



## Facts cihazlarının gerilim kararlılığına etkisinin incelenmesi

Talha Enes Gümüş<sup>1\*</sup>, Mehmet Ali Yalçın<sup>1</sup>

<sup>1\*</sup>Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elk-Elektronik Mühendisliği, SAKARYA

*15.05.2012 Geliş/Received, 13.12.2012 Kabul/Accepted*

### ÖZET

Bu çalışmada, STATCOM ve SVC denetleyicilerinin güç sistemi gerilim çökmelerine karşı etkisi incelenmiştir. İncelemeler IEEE 5 baralı sistemde yapılmıştır. Bilgisayar simülasyonu için PSAT programı kullanılmıştır. Sürekli güç akışı analizi yöntemi kullanılarak elde edilen PV eğrileri ile STATCOM ve SVC'nin gerilim çökmelerine karşı etkisi incelenmiştir. Benzetim çalışmaları SVC ve STATCOM un sistemin yüklenabilirlik sınırlarını arttırdığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** FACTS, Sürekli Güç Akışı, PSAT

## Effects of facts devices voltage stability

### ABSTRACT

In this study, the effect of STATCOM and SVC controllers are examined against the power system voltage collapse. Investigations were made IEEE 5 bus system. The computer simulation program was used for the PSAT. PV curves obtained using the method of continuous power flow analysis with the STATCOM and SVC are examined against voltage collapse. Simulation studies of SVC and STATCOM system was to increase the limits of chargeability.

**Keywords:** FACTS, Continuation Power Flow, PSAT

---

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Gelişen teknoloji ile birlikte elektrik enerjisine olan talep de her geçen gün artmaktadır. Enerji talebindeki artış güç sistemlerini kararlılık sınırlarına yakın bölgelerde çalışmaya zorlamaktadır. Bu durum kararlılık sınırlarının azalmasına yol açtığından dolayı gerilim kararlılığının önemi de enerji ihtiyacının artmasıyla birlikte artmaktadır [1]. Gerilim kararlılığı, bir güç sisteminin yük baralarının, gerilim genlik değerlerini tüm koşullarda belirli limitler arasında tutabilme yeteneği olarak tanımlanabilir [2].

Gerilim kararlılığında en önemli problem olan gerilim çökmelerinin önüne geçebilmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Kademe dönüştürücü trafo denetimi, hızlı arıza temizleme iletim hatlarına seri ve paralel kompanzasyon yapılarak gerilim kararlılığı sınırlarını arttırmak mümkündür[3]. Kademe dönüştürme oranları sayesinde yük baralarındaki gerilimi istenilen seviyede tutmaya yararlar[4]. İletim hatlarına seri kompanzasyon yapılarak hattın seri reaktansı kompanze edilir ve bu sayede hattın taşıyabileceği maksimum güç sınırları artırılabilir. İletim hattına seri kompanzasyon yapılarak sisteme reaktif güç verilmesi sistemden reaktif güç çekilmesi ile gerilim değeri istenilen değerde tutmak mümkündür.

Elektrik enerjisine olan talep arttıkça güç sistemleri de büyüyerek karmaşık hale gelmektedir. Büyüyen ve karmaşıklaşan sistemlerde gerilim kararsızlığı ve çökmelerini önlemek için kullanılan klasik yöntemler bazen sistem ihtiyaçlarını karşılayamaz hale gelmiştir. Günümüzde gelişen güç elektroniği elemanları tabanlı FACTS cihazları sayesinde karmaşıklaşan ve büyüyen sistemlerin gerilim problemleri daha hızlı ve etkin şekilde çözülmektedir. Bunun yanı sıra FACTS cihazları uygun olarak kullanıldıkları zaman güç sistemlerinin kararlılık sınırlarını arttırarak mevcut kaynakların en iyi şekilde kullanılmasını sağlamaktadır[5]. FACTS cihazlarının temel olarak iki işlevi vardır. Bunlardan ilki buldukları güç sisteminin taşıma kapasitesini arttırmak ikincisi de sistemdeki güç akışını kontrol etmektir[6]. Bu çalışmada 5 baralı test sisteminde tanjant vektör analizi yapılarak sistemin zayıf baraları belirlenmiştir. Daha sonra sistemin en zayıf barasına FACTS cihazları bağlanarak sistemin kararlılık limitleri incelenmiştir ve farklı senaryolar altında sistemdeki değişimler incelenmiştir.

## 2. SVC VE STATCOM (SVC AND STATCOM)

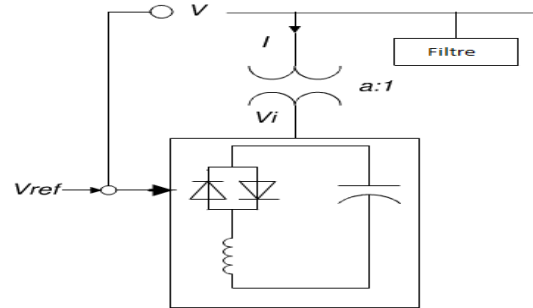
İlk olarak 1980'li yıllarda geliştirilmeye başlanan FACTS cihazları güç sistemlerine hızlı ve etkin müdahale eden, güç sisteminin yeni koşullara hızlı uyum

sağlamasını sağlayan denetim sistemleridir. FACTS cihazları genel olarak düşünülürse, daha hızlı ve etkin denetim yapan, bozucu etkinin olduğu koşullarda sistemin kararlılığını sağlayan ve güç iletim sisteminin kapasitesini arttıran güç elektroniği tabanlı denetim sistemleridir[6]. En çok bilinen FACTS cihazları SVC, STATCOM, TCSC ve SSSC'dir.

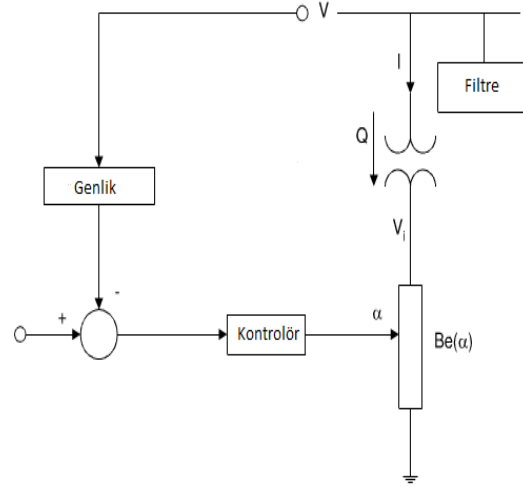
### 2.1. Svc (Sve)

SVC güç sistemlerinde bağlı bulunduğu baranın gerilimini kontrol edebilmek için reaktif ve endüktif akım alışverişini yapan bir statik denetim cihazıdır. Statik denemesinin nedeni senkron generatörde reaktif güç sağlar ve dönen parçası vardır fakat SVC'nin dönen parçası olmadığı için statik denemektir.

SVC'nin yapısı iki farklı şekilde olabilmektedir. Bunlardan birincisi tristör kontrollü reaktör (TCR) ve buna paralel bağlı bir kapasiteden oluşmaktadır. İkinci yapıda ise tristör anahtarlamalı reaktör (TSC) yine tristör kontrollü reaktör ve buna seri bağlı bir kapasiteden meydana gelmektedir. Kullanımı daha yaygın olan SVC türü ilk yapıdaki SVC'dir. Şekil 2.1. ve Şekil 2.2.'de SVC'nin yapısı ve kararlılık modeli görülmektedir.



Şekil 1.1 SVC nin temel yapısı (The basic structure of SVC)



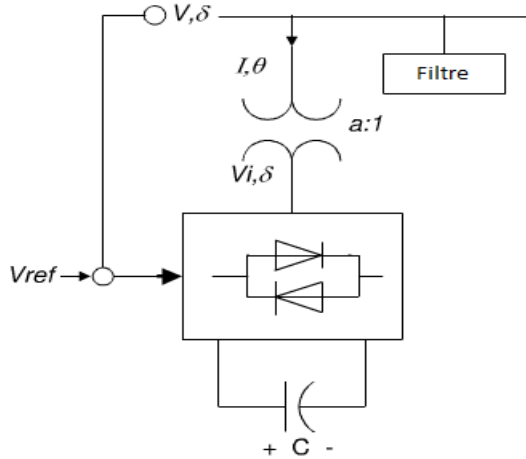
Şekil 2.2 SVC nin kararlılık modeli (Stability model of SVC)

SVC kontrol edilebilir şönt reaktör ve kapasitelerden oluşmaktadır. SVC güç sisteminde bara gerilimini kontrol etmektedir. Şekil 2'de görüldüğü gibi SVC'nin suseptansı tristörlerin uygun açı aralığında ateşlemesi ile kontrol edilir (açı aralığı genellikle  $90\sim 180$ ). Sonuçta SVC açı değişmesiyle elde edilen değişken empedanslı bir kontrolör özelliği gösterir[5].

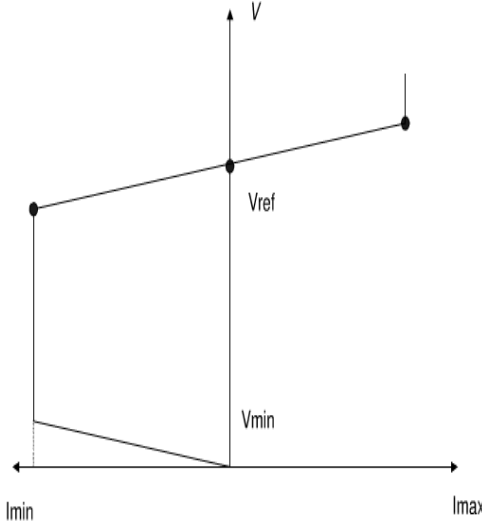
## 2.2. Statcom (Statcom)

Statik Var Kompanzatorün yapısı basitçe doğru gerilim kaynağı olarak kullanılan dolu bir kondansatör, bir dönüştürücü ve bir bağlantı trafosundan oluşmaktadır. Dönüştürücü çıkışındaki gerilimin genliği değeri değiştirilerek sisteme reaktif güç verme veya sistemden reaktif güç çekerek sistem denetimi sağlanır.

STATCOM ile güç sistemi arasındaki aktif güç alışverişi de dönüştürücü çıkışındaki gerilimin faz açısı ile kontrol edilir. Dönüştürücü çıkışı ileri fazda ise sisteme aktif güç verir, geri fazda ise sistemden aktif güç çeker. Genellikle STATCOM sisteme reaktif güç alıp verir. Şekil 2.3.'de STATCOM un yapısı ve Şekil 2.4. V-I karakteristiği görülmektedir.



Şekil 3.3 Statcomun yapısı[10] (Structure of Statcom)

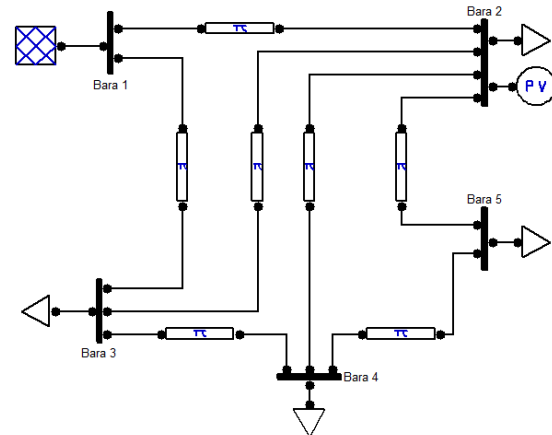


Şekil 2.4 Statcom V-I karakteristiği[10] (Statcom V-I Characteristic)

STATCOM kontrol etmek için iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Birincisi faz kontrolüdür. Faz kayması olan  $\beta$  nin kontrolü ile çıkış gerilim genliği kontrol edilir. İkinci yöntemde darbe genişlik modülasyonudur. Bu yöntemle çıkış gerilim genliği ve faz kayması bağımsız kontrol edilebilir. Bu durumda DC gerilim AC gerilimden ayrı kontrol edilebilir[5].

## 3. BENZETİM ÇALIŞMALARI (SIMULATION MODEL)

Bu çalışmada PSAT [7] programı ile IEEE 5 baralı test sistemde ilk olarak sürekli hal güç akışı yapılarak sistemin tanjant vektörleri hesap edilmiş ve sistemin en zayıf barası tespit edilmiştir. Güç sistemi şekil 3.1 de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. IEEE 5 baralı sistem (5 IEEE bus system)

Yapılan tanjant vektör analizine göre sistemin yük baralarının tanjant vektörleri aşağıdaki gibidir.

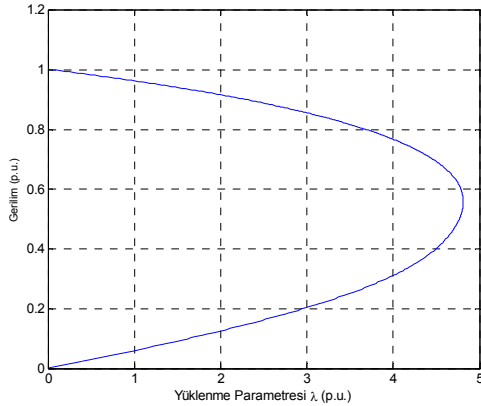
Tablo 3.1. Baraların tanjant vektörleri (Tangent vectors of busbars)

Bara	Tanjant Vektör
5. Bara	0,0842
4. Bara	0,0726
3. Bara	0,0727

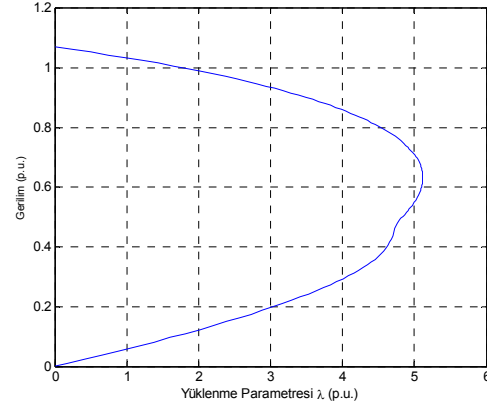
Tanjant vektör analizine göre tanjant vektörü en büyük olan bara sistemin en zayıf barasıdır. Bu sistemde en zayıf bara 5 numaralı baradır.

Sürekli hal güç akışı analizinde sistemdeki temel yükler başlangıç kabul edilerek bu yükler belirli bir yüklenme parametresi ile artırılarak gerilimdeki değişimler elde edilerek PV eğrilerine ulaşmak mümkündür. Sürekli hal güç akışı analizinde  $P=P_0(1+\lambda)$  ve  $Q=Q_0(1+\lambda)$  kabulü yapılarak  $\lambda$ -V eğrileri çizdirilir. Burada  $\lambda$  yüklenmedeki değişimler olduğu için  $\lambda$ -V eğrileri PV eğrileri olarak kabul edilir.

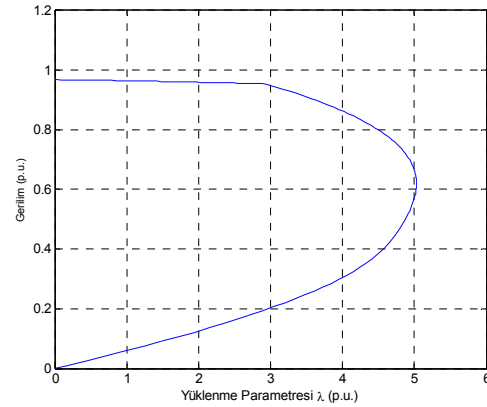
Temel durumda yapılan sürekli hal güç akışı sonucunda sistemin en zayıf barasının  $\lambda$ -V eğrisi aşağıdaki olmaktadır.

Şekil 3.2. Temel durum  $\lambda$ -V eğrisi (The base case  $\lambda$ -V curve)

Burada  $V_{kritik} = 0.55922$ ,  $P_{kritik} = 2.8871$  pu ve  $\lambda = 4.8119$  olmaktadır. Sistemin kritik barasına sistemin kararlılık limitlerini arttırmak için sistemde hiçbir bozucu etki yokken STATCOM eklenmesi durumunda sistemin kritik değerleri  $V_{kritik} = 0.62972$ ,  $P_{kritik} = 3.0696$  ve  $\lambda = 5.1161$  değerini almaktadır. Bu durumda  $\lambda$ -V eğrisi aşağıdaki gibi olmaktadır.

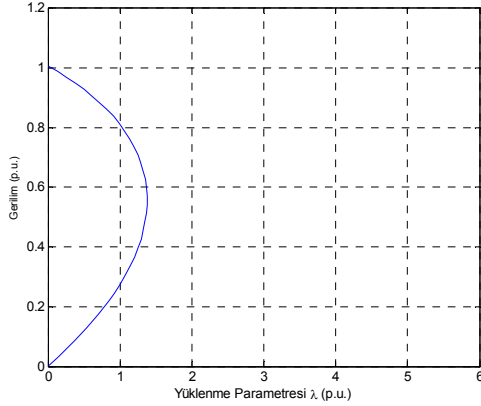
Şekil 3.3. STATCOM eklenmesi durumu  $\lambda$ -V eğrisi ( $\lambda$ -V curve in the case of added as STATCOM)

Sistemde bozucu etki yokken SVC eklenmesi durumunda sistemin kritik barasına ait değerler  $V_{kritik} = 0.61381$ ,  $P_{kritik} = 3.0174$  ve  $\lambda = 5.0295$  değerini almaktadır. Bu durumda  $\lambda$ -V eğrisi aşağıdaki gibi olmaktadır.

Şekil 3.4.SVC eklenmesi durumu  $\lambda$ -V eğrisi (In the case SVC added situation of  $\lambda$ -V curve)

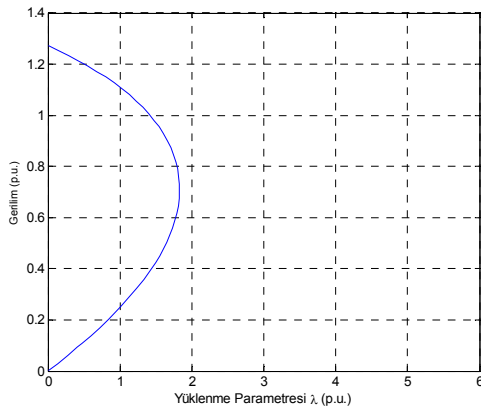
Sistemde kritik barayı besleyen hatlar göz önüne alındığında birinci hat 2-5 numaralı baralar arasındaki hat diğer hat ise 4-5 numaralı baralar arasındaki hattır. Sistemin kritik barasını besleyen hatların kopması halinde sistemin kararlılık limitlerindeki değişimler incelenmiştir.

2-5 numaralı baralar arasındaki hattın devre dışı kalması halinde sistemin kritik barasına ait değerler  $V_{kritik} = 0.54133$ ,  $P_{kritik} = 0.8255$  ve  $\lambda = 1.3761$  değerini almaktadır. Bu durumda kritik baraya ait  $\lambda$ -V eğrisi Şekil 3'teki gibi olmaktadır.



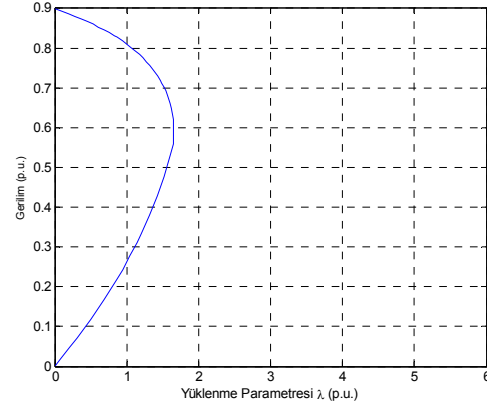
Şekil 3.5. 2-5 hattı devre dışı λ-V eğrisi (λ-V curve of line 2-5 disabled)

Hattın devre dışı kalması durumunda kritik baraya STATCOM eklenmesi durumunda sistemin kritik barasına ait değerler  $V_{kritik} = 0.70358$ ,  $P_{kritik} = 1.0972$  ve  $\lambda = 1.8286$  değerini almaktadır. Kritik baraya ait λ-V eğrisi aşağıdaki gibi olmaktadır.



Şekil 3.6. 2-5 hattı devre dışı STATCOM eklenmesi durumu λ-V eğrisi (λ-V curve in the case of addition of 2-5 disabled STATCOM)

Hattın devre dışı kalması durumunda kritik baraya SVC eklenmesi durumunda sistemin kritik barasına ait değerler  $V_{kritik} = 0.57877$ ,  $P_{kritik} = 0.99234$  ve  $\lambda = 1.6546$  değerini almaktadır. Kritik baraya ait λ-V eğrisi aşağıdaki gibi olmaktadır.



Şekil 3.7. 2-5 hattı devre dışı SVC eklenmesi durumu λ-V eğrisi (λ-V curve in the case of addition of 2-5 disabled SVC)

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Güç sisteminde hiçbir bozucu etki yokken ve 2-5 hattı devre dışı kaldığında sistemin kritik barasına eklenen SVC ve STATCOM ile kritik baranın yüklenabilirlik değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.1. Kritik bara değerleri (p.u.) (Critical values of the bar)

Kritik Bara	λ	P	V
Denetleyicisiz	4.8119	2.8871	0.55922
STATCOM	5.1161	3.0696	0.62972
SVC	5.0295	3.0174	0.61381

Tablo 4.2. 2-5 hattı devre dışı kritik bara değerleri(p.u.) (2-5 line off the critical values of the busbars)

Kritik Bara	λ	P	V
2-5 Hattı yok	1.3761	0.8255	0.54153
STATCOM	1.8286	1.0972	0.70358
SVC	1.6546	0.99276	0.57877

Elde edilen sonuçlardan FACTS cihazlarının güç sisteminin yüklenabilirlik sınırlarını arttırdığı görülmektedir. Sistemde bozucu etki yokken SVC ve STATCOM sistemin yüklenabilirlik sınırlarını artırarak sistem gerilim çökmelerine karşı daha güvenilir hale gelmiştir. Reaktif güç kompanzasyonu yaparak aşırı yüklü durumlarda gerilim çökmesini engellemektedir. Sistemde STATCOM' un SVC' ye göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Taylor, W. (1994) 'Power System Voltage Stability', McGraw-Hill, New York
- [2] Yalçın, M.A. 'Enerji Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Yeni Bir Yaklaşımla İncelenmesi',

- Doktora Tezi, İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi, İstanbul
- [3] Dirik H. ‘Statcom Ve Sssc Denetleyicilerinin Güç Sistemi Gerilim Kararlılığı Üzerine Etkisinin İncelenmesi’, Yüksek Lisans Tezi,OMÜ, FBE.
- [4] Balanathan R. ‘Techniques to efficiently improve power system voltage stability’, Doctor thesis, The university of Auckland, New Zealand, [December 1998]
- [5] Mithulananthan, N., Sode -Yome, A., and Acharya, N., Application of FACTS Controllers in Thailand Power Systems, School of Environment, Resources and Development Asian Institute of Technology, Thailand [2005]
- [6] Hasanovic A., ‘Modeling and Control of The Unified Power Flow Controller (UPFC)’, MA Thesis, West Virginia Uni [2000]
- [7] Documentation for PSAT version 2.0.0 [February 14, 2008]: