

GÜÇ AKIŞ DENETLEYİCİLERİNİN ENERJİ NAKİL HATLARINDAKİ YERLEŞİMLERİNİN GÜÇ SİSTEMLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

A. Mete VURAL

Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi
Gaziantep Üniversitesi, 27310, Şahinbey, Gaziantep
e-posta: vural@gantep.edu.tr

ÖZET

Bütünleştirilmiş güç akış denetleyicisi (Unified Power Flow Controller (UPFC)), statik kompenzator (STATCOM) ve statik senkron seri kompenzatorün (SSSC) bütünleştirilmesiyle meydana gelmiş olan üstün özelliklere sahip bir aygıttır. Elektrik güç şebekelerinde, aktif-reaktif güç akışları, gerilim büyüklükleri gibi önemli sistem parametrelerinin denetimlerini eş-zamanlı ve etkin bir biçimde yapabilmektedir. Bu çalışma UPFC'nin bilgisayar destekli durgun-hal analizini sunmakta ve enerji nakil hatları üzerindeki konumlarının sistem parametreleri üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. UPFC'nin enjekte güç modeli modifiye edilerek, bir güç sistemi analiz yazılım paketi olan (PSASP)'de kullanılmıştır. IEEE 30 baralı sisteminde örnek bir iletim hattı seçilmiş ve bu hat üzerinde değişik UPFC konumları düşünülerek bir dizi benzetim çalışması yapılmıştır.

Anahtar kelimeler:Bütünleştirilmiş güç akış denetleyicisi, UPFC, Esnek alternatif akım iletim sistemleri, FACTS

1. GİRİŞ

Son yıllardaki güç elektroniği alanındaki hızlı gelişmeler esnek alternatif akım iletim sistemleri (FACTS) adı altında bir dizi yeni kompanzasyon aygıtının geliştirilmesine imkan tanımıştır [1,2]. Bu yeni aygıtlar, güç ve gerilim salınımlarının etkili bir biçimde söndürülmesinde yeterli derecede hızlı olamamayan, mekanik anahtarlamalı olarak çalışan geleneksel iletim hattı kompanzasyon aygıtlarının aksine gerçek zamanlı bilgisayar denetimli olarak ve güç elektroniği teknolojisi kullanarak gerekli esnekliği sağlamakta ve yeterince hızlı yanıtı olabilmektedirler [3]. Bütünleştirilmiş güç akış denetleyicisi (UPFC), FACTS ailesi içerisinde yer alan çok fonksiyonlu bir aygıttır [4]. Güç akışı, gerilim gibi enerji sistemleri büyüklüklerini eş-zamanlı olarak etkin bir şekilde denetleme yeteneği vardır [5]. UPFC tarafından sağlanan bu çok yönlü işlevlik onu gelişmiş bir kompanzasyon aygıtı yapmakla beraber, enerji iletimi ile ilgili hem mevcut problemlerin (loop-flows, dinamik ve geçişken kararlılığın (dynamic and transient stability) sağlanması, gerilim kararlılığının (voltage stability) sağlanması, vs.) giderilmesinde, hem de artan enerji talebi neticesinde son zamanlarda ortaya çıkmış olan problemlerin (yeni iletim hatlarının konstrüksiyonlarında karşılaşılan güçlükler, çevreci baskılar, iletim hatlarının etkin bir şekilde kullanılmamaları, aşırı yüklenmiş hatlar, vs.) çözümünde ihtiyaç duyulan bir aygıt yapmıştır [6,7,8].

Kayıpsız bir enerji nakil hattı üzerindeki aktif güç akışı, Eşitlik 1'de gösterildiği gibi hattın iki ucundaki gerilim büyüklüklerine, $|V_1|$, $|V_2|$, bu iki gerilim değeri arasındaki faz açısı farkına, δ ve de hattın reaktansına, X_L bağlıdır.

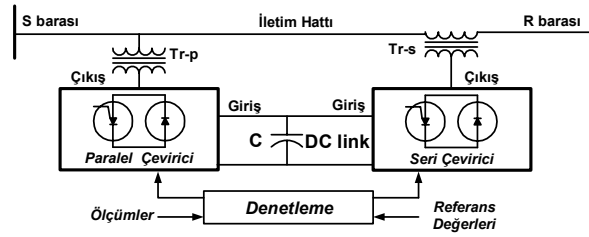
$$P_{12} = \frac{|V_1||V_2|}{X_L} \sin \delta \quad (1)$$

Etkin bir güç transferi denetimi ancak güç akışını belirleyen bu parametrelerin eş-zamanlı ve dinamik olarak denetimleriyle sağlanabilir. UPFC, bu söz konusu parametrelerin eş-zamanlı ve dinamik denetimlerine olanak vermekte, güç akış denetiminin yanı sıra dinamik olarak gerilim denetimi de yapabilmektedir. UPFC teorik olarak enerji nakil hattının herhangi bir noktasına yerleştirilebilmekte olup, bu çalışmada UPFC yerleşiminin güç sistemi parametreleri üzerindeki durgun-hal performansı araştırılmıştır. IEEE 30 baralı sistemi üzerinde bir dizi bilgisayar destekli benzetim çalışması yapılmıştır. Bunun için önce UPFC'nin enjekte güç modeli bir güç sistemi analiz yazılımı olan paket bir programa yine programın sağladığı kullanıcı tanımlı modelleme tekniği sayesinde aktarılmış, daha sonra bu model IEEE 30 baralı sistem ile bütünleştirilmiş ve çalışılan sistemin bir hattı üzerinde değişik UPFC konumları düşünülerek bir dizi benzetim çalışması yapılmıştır. Enjekte güç modelinin

tercih edilmesindeki sebepler ise; kullanıcı tanımlı modelleme tekniğine uygunluğu sayesinde kolaylıkla bilgisayar ortamına aktarılabilmesi ve yük akış analizlerine uygun bir yapıda olmasıdır. UPFC'ler üzerine, yük akış analizleri için, matematiksel modellerin geliştirilmesi amacıyla bir yığın çalışma yapılmış olmasına karşın, UPFC yerleşiminin güç sistemlerinin durgun-hal performansları üzerine etkileri araştırılmamıştır. Bu anlamda bu çalışma bu etkilerin araştırıldığı bir dizi benzetim uygulaması içermektedir.

2. BÜTÜNLEŞTİRİLMİŞ GÜÇ AKIŞ DENETLEYİCİSİ

UPFC'nin tek hat temel donanım konfigürasyonu Şekil 1'de gösterilmiştir. S ve R baraları arasındaki iletim hattına paralel bağlı bir çeviriciden (STATCOM), aynı hatta seri bağlı başka bir çeviriciden (SSSC) ve bu iki üniteyi birbiriyle bütünleştiren ve DC-link kısmını oluşturan bir kondansatörden, C, oluşmaktadır. İki adet transformatör, Tr-p ve Tr-s, iki çeviriciyi iletim hattına bağlamaktadır.



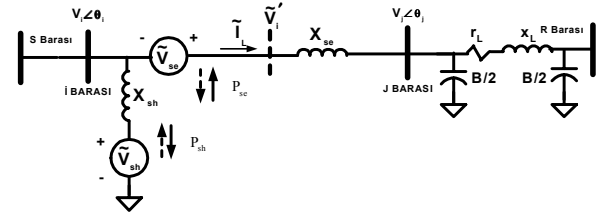
Şekil 1. UPFC temel donanım konfigürasyonu

Çeviriciler tri-fazlı ve gerilim kaynaklı olup, GTO tristörlerden ve diyotlardan oluşmaktadır. Çeviricilerin temel fonksiyonu, çıkışlarında, büyüklüğü ve faz açısı denetlenebilen simetrik sinüzoidal AC gerilim üretmektir. Üretilen AC gerilimin üzerindeki harmonikler "sinüzoidal pulse width modulation (SPWM)" tekniği veya "multilevel magnetic structure" tekniği kullanılarak azaltılabilir. Her bir çeviricinin reaktif güç üretme-tüketme kapasitesi olup, DC-link ise iki çevirici arasındaki aktif güç akış dengesini sağlamaktadır. Ayrıca paralel bağlı çevirici reaktif güç üretme-tüketme özelliği sayesinde S barası üzerinde gerilim denetimi de yapabilmektedir.

3. UPFC ENJEKTE GÜÇ MODELİ

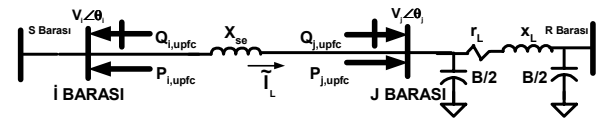
UPFC'nin durgun-hal ve geçişken-hal matematiksel modelleri üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışma amacı itibarıyla durgun-hal modeline ihtiyaç duymakta olup, UPFC'nin matematiksel modellenmesinde enjekte güç modeli tercih edilmiştir [9]. Bu modelde seri ve paralel bağlı çeviricilerin AC çıkışlarını ifade etmek için Şekil 2'de gösterildiği gibi hatta seri ve paralel bağlı birer denetlenebilir

sinüzoidal gerilim kaynağı, V_{se} , V_{sh} konulmuş, her iki birleştirici transformatörün reaktansları, X_{se} , X_{sh} , sırasıyla hatta seri ve paralel bağlı olarak modele dahil edilmiştir. Şekil 2'de UPFC, bir güç sisteminin S ve R baraları arasına R barasına yakın bir noktaya yerleştirilmiştir. İ ve J baraları ise UPFC'nin sisteme dahilyle sonradan eklenen PQ baralarıdır. I_L iletim hattı akımı olup, V_i' modellenmenin kolaylıkla yapılabilmesi için sonradan sisteme eklenmiş bir PQ barasıdır. İletim hattının π -eşdeğer devresi düşünülmüş, P_{se} ve P_{sh} olarak gösterilen aktif güçler ise UPFC'nin seri ve paralel bağlı çeviricileri arasındaki güç akış dengesini göstermekte, bu sayede sistem ile UPFC arasındaki aktif güç değişimine imkan vermektedir. Bu modelde UPFC'nin %100 verimle çalıştığı varsayılmış, modelin gerçeğine daha yakın olması amacıyla model modifiye edilmiş, UPFC kayıpları da modele dahil edilerek modelin daha gerçekçi olması sağlanmıştır [10].



Şekil 2. Enjekte güç modeli için UPFC eşdeğer devresi

Şekil 2, UPFC'nin enjekte güç modelinin çıkarılmasında esas alınmaktadır. Bir tivenin (thevenin) eşdeğer devresi norton eşdeğer devresine dönüştürülebilir. Bu sayede gerilim kaynakları ile onlara seri bağlı reaktanslar akım kaynakları ve onlara paralel bağlı sanal geçiricilere (susceptance) dönüştürülebilir. Bu dönüştürme Şekil 2'deki V_{se} ile X_{se} 'ye uygulandığında ve bir dizi hesaplamalardan sonra [10], rektangular formda çıkarılmış UPFC enjekte güç modeli, Şekil 3'te gösterildiği gibi İ ve J baralarına $(P_{i,upfc} + Q_{i,upfc})$ ve $(P_{j,upfc} + Q_{j,upfc})$ şeklinde enjekte edilmiş güçler olarak ifade edilmiş olur.



Şekil 3. UPFC Enjekte Güç Modeli

Modelde yer alan $P_{i,upfc}$, $P_{j,upfc}$ aktif güçleri ile $Q_{i,upfc}$, $Q_{j,upfc}$ reaktif güçlerinin açılımları aşağıdaki gibidir.

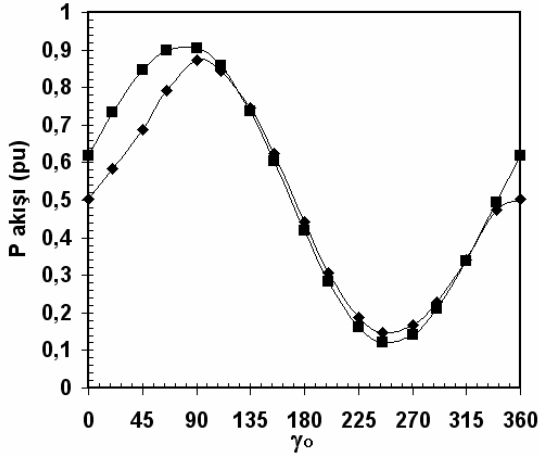
$$P_{i,upfc} = 0.02rb_{se}V_i^2 \text{Sin} \gamma - 1.02rb_{se}V_iV_j \text{Sin}(\theta_i - \theta_j + \gamma) \quad (2)$$

Tablo 2. Benzetim çalışmalarında kullanılan sabiteler

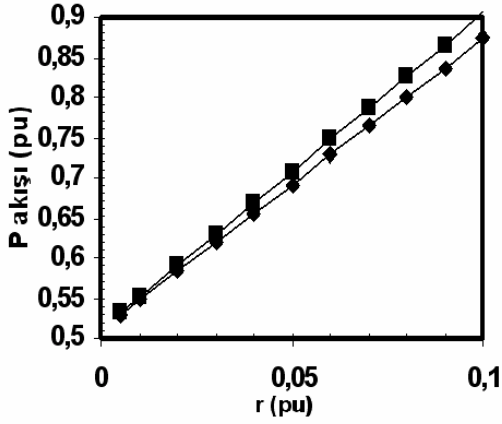
Sabite	Değeri
İterasyon toleransı	1E-6
UPFC verimi (η)	% 98
X_{se}	0.025 pu
r(sabit olduğunda)	0.1 pu
γ (sabit olduğunda)	90°

Tablo 3. Veri noktalarının karşılığı

Sembol	Karşılığı
◆	Bara 6'ya yakın yerleşim
■	Orta noktada yerleşim

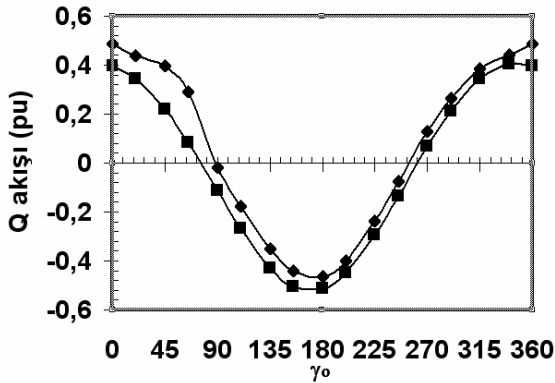


(a)

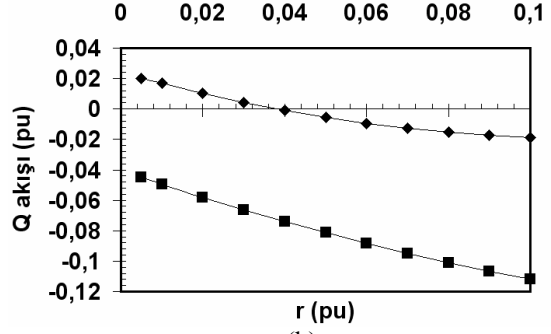


(b)

Şekil 6. Aktif güç akışı değişimi

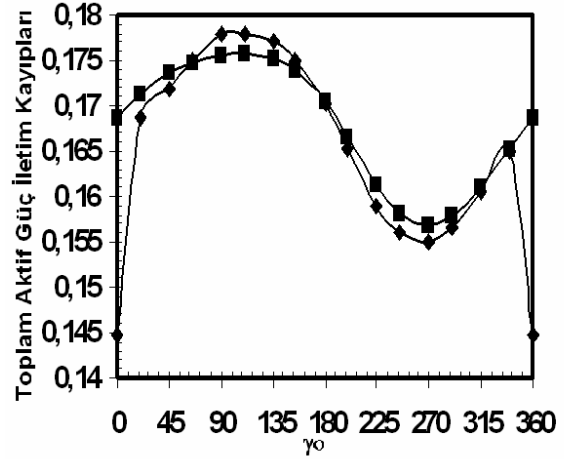


(a)

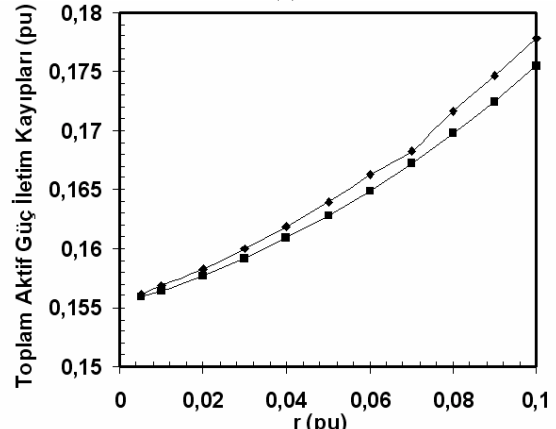


(b)

Şekil 7. Reaktif güç akışı değişimi

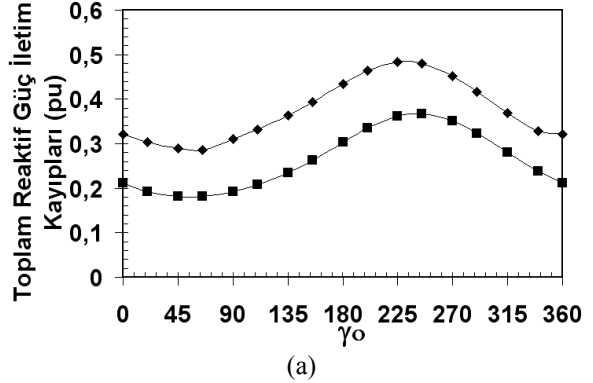


(a)

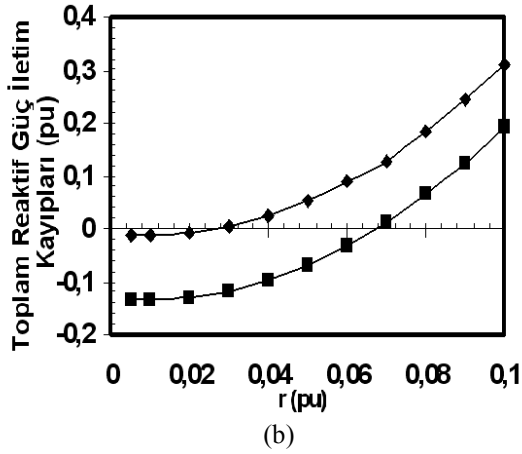


(b)

Şekil 8. Toplam aktif iletim kayıpları değişimi



(a)



Şekil 9. Toplam reaktif iletim kayıpları değişimi

Tablo 4. UPFC'nin konum değişikliğinin güç sistemi parametreleri üzerindeki ortalama etkisi

Aktif güç akışı % değişimi		Reaktif güç akışı % değişimi	
r sabit	γ sabit	r sabit	γ sabit
6.33	2.4	- 120.81	30.91
Toplam iletim aktif güç kayıpları % değişimi		Toplam iletim reaktif güç kayıpları % değişimi	
r sabit	γ sabit	r sabit	γ sabit
1.94	- 0.72	- 30.22	- 30.72

6. SONUÇLAR

UPFC teorik olarak bir güç sistemine ait bir iletim hattının herhangi bir noktasına yerleştirilebilmektedir. Bu çalışmada, UPFC yerleşiminin, örnek bir güç sisteminin durgun-hal çalışma koşulları üzerindeki etkileri detaylıca incelenmiştir. Pratik UPFC uygulamalarında, enerji nakil hattı üzerindeki uygun UPFC konumunun belirlenmesini sağlayan faktörler; maliyet, ulaşılabilirlik, arıza seviyesinin sınırlandırılması, koruma rölelerinin etkin çalışmaları ve güç sisteminin çalışma koşullarındaki iyileşmenin derecesi olarak sayılabilir. Eğer UPFC'nin enerji nakil hattının tam orta noktasına yerleştirilmesi düşünülüyorsa, bu durum bakım, servis, gözlemeleme, güvenlik, ulaşılabilirlik gibi faktörler için pek uygun olmayacaktır. Şayet UPFC, hattın herhangi bir uç noktasına yerleştirilecekse, bu düzenleşim daha fazla ulaşılabilirlik, servis ve bakım hizmetlerinden daha fazla yararlanma sağlayacaktır. Sonuç olarak herhangi bir pratik uygulamada UPFC'nin hat üzerindeki konumu seçilirken toplam ekonomik verim, sistemin çalışma koşulları ve işletim şartları düşünülmelidir.

7. KAYNAKLAR

[1] IEEE Power Engineering Society/Cigre: "FACTS Overview", IEEE Service Center, Piscataway, N.J., 1995, Special Issue, 95TP108.

[2] A.Edris, "FACTS technology development: an update", IEEE Power Engineering Review, March 2000, pp. 4-9.

[3] Naihu Li, Yan Xu, Heng Chen, "FACTS-based power flow control in interconnected power systems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.15, No.1, February 2000, pp. 257- 262.

[4] L. Gyugyi, C.D. Schauder, S.L. Williams, T.R. Rietman, D.R. Torgerson, A. Edris, "The unified power flow controller: a new approach to power transmission control", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.10, No.2, April 1995, pp. 1085-1097.

[5] Naihu Li, Yan Xu, Heng Chen, "FACTS-based power flow control in interconnected power systems", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.15, No.1, February 2000, pp. 257- 262.

[6] A. Edris, A.S. Mehraban, M. Rahman, L. Gyugyi, S. Arabi, T. Reitman, "Controlling the flow of real and reactive power", IEEE Computer Applications in Power, January 1998, pp. 20-25.

[7] Zhengyu Huang, Yixin Ni, C. M. Shen, Felix F. Wu, Shousun Chen, and Baolin Zhang, "Application of unified power flow controller in interconnected power systems-modeling, interface, control strategy, and case study", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.15, No.2, May 2000, pp. 817-824.

[8] R. Mihalic, P. Zunko, D. Povh, "Improvement of transient stability using unified power flow controller", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.11, No.1, January 1996, pp. 485-492.

[9] M. Noroozian, G. Anderson, "Power Flow Control by Use of Controlled Series Components", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.8, No.3, July 1993, pp. 1420-1429.

[10] A.Mete Vural, "Flexible AC Transmission, A Unified Power Flow Controller", Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2001.

[11] Güç sistemi analiz yazılım paketi (PSASP) kullanım kılavuzu, Çin Elektrik Güç Araştırma Enstitüsü (EPRI).