinami magnetycznymi

Z rys. 2 wynika, że użycie klinów magnetycznych już o przenikalności nie wiele większej od przenikalności powietrza powoduje znaczne zmniejszenie pulsacji indukcji magnetycznej, a więc redukcję drgań i hałasu, jakie występują w maszynie elektrycznej.

W tabeli 1 umieszczono wartości średnie oraz maksymalne indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej. Dodatkowo w celu porównania otrzymanych wyników wprowadzono kolumnę współczynników pulsacji zdefiniowanych wg wzoru (1) oraz względnych współczynników pulsacji p'_B wyrażonych w procentach, których bazą jest współczynnik pulsacji w przypadku braku klinów magnetycznych (μ_k = 1).

$$p_B = \frac{B_{p\max} - B_{p\min}}{B_{\mathrm{av}}} \tag{1}$$

gdzie:

($B_{p\max} - B_{p\min}$) – wartość międzyszczytowa (peak-to-peak) pulsacji B_δ,

B_{av} – średnia wartość indukcji magnetycznej B_δ.

Tabela I
WYNIKI POMIARÓW INDUKCJI MAGNETYCZNEJ

L.p.	μ_k [$\cdot\mu_0$]	B_{av} [T]	B_{max} [T]	p_B	p'_B [%]
1.	1	1,05	1,80	0,94	100%
2.	2	1,06	1,68	0,70	74%
3.	5	1,08	1,55	0,42	45%
4.	10	1,08	1,48	0,27	28%
5	20	1,09	1,44	0,16	17%
6	50	1,09	1,41	0,09	10%
7.	100	1,09	1,40	0,07	7%
8.	200	1,09	1,39	0,06	6%
9.	500	1,10	1,39	0,05	5%
10.	1000	1,10	1,39	0,05	5%

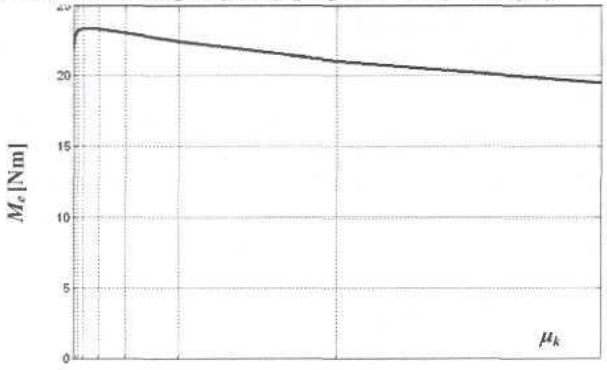
III. MOMENT ELEKTROMAGNETYCZNY

Kolejnym etapem badań symulacyjnych było wyznaczenie momentu elektromagnetycznego w maszynie z rys. 1. Założono, że maksymalna gęstość prądu w uzwojeniach stojana wynosi 5 A/mm^2. Wyniki umieszczone zostały w tabeli 2. W celu porównania wprowadzono, analogicznie do względnego współczynnika pulsacji, względny współczynnik momentu, którego bazą jest moment elektromagnetyczny w przypadku braku klinów magnetycznych, tzn. dla $\mu_k = 1$.

Tabela II
WYNIKI POMIARÓW MOMENTU ELEKTROMAGNETYCZNEGO

L.p.	μ_k [$\cdot\mu_0$]	M_e [Nm]	m_e
1.	1	21,8	100,0%
2.	2	22,4	102,4%
3.	5	22,9	104,9%
4.	10	23,2	106,3%
5	20	23,4	107,0%
6	50	23,3	106,7%
7.	100	23,0	105,4%
8.	200	22,4	102,8%
9.	500	21,0	96,3%
10.	1000	19,5	89,3%

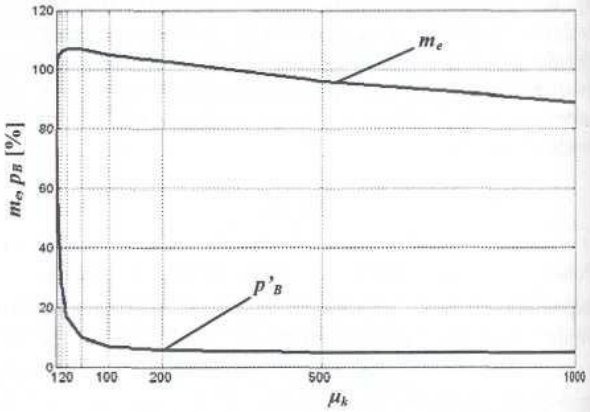
Rysunek 3 przedstawia zależność momentu elektromagnetycznego od przenikalności klinów magnetycznych. Z rysunku tego wynika, że zastosowanie klinów może nie tylko zmniejszyć pulsacje, ale i podwyższyć moment elektromagnetyczny projektowanej maszyny.



Rys.3. Moment elektromagnetyczny maszyny elektrycznej w funkcji μ_k

IV. ZESTAWIENIE WYNIKÓW

Wyniki badań zestawiono na rys. 4. Z rysunku tego wynika, że w strukturze, której dotyczy niniejsza publikacja optymalną względną przenikalnością klinów magnetycznych jest przedział $\mu_k = 20 \div 50$, ponieważ pulsacje maleją do ok. 10% (patrz tabela 1), a moment elektromagnetyczny wzrasta o ok. 7% (patrz tabela 2) w stosunku do przypadku braku klinów magnetycznych.



Rys.4. Względny moment elektromagnetyczny i względny parametr pulsacji indukcji magnetycznej

IV. PODSUMOWANIE

Z przeprowadzonych badań wynika, że zastosowanie klinów magnetycznych powoduje znaczne zmniejszenie pulsacji występujących w maszynie elektrycznej. Ponadto w pracy pokazano, że dobranie klinów magnetycznych o optymalnych parametrach pozwala podwyższyć moment elektromagnetyczny.

Optymalną względną przenikalnością klinów magnetycznych dla badanej struktury jest $\mu_k = 20 \div 50$.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2006-2008 jako projekt badawczy nr N510 012 31/0806

LITERATURA

[1] Afonin A., Kramarz W., Cierzniewski P.: Elektromechaniczne przetworniki energii z komutacją elektroniczną, skrypt, seria „Tempus" Politechnika Szczecińska, (2000), 242
[2] Dudzikowski I., Gierak D.: Pulsacje momentu elektromagnetycznego i ich ograniczanie w silnikach magnetoelektrycznych prądu stałego, Proc. of XL SME'2004, Hajnówka (2004), 406-414.
[3] Wardach M.: Wpływ klinów magnetycznych na pulsacje momentu elektromagnetycznego w przetwornikach o strukturze użłobkowanej Przegląd Elektrotechniczny, Nr 3/2006, s. 21-24

USING MAGNETIC WEDGES IN PM ELECTRICAL MACHINES

The paper presents magnetic circuit in slotted electrical machines with PM research. In slots of this circuit magnetic wedges have been used. During the research first wedge's magnetic permeability have been changed and then electromagnetic torque value have been checked. It allows to assign wedge's permeability, for which a torque is possibly largest but pulsations are small.