

# Stanowisko laboratoryjne do badania generatora synchronicznego w stanach dynamicznych z zastosowaniem przyrządu wirtualnego

Maciej Bałkowiec, Bartosz Jachacy

## 1. Wstęp

Stany dynamiczne generatora synchronicznego związane są ze zjawiskami przekazu różnych form energii pomiędzy elementami maszyny, w sposób zmienny w czasie, zanikający i krótkotrwały. Badanie tych stanów znajduje zastosowanie przy wyznaczaniu parametrów charakterystycznych generatora synchronicznego. Dzięki temu możliwe jest opracowanie modelu matematycznego owej maszyny, w sposób zbliżony do obiektu rzeczywistego. W tym celu wykorzystany zostanie proces zwarcia trójfazowego generatora oraz synchronizacji wymuszonej przy niespełnionych warunkach.

Przyrząd wirtualny jest połączeniem oprogramowania i sprzętu w środowisku komputerowym. Dzięki temu możliwe jest przeprowadzenie szeregu złożonych badań z wykorzystaniem komputera osobistego wyposażonego w kartę pomiarową, przetworników pomiarowych oraz specjalnie stworzonego oprogramowania. Ideą takiego rozwiązania jest zastąpienie kilku przyrządów konwencjonalnych jednym wirtualnym. Obecnie w technice pomiarowej zastosowanie znajdują przyrządy pomiarowe oparte na cyfrowym przetwarzaniu sygnałów, które mogą zostać zaimplementowane na komputerze PC w postaci aplikacji realizującej odpowiedni algorytm.

## 2. Budowa układu pomiarowego

Układ pomiarowy stanowi przyrząd wirtualny zbudowany na bazie przetworników hallotronowych, karty pomiarowej oraz oprogramowania utworzonego w środowisku LABVIEW. Zadaniem przetworników pomiarowych jest sprowadzenie mierzonych napięć i prądów do sygnału napięciowego o amplitudzie nie większej niż 10 V. Dzięki temu możliwa jest konwersja sygnału analogowego na postać cyfrową za pomocą karty pomiarowej oraz wykorzystanie próbkowanego sygnału do obliczeń odpowiednich wielkości za pomocą przygotowanego oprogramowania.

Dodatkowo układ pomiarowy został wyposażony w element wykonawczy realizujący funkcje łączeniowe, bazujący na styczniku oraz przetworniku podwyższającym napięcie z wyjścia analogowego karty pomiarowej. Przetwornik podwyższający napięcie pełni również rolę separatora galwanicznego (transoptor).

**Streszczenie:** Niniejszy artykuł stanowi opis wykonanego stanowiska laboratoryjnego, propozycję badań stanów dynamicznych generatora synchronicznego oraz wstępną analizę wyników tych badań. Założeniem było opracowanie narzędzia pozwalającego wyznaczyć niektóre parametry modelu matematycznego generatora synchronicznego na podstawie przebiegów napięć i prądów stanów nieustalonych, występujących podczas tych procesów. Stworzony przyrząd wirtualny służy do przeprowadzenia procesów zwarcia generatora oraz synchronizacji generatora z siecią sztywną przy idealnych oraz odbiegających od nich warunkach układu oraz umożliwia rejestrację chwilowych wartości prądów i napięć niezbędnych do późniejszej analizy tych stanów. W artykule przedstawiono wyniki tych pomiarów oraz zaproponowano sposoby ich opracowania.

Słowa kluczowe: maszyny elektryczne, generator synchroniczny, stany dynamiczne, przyrząd wirtualny

## LABORATORY STAND FOR SYNCHRONOUS GENERATOR TESTS IN DYNAMIC STATE OF OPERATION USING VIRTUAL MEASUREMENT INSTRUMENT

**Abstract:** This article is a description of laboratory stand, a testing proposal of synchronous generator in dynamic states of operation and a preliminary analysis of the results of these studies. The idea was to develop an instrument to determine some parameters of a mathematical model of synchronous generator based on the voltage and current waveforms transients occurring during those processes. Virtual measurement instrument can be used to carry out the processes of generator short-circuit and the synchronization of the generator to the grid in ideal and non ideal conditions, and allows the registration of instantaneous currents and voltages needed for further analysis of these states. The article presents the results of these measurements and suggests ways of their development.

Keywords: electrical machines, synchronous generator, dynamic states of operation, virtual instruments

Głównymi zadaniami oprogramowania przyrządu wirtualnego są:

- bieżące obliczenia i prezentacja wielkości istotnych dla pracy generatora oraz sieci (wartości skuteczne napięć i prądów, współczynnik mocy, częstotliwość itp.);
- monitorowanie procesów synchronizacji oraz zwarcia poprzez bieżącą analizę mierzonych wielkości i sygnałów;
- rejestracja przebiegów podczas procesów synchronizacji z siecią oraz zwarcia.

Oprogramowanie umożliwia również wymuszenie procesu synchronizacji przy różnicy wartości napięć skutecznych sieci i generatora oraz przy różnych wartościach kątów fazowych wskazów tych napięć, co więcej, obydwie wartości można zadać.

### 3. Badania

Badania polegały na zarejestrowaniu przebiegów napięć i prądów generatora podczas zwarcia trójfazowego oraz wymuszonej synchronizacji generatora z siecią. Obiektem badanym był czterobiegunowy generator synchroniczny o budowie odwróconej (uzwojenie twornika umieszczone w wirniku) o następujących danych znamionowych:

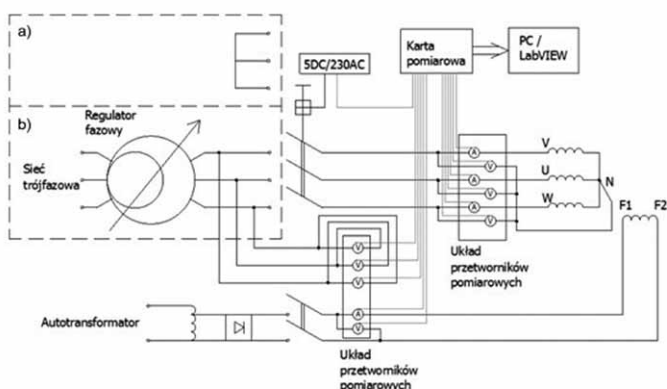
$P_n = 10 \text{ kVA}$	$n = 1500 \text{ obr./min}$
$U_n = 380 \text{ V}$	$I_n = 15,2 \text{ A}$
$\cos\varphi = 0,8$	$f = 50 \text{ Hz}$
Obwód wzbudzenia	
$U_f = 220 \text{ V}$	$I_f = 4 \text{ A}$

Próba wymuszonej synchronizacji została przeprowadzona dla dwóch przypadków:

- synchronizacja przy niezgodności tylko wartości skutecznych napięć generatora i sieci;
- synchronizacja przy niezgodności tylko kątów fazowych wskazów napięcia generatora i sieci.

Schematy układów pomiarowych do każdej z prób przedstawiono na rys. 1. Analizie poddano przebiegi prądu generatora  $I_g$  oraz napięcia generatora  $U_g$  i sieci  $U_s$  (rys. 2, 3, 4).

Na podstawie analizy przebiegów prądów fazowych można wyodrębnić następujące składowe:



**Rys. 1.** Schemat układu pomiarowego do badania stanów dynamicznych generatora: a) zwarcie trójfazowe; b) synchronizacja z siecią

- składowa aperiodyczna zanikająca widoczna w przebiegach prądów na rys. 2 oraz rys. 4;
- składowa oscylacyjna zanikająca widoczna na rys. 3;
- składowa okresowa odpowiadająca stanowi ustalonemu generatora synchronicznego.

Obecność składowej aperiodycznej zanikającej ma związek z chwilą zejścia się styków, pomiędzy którymi występuje różnica potencjałów, wynikająca z różnicy wartości skutecznych napięć po obu stronach stycznika oraz kąta fazowego napięcia. Wywołuje to przepływ prądu, który zanika po kilku stałych czasowych układu. Szybkość zanikania tej składowej zależy od wartości indukcyjności obwodu.

Obecność składowej oscylacyjnej ma związek z ustalaniem się kąta położenia wektora pola magnetycznego wytwarzanego przez generator względem wektora pola magnetycznego wytwarzanego przez sieć. Powoduje to pulsacje prędkości obrotowej, co widać również w przebiegu prądu fazowego generatora. Generator przez ten czas pracuje asynchronicznie. Częstotliwość oscylacji związana jest są ze stałymi elektromechanicznymi badanego generatora oraz sprzężonego z nim silnika prądu stałego.

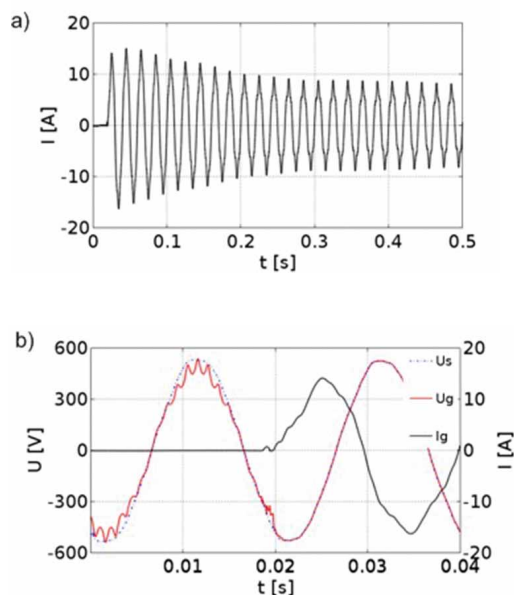
#### 4. Podsumowanie

Wykonany przyrząd wirtualny pozwala na niezawodne przeprowadzenie badań generatora synchronicznego w stanach dynamicznych występujących podczas procesów zwarcia oraz synchronizacji. Na podstawie zarejestrowanych przebiegów napięć i prądów można dokonać szczegółowej analizy tych stanów oraz podjąć próbę wyznaczenia parametrów modelu matematycznego generatora.

W celu utworzenia stanowiska do kompleksowego badania generatora synchronicznego można powstały przyrząd wirtualny rozwijać o kolejne aplikacje pomiarowe, takie jak:

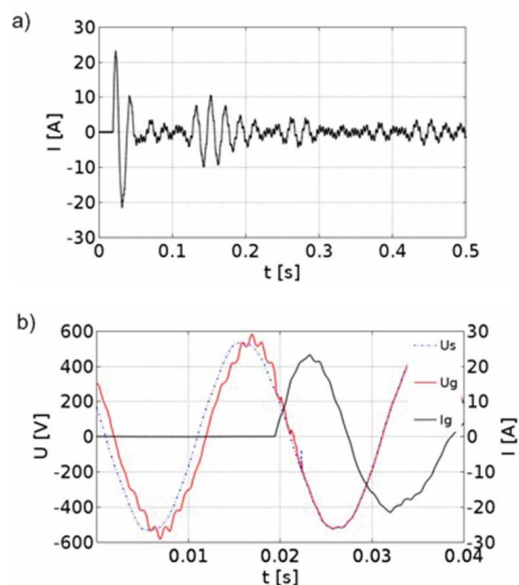
- pomiar rozkładu temperatury generatora;
- pomiar drgań akustycznych generatora.

Omówiony w artykule przyrząd wirtualny był przedmiotem pracy magisterskiej [1] i stanowił rozbudowę stanowiska



**Rys. 2.** Przebiegi prądu fazowego oraz napięcia międzyfazowego generatora podczas wymuszonego procesu synchronizacji przy różnicy wartości napięć skutecznych ( $dU = 40 \text{ V}$ ):

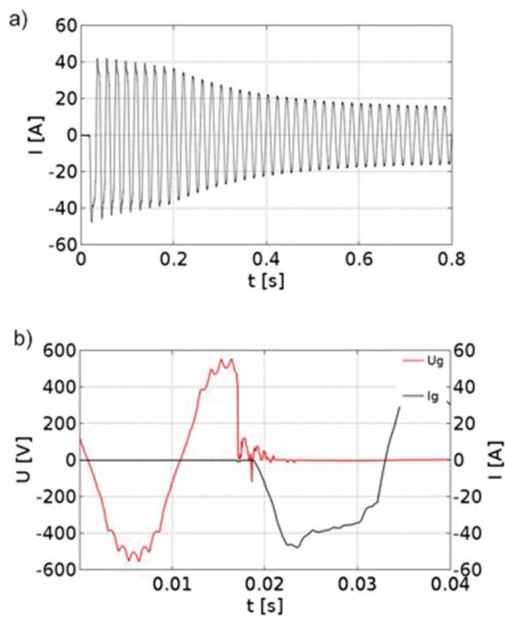
- a) przebieg prądu generatora;
- b) przebiegi napięcia i prądu w chwili zamknięcia stycznika



**Rys. 3.** Przebiegi prądu fazowego oraz napięcia międzyfazowego generatora podczas wymuszonego procesu synchronizacji przy różnicy kątów fazowych wskazów napięcia generatora oraz sieci ( $d\varphi \approx 16^\circ$ ):

- a) przebieg prądu generatora;
- b) przebiegi napięcia i prądu w chwili zamknięcia stycznika

laboratoryjnego do badań generatora synchronicznego w stanach quasi-statycznych Zakładu Maszyn Elektrycznych Politechniki Warszawskiej.



Rys. 4. Przebiegi prądu fazowego oraz napięcia międzyfazowego generatora podczas zwarcia trójfazowego:

a) przebieg prądu zwarciovego;


b) przebiegi napięcia i prądu w chwili zamknięcia stycznika

## Literatura

- [1] BAŁKOWIEC M., JACHACY B.: *Stanowisko laboratoryjne do badania generatora synchronicznego w stanach dynamicznych z zastosowaniem przyrządu wirtualnego. Wstęp do badań stanów dynamicznych generatora synchronicznego*. Praca magisterska, Warszawa 2013.
- [2] BAŁKOWIEC M., JACHACY B.: *Stanowisko laboratoryjne do badania maszyny synchronicznej w stanach quasi-statycznych z zastosowaniem przyrządów wirtualnych*. Praca inżynierska, Warszawa 2012.
- [3] LATEK W.: *Teoria maszyn elektrycznych*. WNT 1987.
- [4] LATEK W.: *Badanie maszyn elektrycznych w przemyśle*. WNT 1987.
- [5] KAMIŃSKI G., PRZYBOROWSKI W.: *Maszyny elektryczne*. OWPW 2014.

Artykuł ukazał się w czasopiśmie

„Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe”, 2(110)/2016

 mgr inż. Maciej Bałkowiec, e-mail: m.balkowiec@komel.katowice.pl  
Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL;  
mgr inż. Bartosz Jachacy, e-mail: bjachacy@hotmail.com