

Zbigniew PILCH, Wojciech BURLIKOWSKI

Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Przemysłowej, Zakład Mechatroniki

OBLICZENIA ELEKTROMAGNETYCZNE I WYTRZYMAŁOŚCIOWE WIRNIKA GENERATORA DRGAŃ SKRĘTNYCH

Streszczenie. W artykule omówiono etapy procesu projektowego wirnika generatora drgań skrętnych, realizowanego w ramach projektu badawczego KBN nr rej. 4 T10A 002 24. Podstawowe założenia związane z geometrią projektowanego wału dotyczyły osadzenia go w seryjnie produkowanym stojanie dla silnika indukcyjnego Sg 132S4. Przedstawiono wyniki obliczeń numerycznych stanu naprężeń i odkształceń pod wpływem momentu elektromagnetycznego, którego wartość uzyskanego poprzez obliczenia połowe. Przedstawiono również wyniki uproszczonych obliczeń cieplnych.

ELECTROMAGNETIC AND DURABILITY CALCULATIONS OF THE ROTOR OF TORSIONAL VIBRATIONS GENERATOR

Summary. The paper presents design process of the rotor of torsional vibrations generator, performed within the frame of research project KBN nr rej. 4 T10A 002 24. Basic assumptions related to geometry of the designed rotor were connected with employment of standard stator design from induction motor Sg 132S4. Results of numerical calculations of stresses and strains under the influence of electromagnetic torque were obtained with the help of field methods. Simplified thermal analysis is presented.

1. GENEZA POMYSŁU GENERATORA DRGAŃ SKRĘTNYCH

Pomysł wykorzystania zmodyfikowanej maszyny bazującej na konstrukcji silnika indukcyjnego klatkowego jako generatora drgań skrętnych zrodził się na podstawie realizowanych w Zakładzie Mechatroniki prac doktorskich [4, 7]. Prace poprzedzające te doktoraty oraz artykuły i publikacje były prezentowane między innymi na konferencjach: SME (2002, 2003), SMwM (2001, 2002, 2003), SENE (2001, 2003), PPEE (2003).

Generator ten można zastosować w budowie pulsatora (urządzenia do badań zmęczeniowych) [5].

Rozpatrywany generator jest seryjnie produkowanym silnikiem indukcyjnym Sg 132S-4 o podstawowych parametrach: $P_n=5,5$ kW, $U_n=380$ V, $I_n=11,6$ A, $n_n=1450$ obr/min, $Q_s=36$ (liczba żłobków stojana) i $Q_r=28$ (liczba żłobków wirnika), w którym skośne żłobki wirnika zastąpiono prostymi. Jak wykazano w pracy [6], korzystną konfiguracją liczby żłobków stojana do wirnika ze względu na generowanie momentów przemiennych jest stosunek $Q_s/Q_r=36/28$.

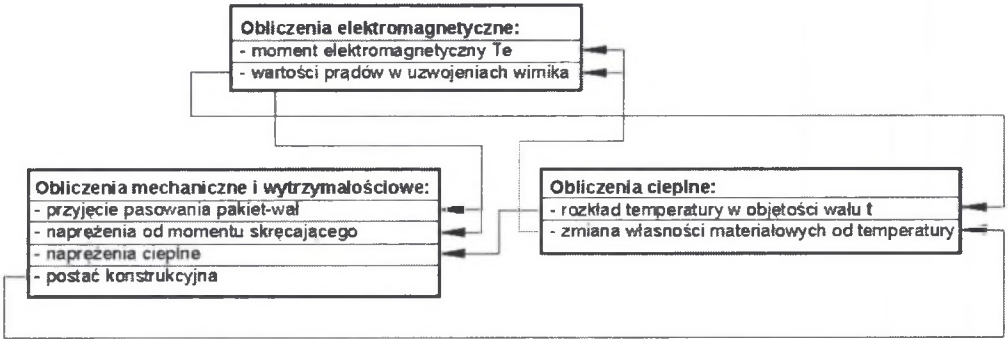
Istotą działania generatora jest jego praca w stanie zwarcia. W tym stanie pracy (a więc przy prędkości kątowej wirnika $\Omega_m=0$) generator wytwarza moment przemienny o częstotliwości równej podwojonej częstotliwości sieci zasilającej.

$$f_{(v,\rho)}(\Omega_m, f_0) = |-2f_0|, \quad (1)$$

gdzie:

- Ω_m - mechaniczna prędkość kątowa silnika,
- f_0 - częstotliwość sieci zasilającej.

Taki stan pracy maszyny elektrycznej ściśle związany jest z występowaniem zjawisk elektromechanicznych oraz cieplnych. Zjawiska te decydują o obciążeniach, a więc o stanie wytrzymałościowym. Wzajemne relacje pomiędzy tymi zagadnieniami przedstawia schemat ideowy na rys. 1.



Rys. 1. Schemat ideowy relacji w algorytmie projektowania

Fig. 1. Simplified relation scheme in the design process

W dalszej części pracy przedstawione będą wyniki obliczeń, związane z poszczególnymi etapami projektowania. Przy projektowaniu przyjęto następujące założenia:

1. Wirnik powinien być osadzony w fabrycznie produkowanym stojanie. Oznacza to ograniczenia na:
 - średnicę zewnętrzną wirnika (w seryjnym silniku wynosi $D_{zw}=133,3$ mm).
 - rozstaw pomiędzy zewnętrznym obrysem łożysk wirnika $l=272$ mm.
 - średnicę zewnętrzną łożysk wirnika $d_{zl}=90$ mm (konieczność osadzenia wirnika w seryjnie produkowanych pokrywach łożyskowych).
2. Uzwojenie wirnika ma być wykonane jako skręcana klatka miedziana.
3. Przyjęto metodę osadzenia pakietu blach elektrotechnicznych na wale generatora jako połączenie skurczowe. Polega ono na doborze odchyłek dla średnicy zewnętrznej wału oraz średnicy wewnętrznej osadzanego elementu tak, aby po zmontowaniu układu nie nastąpiło wzajemne przemieszczenie kątowe łączonych elementów względem siebie. Powyższe wartości przyjęto jako stałe w trakcie prowadzonego procesu projektowego.

2. OBLICZENIA ELEKTROMAGNETYCZNE

Głównym celem obliczeń elektromagnetycznych było wyznaczenie przebiegu czasowego momentu elektromagnetycznego jako wartości wejściowej do obliczeń mechanicznych i wytrzymałościowych.

Założenia upraszczające dla obliczeń elektromagnetycznych:

- przyjęcie stanu ustalonego: elektromagnetycznego i cieplnego przy analizie generatora,
- pominięcie wpływu wyższych harmonicznych czasowych w prądach generatora (zasilanie falownikowe),
- pominięcie wpływu drgań wirnika,
- przybliżone uwzględnienie zjawiska nasycenia, wykorzystujące zastępczą (uśrednioną czasowo) przenikalność magnetyczną [8],
- pominięcie wpływu efektów krańcowych.

Możliwość przyjęcia powyższych założeń została potwierdzona badaniami wstępnymi.

Otrzymane wyniki obliczeń pozwoliły na ocenę wpływu wybranych parametrów konstrukcyjnych (kształtu żłobka wirnika, położenia klatki wirnika) na wartość amplitudy momentu pulsującego, którego generacja jest podstawowym zadaniem projektowanego urządzenia.

2.1. Obliczenia momentu

W obliczeniach momentu elektromagnetycznego zastosowano metodę, wykorzystującą rozwiązanie lokalne równania Laplace'a we współrzędnych walcowych (r, φ) [3]. W metodzie tej określa się rozkład wektorowego potencjału pola magnetycznego.

$$\underline{A}_z(r, \varphi, t) = \underline{A}_z(r, \varphi) e^{j\omega t}, \quad (2)$$

na dwóch koncentrycznych okręgach o promieniach: wewnętrznym r_i i zewnętrznym r_o , położonych w szczelinie powietrznej generatora [3]. Rozwiązanie równania Laplace'a dla $r_i < r < r_o$ ma wówczas postać:

$$\underline{A}_z(r, \varphi) = \sum_{k=1}^N \left(\underline{a}_k \left(\frac{r}{r_i} \right)^k \cos(k\varphi) + \underline{b}_k \left(\frac{r}{r_i} \right)^k \sin(k\varphi) + \underline{c}_k \left(\frac{r_i}{r} \right)^k \cos(k\varphi) + \underline{d}_k \left(\frac{r_i}{r} \right)^k \sin(k\varphi) \right), \quad (3)$$

Współczynniki \underline{a}_k , \underline{b}_k , \underline{c}_k , \underline{d}_k dla każdej harmonicznej przestrzennej k rozkładu pola są wyznaczone w funkcji położenia kąowego wirnika α na podstawie rozwiązania numerycznego. Obliczenia wykonano przy wykorzystaniu algorytmu Fouriera. Składowe wektora indukcji magnetycznej otrzymujemy z zależności:

$$\underline{\bar{B}}(r, \varphi) = \text{rot} \left(\left[0, 0, \underline{A}_z(r, \varphi) \right] \right) = \left[\underline{B}_r, \underline{B}_\varphi, 0 \right]. \quad (4)$$

Podstawiając je do zależności na moment elektromagnetyczny [3]:

$$T_e(t) = \frac{r^2 l_e}{\mu_0} \int_0^{2\pi} B_r(r, \varphi, t) B_\varphi(r, \varphi, t) d\varphi, \quad (5)$$

gdzie: l_e – długość maszyny, r – promień, na którym wyznaczone jest pole, można wyznaczyć dwie składowe momentu elektromagnetycznego:

- składową rozruchową $T_{roz}(\alpha)$ o średniej wartości okresowej różnej od zera, obejmującą moment asynchroniczny i momenty synchroniczne o $n_s=0$ [2];

$$T_{roz}(\alpha) = T_a(\alpha) + T_s(\alpha) = \frac{2\pi}{\mu_0} I_e \sum_{k=1}^N \left(k^2 \operatorname{Re} \left\{ \underline{b}_k^* \underline{c}_k - \underline{a}_k^* \underline{d}_k \right\} \right) = \sum_{k=1}^N T_{roz,k}, \quad (6)$$

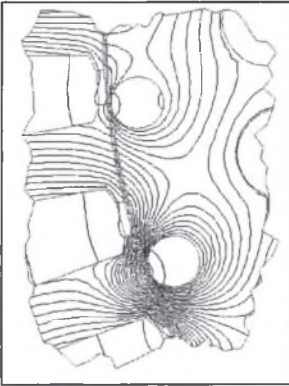
gdzie symbol \underline{a}_k^* , \underline{b}_k^* oznaczają wartości sprzężone współczynników \underline{a}_k , \underline{b}_k ,

b) składową przenienną $T_p(t, \alpha)$ momentu elektromagnetycznego:

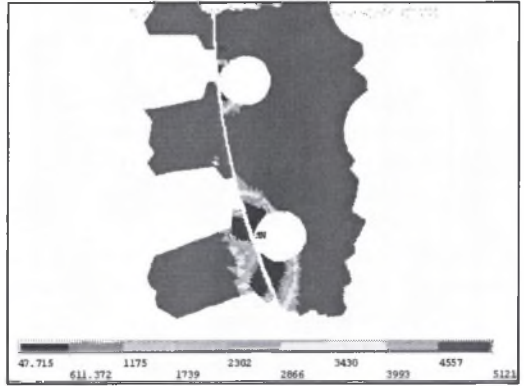
$$T_p(t, \alpha) = \frac{2\pi}{\mu_0} I_e \sum_{k=1}^N \left(k^2 \operatorname{Re} \left\{ \left(\underline{b}_k \underline{c}_k - \underline{a}_k \underline{d}_k \right) e^{2j\omega_0 t} \right\} \right) = \sum_{k=1}^N \left(\operatorname{Re} \left\{ \hat{T}_{p,k} e^{2j\omega_0 t} \right\} \right). \quad (7)$$

W obliczeniach założono, iż materiałem klatki jest miedź o temperaturze 120°C. Rezultaty przedstawione na rys.2 otrzymano dla prądu stojana $I=15A$ przy średnicy prętów wirnika wynoszącej 4,5mm i położeniu wirnika $\alpha = 0$.

a)



b)



Rys. 2. Rozkład przestrzenny: a) izolunii składowej rzeczywistej potencjału wektorowego, b) zastępczej względnej przenikalności magnetycznej

Fig. 2. Spatial distribution of: a) isolines of magnetic vector potential (real part), b) equivalent relative magnetic permeability

Wartości składowej rozruchowej (rys. 3a) i amplitudy składowej pulsującej momentu elektromagnetycznego (rys. 3b) otrzymane dla poszczególnych harmonicznych przestrzennych pola magnetycznego dla położeniu wirnika $\alpha = 0$ przedstawiono na rys.3.

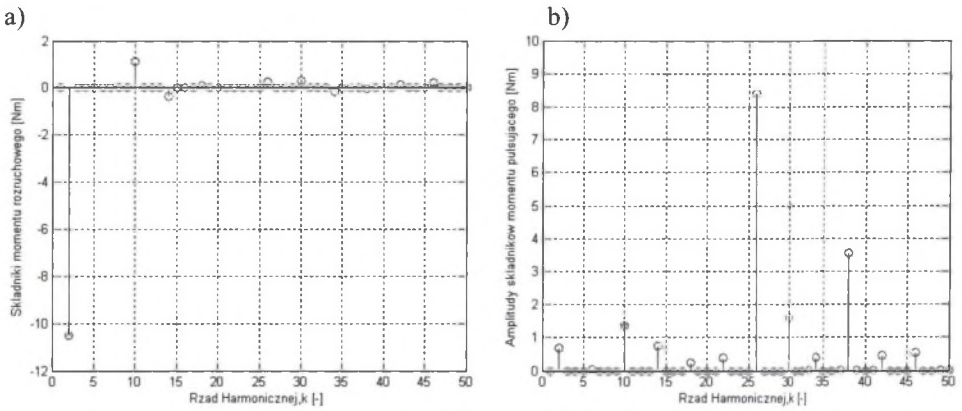
Zależność sumarycznych wartości obu składowych momentu elektromagnetycznego od położenia kąowego wirnika przedstawiono na rys. 4. Wyniki podano dla 1/3 podziałki żłobkowej wirnika ze względu na ich kątową powtarzalność.

Dodatkowe wnioski wynikające z obliczeń elektromagnetycznych:

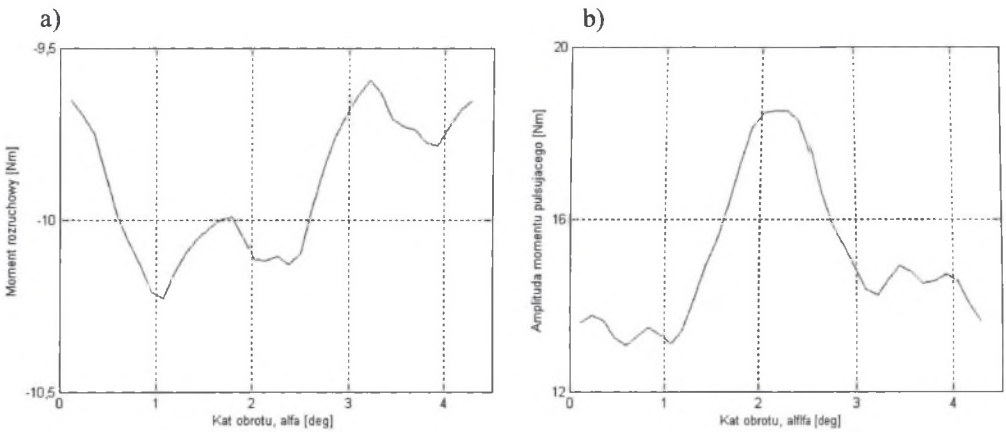
- nasycenie skupia się wokół żłobków wirnika, co oznacza, że można znacznie zwiększyć wewnętrzną średnicę pakietu blach.
- wartość rezystancji klatki ma niewielki wpływ na amplitudy momentu pulsującego.

3. UPROSZCZONE OBLICZENIA CIEPLNE

Głównym źródłem ciepła w maszynie elektrycznej są straty w uzwojeniach. Dodatkowymi, mniej znaczącymi źródłami ciepła są węzły, w których występuje tarcie mechaniczne (np. węzły łożyskowe).



Rys. 3. Wartości składowej rozruchowej (a) i amplitudy składowej pulsującej momentu (b) związane z poszczególnymi harmonicznymi pola ($\alpha = 0$)
 Fig. 3. Starting torque values (a) and magnitude of pulsating torque (b) connected with magnetic field spatial harmonics ($\alpha = 0$)



Rys. 4. Wartości składowej rozruchowej (a) i amplitudy składowej pulsującej momentu elektromagnetycznego w funkcji kąta położenia wirnika α
 Fig. 4. Starting torque (a) and magnitude of pulsating torque vs. rotor angular position α

W silniku elektrycznym w czasie ruchu wirnika następuje chłodzenie maszyny najczęściej poprzez wymuszony ruch powietrza przez wentylator, osadzony na wale silnika.

W przypadku projektowanego generatora, który ma pracować w stanie zwarcia, wirnik przemieszcza się cyklicznie wokół położenia początkowego o niewielką wartość kąta obrotu. Przemieszczenie to nie pozwala wymusić przepływu powietrza wokół wału i stojana. Dodatkowo należy uwzględnić fakt, że w uzwojeniach silnika w stanie zwarcia generowany jest prąd o dużej wartości.

Ciepło generowane w uzwojeniach propaguje się do pakietu, wału, pokryw łożyskowych oraz stojana poprzez przewodzenie oraz konwekcję. Zjawisko promieniowania można pominąć ze względu na jego znikomy udział przy temperaturach rzędu kilkudziesięciu stopni Celsjusza.

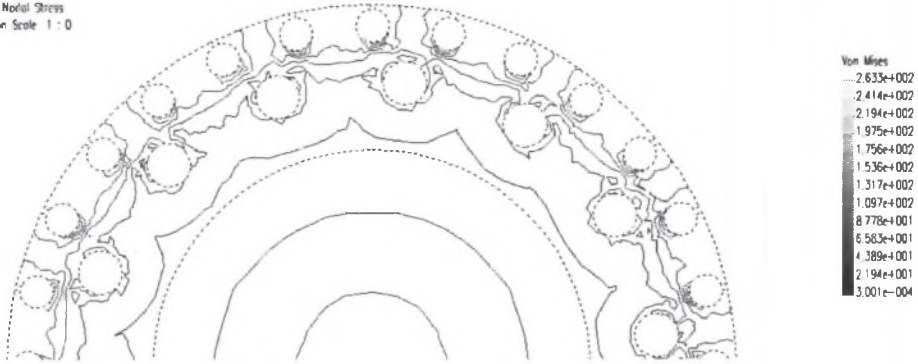
Założenia upraszczające dla obliczeń cieplnych:

- Przyjęto stałą wartość temperatury wzdłuż żłobków wirnika o wartości 120 °C.
- Przyjęto stałą wartość temperatury wzdłuż otworów wentylacyjnych wirnika o wartości 70 °C.

Obliczenia przeprowadzono celem sprawdzenia stanu naprężeń w wale generatora pochodzących od obciążeń termicznych.

Poniżej przedstawiono izolinie naprężeń mechanicznych od obciążenia cieplnego. Przekrój wykonano w połowie długości pakietu żelaza. Wartości naprężeń dla połowy przekroju podano w MPa.

dehy.wall-stal - Static Nodal Stress
Units : MPa Deformation Scale 1 : 0



Rys. 5. Izolinie naprężeń dla przekroju poprzecznego wirnika
Fig. 5. Isolines of thermal stresses on rotor's cross section

Wnioski wynikające z uproszczonych obliczeń cieplnych:

- Dla założonej wartości temperatury w żłobkach wirnika wartości naprężeń zredukowanych w pakiecie i wale wirnika nie przekraczają wartości naprężeń dla granicy plastyczności balach prądnicowej zastosowanej na pakiet generatora ($R_e=350$ MPa).

4. OBLICZENIA MECHANICZNE I WYTRZYMAŁOŚCIOWE

Założenia dla obliczeń mechanicznych:

- na podstawie wyników obliczeń elektromagnetycznych (zawartych w rozdz. 2) przyjęto do dalszych obliczeń wytrzymałościowych wartość maksymalnego przemiennego momentu elektromagnetycznego 18 N·m. Moment asynchroniczny przyjmuje wartość rzędu 10 N·m. Zatem w dalszych obliczeniach przyjęto moment oddziałujący na wirnik o wartości $T_e = 28$ N·m.
- przyjęto średnicę $D_{wz}=80$ mm jako średnicę osadzenia pakietu blach na wale.
- przyjęto współczynnik wzrostu amplitudy momentu na poziomie $k_m=1,5$.
- blachy pakietu po spakietowaniu traktowane są jako lity materiał.
- materiał na wał: stal 40H (wytrzymał. na rozciąg. $R_m \geq 980$ MPa, granica plastyczności $R_e(R_{0,2}) \geq 780$ MPa). Materiał na pakiet: Stal M310-50A ($R_m \geq 470$ MPa, $R_e \geq 350$ MPa).

4.1. Dobór pasowania dla układu pakiet-wał

W założeniach do projektu przyjęto metodę osadzenia pakietu blach elektrotechnicznych na wale generatora jako połączenie skurczowe. Polega ono na odpowiednim doborze odchyłek dla średnicy zewnętrznej wału oraz średnicy wewnętrznej osadzanego elementu tak, aby po zmontowaniu układu nie nastąpiło wzajemne przemieszczenie kątowe łączonych elementów względem siebie.

Siła obwodowa w miejscu styku pakietu z wałem wynosi:

$$F_o = \frac{k_m \cdot 2 \cdot T_e}{D_{wz}} = \frac{1,5 \cdot 2 \cdot 28}{0,08} = 1050 \text{ N}, \quad (8)$$

gdzie:

- T_e - moment elektromagnetyczny w N·m,
- k_m - współczynnik wzrostu amplitudy momentu,
- D_{wz} - średnica osadzenia pakietu w m.

Najmniejszy, wymagany nacisk jednostkowy zapewniający przeniesienie momentu bez poślizgu pakietu względem wału obliczamy ze wzoru:

$$p_o = \frac{F_o}{\pi \cdot D_{wz} \cdot l_p \cdot \mu}, \quad (9)$$

gdzie:

- l_p - długość styku pakietu z wałem 0,114 w m,
- μ - współczynnik tarcia stal po stali 0,08 -.

Po podstawieniach i obliczeniu uzyskujemy wartość $p_o=0,45809$ MPa.

Obliczenia analityczne [1]:

Znając wartość minimalnego nacisku koniecznego do przeniesienia momentu elektromagnetycznego, można wyznaczyć wartość minimalnego wcisku z zależności analitycznej:

$$\delta = \frac{2p_o \cdot b^3 \cdot (c^2 - a^2)}{E \cdot (b^2 - a^2) \cdot (c^2 - b^2)}, \quad (10)$$

gdzie:

- a - średnica wewnętrzna wału 26 mm,
- b - średnica połączenia wału z pakietem 80 mm,
- c - średnica zewnętrzna pakietu wirnika 133,3 mm,
- E - moduł Younga dla stali.

Po podstawieniu i obliczeniu uzyskujemy wartość $\delta=0,587$ μm . Rozkład przemieszczeń zewnętrznej powierzchni wału i wewnętrznej powierzchni pakietu oblicza się z zależności:

$$u_1 = -\frac{bp_o}{E_1} \cdot \left(\frac{a^2 + b^2}{b^2 - a^2} - \nu \right), \quad (11) \quad u_2 = -\frac{bp_o}{E_2} \cdot \left(\frac{b^2 + c^2}{c^2 - b^2} - \nu \right), \quad (12)$$

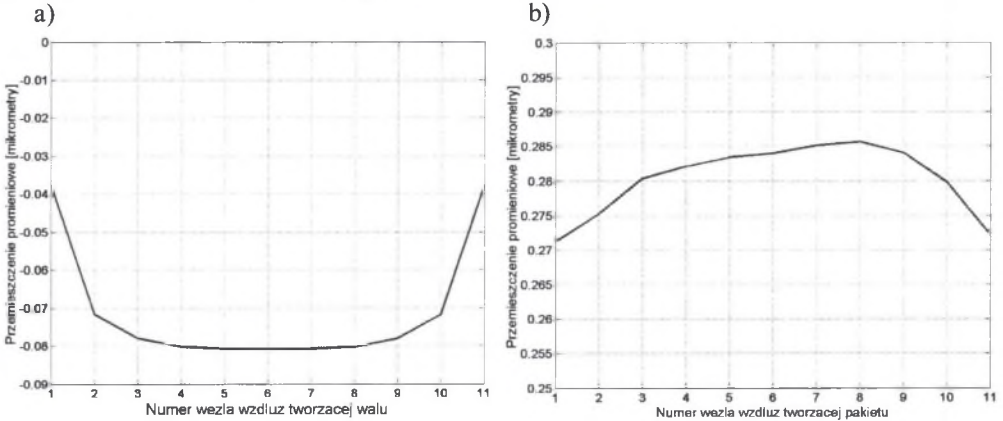
gdzie ν - współczynnik Poissona.

Na podstawie wzorów (11), (12) wyznaczono przemieszczenia: $u_1 = -0,1634$ μm , $u_2 = 0,423$ μm .

Obliczenia metodą elementów skończonych:

Model do obliczeń przemieszczenia pod wpływem ciśnienia niezbędnego do przeniesienia momentu skręcającego wykonano w MES. Obliczenia przeprowadzono odrębnie dla wału i pakietu, obciążając odpowiednie powierzchnie ciśnieniem wyznaczonym z zależności (9).

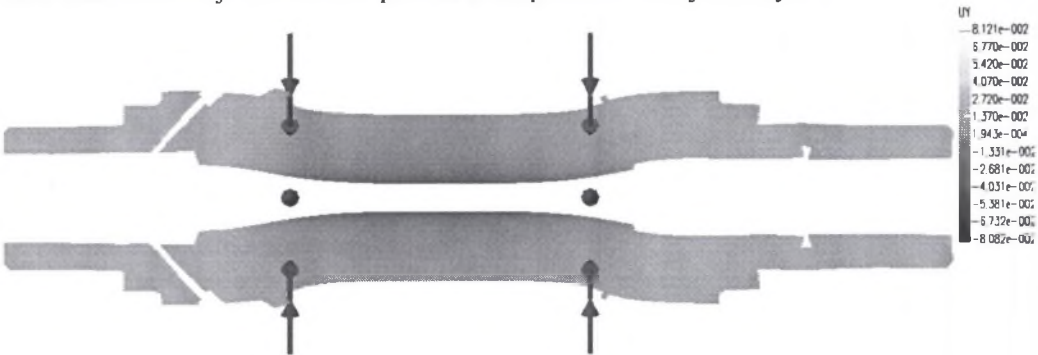
Wyniki przemieszczenia promieniowego wzdłuż wspólnej tworzącej powierzchni osadzenia pakietu na wale dla wału oraz dla pakietu blach przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Wartości odkształcenia promieniowego pakietu blach (rys. a) oraz wału generatora (rys. b)

Fig. 6. Radial strain of generator's lamination stack (fig.a) and shaft (fig.b)

Sumaryczna wartość przemieszczenia dla pakietu i wału wynosi $0,366 \mu\text{m}$. Odkształcenie wału wirnika w miejscu osadzenia pakietu blach przedstawione jest na rys. 7.



Rys. 7. Postać odkształcenia wału generatora

Fig. 7. Strain form of generator's shaft

Uzyskane wyniki otrzymane poprzez obliczenia analityczne i metodą MES wskazują, że aby uzyskać przeniesienie momentu siłami tarcia wystarczający jest wcisk rzędu $0,5 \mu\text{m}$.

Na podstawie uzyskanych wyników można dobrać odchyłki dla wału i pakietu blach tak, aby przenieść zadany moment obrotowy.

Przyjęto wstępnie, że połączenie będzie wykonane wg pasowania H7/p6 lub H7/s6 dla średnicy osadzenia pakietu 80 mm. Według tabeli odchyłek odczytujemy wartości:

Tabela 1

Wymiar nominalny	Pola tolerancji otworu	Odchyłki μm	Pola tolerancji wałka	Odchyłki μm	Maksymalny i minimalny wcisk
Ø80	H7	+0,030 0	p6	+0,051 +0,032	Maks. wcisk Ø80,051- Ø80,0=0,051 Min. wcisk Ø80,032- Ø80,030=0,002
			s6	+0,078 +0,059	Maks. wcisk Ø80,078- Ø80,0=0,078 Min. wcisk Ø80,059- Ø80,030=0,029

W celu sprawdzenia stanu naprężeń dla rozważanych pasowań wyznaczono wartości maksymalnych naprężeń zredukowanych dla różnych stanów obciążenia wału i pakietu blach. Wyniki zestawiono w tab. 2:

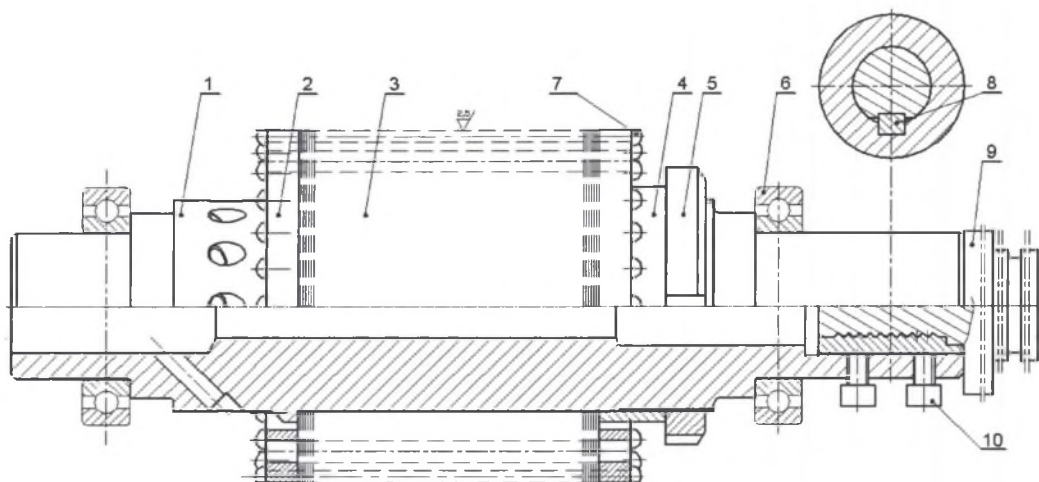
Tabela 2

Rodzaj obciążenia		Pakiet wirnika	Wał wirnika	
Naprężenia	maksymalne od wcisku	0,366 μm	2,36 MPa	1,07 MPa
		2,0 μm	5,72 MPa	3,56 MPa
		51,0 μm	145,5 MPa	90,9 MPa
		29,0 μm	82,9 MPa	51,7 MPa
		78,0 μm	223,1 MPa	139,1 MPa
	maksymalne od momentu skręcającego	8,46 MPa	3,50 MPa	
	maksymalne od wcisku 51,0 μm i skręcania	142,1 MPa	90,9 MPa	
maksymalne od wcisku 78,0 μm i skręcania	219,3 MPa	139,1 MPa		

Zestawiając uzyskane wyniki wartości naprężeń z własnościami materiałowymi zamieszczonymi w punkcie 5 założeń do obliczeń, można przyjąć, że nawet dla pasowania H7/s6 przy największym wcisku poziom naprężeń zarówno w wale jak i w pakiecie jest znacznie niższy niż naprężenia dla granicy plastyczności. Ostatecznie to właśnie pasowanie zostało przyjęte do realizacji.

5. OSTATECZNA POSTAĆ KONSTRUKCYJNA WIRNIKA GENERATORA

Na podstawie założeń wstępnych (rozd. 1) oraz przeprowadzonych obliczeń elektromagnetycznych (rozd. 2) i wytrzymałościowych (rozd. 4) przyjęto ostateczną postać konstrukcyjną wirnika generatora:



Rys. 8. Postać konstrukcyjna wirnika generatora
Fig. 8. Generator's rotor design

Na rysunku cyframi oznaczono: 1 – wał wirnika, 2 – pierścień zwierający, 3 – blachy pakietu, 4 – pierścień dystansowy, 5 – nakrętka łożyskowa, 6 – łożyska toczne, 7 – miedziane pręty klatki wirnika, 8 – wpust mocowania uchwyty, 9 – uchwyt specjalny, 10 – śruby mocowania uchwyty.

6. PODSUMOWANIE

- Budowę generatora drgań skrętnych oparto na konstrukcji świadomie dobranego i odpowiednio zmodyfikowanego silnika indukcyjnego klatkowego Sg 132-S4. Celem modyfikacji jest wyeksponowanie momentu przemiennego o częstotliwości równej podwojonej częstotliwości sieci zasilającej.
- Postać konstrukcyjna wału wirnika generatora została określona na podstawie obliczeń elektromagnetycznych, wytrzymałościowych i uproszczonych obliczeń cieplnych.

LITERATURA

1. Jakubowicz A., Orłoś Z.: *Wytrzymałość materiałów*. WNT, Warszawa 1984.
2. Kluszczyński K.: *Momenty pasożytnicze w maszynach asynchronicznych*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, s. ELEKTRYKA, z.102, Gliwice 1986.
3. Mertens R., Pahner U., Hameyer K., Belmans R.: *Force calculation based on a local solution of Laplace's equation*. IEEE Trans. on MAG., Vol.33, No.2, March 1997, pp.1216-1218.
4. Pilch Z.: *Badanie i analiza własności dynamicznych motoreduktora z silnikiem indukcyjnym*. Rozprawa doktorska, Politechnika Śląska, Gliwice 2002.
5. Pilch Z., Kluszczyński K.: *Application of pulsating torque in generator of torsional vibrations for fatigue investigation*. 39th International Symposium on Electrical Machines, Gdańsk-Jurata 09-11.06.2003 (dialogue session).
6. Trawiński T., Kluszczyński K.: *Generacja drgań skrętnych przy wykorzystaniu elektromagnetycznych momentów pasożytniczych powstających w silniku indukcyjnym – generator drgań skrętnych*. Sympozjum Maszyn Elektrycznych SME'2003, Gdańsk 2003.
7. Trawiński T.: *Wpływ elektromagnetycznych momentów pasożytniczych na własności dynamiczne silników indukcyjnych zasilanych z układów przekształtnikowych*. Rozprawa doktorska, Gliwice 2000.

8. Yahiaoui A., Boualem B., Bouillault F., Piriou F.: *Induction motor analysis by finite element method using complex and time stepping techniques*, Proc. of ICEM'94, pp.311-315 Paris 1994.

Recenzent: Dr hab. inż. Jerzy Hickiewicz prof. Pol. Opolskiej

Wpłynęło do Redakcji dnia 15 maja 2004 r.

Abstract

The paper presents design process of the rotor of torsional vibrations generator. Basic assumptions related to geometry of the designed rotor were connected with employment of standard stator design from induction motor Sg 132S4. Rotor winding is designed as a cooper cage tightened by screws. In the design process three steps were included: electromagnetic, thermal and stress/strain calculations. Finite element method was employed during the whole process. Electromagnetic calculations aimed at evaluation of electromagnetic torque were performed for steady-state conditions. Saturation was included with the help of equivalent relative magnetic permeability [8]. Post-processing procedure based on local solution of Laplace's equation [3] was employed in evaluation of torque components: starting and pulsating one. In thermal calculations constant rotor's cage temperature (120 °C) and constant temperature on the surface of cooling channels (70 °C) were assumed. Obtained thermal stresses were acceptable. Final results of numerical calculations of stresses and strains under the influence of electromagnetic torque were obtained. Problem of lamination stack fastening on the rotor's shaft was analyzed.

Praca została wykonana w ramach realizacji projektu badawczego 4 T10A 002 24, finansowanego ze środków KBN w 2004r.