

Piotr Kisielewski, Ludwik Antal
Politechnika Wroclawska, Wroclaw

OBWODY TLUMIĄCE TURBOGENERATORA PRZY UTRACIE SYNCHRONIZMU

DAMPER CIRCUITS OF TURBOGENERATOR DURING SYNCHRONISM LOSS

Abstract: This document describes results of calculations dynamic states of turbogenerator work. The calculations were based on the two-dimensional, field-circuit model of turbogenerator. The model was applied to calculate damper winding currents in active and front parts in case of synchronism loss. Currents distributions and flux lines 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

Zakłócenia w pracy turbozespołu podłączonego do sieci elektroenergetycznej mogą prowadzić do utraty synchronizmu, czyli utraty stabilności. Znajomość zjawisk elektromagnetycznych i przebiegów wielkości fizycznych w stanach awaryjnych pozwala na konstruowanie układów regulacji przeciwdziałających skutkom zakłócenia i utrzymujących turbogenerator w pracy synchronicznej.

Stosowane w praktyce do badania stanów zakłóceń metody obwodowe zawierają znaczne uproszczenia rozwiązywanego układu równań. Pomijają nieliniowość obwodu magnetycznego, redukują obwody wirnika, transponują uzwojenia do układu dwuosiowego. Ze względu na bardzo małe stałe czasowe związane z obwodem tłumienia w porównaniu ze stałymi czasowymi związanymi z obwodem wzbudzenia uważa się, że zjawiska w obwodzie tłumienia mają mały wpływ na stabilność generatora. Błąd wartości kąta granicznego, określonej bez uwzględnienia wpływu obwodów tłumiących ocenia się na 1%; stąd najczęściej do rozważań nad stabilnością statyczną przyjmuje się turbogenerator z jednym tylko obwodem w rotorze, mianowicie z podłużnym obwodem wzbudzenia.

Wpływ nasycenia na stabilność turbogeneratora ma dwojaki charakter, wynikający z tego, że odpowiednie reaktancje nasycone mają mniejsze wartości niż reaktancje nienasycone oraz z tego, że wartości tych reaktancji zmieniają swoje wartości w funkcji kąta obciążenia, a więc także i w funkcji czasu. Zmniejszenie wartości reaktancji powoduje zwiększenie wartości mocy przy danym kącie obciążenia, czyli powoduje podwyższenie przebiegu danej

charakterystyki kątowej przy reaktancji nasyconej w stosunku do odpowiedniej charakterystyki przy reaktancji nienasyconej, co z kolei powoduje odpowiednie zwiększenie mocy krytycznej i momentu krytycznego. Zmienność wartości reaktancji w funkcji kąta obciążenia powoduje pojawienie się odpowiednich harmonicznych w krzywej momentu w funkcji kąta obciążenia, czyli powoduje zwiększenie kąta granicznego.

W wyniku rozwiązania uproszczonego układu równań otrzymuje się przybliżone przebiegi czasowe wielkości elektrycznych (napięcia, prądy, moc) i mechanicznych (moment, prędkość i położenie kątowe wirnika). Rozwiązanie tych równań nie daje również informacji o zjawiskach elektro-magnetycznych i cieplnych zachodzących w elementach konstrukcyjnych wirnika podczas zakłócenia.

Lepsze wyniki daje analiza połowo-obwodowa pracy turbogeneratora. Uwzględnia nieliniowości, nie wymaga transpozycji i nie zakłada stałości parametrów. Model połowo-obwodowy umożliwia wyznaczanie wielkości fizycznych również w miejscach niedostępnych pomiarowo.

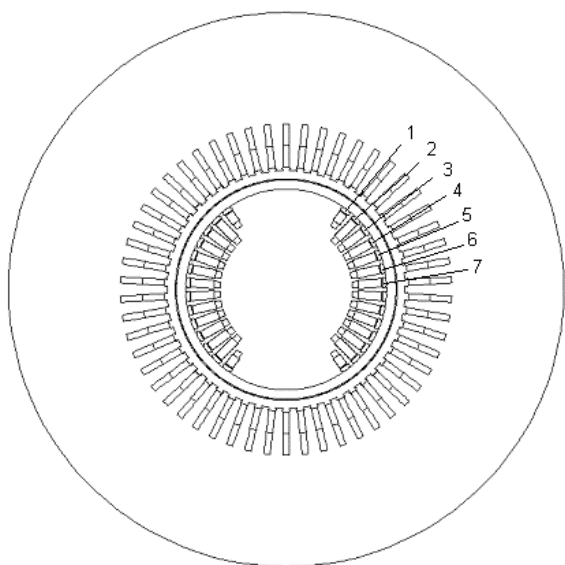
W pracy przedstawiono wyniki obliczeń symulacyjnych procesu wypadania z synchronizmu turbogeneratora o mocy 500 MVA podczas jego pracy w systemie elektroenergetycznym przy nagłym skoku obciążenia.

Rezultaty te uzyskano przy pomocy dwuwymiarowego, połowo-obwodowego modelu turbogeneratora. Zbadano zmiany rozkładów pola magnetycznego oraz pola gęstości prądu w elementach tłumiących wirnika (litych prętach klatki oraz stali wirnika) podczas utraty

synchronizmu. Wyznaczono również przebiegi czasowe prądów w obwodach tłumiących podczas wypadania z synchronizmu.

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. Obszerniejszy opis modelu zamieszczono w [2] oraz [3].

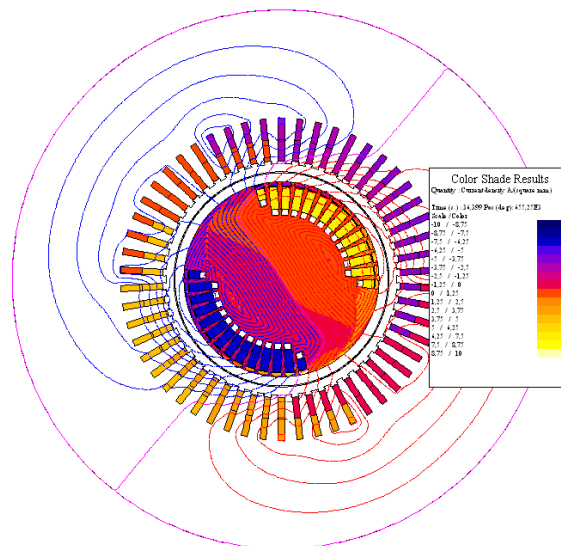


Rys. 1. Przekrój poprzeczny modelu turbogenerators

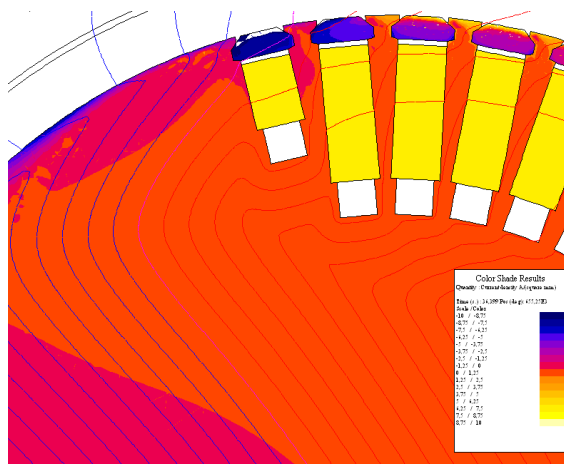
3. Wyniki obliczeń

Przedmiotem obliczeń symulacyjnych są konsekwencje nagłego zwiększenia obciążenia turbogenerators pracującego w stanie ustalonym w warunkach znamionowych. W wyniku symulacji obliczone zostały przebiegi prądów w prętach klatki tłumiącej oraz elementach zwierających poszczególne pręty. W wyniku nagłego wystąpienia stanu dynamicznego zostaje zaburzona równowaga układu. Pojawiają się tłumione przez klatkę tłumiącą i litą stal wirnika oscylacje prędkości wirnika. Pomimo wytłumienia oscylacji, maszyna nie powraca do stanu ustalonego. Wirnik maszyny przyspiesza i rośnie kąt mocy. W wyniku poślizgu pojawia się dodatkowa składowa momentu elektromagnetycznego związana z indukowaniem się prądów w klatce tłumiącej oraz litej stali wirnika. W analizowanym przypadku, ze względu na znaczną bezwładność układu, poślizg jest nie-

wielki, co powoduje, iż moment asynchroniczny nie ma większego wpływu na dynamikę. Następuje utrata synchronizmu turbogenerators. Przykładowy rozkład pola magnetycznego oraz gęstości prądów przedstawiono na rysunkach 2 i 3.

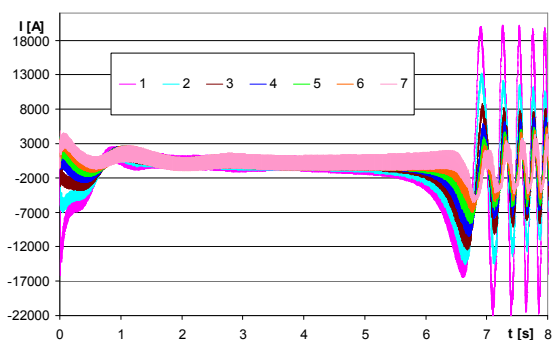


Rys. 2. Rozkład pola magnetycznego oraz gęstości prądów przy przejściu w stan pracy niestabilnej

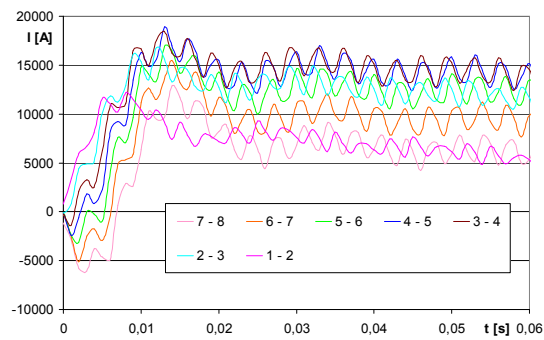


Rys. 3. Rozkład gęstości prądów wirnika przy przejściu w stan pracy niestabilnej

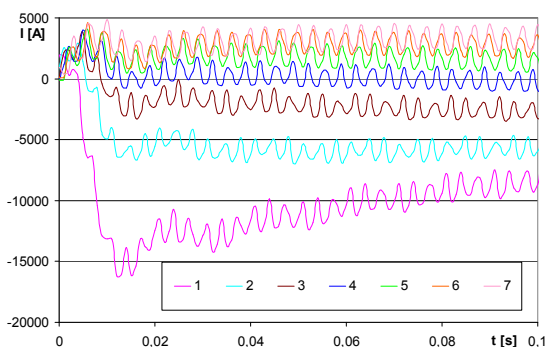
Uzyskane przebiegi czasowe prądów wirnika przedstawiono na rysunkach 4 -9 zachowując numerację prętów z rysunku 1.



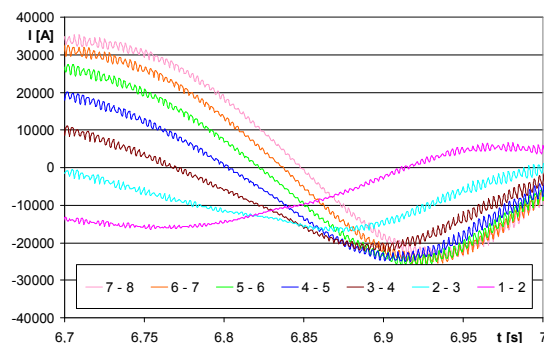
Rys. 4. Prądy w częściach czynnych uzwojenia tłumiącego przy utracie synchronizmu



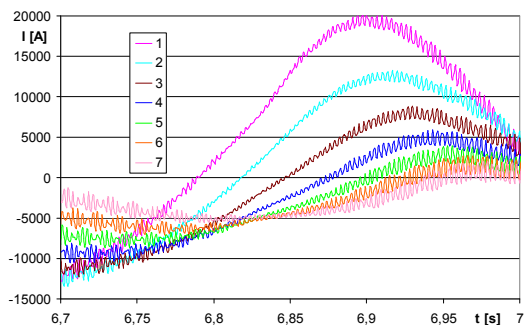
Rys. 8. Prądy w częściach czołowych uzwojenia tłumiącego przy utracie synchronizmu (początek stanu przejściowego)



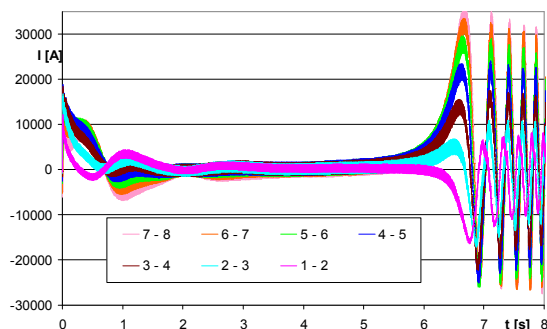
Rys. 5. Prądy w częściach czynnych uzwojenia tłumiącego przy utracie synchronizmu (początek stanu przejściowego)



Rys. 9. Prądy w częściach czołowych uzwojenia tłumiącego po utracie synchronizmu



Rys. 6. Prądy w częściach czynnych uzwojenia tłumiącego po utracie synchronizmu



Rys. 7. Prądy w częściach czołowych uzwojenia tłumiącego przy utracie synchronizmu

4. Podsumowanie

Opracowany model połowo-obwodowy turbogenerators poprawnie odwzorowuje zjawiska zachodzące w maszynie w stanach ustalonych oraz przejściowych. Uzyskane rozkłady pól oraz czasowe przebiegi prądów i momentu ilustrują mechanizm utraty synchronizmu przez turbogenerator. Obliczony rozkład gęstości prądów w klatce tłumiącej i becze wirnika wskazuje na znaczny (większy od dotychczas zakładanego) wpływ litego żelaza wirnika na właściwości maszyny.

Zakłócenia w pracy maszyny synchronicznej powodują powstanie udarów prądów i momentu oraz kołysań maszyny. Po pojawieniu się zakłócenia zmienia się punkt pracy maszyny. Układ dąży do ustalenia nowego kąta mocy. Wskutek bezwładności układu wirnik przechodzi oscylacyjnie przez punkt równowagi. Podczas oscylacji wirnik naprzemian przyspiesza i zwalnia. Kołysania są tłumione wiroprądowymi stratami mocy w klatce tłumiącej oraz litej stali wirnika. W zbadanym przypadku, pomimo wytłumienia kołysań, dochodzi do

utrąty synchronizmu, widocznej w ciągłym zwiększaniu się kąta mocy.

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, prof. PWr
Politechnika Wrocławska,
Instytut Maszyn, Napędów
i Pomiarów Elektrycznych,
ul. Smoluchowskiego 19
50-372 Wrocław
piotr.kisielewski@pwr.wroc.pl
ludwik.antal@pwr.wroc.pl