



Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi

International Journal of Technological Sciences



Araştırma Makalesi/Research Article

Güç sistemlerinde çoklu SVC kullanımı ile statik gerilim kararlılığının iyileştirilmesi

M. Kenan DÖŞOĞLU^{ID}*1, Enes KAYMAZ^{ID}2, Muhammet DEMİRBAŞ^{ID}3

^{1,2}Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye

³Beykent Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Anahtar Kelimeler

SVC
Maksimum yüklenme parametresi
Bara gerilim profilleri
Aktif-reaktif güç değişimleri

Makale geçmişi:

Geliş Tarihi: 20.07.2022

Kabul Tarihi: 22.10.2020

Öz: Günümüzde Esnek AC İletim Sistemleri (FACTS) elemanları yük merkezlerinde yerel olarak reaktif güç desteği sağlamak ve dolayısıyla bara gerilimleri güvenli çalışma sınırları içinde tutmaktadır. Özellikle de paralel FACTS cihazlarının tekli kullanımı yüklenme durumlarına göre sistemin güvenli çalışma durumlarını iyileştiremeyebilir. Bu yüzden paralel FACTS cihazlarının hem yüksek maliyetlerinden kaçınmak hem de sistemdeki uygun yerlerinin tespit edilmesi önemli bir konu olmaktadır. Bunun için paralel FACTS cihazlarından birisi olan Statik Var Kompansatör (SVC) kullanılmaktadır. Bu çalışmada, 3 makinalı 9 baralı güç sisteminde SVC'nin farklı yük baralarında çoklu kullanılması ile çok makinalı sistemin maksimum yüklenme parametresi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Dahası bara gerilim profilleri ve aktif-reaktif güç üzerindeki değişimleri detaylı olarak incelenmiştir. Bu çalışmada, üç analiz yöntemi kullanılmıştır. Bunlar SVC'nin olmadığı durum, SVC'nin tekli kullanıldığı durum ve SVC'nin çoklu kullanıldığı durumlardır. Bu benzetim çalışması için Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) tercih edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda çoklu SVC kullanımının diğerlerine göre maksimum yüklenme parametresi değerini arttırdığı, bara gerilim profillerini ve aktif-reaktif güç değişimlerini iyileştirdiği görülmüştür.

Atf için/To Cite:

Döşoğlu M. K. Kaymaz E. Demirbaş M. Güç sistemlerinde çoklu SVC kullanımı ile statik gerilim kararlılığının iyileştirilmesi. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 14(2), 66-74, 2022.

Enhancement of static voltage stability using multiple SVC in power systems

Keywords

SVC
Maximum loading parameter
Bus-voltage profiles
Active-reactive power changes

Article history:

Received: 20.07.2022

Accepted: 22.10.2022

Abstract: Today, Flexible AC Transmission Systems (FACTS) devices provide local reactive power support in load centers and keep bus voltages within safe operating limits. In particular, the single use of parallel FACTS devices may not improve the safe operating conditions of the system depending on the load conditions. Therefore, avoiding parallel FACTS devices' high costs is crucial and determining their optimal places in the system. For this, Static Var Compensator (SVC), one of the parallel FACTS devices, is used. This study investigated the effects of multiple uses of SVC on different load buses on the maximum load parameter of the multi-machine system in a 3-machine 9-bus power system. Moreover, bus-voltage profiles and their changes in active-reactive power are studied in detail. In this study, three analysis methods were used. These are the no SVC, the single use of SVC, and the multiple uses of SVC. The Power Systems Analysis Program (PSAT) was preferred for this simulation study. As a result of the study, using multiple SVCs increases the maximum loading parameter value and improves the bus-voltage profiles and active-reactive power changes compared to others.

1. Giriş

Modern güç sistemlerine karmaşık yapıda olması ve artan talep durumlarından dolayı kararlılık problemleri ortaya çıkmaktadır. Kararlılık problemlerini ortadan kaldırmak için güç elektroniği tabanlı kompanzasyon sistemleri tercih edilmektedir [1]. FACTS cihazları olarak isimlendirilen bu güç elektroniği tabanlı kompanzasyon sistemleri içerisinde, bara gerilimini reaktif güce bağlı olarak kontrol eden ve maliyet açısından daha ekonomik olan SVC yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. SVC ile literatürde yapılan bir çok çalışma bulunmaktadır. Çok makinalı güç sisteminde kısa devre oluşması durumunda sistemdeki bara gerilimlerini kompanze etmek ve oluşan salınımların kısa süre içerisinde sönümlenmesini sağlamak için SVC kullanılmaktadır. Dahası SVC'nin kullanımı ile bara gerilim profillerinde iyileşmeler olmaktadır [2, 3]. Çok baralı güç sistemlerinde geçici durumlar ve salınımların sönümlenmesi durumlarını daha iyi koordine etmek için generatör uyarıtımı ve SVC birlikte tercih edilmektedir. Geri beslemeli doğrusallaştırma tekniği sayesinde generatör uyarıtımı ve SVC'nin geçici kararlılık ve salınımlar üzerinde etkili olduğu görülmektedir [4,5]. Senkron generatörlerde geçici kararlılık durumlarında uyarıtım modellerinin yanı sıra güç sistem kararlı kılıcısı modelleri de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Güç sistem kararlı kılıcısı modeli ile SVC'nin birlikte koordineli olarak çalışmasında hem küçük sinyal kararlılığı açısından hem de açı kararlılığı açısından baskın olduğu ilgili çalışmalarda vurgulanmaktadır [6, 7]. SVC'nin güç sistemlerinde kullanım alanlarından biriside durum kestirim tahminleyicisidir. Sistemin dinamik çalışmasından dolayı oluşabilecek kararsızlık durumlarına karşı SVC'nin özellikle de elektromanyetik salınımlara karşı etkili olduğu görülmektedir [8]. Lineer olmayan yük modellerinin sebep olduğu harmoniklerin minimum düzeye indirilmesinde SVC tercih edilmektedir. Frekans mertebesine göre akım ve gerilim toplam harmonik bozunumlarının azaltılmasında SVC kullanımının önemli olduğu ilgili çalışmalarda gösterilmiştir [9, 10]. Güç akışı ve optimal yük akışı problemlerinin çözümlenmesinde SVC yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bara admitans modelinde paralel kapasite yerine tetikleme açısına bağlı olarak SVC'nin reaktör ya da kapasitör kullanılması ile sistem için uygun olan durumlar belirlenmektedir. Hem yük akışı hem de optimal yük akışında SVC kullanımı ile bara gerilimleri, açı, aktif-reaktif güç değerleri belirlenirken, kayıpların da azaldığı görülmektedir [11, 12]. Yük akışı ve optimal yük akışının yanı sıra, gerilim kararlılığı analizlerinde SVC sürekli yük akışında da tercih edilmektedir. Baraların güvenli çalışma limitleri arttırmak SVC kullanılmaktadır. Bara gerilimleri ile yüklenme parametresi arasındaki ilişkiyi çeşitli

çalışma koşullarına göre belirlemede SVC kullanımının etkili olduğu ilgili çalışmalarda görülmektedir [13-15].

Tekli SVC kullanımı ile bara gerilim profili ve maksimum yüklenme parametre değeri artmaktadır. Ancak dinamik yapıli sistemlerde özellikle büyük yüklerin devreye girip çıkması gerilim kararlılığını olumsuz yönde etkileyebilir, Bu yüzden sistemin yüklenabilirliğini daha çok arttırmak, çalışma koşullarını daha iyi hale getirmek ve bara gerilim profilini istenilen sınırlar içerisinde tutmak için çoklu SVC'nin kullanılması düşünülmektedir. 9 baralı güç sisteminde gerilim-maksimum yüklenme parametresi, bara gerilim açıları, aktif-reaktif güç değişimleri detaylı olarak incelenmiş olup, elde edilen sonuçların etkili olduğu görülmektedir.

2. Statik Gerilim Kararlılığı

Statik gerilim kararlılığı başlıca reaktif güç dengesi ile ilişkilidir. Reaktif güç desteği baranın ve dolayısıyla tüm sistemin yüklenabilirliğini sınırlayabilir. Reaktif güç desteği maksimum limit olan sınıra yaklaştığında sistem aktif ve reaktif güç kayıpları nedeniyle maksimum yüklenme noktasına veya gerilim çökme noktasına yaklaşacaktır. Buna göre güç iletimi ile ilgili problemlerden kaçınmak için reaktif güç desteklerinin yerel ve yeterli olması istenmektedir. Statik gerilim kararlılığında güç sistemindeki adım adım oluşan değişiklikler gerilim düşmesine ve reaktif güç azalmasına sebep olmaktadır. Bu olay aktarılan güce karşılık alıcı uçlarındaki gerilim grafiğinden elde edilmektedir. Güç aktarımı arttıkça alıcı uçlardaki gerilim azalır. Her ikisinin kesişim noktası yani kritik nokta elde edilir. Sistemde kritik noktaya ulaşmadan önce büyük reaktif güç kayıplarından kaynaklanan büyük gerilim düşüşü gözlemlenebilir. Sistemin reaktif gücünün tükendiği noktadan önce artırılabilir maksimum yüklenme sistemin statik gerilim kararlılığı indekslerini ortaya çıkarmaktadır. Sistemi gerilim çökmesinden kurtarmanın tek yolu ise iletim sistemindeki reaktif güç kayıplarını azaltmak veya gerilim çökme noktasına ulaşmadan önce ilave reaktif güç eklemektir. Özellikle de sistemin çalışma durumuna göre reaktif güç eklenmesi Paralel FACTS cihazları ile sağlanmaktadır [16-18]. Sistemdeki aktif-reaktif güç ayarlamasında yüklenme parametresine bağlı olarak yapılması gerekmektedir. Aktif-reaktif güç ve yüklenme parametresi ilişkisi denklem 1 ve denklem 2'de gösterilmiştir.

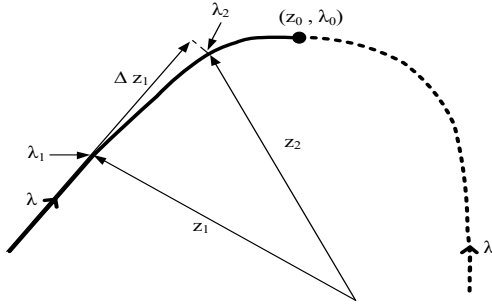
$$P_L = P_{L0}(1 + \lambda) \quad (1)$$

$$Q_L = Q_{L0}(1 + \lambda) \quad (2)$$

burada, P_{L0} ve Q_{L0} başlangıç aktif ve reaktif güç değerleri, P_L ve Q_L yükün aktif ve reaktif güç değerleri, λ maksimum yüklenme parametre değeridir. Statik

gerilim kararlılığı hesaplamasında sürekli yük akışı kullanılmaktadır. Sürekli yük akışında bara gerilimlerinin yüklenme parametresi arasındaki ilişki irdelenmektedir. Sürekli yük akışındaki hesaplaması Şekil 1'de gösterilmiştir.

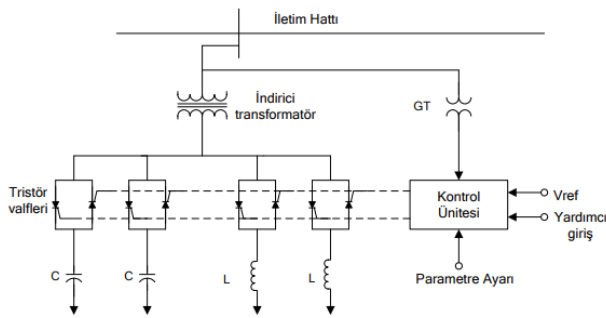
Şekil1'de, (z_1, λ_1) denge noktaları olarak bilinen durumdur, $\Delta\lambda_1$ sistem parametre değerinin değişmesi ve Δz_1 vektör çözümlenmesinde kullanılmaktadır. İlk adımda tahmin etme işlemi yapılmaktadır. Başlangıç olarak $z_1 + \Delta z_1$, $\lambda_1 + \Delta\lambda_1$, değerleri üretilmektedir. Bu üretilen değerler sistem profilindeki $z_2 + \Delta z_2$ yeni denge noktalarını düzenlemek için kullanılır [19, 20].



Şekil 1. Sürekli Yük Akışı Hesaplaması

3. Statik Var Kompanzator (SVC)

Statik Var Kompanzator (SVC) paralel olarak kullanılan FACTS cihazlarından birisidir. SVC sabit bir kapasitör bankasına paralel olan tristör grupları tarafından kontrol edilen reaktörler ve kapasitörlerden oluşur. Bir indirici transformator aracılığıyla baraya paralel olarak bağlanır. SVC'nin devre modeli Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. SVC Devre Modeli

SVC modelde gerilim kontrolünü elde etmek için paralel bağlantılı değişken süseptans kullanılmaktadır. Süseptans modeli iki şekilde gösterilmektedir. Bunlar SVC süseptansı (B_{SVC}) ve eşdeğer süseptans (B_{eq}) modelidir. SVC süseptansı otomatik olarak gerilim kontrolünü ayarlarken, eşdeğer süseptans bobin ve kondansatör devresindeki tristörleri tetikleme amaçlı

kullanılmaktadır. Eşdeğer süseptans hesaplaması denklem 3'te gösterilmiştir.

$$B_{eq} = B(\alpha) + B_C \quad (3)$$

Burada, $B(\alpha)$ ve B_C ifadesinin genişletilmiş hali denklem 4 ve denklem 5'de gösterilmiştir.

$$B(\alpha) = -\frac{1}{wL} \left(1 - \frac{2\alpha}{\pi} - \frac{\sin(2\alpha)}{\pi}\right) \quad (4)$$

$$B_C = wC \quad (5)$$

Tristörlerin tetikleme açısı 0 ile 90 derece arasında olmaktadır. Eğer SVC tarafından tüketilen aktif gücün 0 olduğu varsayılırsa buna bağlı olarak SVC aktif güç (P_{SVC}) ve SVC reaktif güç (Q_{SVC}) ifadeleri denklem 6 ve denklem 7'deki gibi olmaktadır.

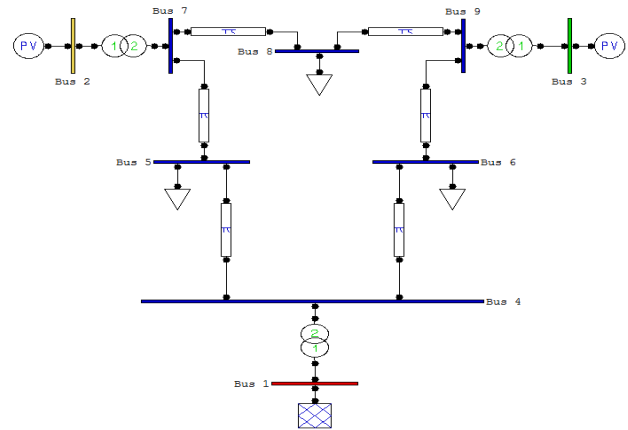
$$P_{SVC} = 0 \quad (6)$$

$$Q_{SVC} = -V^2 B_{SVC} \quad (7)$$

Burada, V bara gerilim genlik değeridir. Baradaki reaktif güç talebi değiştiğinden süseptans limitlere bağlı olarak değişmektedir. Ancak reaktif güç bara geriliminin karesinin bir fonksiyonudur. Bu yüzden de gerilim azaldıkça üretilen reaktif güç azalmaktadır [21].

4. Benzetim Çalışması

Yapılan bu çalışmada 9 baralı güç sistemi kullanılmıştır. Bu çalışma için Güç Sistemleri Analizi Programı (PSAT) tercih edilmiştir. 9 baralı güç sistemi devre modeli Şekil 3'te verilmiştir.



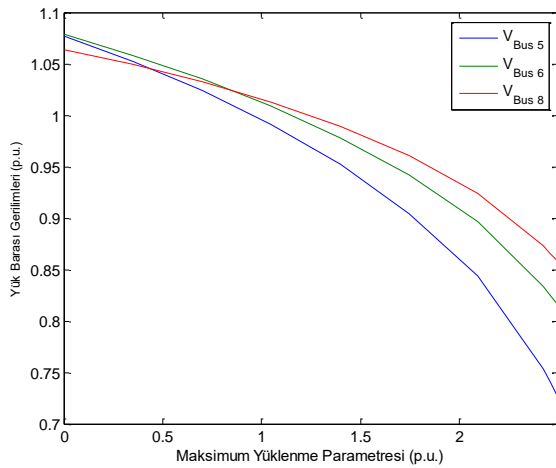
Şekil 3. 9 baralı güç sistemi devre modeli

9 baralı güç sisteminde 1 adet salınım barası, 2 adet generatör barası ve 3 adet yük barası kullanılmıştır. 9 baralı sistemin 2-7 ve 3-9 iletim hatları arasında

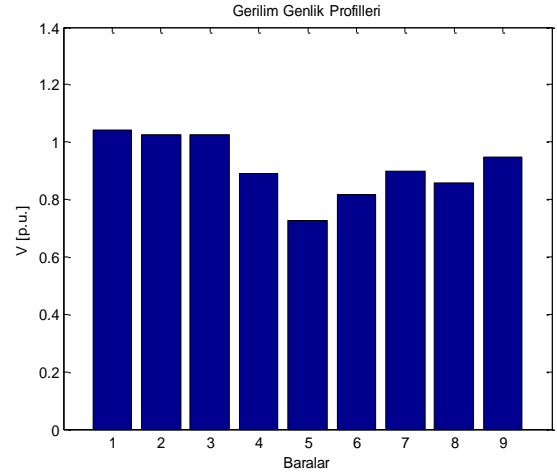
transformatör kullanılmaktadır. Bu sistemde 6 adet iletim hattı kullanılmaktadır. İletim hatları 4-5, 4-6 5-7, 7-8, 8-9 ve 6-9 numaralı baralar arasında kullanılmaktadır. Analiz 3 aşamadan oluşmaktadır. İlk analizde Sistemde SVC'nin olmadığı duruma göre sürekli yük akışı analizi uygulanmış olup, maksimum yüklenme parametresi elde edilmiştir. İkinci analizde ise tekli SVC'nin yük akışı sonucunda bara gerilim profili en düşük olan yük barasına bağlanması ile gerilim-maksimum yüklenme parametresi arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Üçüncü analiz olarak edn düşük gerilim profiline sahip barada SVC'nin yanısıra diğer yük baralarına sırayla bağlanan SVC ile çoklu durum için gerilim-maksimum yüklenme parametresi arasındaki ilişkiler detaylı olarak incelenmiştir.

4.1. Benzetim çalışması sonuçları

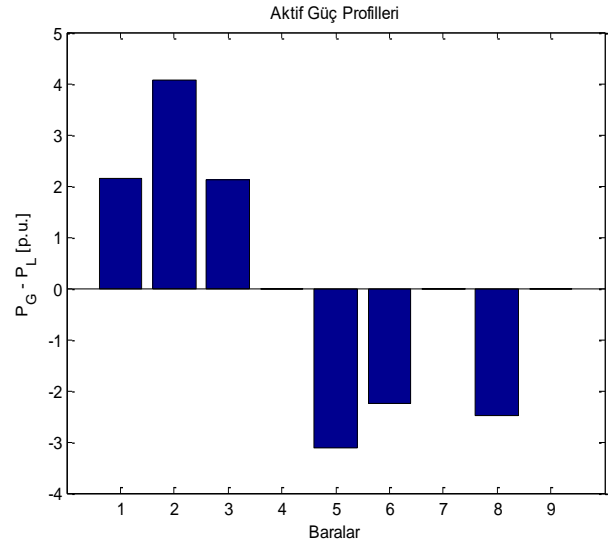
Yapılan çalışmanın ilk analizinde SVC'nin 9 baralı güç sisteminde kullanılmadığı durum incelenmiştir. Sistemin maksimum yüklenme parametre değerinin hesaplanması için öncelikle 9 baralı güç sisteminde yük akışı analizi yapılmıştır. Yük akışı analizi sonucuna göre 5, 6 ve 8 numaralı baraların gerilim genlik değerlerinin en düşük olduğu belirlenmiştir. Sistemin maksimum yüklenme parametre değerleri sürekli yük akışı metoduna göre bulunmuştur. SVC'nin kullanılmadığı durumda sistemin maksimum yüklenme parametre değeri 2.4933 olarak elde edilmiştir. 100 MVA'lık SVC'nin kullanılmadığı durumdaki gerilim-maksimum yüklenme parametre ilişkisi, baraların gerilim genlik profilleri, üretilen ve yük baralarındaki aktif-reaktif güç dengesinden elde edilen sonuçlar Şekil 4 - Şekil 7 arasında gösterilmiştir.



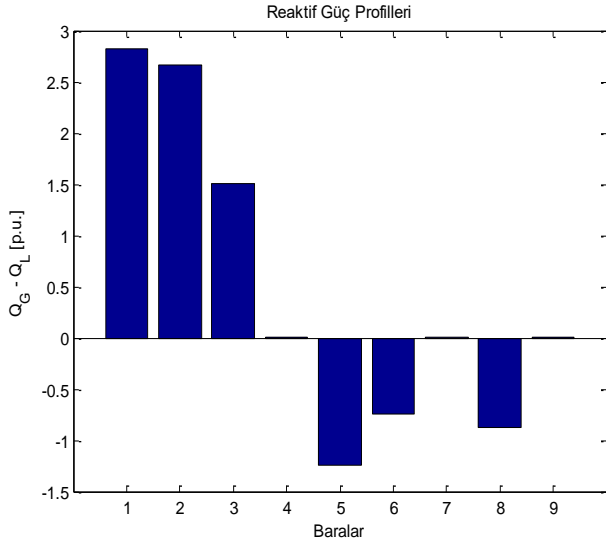
Şekil 4. SVC'nin kullanılmadığı durumdaki gerilim-maksimum yüklenme parametre ilişkisi,



Şekil 5. SVC'nin kullanılmadığı durumdaki baraların gerilim genlik profilleri



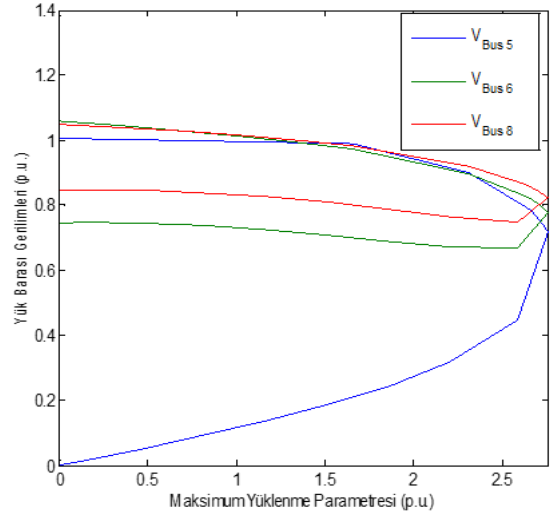
Şekil 6. SVC'nin kullanılmadığı durumdaki üretilen ve yük baralarındaki aktif güç değerleri



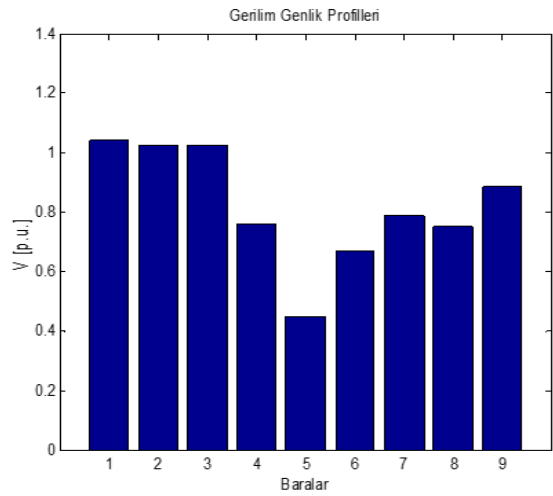
Şekil 7. SVC'nin kullanılmadığı durumdaki üretilen ve yük baralarındaki reaktif güç değerleri

SVC'nin kullanılmadığı durumda sürekli yük akışı sonucuna göre 4 numaralı bara 0.89176 pu, 5 numaralı bara 0.72619 pu, 6 numaralı bara 0.8151 pu, 7 numaralı bara 0.8976 pu, 8 numaralı bara 0.85824 pu ve 9 numaralı bara 0.94683 pu olmaktadır. Generatör ve Yük baraları arasındaki aktif güç farkları 1 numaralı barada 2.1389 pu, 2 numaralı barada 4.064 pu, 3 numaralı barada 2.1193 pu, 5 numaralı barada -3.1166 pu, 6 numaralı barada -2.2439 pu, 8 numaralı barada -2.4933 pu, 4, 7 ve 9 numaralı baralarda 0 pu olarak hesaplanmıştır. Generatör ve Yük baraları arasındaki reaktif güç farkları 1 numaralı barada 2.8112 pu, 2 numaralı barada 2.6614 pu, 3 numaralı barada 1.5034 pu, 5 numaralı barada -1.2466 pu, 6 numaralı barada -0.74798 pu, 8 numaralı barada -0.87264 pu, 4, 7 ve 9 numaralı baralarda 0 pu olarak hesaplanmıştır.

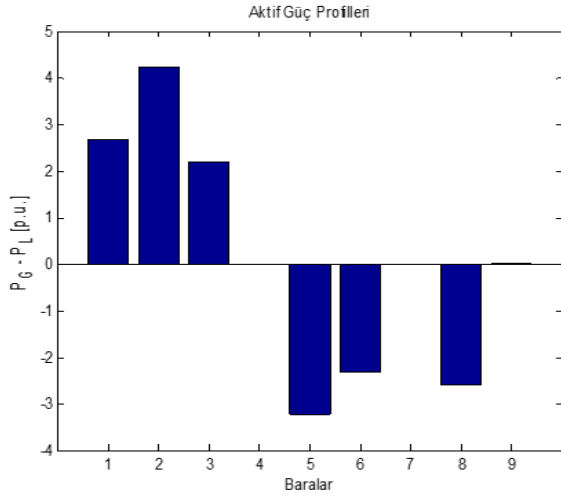
5, 6 ve 8 numaralı bara gerilimleri içerisinde yük akışı sonucuna göre en düşük gerilim profiline sahip bara 5 numaralı baradır. 100 MVA gücündeki SVC'nin 5 numaralı baraya bağlanması ile yüklenme parametresi, değeri 2.7562 olarak elde edilmiştir. Buna bağlı olarak gerilim-maksimum yüklenme parametresi ilişkisi, baraların gerilim genlik profilleri, üretilen ve yük baralarındaki aktif-reaktif güç dengesinden elde edilen sonuçlar Şekil 8-Şekil 11 arasında gösterilmiştir.



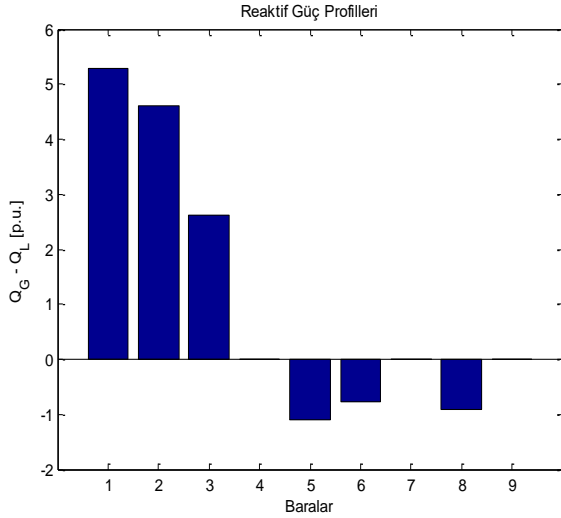
Şekil 8. SVC'nin 5 numaralı baraya bağlı olduğu durumdaki gerilim-maksimum yüklenme parametre ilişkisi



Şekil 9. SVC'nin 5 numaralı baraya bağlı olduğu durumdaki baraların gerilim genlik profilleri



Şekil 10. SVC'nin 5 numaralı baraya bağlı olduğu durumdaki üretilen ve yük baralarındaki aktif güç değerleri

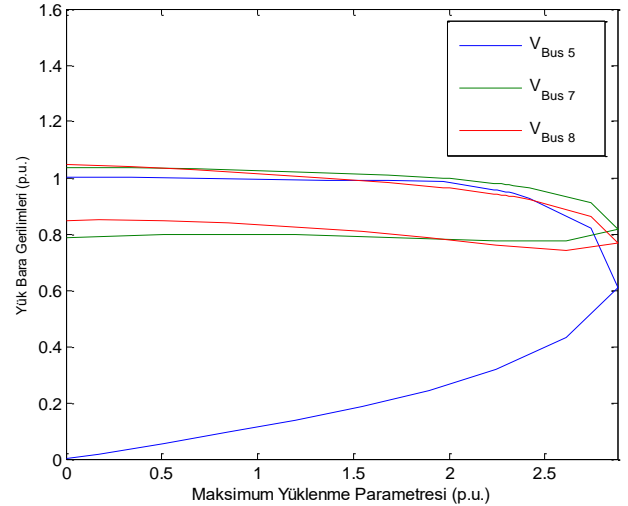


Şekil 11. SVC'nin 5 numaralı baraya bağlı olduğu durumdaki üretilen ve yük baralarındaki reaktif güç değerleri

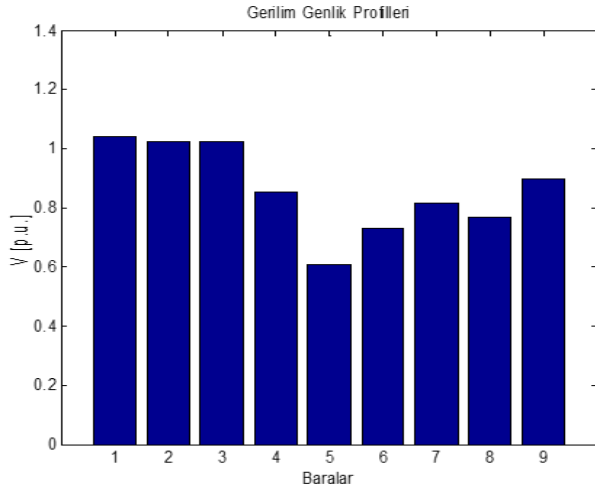
SVC'nin 5 numaralı barada kullanıldığı durumda sürekli yük akışı sonucuna göre 4 numaralı bara 0.76114 pu, 5 numaralı bara 0.44806 pu, 6 numaralı bara 0.66906 pu, 7 numaralı bara 0.78649 pu, 8 numaralı bara 0.74913 pu ve 9 numaralı bara 0.88456 pu olmaktadır. Generatör ve yük baraları arasındaki aktif güç farkları 1 numaralı barada 2.6763 pu, 2 numaralı barada 4.6187 pu, 3 numaralı barada 2.1966 pu, 5 numaralı barada -3.2302 pu, 6 numaralı barada -2.3202 pu, 8 numaralı barada -2.5842 pu, 4, 7 ve 9 numaralı baralarda 0 pu olarak hesaplanmıştır. Generatör ve yük baraları arasındaki reaktif güç farkları 1 numaralı barada 5.298 pu, 2 numaralı barada

4.6187 pu, 3 numaralı barada 2.6132 pu, 5 numaralı barada -1.0913 pu, 6 numaralı barada -0.77525 pu, 8 numaralı barada -0.90446 pu, 4, 7 ve 9 numaralı baralarda 0 pu olarak hesaplanmıştır.

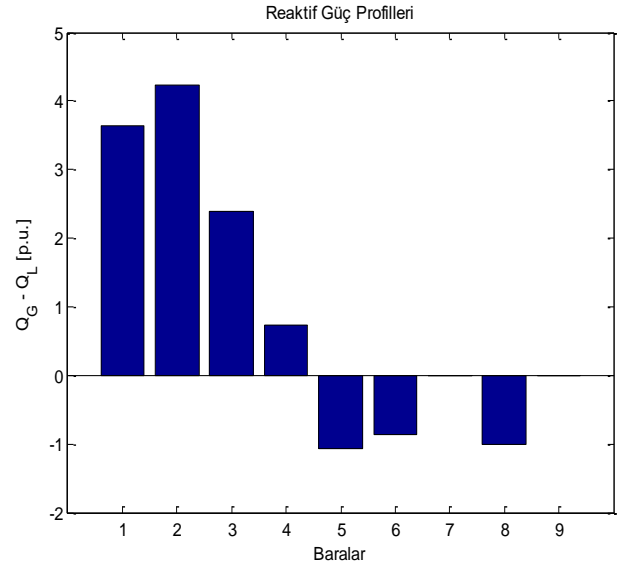
SVC'nin ikili yani çoklu kullanılması için 9 baralı güç sisteminde 4 ve 5 numaralı baralara, 5 ve 8 numaralı baralar, 5 ve 7 numaralı baralara 100 MVA gücünde SVC bağlanmıştır. Son senaryo içerisinde yapılan karşılaştırmalarda 5 ve 7 numaralı baralarda 100 MVA'lık SVC'lerin bağlanması ile maksimum yüklenme parametresi 2.83 olarak hesaplanmıştır. 5 ve 8 numaralı baralara 100 MVA'lık SVC'lerin bağlanması ile maksimum yüklenme parametresi 2.8473 olarak hesaplanmıştır. 4 ve 5 numaralı baralara 100 MVA'lık SVC'lerin bağlanması ile maksimum yüklenme parametresi 2.8778 olarak hesaplanmıştır. 100 MVA'lık SVC'nin 4 ve 5 numaralı baralarda çoklu kullanıldığı durumdaki gerilim-maksimum yüklenme parametre ilişkisi, baraların gerilim genlik profilleri, üretilen ve yük baralarındaki aktif-reaktif güç dengesinden elde edilen sonuçlar Şekil 12-Şekil 15 arasında gösterilmiştir.



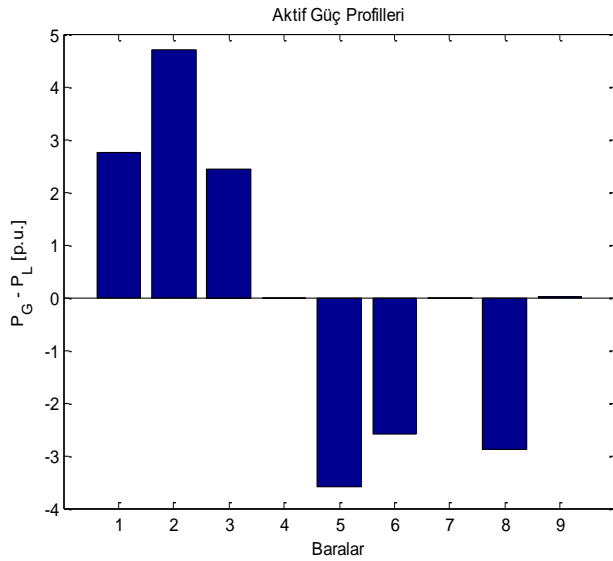
Şekil 12. SVC'nin 4 ve 5 numaralı baralarda çoklu kullanıldığı durumdaki gerilim-maksimum yüklenme parametre ilişkisi



Şekil 13. SVC'nin 4 ve 5 numaralı baralarda çoklu kullanıldığı durumdaki baraların gerilim genlik profilleri



Şekil 15. SVC'nin 4 ve 5 numaralı baralarda çoklu kullanıldığı durumdaki üretilen ve yük baralarındaki reaktif güç değerleri



Şekil 14. SVC'nin 4 ve 5 numaralı baralarda çoklu kullanıldığı durumdaki üretilen ve yük baralarındaki aktif güç değerleri

SVC'nin 4 ve 5 numaralı barada kullanıldığı durumda sürekli yük akışı sonucuna göre 4 numaralı bara 0.85169 pu, 5 numaralı bara 0.60858 pu, 6 numaralı bara 0.73125 pu, 7 numaralı bara 0.81868 pu, 8 numaralı bara 0.76709 pu ve 9 numaralı bara 0.89985 pu olmaktadır. Generatör ve yük baraları arasındaki aktif güç farkları 1 numaralı barada 2.7428 pu, 2 numaralı barada 4.6908 pu, 3 numaralı barada 2.4461 pu, 5 numaralı barada -3.5973 pu, 6 numaralı barada -2.59 pu, 8 numaralı barada -2.8778 pu, 4, 7 ve 9 numaralı baralarda 0 pu olarak hesaplanmıştır. Generatör ve yük baraları arasındaki reaktif güç farkları 1 numaralı barada 3.6467 pu, 2 numaralı barada 4.2298 pu, 3 numaralı barada 2.3804 pu, 4 numaralı barada 0.725375 pu, 5 numaralı barada -1.0685 pu, 6 numaralı barada -0.86334pu, 8 numaralı barada -1.0072 pu, 7 ve 9 numaralı baralarda 0 pu olarak hesaplanmıştır.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, çok baralı güç sisteminde SVC'nin kullanılmadığı, tekli kullanıldığı ve çoklu kullanıldığı durumdaki gerilim-maksimum yüklenme parametresi ve aktif-reaktif güç değişimleri detaylı olarak incelenmiştir. SVC ile 9 baralı sistemde öncelikle yük akışı yapılarak düşük gerilime sahip bara gerilim profilleri belirlenmiş olup, daha sonraki analizlerde sürekli yük akışı analizleri gerçekleştirilmiştir. SVC'nin tekli kullanıldığı durum, maksimum yüklenme parametresinin kullanılmadığı duruma göre daha iyi sonuç vermiştir. Ancak tekli SVC'nin kullanımında bara gerilim profilleri ve aktif-reaktif güç değişimlerinde

azalmaların olduğu görülmektedir. Bunu tolere etmek için SVC'nin çoklu kullanımına ihtiyaç duyulmuştur. SVC'nin çoklu kullanımı ile hem SVC'nin kullanılmadığı durum hem de SVC'nin tekli kullanımına göre maksimum yüklenme parametresi artmış olup, bara gerilim ve aktif-reaktif güç profillerinde iyileşmeler gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile farklı çok baralı güç sistemlerinde değişik FACTS cihazlarının çoklu kullanılması ile yeni senaryo yaklaşımlarının yapılmasına zemin hazırlanmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Singh, B., & Agrawal, G. (2018). Enhancement of voltage profile by incorporation of SVC in power system networks by using optimal load flow method in MATLAB/Simulink environments. *Energy Reports*, 4, 418-434.
- [2] Cong, L., Wang, Y., & Hill, D. J. (2005). Transient stability and voltage regulation enhancement via coordinated control of generator excitation and SVC. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 27(2), 121-130.
- [3] Kumar, A., & Dubey, S. B. (2013). Enhancement of transient stability in transmission line using SVC facts controller. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 2(2).
- [4] Cong, L., Wang, Y., & Hill, D. J. (2004). Co -ordinated control design of generator excitation and SVC for transient stability and voltage regulation enhancement of multi - machine power systems. *International Journal of Robust and Nonlinear Control: IFAC - Affiliated Journal*, 14(9 - 10), 789-805.
- [5] Wang, Y., Tan, Y. L., & Guo, G. (2000). Robust nonlinear coordinated generator excitation and SVC control for power systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 22(3), 187-195.
- [6] Bian, X. Y., Geng, Y., Lo, K. L., Fu, Y., & Zhou, Q. B. (2015). Coordination of PSSs and SVC damping controller to improve probabilistic small-signal stability of power system with wind farm integration. *IEEE Transactions on Power Systems*, 31(3), 2371-2382.
- [7] Kamari, N. A. M., Musirin, I., & Ibrahim, A. A. (2020). Swarm intelligence approach for angle stability improvement of PSS and SVC-based SMIB. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 15(3), 1001-1014.
- [8] Zhijun, E., Fang, D. Z., Chan, K. W., & Yuan, S. Q. (2009). Hybrid simulation of power systems with SVC dynamic phasor model. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 31(5), 175-180.
- [9] Das, S., Chatterjee, D., & Goswami, S. K. (2018). Tuned - TSC based SVC for reactive power compensation and harmonic reduction in unbalanced distribution system. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 12(3), 571-585.
- [10] Shawon, M. H., Hanzelka, Z., & Dziadecki, A. (2015, June). Voltage-current and harmonic characteristic analysis of different FC-TCR based SVC. In *2015 IEEE Eindhoven PowerTech* (pp. 1-6). IEEE.
- [11] Ambriz-Perez, H., Acha, E., & Fuerte-Esquivel, C. R. (2000). Advanced SVC models for Newton-Raphson load flow and Newton optimal power flow studies. *IEEE transactions on power systems*, 15(1), 129-136.
- [12] Rao, B. V., Kumar, G. N., Priya, M. R., & Sobhan, P. V. S. (2009, December). Optimal power flow by Newton method for reduction of operating cost with SVC models. In *2009 International Conference on Advances in Computing, Control, and Telecommunication Technologies* (pp. 468-470). IEEE.
- [13] Kamarposhti, M. A., & Lesani, H. (2009). Effects of Parallel Facts Controllers On Steady State Voltage Stability Margin. *Trakia Journal of Sciences*, 7(3), 81-90.
- [14] Kamarposhti, M. A., & Alinezhad, M. (2010). Comparison of SVC and STATCOM in static voltage stability margin enhancement. *system*, 9, 1.
- [15] Sode-Yome, A., & Mithulananthan, N. (2004). Comparison of shunt capacitor, SVC and STATCOM in static voltage stability margin enhancement. *International Journal of Electrical Engineering Education*, 41(2), 158-171.
- [16] Canizares, C. A. (2002). Voltage stability assessment: concepts, practices and tools. *IEEE/PES power system stability subcommittee special publication, (SP101PSS)*.
- [17] Sode-Yome, A., Mithulananthan, N., & Lee, K. Y. (2006). A maximum loading margin method for static voltage stability in power systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 21(2), 799-808.
- [18] Sode-Yome, A., Mithulananthan, N., & Lee, K. Y. (2007, June). A comprehensive comparison of FACTS devices for enhancing static voltage stability. In *2007 IEEE Power Engineering Society General Meeting* (pp. 1-8). IEEE.
- [19] Puneet Chawla, Balwinder Singh, "Voltage Stability Assessment and Enhancement Using STATCOM - A Case Study", *World Academy of Science, Engineering and Technology International*

Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering Vol:7, No:12, 2013

- [20] Kazemi, A. and Badrzadeh, B., "Modeling and Simulation of SVC and TCSC to Study Their Limits on Maximum Loadability Point", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Vol. 26, No. 8, 619-626, 2004
- [21] Nwohu, M. N. (2009). Voltage stability improvement using static VAR compensator in power systems. *Leonardo Journal of Sciences*, 14, 167-172.