

SERİ KOMPAZASYON SİSTEMLERİNİN GEÇİCİ HAL KARARLILIĞINA ETKİLERİ

Ömer Özgür GENCER¹

Semra ÖZTÜRK²

^{1,2}Elektrik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi,
Kocaeli Üniversitesi, 41100, İzmit/Kocaeli,

¹e-posta: ogencer@kou.edu.tr

²e-posta: semra@kou.edu.tr

Anahtar Sözcükler: Seri kompozasyon, Geçici hal kararlılığı, Gerilim kararlılığı.

ABSTRACT

It is becoming increasingly important for power system planning and operating engineers to be capable of performing comprehensive transient stability analyses of the systems. This need is largely due to the recent trends towards operating systems under stressed conditions, as a result of increasing system loads without sufficient transmission and/or generation enhancements. There have been many failures, due to transient instability in power systems around the world. In recent years many researchers have suggested techniques for transient stability analysis considering both static and dynamic aspects. This paper is mainly concerned with analysis of transient stability effects of series compensation. The goal of this study is to present certain problem situations that are often encountered in the power system and show how series compensation can be used to improve the system performance.

1. GİRİŞ

Günümüzde sürekli artan elektrik enerjisi ihtiyacına cevap verebilmek için yeni üretim tesisleri kurmak gerekmektedir. Ancak üretim tesislerini, coğrafi, ekonomik, çevresel, politik, vb. nedenlerle her zaman tüketicilere ve özellikle büyük tüketim merkezlerine yakın kurma olanağı bulunmadığı için, uzak mesafelerden, büyük miktarda güç iletilmesi zorunludur [1].

Uzun mesafelerden, büyük miktarlarda enerji iletimi pek çok problemi beraberinde getirmektedir. Öncelikle iletim geriliminin belirlenmesi, dolayısıyla iletim hattına ilişkin iletkenler, direkler ve izolatörler gibi elemanların gerilim düzeyine uygun olarak boyutlandırılması gerekmektedir. Bunun sonucu olarak ortaya çıkacak iletim kayıplarının azaltılması ve iletim kapasitesinin artırılabilmesi için kontrol-kumanda sistemlerinin seçimi, kesici ve ayırıcıların boyutlandırılması, işletme ile ilgili olarak iletimin tek-hat, çift-hat veya daha fazla sayıda hatla yapılması da başlıca problemlerdir.

Şüphesiz bunların yanında, üretimde kullanılan senkron generatörlerin, sistemlerinde oluşabilecek bozucu etkiler sonrasında, senkronizmadan kopup kopmayacağı diğer bir değişle kararlılık problemi, işletimin ana problemidir. Diğer önemli bir problem ise, yine bu tür işletme koşullarına bağlı olarak ortaya çıkan “gerilim ve rotor açısı kararlılığı” sorunudur.

Sözü geçen bu problemleri çözmek için bir takım yöntem ve teknikler geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları, gerilim seviyesinin yükseltilmesi, paralel hat çekilmesi, senkron kondansatörler veya statik senkron kondansatörler kullanılması ve yüksek doğru gerilimle enerji iletimi yapmaktır. Bu yöntemlerin hepsi büyük yatırımlar gerektirmektedir.

Reaktif güç kontrolü ile sistemin gerilim kararlılığının sağlanmasında, seri kompozatör sistemlerinin kullanılması, yukarıda sayılan yöntemlere göre daha pratik ve ekonomik bir çözümdür. Bu nedenle, bu çalışmada iletim sistemlerinde reaktif güç kontrolünü sağlayan seri kompozasyon konusu ele alınarak, seri kompozasyon sistemlerinin geçici hal kararlılığına etkileri örnek bir test sistemi üzerinde incelenecektir.

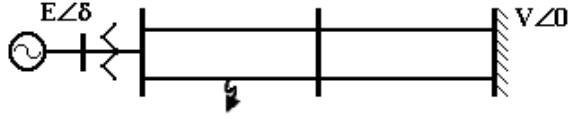
2. KARARLILIK - REAKTANS İLİŞKİSİ

Modern güç sistemlerinde enerji iletiminin önemli gün geçtikçe artmaktadır. Buna bağlı olarak çeşitli arıza durumlarında senkron generatörlerin senkronizmadan çıkmaları, kararlılık sorunu meydana getirmektedir. Güç sistemlerinde geçici hal kararlılığı, kısadevrelere, üretim birimlerinin veya büyük güçlü tüketicilerin devre dışı kalması gibi bozucu etkiler sonucunda sistemin senkronizmada kalma yeteneği olarak tanımlanır [2]. Geçici hal kararlılığı, senkron makinelerin reaktansları ve ivmelenme sabitleri, iletim hatlarının reaktansları gibi birçok faktöre bağlıdır.

Çeşitli arıza durumlarında davranışı belirlenmek istenilen güç sistemleri için geçici hal kararlılığı analizi yapılırken lineer olmayan denklemler kullanılır. Bu denklemlerin çözümü karmaşıktır ve uzun zaman almaktadır. Fakat güç sistemleri ile ilgili

güvenilir bilgilere ancak geçici hal kararlılık analizi ile ulaşılabilir.

Seri kompanseörler, güç akışını kontrol etme yöntemlerinden biridir. İletim hatlarının toplam reaktanslarını düşürmeleri başlıca kullanım sebebidir.



Şekil 1. Örnek sistem.

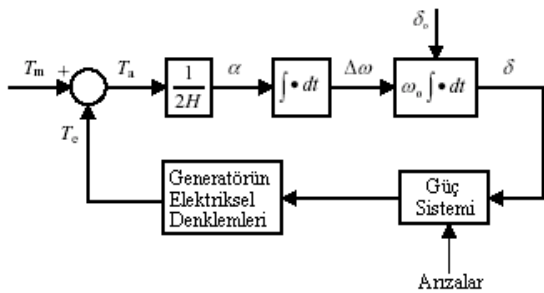
Şekil 1'deki gibi iki paralel hat üzerinden sonsuz baraya bağlı bir senkron makinede, şaft üzerinde ön hareketlendiricilerin meydana getirdiği T_m mekanik moment ve elektriksel kuvvetlerin oluşturduğu T_e elektriksel moment vardır. Sistemde oluşan bir hata sonucunda mekanik moment, elektriksel momentten daha büyük olursa aradaki fark, T_a hızlanma momenti meydana gelir ve J atalet katsayısı ile w açısal hızına bağlı olarak,

$$J \frac{dw}{dt} = T_a = T_m - T_e \quad (1)$$

bulunur. denkleminde t zaman (s), w makinanın rotor hızıdır (rad/s). Burada J , H ivmelenme katsayısı, δ rotor açısı ve öngörülen w_0 çalışma hızına bağlı olarak yazıldığında bozucu bir etkiye, makinede oluşa salınımları gösteren salınım denkleminde elde edilir.

$$\frac{2H}{w_0} \frac{d^2\delta}{dt^2} = T_m - T_e \quad (2)$$

Güç sistemine bağlı bir generatör için salınım denkleminin blok diyagramı Şekil 2'deki gibi çizilebilir. [3]. Diyagramda, iletim hatları, yükler, güç elektroniği kontrolörleri ve diğer devre elemanları, güç sisteminde temsil edilmektedir. δ_0 hatadan önceki rotor açısı, δ_0 ve makinanın hızı w_0 olarak belirlenmiştir. Sistemde olabilecek arızalar (kısa devreler, hat ve generatör arızaları) güç sistemi bloğunu etkilemektedir.



Şekil 2. Salınım denkleminin blok diyagramı.

Şekil 1'de sistemde, makinede oluşan elektriksel gücün rotor açısına bağlı değişimi,

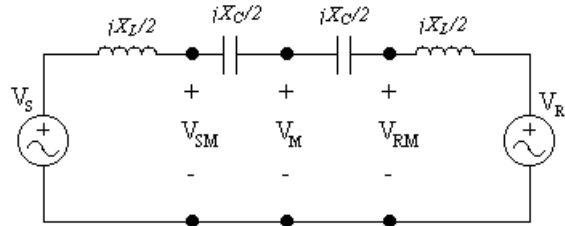
$$P = \frac{E.V}{X} \sin \delta \quad (3)$$

eşitliği ile bulunur. Burada E hat başı gerilimi, V hat sonu gerilimi, X devrenin toplam reaktansıdır.

Sonsuz büyük güçlü şebekeye göre salınım yapan bir makinanın bulunduğu bir sistemde makinanın rotor açısının belirsiz şekilde artıp artmadığını veya belirli bir çalışma noktası etrafında salınım yapıp yapmadığını, başka bir değişle makinanın senkronizma dışı olup olmadığını belirlemek üzere salınım denklemlerinin çözülmesi ve rotor açısının zamana göre değişiminin çizilmesi gereklidir. Eğer sistem kararlı ise salınım denkleminin çözümü, δ rotor açısının belli bir denge (çalışma) noktası etrafında eşit genlikte salınım yaptığını gösterir.

3. SERİ KOMPANZE EDİLMİŞ SİSTEM

Seri kompanseasyon sistemlerinin geçici hal kararlılığına etkilerini incelemek için Şekil 3'deki iki makinalı ve aralarındaki iletim hattına seri kompanseasyon yapılmış sistemden yararlanılmıştır [4]



Şekil 3. Seri kompanse edilmiş sistem.

Devrenin eşdeğer hat reaktansı X , seri kompanseasyon derecesi k 'ya bağlı olarak:

$$X = X_L - X_C = X_L \left(1 - \frac{X_C}{X_L} \right) = X_L (1 - k) \quad (4)$$

bulunur.

Orta noktasına göre simetrik olan sistemin, hat başı ve hat sonu gerilimlerine göre hesaplanabilen V_M orta nokta gerilimi referans alındığında, V_s hat başı ve V_R hatsonu gerilimleri:

$$V_s = V_s e^{j\theta_s} = V_s (\cos \theta_s + j \sin \theta_s) \quad (5)$$

$$V_R = V_R e^{j\theta_R} = V_R (\cos \theta_R + j \sin \theta_R)$$

olarak elde edilir. Bunlara göre V_M gerilimi:

$$\begin{aligned}
V_M &= \frac{V_S + V_R}{2} \\
&= \frac{V_S \cos \theta_S + V_R \cos \theta_R}{2} - j \frac{V_S \sin \theta_S + V_R \sin \theta_R}{2} \\
&= V_M \angle 0^\circ
\end{aligned} \quad (6)$$

eklinde bulunur. Hat akı m_1 ise,

$$\begin{aligned}
I &= \frac{V_S - V_R}{jX} \\
I &= \frac{V_S \sin \theta_S - V_R \sin \theta_R}{X} - j \frac{V_S \cos \theta_S - V_R \cos \theta_R}{X}
\end{aligned} \quad (7)$$

olacaktır. Akım ve gerilim denklemleri elde edildiğinden, hat başı ve hat sonu görünür güç bağıntıları yazılabilir.

$$\begin{aligned}
P_S + jQ_S &= V_S I^* \\
&= \frac{V_S V_R \sin(\theta_S - \theta_R)}{X} + j \frac{V_S^2 - V_S V_R \cos(\theta_S - \theta_R)}{X}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_R + jQ_R &= V_R I^* \\
&= \frac{V_S V_R \sin(\theta_S - \theta_R)}{X} + j \frac{V_R^2 - V_S V_R \cos(\theta_S - \theta_R)}{X}
\end{aligned} \quad (8)$$

V_{SM} ve V_{RM} gerilimleri:

$$V_{SM} = \frac{(1-2k)V_S \cos \theta_S + V_R \cos \theta_R}{2(1-k)} - j \frac{kV_S \sin \theta_S}{1-k} \quad (9)$$

$$V_{RM} = \frac{(1-2k)V_R \cos \theta_R + V_S \cos \theta_S}{2(1-k)} - j \frac{kV_S \sin \theta_S}{1-k}$$

Seri kompanzatorlar tarafından üretilen reaktif güç ise,

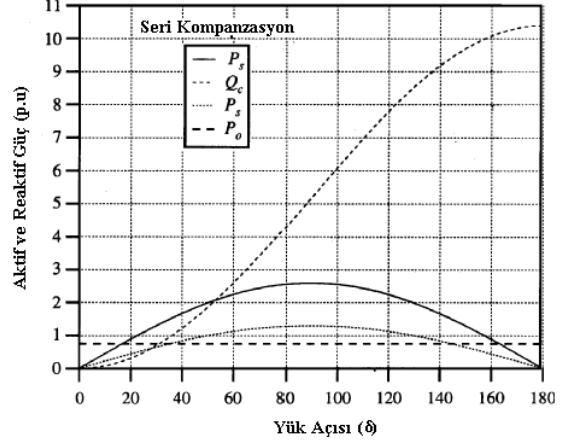
$$Q_C = \frac{k}{X_L(1-k)^2} (V_S^2 + V_R^2 - 2V_S V_R \cos(\theta_S - \theta_R)) \quad (10)$$

olarak elde edilir.

Hat başı ve hat sonu gerilimlerini birbirine eşit, $V_R = V_S = V$ değerinde alındığında şu değerler bulunur.

$$\begin{aligned}
I &= \frac{2V}{X} \sin(\delta/2) \\
P_S + jQ_S &= \frac{V^2}{X} \sin \delta + j \frac{V^2}{X} (1 - \cos \delta) \\
P_R + jQ_R &= \frac{V^2}{X} \sin \delta + j \frac{V^2}{X} (1 - \cos \delta) \\
V_{SM} &= V \cos(\delta/2) - j \frac{kV}{1-k} \sin(\delta/2) \\
V_{RM} &= V \cos(\delta/2) + j \frac{kV}{1-k} \sin(\delta/2) \\
Q_C &= \frac{kV^2}{X_L(1-k)^2} (1 - \cos \delta)
\end{aligned} \quad (11)$$

Şekil 4'de seri kompanzasyon oranı, $k = 0,5$ olan bir hat için hat başı aktif kompanzasyon ile üretilen reaktif güç değerlerinin değişimi görülmektedir. Buna göre, kompanzasyon miktarı arttığında, kompanzasyon ile üretilen reaktif güç çok artmakta, sistem kararlılığı arttırmaktadır.

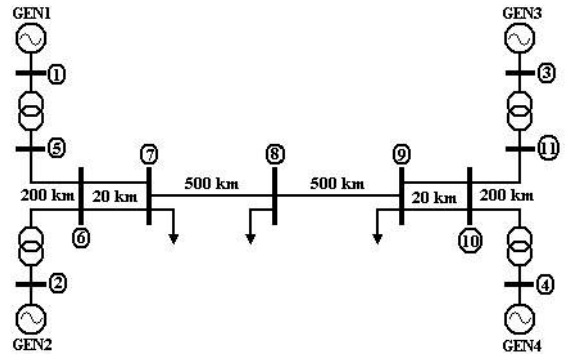


Şekil 4. Seri kompanzasyon yapılmış sistemde hatbaşı aktif ve reaktif güçler.

Şekil 4'deki eğriler incelendiğinde bir hatta %50 seri kompanzasyon yapılması durumunda, hatta verilen aktif gücün yaklaşık 1,7 kat arttığı görülmektedir. Buna göre kompanzasyon miktarı artırıldığında, üretilen reaktif güç ve hattın çekilen gücün artacağı anlaşılmaktadır. k değeri 1 yapıldığında ise üretilen reaktif güç kontrolsüz olarak artacak, hat sonunda aşırı gerilimlere yol açacaktır.

4. TEST SİSTEMİ ÜZERİNDE YAPILAN SİMÜLASYONLAR

Seri kompanzasyon sistemlerinin geçici hal kararlılığına olan etkilerinin incelenmesi için gerçek sistemde bulunan birçok modeli kapsayan 11 baralı bir test sistemi kullanılmıştır [5]. Şekil 5'deki test sisteminde sürekli hal koşullarının sağlanması sonuçların daha anlaşılır bir biçimde elde edilmesi için tüm iletim hatlarında uzun hat modeli kullanılmış, ve hatlar doğal yüklenme katsayısı oranlarına yakın değerlerde yüklenmesi sağlanmıştır.



Şekil 5. 11 baralı test sistemi.

11 baralı test sistemi, elektriksel özellikleri aynı 4 generatörden beslenmektedir. Her bir generatörün gücü 700 MVA'dır. Sistem orta noktası olan 8 No'lu babaya göre simetrik. Sistemin temel güç değeri 100 MVA'dır.

Bir güç sisteminin dinamik davranışı incelenmeden önce, sürekli haldeki durumu, çalışma noktası belirlenmelidir. Bunun için test sisteminin 5-6 ve 10-11 Nolu baraları arasındaki hatlara değişik oranlarda seri kompanzasyon yapılması durumunda Tablo-1'deki yük akışı sonuçları elde edilmiştir. Yük akışı analizi için SIMPOW güç sistemleri analiz programının OPTPOW yük akışı analiz modülü kullanılmıştır [6].

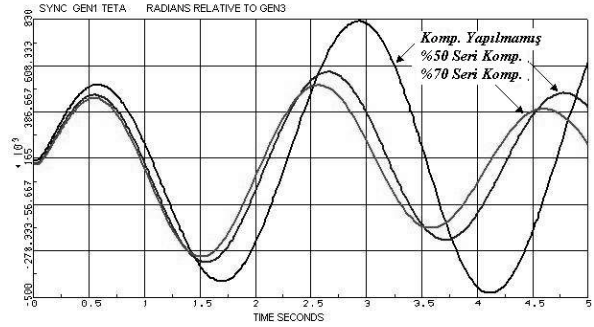
Tablo 1. Değişik kompanzasyon durumlarında bara gerilimleri.

Bara	Başlangıç Durumu	%50 Seri Komp.	%70 Seri Komp.
	V	V	V
1	1.03∠7.00	1.03∠5.92	1.03∠5.51
2	1.01∠-3.38	1.01∠0.92	1.01∠2.66
3	1.03∠0	1.03∠0	1.03∠0
4	1.01∠-7.97	1.01∠-3.36	1.01∠-1.54
5	1.027∠0.68	1.035∠0.36	1.038∠-0.75
6	1.009∠-9.95	1.024∠-5.56	1.028∠-3.78
7	1.008∠-11.0	1.23∠-6.62	1.027∠-4.83
8	0.985∠-46.22	1.024∠-39.79	1.035∠-37.48
9	1.018∠-15.47	1.032∠-10.78	1.036∠-8.91
10	1.018∠-14.48	1.031∠-9.81	1.035∠-7.94
11	1.033∠-5.44	1.04∠-5.38	1.043∠-5.35

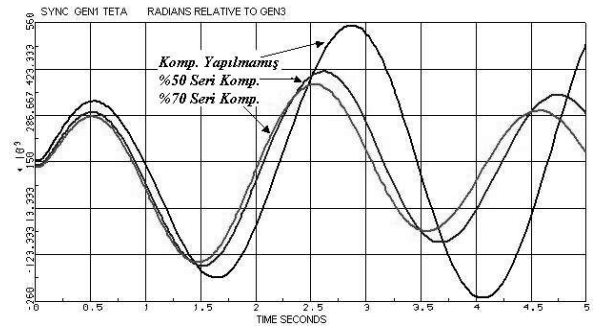
Tablo 1'deki bara gerilimlerine baktığımızda kompanzasyon miktarı arttıkça bara gerilimlerinin arttığı fakat tüm kompanzasyon oranlarında bara gerilimlerinin sürekli hal gerilim kararlılık sınırları içinde kaldığı görülmektedir.

Yük akışı analiz sonuçları kullanılarak sistemin dinamik haldeki davranışını belirlemek için test sisteminin BUS6 barasında 0,5 saniye süre ile sırasıyla 3 Faz-toprak, 2 Faz-toprak, 1 Faz-toprak, 2 Faz kısa devreleri oluşturulmuştur. Değişik kompanzasyon miktarları için generatörlerin ve bara gerilimlerinin zaman bağlı değişimleri SIMPOW programının DYNPOW dinamik analiz modülü kullanılarak elde edilmiştir.

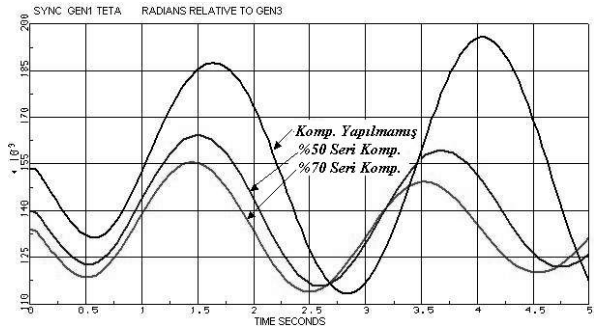
Şekil 6-9'da GEN1 generatörünün rotor açısının GEN3 salınım barasına bağlı olarak, değişik hata durumlarında, farklı kompanzasyon miktarları için zaman göre değişimleri çizilmiştir.



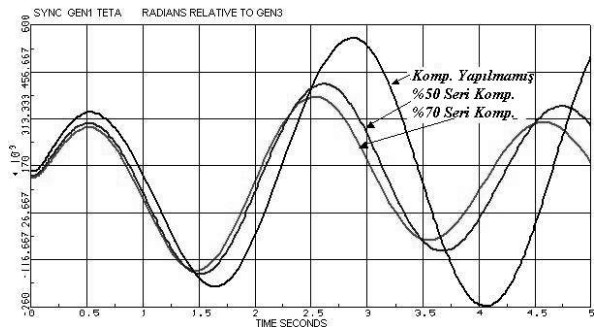
Şekil 6. 3 Faz-toprak kısa devresinde GEN1 generatörü rotor açısının değişimi.



Şekil 7. 2 Faz-toprak kısa devresinde GEN1 generatörü rotor açısının değişimi.



Şekil 8. 3 Faz-toprak kısa devresinde GEN1 generatörü rotor açısının değişimi.

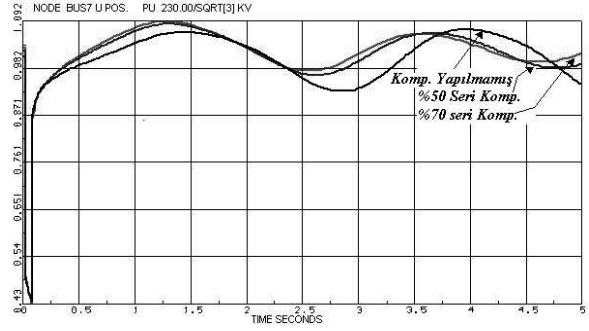


Şekil 6. 2 Faz kısa devresinde GEN1 generatörü rotor açısının değişimi.

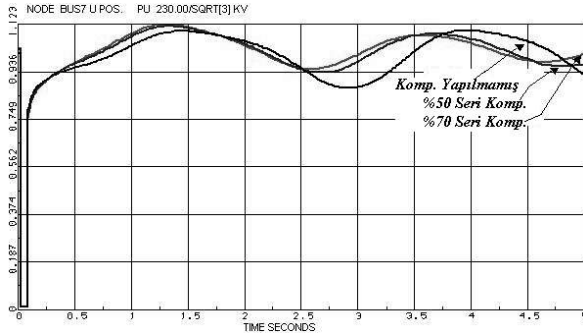
5 saniye simülasyon süresi sonunda elde edilen sonuçlar incelendiğinde, tüm hata durumlarında seri kompanzasyon yapılmadan önce generatörlerin rotor açılarının salınımları sürekli arttığı, sistemin

senkronizmadan koştugu, kararsız olarak çalıştığı görülmektedir. Sisteme seri kompanzasyon yapılarak bazı hatların reaktansları düşürüldüğünde ise, salınımların azaldığı, birkaç periyot sonunda tamamen sönümleneceği görülmektedir.

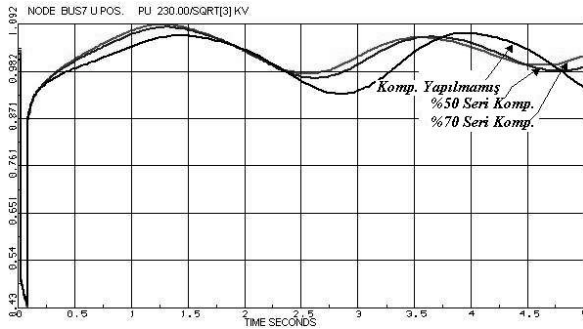
Şekil 5'deki test sisteminde barası elektriksel olarak orta nokta olması, sistemin en büyük yükünün bulunduğu BUS8'e ve hataların oluşturulduğu BUS6'ya yakın olması nedeniyle BUS7 barasının gerilim değişimleri değişik hata durumları için incelendiğinde, Şekil 10-13 eğrileri elde edilir.



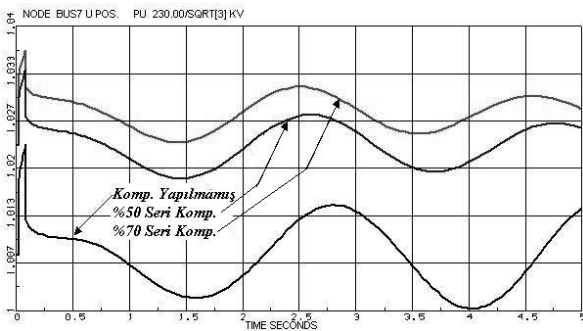
Şekil 10. 2 Faz kısadevresinde BUS7 barasının geriliminin değişimi.



Şekil 10. 3 Faz-toprak kısadevresinde BUS7 barasının geriliminin değişimi.



Şekil 11. 2 Faz-toprak kısadevresinde BUS7 barasının geriliminin değişimi.



Şekil 12. Faz-toprak kısadevresinde BUS7 barasının geriliminin değişimi.

Değişik hata durumlarında BUS7 barasının gerilim değişimleri incelendiğinde, kompanzasyon miktarı arttıkça bara gerilimindeki salınımların azaldığı, gerilim kararlılığının arttığı görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada seri kompanzasyon sistemlerinin geçi hal kararlılığına etkileri örnek bir sistem üzerinde, çeşitli hata durumları için incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan, bir sistemde hata olması durumunda, seri kompanzasyon yapılmamış ise generatörlerin rotor açılarındaki salınımların sönümlenmediği, benzer şekilde bara gerilimleri genliğinin sürekli arttığı, sistemin giderek senkronizmadan koştugu ve kararsız olarak çalıştığı gözlenmiştir. Değişik oranlarda seri kompanzasyon yapılmış sistemde bir ise, sürekli halde iletim hatlarının yük taşıma kapasitesinin arttığı, bara gerilimindeki salınımlarının istenen değerler arasında olduğu, generatörlerin rotor açılarındaki salınımların ise azaldığı, sistemin hem açılal hem de gerilim kararlılığının arttığı görülmüştür.

6. KAYNAKLAR

- [1] Ö. Özgür GENCER, "Seri Kompanzasyon Sistemlerinin Geçici Hal Kararlılığına Etkilerinin Örnek Bir Sistem Üzerinde İncelenmesi", Kocaeli Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- [2] P. M. ANDERSON, A. A. FOUAD, "Power System Control and Stability", IEEE Pres, pp. 7-12.
- [3] IEEE committee report on voltage stability of power systems: Concepts, analytical tools and industry experience IEEE:PES publication 90TH0358-2 PWR.
- [4] P. M. Anderson, R. G. Farmer "Series Compensation of Power Systems", Sayfa: 10-18.
- [5] P. Kundur, "Power System Stability and Control", McGraw-Hill, New York, 1994, pp. 76-88.
- [6] Semra ÖZTÜRK, Ö. Özgür GENCER, "Angle & Voltage Stability Improvement with Series Compensation", Proceedings of the Second IASTED International Conference, Power And Energy Systems, pp. 200-206.