

SENKRON GENERATÖRLERİN FARKLI DERECE MODELİNDEKİ ANALİZLERİNİN İNCELENMESİ

M. Kenan DÖŞOĞLU^{1*} Uğur GÜVENÇ¹ Gökhan POYRAZ² Bayram KÜÇÜK³

¹ Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fak., Elektrik-Elektronik Müh., 81620, Düzce, TÜRKİYE

² Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fak., Elektrik-Elektronik Müh., 11210, Bilecik, TÜRKİYE

³ Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, 06500, Ankara, TÜRKİYE

Özet- Yapılan bu çalışmada, 4 baralı bir güç sisteminde kullanılan senkron generatörlerin farklı dinamik derece modelleri ile geçici kararlılık durumlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Senkron generatörlerin dinamik modellemesinde 2., 3. ve 6. derece modelleri kullanılmıştır. Benzetim çalışması Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT)'da gerçekleştirilmiştir. Generatör baralarının gerilim değişimleri, generatörlerin açısal hız ve aktif güç değişimleri incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, senkron generatörlerin derece modellerinin geliştirilmesi ile sistemin kısa zaman içinde kararlı hale geldiği ve osilasyonların azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler- Senkron Generatör, ÇBAG, Derece Modelleri, PSAT

INVESTIGATION OF ANALYSIS DIFFERENT ORDER MODELS OF SYNCHRONOUS GENERATORS

Abstract- In this study, transient stability conditions of synchronous generators with different dynamic order models used in 4 buses power system was compared. 2nd 3rd and 6th dynamic modeling of synchronous dynamic modeling were used. Simulation study was conducted in Power Systems Analysis Program (PSAT). Voltage variations of generator buses, angular speed of generators, and active power of generator were examined. As a result of studies, with the enhancement of dynamic order model in synchronous generator became stable in a short time, and it was observed that the oscillations increased and decreased the performance of simulation study.

Key Words- Synchronous Generator, DFIG, Order Modeling, PSAT

*kenandosoglu@duzce.edu.tr

1 GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çok baralı güç sistemlerinde geçici kararlılık durumlarından daha az etkilenmesi senkron generatörlerin çalışmasında oldukça önemlidir. Geçici kararlılık durumlarında senkron generatörün kararsızlık durumunun uzun sürmesi sistemin çökmesine sebep olmaktadır. Bu problemin kısa zaman içerisinde ortadan kaldırılmasında dinamik modelleme yöntemleri etkili olmaktadır. Literatürde dinamik modelleme metodları ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Senkron generatörlerin geçici kararlılık durumlarında Güç Sistemleri Kararlılığı (GSK) kullanılmıştır. Farklı tiplerdeki GSK yöntemleri geliştirilerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir [1-3]. Senkron generatörlerde farklı generatör yönetici kullanılarak güç sistemlerinde geçici kararlılık durumları incelenmiştir. Farklı generatör yönetici modellerinde ayrıca yeni metodlar kullanılarak simetrik ve asimetrik kısa devre üzerindeki etkiler üzerinde durulmuştur. [4-5]. Senkron generatörlerde kararlılık iyileştirme metodlarından biri de küçük sinyal kararlılığıdır. Küçük sinyal kararlılığında senkron generatörlerin geliştirilen modellemeleri ile geleneksel olarak kullanılan kontrol ünitelerinin karşılaştırılması yapılmıştır. [6-8]. Senkron generatörlerin devre dışı kalması durumunda oluşan frekans kararsızlığına karşı farklı kontrol metodları geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerin kısa zaman içerisinde frekans kararlılığını ortadan kaldırdığı görülmüştür [9-10]. Senkron generatörlerin bağlı olduğu baralara rüzgar türbini ve güneş panellerinin bağlanması ile oluşabilecek geçici kararlılık durumları için farklı kontrol yöntemleri geliştirilmiştir. Özellikle rüzgar hızının değişimi ve güneşin etkisinin değişiminde kararsızlık durumunu minimum düzeye indirmede senkron generatörde uyarlanan kontrol yöntemi etkili olmuştur [11-13].

Yapılan bu çalışmada çok baralı güç sisteminde senkron generatörün farklı dinamik modellemeleri yapılmıştır. Bu farklı dinamik modellerin 3 faz arızasındaki etkileri incelenerek, geçici durumlardaki zaman cevapları üzerinde durulmuştur. Yapılan çalışma sonucunda derece modelinin artışı hem benzetim çalışmasının performansını hem de sistemin kısa sürede kararlı hale geldiğini göstermiştir.

2. SENKRON GENERATÖR MODELLERİ (SYNCHRONOUS GENERATOR MODELS)

Senkron generatör modellerinde 2., 3., ve 6. dinamik derece modelleri kullanılmıştır. 2. dinamik derece modelinde tüm d-q eksen elektromanyetik devreleri ihmal edilmiştir. 2. dinamik derece modeli iki değişkenle tanımlanmaktadır. Bunlar açığı ve açısız hızdır. Açığı ve açısız hız ifadeleri Eş.1 ve Eş. 2 de gösterilmiştir.

$$\delta = f_b(\omega - 1) \quad (1)$$

$$\omega = (P_m - P_e - D(\omega - 1)) / M \quad (2)$$

3. dinamik derece modelinde tüm q eksen elektromanyetik devreleri ihmal edilmiştir ve d eksen indüktansı transfer fonksiyon içerisinde kullanılmıştır. 3. dinamik derece modeli üç değişkenle tanımlanmaktadır. Bunlar açığı, açısız hız ve q eksen geçici gerilim kaynağıdır. Açığı, açısız hız ve q eksen geçici gerilim kaynağı Eş. 3 ve Eş. 5 arasında gösterilmiştir.

$$\delta = f_b(\omega - 1) \quad (3)$$

$$\omega = (P_m - P_e - D(\omega - 1)) / M \quad (4)$$

$$\dot{e}_q = (-f_s (e_q) - (x_d - x_d') i_d + v_f^*) / T_{d0}' \quad (5)$$

6. dinamik derece modelinde d eksenine bir devre ve q eksenine iki devrenin ilave edilmesi ile elde edilmektedir. 6. dinamik derece modeli altı değişkenden oluşur. Bunlar; açı, açısal hız, q eksen geçici gerilim kaynağı, d eksen geçici gerilim kaynağı, q eksen alt geçici gerilim kaynağı, d eksen alt geçici gerilim kaynağıdır. 6. dinamik derece modelinin elde edilmesinde kullanılan ifadeler Eş. 6 ve Eş. 11 arasında gösterilmiştir.

$$\delta = f_b(\omega - 1) \quad (6)$$

$$\omega = (P_m - P_e - D(\omega - 1)) / M \quad (7)$$

$$e'_q = \left(-e'_q - \left(x_d - x'_d - \frac{T''_{d0} x''_d}{T'_{d0} x'_d} (x_d - x'_d) \right) i_d + \left(1 - \frac{T_{AA}}{T'_{d0}} \right) v_f^* \right) / T'_{d0} \quad (8)$$

$$e'_d = \left(-f_s(e'_d) + \left(x_q - x'_q - \frac{T''_{q0} x''_q}{T'_{q0} x'_q} (x_q - x'_q) \right) i_q \right) / T'_{q0} \quad (9)$$

$$e''_q = \left(-e''_q + e'_q - \left(x'_d - x''_d + \frac{T''_{d0} x''_d}{T'_{d0} x'_d} (x_d - x'_d) \right) i_d + \frac{T_{AA}}{T'_{d0}} v_f^* \right) / T''_{d0} \quad (10)$$

$$e''_d = \left(-e''_d + e'_d + \left(x'_q - x''_q + \frac{T''_{q0} x''_q}{T'_{q0} x'_q} (x_q - x'_q) \right) i_q \right) / T''_{q0} \quad (11)$$

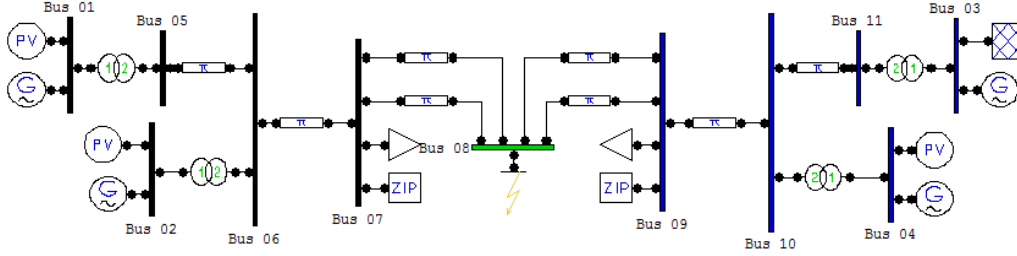
Burada, f_b temel frekans, P_m mekanik güç, M moment, D sönümleme katsayısı, x_d and x'_q d-q eksen senkron reaktanslar, x'_d and x'_q d-q eksen senkron geçici reaktanslar, x''_d and x''_q d-q eksen senkron alt geçici reaktanslar, T'_{d0} and T'_{q0} d-q eksen açık devre geçici zaman sabiti, T''_{d0} and T''_{q0} d-q eksen açık devre alt geçici zaman sabiti, T_{AA} d-q eksen ilave kaçak zaman sabiti, i_d and i_q d-q eksen akımı, δ rotor açısı, w rotor hızı, v_f alan gerilimi, e'_d and e'_q d-q eksen geçici gerilim kaynağı, e''_d ve e''_q d-q eksen alt geçici gerilim kaynağıdır[14]. Senkron generatörlerin bütün dinamik modellerinde kullanılan sabit ve reaktans parametreleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Senkron generatörlerin sabit ve reaktans parametreleri(Constant and reactance parameters of synchronous generators)

Derece modeli	T'_{d0}	T'_{q0}	T''_{d0}	T''_{q0}	x_d	x'_d	x''_d	x_q	x'_q	x''_q
2						+				
3	+				+	+		+		
4	+	+			+	+		+	+	
5.1	+	+		+	+	+		+	+	
5.2	+		+	+	+	+	+	+		+
5.3	+				+	+		+		
6	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

3. BENZETİM ÇALIŞMASI (SIMULATION STUDY)

Yapılan bu çalışmada 4 baralı güç sistemi üzerinde test edilmiştir. Bu çalışma Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) ile gerçekleştirilmiştir [15]. Oluşturulan 4 baralı güç sisteminin devre modeli Şekil 1'de gösterilmiştir.

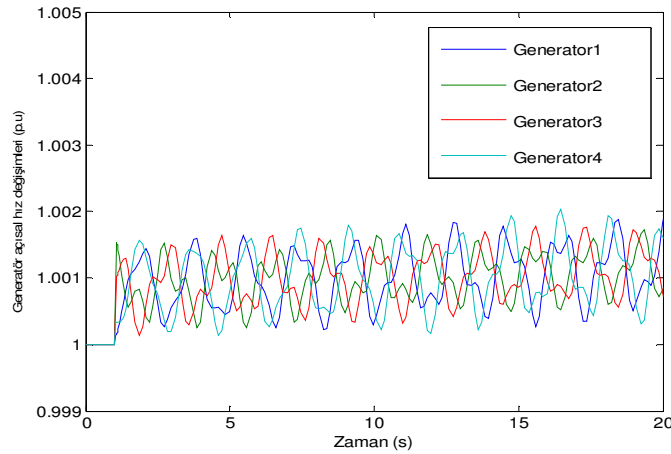


Şekil 1. 4 baralı güç sistemi (4 buses power systems)

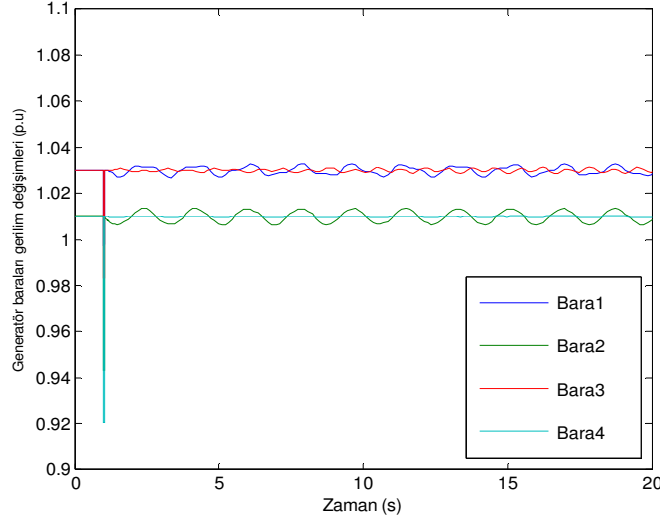
4 baralı bu güç sisteminde 3 numaralı bara sonsuz bara olarak kullanılırken, 1, 2 ve 4 numaralı baralar generatör barası olarak kullanılmıştır. Diğer geri kalan 7 bara ise yük barası olarak kullanılmıştır. Bu sistemin 1-5, 2-6, 3-11 ve 4-10 iletim hatlarında gerilimi düşüren transformatörler kullanılmıştır. 7 ve 9 numaralı yük baralarında sabit empedans, sabit akım, sabit aktif güce sahip (ZIP) yükler kullanılmıştır. ZIP yükün empedans ve aktif güç değerleri 0, akım değeri ise 1 olarak alınmıştır. Analizi yapılacak olan bu güç sisteminde 8 numaralı barada 3 faz arızası oluşmuştur. Bu arıza süresi 1 ile 1.05 saniyeler arasındadır. Benzetim çalışması üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada 2. dinamik derece modeli, ikinci aşamada 3. dinamik derece modeli ve son aşamada 6. dinamik derece modeli kullanılmıştır.

4. BENZETİM ÇALIŞMASI SONUÇLARI (SIMULATION STUDY RESULTS)

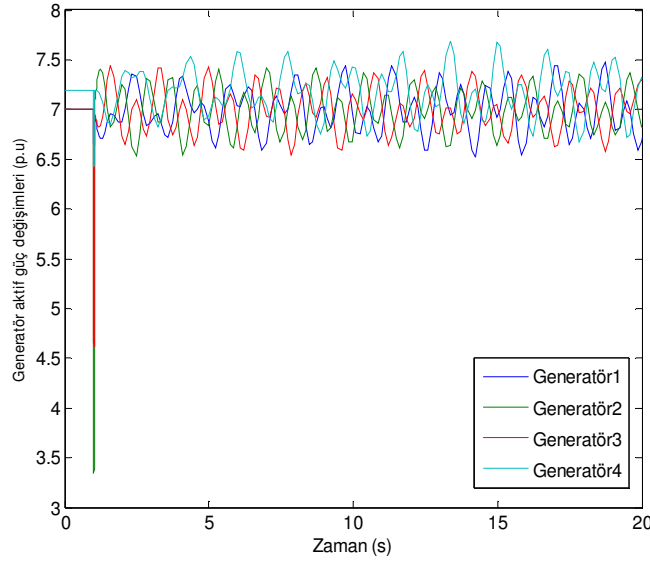
8 numaralı barada 3 faz arızasının oluşmasında 2. dinamik derece modelinde senkron generatörlerin açısal hızı, bara gerilimi ve aktif gücü değişimi Şekil 2 ile Şekil 4 arasında gösterilmiştir.



Şekil 2. 2. Derece modelinde Senkron generatörlerin açısal hız değişimi (2. order model angular speed variations of synchronous generators)

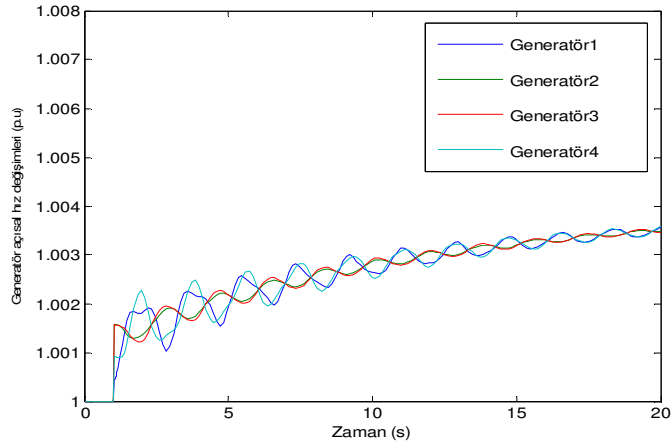


Şekil 3. Generatör barası 2. derece modelinde gerilim değişimleri (Generator bus 2. order model voltage variations)

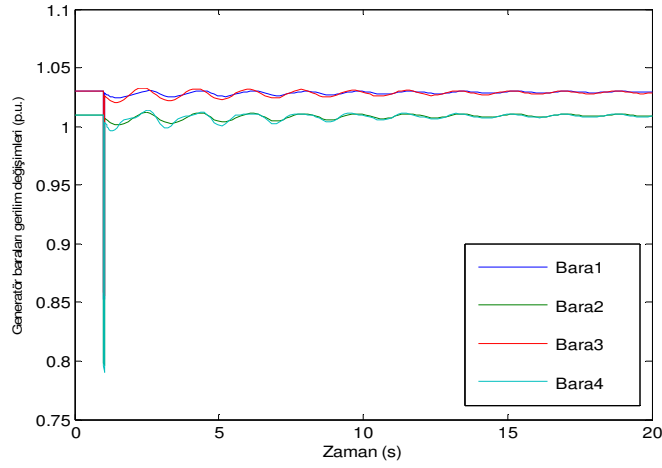


Şekil 4.: Senkron generatörlerin 2. derece modelinde aktif güçleri (2. Order model active power of synchronous generators)

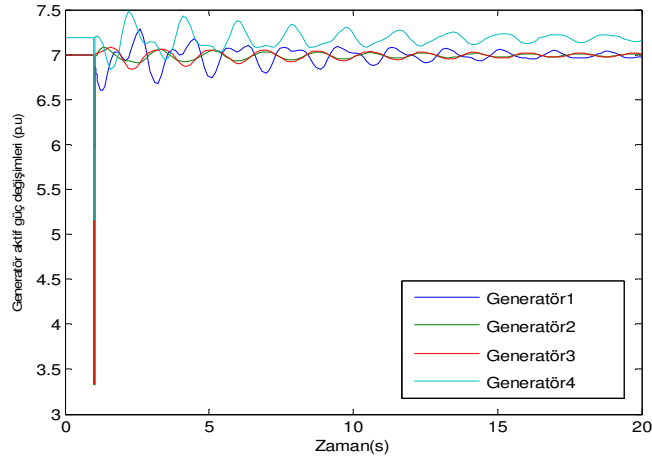
2. dinamik derece modelinde senkron generatörün açısal hız değişiminin 1-1.002 p.u., generatör barası geriliminin 0.92 p.u değerine düştüğü, generatör aktif güçlerinin 3.4 p.u değerine düştüğü görülmüştür. Senkron generatörlerde 2. dinamik derece modelinde 3 faz arızasında sistemin kararsız olduğu görülmüştür. 8 numaralı barada 3 faz arızasının oluşmasında 3. dinamik derece modelinde senkron generatörlerin açısal hızı, bara gerilimi ve aktif gücü değişimi Şekil 5 ile Şekil 7 arasında gösterilmiştir.



Şekil 5. Senkron generatörlerin 3. derece modelinde açısıl hız değişimi (3. order model angular speed variations of synchronous generators)

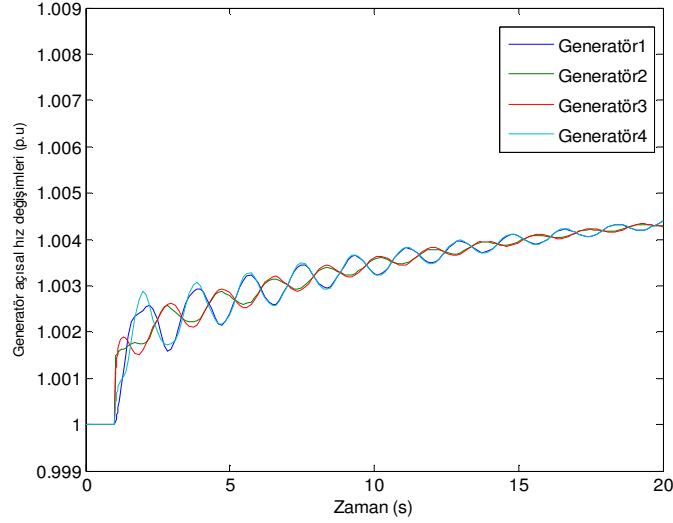


Şekil 6. Generatör barası 3. derece modelinde gerilim değişimleri (Generator bus 3. order model voltage variations)

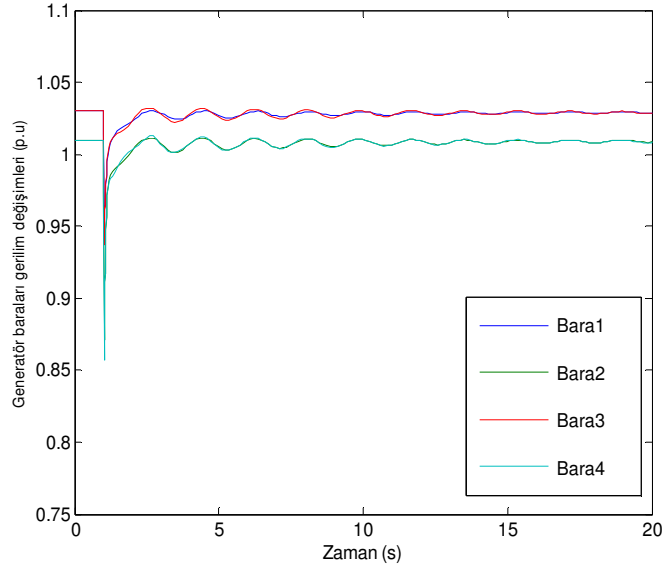


Şekil 7. Senkron generatörlerin 3.derece modelinde aktif güçleri (3. order model active power of synchronous generators)

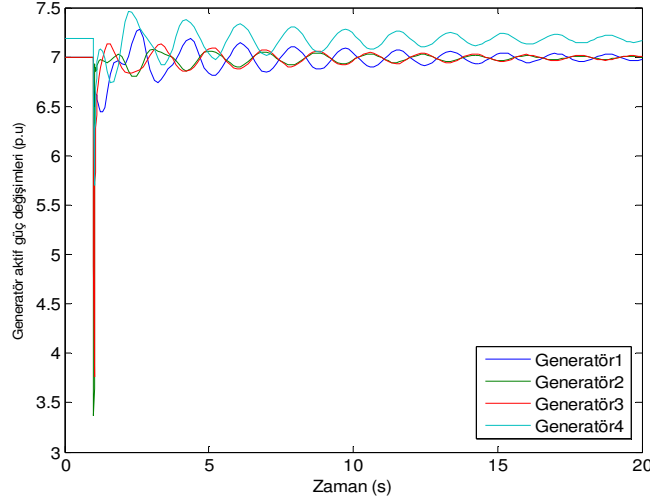
3. dinamik derece modelinde senkron generatörün açısız hız değışiminin 1.0035 p.u., değeriine yükseldiği görölmüşür. Generatör barası geriliminin 0.79 p.u değeriine düştüğü, generatör aktif güçlerinin 3.4 p.u değeriine düştüğü görölmüşür. Senkron generatörlerde 3. dinamik derece modelinde 3 faz arızasında sistemin yaklaşık olarak 15. saniyede kararlı hale geldiği görölmüşür. 8 numaralı barada 3 faz arızasının oluşmasında 6. dinamik derece modelinde senkron generatörlerin açısız hızı, bara gerilimi ve aktif gücü değışimi Şekil 8 ile Şekil 10 arasında gösterilmiştir.



Şekil 8. Senkron generatörlerin 6. derece modelinde açısız hız değışimi (6. order model angular speed variations of synchronous generators)



Şekil 9. Generatör baraları 6. derece modelinde gerilim değışimleri (Generator bus 6. order model voltage variations)



Şekil 10. Senkron generatörlerin 3 .derece modelinde aktif güçleri (6. order model active power of synchronous generators)

6. dinamik derece modelinde senkron generatörün açısız hız değişiminin 1.0042 p.u değerine yükseldiği görülmüştür. Generatör barası geriliminin 0.86 p.u değerine düştüğü, generatör aktif güçlerinin 3.4 p.u değerine düştüğü görülmüştür.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Çok baralı güç sisteminde senkron generatörlerin farklı derece modelindeki 3 faz arızasındaki etkileri incelenmiştir. Açık ve açısız hızdan oluşan 2. dinamik modelin 3 faz arızası için yetersiz olduğu görülmüştür. Açık ve açısız hıza ilave edilen q ekseni gerilim kaynağı ile oluşan 3. derece modelinde sistemin belli bir zaman sonra kararlı hale geldiği görülmüştür. Ayrıca osilasyonlar zaman içerisinde azalmıştır. Senkron generatöre d-q eksen geçici ve alt geçici reaktansların ilave edilmesi ile oluşan 6. dinamik modelin diğer modellere nazaran daha kısa zaman içerisinde sistemi kararlı hale getirdiği ve osilasyonların daha az olduğu görülmüştür. Yapılan karşılaştırma sonucunda 3 faz arızasında senkron generatör parametrelerinden aktif güç en fazla etkilenen parametre olmuştur.

6. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Dysko, A., Leithead, W.E., and O'Reilly, J., (2010). Enhanced Power System Stability by Coordinated Pss Design, *Power Systems, IEEE Transactions on*, 25(1), 413-422.
- [2] Chung, C.Y., Wang, K.W., Tse, C.T., and Niu, R., (2002). Power-System Stabilizer (PSS) Design by Probabilistic Sensitivity Indexes (Psis), *IEEE Transactions on Power Systems*, 17(3), 688-693.
- [3] Ramos, R. A., (2009). Stability Analysis Of Power Systems Considering Avr and Pss Output Limiters. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 31(4), 153-159.
- [4] Ourari, M.L., Dessaint, L.A., and Do, V.Q., (2006). Dynamic Equivalent Modeling Of Large Power Systems using Structure Preservation Technique, *IEEE Transactions on Power Systems*, 21(3), 1284-1295.
- [5] Khodabakhshian, A., and Hooshmand, R., (2010). A New PID Controller Design for Automatic Generation Control of Hydro Power Systems, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 32(5), 375-382.

- [6] Chung, C.Y., Wang, L., Howell, F., and Kundur, P., (2004). Generation Rescheduling Methods to Improve Power Transfer Capability Constrained by Small-Signal Stability, *IEEE Transactions on Power Systems*, 19(1), 524-530.
- [7] Jia, H., Yu, X., Yu, Y., and Wang, C., (2008). Power System Small Signal Stability Region with Time Delay, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 30(1), 16-22.
- [8] Rommes, J., and Martins, N., (2008). Computing Large-Scale System Eigenvalues Most Sensitive to Parameter Changes with Applications To Power System Small-Signal Stability, *IEEE Transactions on Power Systems*, 23(2), 434-442.
- [9] Kundur, P., Paserba, J., Ajarapu, V., Andersson, G., Bose, A., Canizares, C., and Vittal, V., (2004). Definition and Classification of Power System Stability IEEE/Cigre Joint Task Force on Stability Terms and Definitions, *IEEE Transactions on Power Systems*, 19(3), 1387-1401.
- [10] Horne, J., Flynn, D., and Littler, T., (2004). Frequency Stability Issues for Islanded Power Systems, *Power Systems Conference and Exposition, 2004. IEEE PES*, 1, 299-306.
- [11] Gautam, D., Vittal, V., and Harbour, T., (2009). Impact of Increased Penetration Of DFIG-Based Wind Turbine Generators on Transient and Small Signal Stability of Power Systems, *IEEE Transactions on Power Systems*, 24(3), 1426-1434.
- [12] Wu, J.L., Zhou, S.X., Sun, J.F., Chen, S.S., and MENG, Q.H., (2004). Analysis on Maximum Power Injection of Wind Farm Connected to Power System, *Power System Technology*, 20, 006.
- [13] Sloopweg, J.G., De Haan, S.W.H., Polinder, H., and Kling, W.L., (2003). General Model for Representing Variable Speed Wind Turbines in Power System Dynamics Simulations, *IEEE Transactions on Power Systems*, 18(1), 144-151.
- [14] Milano, F., (2005). Documentation for PSAT Version 1.3.4, 2005,[2007-12-30]. [http://www. Power. uwaterloo. ca/~fmilano/archive/psat-1.3. 4. pdf](http://www.Power.uwaterloo.ca/~fmilano/archive/psat-1.3.4.pdf).
- [15] Milano, F., (2005). An Open Source Power System Analysis Toolbox, *IEEE Transactions on Power Systems*, 20(3), 1199-1206.