

# BULANIK MANTIK KONTROLLÜ STATİK SENKRON KOMPANZATÖRLERİN TASARIMI VE UYGULAMASI

F. Arzu Aksoy<sup>1</sup>

Tankut Yalçınöz<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Niğde Üniversitesi, Niğde

<sup>1</sup>e-posta: farzukorkmaz@hotmail.com

<sup>2</sup>e-posta: tyalcinoz@nigde.edu.tr

## Özetçe

Statik senkron kompanzatör (STATCOM) sistemin ihtiyacı olan aktif ve reaktif güç kompansementini sağlamak için DC giriş gerilimini AC çıkış gerilimine dönüştüren gerilim kaynaklı invertör tabanlı bir aygıttır. Bu çalışmada STATCOM tasarımı ve kontrolü MATLAB/SIMULINK, güç sistemleri blokseti ve bulanık mantık araç kutucuğu kullanılarak yapılmıştır. Yapılan simülasyon çalışmalarında elde edilen sonuçlardan; bulanık mantık kontrollü STATCOM, PI kontrollü STATCOM'dan çok daha iyi dinamik tepki verdiği bulunmuştur.

## 1. Giriş

Dünyamızda elektrik enerjisine duyulan ihtiyacın her geçen gün biraz daha artması, enerji üretiminin gittikçe pahalılaşması, taşınan enerjinin de kaliteli, ucuz ve hakiki iş gören aktif enerji olmasını zorunlu hale getirmektedir.

Güç sistemlerinde aktif güç akışının yanında yükün ve sistemin gereksinimini karşılayabilmek için reaktif güç akışı da olmaktadır. Aktif güç generatörden yüklerle iletilir oysa reaktif güç için böyle bir zorunluluk yoktur. Reaktif gücün gereksinim duyulan noktaya en yakın yerde üretilmesinde elektrik sisteminin en iyi koşullarda çalıştırılması açısından büyük yarar vardır. Elektrik sisteminin ve yüklerin reaktif güç gereksinimlerinin belirli teknikler kullanılarak karşılanması reaktif güç kompansementu olarak adlandırılır [1-16].

FACTS (Esnek AC İletim Sistemleri) teknolojisi, yüksek akım ve gerilim kapasitesine sahip güç elektroniği elemanları kullanılarak geliştirilmiş olup hat empedansı kontrolü ve reaktif güç kompansementu yaparak güç sistemlerinde gerilim/akım kontrolüne olanak sağlar [17].

STATCOM sisteme paralel bağlanan FACTS ailesinin bir üyesidir. STATCOM'un temel çalışma prensibi bir DC kapasitör bağlı bir gerilim kaynaklı konvertör kullanılarak transformatör kaçak reaktansı gerisindeki kontrol edilebilir bir AC gerilim kaynağının üretilmesidir. STATCOM ve sistem arasındaki reaktif güç değişimi transformatör kaçak reaktansında gerilim farkını üretir. STATCOM'un çıkışı reaktif gücün kontrolü vasıtasıyla güç sisteminin sönümlenmesini iyileştirilebilir. Sistem sönümlenmesini iyileştirme STATCOM'un kontrol sinyali kadar kontrol stratejisinin seçimine de bağlı olabilir [14].

Son yıllarda bir çok çalışmada, lineer kontrol tekniklerini kullanan STATCOM kontrolörlerinin dizaynı için metotlar önerilmiş ve uygulamalar yapılmıştır [1]. Literatürde mevcut olan bu makalelerin bir çoğunda, STATCOM kontrol yapısı olarak PID kontrolörler kullanılmıştır [2, 3, 4, 5, 6, 7-12]. Bunun yanında kontrol stratejisi olarak Lyapunov'un kararlılık kriteri de kullanılmıştır [13]. Yada sistem genel blok diyagramları ve fiziksel özellikleri ve özel elemanların sistem

performansındaki rolleri belirlenerek, bu elemanların uygun bağlanmasıyla ve bu sistem formunun değişken elemanlarının matematiksel olarak geliştirilmesiyle statik kompanzatör kontrol sistemlerinin MATLAB modeli yapılabilir [14,16].

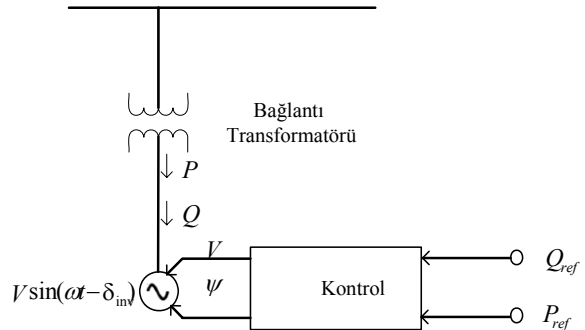
Bu çalışmada STATCOM, MATLAB/SIMULINK ortamında incelenecektir. Burada STATCOM önce PI kontrolörle daha sonra ise bulanık mantık kontrolör ile kontrol edilerek iki baralı dinamik yüklü sistem için, STATCOM'suz, PI kontrollü STATCOM'lu ve bulanık mantık kontrollü STATCOM'lu durumların simülasyon sonuçları karşılaştırılacaktır.

## 2. STATCOM'un Yapısı ve Çalışma Prensibi

STATCOM, güç sistem kararlılığını, gerilim regülasyonunu, güç faktörünü, reaktif güç kompansementu düzenlemek ve reaktif güç kompansementu vasıtasıyla gerilimi kontrol etmek ve akım harmoniklerinin eliminasyonu için kullanılmıştır [18, 19]. STATCOM donanımı, gerilim kaynaklı konvertör (VSC), bir kapasitör ve konvertör kontrolüne dayanır. Bir yükseltici transformatör üzerinden bir güç sistemine bağlanır [2].

Bir STATCOM, kontrol edilebilir genlik ve faz açısı ile temel frekansta bir üç fazlı dengeli sinüzoidal gerilim üreten bir ideal senkron makineye benzer. Bu ideal makinenin eylemsizliği yoktur, pratik olarak anlaktır, var olan sistem empedansında önemli değişiklikler yapmaz ve reaktif güç üretir (kapasitif veya endüktif). STATCOM, paralel reaktif güç kompansementu olarak çalışması ve performans karakteristiğinin ideal, senkron, hareketli kompanzatör ile benzer olması nedeniyle statik senkron kompanzatör olarak adlandırılmıştır [20].

STATCOM'un temel yapısı Şekil 1'de gösterildiği gibi bir kaçak reaktans gerisindeki kontrol edilebilir AC gerilim üreten, bir gerilim kaynaklı invertör kullanımıdır.



Şekil 1: Genelleştirilmiş STATCOM blok diyagramı

Şekil 1’de gösterilen,  $Q_{ref}$  ve  $P_{ref}$  referans sinyalleri,  $\delta_{inv}$  çıkış geriliminin faz açısını ve  $V$  çıkış geriliminin genliğini belirler.  $\omega$  faz kaymasının kontrolünün bir sonucu aktif gücün değişimi elde edilir. Aktif gücün değişimi sadece DC gerilimin kontrolü için kullanılır. AC sistem ve invertör arasındaki (DC enerji depolama cihazına sahip) aktif güç değişimi, AC sistem gerilimi ve invertör çıkış gerilimi arasındaki faz açısı değiştirilerek kontrol edilebilir. Invertör çıkış gerilimi AC sistem geriliminden ileriye invertör AC sistem için aktif güç üretir. Bu işlem için enerji DC enerji depolama kaynağı tarafından sağlanır. Tersine invertör çıkış gerilimi AC sistem geriliminden geriye invertör AC sistemden aktif güç çeker. Bu durumda kapasitör şarj olur. Aynı kontrol mekanizması, invertör reaktif güç üretimi ve çekimi için kullanıldığında uygun gerilim için DC kapasitör şarjlı tutularak kullanılabilir. Kontrolörün bu tipi farklı anahtarlamalı güç çeviricileri kullanılarak yerine getirilebilir.

### 3. Bulanık Mantıkla Kontrol

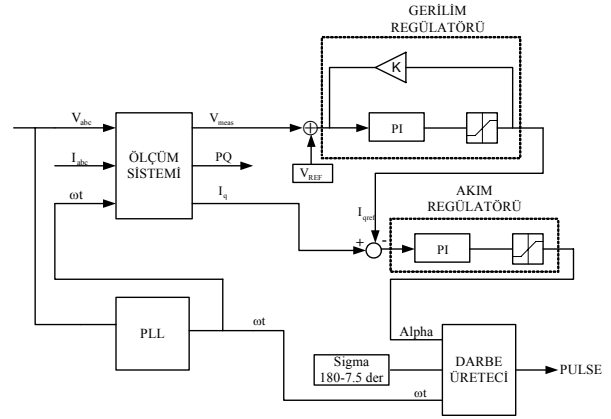
Bulanık kontrolörler, çok kesin matematiksel modelleri olmadan tasarlanabilen, bir çok avantajı olan kural tabanlı kontrolörlerdir [22]. Modern güç sistemleri kompleks, coğrafi olarak geniş alanlara dağılmış ve çok yüksek lineer olmayan sistemlerdir. Üstelik, güç sistemi çalışma durumları zamanla değişme gösterir. Bu belirsizlikler, yalnız çalışma koşulları ve lineer sistem modeline dayanan geleneksel kontrolördeki güç sistemi kararlılık problemlerini çok daha zorlaştırmaktadır. Bu nedenle bulanık mantık kontrol yaklaşımı, geleneksel yaklaşım için bir tamamlayıcı olarak son yıllarda daha ilgi çekici olmuştur. Bulanık kontrolörün bir çok önemli avantajı vardır. Bulanık kontrolörde insanlara ait bilgiler kolaylıkla kontrol kanunlarına çevrilebilir [23, 24]. Bulanık kontrolör, lineer olmayan bir kontrolördür ve lineer kontrolörde ki gibi sistem modeli, parametreler ve çalışma şartlarının değişimine duyarlı değildir. Bu özellikler bulanık kontrolörü güç sistemleri uygulamaları için çok ilgi çekici yapmaktadır [23].

Bulanık kontrolörler, bir sistemin kararlılığını artırabilen güçlü kontrol teknikleridir [1]. Sistem çalışma şartları değiştiğinde sistem performansını düşürmesi ve matematiksel model gerektirmesi PI kontrolörlerin dezavantajlarındandır. Diğer taraftan lineer olmayan uyarlanabilir kontrolörlerin, sistemin çalışma şartlarını iyi bir şekilde kontrol etme yetenekleri vardır [1, 25]. Bulanık mantık kontrolörler lineer olmayan dinamik bir sisteme kolayca uygulanabilir [24]. Bu yüzden PI kontrolörler yerine bulanık mantık kontrolörler tercih edilmektedir. Bulanık mantığın kavramsal olarak anlaşılması kolaydır. Bulanık mantığın altındaki matematiksel kavram çok basittir. Bulanık mantığı hoş yapan onun karmaşık olmasından ziyade doğallığındandır. Bulanık mantık esnekler. Bulanık mantık sıradan kontrol sistemleriyle karıştırılabilir. Bulanık sistemin sıradan kontrol sistemlerinin yerini alma zorunluluğu yoktur, birçok durumda bulanık mantık bu sistemlerin uygulamalarını kolaylaştırır [24].

## 4. Matlab Ortamında STATCOM Modeli

### 4.1. STATCOM Kontrol Bloğu

Şekil 2’de gösterilen STATCOM kontrol bloğunda, ölçüm sistemi, gerilim regülatörü, akım regülatörü, PLL ve ateşleme darbesi üretici blokları yer almaktadır.

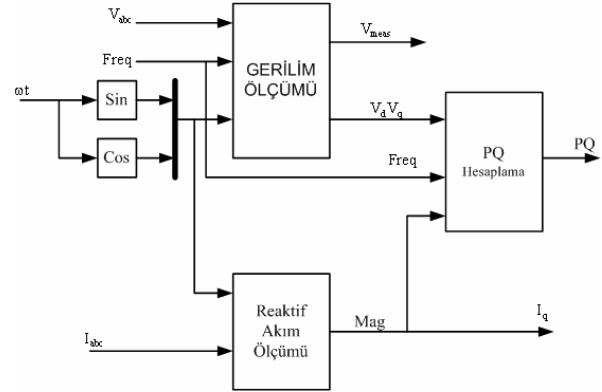


Şekil 2: STATCOM kontrol bloğu

### 4.2. Ölçüm Sistemi Bloğu

Ölçüm sistemi bloğu, sistem gerilimi ( $V_{abc}$ ), sistem akımı ( $I_{abc}$ ), PLL çıkışındaki  $\omega t$  ve frekans sinyallerini giriş olarak kabul eder. Çıkışında ise  $V_{mes}$ ,  $PQ$  ve  $I_q$  sinyallerini üretir. Ölçüm sistemi bloğu Şekil 3’de gösterilmiştir.

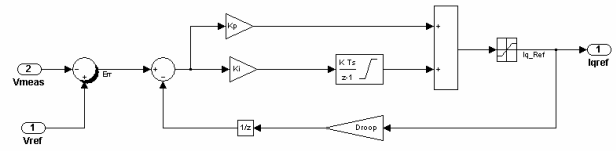
Ölçüm sistemi bloğu içinde, gerilim ölçümü, reaktif akım ölçümü,  $PQ$  hesaplama, ortalama değer ve filtreler blokları mevcuttur.



Şekil 3: Ölçüm sistemi bloğu

### 4.3. Gerilim ve Akım Regülatörlerine ait Bloklar

STATCOM bloğu içerisinde mevcut olan diğer bir blokta gerilim regülatörü bloğudur. Bu bloğun içerisinde, Şekil 4’de gösterilen PI kontrolör bulunmaktadır.

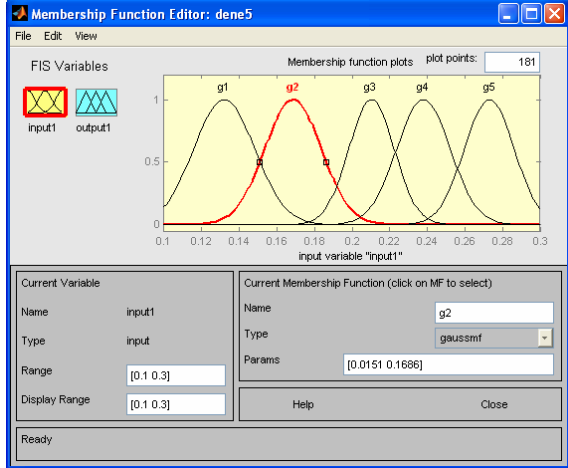


Şekil 4: Gerilim regülatörü bloğunda bulunan PI kontrolör

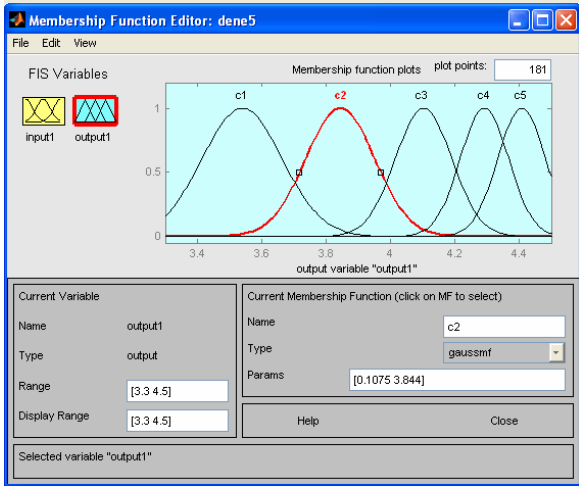
Buradaki PI kontrolörün görevi AC sistem ile terminal gerilimi arasındaki reaktif güç değişimini kontrol etmektir.

Şekil 4'den de görüldüğü gibi ölçülen  $V_{meas}$  sinyali, değeri 1 olan referans sinyali ile karşılaştırılarak bir hata sinyali üretilir. Gerilim regülatöründeki PI kontrolör yerine kullanılan bulanık mantık kontrolörün üyelik fonksiyonları ise Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterildiği gibi elde edilmiştir.

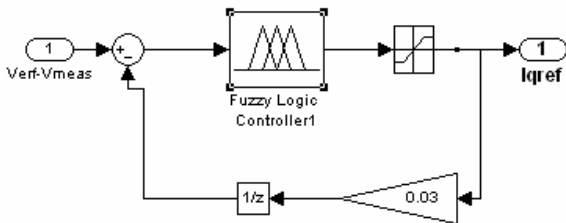
Bu durumda Şekil 4'de gösterilen PI kontrolörlü yapı yerine bulanık mantıklı kontrol yapısı kullanıldığında Şekil 7'de gösterilen yapı elde edilir.



Şekil 5: Bulanık mantık kontrolü gerilim regülatörünün giriş üyelik fonksiyonları



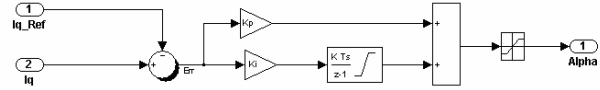
Şekil 6: Bulanık mantık kontrolü gerilim regülatörünün çıkış üyelik fonksiyonları



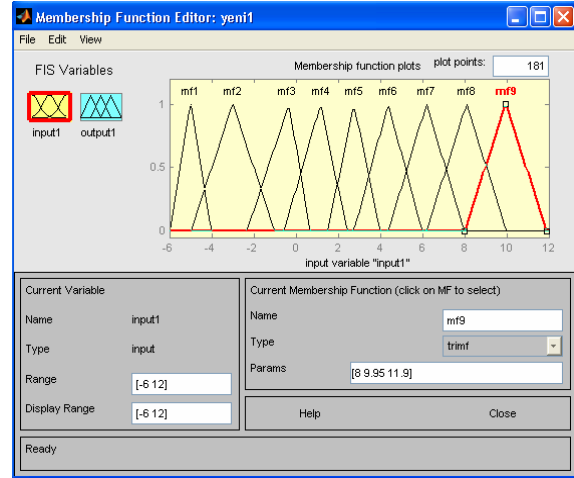
Şekil 7: Bulanık mantık kontrolü gerilim regülatörü

PI kontrolörün kullanıldığı diğer bir blok ise akım regülatörü bloğudur. Akım regülatöründe de gerilim regülatöründe olduğu gibi  $I_q$  ve  $I_{q\_ref}$  sinyalleri karşılaştırılarak bir hata sinyali üretilir. Akım regülatöründeki PI kontrolör Şekil 8'de gösterilmiştir.

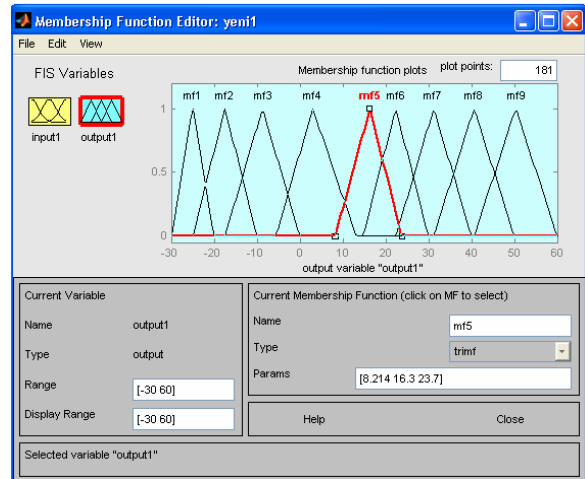
Akım regülatörü bloğunun giriş ve çıkış dalga şekilleri kullanılarak elde edilen ve kontrolör yerine konacak bulanık mantık kontrolörün üyelik fonksiyonları Şekil 9 ve Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 8: Akım regülatörü bloğunda bulunan PI kontrolör



Şekil 9: Bulanık mantık kontrolü akım regülatörünün giriş üyelik fonksiyonları

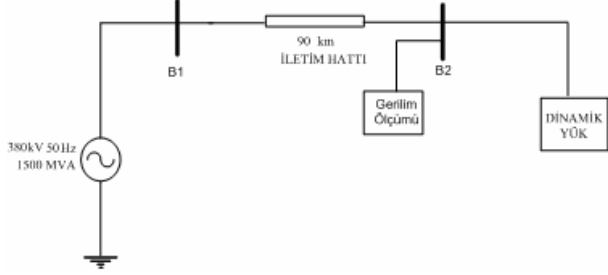


Şekil 10: Bulanık mantık kontrolü akım regülatörünün çıkış üyelik fonksiyonları

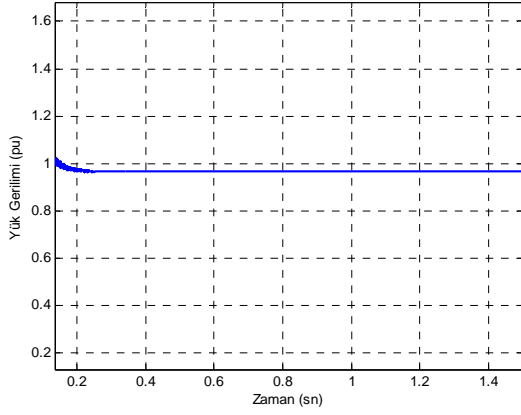
## 5. Simülasyon Sonuçları

### 5.1. İki Baralı STATCOM'suz Devrenin Simülasyon Sonuçları

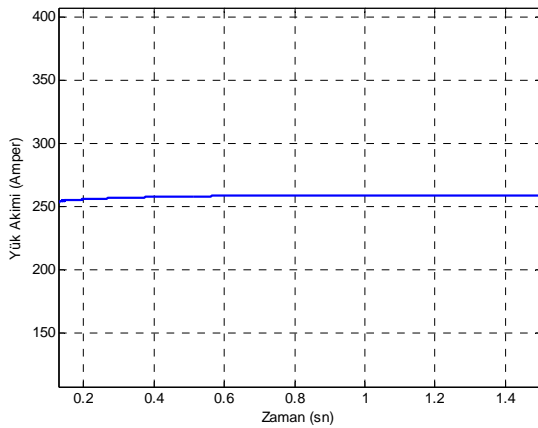
Şekil 11'de, incelenecek olan dinamik yüklü modelin blok diyagramı verilmiştir. Dinamik yük 120 MW aktif gücü ve 120 MVar reaktif gücü ve 380 KV gerilimi olan bir yük seçilmiştir.



Şekil 11: Dinamik yüklü, iki baralı devrenin blok diyagramı



Şekil 12: (a) Dinamik yük modeline bağlı STATCOM'suz devrede yük gerilimi



Şekil 12: (b) Dinamik yük modeline bağlı STATCOM'suz devrede yük akımı

Şekil 11'de gösterilen dinamik yüklü sistemin davranışı incelenmiştir. Devreye ait yük gerilimi Şekil 12 (a)'da ve yük

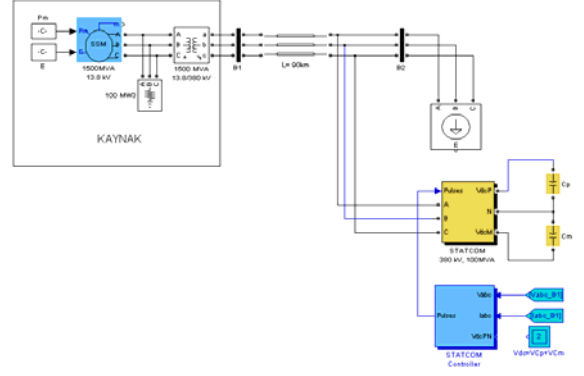
akımı Şekil 12 (b)'de gösterilmiştir. Bu devrede herhangi bir kompanzasyon yapılmamıştır.

Şekil 12 (a)'dan da görüldüğü gibi,  $V_{yük}$  gerilimi 0.1 sn'den itibaren 0.9659 pu'ye düşmüştür. Şimdi PI kontrollü ve bulanık mantık kontrollü durumlar incelenerek sonuçlar karşılaştırılacaktır.

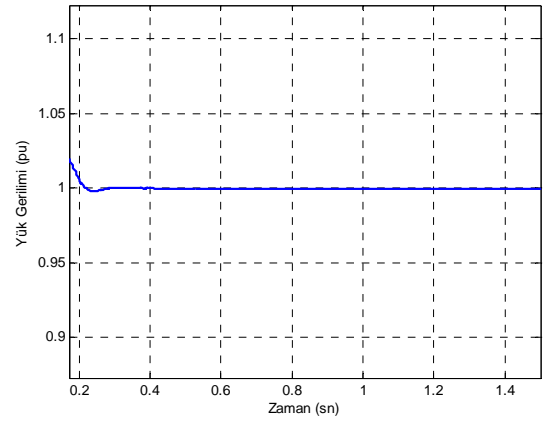
### 5.2. Dinamik Yüklü, İki Baralı, PI Kontrollü STATCOM Yapısı

Dinamik yüklü, iki baralı, PI kontrollü STATCOM yapısına ait blok diyagramın MATLAB/SIMULINK ortamındaki görüntüsü Şekil 13'de gösterilmiştir.

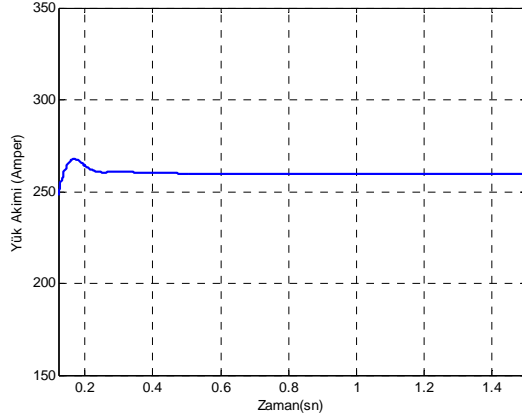
STATCOM'suz duruma göre sistemdeki gerilim dalgalanmaları önemli ölçüde azalmıştır ve yük gerilimi 0.9659 pu'dan 0.9995 pu'ya yükselmiştir. Bu devreye ait simülasyon sonuçları Şekil 14 (a) ve Şekil 14 (b) gösterilmiştir. Dinamik yüklü devre PI kontrollü STATCOM ile kontrol edildiğinde yük akımındaki dalgalanmalar azaldığı gibi yük gerilimi de yükselmiştir.



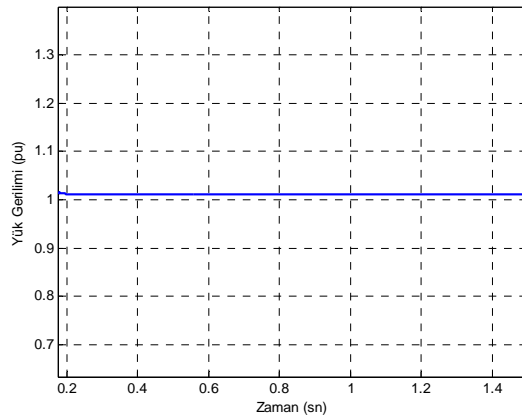
Şekil 13: Dinamik yüklü, iki baralı, PI kontrollü STATCOM devresi



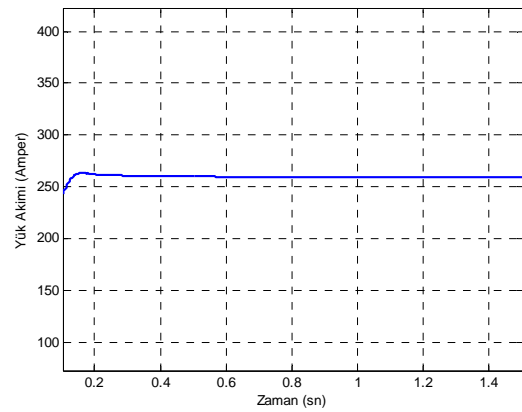
Şekil 14: (a) PI kontrollü STATCOM'lu yapıda yük gerilimi



Şekil 14: (b) PI kontrollü STATCOM'lu yapıda yük akımı



Şekil 15: (a) Bulanık mantık kontrollü STATCOM devresinde yük gerilimi



Şekil 15: (b) Bulanık mantık kontrollü STATCOM devresinde yük akımı

### 5.3. Dinamik Yüklü, İki Baralı, Bulanık Mantık Kontrollü STATCOM Yapısı

Şekil 13'de gösterilen devredeki STATCOM kontrolörü bloğu içinde verilen PI kontrolörün yerine tasarlanan bulanık mantık kontrolörlerin kullanılması durumun inceleyelim. Bulanık mantık kontrollü, iki baralı ve dinamik yüklü STATCOM

devresinin simülasyon sonuçları Şekil 15'de görülmektedir. Şekil 15 (a)'dan da görüldüğü gibi gerilim dalgalanmaları giderilmiş ve yük gerilimi 1.011 pu'e yükselmiştir.

Tablo 1'de STATCOM'suz, PI kontrollü ve bulanık mantık kontrollü durumlarda elde edilen yük gerilimi değerleri tablo halinde gösterilmiştir. Tablo 1'den de görüldüğü üzere, PI Kontrollü STATCOM yük barasının pu gerilim değerini artırmakla beraber bulanık mantık kontrolör yük barasının gerilimini, PI kontrolörden daha fazla artırmaktadır.

Tablo 1: STATCOM'suz, PI ve bulanık mantık kontrollü durumlarda elde edilen yük gerilimi

STATCOM'suz Devre $V_{yük}$ (pu)	PI Kontrolör $V_{yük}$ (pu)	Bulanık mantık Kontrolör $V_{yük}$ (pu)
0.9659	0.9995	1.011

## 6. Sonuçlar

Bu çalışmada Statik senkron kompanzator tasarımı MATLAB/SIMULINK, güç sistemleri blokseti ve bulanık mantık araç kutucuğu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Burada STATCOM önce PI kontrolörle daha sonra ise bulanık mantık kontrolör ile kontrol edilerek iki baralı dinamik yüklü sistem için, STATCOM'suz, PI kontrollü STATCOM'lu ve bulanık mantık kontrollü STATCOM'lu durumların simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

Sonuçlardan da görüldüğü gibi yük gerilimi bulanık mantık kontrollü STATCOM'lu sistemde daha çok artmıştır. İncelenen sistemde STATCOM umulduğu gibi gerilim regülasyonunu hatasız bir biçimde düzenlemektedir. Sonuç olarak STATCOM'u bulanık mantık kontrolör ile kontrol etmek daha etkin bir sonuç sağlamıştır.

## 7. Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından 104M235 nolu TÜBİTAK KARİYER projesi çerçevesinde desteklenmiştir.

## 8. Kaynakça

- [1] Mohagheghi S., Harley R. G., Venayagamoorthy G. K., Intelligent Control Schemes for a Static Compensator Connected to a Power Network, Second International Conference on Power Electronics Machines and Drivers, vol. 2, pp. 594-599, 2004.
- [2] Matsuno K., Iyoda I., Oue Y., An Experience of FACTS Development 1980s and 1990, 2002 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition : Asia Pacific, vol. 2, pp. 1378-1381, 6-10 Oct. 2002., Alfa Yayınları, Bölüm 8, Ocak 2002.
- [3] Yalçınöz T., Erbaş H., Yücel İ., Esnek Alternatif Akım İletim Sistemlerinde Kullanılan Elemanlar, Kaynak Elektrik, Enerji, Elektrik, Aydınlatma, Elektronik ve Otomasyon Mühendisliği Dergisi, No. 151, pp. 110-113, Kasım 2001.
- [4] Haque M.H., Use of Energy Function to Evaluate the Additional Damping Provided by a STATCOM, Electric Power Systems Research, vol. 72, no. 2, pp. 195, 2004.
- [5] Reed G. Paserba J. Croasdaile T. Takeda M., Morishima N., Hamasaki Y., Thomas L., Allard W., STATCOM Application at VELCO Essex Substation, IEEE/PES,

- Transmission and Distribution Conference and Exposition 2001, vol. 2, pp. 1133-1138, 2001.
- [6] Eminoğlu U., Herdem S., Yalçınöz T., İnvörtör Temelli FACTS Cihazları Kullanılarak Reaktif Güç Kompanzasyonu İle Gerilim Kontrolü, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Müh.10. Ulusal Kongresi, 18-21 Eylül.
- [7] Moursi M. S., Sharaf A. M., Novel Controllers for 48-Pulse VSC STATCOM and SSSC for Voltage Regulation and Reactive Power Compensation, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 20, no. 4 pp. 1985-1997, Nov. 2005.
- [8] Norouzi A.H., Sharaf A. M., Two Control Schemes to Enhance the Dynamic Performance of the STATCOM and SSSC, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 20, no. 1, pp. 435-442, Jan. 2005.
- [9] Norouzi A.H., Sharaf A. M., A Novel Control for the STATCOM Stability Enhancement, 2003 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, vol 1, pp. 24-29, 7-12 Sept. 2003.
- [10] Abido M. A., Weindl Ch., Herold G., STATCOM-Based Damping Stabilizers for Power System Stability Enhancement, 11th International Power Electronics and Motion Control Conference EPE-PEMC 2004, 2-4 Sept. 2004, Report A12.
- [11] Moon G. W., Predictive Current Control of Distribution Static Compensator for Reactive Power Compensation, vol. 146, No. 5, pp. 515-520, Sept. 1999.
- [12] Voraphonpiput N., Chatratana S., STATCOM Analysis and Controller Design for Power System Voltage Regulation, IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia and Pacific Dalian, China, pp.1-6, 15-18 Aug. 2005.
- [13] Assis T.M.L., Watanabe E.H., Pilatto L.A.S., Analysis of Steady State and Dynamic Performance of a Static Synchronous Compensator (STATCOM), The IPST Conference, pp. 219, 2001.
- [14] Kumkratug P., Haque M.H., Improvement of Damping of a Power System by STATCOM, AUPEC 2003, Australasion Universities Power Engineering Conference Christchurch, New Zealand, pp. 122, 28 September-1 October 2003.
- [15] TMMOB, Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi "Reaktif Güç Kompanzasyonu " seminer notları, İstanbul, 1999.
- [16] Bayram M., Kuvvetli Akım Tesislerinde Reaktif Güç Kompanzasyonu, Birsen Yayınevi, Bölüm 1, Ocak 2000.
- [17] Yixin N., On M. L., Zyenyu H., Shousun C., Baolin Z., Fuzzy Logic Damping Controller for FACTS Devices in Interconnected Power Systems., 1999 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, vol. 5, pp. 591-594, 30 May.-2 June 1999.
- [18] Zhang X. P., Handschin E., Yao M., Multi-Control Functional Static Synchronous Compensator (STATCOM) in Power System Steady-State Operation, Electric Power Systems Research, vol. 72, no. 3, 2004.
- [19] Freitas W., Morelato A., Comparative Study Between Power System Blockset and PSCAD/EMTDC for Transient Analysis of Custom Power Devices Based on Voltage Source Converter, International Conference on Power Systems Transients - IPST'2003, vol. 1, pp.1-6, New Orleans, Estados Unidos, 2003.
- [20] Eminoğlu U., Herdem S., Yalçınöz T., Değişken Yüklü Güç Sistemlerinin Gerilim Kontrolünde SVC ve STATCOM FACTS Kontrolörlerinin Performanslarının Karşılaştırılması, EVK'2005, I. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, 17-18 Mayıs 2005.
- [21] Yolaç U. Tristör Kontrollü Seri Kapasitör ve Uygulamaları Yüksek Lisans Tezi, N.Ü.F.B.E., Niğde, Temmuz 2005.
- [22] Chen G, Ying H., Stability Analysis of Nonlinear Fuzzy PI Control Systems, The Third International Conference on Industrial Fuzzy Control and Intelligent Systems, pp. 128-133, 1-3 Dec. 1993.
- [23] Mak L. O., Ni Y. X., Shen C. M., STATCOM with Fuzzy Controllers for Interconnected Power Systems, Electric Power Research, vol 55, pp. 87-95, 2000.
- [24] The MathWorks, Inc, MATLAB, Fuzzy Logic Toolbox User's Guide , 2002.
- [25] Mohagheghi S., Venayagamoorthy G. K., Rajagopalan S., Harley R. G., Hardware Implimentation of a Mamdani Fuzzy Logic Controller for a Static Compensator in a Multimachine Power System, Industry Application Conference, vol. 2, pp. 1286-1291, 2-6 Oct. 2005.