

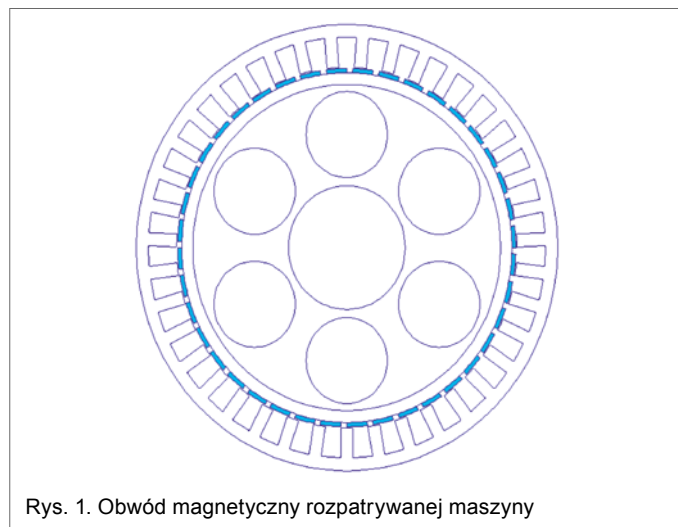
Eliminacja naciągu magnetycznego w wielobiegunowej prądnicy z magnesami trwałymi

Zbigniew Goryca, Artur Pakosz

W maszynach z magnesami trwałymi występuje moment zaczepowy, będący wynikiem zmiennej przewodności magnetycznej obwodu magnetycznego tych maszyn. Moment ten zależy od wartości indukcji w szczelinie, rozpiętości kątowej pojedynczego magnesu i liczby biegunów [2, 3, 4]. Przy zwiększaniu liczby biegunów moment zaczepowy wzrasta. Najczęściej stosowanym sposobem jego zmniejszenia jest pakietowanie blach stojana ze skosem o jedną podziałkę żłobkową [3, 5]. Pociąga to jednak za sobą wzrost kosztów związany z wykonaniem przyrządu do takiego pakietowania, a także zmniejszenie użytecznej powierzchni żłobka. W przypadkach, gdy pakiet stojana jest krótki, zmniejszenie powierzchni żłobka wywołane skosem jest wyraźne i występują kłopoty z uzwojeniem maszyny. W przypadkach, gdy liczba biegunów jest duża, dobrym sposobem minimalizacji momentu zaczepowego jest stosowanie niesymetrii w postaci różnej liczby biegunów stojana i wirnika maszyny. W poniższej pracy przedstawiono taki przykład z omówieniem jego negatywnych skutków oraz sposób rozwiązania problemów związanych z naciągiem magnetycznym.

Konstrukcja wielobiegunowej, niesymetrycznej prądnicy

Na rys. 1 pokazana została konstrukcja prądnicy, której stojan ma 39 żłobków, zaś wirnik ma 40 przemiennie magnesowanych biegunów magnetycznych. W celu zmniejszenia masy wirnika wykonano w nim 6 otworów o średnicy 80 mm. Dobrym sposobem zmniejszenia masy jest także wykonanie wirnika ze szprychami. Konstrukcja taka powoduje bardzo wyraźne zmniejszenie momentu zaczepowego prądnicy [6] i zmniejszenie jej masy.



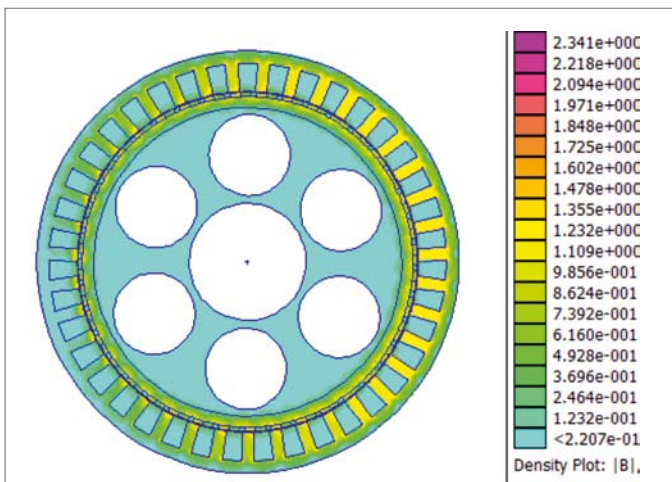
🇬🇧 MAGNETIC TENSION IN ASYMETRIC MULTI-POLES MACHINE WITH PERMANENT MAGNETS

Abstract: The papers presents problems occurring during application of magnetic tension in asymmetric machine with permanent magnets. In order to minimize cogging torque of 40 poles three-phase generator, asymmetry of machine consisting in the usage of different number of poles in the rotor and the stator has been applied. Introduction of asymmetry reduced significantly both cogging torque and radial magnetic tension having negative impact on evenness of air gap. Unevenness of air gap has negative influence on arising following phenomenon: generator knocking, an increase of cogging torque and vibration of generator. The paper presents calculation of magnetic tension and the manner of its balance.

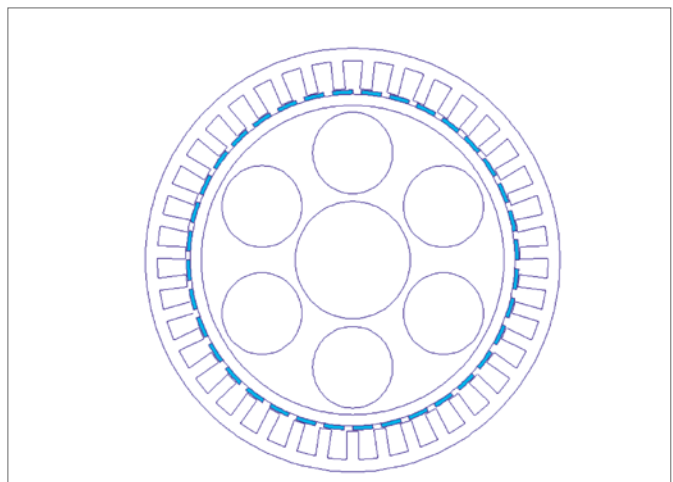
Obliczenia przeprowadzone metodą elementów skończonych przy użyciu programu Comsol Multiphysics [7] pokazują nierównomierny rozkład indukcji w elementach obwodu magnetycznego maszyny, co obrazuje rys. 3. Ponowne obliczenia przeprowadzone w programie Femm dają identyczny rozkład indukcji.

Jak widać na rys. 3, wartość indukcji jest wyraźnie różna na obwodzie maszyny. Takie zróżnicowanie powoduje powstanie naciągu magnetycznego skierowanego w stronę większych wartości indukcji magnetycznej. Dla wirnika o średnicy 333 mm, 1 mm szczeliny powietrznej, magnesu o wysokości 4 mm i dłu-

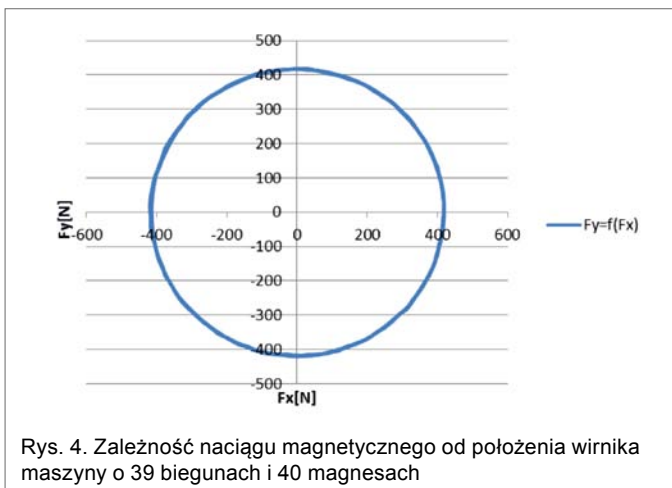




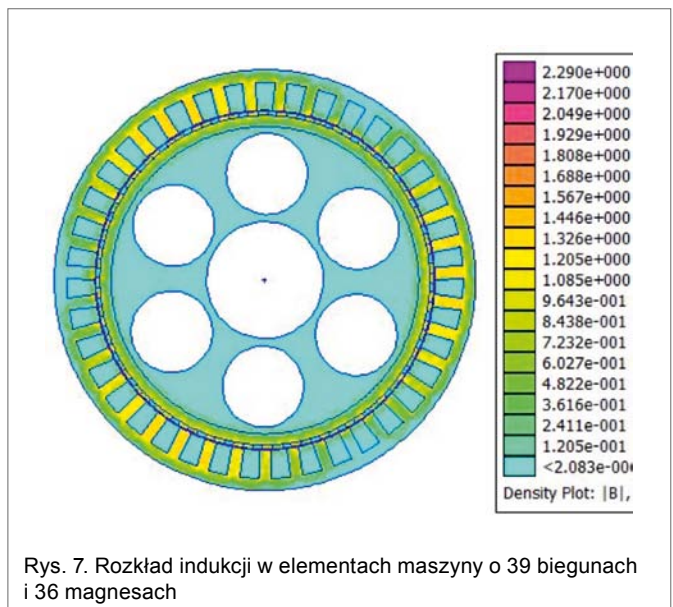
Rys. 3. Rozkład indukcji w elementach maszyny o 39 biegunach i 40 magnesach



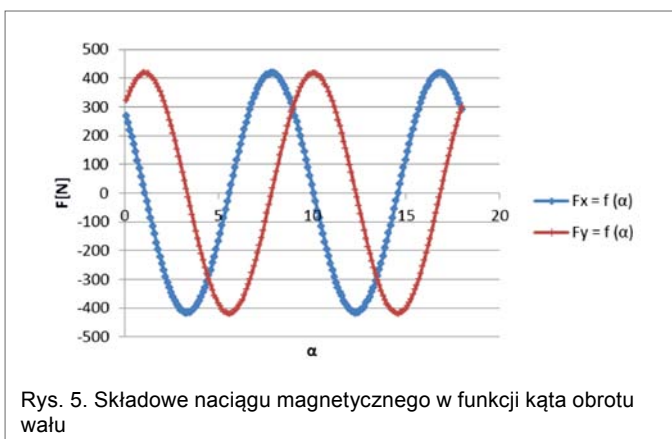
Rys. 6. Obwód magnetyczny maszyny z 39 żłobkami i 36 magnesami



Rys. 4. Zależność naciągu magnetycznego od położenia wirnika maszyny o 39 biegunach i 40 magnesach



Rys. 7. Rozkład indukcji w elementach maszyny o 39 biegunach i 36 magnesach



Rys. 5. Składowe naciągu magnetycznego w funkcji kąta obrotu wału

gości pakietu stojana 60 mm obliczona siła naciągu jest równa w przybliżeniu 420 N. Na rys. 4 i 5 przedstawiono zależność naciągu magnetycznego, występującego w maszynie niesymetrycznej w zależności od położenia wirnika.

Obliczenia naciągu magnetycznego zostały wykonane w programie Femm. Do wyznaczenia sił F_x i F_y służą odpowiednie funkcje wywoływane w oknie Lua Script. Siły obliczono, korzystając z metody naprężeń tensora – *Force from stress tensor*.

Jak widać z wykresów, wypadkowa siła działająca na wał jest w przybliżeniu stała. Tak znaczna siła powoduje powstanie nierównomiernej szczeliny powietrznej, gdyż pomijając ugięcie

wału maszyny, wszystkie luzy w łożyskach odejmowane są ze strony większej indukcji i dodawane do wartości szczeliny ze strony indukcji o mniejszych wartościach. W założeniu pomija się wspomniane wcześniej ugięcie wału oraz zniekształcenie blach stojana. Zjawisko nierównomierności szczeliny jest na tyle istotne, że występują wyraźne punkty zwiększenia momentu zaczepowego i związane z nim zjawisko stukania maszyny podczas pracy z niewielkimi prędkościami obrotowymi. Eksperymenty przeprowadzone na prototypie maszyny wykazały, że przy wstępnym obciążeniu łożysk siłą rzędu 300 N zjawisko stukania ustaje.

Eliminacja naciągu magnetycznego

Naciąg magnetyczny można wyeliminować przez wprowadzenie symetrii w połowie lub w pewnej części wirnika, czyli przez wprowadzenie sił znoszących się. Przy maszynie trójfazowej skutecznym zabiegiem jest wprowadzenie niesymetrii na 1/3 obwodu wirnika. Wówczas w każdej 1/3 wirnika występuje naciąg magnetyczny i wypadkowe trzy siły przesunięte o 120° równoważą się. Taki przypadek ma miejsce przy 39 biegunach stojana i 36 magnesach umieszczonych na wirniku – rys. 6.

Obliczenia przeprowadzone w dwóch wspomnianych wcześniej programach dają obraz indukcji pokazany na rys. 7.

Jak widać na obwodzie maszyny występują trzy równomiernie rozłożone obszary indukcji o większej wartości. Efektem takiej „symetryzacji” jest wielokrotne zmniejszenie siły naciągu magnetycznego. Obliczenia przeprowadzone dla identycznych magnesów pokazują, że siła naciągu zredukowana została do 1 N, czyli jest praktycznie pomijalnie mała.

Wnioski

Przy niesymetrycznych konstrukcjach maszyn z magnesami trwałymi należy liczyć się z kierunkowym naciągiem magnetycznym, niesymetrią szczeliny powietrznej oraz z ujemnymi skutkami tego zjawiska. Odpowiednia zmiana obwodu magnetycznego, wprowadzająca symetrię, praktycznie eliminuje naciąg magnetyczny i praktycznie nieznacznie zmniejsza moment zaczepowy maszyny. Po takiej zmianie maszyna pracująca jako prądnica jest cichsza i ma mniejsze drgania.

Powyższe doświadczenia zdobyto przy budowie trzech wolnoobrotowych (150 obr./min) prądnic przeznaczonych do małych elektrowni wiatrowych.

Praca została wykonana w ramach projektu rozwojowego nr N R01 0015 06/2009 finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

Literatura

- [1] GLINKA T.: *Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002.
- [2] ŁUKANISZYN M., MŁOT A.: *Analiza momentu elektromagnetycznego i składowych pulsacji w bezszczotkowym silniku prądu stałego wzbudzonym magnesami trwałymi*. „Przegląd Elektrotechniczny” nr 10, 2005.
- [3] GAJEWSKI M.: *Analiza pulsacji momentu w silnikach bezszczotkowych z magnesami trwałymi*. Rozprawa doktorska, Politechnika Warszawska, Wydział Elektryczny, Warszawa 2007.
- [4] GORYCA Z.: *Niskonapięciowy, wolnoobrotowy napęd z bezszczotkowym silnikiem prądu stałego*. XV Konferencja „Problemy Eksploatacji Maszyn i Napędów Elektrycznych”, Ustroń 17–19 maja 2006.
- [5] GORYCA Z., ZIÓLEK M., MALINOWSKI M.: *Moment zaczepowy wielobiegunowej maszyny z magnesami trwałymi*. Sympozjum Maszyn Elektrycznych SME’2010, Ustroń, 21–24 czerwca 2010.
- [6] GORYCA Z., SZCZYPIOR J.: *Napęd skutera elektrycznego bezszczotkowym silnikiem z wysokoenergetycznymi magnesami trwałymi*. Sixth International Conference: Drives and Supply Systems for Modern Electric Traction in Integrated XXIst Century Europe, Pułtusk, September 27–22, 2003.
- [7] COMSOL Multiphysics wersja 3.3 licencja nr 1027828.

dr hab. inż. Zbigniew Goryca, prof. P.R. – Instytut Automatyki i Telematyki, Wydział Transportu i Elektrotechniki, Politechnika Radomska, e-mail: tgoryca@kki.net.pl, z.goryca@pr.radom.pl;
mgr inż. Artur Pakosz – Zespół Szkół Elektronicznych,
e-mail: apakosz@wp.pl