

STATCOM VE SSSC DENETLEYİCİLERİNİN GERİLİM ÇÖKMESİNE KARŞI ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Hasan DİRİK¹ Muammer ÖZDEMİR² Çağrı KOCAMAN³

^{1,2,3}Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü,
55139, Kurupelit – SAMSUN – TURKEY

¹hasan_dirik@hotmail.com, ²ozdemirm@omu.edu.tr, ³ckocaman@omu.edu.tr

Anahtar sözcükler:FACTS, STATCOM, SSSC, gerilim kararlılığı, gerilim çökmesi

ÖZET

Bu çalışmada, STATCOM ve SSSC denetleyicilerinin güç sistemi gerilim çökmesi problemine karşı nasıl bir etkide bulunduğu incelenmiştir. İncelemeler IEEE 14 baralı sistem baz alınarak ve bilgisayar simülasyon yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Bunun için PSAT (power system analysis toolbox) programı kullanılarak çok sayıda simülasyon yapılmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanarak burada verilmiştir. Gerilim çökme problemleri genellikle güç sisteminin maksimum statik yüklenme koşullarında meydana gelir. Sürekli güç akışı analizi yöntemi kullanılarak elde edilen PV eğrileri yardımıyla FACTS denetleyicileri olan STATCOM ve SSSC'nin gerilim çökme problemlerine etkisi incelenmiştir. İnceleme 14 baralı sistemin 2 farklı hattının devre dışı kalması senaryosu göz önüne alınarak da yapılmıştır. Simülasyon sonuçları bu denetleyicilerin güç sistemlerinin güç taşıma kapasitelerini artırarak gerilim çökmelerine karşı önemli ölçüde koruduğunu göstermiştir.

1. GİRİŞ

Güç sistemi kararlılığı 1920'lerden beri güvenli sistem çalışması bakımından önemli bir problem olarak göz önüne alınmıştır. Güç sistemi kararsızlığından kaynaklanan pek çok önemli kesinti bu olayın önemini gözler önüne sermiştir. Tarihsel olarak, geçici kararsızlık çoğu sistemlerde baskın olan kararlılık problemi olmuş ve sistem kararlılığını inceleyenlerin temel odak noktası olmuştur. Güç sistemlerinin bağlantılarının büyüüp çeşitlenmesi, yeni teknolojilerin ve kontrol sistemlerinin kullanılması ve aşırı yüklü koşullarda çalışmasının artması ile birlikte sistem kararsızlığının değişik şekilleri ortaya çıkmıştır. Örneğin, gerilim kararlılığı, frekans kararlılığı ve bölgeler arası salınımlar daha fazla ilgi görmeye başlamıştır. Ayrıca güç sistemlerinin aşırı yüklü koşullarında ortaya çıkan gerilim kararlılığı problemlerinden biri olan gerilim çökmesi problemi de önemli bir sorun oluşturmaktadır. 1987' de Fransa'nın batısında ve Tennessee'de, 1990' da Mısır' da, 1997' de Şili' de

yaşanan gerilim çökmeleri bu konunun ne derecede önemli olduğunu göstermeye başlamıştır.

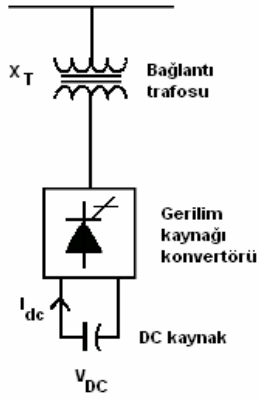
2. STATCOM, SSSC VE GERİLİM KARARLILIĞI

Geleneksel güç sistemlerinde güç iletim sisteminin parametrelerinin (güç ve gerilimler gibi) denetimi için kullanılan yöntemler dinamik sistem koşullarında bazen yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden dinamik koşullar altında güç sistemine oldukça hızlı ve etkin bir şekilde müdahale edilerek sistemin yeni koşullara uyumunun sağlanması amacıyla özellikle 1980'li yıllarda yeni denetim sistemleri geliştirilmiştir. Bu sistemler esnek alternatif akım iletim sistemleri (FACTS) olarak adlandırılmaktadır.

Genel olarak FACTS: enerji iletim sisteminde daha hızlı ve etkin denetim yapmak, iletim sisteminin güç taşıma kapasitesini arttırmak ve sistemde meydana gelebilecek anormal çalışma koşullarına müdahale etmek amacıyla geliştirilmiş güç elektroniği tabanlı denetleyici ve sistemler bütünüdür.

Şarj edilmiş bir kondansatör bir d.c. gerilim kaynağı olarak kullanılarak bir dönüştürücü ve bağlantı trafosu ile a.c. sisteme bağlanabilmektedir. Dönüştürücü çıkışındaki gerilim hattaki gerilimden küçük veya büyük tutularak a.c. sistemden çekilen veya a.c. sisteme verilen tepkin güç kontrol edilebilmektedir. İşte bu yapı (STATCOM) statik kompanzator olarak bilinmektedir. Şekil 1'de STATCOM'un genel yapısı görülmektedir.

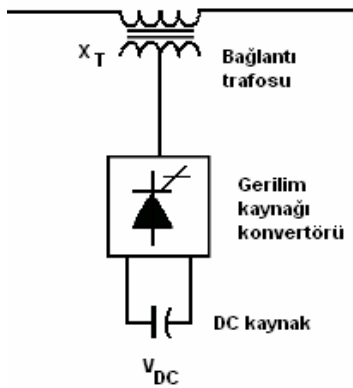
STATCOM denetleyicileri iletim ve dağıtım sistemlerinin dinamik gerilim kontrolünde, güç iletim sistemlerinde güç osilasyonlarının azaltılmasında, geçici kararlılığın sağlanmasında, gerilim titreşimlerinin kontrolünde, tepkin güç kontrolünün yanında ihtiyaç duyulduğunda bir d.c. güç kaynağı ile kullanıldığında etkin güç kontrolünde ve güç sisteminin güç taşıma kapasitesinin artırılmasında kullanılabilir.



Şekil 1: STATCOM'un genel yapısı

Bir hattın tepkin gerilim düşümü bir SSSC (Statik Senkron Seri Kompanzator) ile kontrol edilebilmektedir. Aslında yapılan şey hattın x_L reaktansının bir trafo ve kondansatör ile bir dönüştürücü üzerinden azaltılmasıdır. Bu da kontrollü seri kompanzasyon ile çok yakındır. Böylelikle hattın akan etkin güç akışı kontrol edilebilmektedir.

SSSC bir seri bağlı senkron gerilim kaynağı olup iletim hattına uygun faz açısında gerilim enjekte ederek iletim hattının etkin empedansını değiştirebilmektedir. SSSC iletim hattı ile hem etkin hem de tepkin güç alışverişi yapabileceği kabiliyetine sahiptir. Eğer SSSC ile hatta enjekte edilen gerilim hattın akan akım ile aynı fazda olursa hat ile etkin güç alışverişi yapabilir. Eğer hatta enjekte edilen gerilim hat akımı ile 90° faz farklı ise bu durumda hatta tepkin güç verilir veya hattın tepkin güç çekilir.



Şekil 2: SSSC'nin genel yapısı

SSSC denetleyicileri, güç osilasyonlarının azaltılmasında, hattın seri kompanzasyonunun yapılmasında, kısa devre akımlarının sınırlandırılmasında, etkin ve tepkin güç akışlarının kontrolünde, faz akımlarının dengelenmesinde, senkron altı rezonansların (SSR) söndürülmesinde ve sistem geçici kararlılık sınırının artırılmasında kullanılmaktadır.

STATCOM ve SSSC denetleyicilerinin, güç sistemlerinde karşılaşılan çeşitli gerilim kararsızlıkları

ve gerilim çökmelerine karşı olumlu yönde etkileri vardır [1, 2, 3].

Gerilim kararlılığı, bir güç sisteminin verilen bir başlangıç koşulu durumundayken bir bozunuma maruz kalmasından sonra güç sisteminin bütün baralarında kabul edilebilir sürekli gerilimi devam ettirebilme yeteneği olarak tanımlanır. Gerilim kararlılığı, yük talebi ile talebin karşılanması arasındaki dengenin sürdürülebilmesi veya bu dengenin yeniden oluşturulabilmesi yeteneğine bağlıdır. Bazı baraların gerilimlerinin sürekli düşüşü veya yükselişi kararsızlıkla sonuçlanabilir. Gerilim kararsızlığının olası bir sonucu bir bölgedeki yükün kaybı veya iletim hatları ve diğer elemanların koruma sistemleri tarafından devre dışı bırakılması sonucu ard arda gelen kesintilerdir. Bu kesintiler veya çalışma koşullarının uyarma akımı sınırlarını zorlaması bazı generatörlerin senkronizmalarının kaybolması sonucunu doğurabilir. Bara gerilimindeki kademeli düşüş ayrıca rotor açısı kararsızlığı ile ilişkili olabilir. Örneğin makine grupları arasındaki rotor açısı farkları 180 dereceye yaklaşırken oluşan makine senkronizmalarının kaybı şebekenin ara bölgesindeki noktalarında hızlı bir gerilim düşüşüne neden olur. Koruma sistemleri normal bir biçimde 2 makine gruplarını bu durumda birbirinden ayıracak şekilde çalışacak ve gerilimler ayrılma sonrası koşullarına bağlı olarak tekrar geri kazanılacaktır. Eğer sistem birbirinden ayrılmazsa bu iki makine grupları arasında tekrarlanan kutup kaymalarının bir sonucu olarak ara bölgedeki gerilim hızlı bir biçimde yüksek ve düşük değerler arasında salınım yapacaktır. Buna karşın, gerilimin sürekli düşüşü şeklindeki kararsızlık yüklerle ilgili olup rotor açısı kararsızlığı bu durumda söz konusu değildir.

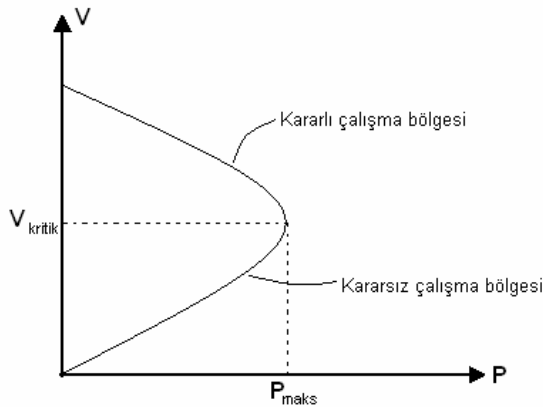
Gerilim çökmesi terimi de sık sık kullanılır. Gerilim çökmesi, güç sisteminin oldukça büyük bir kısmında kesintiye veya anormal derecede düşük gerilimlere yol açan olaylar dizisi süreci olup düşük gerilimde sürekli kararlı çalışma durumu bazı yüklerin kasıtlı veya kasıtsız bir biçimde devre dışı bırakılması ve trafo kademe değiştiricilerin en son limitlerine ulaşması sonrası da devam eder. Kalan yükler ise gerilim duyarlılığına sahip olabilir ve normal gerilimdeki güç talebi karşılanamaz.

Gerilim kararsızlığının itici gücü genellikle yüklerdir. Bir bozunuma cevap olarak yükler tarafından tüketilen güç motorların kayma ayarı, dağıtım gerilim regülatörleri ve termostatlar tarafından yeniden yapılanma eğilimindedir. Yeniden yapılan yükler artan reaktif güç tüketimleri ve gerilimde düşüşe neden olduklarından dolayı yüksek gerilim şebekesindeki baskıyı daha da artırırlar. Yük dinamikleri güç tüketimini iletim şebekesinin kapasitesi ve mevcut üretim üzerindeki bir değerde yeniden yapılandırmaya çalıştığı zaman gerilim kararsızlığına neden olan daha kötü bir durum oluşur.

Güç sistemleri gibi dinamik sistemlerde, kararlı bir denge noktasının sistemdeki bir parametrenin değişimine bağlı olarak farklılaşarak kararlı bir duruma dönüşebilme ihtimali vardır. Oluşabilecek bu yeni duruma çatallanma (bifurcation) denir. Çatallanma, dinamik bir sistemde bir parametrenin değişimi esnasında diğer bağlı değişkenlerin denge noktalarında meydana gelen ayrışma veya niteliksel değişim olarak tanımlanabilir. Bu duruma örnek olarak, güç sistemlerinde yüklenme artışı ile beraber ortaya çıkan gerilim çökmesi olayı verilebilir. Bu olay eyer noktası çatallanması (saddle node bifurcation) olarak adlandırılmaktadır. Eyer noktası çatallanması, bir güç sisteminde sistem yükündeki artışla beraber, kararlı ve kararlı iki adet denge noktasının birleşerek tek bir denge noktası haline gelmesidir. Bu noktada, sistem Jakobiyen matrisinin özdeğerlerinden biri orijindedir.

Sürekli güç akışı yöntemi, bir güç sisteminin burun eğrisi olarak da bilinen PV eğrilerinin bulunması ve sonuçta sistemin gerilim çökmesi yaşanmadan taşıyabileceği maksimum yüklenme miktarının belirlenebilmesi açısından önemlidir.

Bir PV eğrisinin uç noktasına karşı düşen yüklenme miktarı o sistemin maksimum yüklenme değeri olup bu değer statik yüklenme sınırı olarak da adlandırılmaktadır. Bu eğrinin üst tarafı sistemin kararlı bir şekilde çalışabileceği noktalarıdır. Sistemdeki yüklenme miktarı P_{maks} değerine ulaştığında ise eyer noktası çatallanması olarak da adlandırılabilir yeni bir çalışma koşulu durumuna gidilecek ve sistemde gerilim çökmesi yaşanacaktır.



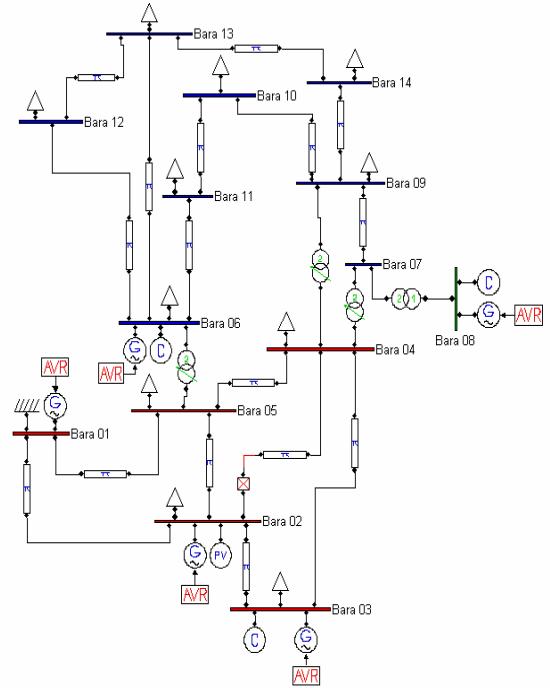
Şekil 3: Genel PV eğrisi

PV eğrileri, kullanılan yük modelleri ve analiz yönteminin özelliğine göre 2 farklı şekilde çizilebilmektedir. İlk grup çizimde P değerleri (aynı oranda Q değerleri) 0'dan itibaren arttırılarak gerilim değişimleri elde edilir. İkinci grupta (burada bu gösterim kullanılmıştır) sistem temel yükleri başlangıç değeri olarak kabul edilip bu değerlerin üzerindeki yük miktarlarında gerilim değişimi

çizilmektedir. Yani, $P = P_{L0}(1+\lambda)$ ve $Q = Q_{L0}(1+\lambda)$ kabul edilerek λ -V değişim eğrileri PV eğrilerinin yerine kullanılmaktadır. Buradaki P_{L0} ve Q_{L0} değerleri baralardaki temel yükleri ve λ değeri yüklenme parametresi adı verilen yük artış oranlarını temsil etmektedir [4].

3. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

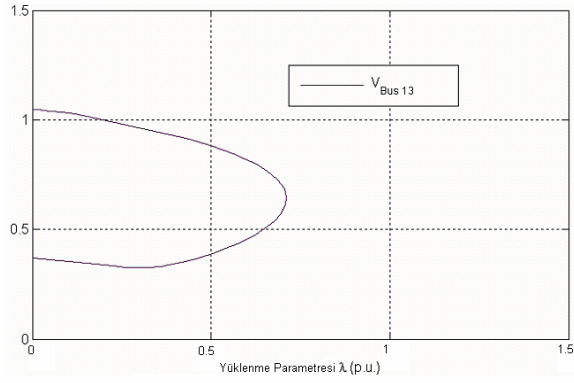
Bu çalışma PSAT programı ile IEEE 14 baralı sistem kullanılarak ve sistemin 13 nolu barasındaki λ -V eğrileri baz alınarak yapılmıştır. Sisteme ve FACTS denetleyicilerine ait kullanılan parametreler PSAT programı içerisinde mevcuttur. Şekil 4'te IEEE 14 baralı sistemin genel yapısı görülmektedir [5].



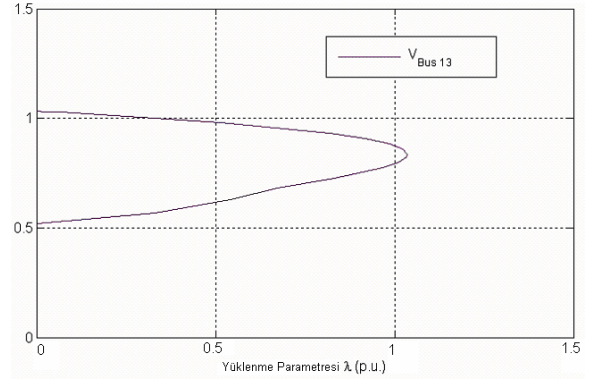
Şekil 4: IEEE 14 baralı sistemin genel şeması

Öncelikle 14 baralı güç sisteminin sürekli güç akışı analizi yapılarak STATCOM ve SSSC olmaksızın maksimum yüklenme parametresinin bulunması yoluna gidilmiştir. Daha sonra da sistemin 14 nolu barasına bir STATCOM ve 4 ile 5 nolu baralar arasında SSSC bağlanarak $\lambda - V$ değişim eğrileri elde edilmiştir. STATCOM'un ve SSSC'nin yerinin belirlenmesi [6] nolu referansta aynı analizlerin benzer FACTS yapıları olan SVC ve TCSC için yine bu konular için yapılması ve karşılaştırma imkanının olmasından dolayıdır.

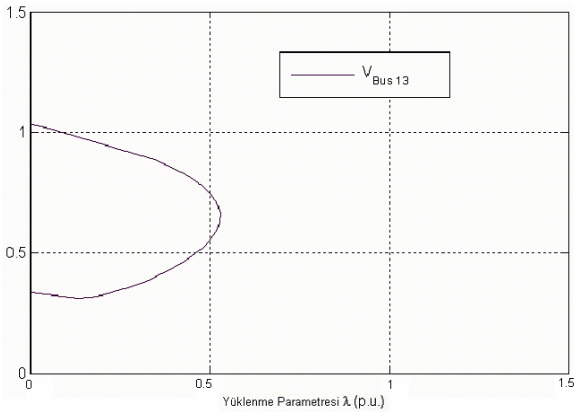
STATCOM'un güç sisteminin statik kararlılığına etkisini anlamak için öncelikle 14 baralı sistemin sade hali (temel durum) ile burun eğrileri çizilmiştir (Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7) ve böylece statik yüklenme sınırları (λ_{maks}) bulunmuştur.



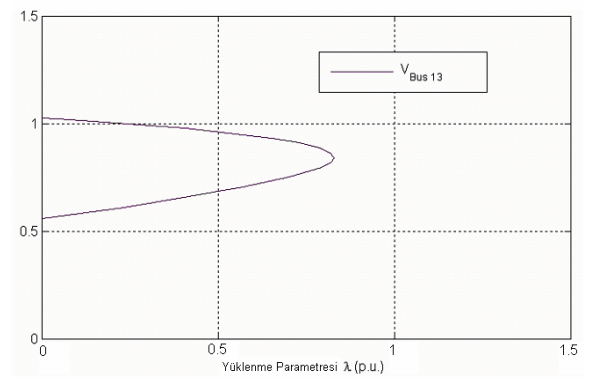
Şekil 5: 14 baralı sistemin 13 nolu barasındaki PV eğrisi (temel durum)



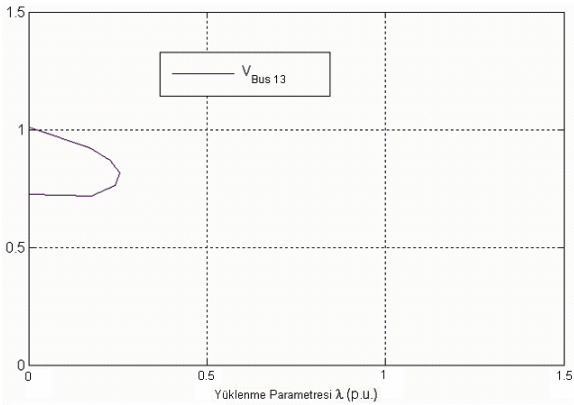
Şekil 8: 14 baralı sistemin 13 nolu barasındaki PV eğrisi (14 nolu barada STATCOM var)



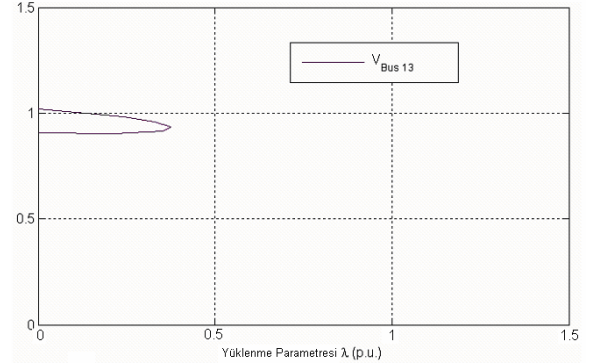
Şekil 6: 14 baralı sistemin 13 nolu barasındaki PV eğrisi (2-4 hattı devre dışı)



Şekil 9: 14 baralı sistemin 13 nolu barasındaki PV eğrisi (14 nolu barada STATCOM var ve 2-4 hattı devre dışı)



Şekil 7: 14 baralı sistemin 13 nolu barasındaki PV eğrisi (2-3 hattı devre dışı)

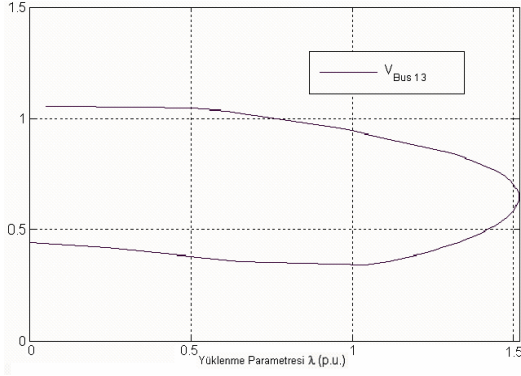


Şekil 10: 14 baralı sistemin 13 nolu barasındaki PV eğrisi (14 nolu barada STATCOM var ve 2-3 hattı devre dışı)

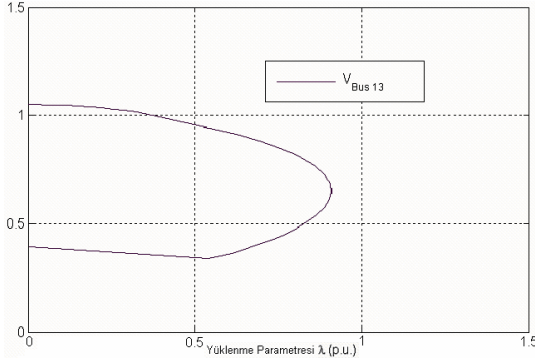
Elde edilen burun noktalarının uç noktalarına karşı düşen λ değerlerine göre maksimum yüklenme sınırları sırayla 0.710900, 0.529800 ve 0.256200 olarak bulunmuştur.

Aynı analiz 14 nolu barada STATCOM varken yapılarak Şekil 8, Şekil 9 ve Şekil 10'da verilen burun eğrileri çizilmiştir.

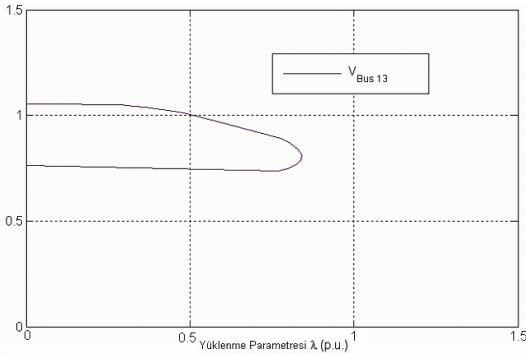
STATCOM'un statik kararlılığa etkisinin anlaşılması için yapılan analizin benzeri yine SSSC için yapılarak benzer bir analiz burada yapılmıştır. Bunun için 2 ve 5 nolu baralar arasında bir SSSC denetleyicisi yerleştirilerek burun eğrileri ($\lambda - V$ eğrileri) Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13'de verildiği gibi tekrar çizilmiştir.



Şekil 11: 14 baralı sistemin 4 ve 5 nolu baraları arasında SSSC varken 13 nolu bara için PV eğrisi



Şekil 12: 14 baralı sistemin 4 ve 5 nolu baraları arasında SSSC varken 2 ile 4 nolu baralar arasındaki hattın devre dışı kalması durumunda 13 nolu bara için PV eğrisi



Şekil 13: 14 baralı sistemin 4 ve 5 nolu baraları arasında SSSC varken 2 ile 3 nolu baralar arasındaki hattın devre dışı kalması durumunda 13 nolu bara için PV eğrisi

Çizilen λ -V eğrilerine uygun bir biçimde elde edilen λ_{max} (maksimum yüklenebilir oranı) değerleri Tablo 1'de topluca verilmiştir.

Tablo 1: Farklı durumlar için λ_{max} değerleri

	Temel durum	2-4 hattı devre dışı	2-3 hattı devre dışı
Denetleyici yok	0.710900	0.529800	0.256200
STATCOM var	1.036800	0.829600	0.374400
SSSC var	1.500817	0.902832	0.844000

4. SONUÇLAR

Bu sonuçlar STATCOM denetleyicilerinin bir güç sisteminin statik yüklenme sınırlarını yükselterek gerilim çökmesi olayına karşı sistem güvenilirliğini artırdığını göstermektedir. Ayrıca kullanılan iki farklı senaryo (2-4 hattının devre dışı kalması ve 2-3 hattının devre dışı kalması) durumunda da yüklenme sınırlarının önemli ölçüde yüksek değerlerde tutulabildiği görülebilmektedir. Bu da STATCOM'un statik yüklenme sınırlarını hem normal koşullarda hem de arızalı koşullarda yüksek değerlerde tutarak gerilim çökmesine karşı sisteme katkıda bulunduğunu ve sistem güvenilirliğini artırdığını göstermektedir.

Elde edilen bu sonuçlarla ayrıca SSSC'nin gerek normal durumlarda gerekse arızalı durumlarda sistemin statik yüklenme sınırlarına karşı sistem yüklenilebilirliğini artırarak koruduğu sonucuna varılabilir.

Seri kompanzasyon yapan SSSC denetleyicisi şönt kompanzasyon yapan STATCOM denetleyicisine göre maksimum statik yüklenme oranını daha fazla artırarak gerilim çökmesine karşı daha etkili olmaktadır.

5. KAYNAKLAR

- [1] Narain G. Hingorani, Lazlo Gyugyi, "Understanding Facts: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems" November 1999, John Wiley & Sons, Incorporated .
- [2] Yong Hua Song (Editor), A. T. Johns , "Flexible AC Transmission Systems (Facts)" January 1999, IEEE Publication Series.
- [3] R. Mohan Mathur, Rajiv K. Varma, "Thyristor-Based FACTS Controllers for Electrical Transmission Systems, " February 2002, John Wiley & Sons, Incorporated, IEEE Press Series on Power Engineering .
- [4] Prabha Kundur, "Power System Stability and Control" EPRI Power System Engineers Series, 1994.
- [5] Federico Milano, PSAT (Power System Analysis Toolbox) version 2.0.0.
- [6] Sameh Kamel, Mena Kodsı, Claudio A. Canizares "Modelling and Simulation of IEEE 14 Bus System with FACTS Controllers" Technical Report, 2003.