

Stanisław Azarewicz, Bogumił Węgliński
Politechnika Wroclawska, Wroclaw

PARAMETRY WYBRANYCH BLACH PRĄDNICOWYCH PRZY PODWYŻSZONEJ CZĘSTOTLIWOŚCI PRZEMAGNESOWANIA

PARAMETERS OF CHOSEN GENERATOR SHEETS AT ELEVATED FREQUENCY OF REMAGNETIZATION

Abstract: Results of research of magnetic and electrical parameters of chosen generator sheets with thickness 0.35 and 0.5 mm, at basic and elevated frequency of remagnetization are presented in the paper.

Samples for tests were cut in form of rings with width 10 mm and assembled in toroidal form of height 10 mm, to approximate changes of their parameters to these obtained as results of cutting sheets at manufacture a magnetic core of an electrical motor. To determine influence of sheet insulation on measured parameters, generator sheets covered by various kinds of insulation were tested.

The goal of carried out research was assessment of changes of generator sheets parameters, taking into account their applications in motors fed with elevated frequency voltage.

Presented research enables quantity and quality evaluation of loss increase, in classic electrical motors fed with voltage generated by frequency converters.

1. Wstęp

Rozwój nowoczesnych technologii w wielu dziedzinach przemysłu i gospodarki skutkuje między innymi wzrostem zapotrzebowania na nowoczesne, o coraz lepszych parametrach, przetworniki elektromagnetyczne, a wśród nich także na silniki elektryczne. Jednocześnie bardzo dynamiczny rozwój elektroniki, systemów sterowania mikroprocesorowego oraz półprzewodnikowych elementów mocy, umożliwia sterowanie pracą silników indukcyjnych w szerokich zakresach regulacji prędkości przy bardzo wysokiej jakości sterowania. Szczególnie rozwój przemienników częstotliwości umożliwił realizację napędów bezprzekładniowych od prędkości pełnych po setki tysięcy obrotów na minutę. Praca przy bardzo wysokiej prędkości obrotowej wymaga zarówno odpowiedniej konstrukcji mechanicznej silnika, jak również doboru odpowiedniego materiału na jego magnetowód pracujący przy częstotliwości przemagnesowania dochodzącej do kilku kiloherców. W przypadku zasilania silnika z przemiennika częstotliwości należy uwzględnić także dodatkowy wzrost strat w magnetowodzie powodowany wyższymi harmonicznymi prądu zasilającego silnik. Zasilając silnik napięciem o podwyższonej częstotliwości należałoby stosować materiały magnetyczne o zmniejszonej stratności jak np: cienkie, wysokokrzemowe blachy lub dielektromagnetyki. Ze względu na stosunkowo małą produkcję silników wysokoobrotowych, a także znaczne trudności techniczne

przy wykrawaniu cienkich, niskostratnych blach, należy przyjąć, że w silnikach o podwyższonej częstotliwości zasilania wykorzystywane będą typowe blachy elektrotechniczne. Poznanie zmian parametrów elektrycznych tych blach przy podwyższonej częstotliwości przemagnesowania będzie także istotne dla oceny zmian wartości strat dodatkowych oraz określenia ewentualnych zagrożeń dla typowych silników indukcyjnych zasilanych odkształconym napięciem z przemienników częstotliwości.

W artykule przedstawiono wyniki badań parametrów magnetycznych i elektrycznych najczęściej stosowanych w obecnych konstrukcjach silników indukcyjnych blach, przy ich przemagnesowaniu strumieniem o podwyższonej częstotliwości. Wyniki badań pozwolą także ocenić przydatność tych blach w silnikach o podwyższonej częstotliwości zasilania.

2. Badania parametrów wybranych blach prądnicowych

Badaniom poddano powszechnie stosowane blachy prądnicowe o grubościach; 0,35 mm i 0,50 mm pokrytych różnymi rodzajami izolacji. Podstawowe parametry badanych blach przedstawiono w tabeli 1[5].

Tabela 1. Parametry badanych blach prądnicowych podawane przez wytwórcę

Blacha	Indukcja magnetyczna B [T] f=50Hz		Stratność całkowita f=50 Hz	
	H=2,5 kA/m	H 5,0 kA/m	B=1 [T]	B=1,5 [T]
35C3	1,49	1,60	1,30	3,30
35C4				
35C6				
50C3	1,49	1,60	1,35	3,30
50C4				
50C6				

Tabela 2. Wyniki pomiarów indukcji magnetycznej badanych blach w funkcji częstotliwości przemagnesowania

Blacha	Indukcja magnetyczna, B [T]					
	H=2,5kA·m ⁻¹			H=5,0kA·m ⁻¹		
	50 Hz	500 Hz	1000 Hz	50 Hz	500 Hz	1000 Hz
35C3	1,48	1,48	1,46	1,58	1,57	1,55
35C4	1,51	1,50	1,49	1,61	1,60	1,58
35C6	1,50	1,49	1,48	1,60	1,60	1,57
50C3	1,50	1,49	1,47	1,61	1,60	1,58
50C4	1,49	1,48	1,47	1,60	1,58	1,56
50C6	1,51	1,50	1,48	1,61	1,58	1,55

Badania przeprowadzono na próbkach pierścieniowych wycinanych z arkusza blach. Wymiary próbek wynosiły: średnice pierścienia, 50/60mm, grubość pakietu h = 5 mm.

Parametry próbki blach wynikały z wymagań zastosowanej aparatury, którą stanowił komputerowy zestaw do pomiarów magnetycznych typu MAG – TD 200 [4]. Przyjęta szerokość 10 mm próbki pierścieniowej miała na celu możliwie dobre odwzorowanie zmian parametrów magnetycznych i elektrycznych blach w wyniku ich wykrawania na magnetowód silnika indukcyjnego. Badano zmiany charakterystyk magnesowania blach, stratność całkowitą oraz udział strat histerezowych i wiropądowych w ogólnych stratach badanych próbek. Pomiar przeprowadzono dla różnych częstotliwości przemagnesowania blach przy dwóch wartościach natężenia pola $H = 2,5$ i $5,0$ kAm⁻¹. Wyniki pomiarów indukcji magnetycznej badanych blach w funkcji częstotliwości przemagnesowania przedstawiono w tabeli 2.

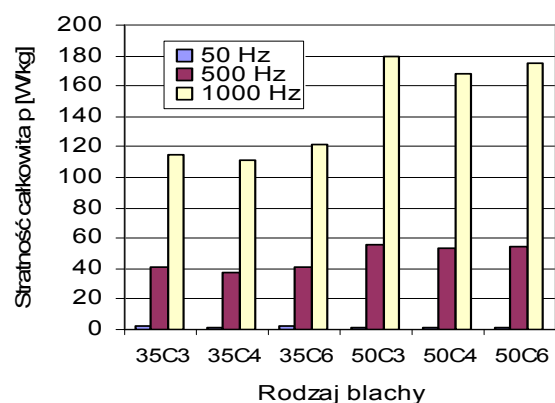
Przedstawione wyniki pomiarów wskazują, że w zakresie badanej częstotliwości przemagnesowania zmiana parametrów magnetycznych badanych blach jest nieznaczna.

Drugim istotnym parametrem niezbędnym przy projektowaniu silników zasilanych napięciem o podwyższonej częstotliwości jest stratność blach. Stratność całkowitą zmierzono dla badanych blach przy różnych częstotliwościach przemagnesowania i dwóch wartościach natężenia pola H. Wyniki pomiarów zestawiono w tabeli 3 oraz na rysunkach 1 i 2.

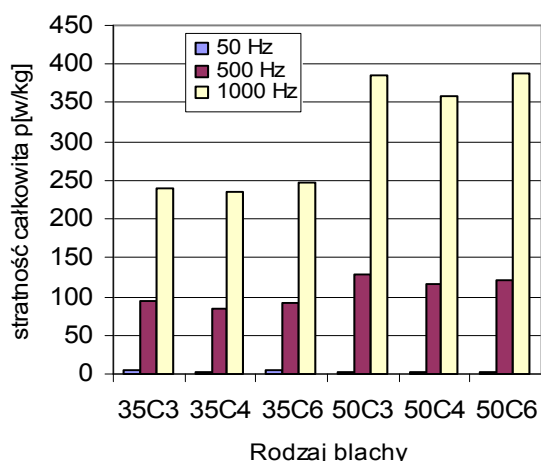
Przedstawione wyniki pomiarów pozwalają na porównanie zarówno wpływu grubości blach jak i rodzaju izolacji na stratność całkowitą w funkcji częstotliwości przemagnesowania.

Tabela 3. Wyniki pomiarów stratności całkowitej badanych blach

Blacha	Stratność całkowita p[W kg ⁻¹]					
	B = 1,0 T			B = 1,5 T		
	50 Hz	500 Hz	1000 Hz	50 Hz	500 Hz	1000 Hz
35C3	1,72	41,14	114,5	3,99	92,91	240,0
35C4	1,53	37,28	111,7	3,62	83,44	234,2
35C6	1,78	41,29	121,9	4,03	91,52	246,9
50C3	1,58	55,94	179,8	3,64	129,6	386,4
50C4	1,57	53,58	168,1	3,58	117,3	358,6
50C6	1,53	55,08	175,0	3,44	122,1	388,4



Rys. 1. Stratność całkowita badanych blach przy indukcji $B = 1,0$ [T]



Rys. 2. Stratność całkowita badanych blach przy indukcji $B = 1,5 [T]$

Jak wynika z danych zamieszczonych w tabeli 3 straty całkowite blach, zmierzone przy częstotliwości 50 Hz w próbkach pierścieniowych o szerokości 10 mm okazały się trochę wyższe od danych podawanych przez wytwórcę. Wzrost tych strat może być skutkiem zarówno tolerancji technologicznych przy produkcji jak również, efektem wycinania próbek pierścieniowych o stosunkowo małej szerokości.

Próbki o przyjętych wymiarach mają pewną zaletę, gdyż lepiej przybliżają wzrost strat w blachach w wyniku wycinania zębów stojana i wirnika.

Straty całkowite blach przemagnesowywanych prądem przemiennym składają się głównie ze strat histerezowych i wiropędowych.

W tabeli 4 przedstawiono przykładowy udział tych strat przy częstotliwości przemagnesowania 50 Hz w stratach całkowitych.

Straty rozdzielono metodą częstotliwościową. Przy tej częstotliwości przemagnesowania przeważający udział w stratach mają straty histerezowe, co może świadczyć o znacznych naprężeniach mechanicznych w badanych próbkach.

Podczas badań zauważono różnice w wartościach strat zarówno całkowitych jak i histerezowych oraz wiropędowych blach pokrytych różnymi typami izolacji.

Najmniejsze straty otrzymano dla blach pokrytych izolacją C4 (izolacja nieorganiczna o zwiększonej wytrzymałości termicznej). Dotyczy to zarówno blach o grubości 0,35 mm jak i 0,50 mm. Wraz ze wzrostem częstotliwości przemagnesowania wzrastają bardzo silnie straty całkowite w blachach.

Tabela 4. Straty z histerezy i prądów wiropędowych w badanych blachach przy częstotliwości przemagnesowania 50 Hz.

Blacha	Straty z histerezy P_h [W kg ⁻¹]		Straty z prądów wiropędowych [W kg ⁻¹]	
	B	B	B	B
	1,0 T	1,5 T	1,0 T	1,5 T
35C3	1,41	3,20	0,31	0,78
35C4	1,24	2,94	0,29	0,66
35C6	1,42	3,19	0,35	0,86
35C3	1,07	2,46	0,51	1,18
35C4	1,10	2,47	0,47	1,11
35C6	1,00	2,23	0,52	1,22

Przeważają wówczas straty wiropędowe wzrastające z kwadratem częstotliwości przemagnesowania. Straty te występują także w silnikach zasilanych z przemienników częstotliwości powodując wzrost temperatury blach w szczególności w części żłobkowej stojana. W szczególnych przypadkach występujące miejscowe wzrosty temperatury powodowane przez wyższe harmoniczne prądu mogą powodować narażenia układu izolacyjnego silnika. Istotny wzrost strat w blachach magnetycznych przy zasilaniu silników napięciem o podwyższonej częstotliwości może wpływać na poszukiwanie innych materiałów magnetycznych szczególnie dla małych maszyn. Jednym z takich materiałów wydają się być dielektromagnetyki [1, 2]. Wyniki badań prowadzonych przez autorów wskazują, że dielektromagnetyki pomimo gorszych parametrów magnetycznych umożliwiają pracę magnetowodów z niższą wartością strat niż typowe blachy elektrotechniczne. Dodatkowo, dielektromagnetyki umożliwiają lepsze kształtowanie obwodu magnetycznego, możliwość jego budowy kompaktowej a także uzyskiwanie kształtów maszyny praktycznie niemożliwych do uzyskania przy stosowaniu blach. W rezultacie w szczególnych przypadkach możliwe będzie potanie wykonania silnika a także uzyskanie konkurencyjnej jego sprawności w wyniku np. mniejszych ilości miedzi zużytej do wykonania uzwojenia, a tym samym mniejszej rezystancji.

3. Wnioski

Przeprowadzone badania parametrów magnetycznych i elektrycznych najczęściej stosowa-

nych blach o grubości 0,35 i 0,50 mm umożliwiają ilościowe określenie zmian zarówno parametrów magnetycznych jak i elektrycznych dla potrzeb konstrukcji silników zasilanych napięciem o podwyższonej częstotliwości. Przyjęty kształt i wymiary próbek dość dobrze przybliżają zmiany parametrów blach w wyniku ich wykrawania na magnetowód silników indukcyjnych. Na podstawie przedstawionych wyników badań można zauważyć, że zmiana częstotliwości przemagnesowania próbek praktycznie nie ma wpływu na wartość indukcji magnetycznej B w funkcji natężenia pola H . Istotny wpływ na ewentualny wybór blachy na magnetowód zasilanego napięciem o podwyższonej częstotliwości ma grubość blachy. Wyniki pomiarów stratności wskazują, że blacha o grubości 0,5 mm charakteryzuje się znacznie wyższymi stratami niż blacha o grubości 0,35 mm. Należy zatem przyjąć, że zmniejszenie stratności w obszarze podwyższonej częstotliwości przy stosowaniu blach prądnicowych jest możliwe poprzez zmniejszenie ich grubości z jednoczesnym zwiększeniem ich rezystywności. Badania wykazują także, że istnieje wpływ rodzaju izolacji blach na ich stratność całkowitą w mierzonych próbkach. Najmniejsze straty zanotowano w próbkach z izolacją C4.

Przyczyna tego zjawiska może być związana z lepszą izolacją na krawędziach ale wymaga jednakże potwierdzenia w bardziej szczegółowych badaniach. Wzrost stratności całkowitej badanych blach występuje procentowo najsilniej przy wzroście częstotliwości z 50 do 500 Hz. Przy częstotliwościach przemagnesowania powyżej 500 Hz należy w niektórych przypadkach obok blach rozważać także zastosowanie innych materiałów magnetycznych jak na przykład dielektromagnetyki.

Literatura

- [1]. Azarewicz S., Koniarek J., Węgliński B., Dielectromagnetic rotor of induction motor, Euro PM, Conference proceedings, vol. 4, Austria, Vienna 2004, s. 599-604
- [2]. Azarewicz S., Buniowski A., Weglinski B., Hybrid magnetic cores for reluctance electrical motors, PM2TEC, Conference proceedings, vol. 3, USA, Chicago 2004,
- [3]. Azarewicz S., Gaworska D., Węgliński B., Właściwości blach prądnicowych w ciekłych gazach. Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów elektrycznych Politechniki Wrocławskiej Proc. 2005

[4]. Bajorek J., Bajorek R., „Komputerowy system do pomiaru magnetycznych właściwości blach elektrotechnicznych w polach wirujących”, VI Krajowe Sympozjum Pomiarów Magnetycznych, Kielce 2005

[5]. „Cold rolled electrical steel” Katalog Stalproduct SA Bochnia 2004

Adres Autorów

Politechnika Wrocławska, Instytut Maszyn,
Napędów i Pomiarów Elektrycznych
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-372 Wrocław
e-mail: stanislaw.azarewicz@pwr.wroc.pl
bogumil.weglinski@pwr.wroc.pl