

*maszyny synchroniczne, turbogeneratory,
modelowanie polowo-obwodowe, parametry linii elektroenergetycznej,
współpraca z systemem, stany nieustalone, zwarcie*

Piotr KISIELEWSKI*, Ludwik ANTAL*

ZJAWISKA W OBWODACH TLUMIĄCYCH PODCZAS ZAKŁÓCEŃ PRACY TURBOGENERATORA

Przedstawiono polowo-obwodowy sposób modelowania zakłóceń zwarciovych w turbogenerato-
rze pracującym w systemie elektroenergetycznym. Zbadano symulacyjnie stan zwarcia i następnie
jego odłączenia. Zjawiska zachodzące po odłączeniu zakłócenia badano obliczeniowo aż do zanik-
nięcia stanu przejściowego w układzie. Przedstawiono przebiegi czasowe wybranych wielkości elek-
tromechanicznych (w tym niedostępnych pomiarowo prądów w obwodach tłumiących) określających
pracę turbogeneratora w stanach dynamicznych.

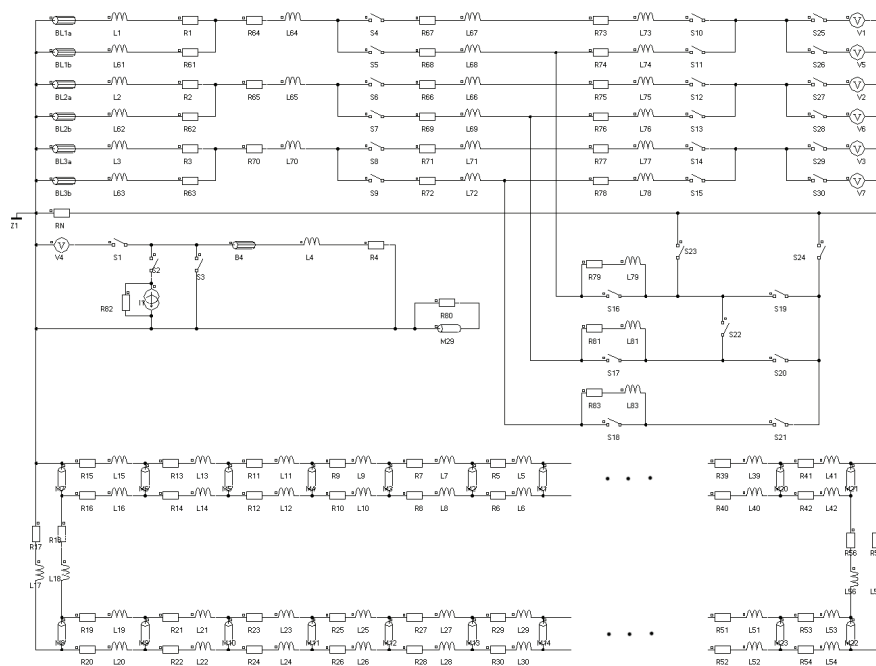
1. WSTĘP

Aktualnie stosowane obwodowe metody analityczne nie uwzględniają w pełni zja-
wisk zachodzących w stanach dynamicznych maszyn największych mocy, jakimi są
turbogeneratory. Nieliniowości charakterystyk magnesowania oraz obecność prądów
wirowych w uzwojeniach i elementach masywnych maszyny utrudniają analizę pracy
maszyny w stanach przejściowych. Konieczne w metodach obwodowych uproszczenia
powodują, że stany te analizowane są niezbyt precyzyjnie. Nowe możliwości w tym
względzie, niesie modelowanie polowo-obwodowe. Modele łączące numeryczne obli-
czenia pola w domenie elementów skończonych z jednoczesnym rozwiązywaniem
układu równań napięciowych i równania ruchu pozwalają na uwzględnienie w obli-
czeniach rzeczywistych własności materiałów konstrukcyjnych oraz parametrów ob-
wodów zewnętrznych i regulacyjnych. W niniejszej pracy pokazano wyniki modelo-
wania stanów przejściowych pracy turbogeneratora w systemie elektroenergetycznym.
Model został zweryfikowany poprzez wyznaczenie parametrów elektromagnetycz-
nych, podstawowych charakterystyk i przebiegów prądów oraz momentu w [3, 4, 5].

* Instytut Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych, Politechnika Wroclawska, ul. Smoluchow-
skiego 19, 50-372 Wrocław, piotr.kisielewski@pwr.wroc.pl, ludwik.antal@pwr.wroc.pl

2. MODELOWANIE ZWARĆ

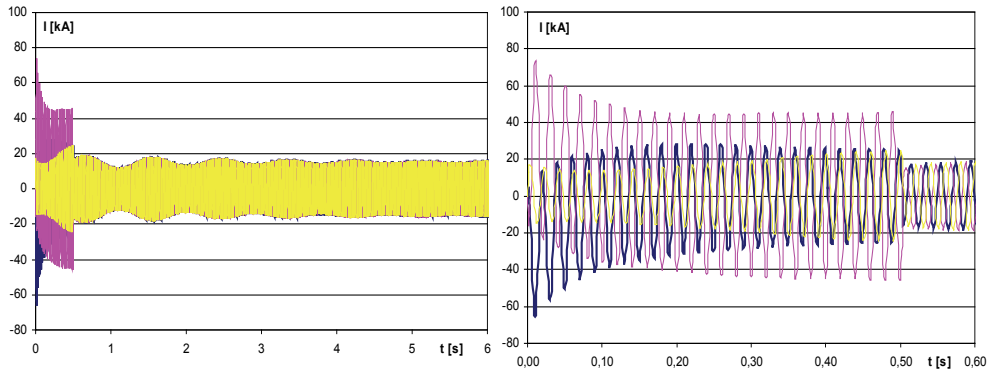
Model i obliczenia turbogeneratorsa o mocy 500 MVA wykonano za pomocą pakietu obliczeniowego Flux 9.2.2 [1]. Opis maszyny, jej dane znamionowe oraz geometrię przedstawiono w [2]. Wykorzystując opracowany, dwuwymiarowy, połow-obwodowy model turbogeneratorsa wykonano obliczenia dwufazowego zwarcia turbogeneratorsa. Uwzględniono nieliniowości materiałów magnetycznych, efekt wypierania prądu oraz indukowanie się prądów wirowych w elementach litych. W modelu połowym uwzględniono przykładowe parametry dwutorowej linii przesyłowej oraz transformatora blokowego. Model obwodowy przedstawiono na rysunku 1.



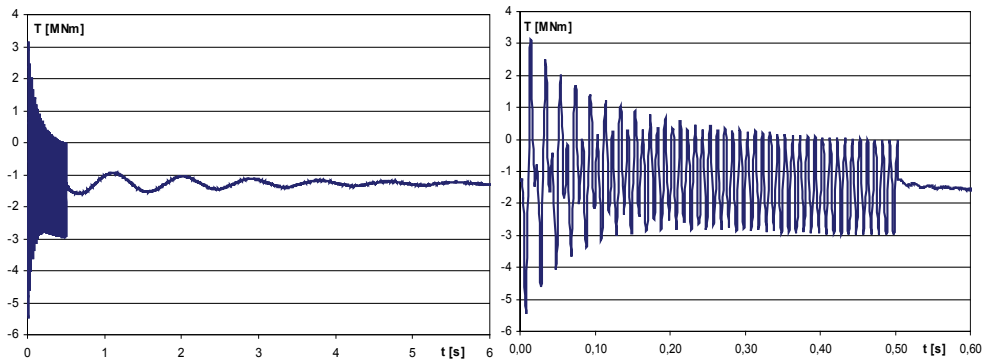
Rys. 1. Część obwodowa modelu maszyny
Fig. 1. Circuit part of the machine model

3. WYNIKI OBLICZEŃ

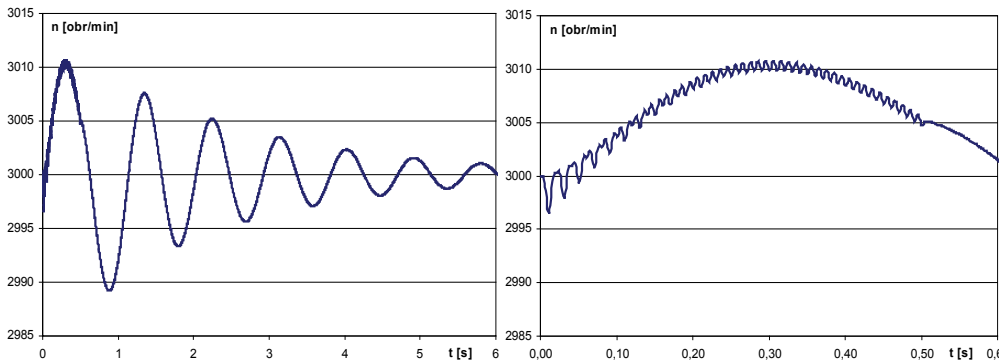
Podczas pracy znamionowej turbogeneratorsa w wybranej chwili czasowej, na 500 ms, zwarto dwie fazy linii przesyłowej. W obliczeniach uwzględniono rzeczywisty moment bezwładności turbozespołu. Uzyskane wyniki obliczeń przedstawiono na rys. 2–8. Cyfry na rysunkach 5–8 odpowiadają poszczególnym prętom klatki tłumiącej.



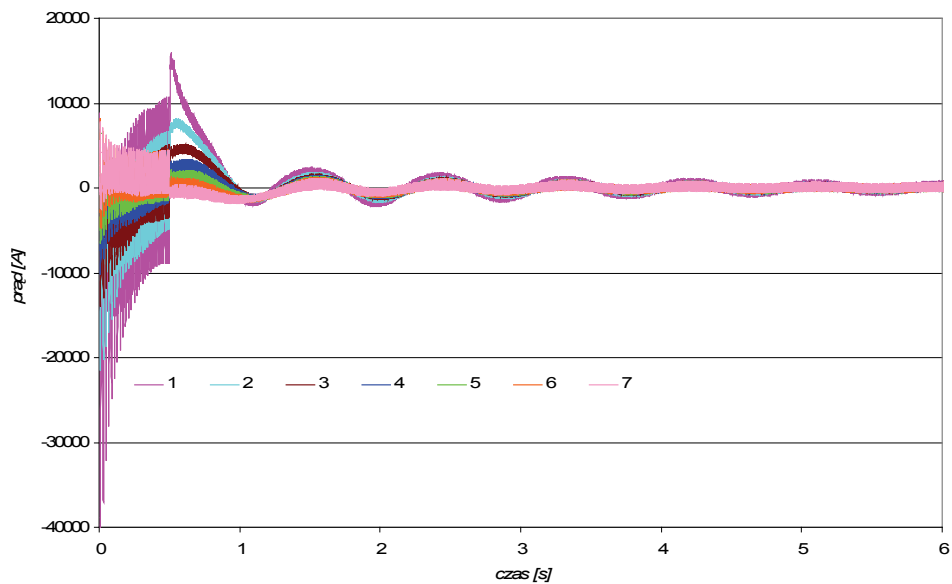
Rys. 2. Prąd stojana dla zwarcia 2-fazowego
Fig. 2. Stator current for 2-phase short circuit



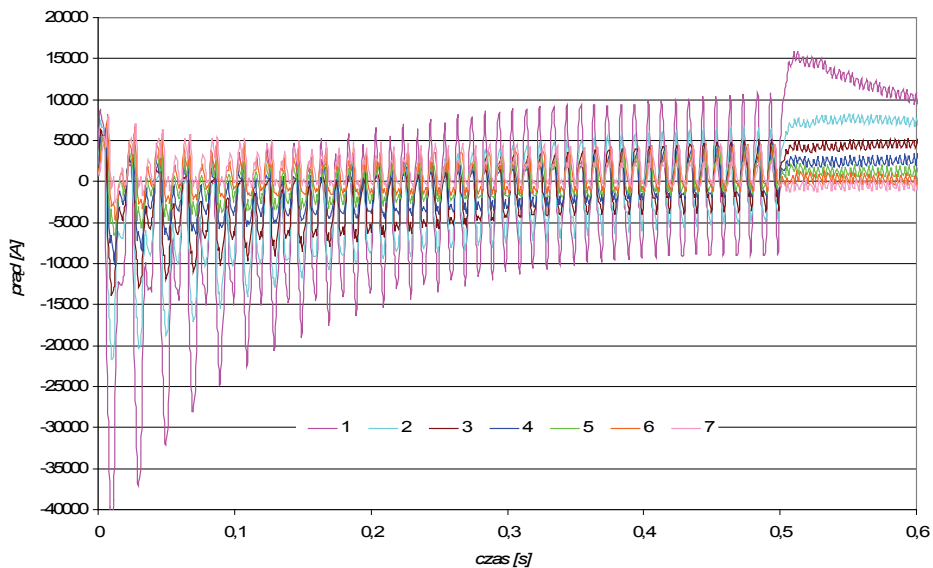
Rys. 3. Moment elektromagnetyczny dla zwarcia 2-fazowego
Fig. 3. Electromagnetic torque for 2-phase short circuit



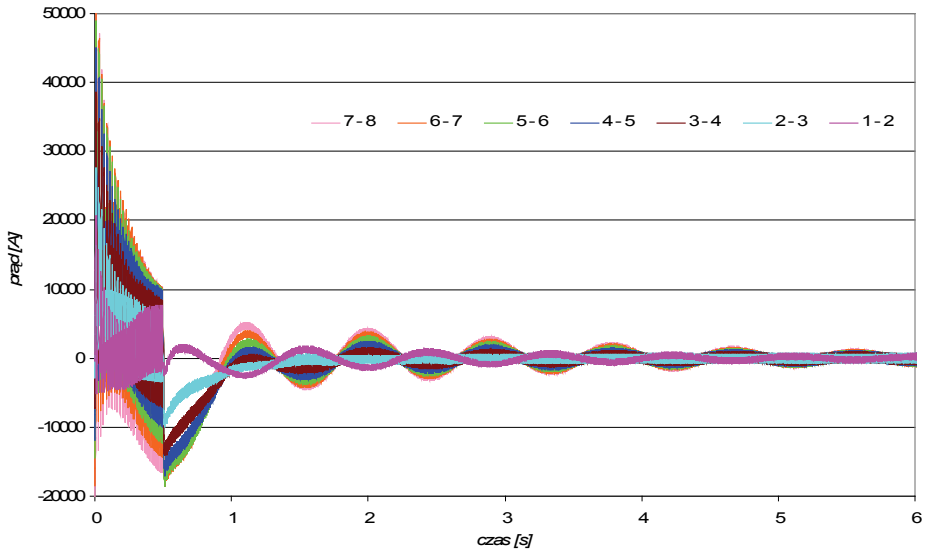
Rys. 4. Prędkość obrotowa dla zwarcia 2-fazowego
Fig. 4. Rotating speed for 2-phase short circuit



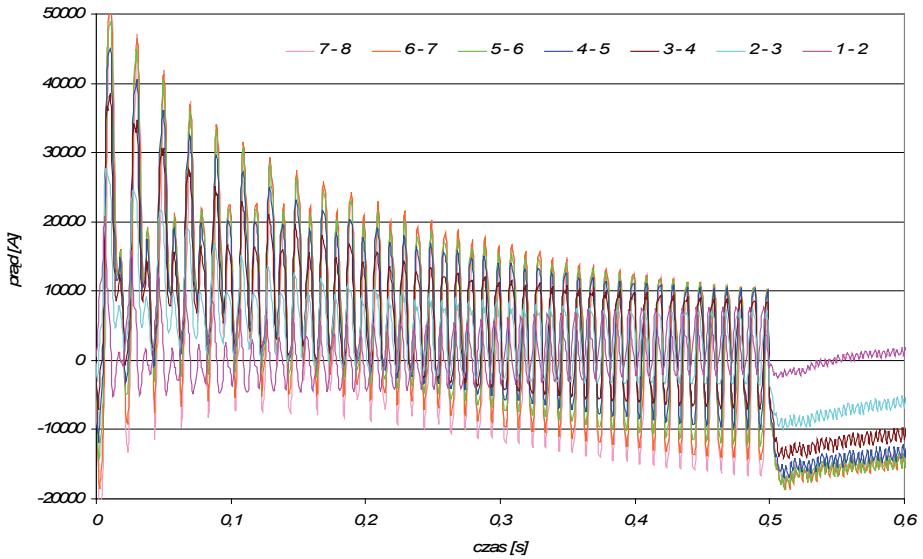
Rys. 5. Prądy w częściach czynnych uzwojenia tłumiącego
Fig. 5. Currents in active parts of damper winding



Rys. 6. Prądy w częściach czynnych uzwojenia tłumiącego
Fig. 6. Currents in active parts of damper winding



Rys. 7. Prądy w częściach czołowych uzwojenia tłumiącego
 Fig. 7. Currents in end parts of damper winding



Rys. 8. Prądy w częściach czołowych uzwojenia tłumiącego
 Fig. 8. Currents in end parts of damper winding

4. PODSUMOWANIE

Uzyskane wyniki obliczeń przedstawiają przebieg zakłócenia pracy turbogenerato-
ra wywołanego zwarciem dwufazowym. Pokazują przebiegi prądów w uzwojeniach
stojana, momentu elektromagnetycznego, prędkości obrotowej oraz niedostępne po-
miarowo przebiegi prądów w częściach czynnych i czołowych uzwojenia tłumiącego.
Zakłócenia takie powodują powstanie udarów prądów i momentu oraz kołysań ma-
szyny w systemie elektroenergetycznym. Jeżeli pozostałe generatory w systemie pod-
dane są kołysaniom, zwarcia na linii zasilającej badanego generatora mogą przyczynić
się do utraty stabilności systemu. Utrzymaniu stabilności systemu i utrzymaniu ma-
szyny w synchronizmie po odłączeniu zakłócenia sprzyja bardzo duża bezwładność
układu turbogenerato-
ra i turbiny parowej. Z tego powodu duże zmiany momentu
elektromagnetycznego nie powodują gwałtownych zmian prędkości.

*Praca naukowa finansowana przez Narodowe Centrum Nauki w Krakowie ze środków na naukę
w latach 2011–2013 jako projekt badawczy Nr 3141/B/T02/2011/40.*

LITERATURA

- [1] CEDRAT, *FLUX® 9.20 User's guide*, November 2005.
- [2] KISIELEWSKI P., ANTAL L., *Polowo-obwodowy model turbogenerato-
ra*, Prace Nauk. IMNiPE
PWr. nr 59, SiM nr 26, 2006, 53–60.
- [3] KISIELEWSKI P., ANTAL L., *Weryfikacja pomiarowa obliczonych charakterystyk statycznych
turbogenerato-
ra*, Zeszyty Problemowe BOBRME „Komet”, nr 77, 2007. 167–170.
- [4] KISIELEWSKI P., ANTAL L., *Przebiegi prądów w obwodach zwartych wirnika turbogenerato-
ra
w czasie zwarcia udarowego*, XLIII Międzynarodowe Sympozjum Maszyn Elektrycznych, Poznań
2007, 273–276.
- [5] KISIELEWSKI P., ANTAL L., *Zjawiska w turbogenerato-
rze przy udarowym zwarciu symetrycznym*,
Prace Nauk. IMNiPE PWr. nr 59, SiM nr 26, 2006, 61–68.
- [6] RAMIREZ C., TU XUAN M., SIMOND J., SCHAFFER D., STEPHAN C., *Synchronous machines
parameters determination using finite element method*, International Conference on Electrical Machi-
nes, IECM 2000, 28–30 August 2000, Espoo, Finland, ref. 1130.

PHYSICAL PHENOMENA IN TURBOGENERATOR DAMPER WINDINGS DURING PERTURBATIONS

The paper presents procedure of modeling short-circuits perturbations in the turbogenerator work
in power system. Using simulations short-circuit state was calculated. Phenomena after disconnecting
of the perturbation was investigated until transient state decay. The examples transient of selected
electromechanical quantities (including currents in damper windings inaccessible for measurements)
were showed.