

Piotr Kisielewski, Ludwik Antal
Politechnika Wroclawska, Wroclaw

OBWODY TLUMIĄCE TURBOGENERATORA OBCIĄŻONEGO NIESYMETRYCZNIE

DAMPER CIRCUITS IN TURBOGENERATOR FOR ASYMMETRY LOAD

Abstract: This paper presents two-dimensional field-circuit model of 500 MVA turbogenerator. Model is designed to calculate static and dynamic characteristics of machine. During solving field equations real physical characteristics of materials, configuration of windings, damper circuit and motion elements in electromagnetic field are taken into account. In circuit part there is an electrical scheme. The electrical elements correspond with winding in the field model. Parameters of frontal connections are included. The model was applied to calculate damper winding currents in active and front parts in case of appears asymmetry in power system. Currents distribution and flux lines for the asymmetry work was calculated too. Using the model of turbogenerator it is possible to calculate flux and current densities, field distributions and other physical quantity for every time step of simulation.

1. Wstęp

Istotą zjawiska niesymetrycznego obciążenia prądnicy synchronicznej jest to, że wirującemu synchronicznie polu, wywołanemu prądem wzbudzenia, przeciwdziałają strumienie pulsujące, dające w rezultacie pole wirujące o zmiennej wartości amplitudy czyli pole eliptyczne. Linearyzując obwód magnetyczny, można strumień pulsujący, pochodzący od oddziaływania prądu twornika, rozłożyć na dwa strumienie kołowe wirujące w przeciwnych kierunkach. Pole wirujące zgodnie sumuje się z polem wzbudzenia i tworzy wypadkowe pole zgodne. Pole przeciwne jest źródłem prądów periodycznych w klatce tłumiącej i obwodzie wzbudzenia. Podczas zwarć niesymetrycznych będących skrajnymi przypadkami obciążenia niesymetrycznego, w odróżnieniu od zwarcia symetrycznego, prądy w obwodach tłumiących płyną również w stanie ustalonym. Dla oceny wytrzymałości termicznej klatki tłumiącej sprawdza się jej nagrzewanie podczas zwarcia dwufazowego oraz przy długotrwałym obciążeniu prądem kolejności przeciwnej.

Zakładając dopuszczalną temperaturę ekranu, określa się jej dopuszczalny przyrost, a następnie czas po jakim temperatura ta będzie osiągnięta na skutek nagrzewania obwodów tłumiących stratami mocy wywołanymi w klatce tłumiącej przez prąd twornika kolejności przeciwnej. Iloczyn kwadratu wartości względnej ekwiwalentnego prądu kolejności przeciwnej i czasu jest miarą odporności ma-

szyny na krótkotrwałe jej obciążenie prądem kolejności przeciwnej. Dla maszyn najwyższych mocy wartość $i_{2e}^2 t = (8-10) s$.

Przy długotrwałej niesymetrii obciążenia składowa przeciwna prądu osiąga wartości znacznie mniejsze niż w niesymetrycznych stanach zwarciovych, jednakże długi czas wydzielania się strat w obwodach wirnika powoduje osiągnięcie wysokiej temperatury ustalonej. Zakładając wartości i_2 i obliczając odpowiadające im straty wyznacza się ustalony przyrost temperatury. Ustalając dopuszczalny przyrost temperatury, można określić dopuszczalną długotrwałą wartość względną prądu kolejności przeciwnej. Dla maszyn najwyższych mocy $i_2 \leq 0,2$.

W obu przypadkach konieczne jest obliczenie rozkładu gęstości prądu i następnie strat mocy w obwodach tłumiących. Cel ten można osiągnąć przy pomocy modelu polowo-obwodowego turbogeneratora. Model taki umożliwia wyznaczanie wielkości elektrycznych i nieelektrycznych również w miejscach niedostępnych pomiarowo. Wybrane stany pracy niesymetrycznej zbadano przy pomocy modelu wcześniej wykorzystanego do wyznaczenia reaktancji i stałych czasowych turbogeneratora [1] zbudowanego w pakiecie Flux 9.2.2 [2]. Celem niniejszej pracy jest obliczenie przebiegów prądów oraz rozkładów ich gęstości w obwodach zamkniętych, niedostępnych pomiarowo: klatki tłumiącej oraz litej stali wirnika. Wyznaczono przebiegi prądów i napięć

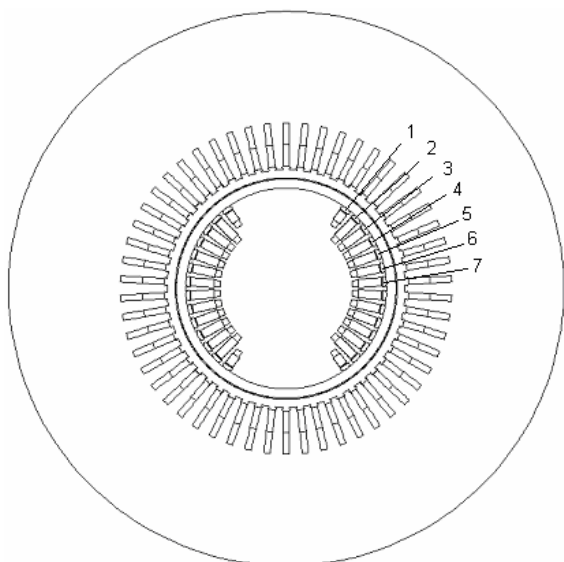
tych obwodów w stanach przejściowych i ustalonych.

2. Model polowo-obwodowy

Symulowanym obiektem jest turbogenerator o mocy 500 MVA i napięciu znamionowym 21 kV. Przekrój poprzeczny maszyny oraz numerację prętów klatki tłumiącej przedstawiono na rysunku 1. Pełniejszy opis modelu zamieszczono w [2] oraz [3].

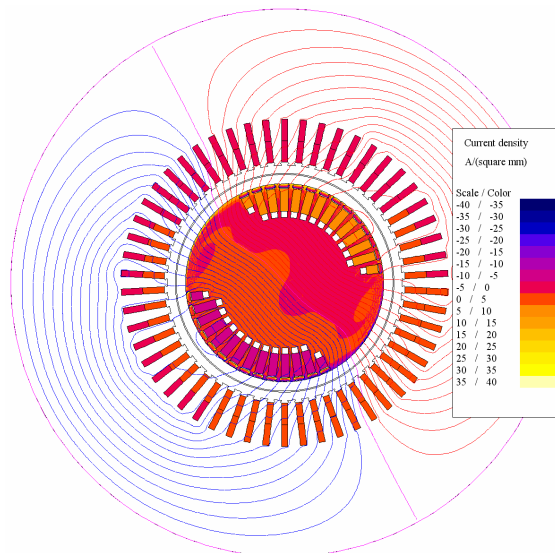
3. Wyniki obliczeń

W wybranej chwili czasowej zamodelowano pojawienie się asymetrii w systemie elektroenergetycznym, z którym współpracował turbogenerator w stanie ustalonym obciążony mocą znamionową. W wyniku symulacji obliczone zostały przebiegi prądów w uzwojeniach twornika oraz wzbudzenia, rozkłady prądów w klatce tłumiącej a także rozkłady gęstości prądów w przekroju beczki wirnika. Przebiegi prądów w uzwojeniach stojana oraz wirnika przedstawiono wcześniej w [1]. Przebiegi prądów w prętach klatki tłumiącej oraz w wycinkach pierścienia zwierającego w stanach nieustalonych i ustalonych dla dwóch wybranych wartości asymetrii systemu przedstawiono na rys. 4 - 15. Podczas symulacji prędkość obrotowa wału turbogeneratora była równa prędkości znamionowej.

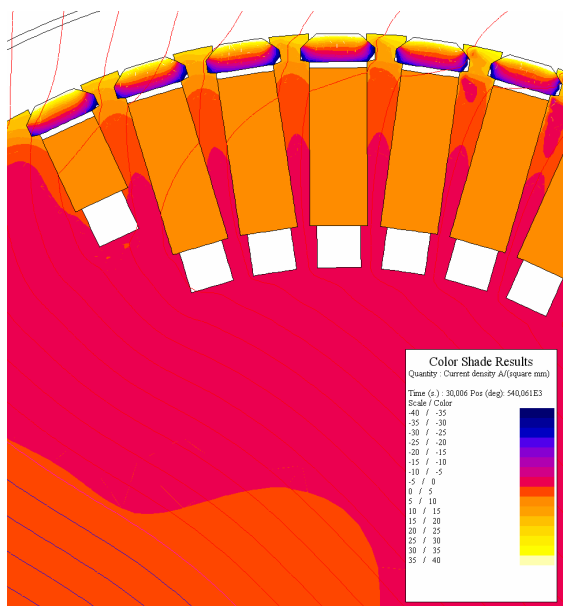


Rys. 1. Przekrój poprzeczny modelu turbogeneratora

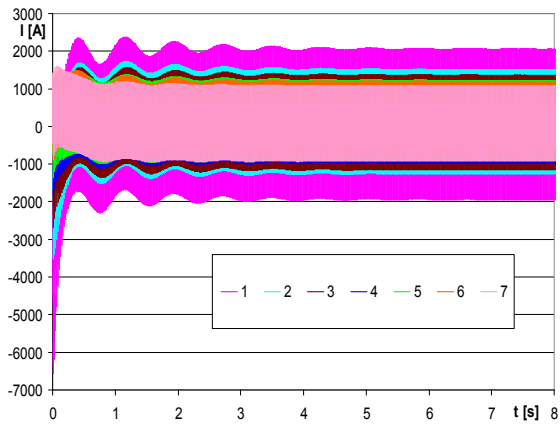
Praca asymetryczna istotnie deformuje pole magnetyczne w maszynie, co skutkuje powstaniem prądów o znacznych gęstościach w klatce tłumiącej oraz litej stali wirnika. Przykładowy rozkład pola magnetycznego oraz gęstości prądów przedstawiono na rysunkach 2 i 3.



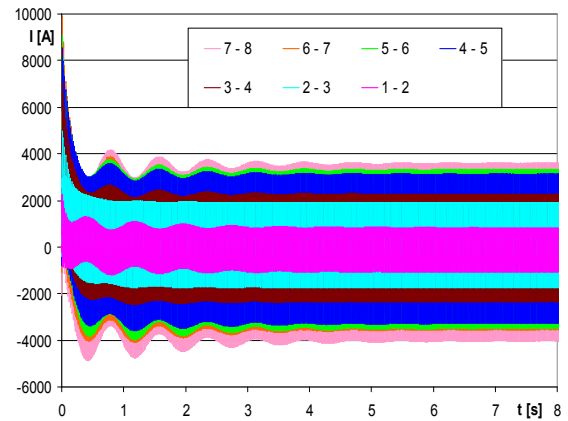
Rys. 2. Rozkład pola magnetycznego oraz gęstości prądów przy 100% asymetrii (stan ustalony)



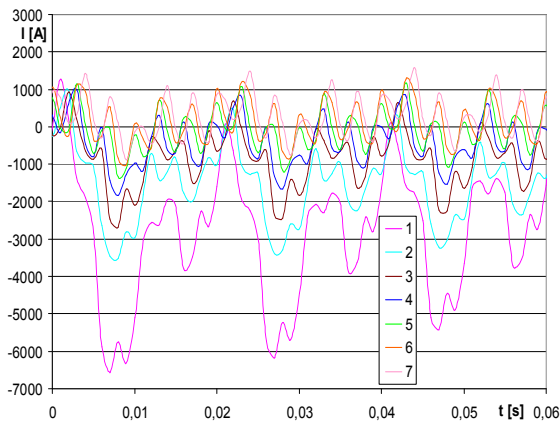
Rys. 3. Rozkład gęstości prądów wirnika przy 100% asymetrii (stan ustalony)



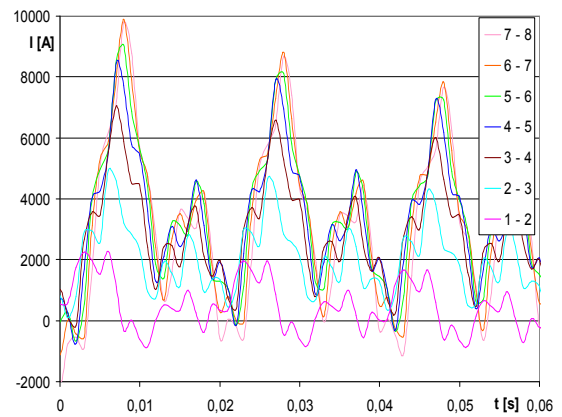
Rys. 4. Prądy w częściach czynnych uzwojenia tłumiącego przy 20 % asymetrii



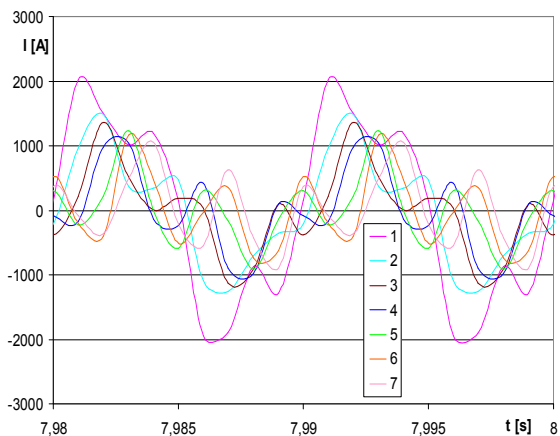
Rys. 7. Prądy w częściach czołowych uzwojenia tłumiącego przy 20 % asymetrii



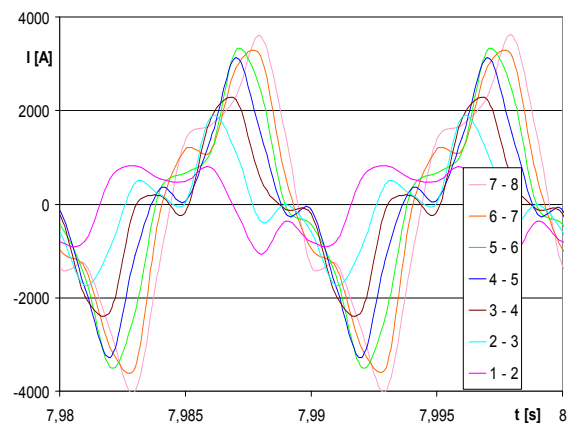
Rys. 5. Prądy w częściach czynnych uzwojenia tłumiącego przy 20 % asymetrii (początek stanu przejściowego)



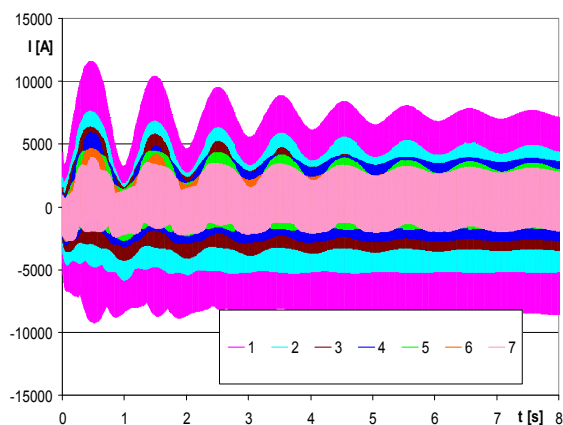
Rys. 8. Prądy w częściach czołowych uzwojenia tłumiącego przy 20 % asymetrii (początek stanu przejściowego)



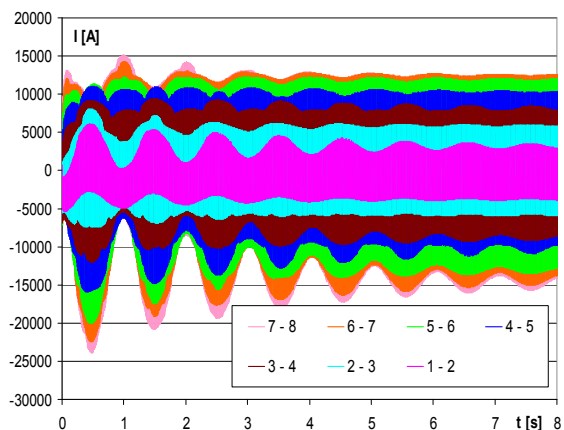
Rys. 6. Prądy w częściach czynnych uzwojenia tłumiącego przy 20 % asymetrii (stan ustalony)



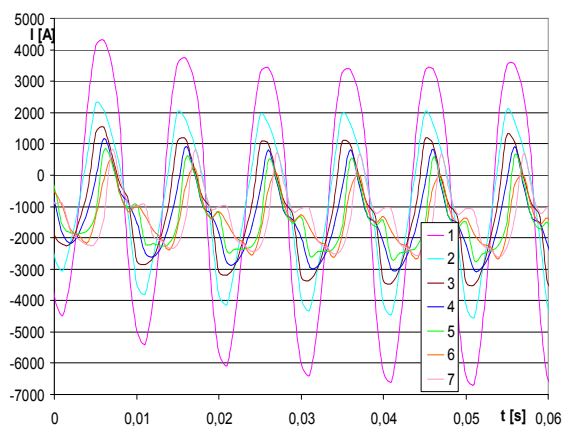
Rys. 9. Prądy w częściach czołowych uzwojenia tłumiącego przy 20 % asymetrii (stan ustalony)



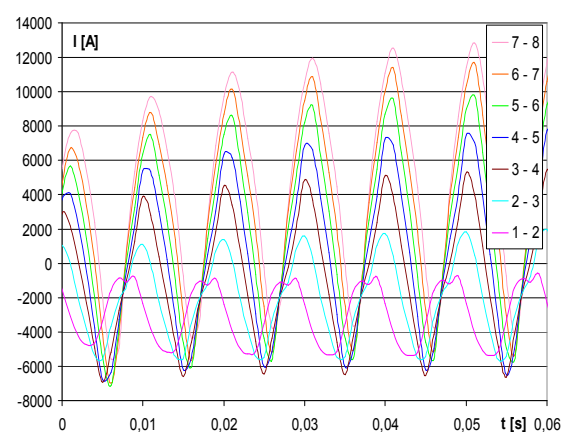
Rys. 10. Prądy w częściach czynnych uzwojenia tłumiącego przy 100 % asymetrii



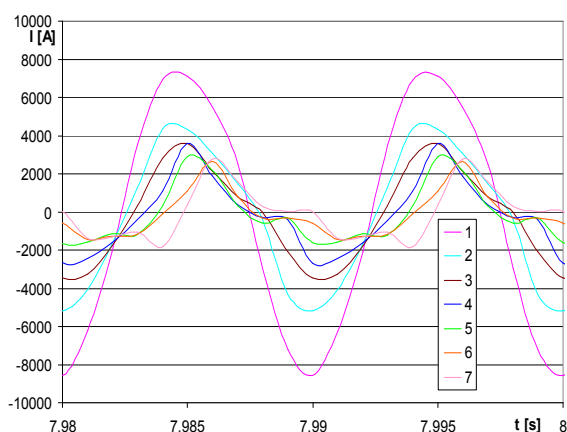
Rys. 13. Prądy w częściach czołowych uzwojenia tłumiącego przy 100 % asymetrii



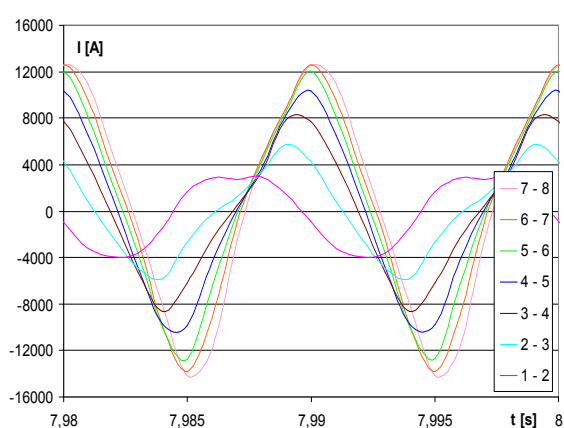
Rys. 11. Prądy w częściach czynnych uzwojenia tłumiącego przy 100 % asymetrii (początek stanu przejściowego)



Rys. 14. Prądy w częściach czołowych uzwojenia tłumiącego przy 100 % asymetrii (początek stanu przejściowego)



Rys. 12. Prądy w częściach czynnych uzwojenia tłumiącego przy 100 % asymetrii (stan ustalony)



Rys. 15. Prądy w częściach czołowych uzwojenia tłumiącego przy 100 % asymetrii (stan ustalony)

4. Podsumowanie

Niesymetryczne obciążenie turbogeneratorsa może być przyczyną znacznego nagrzania obwodów tłumiących w wirniku. Dlatego konieczne jest ustalenie wartości prądu twornika kolejności przeciwnej dopuszczalnych krótko i długotrwanie. Jest to możliwe przez obliczenie rozkładu gęstości prądu i następnie strat mocy oraz przyrostu temperatury. Przy asymetrii 20% straty mocy w pojedynczym pręcie klatki tłumiącej wynoszą 4 kW. Straty dodatkowe w litej stali zębów wirnika wynoszą około 3 kW na „mały ząb”. Nie są to duże wartości, ponieważ straty w jednym żłobku uzwojenia wzbudzenia wynoszą ponad 60 kW. Dodatkowe straty w prętach i litej stali zwiększają moc cieplną która musi być odprowadzona z wirnika. Maszyna z taką asymetrią może pracować długotrwanie przy obniżonej mocy, lub współczynnika mocy większym od znamionowego. Podczas obliczeń wyznaczono również straty mocy przy 100% asymetrii. Dla takiego stanu pracy straty w pojedynczym pręcie klatki tłumiącej przekraczają 200 kW. Straty w zębach przekraczają 100 kW. Taki stan pracy jest niedopuszczalny. Moc wydzielana w obwodach tłumiących jest znacznie większa od mocy traconej w uzwojeniu wzbudzenia. Opracowany model turbogeneratorsa zweryfikowany obliczeniami parametrów i charakterystyk pozwala poprawnie odwzorować zjawiska zachodzące w maszynie w stanach ustalonych oraz przejściowych. Umożliwia więc wyznaczenie kryterialnych wartości prądów kolejności przeciwnej i czasu ich trwania.

5. Literatura

- [1]. CEDRAT, *FLUX® 9.20 User's guide*, November 2005
- [2]. Kisielewski P., Antal L.: *Polowo-obwodowy model turbogeneratorsa*, Prace Nauk. IMNiPE PWr. nr 59, SiM nr 26, 2006, s. 53 – 60.
- [3]. Kisielewski P., Antal L.: *Badanie reakcji turbogeneratorsa na zmiany napięcia i częstotliwości systemu*, Prace Nauk. IMNiPE PWr. nr 62, SiM nr 27, 2007, s. 56 – 64.
- [4]. Kisielewski P., Antal L.: *Wyznaczanie parametrów turbogeneratorsa z symulacji polowo - obwodowych*, XLII Międzynarodowe Sympozjum Maszyn Elektrycznych, Kraków 2006, s. 243 - 246.
- [5]. Kisielewski P., Antal L.: *Wyznaczanie parametrów turbogeneratorsa z symulacji polowo - obwodowych*, Elektrotechnika i Elektronika, Tom 25, Zeszyt 2/2006, s. 162 – 166.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007-2009 jako projekt badawczy Nr N511 021 32/4169.

Autorzy

mgr inż. Piotr Kisielewski
dr hab. inż. Ludwik Antal
Politechnika Wroclawska,
Instytut Maszyn, Napędów
i Pomiarów Elektrycznych,
ul. Smoluchowskiego 19
50-372 Wroclaw
piotr.kisielewski@pwr.wroc.pl
ludwik.antal@pwr.wroc.pl