

Wojciech Radwański, BOBRME KOMEL, Katowice  
Jerzy Madej, Akademia Techniczno Humanistyczna, Bielsko-Biała

## NACIĄG MAGNETYCZNY W MASZYNACH ELEKTRYCZNYCH WIRUJĄCYCH Z MAGNESAMI TRWAŁYMI

### THE TENSION OF THE MAGNETIC ROTATING ELECTRICAL MACHINES WITH PERMANENT MAGNETS

**Streszczenie:** Poniższy artykuł przedstawia koncepcyjny model 3D stanowiska do pomiaru siły naciągu magnetycznego w silniku typu SMzSPA132S-4. Stanowisko wraz z czujnikami w postaci belek tensometrycznych posłuży do wyznaczenia niepożądanego zjawiska, jakim jest naciąg magnetyczny w maszynach wirujących z magnesami trwałymi. Koncepcyjny model 3D stanowiska badawczego zakłada zbadanie siły naciągu magnetycznego działającej na wirniki w sposób promieniowy (wynikający z niesymetryczności wirnika względem stojana) oraz w sposób osiowy. W artykule opisano również sposób pomiaru siły naciągu magnetycznego.

**Abstract:** This article presents a conceptual 3D model of test stand designed for measure magnetic tension force in SMzSPA132S-4 motor. The test stand with sensors (strain gauge) will be used to determine unfavorable effect of magnetic tension occur in rotating machines with permanent magnets. Conceptual 3D model assume measurements of magnetic tension force acting on a rotor in a radial (due to the asymmetry of the rotor relative to the stator) and axial manner. Measurement of magnetic tension force are described in article.

**Słowa kluczowe:** silnik z magnesami trwałymi, naciąg magnetyczny, stanowisko badawcze.

**Key words:** permanent magnet synchronous motor, magnetic tension force, test stand.

#### 1. Wstęp

Obliczenia wytrzymałościowe wału w silniku elektrycznym z magnesami trwałymi przeobraża się analogicznie jak obliczenia wytrzymałościowe dla silnika asynchronicznego.

Z uwagi na występowanie w maszynach z magnesami trwałymi stałej siły magnetomotorycznej wzbudzenia w wirniku, zagadnienie naciągu magnetycznego w tych maszynach jest bardziej złożone niż w przypadku maszyn indukcyjnych asynchronicznych. Jest ono także istotniejsze z uwagi na stosowane w maszynach z magnesami trwałymi wyższe wartości indukcji magnetycznej w szczelinie powietrznej w stosunku do wartości stosowanych w maszynach indukcyjnych. Konieczne wydaje się więc podjęcie prac mających na celu zrozumienie zjawiska naciągu magnetycznego w maszynach z magnesami trwałymi i opracowanie metod obliczeniowych pozwalających możliwie dokładnie szacować wpływ tego zjawiska na poprawność działania projektowanych w KOMEL-u tego typu maszyn z magnesami trwałymi. W celu wyznaczenia działających na wirnik sił pochodzących od naciągu magnetycznego w silniku z magnesami trwałymi w pierwszym etapie pracy zaprojektowano w programie Autodesk Inventor stanowisko badaw-

cze wraz z systemem czujników tensometrycznych.

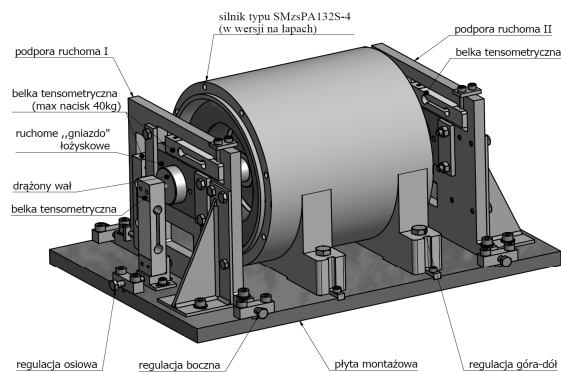
#### 2. Opis stanowiska badawczego

Bazą stanowiska jest płyta o grubości 20 mm z wywierconymi otworami montażowymi i wyfrezowanymi rowkami, które służą do przesuwu podpór trzymających wirnik oraz do zakotwiczenia silnika 4 klinami na płycie montażowej. Obiektem badań będzie silnik typu SMzSPA132S-4 z magnesami SPM (magnesy przyklejone na zewnętrzną powierzchnię blach wirnika). Silnik jest wykonany w wersji z kadłubem na łapach, co ułatwia montaż silnika na płycie. Szczelina pomiędzy wirnikiem, a stojanem wynosi 1,5 mm, co pozwala na szerszy zakres regulacji położenia wirnika względem stojana.

W celu wycentrowania wirnika względem stojana przewidziano regulację w trzech osiach:

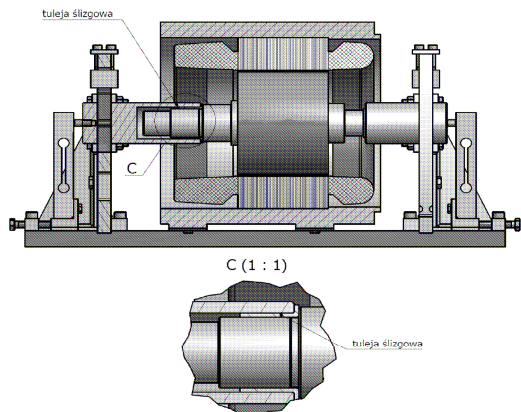
- regulacja kadłuba w kierunku góra-dół poprzez podkładki wkładane między łapy kadłuba, a płytę montażową,
- regulacja osiowa poprzez wkręcanie bądź wykręcanie śruby,
- regulacja boczna lewo-prawo poprzez wkręcanie bądź wykręcanie śruby.

Wstępna próba wycentrowania wirnika względem stojana będzie polegała na włożeniu w szczelinę 1,5 mm pomiędzy pakiet wirnika, a pakiet stojana materiału niemagnetycznego o grubości równej grubości szczeliny. Następnie całość zostanie skręcona śrubami, które również stanowią elementy regulacyjne.



Rys. 1. Model 3D stanowiska do badania siły naciągu magnetycznego

Wirnik będzie się poruszał w tulejach ślizgowych, które zostaną zamocowane w dwóch drążonych wałkach w celu zamocowania wirnika w „gnieździe” łożyskowym. Podczas krótkiego rozruchu część warstwy ślizgowej przenoszona będzie z tulei na powierzchnię ślizgową tworząc na niej film smarujący. Dzięki niskiej wartości współczynnika tarcia łożyska będą mogły doskonale pracować bez żadnego dodatkowego smarowania. Tuleje ślizgowe będą dodatkowym obiektem badań. Ich prędkość obrotowa wynosi bez smarowania max 1100obr/min, z kolei silnik będzie się mógł kręcić z prędkością znacznie większą, tak więc prawdopodobnie będzie można dokonać zniszczenia tulei i zaobserwowania w jakim czasie to nastąpi.

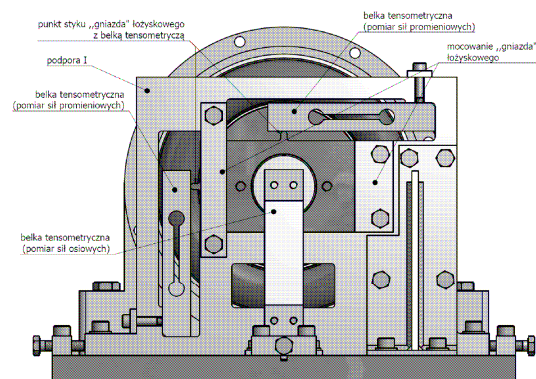


Rys. 2. Przekrój stanowiska pomiarowego, widok tulei

### 3. Sposób pomiaru siły naciągu magnetycznego

Do pomiaru siły naciągu magnetycznego posłuży 6 belek tensometrycznych o zakresie pomiarowym do ~392N. Belki będą zamocowane w pozycji, jak na rysunku nr 3 (układ belek tensometrycznych po drugiej stronie silnika jest taki sam). Cztery belki tensometryczne zamontowane w podporach posłużą do wyznaczenia sił promieniowych, natomiast dwie pozostałe belki zamontowane w osi silnika do wyznaczenia siły osiowej.

„Gniazdo” łożyskowe, w którym będzie osadzony wirnik zostanie zamocowane w podporach I i II tak, aby mogło swobodnie przesuwać się w kierunku belek tensometrycznych i wywierać na nie nacisk w punktach wskazanych na rysunku nr 3. „Gniazdo” łożyskowe zostanie w miejscach mocowania wstępnie wyluzowane, a w celu zminimalizowania tarcia zostanie zastosowany środek smarujący.



Rys. 3. Montaż belek tensometrycznych typu BTENS-NI-040

Pomiar siły naciągu magnetycznego zostanie przeprowadzony w laboratorium w BOBRME KOMEL. Belki tensometryczne zostaną wstępnie skalibrowane tzn. zostanie wyznaczona charakterystyka liniowa rezystancji w funkcji siły. Na rysunku nr 4 została pokazana belka tensometryczna, jaka zostanie użyta do pomiarów. Po skalibrowaniu belek tensometrycznych będzie można wyznaczyć wartość siły pochodzącej od naciągu magnetycznego podczas pracy silnika i w stanie spoczynku. Otrzymane wyniki zostaną wykorzystane do weryfikacji obliczeń przeprowadzonych w programie MES, w którym zostanie zasymulowane zjawisko naciągu magnetycznego.



Rys. 4. Belka tensometryczna typu BTENS-NI-040

#### 4. Podsumowanie

Projekt badań dotyczących zjawiska naciągu magnetycznego w maszynach wirujących z magnesami trwałymi jest projektem prekursor-skim. Prace przewidziane w projekcie umożli-wią poszerzenie wiedzy z zakresu obliczeń wytrzymałościowych wału oraz żywotności łożysk. Wyniki badań przyczynią się do zwiększenia niezawodności maszyn elektrycznych.

W roku 2012 została opracowana idea pomiaru siły naciągu magnetycznego. Wykonano model 3D stanowiska pomiarowego oraz zakupiono belki tensometryczne.

W roku bieżącym zostanie zbudowane rzeczy-wiste stanowisko pomiarowe oraz dokonana ewentualna korekta jego parametrów. W dal-szym etapie planuje się opracowanie algorytmu do obliczeń naciągu magnetycznego w maszy-nach elektrycznych z magnesami trwałymi.

#### Literatura

- [1]. T.P. Holopainen, A. Tenhunen, A. Arkkio, "Electromechanical Interaction in Rotor Vibrations of Electric Machines", *Proceedings of the 5th World Congress on Computational Mechanics*, 10 p., Vienna, Austria, 7-12 July, 2002.
- [2]. N. Lundström, "Dynamic Consequences of Shape Deviations in Hydropower Generators", Licentiate Thesis, Luleå University of Technology Sweden, August 2006.; <http://epubl.luth.se/1402-1757/-2006/39/index.html>.
- [3]. H. A. Toliyat, A. A. N. Nabil, "Simulation and Detection of Dynamic Air-gap Eccentricity in Sali-ent-Synchronous machines," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, Vol. 35, No. 1, pp. 86–93, Jan. 1999.
- [4]. Agnieszka Muszyńska, "Rotordynamics", Tay-lor & Francis, 2005.

#### Autorzy

mgr inż. Wojciech Radwański  
 w.radwanski@komel.katowice.pl  
 Branżowy Ośrodek Badawczo-Rozwojowy  
 Maszyn Elektrycznych KOMEL  
 al. Roździeńskiego 188.  
 40-203 Katowice

dr hab. inż. Jerzy Madej, prof. ATH  
 juma@ath.bielsko.pl  
 Akademia Techniczno-Humanistyczna  
 Katedra Podstaw Budowy Maszyn  
 Zakład Wytrzymałości Materiałów i Maszyn  
 Przepływowych  
 43-309 Bielsko Biała, ul. Willowa 2