Seria: MECHANIKA z.121

Nr kol. 1226

Antoni JOHN Katedra Mechaniki Technicznej Bogna MRÓWCZYŃSKA Instytut Transportu Politechnika Śląska

WYZNACZANIE ROZKŁADU TEMPERATUR W STOJANIE TURBOGENERATORA METODĄ ELEMENTÓW SKOŃCZONYCH

<u>Streszczenie</u>. W referacie przedstawiono próbę wyznaczenia rozkładu temperatury w stojanie turbogeneratora przy zastosowaniu metody elementów skończonych. Jako osobne zagadnienia rozpatrywano rozkład temperatury w prętach uzwojenia i w pakietach blach jarzma i zębów stojana. Do rozwiazania zagadnienia przyjęto model uproszczony.

CALCULATION OF THE TEMPERATURE DISTRIBUTION IN THE TURBOGENERATOR STATOR APPLYING FINITE ELEMENT METHOD

<u>Summary</u>. A test of FEM application to determine a temperature distribution in a turbogenerator stator is presented in the work. A temperature distribution in the winding conductor and in the sheet pack of the stator are solve as independent problems. Some simplifications of numerical model are assumed.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР В СТАТОРЕ Т УРБОГЕНЕРАТОРА ИСПОЛЬЗУЯ МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЕЛЕМЕНТОВ

<u>Резюме</u>. Здесь представлено применение метода конечных элементов для определения распределения температур в статоре турбогенератора. Токопроводы обмотки моделированны осевосимметричными стержнями с оцевосиметричными каналами. Сердечник активной стали моделированы осневосиметричными кольцами с толщиной статорных пакетов. В решении проблемы приняты упрощения.

1. WSTĘP. ZAŁOŻENIA

W energetyce stale dąży się do zwiększenia granicznej mocy turbogeneratorów. Może to być uzyskane przez:

- zwiększenie średnicy,
- zwiększenie długości,
- zmniejszenie przestrzeni zajętej przez elementy nieczynne,
- zmianę parametrów,
- zmianę układu wzbudzenia.

Jeżeli dąży się do zmiany parametrów turbogeneratora, to niezbędna staje się znajomość rozkładu temperatury w stojanie i wirniku w zależności od płynących w nich prądów (obciążenie turbogeneratora) i zastosowanego układu chłodzenia.

W niniejszej pracy podjęto próbę numerycznego wyznaczenia rozkładu temperatury w stojanie turbogeneratora chłodzonego wodorem (typu TWW-200) w stanie ustalonym.

Stojan turbogeneratora składa się z pakietów blach (segmentów) ułożonych koncentrycznie wzdłuż jego osi. Pomiędzy poszczególnymi pakietami znajdują się szczeliny, którymi przepływa chłodzący blachy wodór. Na wewnętrznym obwodzie blach powycinane są żłobki (rowki), w których znajdują się pręty uzwojenia stojana. Przekrój osiowy i podłużny połowy stojana przedstawiono schematycznie na rysunku 1.



Rys.1. Schemat stojana turbogeneratora Fig.1. Scheme of the turbogenerator stator

Przy rozwiązywaniu zagadnienia posłużono się modelem uproszczonym. Przyjęto następujące założenia:

- przewodność cieplna i współczynniki wnikania ciepła nie zależą od temperatury,
- nie ma wymiany ciepła pomiędzy uzwojeniem a stalą stojana,
- nie ma wymiany ciepła pomiędzy rozpatrywanym prętem i sąsiednimi prętami uzwojenia,
- zjawiska cieplne są powtarzalne w podziałce żłobkowej stojana,
- rozkłady temperatur wzdłuż długości stojana w poszczególnych prętach leżących w żłobkach są podobne,
- straty jednostkowe w rozpatrywanych elementach są stałe i równe średnim stratom w tych elementach.

Obciążenie cieplne stojana turbogeneratora pochodzi od strat indukcji w blachach jarzma i zębów oraz od strat prądu w uzwojeniu stojana. Uzwojenie chłodzone jest destylatem przepływającym w kanałach wewnętrznych wzdłuż osi prętów. Pakiety blach chłodzone są wodorem przepływającym w szczelinach pomiędzy pakietami.

2. METODA ROZWIĄZANIA ZAGADNIENIA

W celu rozwiązania zagadnienia zbudowano program numeryczny oparty na metodzie elementów skończonych. Program rozwiązuje równanie przewodnictwa cieplnego (równanie Fouriera)

$$\lambda \nabla^2 \Theta = c \rho \partial \Theta / \partial \tau$$
,

gdzie: • - temperatura,

λ - współczynnik przewodzenia,

c - ciepło właściwe,

 τ - czas,

ρ - gęstość substancji,

z uwzględnieniem takich warunków brzegowych, jak: wnikanie ciepła

$$Q = A\alpha(t - \Theta)\tau,$$

gdzie: α - współczynnik wnikania ciepła,

(t - 0) - różnica temperatur,

 $\dot{Q} = -\lambda A \partial \Theta / \partial n$ - strumień ciepła przez powierzchnię A,

dopływ mocy w węźle (przez węzeł rozumie się tutaj węzeł elementu skończonego, na które to elementy jest podzielony rozpatrywany obszar).

Zadanie rozwiązano przyjmując model pręta w postaci przewodu osiowo-symetrycznego, mającego taką samą objętość - pole przekroju czynnego ze względu na wydzielaną moc oraz taką samą powierzchnię kanału wewnętrznego (osiowego) ze względu na wymianę ciepła pomiędzy miedzią i medium chłodzącym.

Schemat obciążenia cieplnego pręta przedstawiono na rys. 2.



Rys.2. Schemat obciażenia cieplnego pręta Fig.2. Scheme of the thermal load in the winding conductor

Uzyskane wyniki w istotny sposób zależą od współczynnika wnikania, zadanej mocy na węzeł, temperatury na brzegu oraz początkowej temperatury pręta.

Rozkład temperatur w medium chłodzącym rozwiązywany jest jako oddzielne zadanie. Kanał, w którym przepływa destylat, zamodelowano jako pręt osiowo-symetryczny o własnościach wodoru. Wymiary przyjęto tak, aby powierzchnia wymiany ciepła między prętem i medium była taka jak w układzie rzeczywistym oraz żeby objętość medium była taka sama.

Przyjęto, że dopływ ciepła następuje przez zewnętrzną powierzchnię zgodnie z zadanym współczynnikiem wnikania. Na jednym końcu zadano temperaturę, jaką ma destylat po wyjściu z chłodnicy (tj. ok. 40°C).

Temperatury w poszczególnych przekrojach wyznaczono biorąc pod uwagę czas, w jakim medium przebędzie dany odcinek drogi, a tym samym pobierze odpowiednią ilość ciepła z pręta zgodnie z zadanym współczynnikiem wnikania.

Wyznaczanie rozkładu temperatur ...

Rozkład temperatur w istotny sposób zależy od temperatury początkowej medium i współczynnika wnikania.

Rozkład temperatur w jarzmie i zębach stojana wyznaczono dla pojedynczych pakietów blach rdzenia, uwzględniając chłodzenie wodorem w promieniowych kanałach wentylacyjnych. Pojedynczy pakiet blach jest torusem o stałym przekroju wzdłuż obwodu. Schemat obciążenia cieplnego pakietu w przekroju osiowym przedstawiono na rysunku 3.



Rys.3. Schemat obciążenia cieplnego pakietu blach Fig.3. Scheme of the thermal load in the stator sheet pack

Dla pakietów skrajnych uwzględniono zmianę wymiarów geometrycznych (różne az i h_z , gdzie az - szerokość pakietu) oraz zwiększoną moc wydzielaną w blachach pakietu. W strefie zebów (na długości hz) wyznaczono zastępczą moc wydzielaną w blachach ze względu na przemienne występowanie zębów i żłobków na obwodzie stojana.

Zmienną temperaturę medium chłodzącego można uwzględnić poprzez zadanie odpowiednich warunków brzegowych.

149

3. WYNIKI OBLICZEŃ

Przykładowe wyniki przedstawiono na rysunkach 4 i 5. Rys. 4 przedstawia rozkład temperatur w wybranym pakiecie blach. Ze względu na symetrię układu na rysunku przedstawiono tylko ćwiartkę przekroju stojana. Na rys.5 przedstawiono fragment pręta uzwojenia stojana z naniesionym rozkładem temperatur.

Dane do obliczeń przyjęto na podstawie dostępnej literatury.



Rys.4. Rozkład temperatury w blachach stojana Fig.4. The temperature distribution in the stator sheet pack



Rys.5. Rozkład temperatury w pręcie uzwojenia stojana Fig.5. The temperature distribution in the winding conductor

4. PODSUMOWANIE

Opracowany program pozwala wyznaczać rozkład temperatury w blachach i prętach uzwojenia stojana turbogeneratora w stanie ustalonym. Na podstawie otrzymanych wyników można zauważyć, że rozkład temperatur w pręcie w istotny sposób zależy od warunków początkowo-brzegowych (tj. od temperatury początkowej blach, prętów i destylatu, od temperatury brzegu danego elementu), jak również od własności fizycznych poszczególnych, rozpatrywanych elementów (współczynnika wnikania, ciepła właściwego, współczynnika przewodzenia ciepła, gęstości i innych).

Otrzymane wyniki znajdują potwierdzenie w badaniach doświadczalnych i danych zamieszczonych w literaturze.

LITERATURA

- W.Latek, J.Przybysz: Rozkład temperatur w uzwojeniu wirnika turbogenatora z chłodzeniem bezpośrednim zabierakowym. Archiwum Elektrotechniki, Tom XVIII, Zeszyt 3, 1969, ss. 559-568
- [2] A.John, B.Mrówczyńska: Wyznaczanie rozkładu temperatur w uzwojeniu wirnika turbogeneratora metoda elementów skończonych. ZN Politechniki Sląskiej, seria Mechanika, Zeszyt 115, Gliwice 1994, ss. 139-145
- [3] A.Bytnar, J.Przybysz: Pola temperatur turbogeneratora 500 MW. Przegląd Elektrotechniczny, R. LVI, z.8-9/1980, ss. 385-388
- [4] J.Przybysz: Obciażalność turbogeneratorów chłodzonych wodorem. Przegląd Elektrotechniczny, R. LI, z. 2/1975, ss.54-58
- [5] W.W.Titow i drugije: Turbogenieratory. Rascziet i konstrukcija. Energija, Leningrad 1967
- [6] S.Ochęduszko: Termodynamika stosowana. WNT, Warszawa 1964
- [7] J.Szargut: Termodynamika. PWN, Warszawa 1975.
- [8] Praca zbiorowa pod red. J.Szarguta: Modelowanie numeryczne pół temperatur. WNT, Warszawa 1992.
- [9] S. Wiśniewski: Wymiana ciepła, PWN, Warszawa 1988
- [10] Z.Orłoś i inni: Naprężenia cieplne. PWN, Warszawa 1991
- [11] W.Latek: Turbogeneratory. WNT, Warszawa 1973.

Recenzent: prof. dr hab.inż. W. Nowacki

Wpłynęło do Redakcji w grudniu 1994 r.