

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KBA ŞEBEKESİNDE ENERJİ SİSTEM
BÜYÜMELERİNDEN ETKİLENEN KRİTİK
BARALARIN SÜREKLİ GÜÇ AKIŞI YÖNTEMİ İLE
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elek-Elektronik Müh. Talha Enes GÜMÜŞ

Enstitü Anabilim Dalı : ELEK-ELEKTRONİK MÜH.
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK
Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Ali YALÇIN

Haziran 2012

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KBA ŞEBEKESİNDE ENERJİ SİSTEM
BÜYÜMELERİNDEN ETKİLENEN KRİTİK
BARALARIN SÜREKLİ GÜÇ AKIŞI YÖNTEMİ İLE
BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elek-Elektronik Müh. Talha Enes GÜMÜŞ

Enstitü Anabilim Dalı : ELEK-ELEKTRONİK MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Bu tez 19/06/2012 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Jüri Başkanı

Prof. Dr. Mehmet Ali YALGAN



Üye

Prof. Dr. Erhan YANIKOĞLU



Üye

Prof. Dr. İmdat TAŞMIZ

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőması boyunca beni yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen sayın hocam Prof.Dr. Mehmet Ali YALÇIN'a saygı ve teőekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalıőmalarım boyunca her türlü desteği gösteren sevgili eőime ve yardım ve desteklerinden dolayı Elk-Elektronik Yük. Müh. Nihat PAMUK'a her türlü desteğinden dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
GERİLİM KARARLILIĞI ANALİZİ.....	3
2.1. PV Eğrilerinin Analitik Olarak Elde edilmesi.....	3
2.2. Sürekli Güç Akışı.....	4
2.2.1. Sürekli güç akışı algoritması uygulanması.....	7
2.2.2. Bir sonraki çözüm tahmini.....	7
2.2.3. Parametreleştirme ve doğrulama.....	8
2.2.4. Sürekli parametrelerin seçimi.....	9
2.2.5. Kritik noktanın belirlenmesi.....	9
2.2.6. En zayıf baranın tanjant vektörü ile Belirlenmesi.....	11
2.2.7. İki baralı örnek sistemin psat sürekli güç akışı analizi.....	12
BÖLÜM 3.	
FACTS CİHAZLARI.....	15
3.1. SVC(Static Var Compensator).....	15

3.2. STATCOM(Static Synchronous Compensator).....	19
BÖLÜM 4.	
BENZETİM ÇALIŞMALARI.....	23
4.1. KBA Güç Sisteminde Temel Durumda Sürekli Güç Akışı Yöntemi.....	24
4.2. KBA Güç Sisteminde Farklı Arıza Durumlarında Sistemde Kritik Bara Değişimi.....	35
4.3. KBA Güç Sisteminde Kısa Devre Ardından Oluşan Osilasyonların İyileştirilmesi	37
BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR.....	45
EKLER.....	48
ÖZGEÇMİŞ.....	55

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

V	: Gerilim
I	: Akım
S	: Görünür güç
λ	: Yüklenme parametresi
P	: Aktif güç
Q	: Reaktif güç
δ	: Gerilim açısı değeri
F	: Güç akışı denklemi
t	: Tanjant vektör
SVC	: Statik var compensator
STATCOM	: Static synchronous compensator
FACTS	: Flexible AC transmission system
MATLAB	: Matrix laboratory
PSAT	: Power system analysis toolbox
KBA	: Kuzey batı anadolu

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	İletim hattının iki kapılı devre modeli.....	3
Şekil 2.2.	Tahmin etme doğrulama süreci gösterimi.....	5
Şekil 2.3.	Sürekli güç akışı akış diyagramı.....	10
Şekil 2.4.	İki baralı sistem.....	12
Şekil 2.5.	Sürekli güç akışı λ -V eğrisi	14
Şekil 3.1.	SVC nin temel yapısı.....	16
Şekil 3.2.	SVC nin kararlılık modeli.....	16
Şekil 3.3.	SVC nin V-I karakteristiği.....	17
Şekil 3.4.	SVC kayıp eğrileri.....	18
Şekil 3.5.	STATCOM un temel yapısı.....	20
Şekil 3.6.	STATCOM V-I eğrisi.....	20
Şekil 3.7.	STATCOM kararlılık modeli.....	21
Şekil 4.1.	En zayıf baralar ait λ -V eğrileri	15
Şekil 4.2.	Gölbaşı barası λ -V eğrisi	16
Şekil 4.3.	Osmanca-Sincan hattı devre dışı gölbaşı λ -V eğrisi	16
Şekil 4.4.	Osmanca-Sincan hattı devre dışı gölbaşı barası SVC eklenmesi durumu λ -V eğrisi eğrisi.....	29
Şekil 4.5.	Osmanca-Sincan hattı devre dışı gölbaşı barası STATCOM eklenmesi durumu λ -V eğrisi eğrisi.....	29
Şekil 4.6.	Çayırhan-Sincan hattı devre dışı gölbaşı barası λ -V eğrisi.....	30
Şekil 4.7.	Çayırhan-Sincan hattı devre dışı gölbaşı barası SVC eklenmesi durumu λ - V eğrisi eğrisi.....	31
Şekil 4.8.	Çayırhan-Sincan hattı devre dışı gölbaşı barası STATCOM eklenmesi durumu λ -V eğrisi.....	32
Şekil 4.9.	Ada 1-Adapazarı devre dışı gölbaşı λ -V eğrisi.....	33
Şekil 4.10.	1-Adapazarı devre dışı gölbaşı barası SVC eklenmesi durumu λ -V eğrisi.....	34

Şekil 4.11. Ada 1-Adapazarı devre dışı Gölbaşı barası STATCOM eklenmesi durumu λ -V eğrisi.....	35
Şekil 4.12. Bursa DG-Adapazarı ve T.Bara-Adapazarı devre dışı Ümraniye barası λ -V eğrisi.....	36
Şekil 4.13. İkitelli-Alibeyköy devre dışı İkitelli barası λ -V eğrisi.....	36
Şekil 4.14. Adapazarı barası kısa devre olması durumunda Zetes gerilim profili	39
Şekil 4.15. Adapazarı barasında kısa devre olması durumunda Zetes gerilim profili SVC'li.....	40
Şekil 4.16. Ereğli barası kısa devre olması durumunda Zetes gerilim profili.....	41
Şekil 4.17. Ereğli barası kısa devre olması durumunda Zetes gerilim profili SVC'li.....	42

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Sürekli güç akışı λ -V değerleri.....	13
Tablo 4.1.	En zayıf baralara ait tanjant vektör değerleri.....	24
Tablo 4.2.	Gölbaşı barası kritik değerleri.....	27
Tablo 4.3.	Osmanca-sincan hattı devre dışı Gölbaşı barası SVC eklenmesi durumu kritik değerleri.....	28
Tablo 4.4.	Osmanca-sincan hattı devre dışı Gölbaşı barası STATCOM eklenmesi durumu kritik değerleri.....	29
Tablo 4.5.	Çayırhan-sincan hattı devre dışı Gölbaşı barası kritik değerleri....	30
Tablo 4.6.	Çayırhan-sincan hattı devre dışı Gölbaşı barası SVC eklenmesi durumu kritik değerleri.....	31
Tablo 4.7.	Çayırhan-sincan hattı devre dışı Gölbaşı barası STATCOM eklenmesi durumu kritik değerleri.....	32
Tablo 4.8.	Ada 1-Adapazarı devre dışı Gölbaşı barası STATCOM eklenmesi durumu kritik değerleri	33
Tablo 4.9.	Ada 1-Adapazarı devre dışı Gölbaşı barası SVC eklenmesi durumu kritik değerleri	34
Tablo 4.10.	Ada 1- Bursa DG-Adapazarı ve T.Bara-Adapazarı durumu tanjant vektör değerleri	36
Tablo 4.11.	İkitelli-Alibeyköy devre dışı en zayıf baralar tanjant vektör değerleri	37

ÖZET

Anahtar Kelimeler: FACTS, Gerilim Kararlılığı, Sürekli Güç Akışı

Bu çalışmada, STATCOM ve SVC denetleyicilerinin güç sistemi gerilim çökmelerine karşı etkisi incelenmiştir. İncelemeler KBA güç iletim sisteminde yapılmıştır.

Bilgisayar simülasyonu için PSAT programı kullanılmıştır. Sürekli güç akışı analizi yöntemi kullanılarak elde edilen PV eğrileri ile STATCOM ve SVC gerilim çökmelerine karşı etkisi incelenmiştir. Benzetim çalışmaları SVC ve STATCOM un sistemin yüklenebilirlik sınırlarını arttırdığı görülmüştür.

DETERMINING CRITICAL BUSES AFFECTED BY ENERGY SYSTEM GROWTHS IN NORTH WESTERN ANATOLIA NETWORK THROUGH CONTINUATION POWER FLOW METHOD.

SUMMARY

Key Words: FACTS, Voltage Stability, Continuation Power Flow

In this study, the STATCOM and SVC controllers investigated the effect of the power system against voltage collapse. Investigations were made KBA power transmission 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.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

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 kararsızlığı, kısa devre, hat açması, aşırı yüklenme, üretim azalması gibi bozucu etkilere maruz kalan sistemlerde görülmektedir. Bozucu etki sistemin belirli bölgesinde meydana gelmesine rağmen sistemde bölgesel hatta sistemin tümünde gerilim çökmesine sebep olabilir. Gerilim çökmelerinin ana sebebi yük miktarlarındaki artışlardır, bu nedenle gerilim kararlılığı problemi yük kararlılığı olarak da tanımlanabilir [3].

Gerilim kararlılığında en önemli problem olan gerilim çökmelerinin önüne geçebilmek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Kademe değiştiricili trafo denetimi, hızlı arıza temizleme iletim hatlarına seri ve paralel kompanzasyon yapılarak gerilim kararlılığı sınırlarını arttırmak mümkündür [4]. Kademe dönüştürme oranları sayesinde yük baralarındaki gerilimi istenilen seviyede tutmaya yararlar [5]. İletim hatlarına seri kompanzasyon yapılarak hattın seri reaktansı kompanse edilir ve bu sayede hattın taşıyabileceği maksimum güç sınırları arttırılabilir. İletim 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[6]. FACTS cihazlarının temel olarak iki işlevi vardır. Bunlardan ilki buldukları güç sisteminin taşıma kapasitesini arttırmak ikincisi de sistemdeki güç akışını kontrol etmektir [7].

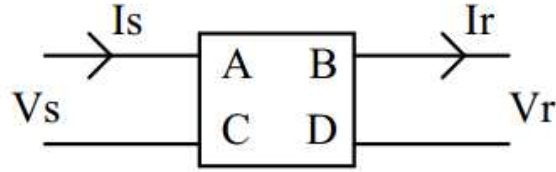
Bu tez çalışmasında 380 KV'luk KBA güç iletim sisteminin kritik baraları belirlenmiştir. Kritik baralardaki kararlılık sınırları sürekli hal güç akışı yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Daha sonra KBA güç sisteminin kritik baralarına STATCOM ve SVC eklenerek kararlılık sınırlarındaki değişimler incelenmiştir.

BÖLÜM 2. GERİLİM KARARLILIĞI ANALİZİ

Gerilim kararlılığı bir güç sisteminde sistemde bozucu etken yokken normal çalışma şartlarında ve sistemde bozucu etki meydana geldikten sonra sistemin bütün baralarındaki gerilimleri belirli seviyede tutabilme yeteneği olarak tanımlanır[17].

2.1. PV Eğrilerinin Analitik Olarak Elde Edilmesi

Enerji iletim hattını iki kapılı devre olarak düşünersek, A-B-C-D devre sabitleri, gönderici uç gerilimi ve alıcı uç güç faktörü cinsinden hat sonu gerilimi ile aktif güç arasındaki ifade elde edilebilir.



Şekil 2.1. İletim hattının iki kapılı devre modeli

Burada V_s gönderici uç gerilimi, I_s gönderici uç akımı, V_r alıcı uç gerilimi ve I_r alıcı uç akımıdır. A-B-C-D iletim hattının sabitleri olmak üzere, $A=a_1+ja_2$, $B=b_1+jb_2$, $C=c_1+jc_2$, $D=d_1+jd_2$ şeklinde yazılırsa hat başı gerilimi ve hat sonu akımı,

$$V_s = (a_1 + ja_2)V_r + (b_1 + jb_2)I_r \quad (2.1)$$

$$S_r = P_r + jQ_r = V_r + I_r^* \quad (2.2)$$

$$I_r = \frac{P_r - Q_r}{V_r^*} \quad (2.3)$$

şeklinde olur. Burada (2.1) ifadesi düzenlenirse,

$$|A|^2|V_r|^2 + [2P_r(A_1B_1 + A_2B_2) + 2Q_r(A_1B_2 - A_2B_1) - |V_s|^2]C + |B|^2(P_r^2 + Q_r^2) = 0 \quad (2.4)$$

elde edilir. Burada $x = |V_s|^2$ dönüşümü yapılırsa (2.4) ifadesi,

$$ax^2 + bx + c = 0 \quad (2.5)$$

şeklinde 2. dereceden bir denkleme dönüştürülür. Denklem çözümü,

$$x_{1,2} = \frac{-b \mp \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (2.6)$$

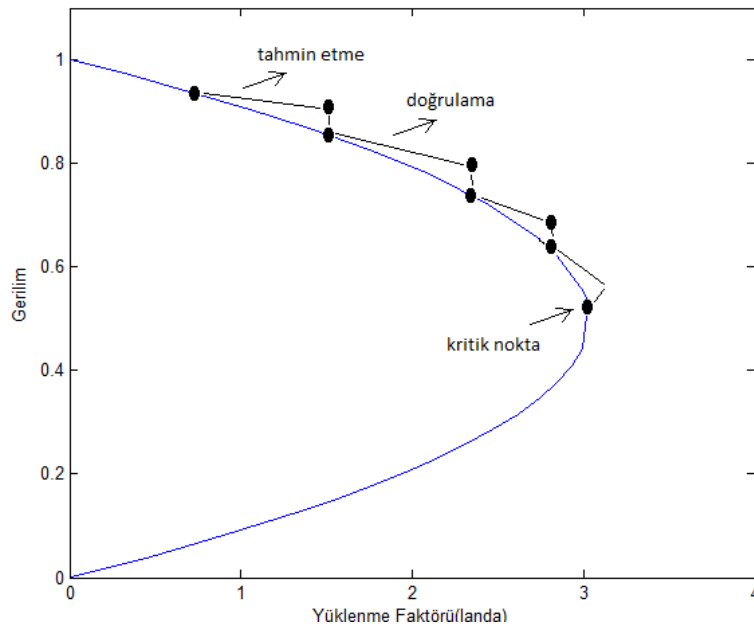
şeklinde dir. Gerilime ilişkin gerçek kök $|V_r|_{1,2} = \mp \sqrt{x_{1,2}}$ belirlenirken kök + kullanılmaktadır.

Bu ifadenin çözümü ile hat başı gerilimi belli bir değerde sabit tutulurken, sabit güç katsayısı altında hat sonundan çekilen gücün adım adım artırılarak gerilim genlik değişiminin gözlemlendiği eğriye PV eğrisi denmektedir.[2]

2.2. Sürekli Güç Akışı

Newton-Raphson tekniğini kullanarak yapılan güç akışı yönteminde jacobien matrisi gerilim kararlılığı limitlerinde çözümsüzlüğe gider. Başka bir deyişle Jacobien matrisinin çözümsüz olduğu noktalar gerilim kararlılığı problemlerindeki kritik noktalar olarak tanımlanır. Bu problem sürekli güç akışı yönteminde güç akışı eşitlikleri tekrar düzenlenerek sistemin kritik noktaları bulunmaktadır. Sürekli güç akışı analizi sistemin denge noktaları (kritik noktalarını) tespit etmektedir.[15]

Sürekli güç akışı yönteminde sistemdeki yükler adım adım artırılarak sistemin kararlılık limitleri bulunmaya çalışılır. Sürekli güç akışı yöntemi tahmin etme ve düzeltme adımlarından oluşmaktadır. Temel durumdan başlanarak yüklenme parametresine karşılık gelen bir sonraki adım tanjant vektörü yardımı ile tahmin edilir. Daha sonra bu tahmin Newton-Raphson güç akışı yöntemi ile doğrulanır. Bu işlem belirli yük artışları için sistemin kritik noktası bulununcaya kadar devam eder. Tanjant vektörünün negatif olduğu durumda sistem kararsızlık bölgesinde çalıştığı anlaşılır. Şekil 2.2.'de tahmin etme ve doğrulama adımları gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Tahmin Etme Doğrulama Süreci Gösterimi

Bölgesel sürekli parametreleştirme tekniğini uygulamak için bir yüklenme parametresi (λ) güç akışı denklemlerine eklenmelidir. Yüklenme parametresini tanımlayacak olursak;

$$0 \leq \lambda_{\text{kritik}} \leq 0 \quad (2.7)$$

Burada $\lambda=0$ ilk durumdaki, λ_{kritik} ise kritik durumdaki yüklenme parametresidir. Yüklenme parametresi güç akışı denklemlerine aşağıdaki denklemlerdeki gibi ilave edilir.

$$0 = P_{Gi} - P_{Li} - P_{Ti} \quad P_{Ti} = \sum_{j=1}^n V_i V_j y_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \quad (2.8)$$

$$0 = Q_{Gi} - Q_{Li} - Q_{Ti} \quad Q_{Ti} = \sum_{j=1}^n V_i V_j y_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j - \gamma_{ij}) \quad (2.9)$$

Yukarıda i. bara için verilen denklemlerde L yükü, G üretimi ve T enjeksiyonu temsil eder. Burada i. ve j. bara gerilimleri $V_i \angle \gamma_i$, $V_j \angle \gamma_j$ olur. Bara admitans matrisinin (i, j). elemanı ise $y_{ij} \angle \gamma_{ij}$ olur.

Güç akışını simule edebilmek için P_{Li} ve Q_{Li} aşağıdaki gibi düzenlenir.

$$P_{Li} = P_{Lio} + \lambda(k_{Li} S_{\Delta baz} \cos \psi_i) \quad (2.10)$$

$$Q_{Li} = Q_{Lio} + \lambda(k_{Li} S_{\Delta baz} \sin \psi_i) \quad (2.11)$$

P_{Lio} ve Q_{Lio} temel durumdaki i. baradaki aktif ve reaktif güçleri, k_{Li} λ değişirken i. baradaki yük değişimi oranını belirten çarpan, ψ_i i. baradaki yük değişimin yük açısı, $S_{\Delta baz}$ λ nın uygun ölçeklendirilmesini sağlamak için verilen görünür güç miktarıdır.

Aktif güç denklemi aşağıdaki gibi tekrar düzenlenirse;

$$P_{Gi} = P_{Gio}(1 + \lambda k_{Gi}) \quad (2.12)$$

Burada P_{Gio} i. baradaki temel durumdaki aktif gücü, k_{Gi} ise landa değişirken i. baradaki üretim değişim oranını belirten sabittir. Bu ifade güç akışı eşitliklerine ilave edilirse yeni denklemler aşağıdaki gibi olacaktır.

$$0 = P_{Gio}(1 + \lambda k_{Gi}) - P_{Lio} - \lambda(k_{Li} S_{\Delta baz} \cos \psi_i) - P_{Ti} \quad (2.13)$$

$$0 = Q_{Gio} - Q_{Lio} - \lambda(k_{Li} S_{\Delta baz} \sin \psi_i) - Q_{Ti} \quad (2.14)$$

k_{Li} , k_{Gi} ve ψ_i her bir bara için farklı değerler olmaktadır. Bu durum λ değişirken üretim ve yük için özel bir çeşitlilik olmasını ortaya çıkarır[10,11].

2.2.1. Sürekli güç akışı algoritmasının uygulanması

Düzenlenen güç akışı eşitliklerinde F güç akışı denklemleri olmak üzere aşağıdaki gibi verilir.

$$F(\underline{\delta}, \underline{V}, \underline{\lambda}) = 0, 0 \leq \lambda \leq \lambda_{\text{kritik}} \quad (2.15)$$

Burada δ bara geriliminin açısını, V bara gerilimin genliğini göstermektedir. $\lambda=0$ için temel durum çözümü $(\underline{\delta}_0, \underline{V}_0, \underline{\lambda}_0)$ normal güç akışı eşitlikleri kullanılarak bulunur ve çözüm λ' nın değişimine göre aranır. Genel olarak F'nin boyutu $2n_1+n_2$ olacaktır. Burada n_1 PQ, n_2 PV baralarıdır.

Çözümü elde edebilmek için sürekli hal algoritması bilinen çözümden başlayarak tahmin edici-doğrulamaya süreç farklı yüklenme değerleri için devam eder[10,11].

2.2.2. Bir sonraki çözüm tahmini

Tahmin etme adımında ilk olarak tanjant vektörü hesaplanır. Tanjant vektörü yeniden düzenlenmiş güç akışı denklemlerinin türevi alınarak elde edilir. Tanjant vektörü aşağıdaki gibi elde edilir.

$$d[F(\underline{\delta}, \underline{V}, \underline{\lambda})] = F_{\delta} d\delta + F_V dV + F_{\lambda} d\lambda \quad (2.16)$$

$$[F_{\delta} F_V F_{\lambda}] \begin{bmatrix} d_{\lambda} \\ d_V \\ d_{\delta} \end{bmatrix} = 0 \quad (2.17)$$

Yukarıdaki güç akışı eşitliklerinde λ bilinmeyen olarak ilave edilmesine rağmen eşitlik sayısı değişmediğinden çözümü mümkün değildir. Bu sebeple ilave bir eşitliğe ihtiyaç vardır. Bu problem tanjant vektörünün bileşenlerinden birini sıfırdan farklı bir değer olarak çözülür. t tanjant vektörünü simgelemek üzere aşağıdaki verilir.

$$t = \begin{bmatrix} d_{\lambda} \\ d_V \\ d_{\delta} \end{bmatrix}, t_k = \mp 1 \quad (2.18)$$

$$\begin{bmatrix} F_{\delta} F_V F_{\lambda} \\ e_k \end{bmatrix} [t] = \begin{bmatrix} 0 \\ \mp 1 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Burada e_k k. elemanı 1 eşit, diğer elemanları sıfır olan satır vektörüdür. $t_k \mp 1$ değerini alarak sıfırdan farklı bir değer alır ve jacobien matrisinin kritik noktadaki çözümü sağlanmış olur. Tanjant vektörü (2.17) Denklemi çözülerek bulunur ve tahmin aşağıdaki gibi olur.

$$\begin{bmatrix} \delta^* \\ V^* \\ \lambda^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta \\ V \\ \lambda \end{bmatrix} + \sigma \begin{bmatrix} d\delta \\ dV \\ d\lambda \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Burada * bir sonraki λ değerine karşılık gelen tahmini, σ ise skaler bir büyüklük olup adım uzunluğunu göstermektedir[10,11].

2.2.3. Parametreleştirme ve doğrulama

Tahmin yapıldıktan sonraki adım, yapılan tahmini doğrulama adımudur. Bu doğrulamanın yapılabilmesi için kullanılan teknik bölgesel parametreleştirme tekniğidir. Bölgesel parametreleştirme tekniği orijinal denklem takımını durum değişkenlerinden birinin değerini bildiren bir eşitlikle genişletmektir.

$$x = \begin{bmatrix} \delta \\ V \\ \lambda \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

$$\begin{bmatrix} F(x) \\ x_k - n \end{bmatrix} = [0] \quad (2.22)$$

Burada n , x' in k. elemanın yaklaşık değeridir. Uygun k indeksi ve n değeri seçildikten sonra çok az değiştirilmiş Newton-Raphson (sadece ek bir denklem ve ek bir durum değişkeni ile) güç akışı eşitlikleri kullanılarak denklem takımının çözümü sağlanır. k indeksi tahmin etmede kullanıldığı gibi doğrulamada da kullanılır ve n x_k^* ya (x_k 'nin tahmin edilen değeri) eşit olur. Bundan dolayı durum değişkeni x_k sürekli (continuation) parametre olarak adlandırılır[10,11].

2.2.4. Sürekli parametrenin seçilmesi

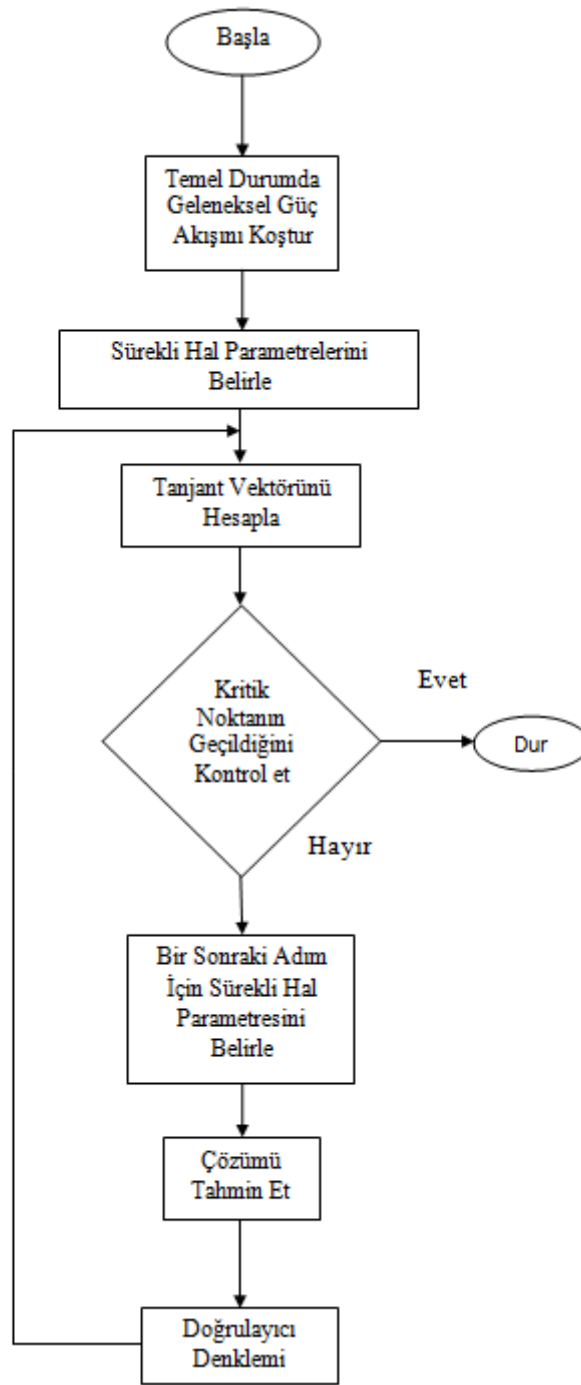
Sürekli parametrenin tanımlanabilmesi için birkaç uygun yöntem vardır. En iyi yöntem matematiksel olarak, tanjant vektör bileşeni en büyük olan durum değişkenine karşılık gelmelidir. Güç sisteminde λ temel çözümden başlarken iyi bir seçimdir. Sonraki parametrelerde aşağıda gösterildiği gibi hesaplanır.

$$x_k = |t_k| = \max = \{|t_1|, |t_2|, \dots |t_m|\} \quad (2.23)$$

Burada t tanjant vektörü, bir sonraki tanjant vektörü hesabı için t_k parametre artıyorsa +1 azalıyorsa -1 değeri atanır[10,11].

2.2.5. Kritik noktanın belirlenmesi

Tahmin etme-doğrulama sürecinin kritik noktaya ulaşip ulaşmadığının kontrol edilip sürekli güç akışının durdurulması gerekir. Kritik nokta yüklenmenin maksimum olduğu noktadır. Kritik noktada tanjant vektörünün λ ya karşılık gelen bileşeni sıfır olur. Kritik noktadan sonra tanjant vektörünün λ ya karşılık gelen bileşeni negatif olur. Dolayısıyla $d\lambda'$ nın işareti kritik noktanın geçilip geçilmediği bilgisini verir. Sürekli güç akışının akış diyagramı Şekil 2.3'deki gibidir.



Şekil 2.3. Sürekli güç akışı akış diyagramı [10]

2.2.6 En zayıf baranın tanjant vektörü ile belirlenmesi

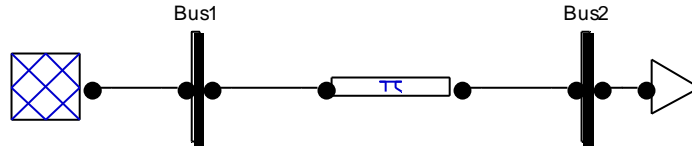
Güç sisteminde en zayıf bara gerilim çökmesine en yakın baradır. Yükteki değişim her bara da aynı olduğundan gerilim düşümünün en büyük olduğu bara en kritik baradır. Sistemin baralarındaki gerilim değişimi tahmin edici adımdaki tanjant vektörü tarafından belirlenir. Kritik bara;

$$\text{Bara} = \text{maksimum} \left\{ \left| \frac{dV_1}{cd\lambda} \right|, \left| \frac{dV_2}{cd\lambda} \right|, \dots, \left| \frac{dV_n}{cd\lambda} \right| \right\} \quad (2.18)$$

ile bulunur. Bir tanjant vektörü $Cd\lambda$ her barada aynı olduğundan dV değeri en büyük olan bara en zayıf baradır[10,11].

2.2.7 İki baralı örnek sistemin PSAT sürekli güç akışı analizi

Sürekli hal güç akışı analizinin PSAT[12] programında iki baralı sistemde örnek uygulamasının incelenmesi programın ayrıntılarını anlamak için yararlı olacaktır. PSAT Simulink kullanılarak iki baralı örnek sistem aşağıdaki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 2.4. İki baralı sistem

Sistemde baz değerler $S=100$ MVA ve $V=380$ kV seçilmiştir.

Burada bara gerilimleri her bir bara için 380 kV seçilmiştir. İletim hattı empedansı $0.1+j0.01$ olarak seçilmiştir. Yük $S=1+j0.25$ (pu) olarak seçilmiştir. İlk sisteme normal güç akışı analizi yapılarak yük barasının temel durumdaki gerilim değeri görülmüştür. Temel durumda yük barasının gerilim değeri $V=0,88389$ olmaktadır.

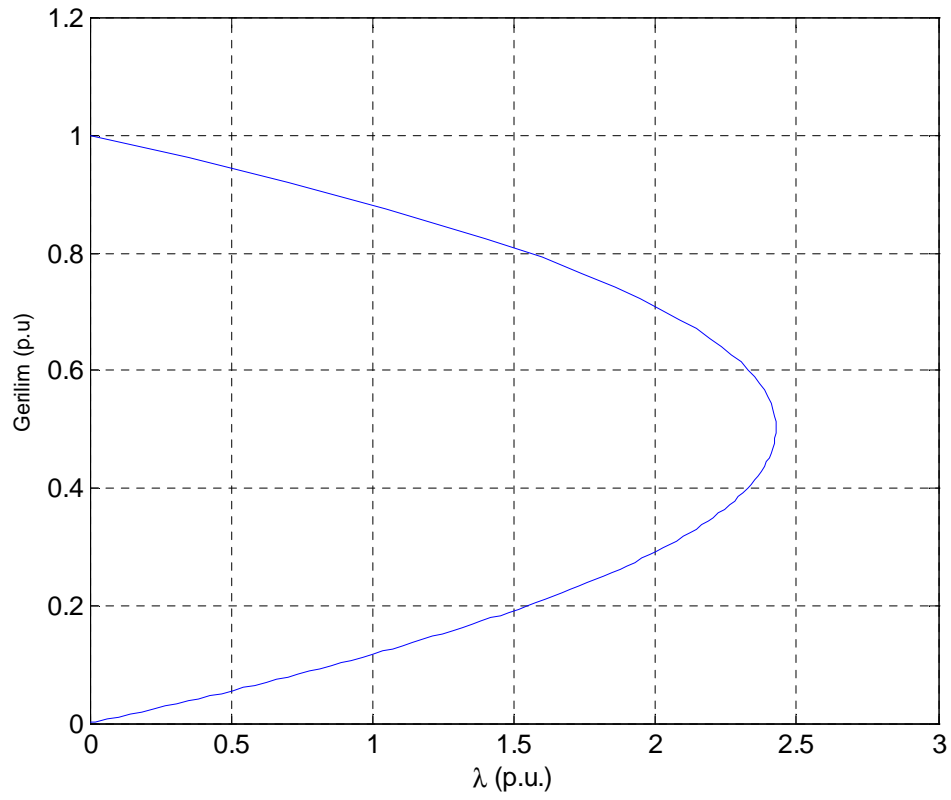
Sürekli hal güç akışı analizinde sistemdeki temel yükler başlangıç kabul edilerek bu yükler belirli bir yüklenme parametresi ile artırılarak gerilimdeki değişimler elde edilerek PV eğrilerine ulaşmak mümkündür. Sürekli hal güç akışı analizinde $P=P_0(1+\lambda)$ ve $Q=Q_0(1+\lambda)$ kabulü yapılarak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

Yapılan sürekli hal güç akışı sonucunda elde edilen yüklenme değeri $\lambda_{\text{maksimum}}=2,4213$ ve gerilim değeri $V=0,52366$ olmaktadır. λ bu değerden sonra düşme eğilimi göstermektedir. λ nin düşmeye başlamadan önceki son değeri sistem için kritik yüklenme değeridir, bu değerden sonra sistem kararsız bölgede çalışmaya başlayacaktır. Sürekli hal güç akışı analizinde her bir yüklenme değerine karşılık gelen gerilim değerleri aşağıdaki tabloda verildiği gibi olmaktadır.

Tablo 2.1. Sürekli güç akışı λ -V değerleri

λ	V
0.00000	1.00000
0.34985	0.96274
0.69965	0.92217
1.04936	0.87723
1.39888	0.82611
1.74798	0.76530
2.09568	0.68567
2.42126	0.52366
2.38822	0.43882
2.32077	0.39708
2.22433	0.35702
2.10216	0.31844
1.95775	0.28138
1.79416	0.24579
1.61394	0.21159
1.41919	0.17866
1.21162	0.14690
0.99266	0.11621
0.76350	0.08650
0.52514	0.05770
0.27842	0.02972
0.02409	0.00250

Sürekli hal güç akışı sonunda elde λ -V eğrisi Şekil 3.2.2'deki gibi olmaktadır. Burada her bir yüklenme değerine karşılık gelen bir güç değeri olduğundan λ -V eğrisi PV eğrisi olarak kabul edilebilir.



Şekil 2.5. Sürekli güç akışı λ -V eğrisi

Şekil 2.5.'de her bir yüklenme değerine karşılık gelen bir güç değeri olduğundan λ -V eğrisi PV eğrisi olarak kabul edilebilir.

BÖLÜM 4. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Bu çalışmada sürekli hal güç akışı analizi yapılarak sistemin kritik baraları ve kararlılık limitleri incelenmiştir. Sürekli hal güç akışı analizi yöntemi güç sistemlerinin PV eğrilerinin bulunması için kullanılan önemli bir yöntemdir. Bu çalışmada temel durumda yapılan sürekli hal güç akışı analizi ile güç sisteminin kritik (gerilim çökmesine en yakın baralar) baraları tespit edilmiştir. Daha sonra sistemde oluşabilecek arıza durumları için kritik baralarına FACTS cihazları eklenerek kararlılık limitinin değişimleri incelenmiştir. Sürekli hal güç akışı analizi için PSAT (Power System Analys Toolbox) programı kullanılmıştır.

Sürekli hal güç akışı analizi, güç sistemlerinde PV eğrilerinin elde edilmesi ve gerilim çökmesi yaşanmadan taşınabilecek maksimum yük miktarının belirlenmesi açısından önemlidir.

PV eğrileri analizinde iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Birinci yöntemde her bir baradaki yükler (aktif ve reaktif) sıfırdan başlayıp adım adım artırılarak gerilimdeki değişimler elde edilerek PV eğrilerini çizmek mümkündür.

Diğer yöntem olan 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 λ -V eğrileri çizdirilir. Burada λ yüklenmedeki değişimler olduğu için λ -V eğrileri PV eğrileri olarak kabul edilir.

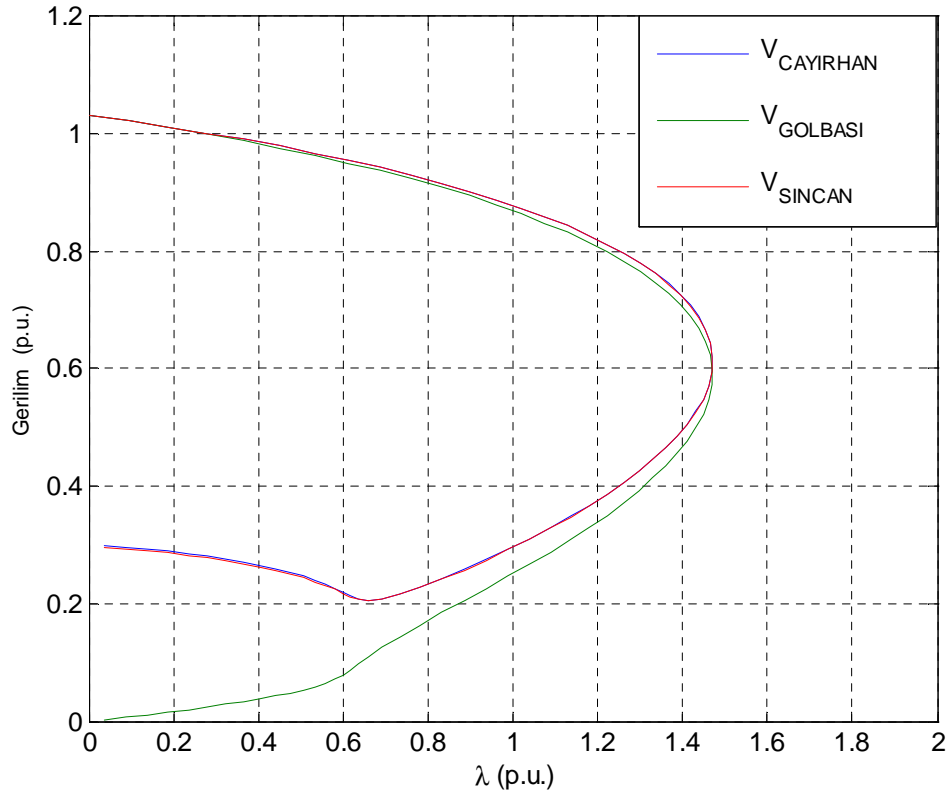
4.1. KBA Güç Sisteminde Temel Durumda Sürekli Güç Akışı Yöntemi

KBA güç iletim sisteminde sürekli hal güç akışı yapabilmek için sonsuz güçlü bara (slack) olarak sistemin en güçlü üretim barası olan Gebze(Ada 1), doğalgaz elektrik üretim santrali olan Enka'nın bağlı bulunduğu bara seçilmiştir. Temel durumda sistemde hiçbir bozucu etki yokken yapılan sürekli hal güç akışı analizinde tanjant vektörü en büyük olan baralar tespit edilmiştir. Tanjant vektörü büyük olan baralar sistemin en zayıf baralarıdır, yani gerilim çökmesine en yakın baralardır. Yapılan analiz sonucunda sistemin tanjant vektörü en büyük olan baraları Gölbaşı, Sincan ve Çayırhan olarak tespit edilmiştir. Aşağıdaki tabloda en zayıf baralara ait tanjant vektör değerleri verilmiştir.

Tablo 4.1. En zayıf baralara ait tanjant vektör değerleri

Bara Adı	Tanjant Vektörü
Gölbaşı	0,19833
Sincan	0.18912
Çayırhan	0.18889

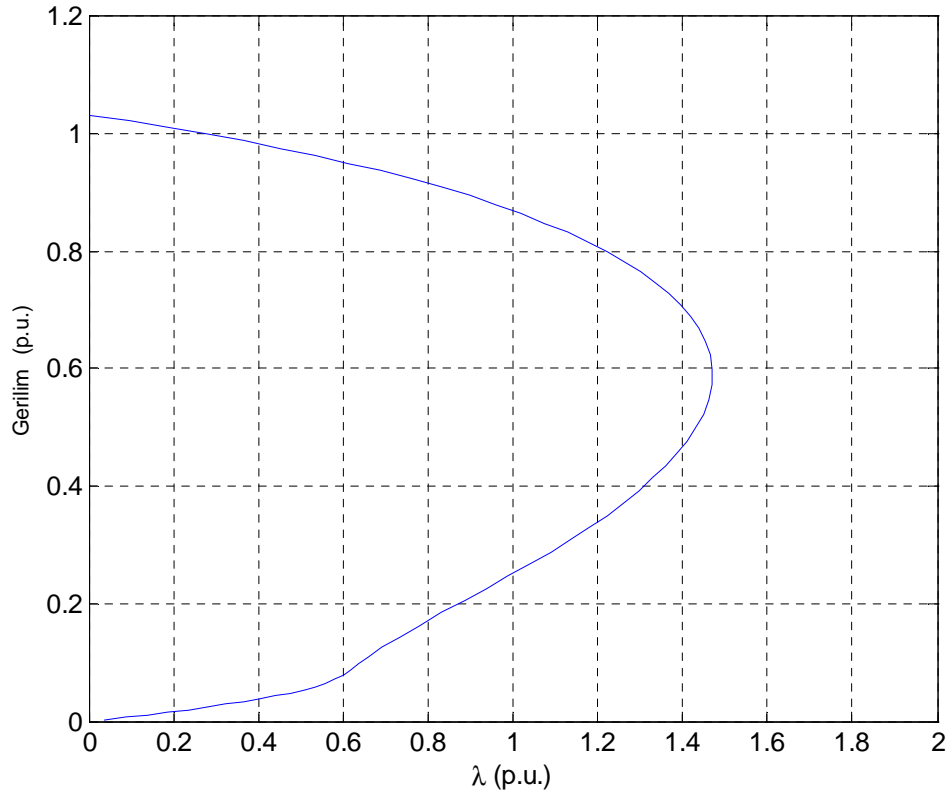
Sistemde hiçbir bozucu etki yokken sistemin en zayıf baralarına ait PV eğrileri aşağıdaki gibi olmaktadır.



Şekil 4.1. En zayıf baralar ait λ -V eğrileri

Tanjant vektörü en büyük olan üç baranın eğrileri Şekil 4.1.'deki gibi olmaktadır.

Sürekli hal güç akışı sonucunda gerilim kararlılığı açısından en zayıf bara tanjant vektörü en büyük olan Gölbaşı barasıdır. Gölbaşı barasının temel durumdaki maksimum yüklenme sınırı $\lambda_{\text{maksimum}}=1,4701$ 'dır. Güç sisteminin en zayıf barası Gölbaşı barası olduğu için sistemde oluşabilecek arızalarda gerilim çökmesine en yakın bara gölbaşı barasıdır. Bu nedenle Gölbaşı barasında yapılacak iyileştirmeler veya oluşabilecek arıza durumlarında Gölbaşı barasının nasıl etkileneceği incelenmiştir. Sistemde hiçbir arıza durumu söz konusu değilken sistemde Gölbaşı barasına ait PV eğrisi aşağıdaki gibi olmaktadır.



Şekil 4. 2 Gölbaşı barası λ -V eğrisi

Gölbaşı barası için kritik değerler $V_{\text{kritik}}=0,57801$, $P_{\text{kritik}}=4,4089$ pu ve $\lambda_{\text{kritik}}=1,4701$ pu olmaktadır.

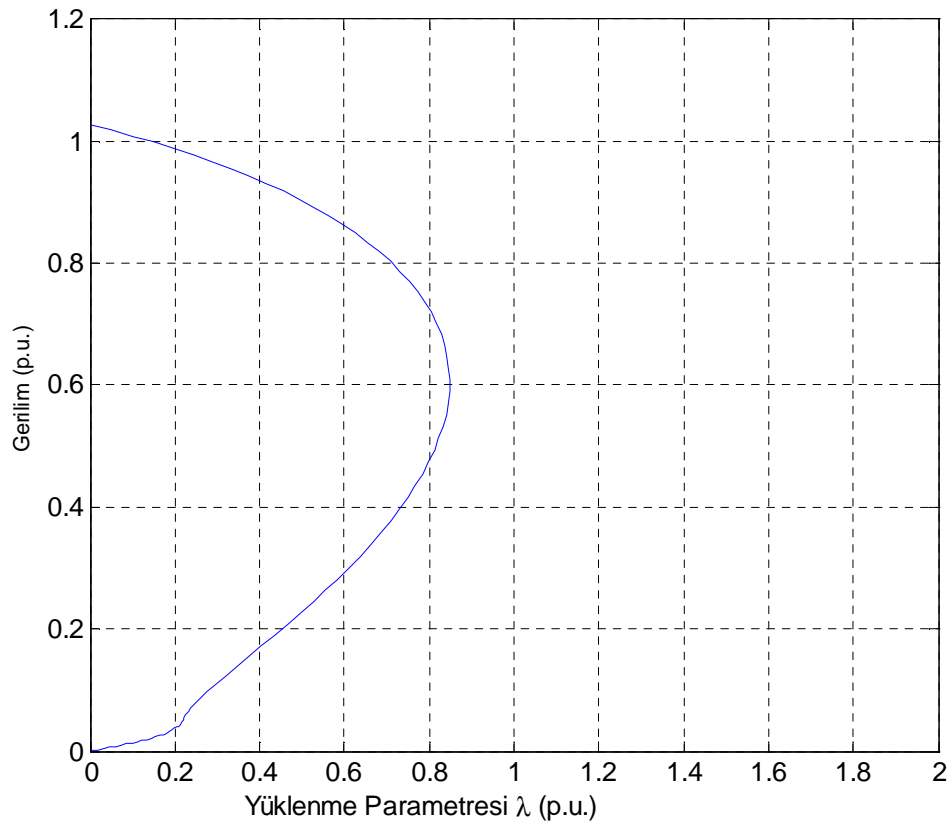
KBA güç sisteminde kritik barayı besleyen hatlar iki adet hat bulunmaktadır. Bunlar Osmanca-Sincan ve Çayırhan-Sincan hatlarıdır. Güç sisteminde ilk olarak Osmanca-Sincan ve Çayırhan-Sincan hatlarında oluşabilecek arıza durumlarında Gölbaşı barasının kritik değerlerindeki değişimler incelenmiştir.

İlk olarak Osmanca-Sincan hattı devre dışı bırakılarak yapılan sürekli hal güç akışı analizinde sistemin kritik barası olan Gölbaşı barasındaki kritik değerler ve yüklenme parametresindeki değişimler aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 4.2. Gölbaşı barası kritik değerleri

Gölbaşı Barası	$V_{kritik}(p.u.)$	$P_{kritik}(p.u.)$	$\lambda_{kritik}(p.u.)$
Temel Durum	0,57801 p.u.	4,4089 p.u.	1,4701 p.u.
Osmanca-Sincan devre dışı	0,58941 p.u.	2,5422 p.u.	0,84812 p.u.

Osmanca-Sincan hattı devre dışı kaldığında sistemin kritik barası olan Gölbaşı barasına ait PV eğrisi aşağıdaki gibi olmaktadır.

Şekil 4.3. Osmanca-Sincan hattı devre dışı gölbaşı λ -V eğrisi

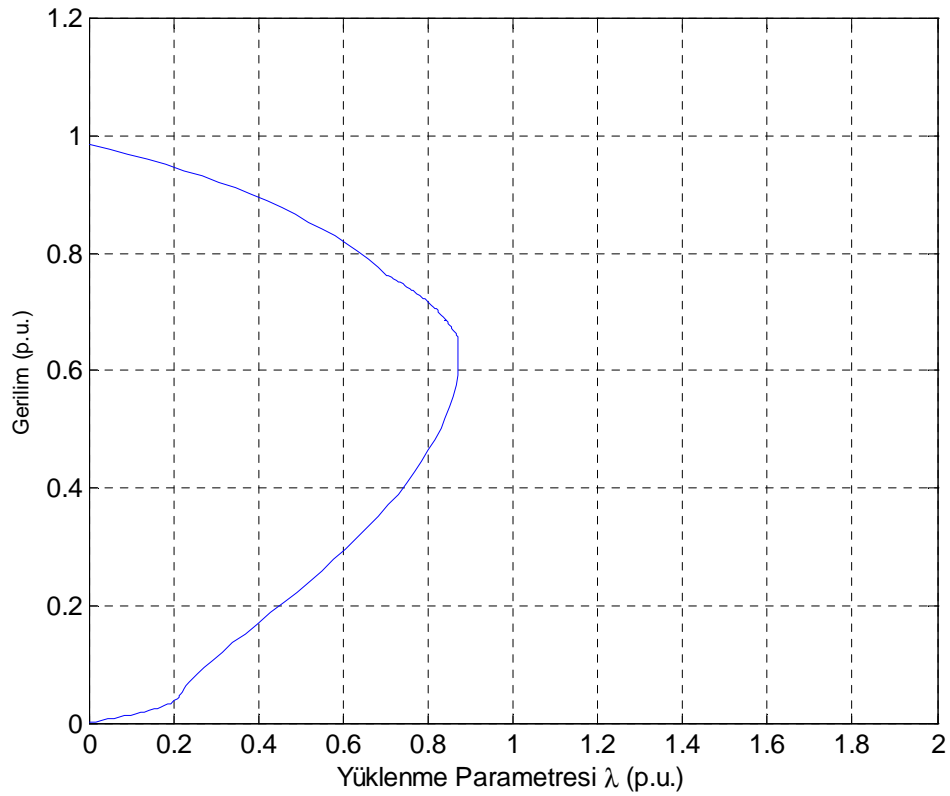
Bu durumda sistemin kritik barasına FACTS cihazı eklenerek sistemin yüklenebilirlik sınırları incelenmiştir. Gölbaşı barasına ilk olarak SVC (Statik Var Compensator) eklenerek sistemin yüklenebilirlik sınırlarındaki değişimler incelenmiştir. Kritik baraya SVC eklendikten sonra gerilim değeri kritik gerilim

değerinin altına düşmemek koşuluyla sistemin yüklenme parametresindeki değişim aşağıdaki gibi olmuştur.

Tablo 4.3. Osmanca-sincan hattı devre dışı Gölbaşı barası SVC eklenmesi durumu kritik değerleri

Gölbaşı Barası	$V_{kritik}(p.u)$	$P_{kritik}(p.u)$	$\lambda_{kritik}(p.u.)$
Osmanca-Sincan devre dışı	0,58941 p.u	2,5422 p.u.	0,84812 p.u.
SVC eklenmesi durumu	0,59347 p.u.	2,6108 p.u.	0,8723 p.u.

Osmanca-Sincan hattı devre dışı kalması durumunda kritik bara için PV eğrisi SVC eklendikten sonra Şekil 4.4.'teki gibi olmaktadır.



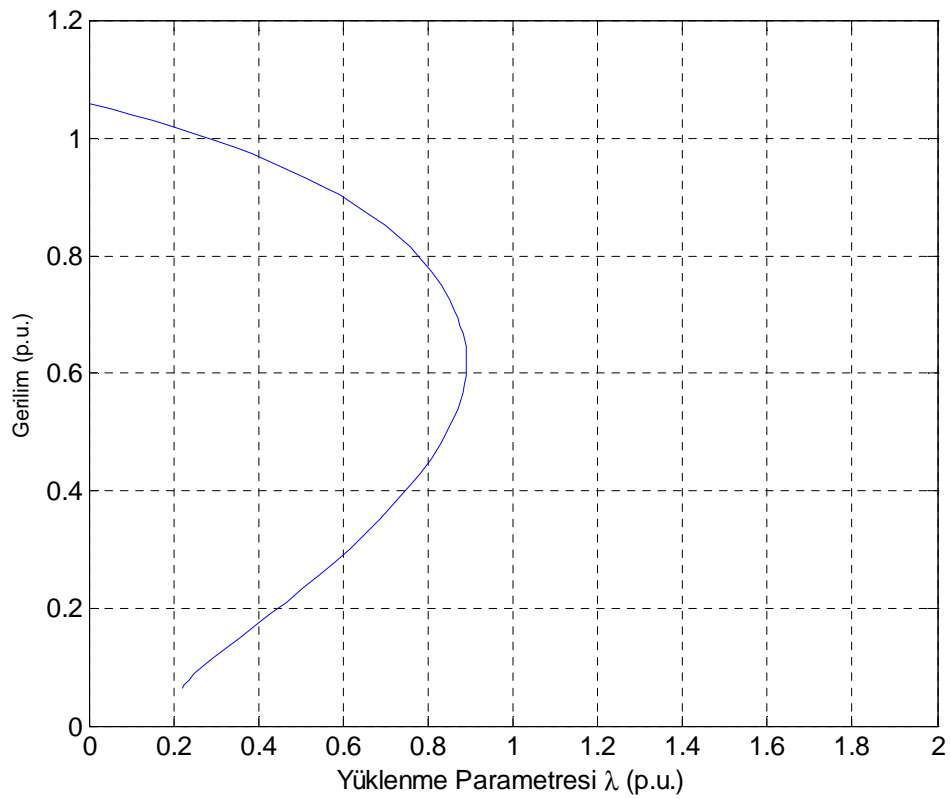
Şekil 4.4. Osmanca-Sincan hattı devre dışı gölbaşı barası SVC eklenmesi durumu λ -V eğrisi

Aynı koşullar altında kritik baraya STATCOM eklenmesi durumunda, gerilim değeri kritik gerilim değerinin altına düşmemek koşuluyla sistemin kritik değerleri ve yüklenme parametresindeki değişim aşağıdaki gibi olmaktadır.

Tablo 4.4. Osmanca-sincan hattı devre dışı Gölbaşı barası STATCOM eklenmesi durumu kritik değerleri

Gölbaşı Barası	$V_{kritik}(p.u.)$	$P_{kritik}(p.u.)$	$\lambda_{kritik}(p.u.)$
Osmanca-Sincan devre dışı	0,58941 p.u.	2,5422 p.u.	0,84812 p.u.
STATCOM eklenmesi durumu	0,60905 p.u.	2,6746 p.u.	0,89163 p.u.

Osmanca-Sincan hattı devre dışı kalması durumunda kritik bara için PV eğrisi STATCOM eklendikten sonra aşağıdaki gibi olmaktadır.



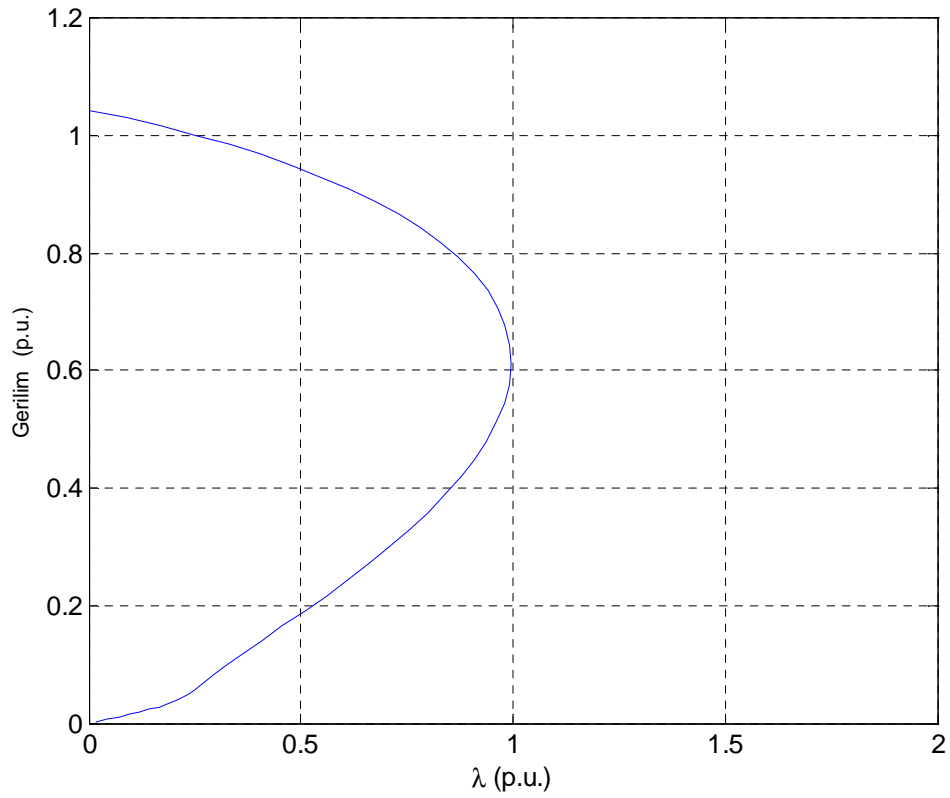
Şekil 4.5. Osmanca-Sincan hattı devre dışı gölbaşı barası STATCOM eklenmesi durumu λ-V eğrisi

Güç sisteminde kritik barayı besleyen ikinci hat olan Çayırhan-Sincan hattında oluşacak bir arıza ile hattın devre dışı kalması durumunda gölbaşı barasında kritik değerler ve yüklenme parametresi aşağıdaki gibi olmaktadır.

Tablo 4.5. Çayırhan-sincan hattı devre dışı Gölbaşı barası kritik değerleri

Gölbaşı Barası	$V_{\text{kritik}}(\text{p.u.})$	$P_{\text{kritik}}(\text{p.u.})$	$\lambda_{\text{kritik}}(\text{p.u.})$
Temel Durum	0,57177 p.u.	4,4062 p.u.	1,47 p.u.
Çayırhan-Sincan devre dışı	0,60585 p.u.	2,9847 p.u.	0,99491 p.u.

Çayırhan-Sincan hattı devre dışı kaldığında sistemin kritik barası olan Gölbaşı barasına ait PV eğrisi aşağıdaki gibi olmaktadır.

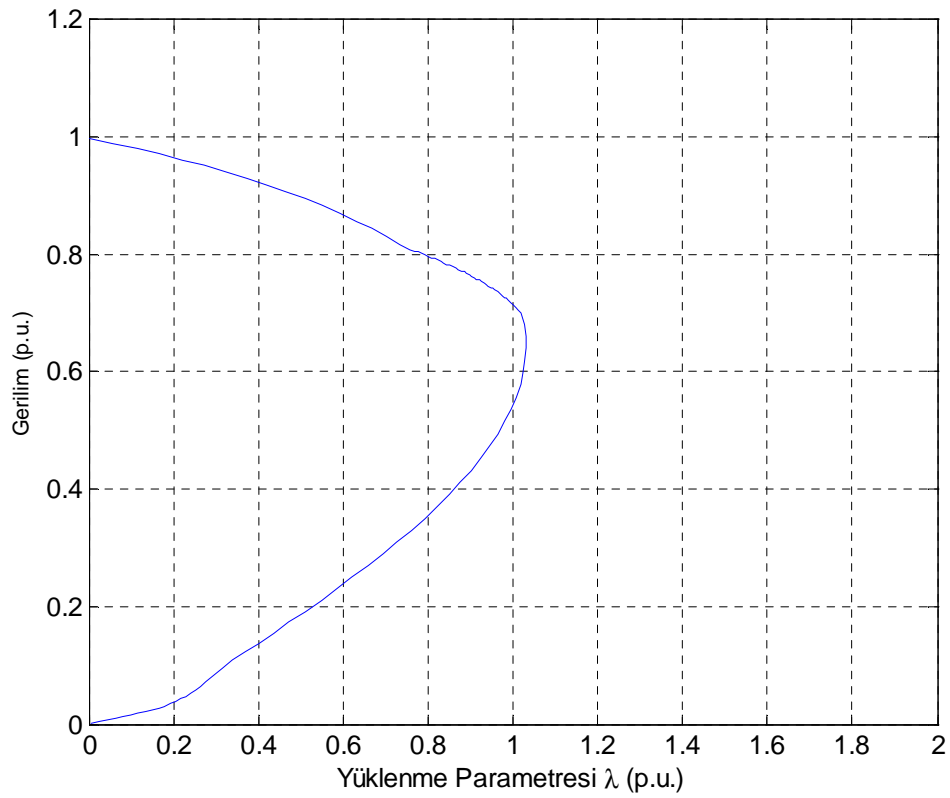
Şekil 4.6. Çayırhan-Sincan hattı devre dışı gölbaşı barası λ -V eğrisi

Gölbaşı barasına ilk olarak SVC eklenerek sistemin yüklenebilirlik sınırlarındaki değişimler incelenmiştir. Kritik baraya SVC eklendikten sonra gerilim değeri kritik gerilim değerinin altına düşmemek koşuluyla sistemin yüklenme parametresindeki değişim aşağıdaki gibi olmuştur.

Tablo 4.6. Çayırhan-Sincan hattı devre dışı Gölbaşı barası SVC eklenmesi durumu kritik değerleri

Gölbaşı Barası	$V_{\text{kritik}}(\text{p.u.})$	$P_{\text{kritik}}(\text{p.u.})$	$\lambda_{\text{kritik}}(\text{p.u.})$
Çayırhan-Sincan devre dışı	0,60585 p.u.	2,9847 p.u.	0,99491 p.u.
SVC eklenmesi durumu	0,64206 p.u.	3,0935 p.u.	1,0312 p.u.

Çayırhan-Sincan hattı devre dışı kalması durumunda kritik bara için PV eğrisi SVC eklendikten sonra aşağıdaki gibi olmaktadır.

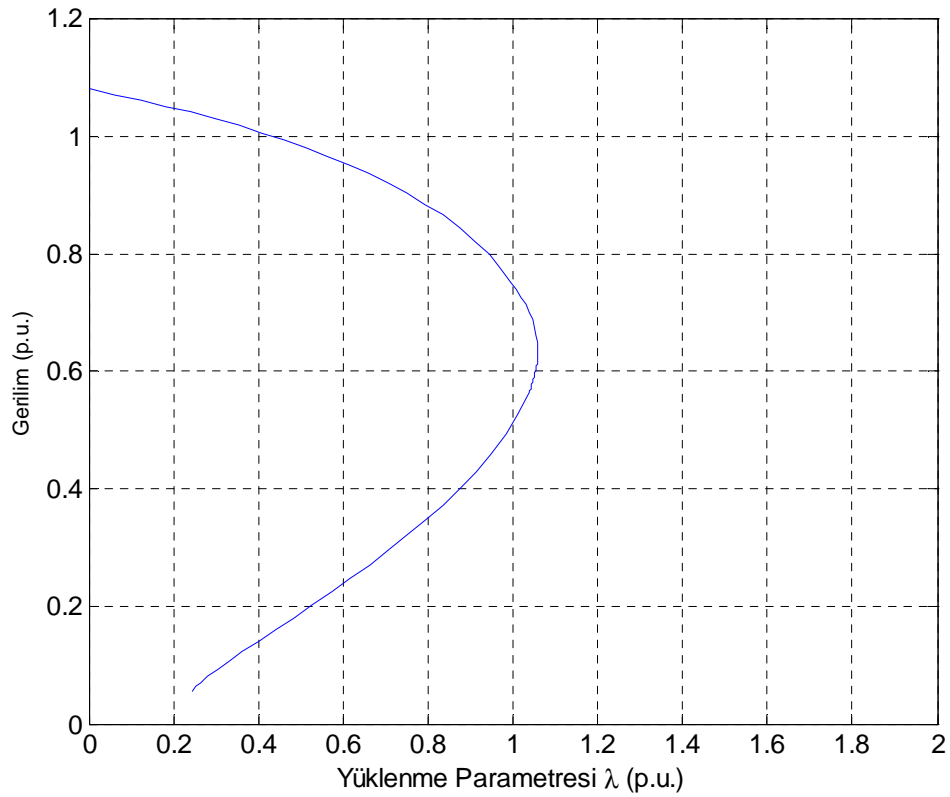
Şekil 4.7. Çayırhan-Sincan hattı devre dışı gölbaşı barası SVC eklenmesi durumu λ -V eğrisi

Aynı koşullar altında kritik baraya STATCOM eklenmesi durumunda, gerilim değeri kritik gerilim değerinin altına düşmemek koşuluyla sistemin kritik değerleri ve yüklenme parametresindeki değişim Tablo 4.7.'deki gibi olmaktadır.

Tablo 4.7. Çayırhan-sincan hattı devre dışı Gölbaşı barası STATCOM eklenmesi durumu kritik değerleri

Gölbaşı Barası	$V_{\text{kritik}}(\text{p.u.})$	$P_{\text{kritik}}(\text{p.u.})$	$\lambda_{\text{kritik}}(\text{p.u.})$
Çayırhan-Sincan devre dışı	0,60585 p.u.	2,9847 p.u.	0,99491 p.u.
STATCOM eklenmesi durumu	0,62019 p.u.	3,1776 p.u.	1,0599 p.u.

Çayırhan-Sincan hattı devre dışı kalması durumunda kritik bara için PV eğrisi STATCOM eklendikten sonra Şekil 4.8.'deki gibi olmaktadır.



Şekil 4.8. Çayırhan-Sincan hattı devre dışı gölbaşı barası STATCOM eklenmesi durumu λ -V eğrisi

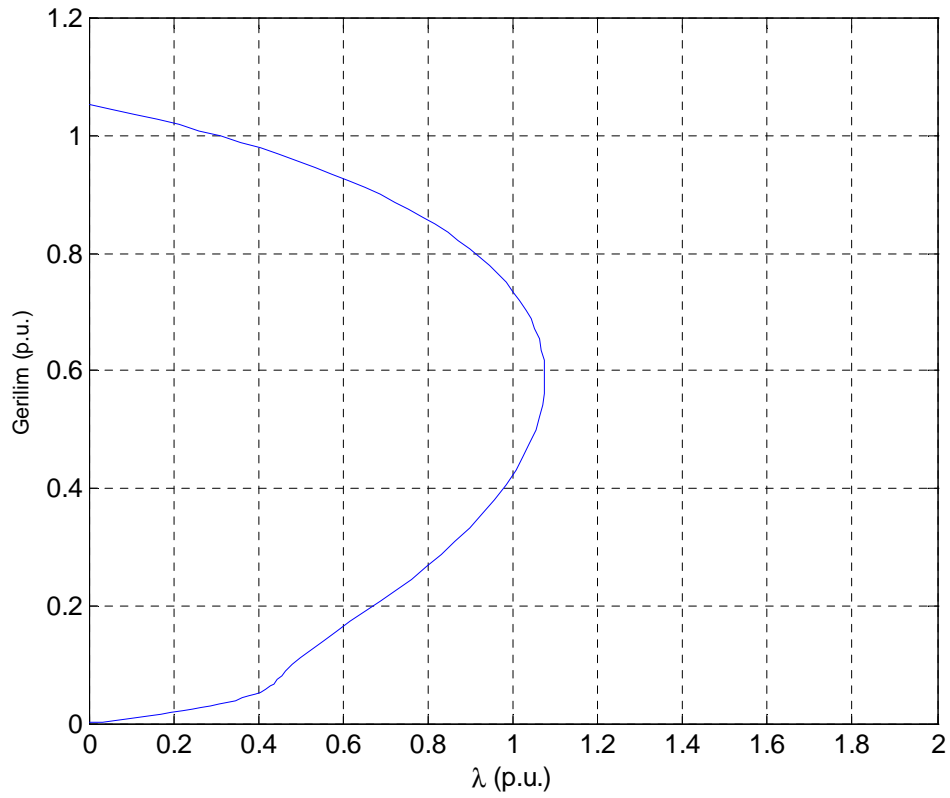
KBA güç iletim sisteminde sistemin en yüklü barası Gebze(Ada 1)-Adapazarı barasıdır. Gebze(Ada 1)-Adapazarı hattının devre dışı kalması durumunda sistemin kritik barasının değişip değişmediği üzerine bir incelemeye gidilmiştir. En yüklü hat devre dışı kaldığında yapılan sürekli hal güç akışı analizinde sistemin tanjant vektörü en büyük olan barası Gölbaşı barasıdır. Dolayısıyla sistemim kritik barası en yüklü hat devre dışı kaldığındada değişmemektedir. Gebze(Ada 1)-Adapazarı hattı devre

dışı kaldığında Gölbaşı barası için kritik değerler yüklenme parametresi Tablo 4.8.'deki gibi olmaktadır.

Tablo 4.8. Ada 1-Adapazarı devre dışı Gölbaşı barası STATCOM eklenmesi durumu kritik değerleri

Gölbaşı Barası	$V_{kritik}(p.u.)$	$P_{kritik}(p.u.)$	$\lambda_{kritik}(p.u.)$
Temel Durum	0,57177 p.u.	4,4062 p.u.	1,4700 p.u.
Ada 1-Adapazarı devre dışı	0,58638 p.u.	3,2268 p.u.	1,0756 p.u.

Sistemin en yüklü hattı devre dışı kalması durumunda sistemin kritik barasının PV eğrisi Şekil 4.9.'daki gibi olmaktadır.



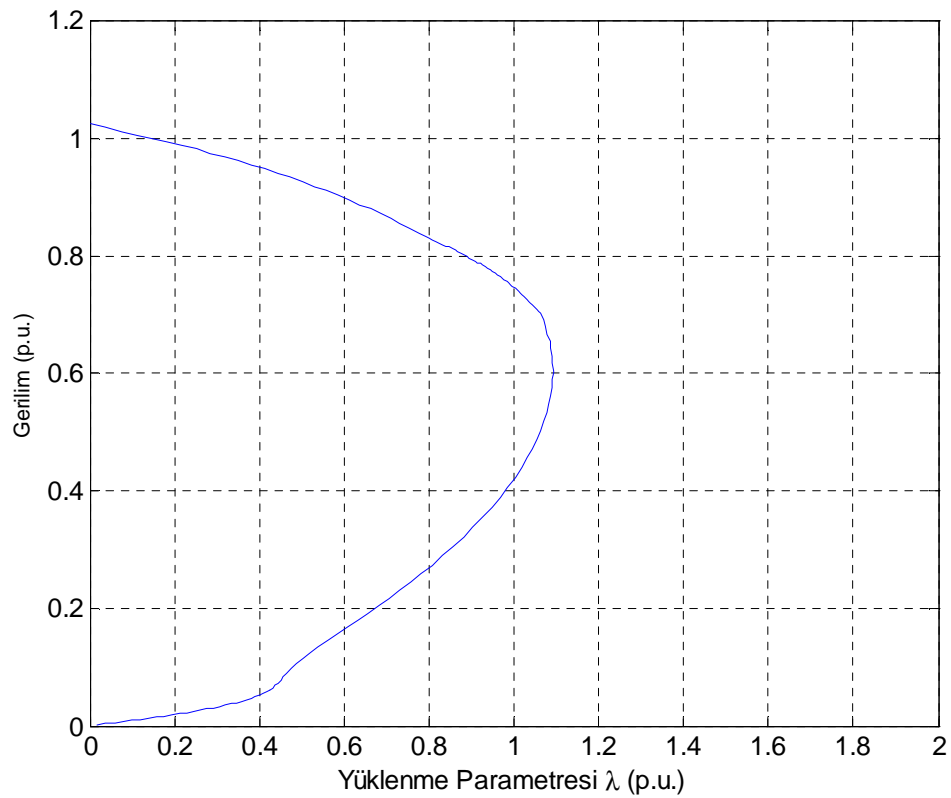
Şekil 4.9. Ada 1-Adapazarı devre dışı gölbaşı λ -V eğrisi

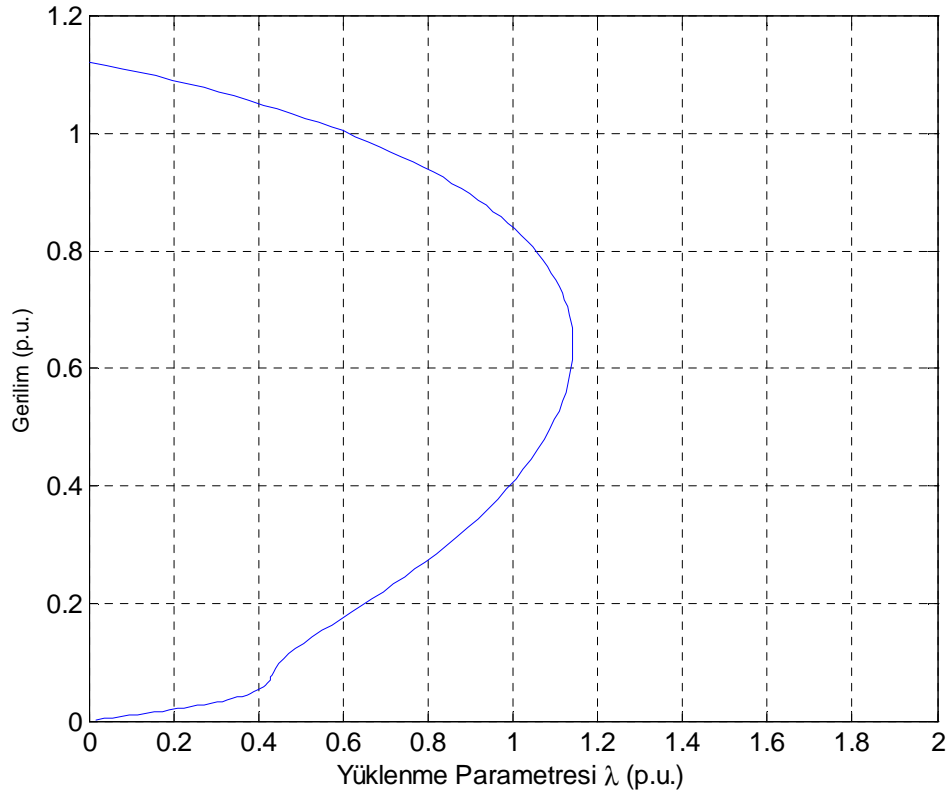
En yüklü hattın devre dışı kalması durumunda Gölbaşı barasına SVC eklenerek sistemin en zayıf barasının kiritik değerleri ve yüklenme miktarındaki değişimler incelenmiştir. Değişimler Tablo 4.9.'da verildiği gibidir.

Tablo 4.9. Ada 1- Adapazarı devre dışı Gölbaşı barası SVC eklenmesi durumu kritik değerleri

Gölbaşı Barası	$V_{\text{kritik}}(\text{p.u.})$	$P_{\text{kritik}}(\text{p.u.})$	$\lambda_{\text{kritik}}(\text{p.u.})$
Temel Durum	0,57177 p.u.	4,4062 p.u.	1,47 p.u.
Ada 1-Adapazarı devre dışı	0,58638 p.u.	3,2268 p.u.	1,0756 p.u.
SVC eklenmesi durumu	0,60381 p.u.	3,2767 p.u.	1,0922 p.u.
STATCOM eklenmesi durumu	0,62941 p.u.	3,4246 p.u.	1,1417 p.u.

SVC eklendikten sonraki en zayıf baradaki PV eğrisi Şekil 4.10.'daki gibi olmaktadır.

Şekil 4.10. Ada 1-Adapazarı devre dışı Gölbaşı barası SVC eklenmesi durumu λ -V eğrisi



Şekil 4.11. Ada 1-Adapazarı devre dışı Gölbaşı barası STATCOM eklenmesi durumu λ -V eğrisi

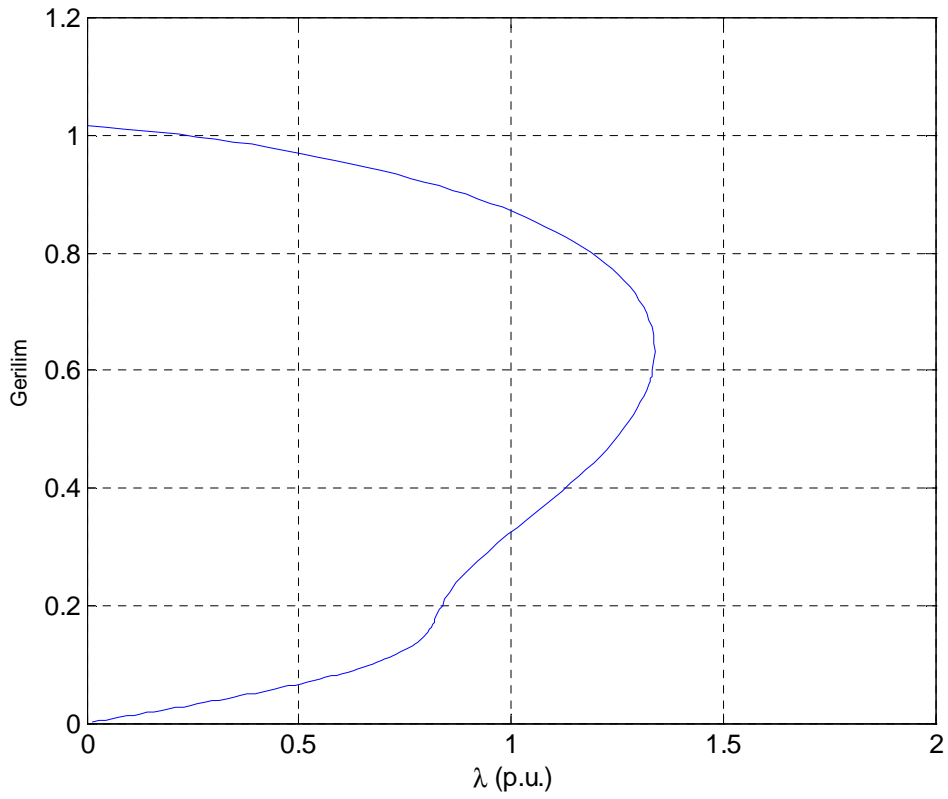
4.2. KBA Güç Sisteminde Farklı Arıza Durumlarında Sistemde Kritik Bara Değişimi

KBA güç sisteminde farklı iletim hatlarının devre dışı kalmaları durumunda sistemin kritik barası değişmektedir. Bursa DG-Adapazarı ve T.Bara-Adapazarı hatlarının devre dışı kalmaları durumunda sistemin kritik barası ÜMRANIYE barası olmaktadır. Bu hatlar devre dışı kaldığında sisteme ait en zayıf baraların tanjant vektörleri Tablo 4.10.'deki gibi olmaktadır. Tanjant vektörü en büyük olan bara Ümraniye barası sistemin yeni kritik barası olmaktadır.

Tablo 4.10. Ada 1- Bursa DG-Adapazarı ve T.Bara-Adapazarı durumu tanjant vektör değerleri

Bara Adı	Tanjant Vektörü
Ümraniye	0,17919
Tepeören	0,16562

Bu durumda Ümraniye barasına ait λ -V eğrisi Şekil 4.11'deki gibi olmaktadır.

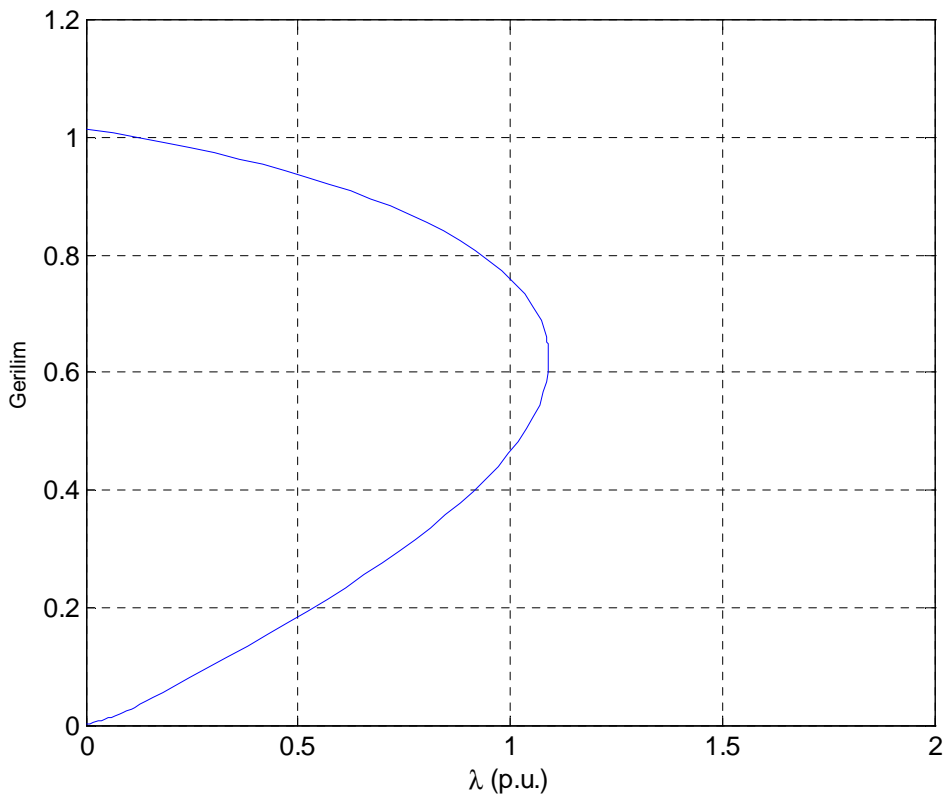
Şekil 4.12. Bursa DG-Adapazarı ve T.Bara-Adapazarı devre dışı Ümraniye barası λ -V eğrisi

Başka bir durum olan güç sisteminde İkitelli-Alibeyköy hattının devre dışı kalması durumunda sistemin tanjant vektörü en büyük olan baraları tabla 4.11'deki gibi olmaktadır. Buna göre sistemin en zayıf barası İKİTELLİ barası olmaktadır.

Tablo 4.11. İkitelli-Alibeyköy devre dışı en zayıf baralar tanjant vektör değerleri

Bara Adı	Tanjant Vektörü
İkitelli	0,15075
Habibler	0,14858

İkitelli-Alibeyköy hattının devre dışı kalması durumunda İKİTELLİ barasına ait λ -V eğrisi Şekil 4.12.'deki gibi olmaktadır.

Şekil 4.13. İkitelli-Alibeyköy devre dışı İkitelli barası λ -V eğrisi

4.3. KBA Güç Sisteminde Kısa Devre Ardından Oluşan Osilasyonların İyileştirilmesi

KBA güç sisteminde kısa devre arızası olması durumunda, arıza temizlendikten sonra sistemin üretim baralarının gerilimlerinde osilasyonlar meydana gelmektedir. Bu osilasyonların giderilmesi için sistemin üretim baralarına FACTS cihazları eklenerek sistemin davranışı izlenmiştir. Sistemde kısa devre arıza akımı değerinin

en büyük olduğu bara aşağıdaki gibi hesaplanabilir. Sistemde güç akışı sonucunda her bir baradaki aktif ve reaktif güç değerleri ve kısa devre olan baranın gerilim değeri kullanılarak kısa devre arıza akımının değeri hesaplanabilir.

Baranın aktif gücü;

$$P = V I \cos\phi \quad (4.1)$$

Baranın reaktif gücü;

$$Q = V I \sin\phi \quad (4.2)$$

Baradaki aktif ve reaktif güç değerleri ile baranın görünür güç değeri hesaplanır.

$$S = V I = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (4.3)$$

Baranın kısa devre durumunda oluşacak arıza akımı değeri ise

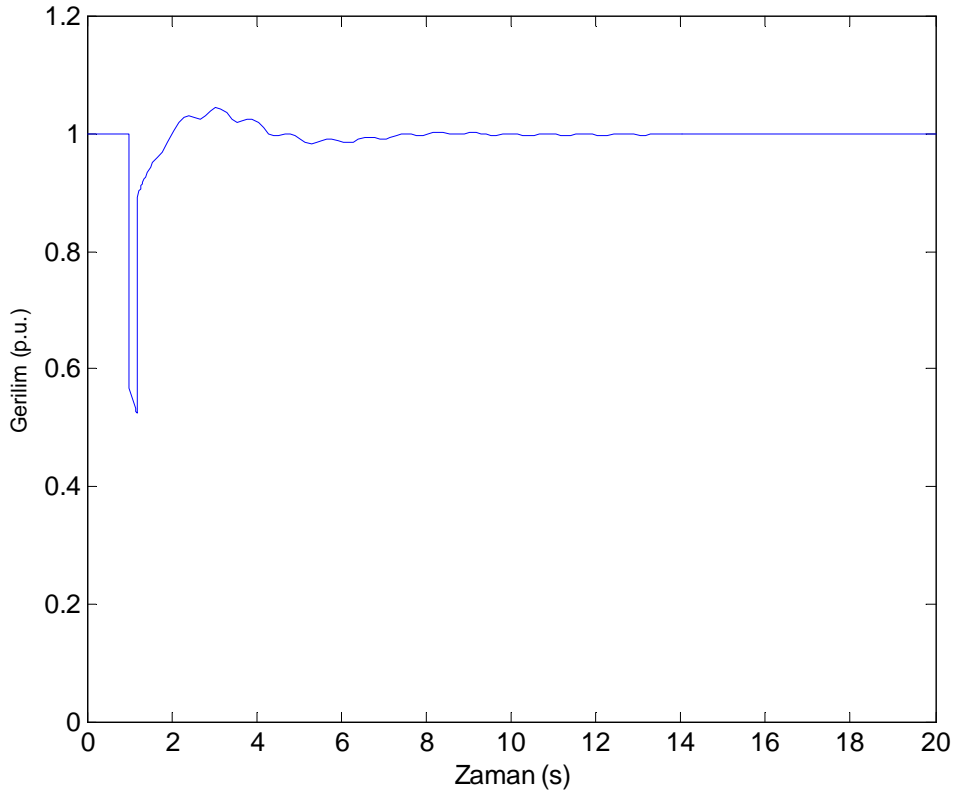
$$I = \frac{S}{V} \quad (4.4)$$

şeklinde hesaplanabilir.

KBA güç iletim sisteminde ilk modele ilave olarak kısa devre analizlerinde sisteme AVR (otomatik türbin generatör) ve TG (türbin kontrol ünitesi) ilave edilmiştir. EK-3 Sistemde kısa devre temizlendikten sonra sistemdeki generatörleri tekrar senkron hale getirmektedir.[13]

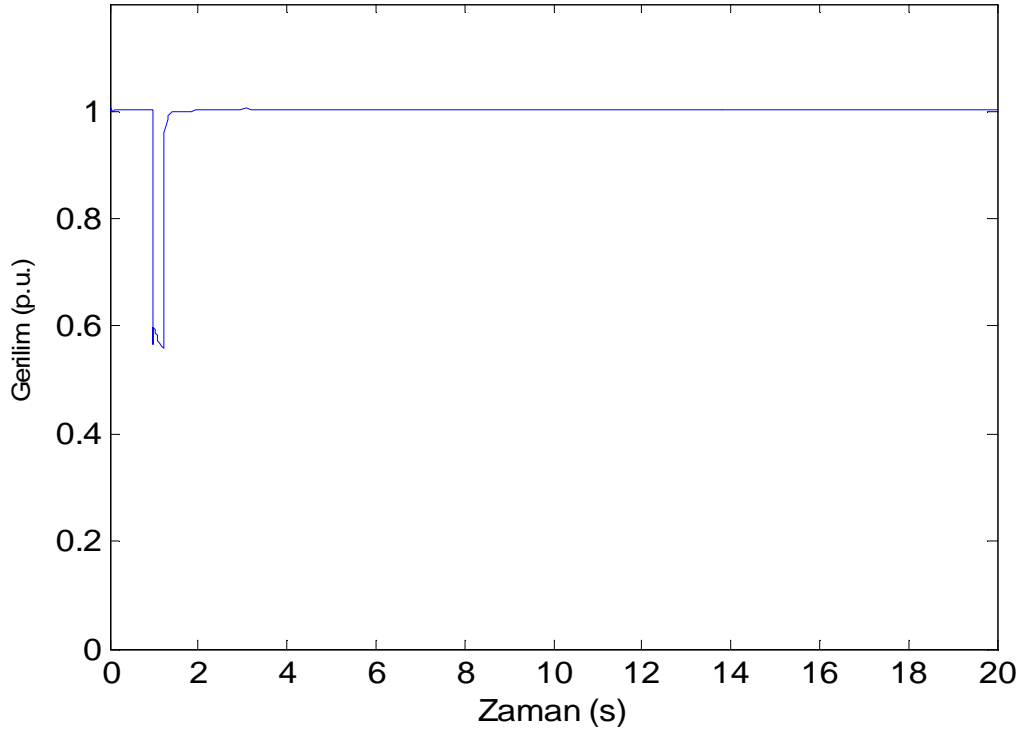
KBA güç iletim sisteminde sistemde aktif ve reaktif güç tüketimin en yüksek olduğu bara ADAPAZARI barasıdır, bu burada oluşabilecek bir arıza durumunda sistemin diğer baralarına oranla en yüksek kısa devre arıza akımı bu barada meydana gelecektir.

Sistemin üretim baralarındaki osilasyonları incelemek için sistemin en yüklü barası olan ADAPAZARI barasında kısa devre arızası olması durumunda üretim barası olan ZATES barasına ait gerilim profili aşağıdaki gibi olmaktadır. Sistemde arıza süresi 0,2 saniye olarak alınmıştır.



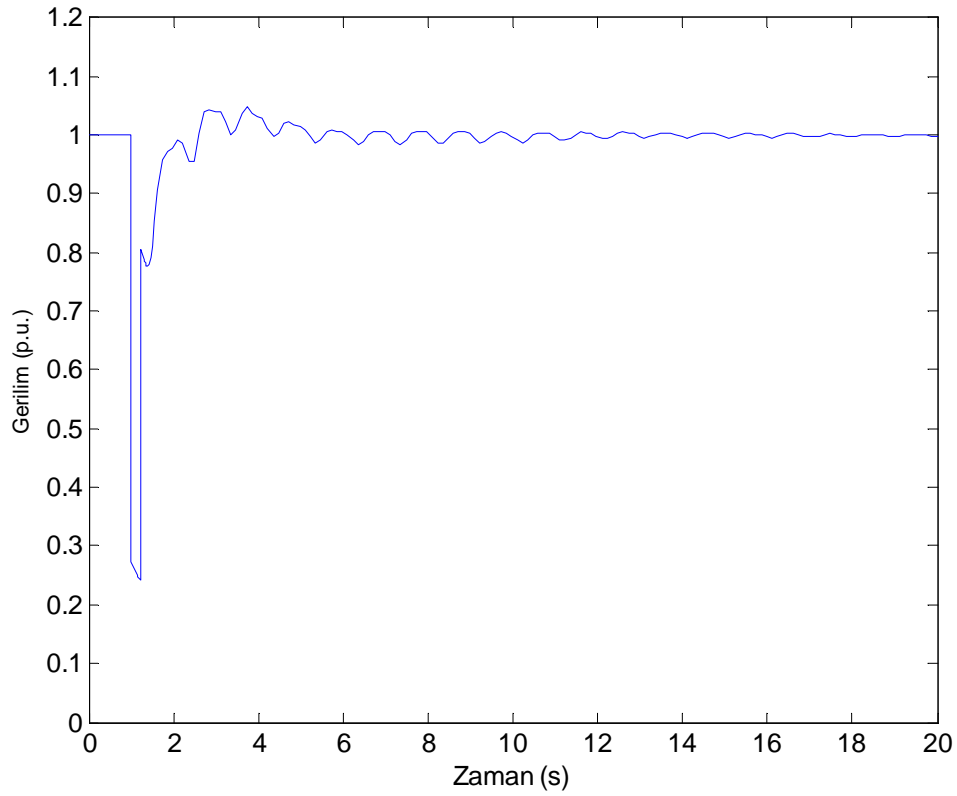
Şekil 4.14. Adapazarı barası kısa devre olması durumunda Zetes gerilim profili

Arıza olması durumunda ZETES barasında oluşan bu osilasyonu gidermek için baraya SVC eklenmiştir. SVC eklendikten sonra baraya ait gerilim profili aşağıdaki gibi olmaktadır. SVC eklendikten sonra baradaki gerilimin kısa devre arızasından hemen sonra osilasyon yapmadan ilk değer olan 1 p.u. değerine sabitlendiği görülmektedir. SVC' siz durumda 10 saniye süren osilasyon bu şekilde giderilmiştir.



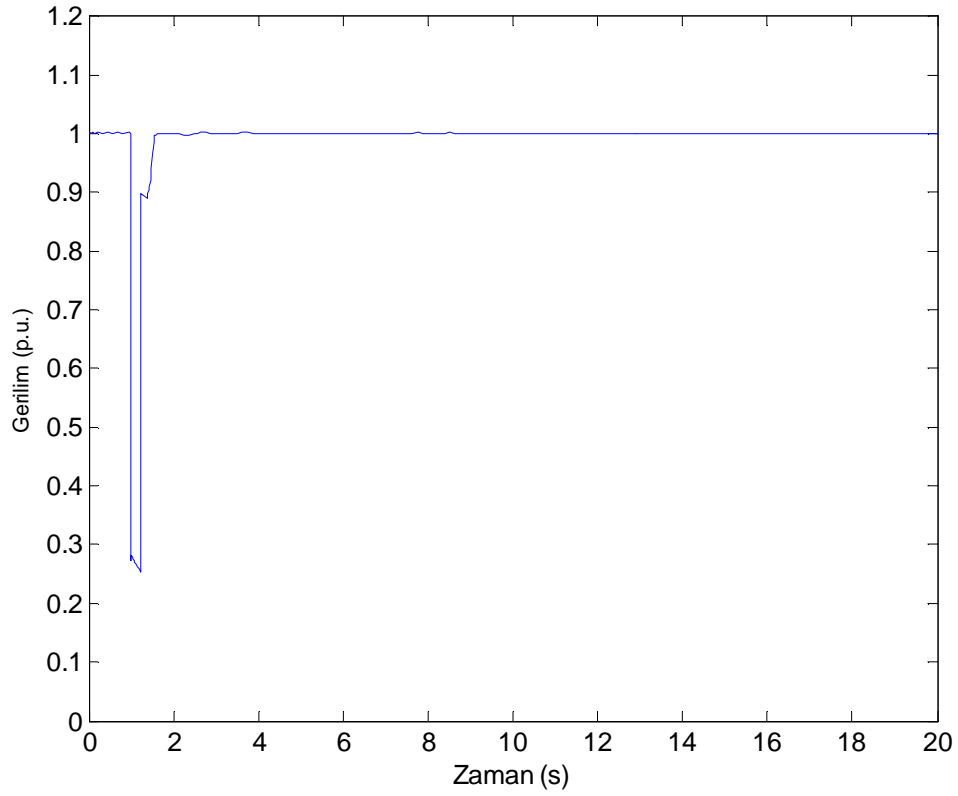
Şekil 4.15. Adapazarı barasında kısa devre olması durumunda Zetes gerilim profili SVC'li

Farklı bir durum olarak, ZETES üretim barasına en yakın bara olan EREĞLİ barasında kısa devre arızası olması durumunda üretim barasına ait gerilim profili aşağıdaki gibi olmaktadır. Kısa devre arıza süresi 0.2 saniye olarak alınmıştır.



Şekil 4.16. Ereğli barası kısa devre olması durumunda Zetes gerilim profili

EREĞLİ barasında kısa devre arızasından sonra meydana gelen osilasyonu gidermek için ZETES barasına SVC eklenmesi durumunda ZETES e ait gerilim profili aşağıdaki gibi olmaktadır. SVC eklendikten sonra baradaki gerilimin kısa devre arızasından hemen sonra osilasyon yapmadan ilk değer olan 1 p.u. değerine sabitlendiği görülmektedir. SVC' siz durumda 10 saniye süren osilasyonun giderildiği görülmüştür.



Şekil 4.17. Ereğli barası kısa devre olması durumunda Zetes gerilim profili SVC'li

ZETES barasına her iki durumda da (ADAPAZARI ve EREĞLİ kısa devre olması durumları) SVC'nin eklendikten sonra barada kısa devre arızasında sonra meydana gelen osilasyonların giderildiği görülmektedir.

BÖLÜM 3. FACTS CİHAZLARI

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 cihazlarını 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[8,9]. En çok bilinen FACTS cihazları SVC, STATCOM, TCSC ve SSSC'dir. Gerilim kararsızlığı temel olarak reaktif güç dengesizliğinden meydana gelmektedir[14].

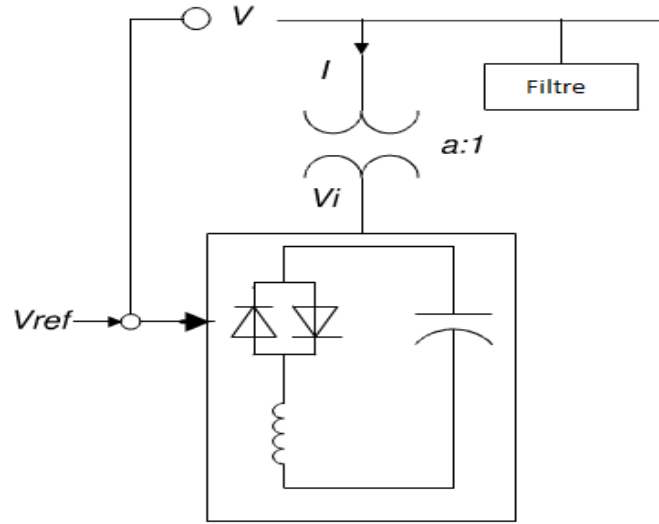
3.1.SVC(Statik Var Compensator)

Reaktif güç kompanzasyonu güç sistemlerinde en uygun çalışma şartlarının sağlanması için dikkat edilmesi gereken hususlardan biridir. Klasik kompanzasyon yöntemlerinde tepki hızının yeterince büyük olmaması, her fazda ayrı denetim imkânı olmaması gibi dezavantajları vardır. SVC bu dezavantajları ortadan kaldırmaktadır ve bu nedenle günümüzde reaktif güç kompanzasyonunda önemli bir yere sahip olmuştur.

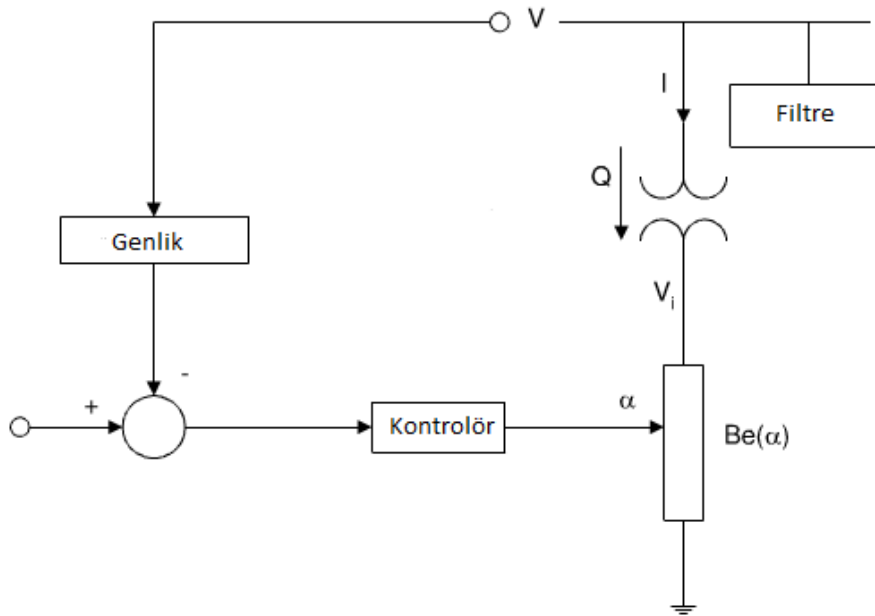
SVC güç sistemlerinde bağlı bulunduğu baranın gerilimini kontrol edebilmek için reaktif ve endüktif akım alışverişi yapan bir statik denetim cihazıdır. Statik denemesinin nedeni senkron generatörde reaktif güç sağlar ve dönen parçası vardır fakat SVC'nin dönen parçası olmadığı için statik denmektedir.

SVC'nin yapısı iki farklı şekilde olabilmektedir. Bunlardan birincisi tristör kontrollü reaktör (TCR) ve buna paralel bağlı bir kapasiteden oluşmaktadır. İkinci yapıda ise tristör anahtarlama reaktör (TSC) yine tristör kontrollü reaktör ve buna seri bağlı bir

kapasiteden meydana gelmektedir. Kullanımı daha yaygın olan SVC türü ilk yapıdaki SVC'dir. Aşağıdaki şekilde SVC'nin yapısı ve kararlılık modeli görülmektedir.



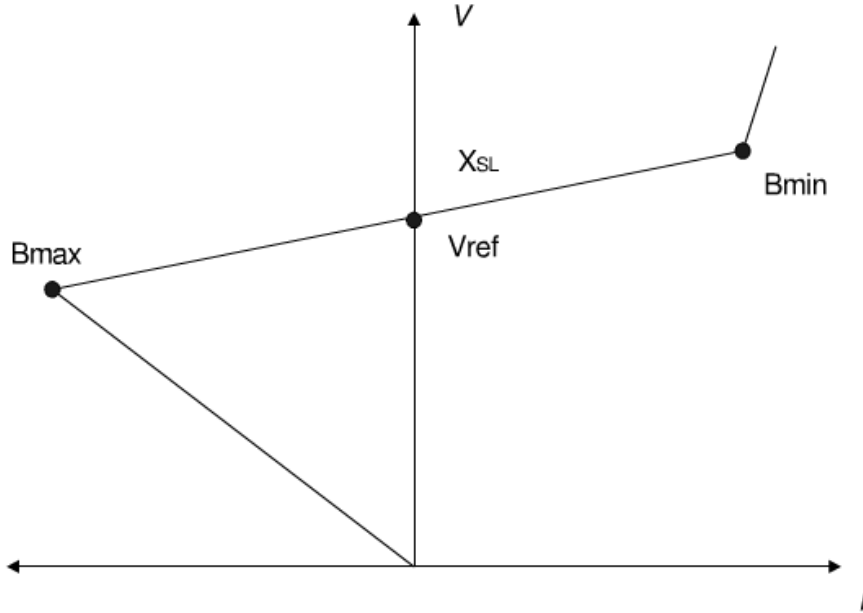
Şekil 3.1. SVC nin temel yapısı



Şekil 3.2. SVC nin kararlılık modeli

SVC kontrol edilebilen şönt reaktör ve kapasitelerden oluşmaktadır. SVC güç sisteminde bara gerilimini kontrol etmektedir. Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi SVC'nin

suseptansı tristörlerin uygun açı aralığında ateşlemesi ile kontrol edilir(açı aralığı genellikle 90~180) . Sonuçta SVC açısı değişmesiyle elde edilen değişken empedanslı bir kontrolör özelliği gösterir. SVC' ye ait V-I karakteristiği Şekil 3.3.'de verilmiştir.



Şekil 3.3. SVC'nin V-I karakteristiği

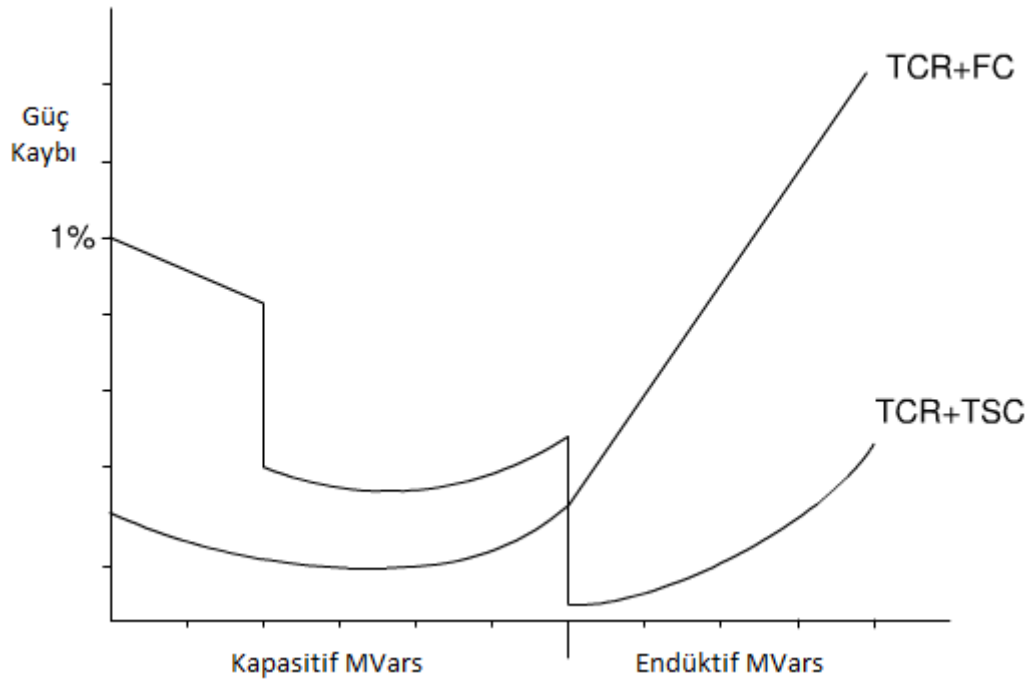
Normal işletme koşullarında SVC bara gerilimine göre suseptansı kontrol eder. Minimum ve maksimum suseptans sınırlarında SVC sabit kapasitör veya sabit endüktans gibi davranır. B_{max} noktasında tüm tristör anahtarlama kapasitörleri devrededir ve SVC nominal reaktif akım verir. B_{min} noktasında tüm tristör kontrollü reaktörler iletimdedir ve tüm tristör anahtarlama kapasitörleri devre dışıdır, bu durumda SVC endüktif akım verir.[10,11]

SVC nin yapısında bulunabilecek temel elemanlar;

- Sabit Kapasitör (FC): Sürekli bağlı reaktif güç kaynağıdır. Harmonik filtre olarak da dizayn edilebilir.
- Tristör Kontrollü Reaktör (TCR): Şönt reaktörlere seri bağlı iki yönlü tristörlerden oluşur. Reaktif güç emiliminde kontrolü sağlamak için 90-180 derece arasında anahtarlanabilir.

-Tristör Anahtarlamalı Reaktör (TSC): Şönt kapasitelere bağlı çift yönlü tristörlerden oluşur. TSC nin anahtarlanmasıyla reaktif güç üretimi ya tamamen durur ya da devreye girer.

En çok kullanılan SVC yapılarından birincisi TSC ve TCR den oluşur. İkincisi de FC ve TCR den oluşmaktadır.



Şekil 3.4. SVC kayıp eğrileri

Güç sistemi analizlerinde SVC'nin uygun modelinin seçilmesi önemli bir faktördür.

SVC'ye ait diferansiyel denklemler p.u. olarak aşağıdaki şekildedir.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_c \\ \dot{a} \end{bmatrix} = f(x_c, a, V, V_{ref}) \quad (3.1)$$

$$0 = \begin{bmatrix} B_e - \frac{2a - \sin 2a - \pi(2 - \frac{x_L}{x_C})}{\pi x_L} \\ I - V_i B_e \\ Q - V_i^2 B_e \end{bmatrix} \rightarrow g(a, V, V_i, I, Q, B_e) \quad (3.2)$$

Burada x_c ve $f(.)$ sırasıyla kontrol sistem değişkenleri ve denklemleridir. SVC'nin güç akışı denklemi aşağıdaki gibi olmaktadır.

$$0 = \begin{bmatrix} V - V_{ref} - X_{SL}I \\ g(a, V, V_i, I, Q, B_e) \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

SVC'nin suseptansı B_e ile a, I, Q arasındaki ilişki (3.2) Denkleminde belirtilmektedir.[10,11]

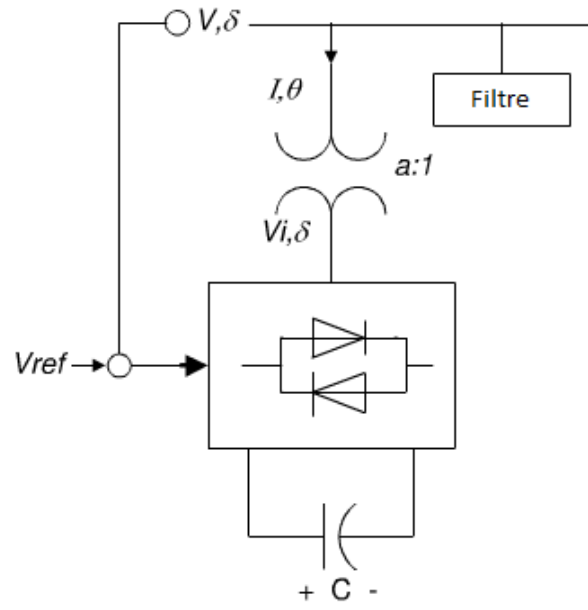
3.2.STATCOM

STATCOM, DC giriş gerilimini AC çıkış gerilimine çevirerek sistem tarafından ihtiyaç duyulan aktif ve reaktif gücü dengeleyen bir gerilim kaynaklı bir çeviricidir[16].

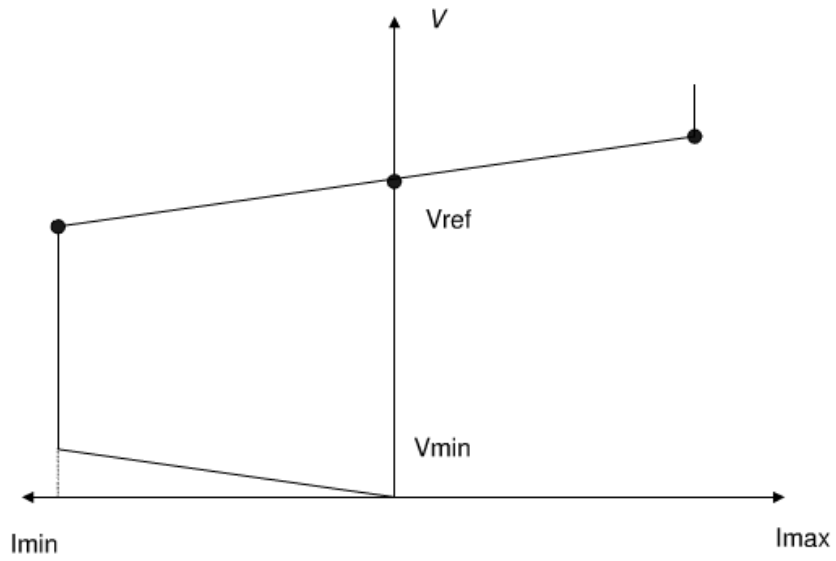
Statik Var Kompanzatorün yapısı basitçe doğru gerilim kaynağı olarak kullanılan dolu bir kondansatör, bir dönüştürücü ve bir bağlantı trafosundan oluşmaktadır. Dönüştürücü çıkışındaki gerilimin genliği değeri değiştirilerek sisteme reaktif güç verme veya sistemden reaktif güç çekerek sistem denetimi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

STATCOM dağıtım sistemlerinde güç faktörü iyileştirme, gerilim regilasyonu, yük dengeleme ve harmonik kompanzasyonu içinde kullanılabilir [18].

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 3.4.'de STATCOM un yapısı ve Şekil 3.4.'de V-I karakteristiği görülmektedir.



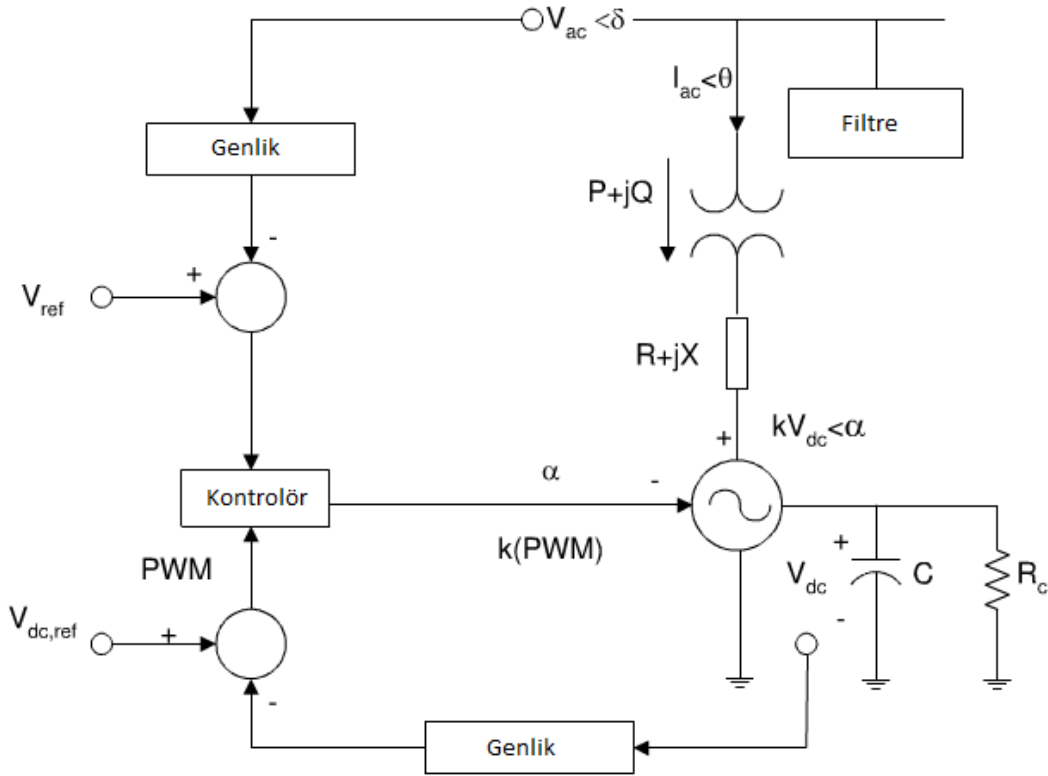
Şekil 3.5. STATCOM temel yapısı



Şekil 3.6. STATCOM V-I eğrisi

STATCOM kontrol etmek için iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Birincisi faz kontrolüdür. Faz kayması olan β 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[10,11].



Şekil 3.7. STATCOM kararlılık modeli

STATCOM modelline ait diferansiyel eşitlikler p.u. olarak aşağıda verildiği gibidir.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_c \\ \dot{a} \\ \dot{m} \end{bmatrix} = f(x_c, a, m, V, V_{dc}, V_{ref}, V_{dc,ref}) \quad (3.4)$$

$$\dot{V}_{dc} = \frac{VI}{CV_{dc}} \cos(\delta - \theta) - \frac{1}{R_c C} V_{dc} - \frac{R}{C} \frac{I^2}{V_{dc}} \quad (3.5)$$

$$0 = \begin{bmatrix} P - VI\cos(\delta - \theta) \\ Q - VI\sin(\delta - \theta) \\ P - V^2G + kV_{dc}\cos(\delta - a) + kV_{dc}VB\sin(\delta - a) \\ Q + V^2B + kV_{dc}\cos(\delta - a) + kV_{dc}VG\sin(\delta - a) \end{bmatrix} \rightarrow g(a, k, V, V_{dc}, \delta, I, \theta, P, Q) \quad (3.6)$$

STATCOM'a ait sürekli hal modeli (3.4) ve (3.6) eşitliklerinden elde edilir. STATCOM'un sürekli hal modeli aşağıda verildiği gibidir.

$$0 = \begin{bmatrix} V - V_{ref} - X_{SL}I \\ V_{dc} - V_{dcref} \\ P - \frac{V_{dc}^2}{R_C} - RI^2 \\ g(a, k, V, V_{dc}, \delta, I, \theta, P, Q) \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

BÖLÜM 5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, son yıllarda giderek önemi artan FACTS cihazlarından STATCOM ve SVC'nin güç sisteminde oluşan gerilim çökmelerine karşı sistemin kararlılık sınırlarına etkileri incelenmiştir ve sistemde oluşan bozucu etkilerden sonra sistemde oluşan gerilim osilasyonlarının giderilmesine karşı FACTS cihazlarının nasıl etkisi olduğu konusu araştırılmıştır.

Benzetim çalışmalarında KBA 380 kV güç sistemi ele alınarak sistemin en zayıf baraları tespit edilmiştir. Sürekli güç akışı analizi yöntemi kullanılarak sistemin en kritik barası tespit edilmiştir. Sistemde temel durumda yapılan sürekli güç akışı analizleri ile sistemin kritik barasına STATCOM ve SVC eklenmesi durumunda yapılan sürekli güç akışı analizleri ile kritik baranın yüklenebilirlik sınırlarındaki değişimler incelenmiştir. Sistemin kritik barasını besleyen hatların devre dışı kalmaları durumunda kritik baraya eklenen STATCOM ve SVC'nin kritik baranın yüklenme sınırlarını arttırdığı görülmüştür. Sürekli hal güç akışı analizi için PSAT programı kullanılmıştır. Sistemde farklı bozucu etkiler olması durumunda sistemin kritik barasının değişimi incelenmiştir.

KBA güç iletim sisteminde sistemin en kritik barası olarak GÖLBAŞI barası tespit edilmiştir. Daha sonra sistemde hat kopmaları durumunda sistemin kritik barasına SVC ve STATCOM eklenmesi durumunda sistemin kritik değerlerinde iyileşmeler olduğu tespit edilmiştir. Sistemde farklı arıza durumları için sistemin kritik barasının değiştiği sürekli güç akışı analizi yapılarak görülmüştür.

KBA güç sisteminde sistemin en yüklü barasında kısa devre olması durumunda sistemin üretim baralarında oluşan osilasyonlar incelenmiştir. Oluşan bu gerilim osilasyonlarının FACTS cihazları ile nasıl giderileceği incelenmiştir.

Sistemin en yüklü barası olan ADAPAZARI barasında kısa devre arızası olması durumunun ardından sistemin üretim baralarından biri olan ZETES retim barasındaki gerilim osilasyonları gerilim barasına SVC eklenerek giderilmiştir.

Bu tez çalışmasının sonuçlarını özetleyecek olursak,

- STATCOM ve SVC güç sistemlerinin maksimum yüklenme sınırlarını arttırmaktadır.
- STATCOM ve SVC sistemde bozucu etki (hat kopması) olduğu durumlarda sistemin kararlılık sınırlarını arttırmaktadır.
- Reaktif güç kompanzasyonu yaparak sistemi aşırı yüklü koşullarda gerilim çökmesini engellemektedir.
- Sistemde kısa devre olması durumunda üretim baralarında oluşan gerilim osilasyonlarını gidermektedir.

Elde edilen bu sonuçlardan FACTS denetleyicilerinin araştırmaya açık olduğu söylenebilir. FACTS denetleyicileri ile yapılan analizler sekonder gerilim regltr ile yapılıp sonuçları karşılaştırılabilir. FACTS denetleyicilerin optimum parametreleri farklı optimizasyon yöntemleri ile en kısa sürede belirlenerek sistemde arıza ve bozucu etki olması durumlarında sistemin kararlı hale gelmesi en kısa sürede sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] TAYLOR, W., Power System Voltage Stability, McGraw-Hill, New York, 1994.
- [2] YALÇIN, M.A., Enerji Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Yeni Bir Yaklaşımla İncelenmesi. Doktora Tezi, İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi, İstanbul.
- [3] BOONCHIAM, P.N., Sode-Yome, A., and Mithulanathan, N., 2009: Voltage Stability in Power Network When Connected Wind Farm Generators, PEDS2009 . 2009, 655-660.
- [4] DİRİK H., Statcom Ve Sssc Denetleyicilerinin Güç Sistemi Gerilim Kararlılığı Üzerine Etkisinin İncelenmesi.Yüksek Lisans Tezi,OMÜ, FBE.
- [5] BALANATHAN R., Techniques to efficiently improve power system voltage stability. Doctor thesis, The university of Auckland, New Zealand, December, 1998
- [6] MITHULANANTHAN, N., Sode -Yome, A., and Acharya, N., 2005: Application of FACTS Controllers in Thailand Power Systems, RTG Budget Joint Research Project, School of Environment, Resources and Development Asian Institute of Technology,Thailand.
- [7] HASANOVIC A., “Modeling and Control of The Unified Power Flow Controller (UPFC)”, MA Thesis, West Virginia Uni., 2000.

- [8] HINGORANI N.G., L. Gyugyi, "Understanding Facts: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems " November 1999, John Wiley & Sons, Incorporated.
- [9] SONG Y.H., (Editor), A. T. Johns , Flexible AC Transmission Systems (Facts) January 1999 , IEE Publication Series.
- [10] AJJARAPU V., and CHRISTY C., The Continuation Power Flow: A Tool for Steady State Voltage Stability Analysis, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 7, No. 1, February 1992, pp. 416-423.
- [11] AJJARAPU V., 2006. Computational Techniques for Voltage Stability Assesment and Control, Springer, New York.
- [12] Documentation for PSAT version 2.0.0, February 14, 2008.
- [13] MALHI G.S., Studies of fault current limiters for power systems protection.Master of Engineering. Institute of Information Sciences and Tecnology. Mssey University. New Zelland. August 2007.
- [14] KAMARPOSHTI M.A.,LESANI A., Effects of STATCOM,TCSC,SSSC and UPFC on static voltage stability,Electrical Engineering 2011 93:33-42
- [15] CANÍZARES C.A.,ALVARADO F.D.,DEMARCO C.L.,DOBSON I.,LONG W.F., Points of collapse methods applied ac&dc power systems.IEEE Trans Power System 7(2):673-683,1992
- [16] CANÍZARES C.A. Power flow and transient stability model of FACTS controllers for voltage and angle stability studies. Proceedings of the 2000 IEEE-PES winter meeting,vol 2,Singapore 1447-1454

- [17] KUNDUR P. Power system stability and control, McGraw Hill, U.S.A, 1994

- [18] CETIN A., design and implementation of a voltage source converter based statcom for reactive power compensation and harmonic filtering, METU, Electric and Electronic Department, PHD Thesis, 2007

EKLER

EK A PSAT(POWER SYSTEM ANALYSIS TOOLBOX) PROGRAMININ TANITILMASI

Power System Analysis Toolbox (PSAT) elektrik güç sistemleri analizi ve simülasyonu yapan bir MATLAB tabanlı uygulamadır. Program komut satırından girilen komutlarla kullanılabilir. Ayrıca simulink tabanlı kütüphane uygulamaları da sistem tasarımı için kolay kullanım imkanı sağlamaktadır.

PSAT programının yapabildiği ana işler şu şekilde sıralayabiliriz.

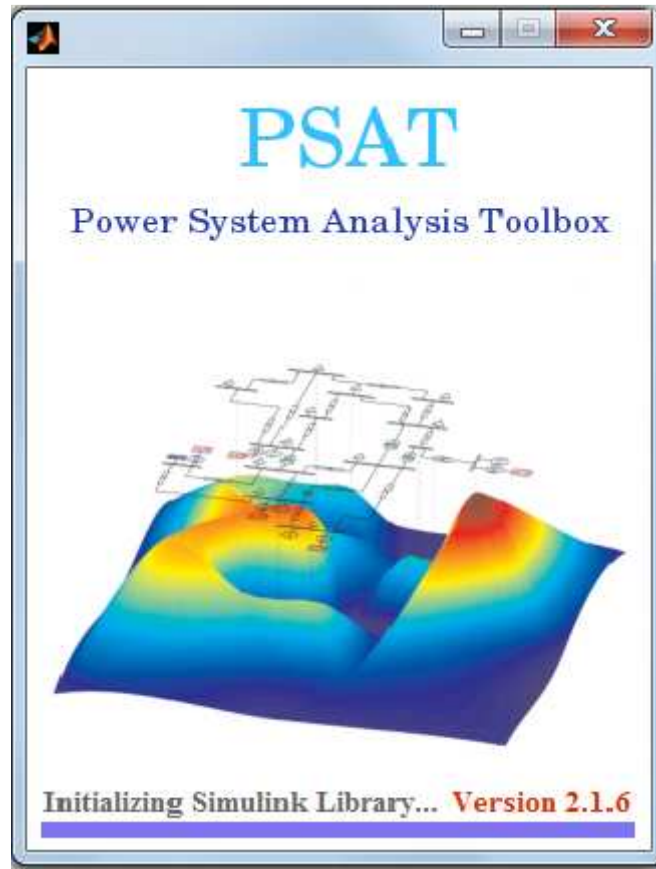
1. Yük akışı,
2. Sürekli yük akışı,
3. Optimal yük akışı,
4. Küçük işaret kararlılık analizi,
5. Zaman domeni analizi,
6. Fazör ölçüm birimi yerleşimi (PMU),
7. FACTS modelleri,
8. Rüzgar türbin modelleri,
9. Program sonuç raporlaması,

GAMS ve UWPFLOW sayesinde sürekli ve optimum yük akış hesaplamalarında hassas ve doğru hesaplamalar yapabilmektedir.

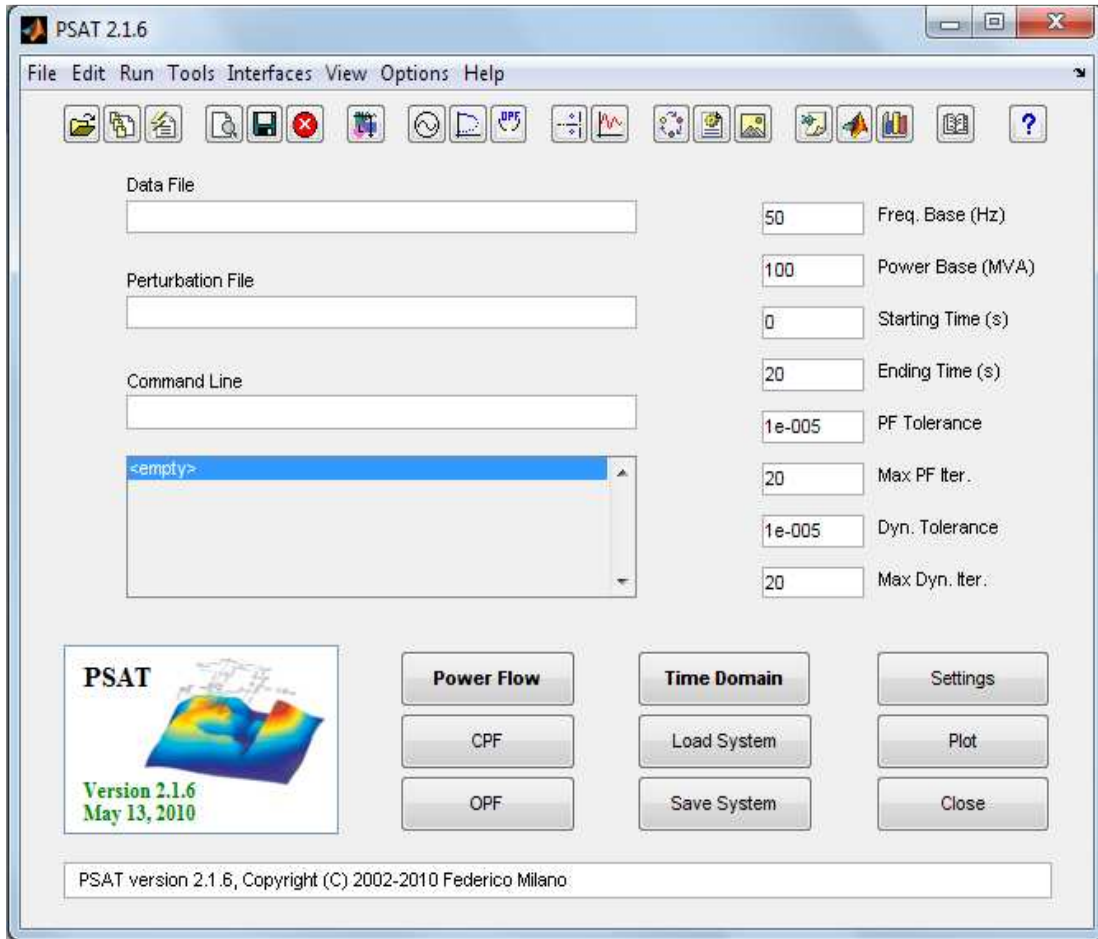
Program doğru ve tam bir analiz için statik yüklerin yanında senkron makine yükleri ve kontrol sistemlerinin, FACTS cihazlarının, rüzgar türbinlerinin de matematiksel olarak programa girilmesine imkan sağlar.

PSAT Kurulumu Ve Sistem Analizi

PSAT programı herkese açık, herkes tarafından geliştirilebilir ve MATLAB programı altında çalışan bir eğitim, araştırma, analiz ve kontrol programıdır. Kısaca programın kurulumundan ve sürekli güç akışı örneğinden bahsedecek olursak, ilk olarak PSAT dosyaları MATLAB ana ekranından "File", "Set Path", "Add Folder" seçilerek eklenir. Daha sonra ana ekrana "psat" yazılarak program çalıştırılır.

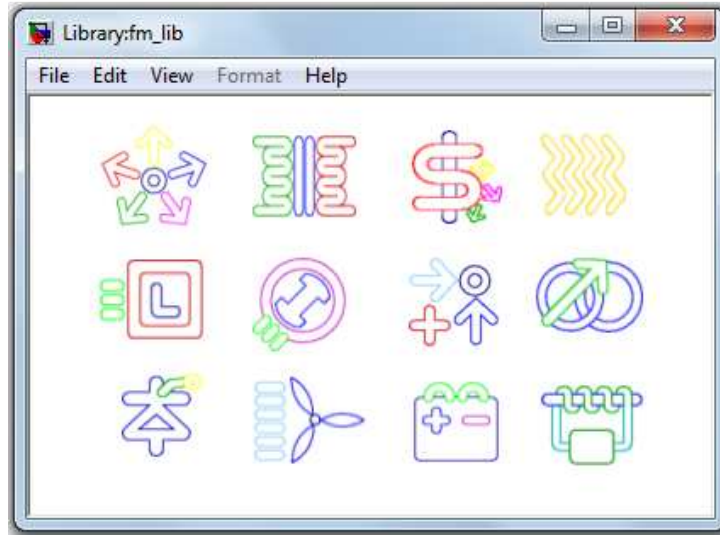


Şekil 1. Psat Programının açılışı



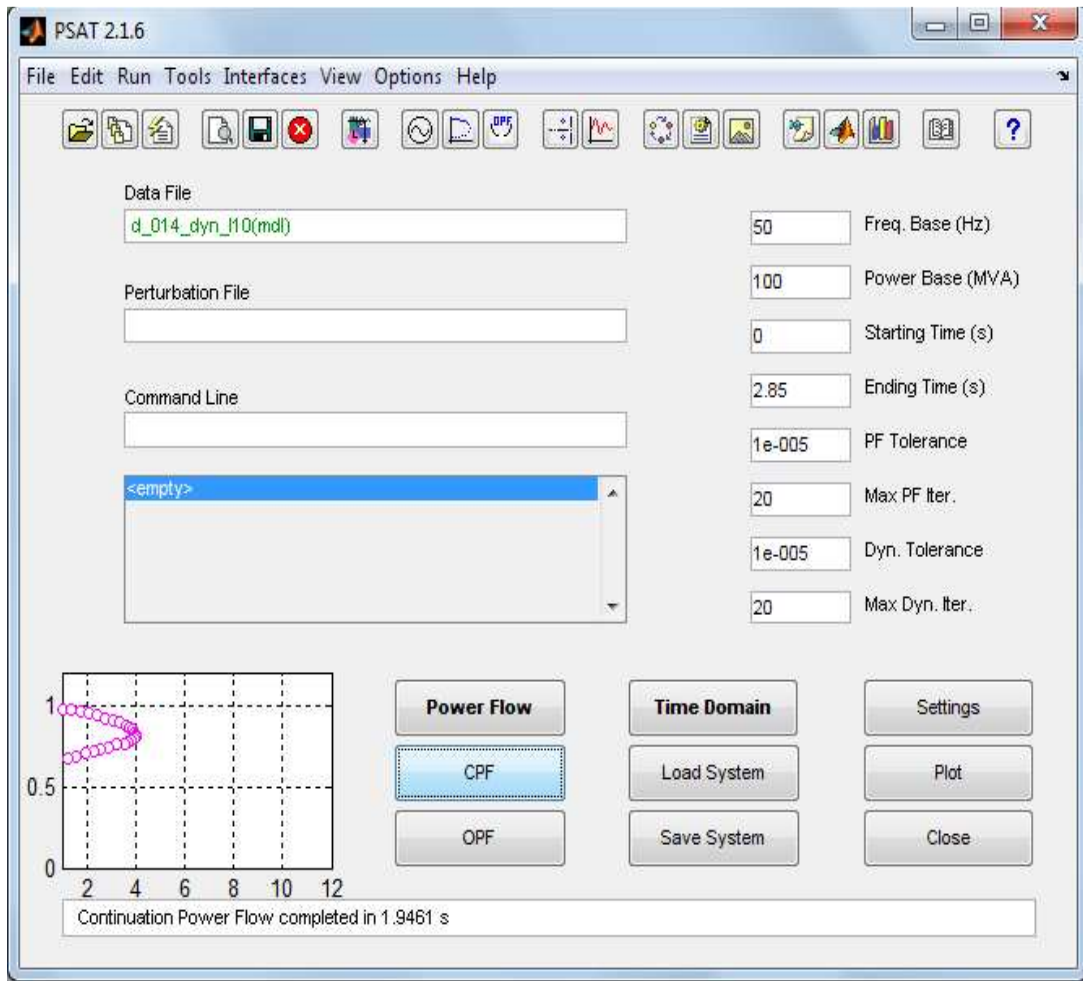
Şekil 2. Psat programının ana ekranı

Şekil 2.'de ekrandan "Edit" tıklanarak açılan ekrandan "Simulink Library" seçilerek simulink kütüphanesi açılır.



Şekil 3. Psat Simulink kütüphanesi ana ekranı

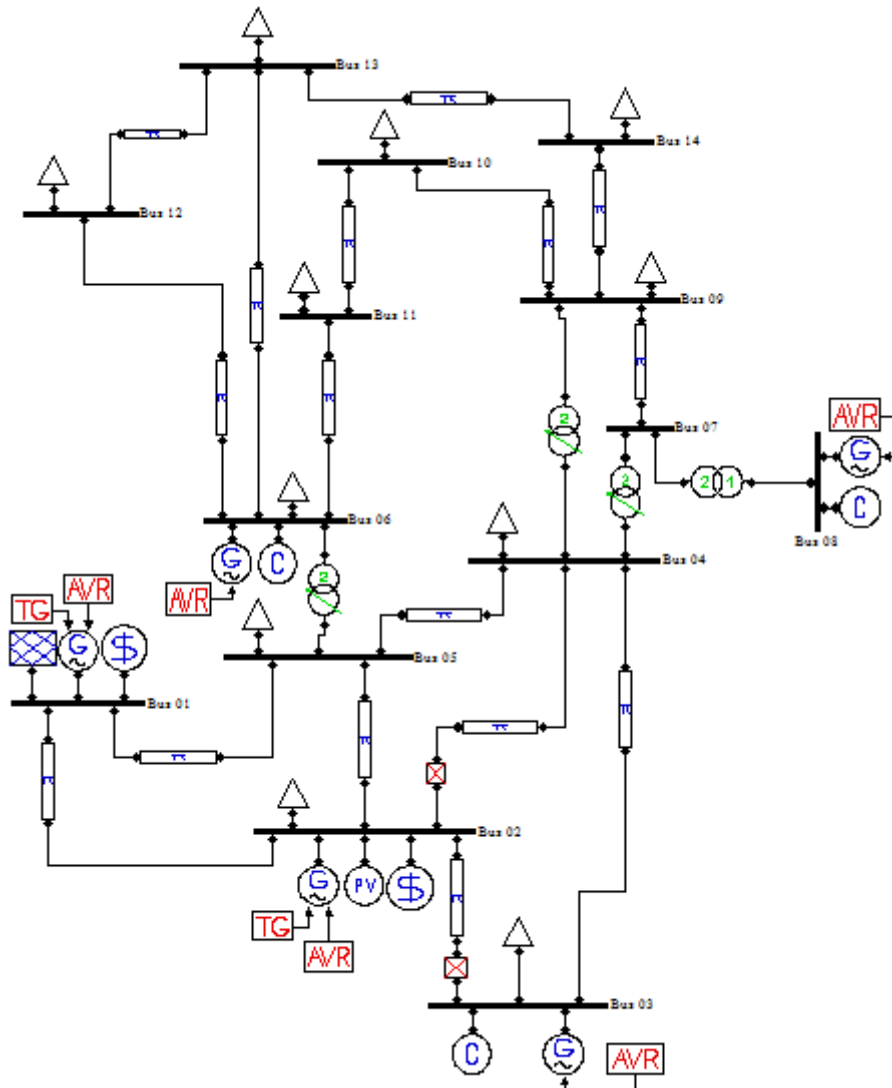
Simulink kütüphanesi açıldıktan kurulmak istenilen sistem buradaki modeller yardımı ile kurulur. PSAT içeriğinde birçok hazır model olmasına rağmen programa model ekleme imkânı da sağlamaktadır. PSAT içeriğinde birçok hazır sistemi de bulundurmaktadır. Örneğin İEEE 14 bara test sistemi, İEEE 9 baralı kısa devre test sistemi gibi birçok sistemde programda mevcuttur. İEEE 14 baralı test sistemini üzerinden gidersek, ana pencerede "Data File" üzerine çift tıklanarak programda bulunan hazır sistemlerden İEEE 14 baralı sistem yüklenir. Yüklendikten ana pencerede "CPF" seçeneği tıklanarak sürekli güç akışı yaptırılabilir.



Şekil 4. Psat programının sürekli güç akışı analiz ekranı

Şekil 4.'ün sol alt köşesindeki grafikte minik daireler programın sürekli güç akışındaki her bir iterasyon adımını göstermektedir.

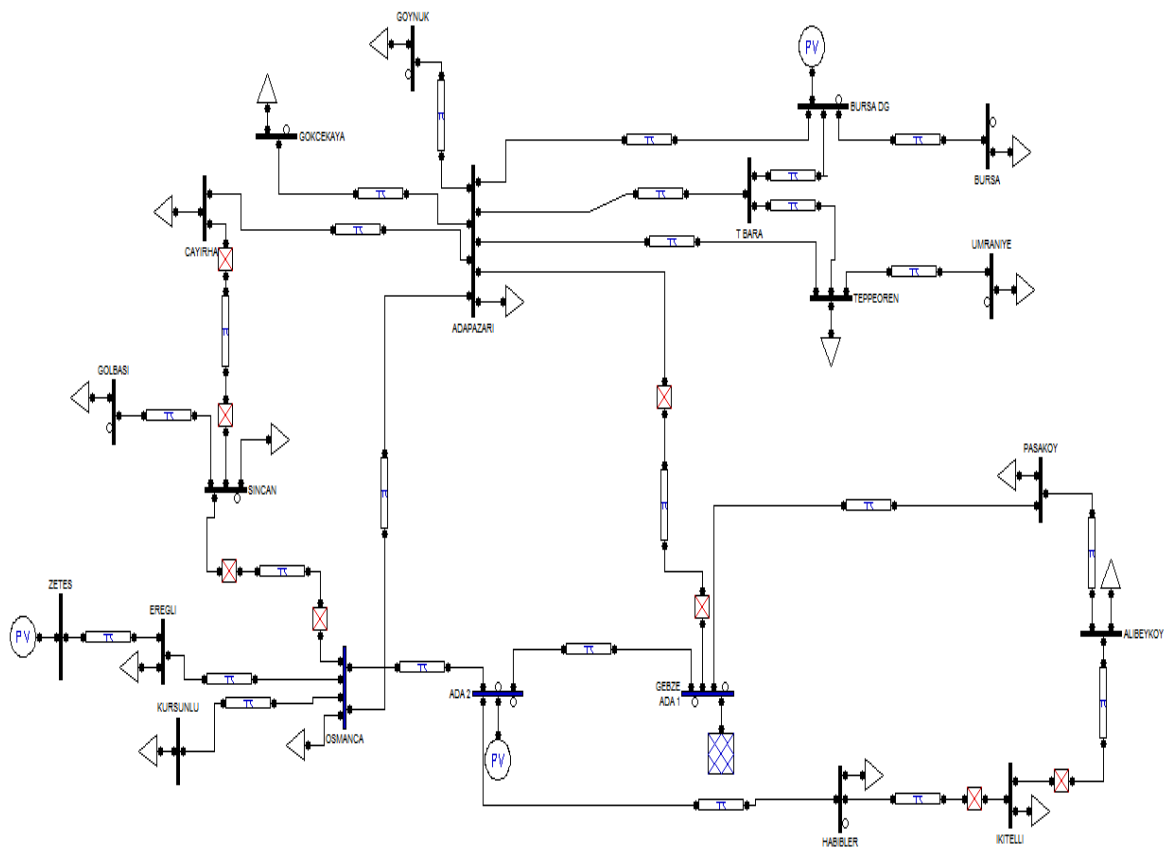
Şekil 5.' te IEEE 14 baralı test sistemi tek hat şeması gösterilmektedir.



Şekil 5. IEEE 14 baralı test sistemi tek hat şeması

Sürekli güç akışı analizi yapıldıktan sonra elde edilen sonuçları rapor halinde mümkündür.

EK B KUZEY BATI ANADOLU PSAT MODELİ



ÖZGEÇMİŞ

Talha Enes GÜMÜŞ, 01.01.1985 de Sakarya' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Adapazarı'nda tamamladı. 2005 yılında Sakarya Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümüne girdi ve 2009 yılında mezun oldu. 2009-2010 yılları arasında askerlik görevini tamamladı. Şu anda Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.