

INNOWACYJNE TECHNOLOGIE MASZYN ELEKTRYCZNYCH NOWEJ GENERACJI

Przedstawiono wyniki badań maszyn elektrycznych z magnesami trwałymi o konfiguracji tarczowej oraz cylindrycznej. Zaproponowano sposoby bu-dowy i warianty układów magnetycznych z segmentami magnesów trwa-łych oraz z ferromagnetycznymi koncentratorami. Zastosowanie złożo-nych układów wzbudzenia powoduje zwiększenie obciążenia magnetycz-nego oraz elektrycznego, co stanowi podstawę do opracowania maszyn elektrycznych ze zwiększonym jednostkowym momentem elektromagne-tycznym oraz zredukowanymi masami i gabarytami.

1 WSTĘP

Rozwój techniki i technologii stawia nowe wymagania elektromechanicznym przetwornikom energii (EMPE): wzrost zakresu regulacji prędkości obrotowej, zwiększenie dynamiki, jednostkowego momentu elektromagnetycznego, zmniejszenie stałych czasowych, polepszenie sprawności i niezawodności, poprawienie jakości i dokładności ruchu, zmniejszenie objętości i masy, zwiększenie wyzyskania maszyny oraz zmniejszenie szumów i wibracji. Obecnie produkowane EMPE nie zawsze mogą sprostać tym wymaganiom. Aby je spełnić, należy wykorzystać osiągnięcia w mikro- i energoelektronice, informatyce i inżynierii materiałowej razem z nową wiedzą w maszynach elektrycznych [1-4]. Referat poświęcono zasadom kształtowania EMPE nowej generacji.

2 UKŁADY Z WARIACJĄ WEKTORÓW NAMAGNESOWANIA MAGNESÓW TRWAŁYCH

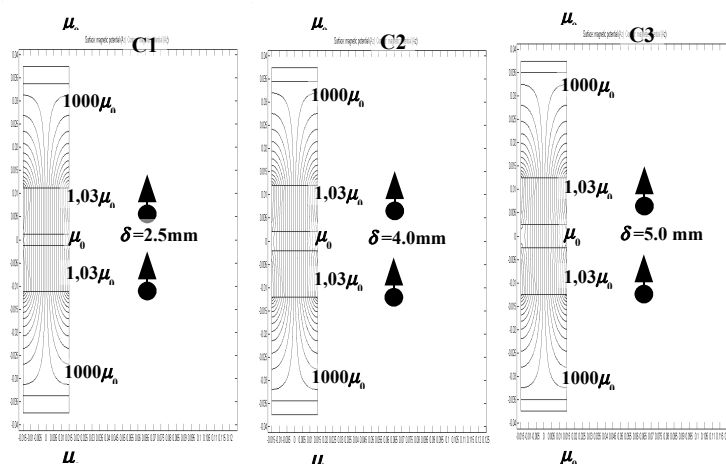
Nowe materiały magnetyczne twarde [3] pozwalają na konstruowanie obwodów wzbudzenia EMPE o zwiększonej indukcji magnetycznej w szczelinie, a także budowę złożonych obwodów magnetycznych. Rozwój technologii proszkowej pozwolił wytworzyć nowe materiały ferromagnetyczne o wysokiej względnej przenikalności magne-tycznej oraz indukcji nasycenia [2], co eliminuje ograniczenia konfiguracji konstrukcji i pozwala na produkcję EMPE o różnych kształtach o trójwymiarowym charakterze pola magnetycznego. Dlatego celowe jest stosowanie w obwodach kompozytów SMC (Soft Magnetic Composites) do

¹ Instytut Elektrotechniki, Politechnika Szczecińska, ul. Gen. Wł. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin, tel. (91) 449 42 17, e-mail: afonin@ps.pl

konstruowania nowych typów EMPE.

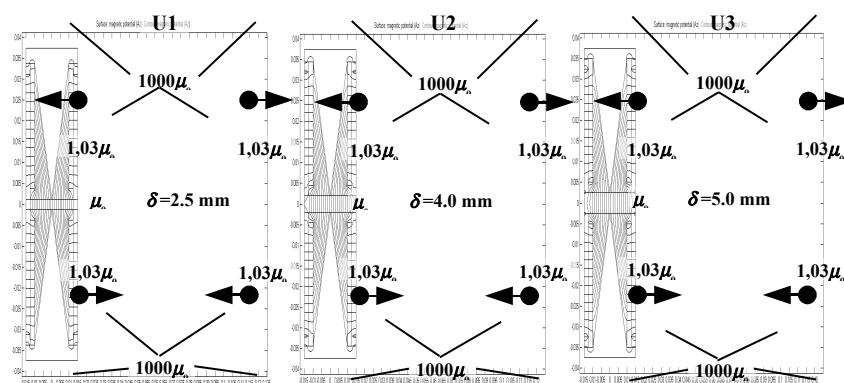
3 UKŁADY MAGNETYCZNE Z NORMALNYMI I TANGENCJALNYMI MAGNESAMI TRWAŁYMI

Na rysunku 1 pokazano konwencjonalny sposób dwustronnego ułożenia segmentów magnesów o normalnym namagnesowaniu dla jednej podziałki biegunowej $\tau_8=30$ mm.



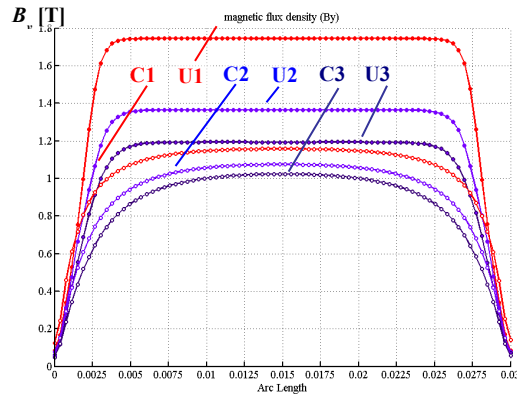
Rys. 1. Modele obwodów magnetycznych z normalnym ułożeniem magnesów trwałych

Rysunek 2 przedstawia linie pola magnetycznego w nowych modelach z tangencjalnym (w stosunku do szczeliny powietrznej) ułożeniem magnesów: U1 - $\delta=2.5$ mm, U2 - $\delta=4.0$ mm i U3 - $\delta=5.0$ mm. Magnesy o tej samej masie, jak w modelach C1, C2 i C3.



Rys. 2. Modele obwodów magnetycznych z tangencjalnym ułożeniem magnesów trwałych

W modelach C1-C3 i U1-U3 zastosowano magnesy trwałe typu VACODYM 655 HR. Na rysunku 3 pokazano rozkład składowej B_y pośrodku szczeliny na linii wzdłuż podziałki biegunowej τ_s . Widać, że tangencjalne ułożenie magnesów trwałych zwiększa intensywność pola w szczelinie i polepsza jego kształt (trapezoidalny).



Rys. 3. Przebiegi B_y pośrodku szczeliny powietrznej w modelach C1-C3 i U1-U3

W tabeli 1 zamieszczono wartości średnie $B_{y,av} = (1/\tau_s) \cdot \int_{-0.15}^{0.15} B_y(x, y=0) dx$ i wartości maksymalne $B_{y,max}$ indukcji magnetycznej na linii pośrodku szczeliny wzdłuż podziałki τ_s .

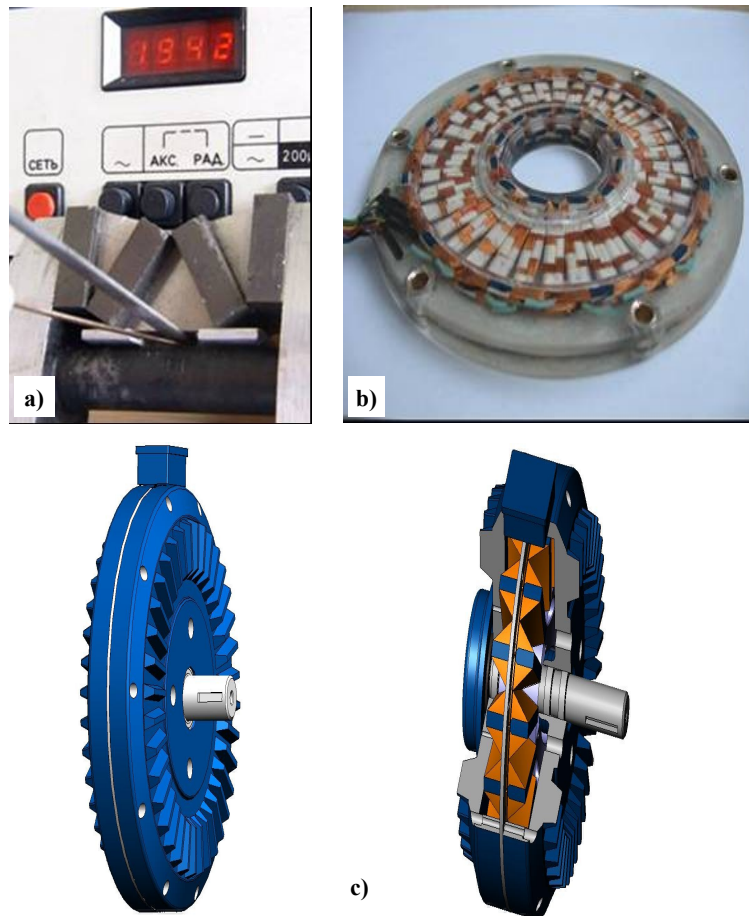
Tabela 1. Wyniki badań pola w modelach C1-C3 (rys. 1) i U1-U3 (rys. 2)

Modele	δ [mm]	$B_{y,av}$ [T]	$B_{y,max}$ [T]
C1	2.5	1.0220	1.1578
C2	4.0	0.9059	1.0750
C3	5.0	0.8409	1.0239
U1	2.5	1.5457	1.7459
U2	4.0	1.2058	1.3655
U3	5.0	1.0469	1.1934

Z rysunku 3 i tabeli 1 wynika, że poprzez zastosowanie tangencjalnego ułożenia magnesów trwałych uzyskuje się znaczny wzrost indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej. Wzrost ten szczególnie widać przy mniejszych szczelinach powietrznych; np. w modelu U1 uzyskano o około 50% większą wartość średnią indukcji magnetycznej (tab. 1). Przebieg rozkładu podłużnych składowych indukcji magnetycznej pośrodku szczeliny jest zbliżony do trapezoidalnego, co odpowiada wymaganiom stawianym EMPE typu BLDC (Brushless Direct Current). Wartość podłużnych składowych indukcji magnetycznej w modelach U1 i U2 przewyższa wartość indukcji remanencji magnesów trwałych ($B_r = 1.23$ T).

Na rysunku 4 zamieszczono przykładowe rozwiązania konstrukcyjne z zastosowaniem tangencjalnego ułożenia magnesów trwałych. Rysunek 4a prezentuje wyniki prowadzonych badań eksperymentalnych. W prezentowanym obwodzie

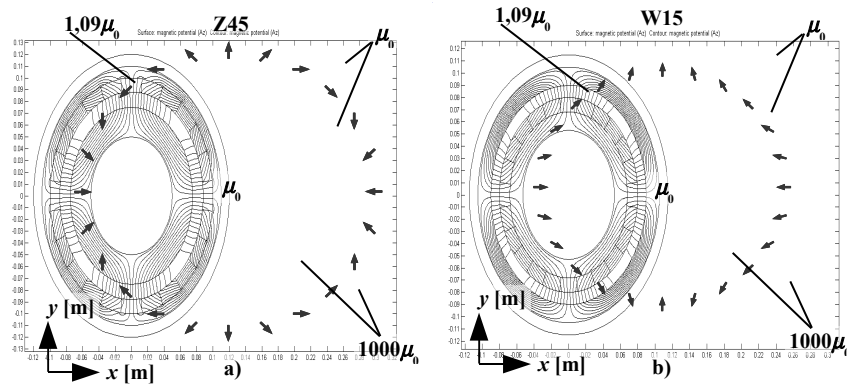
magnetycznym zastosowano magnesy trwałe, których $B_r = 1.23$ T, natomiast uzyskano indukcję magnetyczną o wartości $B_{y_{max}} = 1.942$ T. Rysunek 4c przedstawia silnik tarczowy z tangencjalnie ułożonymi magnesami trwałymi na wirniku. Takie rozwiązanie, w połączeniu z gładką konstrukcją stojana wg rysunku 4b, gdzie cewki ułożone są ze stosunkowo wysokim współczynnikiem zapewnienia miedzią, daje możliwość otrzymania wysokiego stosunku momentu silnika do jego masy przy mocno zredukowanych wibracjach (dzięki wyeliminowaniu rdzenia w stojanie).



Rys. 4. Przykłady zastosowań koncepcji kąтового ułożenia magnesów trwałych w obwodach magnetycznych EMPE

4 UKŁADY MAGNETYCZNE Z SINUSOIDALNYM ROZKŁADEM POŁA W SZCZELINIE

Na rysunku 5 zaprezentowano obwody magnetyczne realizujące sinusoidalny rozkład promieniowej składowej indukcji magnetycznej w szczelinie. Rysunek 5a przedstawia obwód magnetyczny Z45 z wirnikiem zewnętrznym, w którym wektory namagnesowania sąsiednich segmentów magnesów trwałych są przesunięte względem siebie o 45° . Szczelina powietrzna struktury Z45 jest duża i ma wymiar: $\delta = 13$ mm. Natomiast rysunek 5b przedstawia obwód magnetyczny W15 z wirnikiem wewnętrznym, w którym wektory namagnesowania sąsiednich magnesów trwałych są przesunięte względem siebie o 15° . Szczelina powietrzna struktury W15 stanowi: $\delta = 10$ mm. W modelach Z45 i W15 zastosowano magnesy trwałe typu VACODYM 722HR, których $B_r = 1.47$ T.

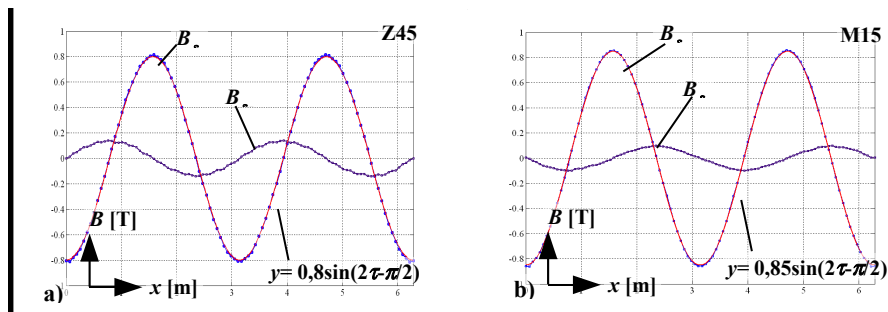


Rys. 5. Obwody magnetyczne układów z magnesami trwałymi o zmiennych wektorach namagnesowania; a) z wirnikiem zewnętrznym, b) z wirnikiem wewnętrznym

Rezultaty badań przedstawione zostały w postaci przebiegów podłużnej i stycznej składowych indukcji magnetycznej pośrodku szczeliny na rysunku 6. Rysunek 6a prezentuje wyniki dla struktury Z45, natomiast rysunek 6b – dla struktury W15.

Z badań wynika, że przy ułożeniu kolejnych segmentów magnesów trwałych według zasad, przedstawionych na rysunkach 5a i 5b, można uzyskać prawie idealny sinusoidalny rozkład składowej promieniowej indukcji magnetycznej zarówno w obwodach magnetycznych z zewnętrznym jak i wewnętrznym wirnikiem.

Potwierdzają to nałożone na rysunkach 6a i 6b przebiegi sinusoidy matematycznej. Przebiegi te odpowiednio się pokrywają.



Rys. 6. Wyniki badań symulacyjnych modeli obwodów magnetycznych:
 a) z wirnikiem zewnętrznym – Z45, b) z wirnikiem wewnętrznym – W15

W strukturach Z45 i W15 zastosowano duże szczeliny i uzyskano względnie wysoką wartość indukcji magnetycznej, dużych w dużych szczelinach można umieścić znaczną ilość miedzi, co pozwala zwiększyć obład prądowy i moment elektromagnetyczny.

5 WNIOSKI

Przeprowadzone badania pokazują, że przez odpowiednie kształtowanie struktury obwodów wzbudzenia z magnesami trwałymi o różnych kątach wektorów namagnesowania i elementami ferromagnetycznymi uzyskuje się podwyższone wartości indukcji magnetycznej o kształcie sinusoidalnym lub trapezowym w szczelinie powietrznej. Ponadto możliwe jest wytworzenie wysokich wartości indukcji magnetycznej dla stosunkowo dużych szczelin powietrznych, w których rozmieszczone są uzwojenia sterujące. Układy magnetyczne o wysokich wartościach indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej pretendują szczególnie do zastosowania w strukturach gładkich w celu podwyższenia momentu elektromagnetycznego, proporcjonalnego do iloczynu obładu prądowego i indukcji magnetycznej. Istnieje możliwość osiągnięcia wartości indukcji magnetycznej w szczelinie powyżej indukcji remanencji magnesów trwałych.

W ten sposób przez odpowiednie ułożenie źródeł wytwarzania pola można realizować zadany kształt rozkładu indukcji magnetycznej w szczelinie (przebiegi sinusoidalne lub trapezowe, a także pole jednorodne) i osiągnąć również koncentrację pola.

6 LITERATURA

1. Afonin A. A., Gieras J., Szymczak P., *Permanent magnet brushless motors with innovative excitation systems*, Proc. 6th Intern. Conf. on Unconventional Electromechanical and Electrical Systems UEES'04. Alushta, Ukraine, September 24-29, 2004, Vol. 1, 27-38.
2. Jansson P., Application of Soft Magnetic Composite Materials to Electric Motors. Proc. of the 10th International POWER ELECTRONICS and MOTION CONTROL Conference EPE-PEMC, Dubrovnik, Croatia, 9-11 September, 2002, CD-Rom.
3. <http://www.vacuumschmelze.de>

4. Hull J. R., Turner L. R., Magnetomechanics of Internal-Dipole, Halbach-Array Motor/Generators. *IEEE Trans. Magn.*, 36 (2000), n.4, 2004-2011.

INNOVATIVE TECHNOLOGY OF NEW GENERATION ELECTRICAL MACHINES

The research results in magnetic systems of brushless electrical machines with cylindrical or disc geometry have been discussed. Various approaches to combined magnetic system design with permanent magnet segments and ferromagnetic field concentrators have been proposed. The application of combined magnetic systems allows to increasing both the magnetic and electrical loadings. This is the basis for development of new type electrical machines.