

Adrian Nocoń, Dominik Szuster
Politechnika Śląska, Gliwice

DYNAMIKA ŹRÓDŁA ROZPROSZONEGO Z UWZGLĘDNIENIEM NIEPEWNOŚCI PARAMETRÓW

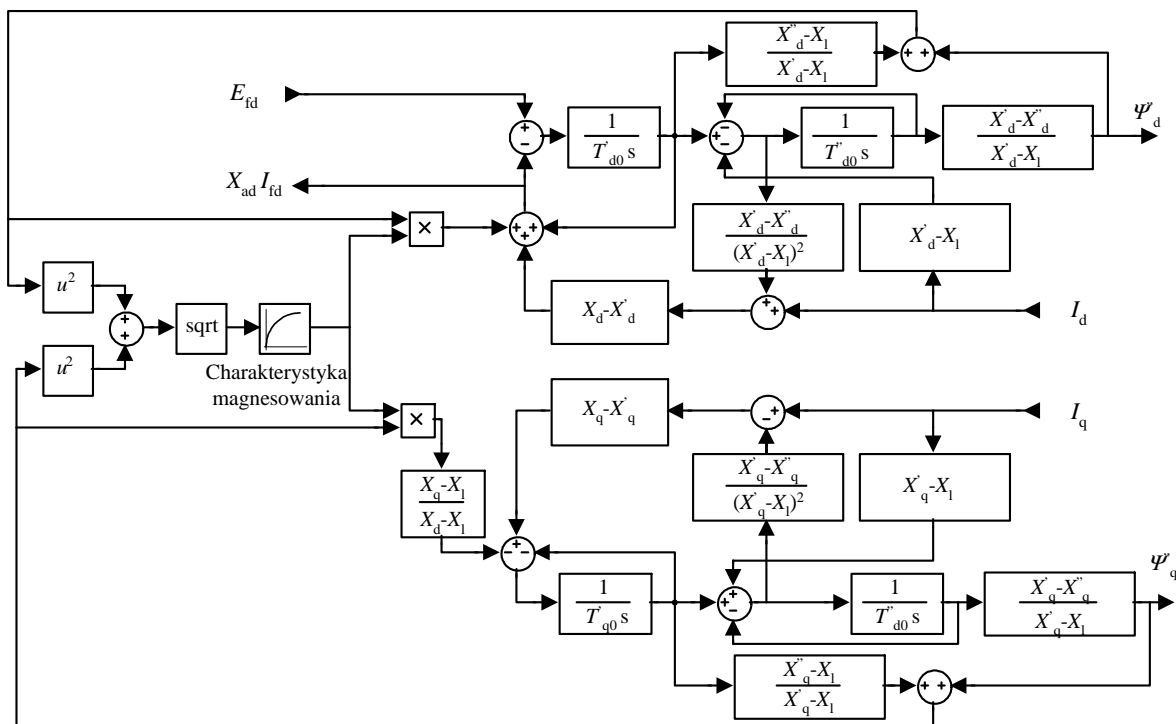
DYNAMICS OF DISTRIBUTED SOURCE INCLUDING PARAMETER UNCERTAINTY

Abstract: The paper presents preliminary analyses of possibility to build a mathematical model of the synchronous generator taking into account the parameter uncertainty. Transient states of a tested power system containing distributed sources were analysed with use of the mathematical model worked out. The parameter uncertainty of the synchronous generator mathematical model is determined by probability distribution of the given parameter occurrence. The probability distributions were determined on a basis of the analysis of the catalogue data of mass manufactured generating unit elements being components of distributed sources. The exemplary calculations were carried out for the system in which the seven machine power system CIGRE is connected by a medium voltage transmission line to two steam turbine-driven generating units of distributed generation.

1. Wstęp

Ze względu na dynamiczny rozwój energetyki rozproszonej, konieczne stają się analizy stanów przejściowych w systemie elektroenergetycznym, w skład którego wchodzi między innymi źródła rozproszone [2]. Analizy takie wymagają znajomości parametrów modeli matematycznych zespołów wytwórczych. Dla źródeł pracujących w polskim systemie elektroenergetycznym nie istnieje baza parametrów modeli matematycznych,

zwłaszcza źródeł rozproszonych. Ponadto analizy takie wykonywane są zwykle przed przyłączeniem źródeł rozproszonych do systemu elektroenergetycznego, między innymi w ramach ekspertyzy przyłączeniowej wymaganej przez Instrukcję Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej [9]. W związku z tym wymusza to badania z wykorzystaniem tak zwanych parametrów standardowych [8]. Badania takie mają ograniczone zastosowanie ponieważ wyniki dotyczą poszczególnego źródła i jednego konkretnego zestawu



Rys.1. Schemat blokowy modelu GENROU

parametrów. Rozwiązaniem tego problemu może być zastosowanie modeli uwzględniających niepewność parametrów. W mniejszym artykule przedstawiono wstępne analizy możliwości budowy modelu matematycznego generatora synchronicznego uwzględniającego niepewność parametrów. Przy czym niepewność parametrów określono poprzez rozkłady prawdopodobieństwa wystąpienia danej wartości parametru modelu matematycznego generatora synchronicznego. Rozkłady prawdopodobieństwa określono na podstawie analizy danych katalogowych seryjnie produkowanych generatorów synchronicznych przeznaczonych do pracy w źródłach rozproszonych. Przykładowe obliczenia przeprowadzono dla układu, w którym siedmiomaszynowy system elektroenergetyczny CIGRE połączony jest poprzez linię średniego napięcia z dwoma zespołami wytwórczymi generacji rozproszonej z turbiną gazową.

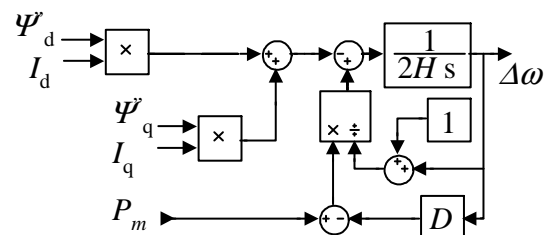
2. Model matematyczny generatora synchronicznego

W literaturze można odszukać wiele rodzajów modeli matematycznych generatorów synchronicznych, np. modele obwodowe typu $R-L$ [7] lub połowo-obwodowe [1]. Jednakże ze względu na ilość równań różniczkowych do analizy stanów przejściowych systemu elektroenergetycznego zazwyczaj stosowane są modele uproszczone. W związku z tym w przedstawianych badaniach do analizy przyjęto model matematyczny generatora synchronicznego typu GENROU [6]. Parametrami tego modelu są reaktancje i stałe czasowe w poszczególnych osiach oraz: X_1 – reaktancja rozproszenia uzwojenia stojana, R_a – rezystancja uzwojenia stojana. Parametrami w osi d są następujące reaktancje i stałe czasowe: T_{d0} – przejściowa stała czasowa, T'_{d0} – podprzejściowa stała czasowa, X_d – reaktancja synchroniczna, X'_d – reaktancja przejściowa, X''_d – reaktancja podprzejściowa. Natomiast reaktancje i stałe czasowe w osi q to: T_{q0} – przejściowa stała czasowa, T'_{q0} – podprzejściowa stała czasowa, X_q – reaktancja synchroniczna, X'_q – reaktancja przejściowa. Zmiennymi wejściowymi modelu GENROU są: napięcie wzbudzenia E_{fd} , moc mechaniczna P_m oraz prądy twornika w poszczególnych osiach I_d i I_q . Natomiast zmiennymi wyjściowymi modelu są: osiowe strumienie skojarzone Ψ'_d i

Ψ'_q oraz odchyłka prędkości kątowej $\Delta\omega$. Schemat blokowy modelu GENROU przedstawiono na rys. 1.

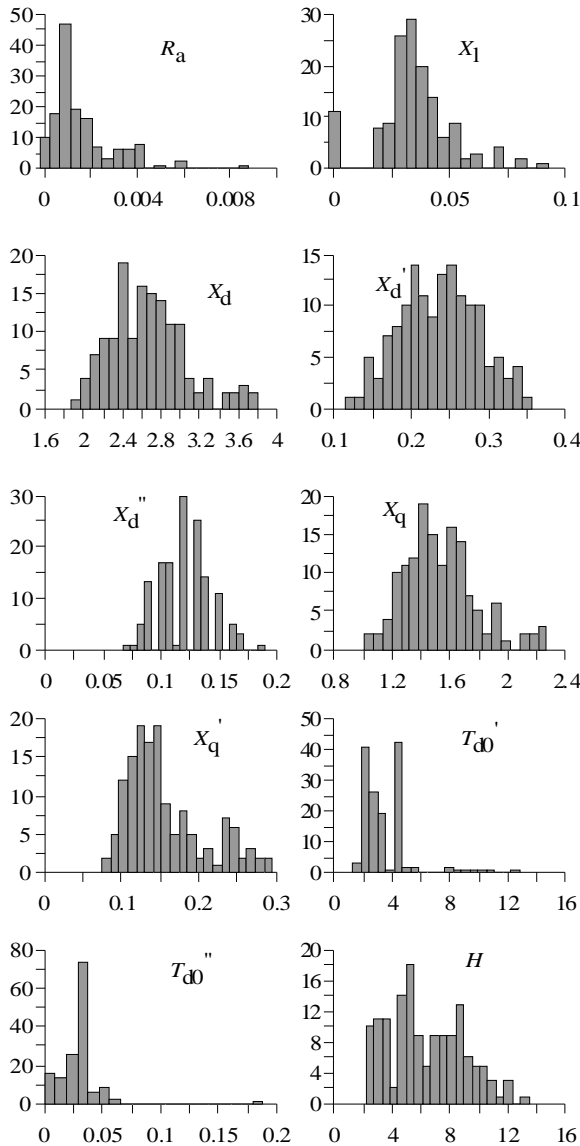
Uzupełnieniem równań różniczkowych opisujących stan przejściowy elektromagnetyczny w generatorze synchronicznym jest równanie ruchu. Parametrami rwanie ruchu są: H – stała czasowa inercji mechanicznej, D – współczynnik tłumienia mechanicznego. Schemat blokowy równania ruchu modelu GENROU przedstawiono na rys. 2.

Prezentowane na rys. 1 i 2 zależności wyrażone są w jednostkach względnych [6].



Rys.2. Schemat blokowy równania ruchu modelu GENROU

Uwzględniając rozkłady prawdopodobieństwa poszczególnych parametrów (reaktancji i stałych czasowych) otrzymuje się model GENROU uwzględniający niepewność parametrów. W prezentowanych badaniach rozkłady prawdopodobieństwa parametrów określono na podstawie analizy danych katalogowych seryjnie produkowanych generatorów [4] przeznaczonych do pracy ciągłej w źródłach generacji rozproszonej (np. biogazowych). Przeanalizowano 143 generatory trzech producentów o mocach znamionowych od 500 kVA do 4000 kVA. Przy czym rozkłady prawdopodobieństwa wyznaczono dla następujących parametrów: T_{d0} , T'_{d0} , X_d , X_q , X'_d , X'_q , X''_d , X_1 , R_a , H . Natomiast pozostałe parametry (tj. parametry, których producenci nie uwzględnili w danych katalogowych) przyjęto jako stałe o następujących wartościach: $T_{q0} = 0.75$, $T'_{q0} = 0.05$, $D = 0$. Ponadto założono stałą (nie zmieniającą się) charakterystykę magnesowania o współczynnikach $S_1 = 0.05$ i $S_{12} = 0.3$ [6]. Otrzymane rozkłady prawdopodobieństwa dla poszczególnych parametrów poddano analizie statystycznej [10], a uzyskane wyniki przedstawiono w postaci histogramów jak na rys. 3.

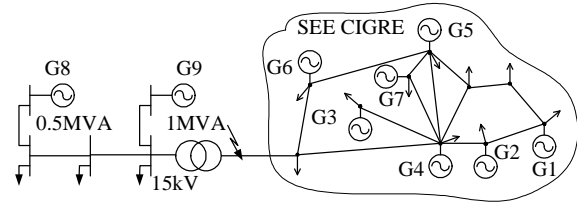


Rys.3. Rozkłady częstości parametrów modelu matematycznego GENROU

3. Przykładowe obliczenia

Przykładowe obliczenia przeprowadzono dla układu, w którym siedmiomaszynowy system elektroenergetyczny CIGRE połączony jest poprzez linię średniego napięcia z dwoma zespołami wytwórczymi (G8 i G9) generacji rozproszonej. Strukturę testowego systemu elektroenergetycznego przedstawiono na rys. 4. W analizowanym systemie niepewność parametrów zamodelowano dla źródeł generacji rozproszonej (G8 i G9). Dla pozostałych zespołów (od G1 do G7) przyjęto stałe wartości parametrów modeli matematycznych. Ponadto przyjęto stałe wartości dla wszystkich modeli matematycznych układów wzbudzenia generatorów i turbin napędowych (gazowych

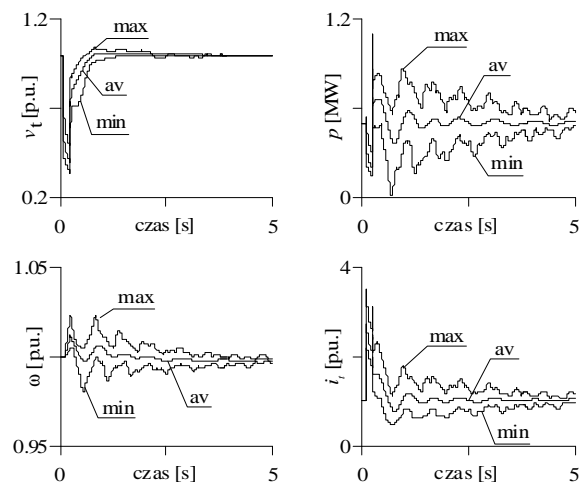
dla generatorów G8 i G9 oraz parowych dla pozostałych zespołów wytwórczych).



Rys.4. Struktura analizowanego systemu elektroenergetycznego

Stan przejściowy w analizowanym układzie wywołano poprzez zakłócenie w postaci symetrycznego przemijającego zwarcia o czasie trwania 250 ms w linii łączącej siedmiomaszynowy system elektroenergetyczny CIGRE z siecią średniego napięcia. Na rys. 5 przedstawiono, dla generatora zespołu G8 zainstalowanego w sieci średniego napięcia 15 kV, przebiegi napięcia twornika v_t , mocy chwilowej p , prędkości kątowej ω i prądu twornika i_t . Natomiast na rys. 6 przedstawiono analogiczne przebiegi dla generatora zespołu G4 należącego do systemu elektroenergetycznego CIGRE.

Z przebiegów przedstawionych na rys. 5 i 6 widać, że zmiana wartości parametrów zespołów wytwórczych G8 i G9 oddziałuje znacznie na przebiegi w tych zespołach, natomiast prawie nie zmienia przebiegów w zespołach należących do siedmiomaszynowego systemu elektroenergetycznego CIGRE. Taka sytuacja wynika ze znacznej różnicy mocy generowanej w źródłach rozproszonych i w tradycyjnych zespołach systemu CIGRE.



Rys.5. Przebiegi napięcia, mocy chwilowej, prędkości kątowej i prądu twornika generatora zespołu G8

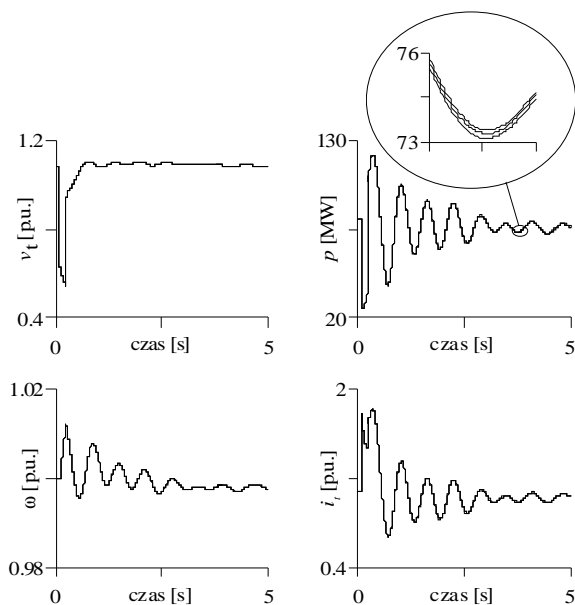


Fig.6. Przebiegi napięcia, mocy chwilowej, prędkości kątowej i prądu twornika generatora zespołu G4

5. Podsumowanie

Jak można zauważyć na przedstawionych histogramach (rys. 3) rozkłady prawdopodobieństwa wartości parametrów są niesymetryczne względem wartości średniej i cechują się znacznym rozrzutem. Utrudnia to proces określenia rozkładów aproksymujących dane katalogowe, a w konsekwencji określenia parametrów modelu uwzględniającego niepewność.

Badania symulacyjne z wykorzystaniem modeli uwzględniających niepewność parametrów polegają na wielokrotnym powtarzaniu obliczeń przy losowo wybieranych wartościach parametrów zgodne z założonym rozkładem prawdopodobieństwa. Wynikiem obliczeń są w tym przypadku pasma wybranych przebiegów np. napięć i mocy chwilowych (rys 5 i 6). Pasma te scharakteryzowane są poprzez wartości graniczne (wartość maksymalna i minimalna) oraz wartość średnią. Analiza symulacyjna tego typu modeli jest zatem bardziej czasochłonna niż dla klasycznych modeli matematycznych zespołów wytwórczych.

Pomimo przedstawionych powyżej trudności obliczeniowych zastosowanie modeli uwzględniających niepewność umożliwia zdobycie informacji o dynamice analizowanego systemu w różnych możliwych sytuacjach. Takie obliczenia należy wykonywać np. przy obliczaniu parametrów stabilizatorów

systemowych, przy wyborze miejsca przyłączenia nowych źródeł rozproszonych lub przy ocenie interakcji źródeł rozproszonych i źródeł systemowych.

Literatura

- [1] Berhausen S., Boboń A., Paszek S.: *Weryfikacja polowo-obwodowego modelu generatora synchronicznego na podstawie zmierzonych przebiegów nieustalonych*. XIV Międzynarodowa Konferencja Naukowa "Aktualne Problemy w Elektroenergetyce", Tom I: Systemy elektroenergetyczne: Modelowanie i badania symulacyjne. APE'2009, Jurata, 3-5.06.2009, ss.315-320
- [2] Kacejko P.: *Generacja rozproszona w systemie elektroenergetycznym*, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2004.
- [3] Kalous J.: *A simple simulation model of an injection engine for electric aggregates*, National Conference with International Participation "Engineering Mechanics", May 2001, wersja elektroniczna.
- [4] Katalogi agregatów prądowórczych i generatorów synchronicznych.
- [5] Katalogi silników spalinowych.
- [6] Majka, Ł., Paszek, S.: *Measurement-based model parameter estimation for electrical part of Rybnik power plant generating unit*, Pr. Nauk. Pol. Śl. Elekt. 2008 R. 54 z. 2 (206), pp. 67-77.
- [7] Nocoń A., Paszek S.: *Poliptymalizacja regulatorów napięcia zespołów prądowórczych z generatorami synchronicznymi*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008.
- [8] Paszek W.: *Dynamika maszyn elektrycznych prądu przemiennego*, Wydawnictwo Helion, 1998.
- [9] Polskie Sieci Elektroenergetyczne Operator S.A., *Instrukcja Ruchu i Eksploatacji Sieci Przesyłowej*, 2007.
- [10] Siegmund B.: *Analiza danych. Metody statystyczne i obliczeniowe*, PWN, Warszawa 1999.

Praca jest współfinansowana ze środków na naukę w latach 2009-2012 jako projekt badawczy NN511 352137.

Autorzy

Dr inż. Adrian Nocoń
 adrian.nocoon@polsl.pl,
 mgr inż. Dominik Szuster
 dominik.szuster@polsl.pl
 Politechnika Śląska, Instytut Elektrotechniki
 i Informatyki, 44-100 Gliwice, ul. Akademicka 10A, tel.:
 (32)-237-18-32,

Recenzent

Prof. dr hab. inż. Grzegorz Kamiński