

Waldemar Milej
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

WPLYW ROZŁOŻENIA PRZEWODÓW W ŻŁOBKU STOJANA NA NAGRZEWANIE SILNIKA INDUKCYJNEGO

INFLUENCE DISTRIBUTION WIRES IN THE STATOR SLOT OF WINDING HEAT THE INDUCTION MACHINE

Abstract: Results of field calculations for a two-dimensional thermal model of induction machine was presented in this paper. Calculations and measurements have been provided for an induction squirrel-cage motor of low power and the following ratings: $P_N=1.5$ kW, $2p=4$, $f_N=50$ Hz, $U_N=3 \times 380$ V. A two-dimensional geometric model has been proposed for field calculations and the model has been divided into areas with different physical properties of materials and structure. Within these areas thermal equations (1) have been defined; they use different parameters and were solved with partial differential equations. Two simulation models (Fig. 1.) reduced which consists of a single stator slot and a single rotor slot were discussed in this paper. During simulations, a solution of the thermal model has represented a distribution of temperature increase in the induction machine (Fig. 4 and Fig. 5.) and resistivity functions (Fig. 6). This work has been sponsored in 2008 as AGH University Grant no. 11.11.120.615.

1. Wstęp

W referacie przedstawione są wyniki obliczeń połowych z wykorzystaniem dwuwymiarowych modeli cieplnych maszyny indukcyjnej.

Do obliczeń połowych zaproponowano dwa modele silnika, które różnią się rozłożeniem pojedynczych drutów w żłobku stojana. Modelem obliczeniowym jest model uproszczony do jednej podziałki żłobkowej, który składa się z jednego żłobka stojana i jednego żłobka wirnika.

Wynikiem obliczeń są rozkłady temperatury w maszynie indukcyjnej oraz funkcje zmieniającej się rezystywności uzwojenia stojana i wirnika w czasie symulacji.

Celem artykułu jest przedstawienie obliczeń związanych ze zjawiskami cieplnymi występującymi w modelu maszyny indukcyjnej, a w późniejszym etapie prac uwzględnienie tych zjawisk w obliczeniach dla zwiększenia dokładności symulacji stanów dynamicznych maszyny przy pomocy modeli obwodowych.

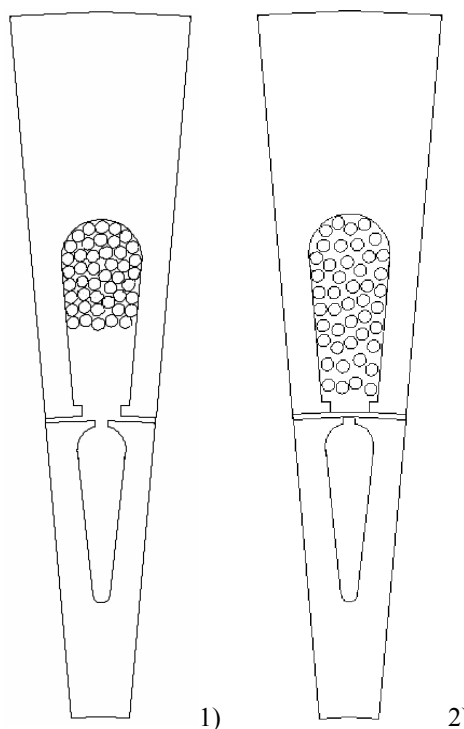
Niniejsza praca jest częścią Badań Statutowych 2008 AGH nr 11.11.120.615.

2. Modele i obliczenia

2.1 Modele symulacyjne

W obliczeniach symulacyjnych zostały przyjęte dwa modele, które uproszczone są do jednej podziałki żłobkowej stojana, które różnią się między sobą rozłożeniem przewodów w żłobku

stojana (rys. 1). Analizowane modele podzielone zostały na obszary cieplnie jednorodne, w których założono warunek brzegowy Neumanna dla powierzchni zewnętrznych z możliwością oddawania ciepła poprzez pakiet stojana na zewnątrz.



Rys. 1. Modele obliczeniowe silnika uproszczone do jednej podziałki żłobkowej stojana

2.2 Obliczenia

W wyodrębnionych obszarach cieplnie jednorodnych zdefiniowano równanie ciepłne (1) przedstawiające ich nagrzewanie. Obszary (przewody uzwojenia stojana oraz otaczające je powietrze, pręt wirnika, powierzchnie pakietów oraz szczelina powietrzna) różnią się między sobą własnościami fizycznymi wynikającymi z użytego materiału, a więc parametry tego równania ciepłnego są różne dla tych obszarów.

$$\rho \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial t} - \nabla \cdot (k \cdot \nabla T) = Q \quad (1)$$

gdzie: T - temperatura ciała, c - jego ciepło właściwe, ρ - gęstość, k - współczynnik przewodzenia ciepła, Q - źródło ciepła.

Źródłem ciepła jest funkcja strat mocy wydzielona w jednostce objętości. Zmienność funkcji źródła ciepła została uzależniona od zmiany wartości prądu fazowego wynikającego z eksperymentu (Rys. 3) i wyznaczonej średniej funkcji rezystywności (Rys. 6).

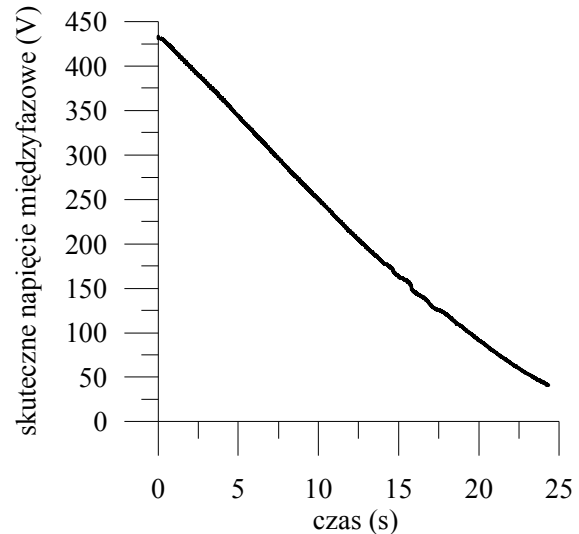
Funkcja rezystywności wyznaczona została poprzez iteracje, gdzie przy pierwszym podejściu przyjęto stałą wartość rezystywności niezależną od temperatury, a w kolejnych iteracjach funkcję średniej rezystywności zależną od zmiany temperatury, którą otrzymano z przeprowadzonych symulacji cieplnych modelu.

3. Pomiary i wyniki obliczeń

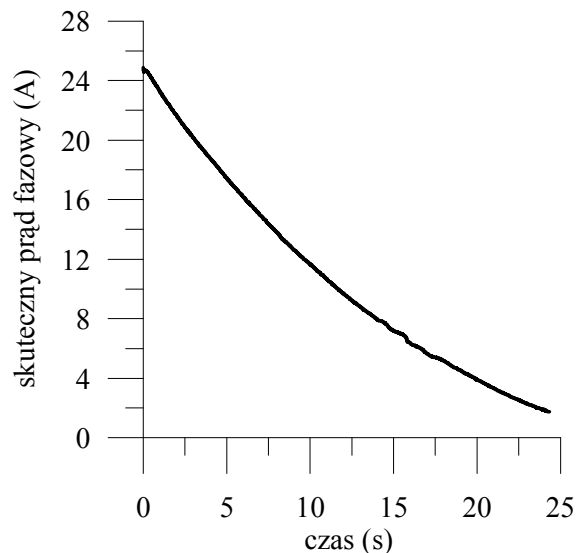
3.1 Pomiary

Dla celów obliczeniowych wykonano pomiar silnika przy zablokowanym wirniku. Uzwojenia stojana zasilono symetrycznym napięciem przemiennym o regulowanej płynnie amplitudzie od dużej wartości w dół (Rys. 2). Obiektem badaniem był silnik indukcyjny jednoklatkowy o danych znamionowych: $P_N=1.5\text{kW}$, $2p=4$, $f_N=50\text{Hz}$, $U_N=3 \times 380\text{V}$.

Przebieg eksperymentu rejestrowany był przy pomocy przetwornika a/c, a wielkościami mierzonymi były prądy i napięcia fazowe. Dodatkowym pomiarem towarzyszącym próbie przy zablokowanym wirniku to pomiar rezystancji uzwojenia stojana przed i po eksperymencie, który został wykonany metodą techniczną.



Rys. 2. Skuteczna wartość napięcia międzyfazowego podczas pomiaru przy zablokowanym wirniku



Rys. 3. Skuteczna wartości prądu fazowego podczas pomiaru przy zablokowanym wirniku

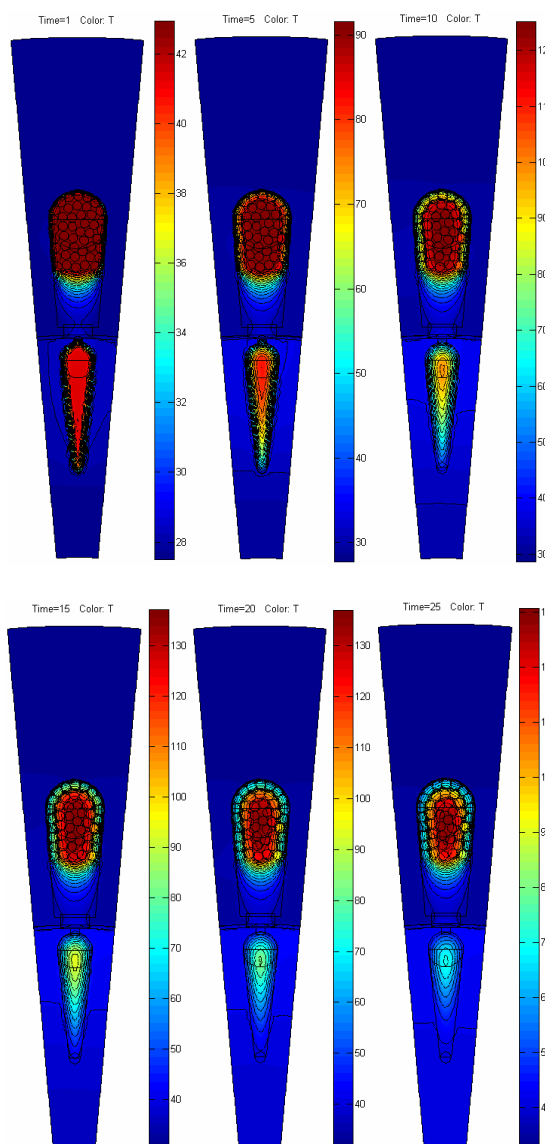
Wykonanie pomiaru spowodowało wyraźne nagrzanie się uzwojeń maszyny, a w chwili odłączenia zasilania nastąpił proces chłodzenia. Aby zminimalizować błąd oszacowania wartości rezystancji przed i po pomiarze potrzebne do tego prąd i napięcie zostały również zarejestrowane. Z otrzymanych przebiegów wyznaczono wartości rezystancji jednej fazy stojana (wyniki przedstawia tab. 1).

Tab. 1. Pomiar rezystancji uzwojenia stojana

Rezystancja uzwojenia stojana	Temperatura
$R_{sp} = 4.77 \Omega$	$T_0 = 27^\circ\text{C}$
$R_{sk} = 5.93 \Omega$	$T_k = 93^\circ\text{C}$

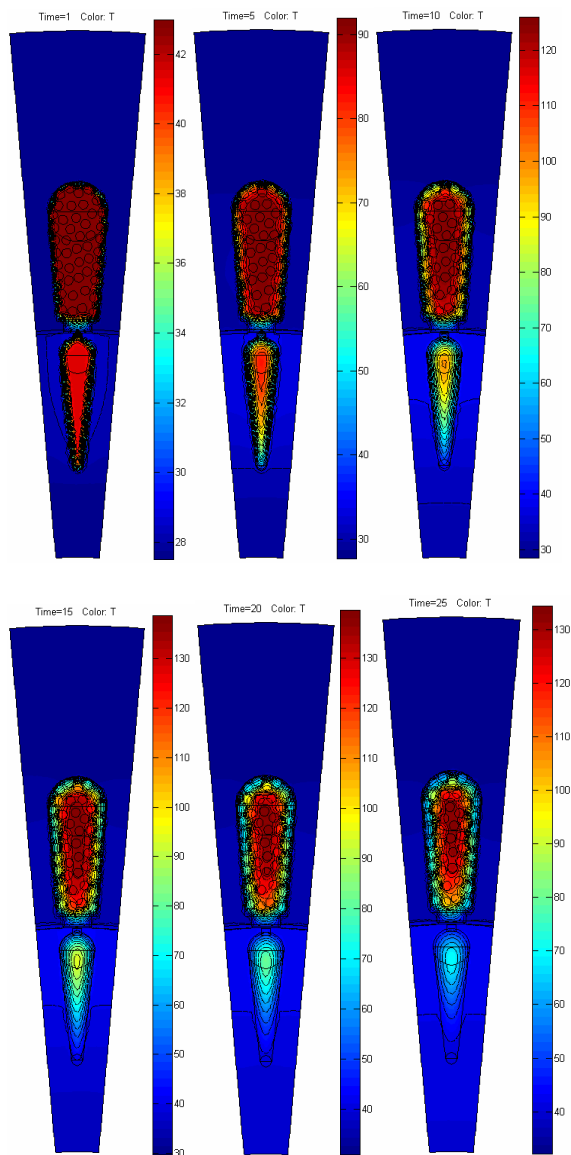
3.2 Wyniki obliczeń polowych

Wynikiem obliczeń cieplnych są dwuwymiarowe pola zmiennej temperatury w czasie dla wydzielonych obszarów jednorodnych. Poniżej przedstawione są wyniki obliczeń dla wybranych czasów symulacji podanych w sekundach (Time=1, 5, 10, 15, 20, 25 sek.).



Rys. 4. Wyniki obliczeń rozkładu temperatury dla modelu 1 (próba przy zablokowanym wirniku)

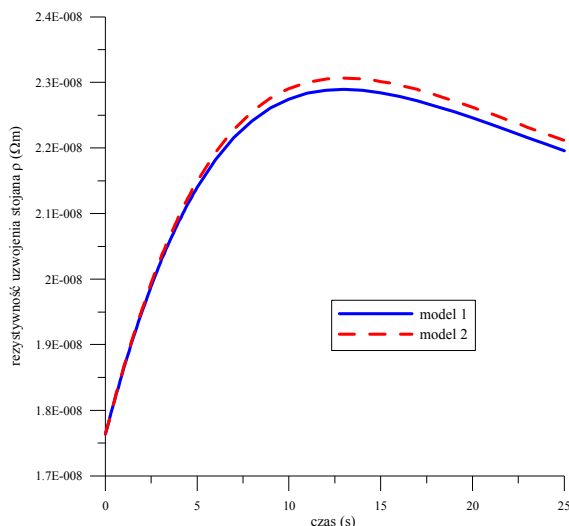
Na rys. 4 przedstawione są wyniki obliczeń cieplnych dla modelu 1, a na rys. 5 przedstawiono przykładowe rozkłady temperatury dla modelu 2.



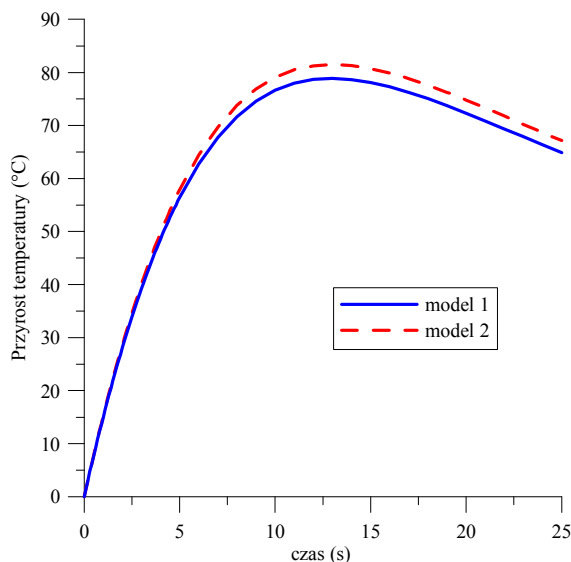
Rys. 5. Wyniki obliczeń rozkładu temperatury dla modelu 2 (próba przy zablokowanym wirniku)

4. Porównanie modeli

W celu porównania modeli wykorzystano przebiegi średniej funkcji rezystywności (rys. 6) oraz funkcji przyrostu temperatury (rys. 7).



Rys. 6. Porównanie funkcji średniej rezystywności uzwojenia stojana otrzymanej z analizowanych dwóch modeli silnika



Rys. 7. Porównanie funkcji przyrostu temperatury uzwojenia stojana (próba przy zablokowanym wirniku)

Mimo widocznych różnic w wynikach obliczeń między rozpatrywanymi modelami zmiany dotyczące nagrzewania się uzwojenia są niewielkie (ok. 10% - między punktami maksymalnymi). Prawdopodobnie wynika to z przyjętego w pomiarach i obliczeniach silnika indukcyjnego małej mocy.

5. Wnioski

Przeprowadzone obliczenia pozwalają sformułować poniższe wnioski:

- obliczenia połowe modeli przybliżają charakter zjawisk cieplnych zachodzących w rzeczywistej maszynie,
- odpowiednie rozłożenie przewodów w żłobkach maszyny pozwala na lepsze odprowadzenie wydzielanego ciepła z uzwojeń.

6. Literatura

- [1]. Rażnjević K., „Tablice cieplne z wykresami” Warszawa WNT 1966.
- [2]. Milej W.: *Wpływ nagrzania uzwojeń silnika indukcyjnego na moment rozruchowy*, vol.3 s.191 (Mater. VI Międzynarodowych Warsztatów Doktoranckich OWD’2004, Wisła 16-19.10.2004).
- [3]. Milej W.: *Model połowy maszyny indukcyjnej w aspekcie zwiększenia dokładności symulacji stanów dynamicznych*, vol.2 s.273 (Mater. VII Międzynarodowych Warsztatów Doktoranckich OWD’2005, Wisła 22-25.10.2005).
- [4]. Kostowski E.: *Przepływ ciepła* WPS-Gliwice 1995.
- [5]. Milej W.: *Wpływ nagrzewania uzwojeń na wyniki identyfikacji modelu silnika indukcyjnego*, s. 92 (Mater. XVII Beskidzkiego seminarium elektryków BSE’2003, Istebna-Zaolzie 21-24.09.2003).
- [6]. Jazdzyński W., Milej W.: *Identyfikacja niestacjonarnego modelu silnika indukcyjnego z uwzględnieniem zjawisk cieplnych*, s. 483-492 (Mater. XXXVIII Międzynarodowego Sympozjum Maszyn Elektrycznych SME’2002, Cedzyna-Kielce, 18-21.06.2002).

Autorzy

Dr inż. Waldemar Milej
Katedra Maszyn Elektrycznych
wydz. Elektrotechniki, Automatyki,
Informatyki i Elektroniki.
Akademia Górniczo-Hutnicza,
al. Mickiewicza 30,
30-059 Kraków,
e-mail: milej@agh.edu.pl