



Dinamik güç sistemleri için Jakobson yöntemi tabanlı birleşik güç akış kontrolörü tasarımı

Serhat Berat EFE*

Bitlis Eren Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bitlis.

s.beratefe@gmail.com ORCID: 0000-0001-6076-4166, Tel: (434) 222 00 30 (3313)

Geliş: 11.02.2018, Kabul Tarihi: 22.02.2018

Öz

Güç akış analizi, güç sistemleri için planlama ve işletme aşamalarında yapılması gereken en önemli çalışmalardan biridir. Yapılan bu çalışma ile sistemin üretim kapasitesinin belirlenmesi, güç sisteminde mevcut bulunan transformatörlerin davranışlarının elde edilmesi ile iletim hatlarındaki aktif ve reaktif güç akışlarının analizi mümkün olmaktadır. Bir güç sistemindeki güç akışlarının düzenlenmesi ve kontrolü için esnek alternatif akım iletim sistemi (Flexible Alternating Current Transmission System (FACTS)) cihazlarından faydalanılmaktadır. Birleşik güç akış kontrolörü (Unified Power Flow Controller (UPFC)), bu amaç için tasarlanan ve kullanılan en önemli FACTS cihazıdır. UPFC yapısı, iki adet gerilim kaynaklı güç elektronik dönüştürücüsünün (Voltage Sourced Converter (VSC)) bir doğru akım barası yardımıyla birbirine bağlanması ile oluşturulur.

Bu araştırma makalesinde dinamik güç istemlerinde kullanılması amacıyla Jakobson Yöntemi tabanlı bir UPFC tasarlanmıştır. Tasarım esnasında, gerçek güç sistemlerinin karakterini doğrudan yansıtmaması nedeniyle özellikle dinamik güç sistemleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu sayede önerilen yöntemin adaptasyon yeteneği gözlenmiştir.

Çalışma iki temel bölüm içermektedir. Birinci bölüm yazılım kısmı olup literatürde Jakobson Yöntemi olarak bilinen güç akış analizi algoritmasının kodlanması ile oluşturulmuştur. Burada temel amaç, algoritma sonucuna göre UPFC sisteminin içerdiği kontrolörlerin tetikleme açılarının belirlenmesi ve bu sayede sistemdeki baraların gerilim genliklerinin düzenlenmesidir. İkinci bölüm ise çalışmanın donanımsal kısmı olup bu bölümde MATLAB / Simulink platformu altında tasarlanan IEEE-9 bara sistemine UPFC eklenmiştir. Önerilen yöntem, doğrulanma amacıyla öncelikle değerleri literatürde mevcut bulunan statik IEEE-9 bara sistemi üzerinde denenmiştir. Elde edilen sonuçlar, statik sisteme ait güç akış analizi sonuçları ile karşılaştırılmış ve önerilen yöntem doğrulanmıştır. Daha sonra önerilen sistemin dinamik bir güç sistemi üzerindeki kontrol yetisinin belirlenmesi amacıyla IEEE-9 bara sisteminin parametrelerinde ve yapısında değişiklik yapılarak benzetim gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar önerilen yöntemin dinamik güç sistemlerinin kontrolü amacıyla kullanılabilirliğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: UPFC, FACTS, Güç akış analizi, IEEE-9 bara sistemi, MATLAB.

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI:

Giriş

Elektrik enerjisine olan ihtiyacın ivmelenerek artması, sınırlı olan bu enerji türünün en verimli biçimde kullanılması ihtiyacını doğurmuştur. Verimlilik kavramı üretim, iletim, dağıtım ve kullanım aşamalarının her birinde ayrı öneme sahiptir. Güç sistemlerinin özellikle iletim ve dağıtım aşamalarında meydana gelen kayıplar, verimlilik açısından büyük dezavantajdır. Araştırmacılar bu kayıpların analizi ve azaltılması için çeşitli çalışmalar yapmaktadır. Yapılan çalışmalar özellikle iletim kayıplarının büyük oranlarda gerçekleştiğini ortaya koymuştur.

İletim aşamasındaki kayıpların azaltılması için en etkin yöntemlerden biri iletim hatlarındaki güç akışlarının doğru biçimde kontrol edilmesidir. Bu amaçla tasarlanan ve kullanılan birleşik güç akış kontrolörü (UPFC) kayıpların azaltılmasında büyük fayda sağlamaktadır. UPFC ilk tanımlandığı günden itibaren (Gyugyi, 1992) araştırmacılar tarafından çeşitli çalışmalarda kullanılmıştır (Mehrerjedi ve Ghorbani, 2017; Song vd, 2017). UPFC ile ilgili olarak modelleme ve tasarım ile ilgili çalışmalar öne çıkarken (Shahgholian vd, 2017; Makkar ve Dewan, 2016; Ertay ve Aydoğmuş, 2011), kontrol ile ilgili çalışmalara olan yönelim de artmıştır. Özellikle akıllı sistemler kullanılarak yapılan kontrol çalışmaları fazla sayıdadır. Genetik algoritma (Özdemir vd, 2005; Todorovski ve Rajicic, 2006) ve bulanık mantık (Albatsh vd, 2017; Matos ve Gouveia, 2008) çalışmalarda en çok kullanılan akıllı sistemlerdir. Literatürde statik güç sistemleri üzerinde yapılan güç akış analizleri oldukça fazla olmakla birlikte değişken karaktere sahip ya da dinamik olarak adlandırılabilir sistemler ile ilgili çalışmalar sınırlı kalmıştır.

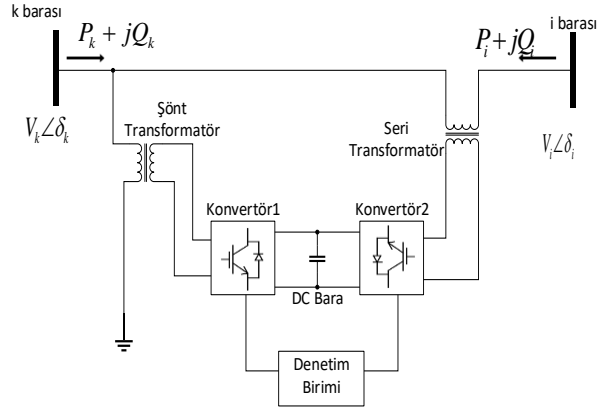
Bu araştırma makalesinde, değişken işletme koşullarına sahip güç sistemlerinde kullanılacak UPFC için Jakoben Yöntemi tabanlı bir kontrol algoritması geliştirilmiştir. Algoritma ve sistem tasarımı MATLAB / Simulink platformu altında yapılmıştır. Geliştirilen sistem IEEE-9 bara

sistemi (Anderson ve Fouad, 2003) üzerinde denenmiş ve elde edilen sonuçlar yardımıyla önerilen sistemin geçerliliği tartışılmıştır.

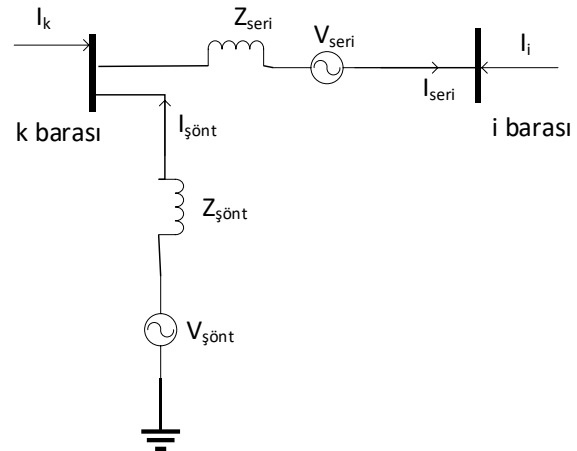
Materyal ve Yöntem

UPFC Yapısı

Önerilen çalışma için kullanılan UPFC'nin blok şeması Şekil 1'de, eşdeğer devresi ise Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. UPFC blok şeması



Şekil 2. UPFC eşdeğer devresi

Şekil 2'de verilen eşdeğer devre için kullanılacak gerilim eşitlikleri

$$\underline{V}_{seri} = V_{seri} (\cos \theta_{seri} + j \sin \theta_{seri}) \quad (1)$$

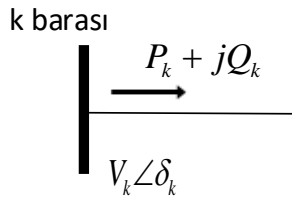
$$\underline{V}_{şönt} = V_{şönt} (\cos \theta_{şönt} + j \sin \theta_{şönt}) \quad (2)$$

olarak verilir.

Jakoben Yöntemi

Güç akış analizi için kullanılan yöntemler arasında en basit algoritmaya sahip olan Jakoben yöntemi, bu özelliği ile programlama açısından büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu çalışmada basit algoritması, düşük işlemci gücüne ihtiyaç duyması ve bu sayede analiz sonuçlarına hızlı bir şekilde ulaşılabilmesi nedeniyle Jakoben Yöntemi tercih edilmiştir.

Jakoben yöntemi iteratif bir yöntemdir. İterasyon başlangıcında, başlangıç değerleri tanımlanır. Daha sonra istenen yakınsaklık değerine ulaşılan kadar bir önceki adımda hesaplanan değerler kullanılarak işlem ilerletilir. Yöntemde genel güç akış analizi adımları uygulanır. Analiz için admitans matrisi oluşturulduktan sonra Şekil 3'te gösterilen herhangi bir k barası için eşitlikler tanımlanır.



Şekil 3. Örnek sistem barası

$$I_k = \sum_{j=1}^n Y_{kj} V_j, \quad k = 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

Aynı zamanda

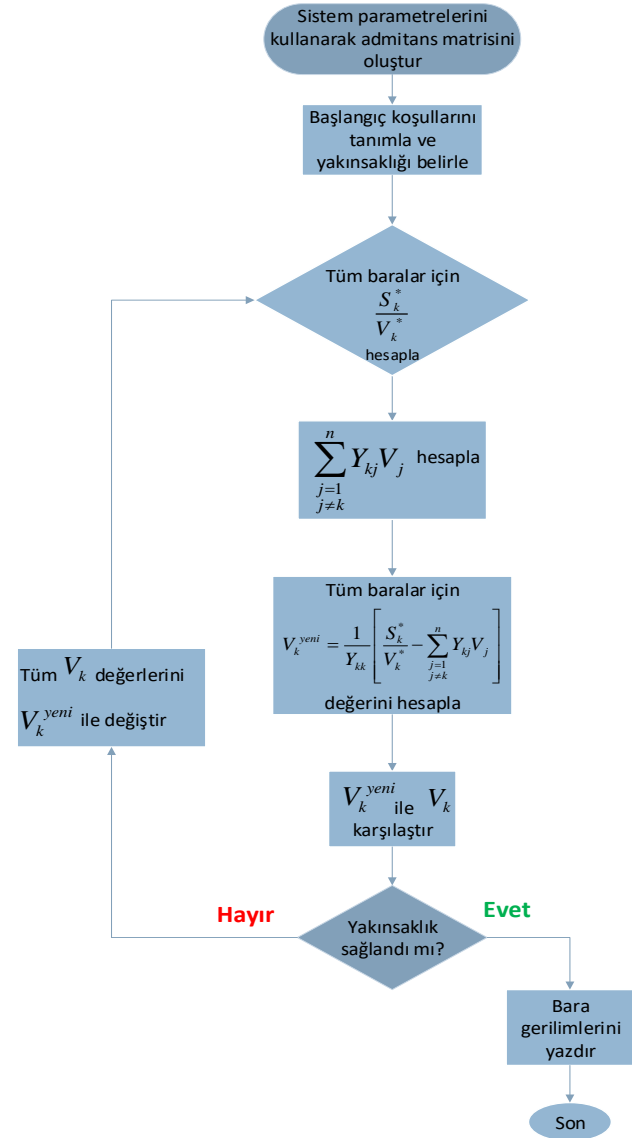
$$I_k = \frac{S_k^*}{V_k^*}, \quad k = 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

olduğundan, işlem kolaylığı açısından (3) ve (4) kullanılarak admitans matrisinin köşegen elemanları ayrılırsa gerilim değerinin iterasyon gösterimi

$$V_k^{t+1} = \frac{1}{Y_{kk}} \left[\frac{S_k^*}{V_k^{*t}} - \sum_{j=1, j \neq k}^n Y_{kj} V_j^t \right], \quad k = 2, 3, \dots, n \quad (5)$$

şeklinde verilir. Burada “t”, iterasyondaki işlem adımını göstermektedir. Eşitlik 5'ten anlaşılacağı üzere, mevcut iterasyon adımı ile elde edilen değer bir sonraki adımda kullanılarak yakınsama tespiti yapılmaktadır. Bu

işlem önceden belirlenen tolerasyon değeri sağlanana kadar devam etmektedir. Formüle edilen bu yöntem Şekil 4'te verilen akış diyagramı ile özetlenebilir (Powell, 2004).



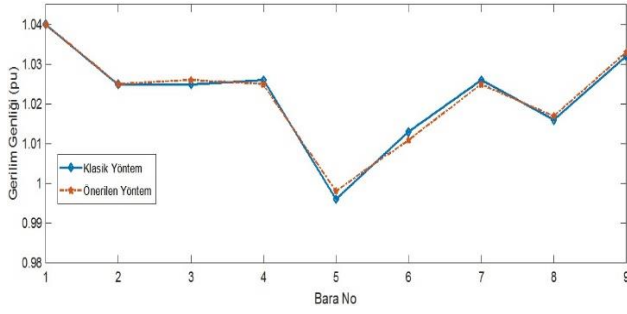
Şekil 4. Jakoben Yöntemi akış diyagramı

Uygulama ve Başarımlar

Dinamik güç sistemleri, üretim ve tüketim karakterine göre sürekli değişken durum sergileyen ve geçici hal çalışmasının sıkça gözlendiği yapılardır. Bu nedenle sürekli gözetlenmeli, olası tehlikelerin engellenmesi ve kayıpların asgari düzeyde tutulabilmesi için en kısa sürede müdahale edilmelidir.

Bu araştırma makalesinde, sürekli çalışma durumu için bir güç akış kontrolörü

bulunan güç akış analizi sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Bara gerilim genlikleri

Analiz sonucu elde edilen değerler, önerilen yöntemin doğru tasarlandığını ve sonuçların uyumlu olduğunu göstermiştir. Buna göre önerilen yöntem güç akış analizi için kullanılabilir.

Dinamik Sistem Uygulaması

Önerilen yöntemin, bu çalışmanın temeli olan dinamik sistemler üzerindeki kontrol yeteneğinin tespit edilmesi için, iki farklı senaryo ile denenmiştir. İlk senaryoda sistemin üretim gücü düşürülerek, ikinci senaryoda ise hatlardan birinde meydana gelen kesinti sonucu ortaya çıkan problemde önerilen yöntemin yaptığı iyileştirme gözlenmiştir.

a) Senaryo 1 – Güç Kaybı

Sistemdeki üretim kaynaklarında meydana gelebilecek üretim kaybı nedeniyle oluşacak problemlerde önerilen yöntemin yapacağı iyileştirmenin gözlenmesi için IEEE-9 bara sisteminin 163 MW güce sahip 2 nolu generatörünün aktif güç değeri belirli bir süre için 100 MW olarak değiştirilmiştir. Benzetim süresi toplam 5 sn olarak ayarlanmış, güç azalması 2 ile 3. saniyeler arasında gerçekleştirilmiştir. Daha sonra sistem UPFC eklenerek ve eklenmeden iki farklı durum için çalıştırılmıştır.

UPFC eklenmiş sistem ile normal sistemin bara gerilim genlik değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Verilen tabloda güç düşümü öncesi ve düşüm esnasındaki gerilim genlik değerleri özetlenmektedir.

Tablo 1. Senaryo 1 için gerilim genliklerinin karşılaştırılması (değerler pu cinsindedir)

Bara No	Güç azalımı öncesi P=163 MW		Güç azalımı esnasında P=100 MW	
	KLASİK	UPFC	KLASİK	UPFC
1	1.040	1.040	1.040	1.040
2	1.025	1.025	1.025	1.025
3	1.025	1.026	1.025	1.025
4	1.026	1.025	1.029	1.026
5	0.996	0.998	1.005	0.999
6	1.013	1.011	1.017	1.013
7	1.026	1.025	1.028	1.026
8	1.016	1.017	1.019	1.017
9	1.032	1.033	1.034	1.033

Tablo 1’den görüleceği üzere, UPFC olmadan sistemdeki generatör baraları haricindeki baraların gerilim genliklerinde tolerasyonu aşabilecek değer değişimleri oluşmaktadır. Ancak önerilen UPFC yapısının eklenmesi ile bara gerilim genlikleri dengelenmektedir.

b) Senaryo 2- Hat Kesintisi

Güç sisteminde oluşabilecek herhangi bir hat arızası ya da kesintisi durumunda önerilen yöntemin yapacağı iyileştirmenin gözlenmesi için IEEE-9 bara sisteminin 5 ve 7. baraları arasındaki hatta kesinti oluşturulmuştur. 5 saniyelik toplam benzetim süresinin 2. ve 3. saniyeleri arasında olduğu varsayılan kesinti durumundaki gerilim genlik değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Senaryo 2 için gerilim genliklerinin karşılaştırılması (değerler pu cinsindedir)

Bara No	Kesinti öncesi		Hat 5-7 Kesintisi esnasında	
	KLASİK	UPFC	KLASİK	UPFC
1	1.040	1.040	1.040	1.040
2	1.025	1.025	1.025	1.025
3	1.025	1.026	1.025	1.025
4	1.026	1.025	0.998	1.021
5	0.996	0.998	0.951	0.995
6	1.013	1.011	0.976	1.010
7	1.026	1.025	1.019	1.024
8	1.016	1.017	1.003	1.015
9	1.032	1.033	1.020	1.031

Tablo 2’de verilen değerler incelendiğinde, hatta meydana gelecek kesinti durumunda gerilim bara genliklerinin senaryo 1’deki güç azalması durumuna göre çok daha fazla

etkilendiği görülmektedir. Önerilen yöntemin sistem üzerinde yaptığı iyileştirme hat kesintisi senaryosunda daha net ortaya çıkmıştır. Elde edilen değerler UPFC eklenmiş sistemde gerilim genliklerinin normal çalışma koşullarındaki değerlerine oldukça yakın olduğunu göstermektedir. Önerilen yöntem ile tüm sisteme ait veriler kullanılmakta ve dolayısıyla sistemin herhangi bir noktasındaki değişimler algoritmaya katarak hesaplama yapılmaktadır. Hem senaryo 1 hem de senaryo 2 için özellikle UPFC'nin bağlı olmadığı baralarda oluşabilecek geçici durumlar için çalışma yapılmıştır. Bunun amacı önerilen yöntemin tüm sistemi gözleme yeteneğinin vurgulanmasıdır.

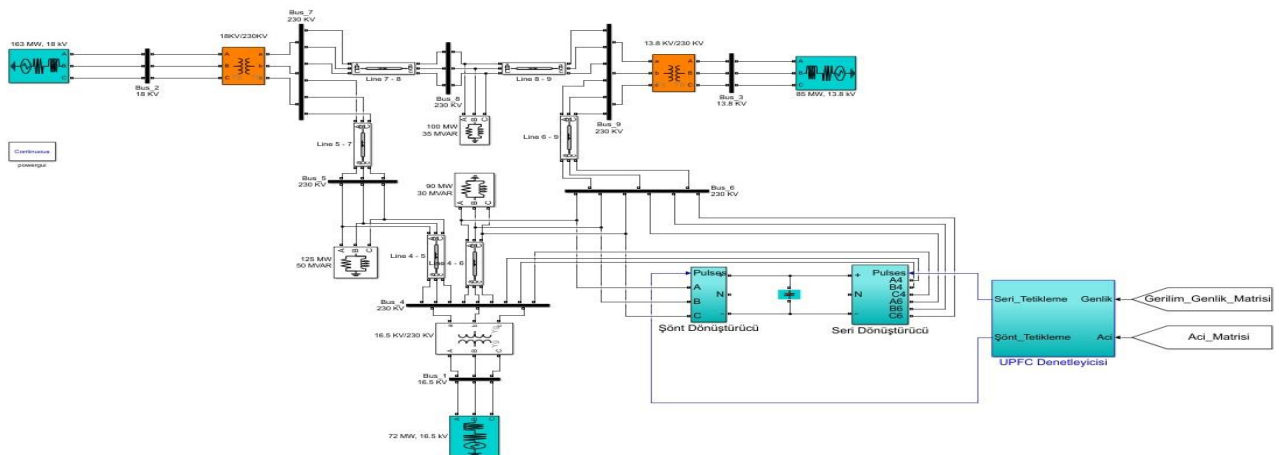
Jakoben tabanlı bu metotta gerilim genlikleri normal çalışma şartlarına yakın bir seviyede dengelenmiştir. Gerilim genliklerinin dengelenmesi hatlardaki güç akışlarını da dengeleyecek, hat üzerinde ve buna bağlı olarak diğer sistem elemanlarında meydana gelebilecek aşırı yüklenmeler düzenlenerek kayıpların azaltılması sağlanabilecektir.

Kaynaklar

- Albatsh, F.M., Mekhilef, S., Ahmad, S., Mokhlis, H. (2017). Fuzzy-Logic-Based UPFC and Laboratory Prototype Validation for Dynamic Power Flow Control in Transmission Lines, *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS*. 64 (12), 9538-9548.
- Anderson, P.M., Fouad, A.A. (2003). Power System Control and Stability, IEEE Press.

- Ertay, M.M., Aydoğmuş, Z. (2011). "Güç Sistemlerinde FACTS Uygulamaları", 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ.
- Gyugyi, L., (1992). Unified power-flow control concept for flexible AC transmission systems, *IEE PROCEEDINGS-C*. 139, 323-331.
- Makkar, C.R., Dewan, L. (2016). "Power flow control with different operating modes of UPFC", 7th Power India International Conference, Bikaner.
- Matos, M.A., Gouveia, E.M. (2008). The Fuzzy Power Flow Revisited, *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS*. 23 (1), 213-218.
- Mehrjerdi, H., Ghorbani, A. (2017). Adaptive algorithm for transmission line protection in the presence of UPFC, *Electrical Power and Energy Systems*. 91, 10-19.
- Özdemir, A., Lim, J.Y., Singh, C. (2005). Post-Outage Reactive Power Flow Calculations by Genetic Algorithms: Constrained Optimization Approach, *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS*. 20 (3), 1266-1272.
- Powell, L., (2004). Power System Load Flow Analysis, McGraw-Hill Press.
- Shahgholian G., Mahdavian, M., Janghorbani, M., Eshaghpour, I., Ganji, E. (2017). "Analysis and Simulation of UPFC in Electrical Power System for Power Flow Control", 14th International Conference on Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, Phuket.
- Song, P., Xu, Z., Dong, H. (2017). UPFC-based line overload control for power system security enhancement, *IET Generation, Transmission & Distribution*. 11 (13), 3310-3317.
- Todorovski, M., Rajicic, D. (2006). An Initialization Procedure in Solving Optimal Power Flow by Genetic Algorithm, *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS*. 21 (2), 480-487.

EK A. Benzetim Sistemi



Jacobi Method based unified power flow controller design for dynamic power systems

Extended abstract

Power flow analysis is one of the most important study that should be performed for power systems in both planning and operating stages. It is possible to determine generating capacity of system, obtaining the behaviors of transformers and analyzing the active and reactive power flows over transmission lines by this study. Power system operators can use these data both in planning and operating sections for stability and reliable operation.

Flexible Alternating Current Transmission System (FACTS) devices are being used to control and regulate power flows in a power system. These devices are high technology devices that includes microcontrollers, data collecting units, power electronics structures, etc. As there are various devices that designed for reliable and efficient operating of modern power systems, Unified Power Flow Controller (UPFC) is the most important device that designed and using for this aim. UPFC structure is formed by connecting two Voltage-Sourced Converters (VSC) via a DC busbar.

Actual power systems are in dynamic character, which means that operators may face transients at any time while system operates. Therefore, it is vital to analyze such systems by considering possible effects of transients.

In this paper, a Jacobi Method based UPFC is designed for using in dynamic power systems. Dynamic power systems are considered for design to reflect the character of actual power systems. In this way, the adaptation ability of the proposed method is observed.

Study is consist of two main parts. First part is the software section which is formed by coding the power flow algorithm that known as Jacobi Method in literature. MATLAB editor is used for coding. Determining triggering angles of UPFC system controllers and regulating the busbar voltage amplitudes of power system is the main aim of this section. Second part is the hardware section. The proposed UPFC structure that contains Jacobi Method algorithm is added to IEEE-9 bus system that designed under MATLAB/ Simulink platform.

Simulation is performed for 5 seconds and power flow analysis results are obtained. Proposed method is aimed to be validated by comparing the results with the static IEEE-9 bus system power flow analysis results given in literature. Both proposed method results and the results available in literature are compared by using a graph for a better understood. Method is validated by this comparison.

Then the simulation is performed in order to determine the control capability of the proposed method on dynamic systems by changing some parameters and structure of IEEE-9 bus system.

Two scenarios are applied on the system. In the first scenario, active power capacity of a generator is decreased. Simulation is performed in these conditions. Results are obtained in both UPFC connected and without UPFC types of operation. In this case, results prove the regulating capability of proposed system.

In the second scenario, a line disconnection condition, which is very likely to occur in a power system, is applied to system. As it is done in first scenario, results are obtained for both UPFC connected and normal system after performing simulation. This case prove regulating ability of proposed method even better than scenario one.

Results of both operating conditions show that proposed method can adapt to possible changes and be used to control dynamic power systems

Keywords: UPFC, FACTS, power flow analysis, IEEE-9 bus system, MATLAB.