

## Statik senkron kompanzatörün bulanık mantık temelli kontrolör ile tasarımı ve analizi

Yasin Genç<sup>\*1</sup>, Ertan Yanıkoğlu<sup>2</sup>

*11.06.2015 Geliş/Received, 28.08.2015 Kabul/Accepted*

### ÖZ

Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle birlikte güç kalitesinin önemi artmıştır. Bundan dolayı güç kalitesi problemlerinin giderilmesinde kullanılan esnek alternatif akım iletim sistemleri (FACTS) kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu çalışmada, güç kalitesi problemlerinin giderilmesinde sıklıkla kullanılan bir FACTS cihazı olan statik senkron kompanzatör (STATCOM) hem geleneksel kontrol teorisi temelli P, PI kontrolörler ile hem de bulanık mantık temelli kontrolör ile gerçekleştirilmiştir. MATLAB/Simulink ortamında tasarlanan bir test devresi ile geleneksel kontrol teorisi temelli P,PI kontrolörler ile bulanık mantık temelli kontrolör karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bulanık mantık temelli kontrolör ile tasarlanan STATCOM, geleneksel kontrol teorisi temelli P, PI kontrolörler ile tasarlanan STATCOM' a göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** STATCOM, FACTS, güç kalitesi, bulanık mantık, geleneksel kontrol teorisi

## Analysis and design of static synchronous compensator based on fuzzy logic controller

### ABSTRACT

Recently with development of technology, the importance of power quality have been increased. Due to flexible alternative current transmission systems (FACTS) are used in solve power quality problems, have been used extensively. This study; a static synchronous compensator device (STATCOM) that is a FACTS device are used in solving power quality problems, has designed according to both conventional control theory basis (P, PI controller) and fuzzy logic basis controller. P-PI controller with conventional control basis and fuzzy controller have been simulated in MATLAB/Simulink background through a designed test circuit and results have been compared. According to obtained results, STATCOM that is designed through fuzzy logic controller gives better results than devices that are designed according to conventional P-PI controller.

**Keywords:** STATCOM, FACTS, power quality, fuzzy logic, conventional control theory

---

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

<sup>1</sup> Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Sakarya – yasin.genc@ogr.sakarya.edu.tr

<sup>2</sup> Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Sakarya- yanik@sakarya.edu.tr

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Güç kalitesi problemi standart olmayan gerilim, akım ve frekanstan dolayı oluşur. Güç kalitesi için gerilim genliğinin sabit ve dalga şeklinin bozulmamış olması önemlidir [1, 2].

Günümüzde güç dağıtım sistemlerinde birçok güç kalitesi problemi oluşmaktadır. Bu güç kalitesi problemlerine reaktif güç yükü, gerilim sarkması, gerilim yükselmesi, harmonikler ve yüklerdeki dengesizlikler örnek verilebilir. Güç sistemlerinde plansız genişleme ve farklı tiplerde doğrusal olmayan yükler olmasından dolayı gerilim ayarlaması oldukça zordur [3]. Bu durum gerilim sarkması ve gerilim yükselmesi gibi birçok güç kalitesi problemine neden olmaktadır

Güç kalitesi problemlerini giderilmesinde birçok yöntem ve cihaz kullanılır. Son yıllardaki güç elektroniği gelişmelerinden dolayı esnek alternatif akım iletim sistemleri (FACTS) yaygınlaşmaktadır. FACTS cihazları, yüksek akım ve gerilim kapasitesine sahip güç elektroniği temelli bir sistem olup hat empedansı kontrolü ve reaktif güç kompanzasyonu ile güç sistemlerinde gerilim/akım kontrolüne imkân sağlar [4].

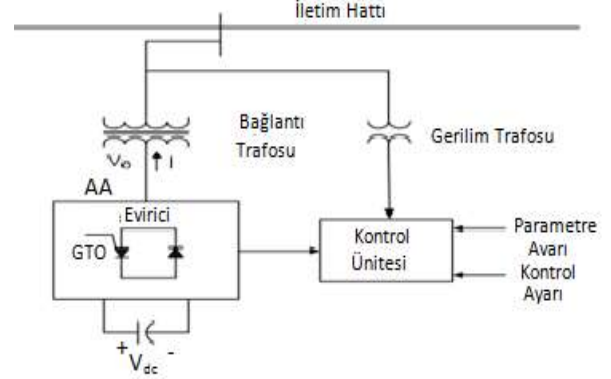
Statik senkron kompanzator (STATCOM) güç kalitesi problemlerini gidermede yaygın olarak kullanılan sisteme paralel bağlanan ve evirici tabanlı ikinci nesil FACTS cihazıdır [8, 9]. STATCOM güç sistemlerine bağlandığı noktada hat gerilimini kontrol eder [5, 6, 7].

Literatürde yapılan çalışmalarda STATCOM için birçok kontrolör tasarımı yapılmıştır [1, 3, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13]. Kontrolör tasarımında P, PI, PID, Bulanık mantık, yapay sinir ağları kullanılmıştır.

Yapılan çalışmalarda yaygın olarak geleneksel kontrol teorisi temelli PI-PID kontrolörler kullanılmıştır [1, 2, 3, 8, 11]. Bununla birlikte bulanık mantık vb. temelli kontrolörlerde kullanılmıştır [5, 7, 10, 13]. Bu çalışmada bulanık mantık temelli kontrolör STATCOM için tasarlandı ve elde edilen sonuçlar geleneksel kontrol teorisiyle karşılaştırıldı.

## 2. STATCOM MODELİ (MODEL OF STATCOM)

Temel olarak STATCOM, iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım gerilim kaynaklı evirici ve ikincisi kontrolördür [14]. Şekil 1'de STATCOM'un genel yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1. STATCOM genel yapısı (The general structure of STATCOM)

Gerilim kaynaklı evirici güç elektroniği temelli bir devreden oluşur. Herhangi bir büyüklükte, frekans ve faz açısına sahip sinüzoidal gerilimi üretir. Gerilim kaynaklı eviriciler yaygın olarak ayarlanabilir hız devrelerinde ve gerilim sarkma problemini azaltmada kullanılır. Evirici ile doğru akım gerilimi çıkışta istenen gerilimi oluşturmak için kullanılır [14].

STATCOM yapısı içerisindeki kontrolörün amacı ise arızalı sistem altında, bağlandığı noktada sabit gerilim genliğini sürdürmektir [14]. Kontrolör kısmı hem geleneksel hem de bulanık mantık ile tasarlanmıştır.

Aktif gücün değişimi sadece doğru akım (DA) geriliminin kontrolü için kullanılır. Evirici çıkış gerilimi alternatif akım (AA) geriliminden ileride ise evirici AA sistem için aktif güç üretir. Bu işlem için enerji DA enerji depolama kaynağı tarafından sağlanır. Eğer evirici çıkış gerilimi AA sistem geriliminden geride ise evirici AA sistemden güç çeker. Bu durumda kondansatör sarj olur [15].

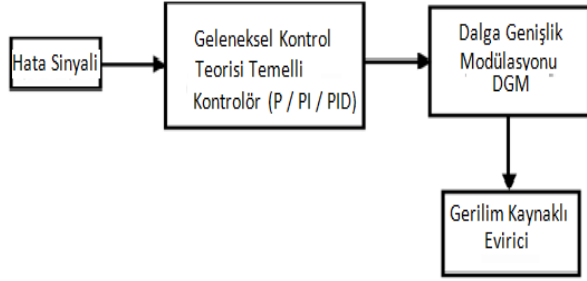
## 3. STATCOM KONTROLÜ (CONTROL OF STATCOM)

STATCOM kontrol yapısı içerisinde bulunan gerilim ayarlama bölümünü MATLAB/Simulink ortamında PI kontrol ile tasarlanmıştır. Ayrıca gerilim ayarlama bölümü hem P kontrolör hem de bulanık mantık kontrol ile tasarlanmıştır.

### 3.1. Geleneksel Kontrolör Tasarımı ( Conventional Controller Design)

Geleneksel kontrol teorisi temelli P, PI, PID kontrolörlerin endüstride uygulamaları oldukça yaygındır [12]. Şekil 2'de STATCOM modeli içerisinde geleneksel kontrol teorisi temelli kontrolörlerin kullanımı gösterilmiştir. Hata sinyali sistemin gerilimi ile referans geriliminin farkı ile elde edilir. Tasarım aşamasında doğrusal olmayan sistemler için tasarımı

zordur ve bu durumda denklemler doğrusallaştırılmalıdır.



Şekil 2. STATCOM için geleneksel kontrol teorisi temelli kontrolör (Conventional control theory based controller for STATCOM)

### 3.2. Bulanık Mantık Kontrolör Tasarımı (Fuzzy Logic Controller Design)

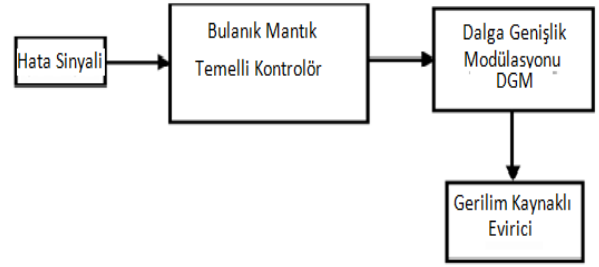
Doğrusal olmayan sistemlerin matematiksel olarak modellemek oldukça zordur. Sistemin ilk önce doğrusallaştırılması gerekmektedir. Ancak bulanık mantık ile doğrusal olmayan sistemler modellenebilir. Bulanık mantık sistemler dilsel ifadelerle dayalı olarak oluşturulur. Oluşturulan bir algoritma, uzman bilgisine dayanarak dilsel ifadelerle çevrilir [16].

Matematiksel modellerin veya diğer uzman sistemlerin aksine, bulanık mantık kontrolörler insan bilgisini açık bir ifadeyle temsil edebilirler [17].

Bulanık mantık sistemler doğrusal olmayan sistemlere göre daha esnek giriş ve çıkış değerleri sağlamaktadır [7]. Bulanık mantığın bazı avantajları aşağıda sıralanmıştır.

- Giriş ve çıkış değerleri dilsel ifadelerle belirlenir
- Doğrusal olmayan sistemler için matematiksel ifadelerle ihtiyaç duyulmaz
- 1 ve 0 gibi kesin ifadeler yoktur. Üyelik dereceleri bu aralıkta değer alır.
- Modelleme yapılırken uzman kişinin deneyiminden yararlanabilir.

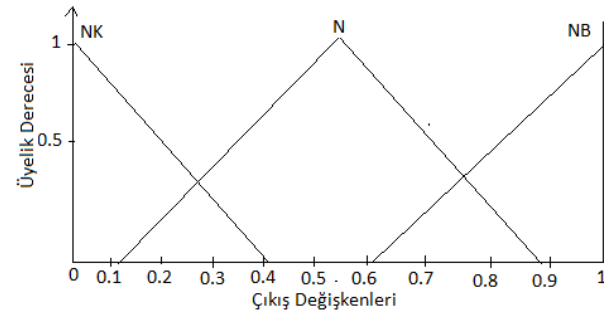
Şekil 3'te STATCOM modeli içerisinde bulanık mantık temelli kontrolörlerin kullanımı gösterilmiştir.



Şekil 3. STATCOM için bulanık mantık temelli kontrolör (Fuzzy logic-based controller for STATCOM) STATCOM için tasarlan bulanık mantık temelli kontrolör için bir giriş ve bir çıkış üyelik fonksiyonu tanımlanmıştır. Daha iyi sonuç vermelerinden dolayı üçgen üyelik fonksiyonları seçilmiştir. Giriş ve çıkış için üç tane üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Bulanıklaştırma olarak merkezi ağırlık yöntemi kullanılmıştır. Oluşturulan kurallar deneme yanılma ve uzmanlık bilgisi temel alınarak belirlenmiştir. Şekil 4. ve Şekil 5'te sırasıyla giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.



Şekil 4. Giriş üyelik fonksiyonları (Input membership functions)



Şekil 5. Çıkış üyelik fonksiyonları (output membership functions)

Şekil 5'te kısaltma ile tanımlanan çıkış üyelik fonksiyonları aşağıda verilmiştir.

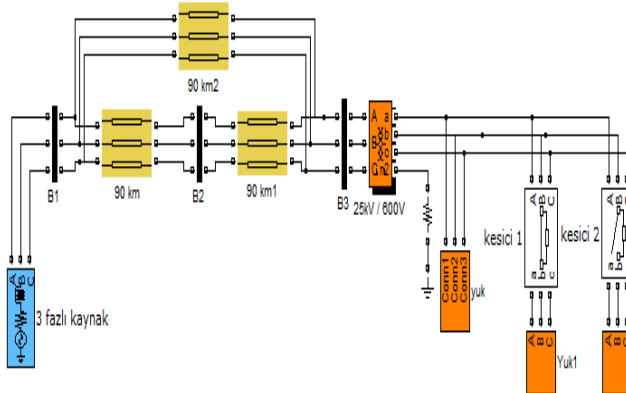
- NK : Normal Küçük
- N : Normal
- NB : Normal Büyük

Giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları verilen sistem için toplam 7 kural oluşturulmuştur. Kural sayılarının artırılması hassasiyeti artırır. Ancak hassasiyet artıkça sistemin hata vermesi kolaylaşır. Tanımlanan 7 kural aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- 1. Eğer giriş “Küçük” ise çıkış “NK”
- 2. Eğer giriş “Küçük” ise çıkış “N”
- 3. Eğer giriş “Büyük” ise çıkış “NK”
- 4. Eğer giriş “Büyük” ise çıkış “N”
- 5. Eğer giriş “Büyük” ise çıkış “NB”
- 6. Eğer giriş “Orta” ise çıkış “NK”
- 7. Eğer giriş “Orta” ise çıkış “NB”

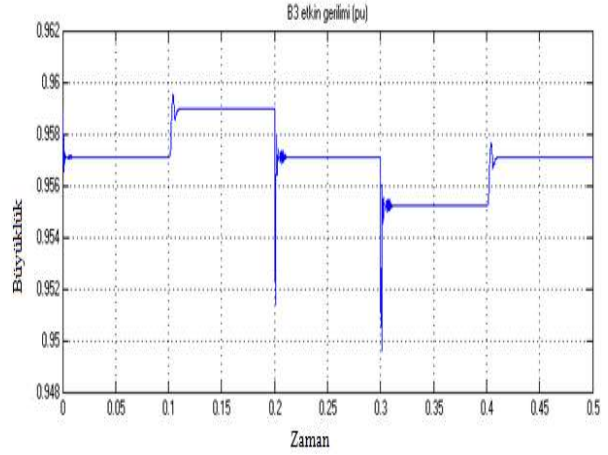
#### 4. SİMÜLASYON SONUÇLARI (SIMULATION RESULTS)

MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilen devre Şekil 6’da verilmiştir. Devre üç baradan oluşmaktadır. B1 ile B2 ve B2 ve B3 baraları arasında 90 km mesafe vardır. B1 ve B3 arasında ise 90 km vardır. Devrede bulunan üç yükten biri sabit değerleri ise sistemde anlık gerilim değişimi sağlamak için belirli aralıklarla açılıp kapatılacaktır. Yük 1 ilk olarak sistemdedir ve 0.1 ve 0.2 saniye aralıklarında sistemden çıkarılacaktır. Yük 2 ise ilk olarak sistemde değildir ve 0.3 ve 0.4 aralıklarında sisteme girecektir. Yapılan simülasyon çalışmasının amacı; yüklerden ve mesafeden oluşan gerilim düşümüne ve yüklerin sisteme girmesi ve çıkmasıyla oluşan gerilim değişimine STATCOM’un cevabını araştırmaktır.



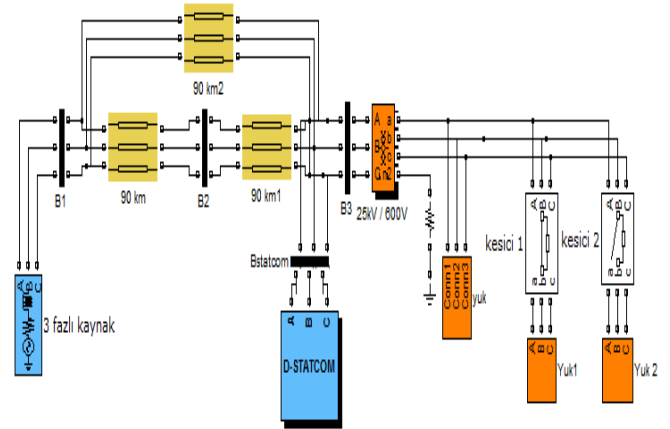
Şekil 6. MATLAB/Simulink ortamında tasarlanan devre (MATLAB / Simulink-based circuit design)

STATCOM ilk olarak geleneksel kontrol teorisi temelli P, PI kontrolör ile daha sonra bulanık mantık kontrolör ile tasarlanmış ve sırasıyla sisteme bağlanmıştır. Şekil 7’de sistemde STATCOM bağlı olmadığı durumda yükün (B3) etkin gerilimi gösterilmiştir. Gerilim değeri 1 pu değerinden düşük ve yüklerin devreye girmesi ve çıkması ile yük geriliminde yükselme ve düşme olduğu görülmektedir.



Şekil 7. STATCOM'suz devrede yük geriliminin etkin değeri (The effective value of the load voltage circuit without STATCOM)

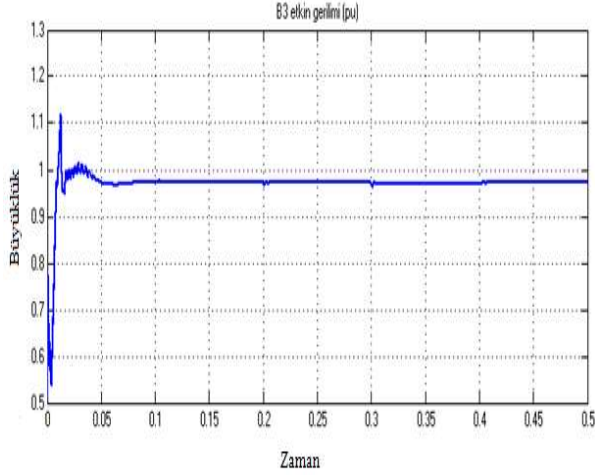
Şekil 8’de sisteme STATCOM bağlı devre modeli verilmiştir.



Şekil 8. STATCOM bağlı devre (STATCOM connected circuit)

#### 4.1. P Kontrollü STATCOM (P Controlled STATCOM)

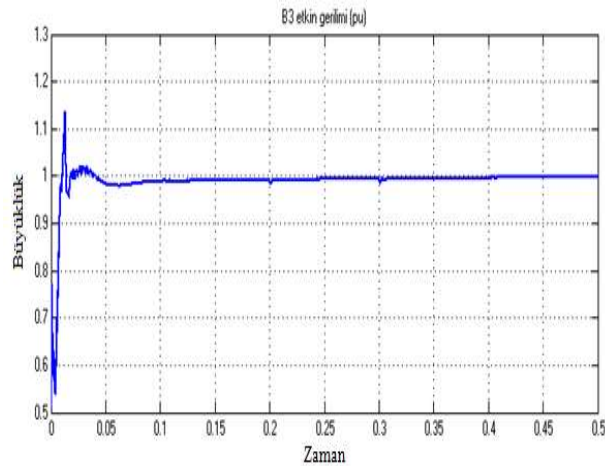
P kontrolör ile tasarlanan STATCOM devreye bağlandığında yük geriliminde meydana gelen değişim Şekil 9’da gösterilmiştir. P kontrollü STATCOM bağlı iken yük gerilimi STATCOM’suz devreye göre 1 pu değerine daha yakındır. Yük geriliminin etkin değeri 0.9571 pu’dan 0.9723 pu değerine yükselmiştir.



Şekil 9. P kontrollü STATCOM devrede bağlı iken yük geriliminin etkin değeri (pu) (P controlled STATCOM effective value of the load voltage when connected to a circuit (pu))

#### 4.2. PI kontrollü STATCOM (PI Controlled STATCOM)

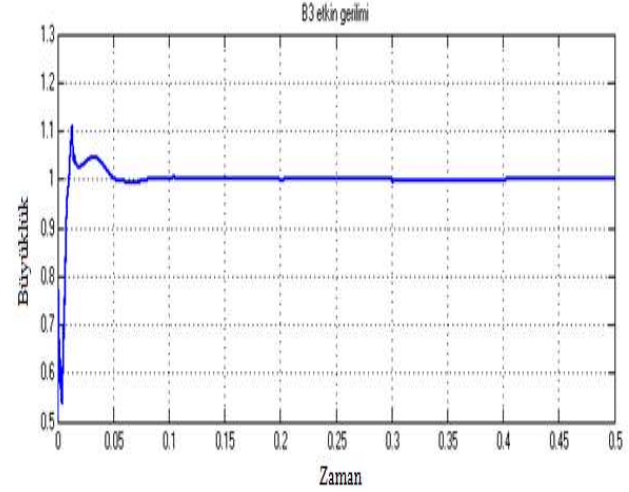
PI kontrolör ile tasarlanan STATCOM devreye bağlandığında yük geriliminde meydana gelen değişim Şekil 10'da gösterilmiştir. PI kontrollü STATCOM bağlı iken yük gerilimi STATCOM'suz devre ve PI kontrollü STATCOM bağlı devreye göre 1 pu değerine daha yakındır. Yük geriliminin etkin değeri 0.9878 pu değerine yükselmiştir. Ayrıca P kontrollü STATCOM devreye bağlı iken yük geriliminde oluşan salınım azalmıştır.



Şekil 10.PI kontrollü STATCOM devrede bağlı iken yük geriliminin etkin değeri (pu)( PI controlled STATCOM effective value of the load voltage when connected to a circuit (pu))

#### 4.3. Bulanık mantık kontrollü STATCOM (Fuzzy Logic Controlled STATCOM)

Bulanık mantık temelli kontrolör ile tasarlanan STATCOM devreye bağlandığında yük geriliminde meydana gelen değişim Şekil 11'de gösterilmiştir. Bulanık mantık temelli kontrolör diğer üç duruma göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Yük geriliminde oluşan salınım çok azalmış ve gerilim istenilen 1 pu değerine ulaşmıştır.



Şekil 11. Bulanık mantık kontrollü STATCOM devrede bağlı iken yük geriliminin etkin değeri (pu)( Fuzzy logic control effective value of the load voltage when connected STATCOM circuit (pu))

#### 5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapılan çalışmada STATCOM tasarımı hem geleneksel kontrol teorisi ile hem de bulanık mantık kontrol teorisi ile tasarlanmıştır. MATLAB/Simulink ortamında tasarlanan devre ile STATCOM'un yük geriliminde meydana gelen değişim gözlemlenmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre bulanık mantık temelli kontrolör ile tasarlanan STATCOM geleneksel kontrol teorisi temelli kontrolör ile tasarlanan STATCOM'a göre daha iyi ve tam istenilen değeri vermiştir. Tablo 1'de elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tablo 1. Sonuçlar (Results)

STATCOM' suz yük gerilimi (pu)	P kontrolör bağlı yük gerilimi(pu)	PI kontrolör bağlı yük gerilimi(pu)	Bulanık mantık kontrolör bağlı yük gerilimi (pu)
0.9571	0.9723	0.9878	1

## 7. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmanın hazırlanmasında beni yüksek lisans eğitimim boyunca TÜBİTAK 2211 yurt içi lisansüstü burs programı kapsamında destekleyen TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

### EK 1 (ANNEX 1)

#### 3 Fazlı Kaynak:

Gerilim : 25kV /faz- faz arası  
Faz açısı : 19°  
Empedans(R,L) : 0.625 ohms, 0.01657 H

#### Yük 1:

Aktif güç : 100 M W  
Reaktif Güç : 0.8 MVar

#### Yük 2:

Aktif güç : 100 M W  
Reaktif Güç : 1 MVar

#### Transformatör:

Çevirme oranı : 25 kV/600V

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] P. Rani, A. Sharma, "Power Quality Enhancement By Improving Voltage Stability Using DSTATCOM", IJRET, vol. 03, no. 4, pp:368-373, Apr-2014
- [2] C. Pradeep, I. Raghavendar, "Modelling and Simulation of a D-STATCOM By Using Space Vector Pulse Width Modulation", SSRG-IJEEE, vol. 2, no. 1, pp: 1-7, Jun 2014
- [3] V. Nirmala, M. Venkata, A. "Chandra, P. Prasad, Comparison of Three Leg and Four Leg VSC DSTATCOM For Power Quality Assesment", IOSR-JEEE, Volume 6, Issue 5, pp : 43-49 Aug 2013
- [4] S. Balasubraaniyan, T.S. Sivakumaran, S. Rathinambal, "Voltage Sag Mitigation in Connected System Using Current Source Converter Based DSTATCOM", ACEEE, Vol. 4, No. 2, pp:74-78, Aug 2013
- [5] S. Mohagheghi, S. Rajagopalan, "Hardware Implementation of a Mamdani Fuzzy Logic Controller For a Static Compensator in a Multimachine Power System", IEEE, vol. 45, no:4, pp:1535-1544, July- August 2009
- [6] N. G. Hingorani, L. Gyugyi, "Understanding FACTS Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems", IEEE Press, 1999
- [7] S. Mohagheghi, R. Harley, G. Venayagamoorthy, "Modified Takagi –Sugeno Fuzzy Logiv Based Controller for a Static Compensator in a Multimachine Power System", IEEE, 2004, pp:2637-2642
- [8] V. Vishwakarma, N. Saxena, "Mitigation Of Power Quality Problems By DSTATCOM", IJEER, Vol. 2, no. 2, pp:158-165, April –June 2014
- [9] B. Singh, A. Srivastava, Manisha, "Application of FACTS Controllers", JAS, 8-1, pp:1-24, 2014
- [10] T. Zaveri, B.R. Bhalja, N.Zaveri, "Simulation and Analysis of Control Strategies For DSTATCOM", ACEEE, Vol. 1, No: 1, pp:52-56, July 2010
- [11] B.G. P. Reddy, V. O. Reddy, "Mitigation of Fault in the Distribution System By Using Flexible Distributed Static Compensator", IJMERE, Vol. 3, no. 4, pp:2367-2373, July-Aug. 2013
- [12] S.G.Thakare, H.S. Dalvi, K.D. Joshi, "STATCOM Based Fuzzy Controller For Grid Connected Wind Generator", IEEE, 2009
- [13] L.Saribulut, i.Eker, M. Tümay, "İletim Hatlarında Güç Akışının Bulanık Mantık Tabanlı Birleşik Güç Akış Kontrolcüsü ile Denetimi", Çukurova Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi 30. Yıl Sempozyumu, Ekim 2008
- [14] S.B.Pandya, M.C. Chudasama, "Simulation Of D-STATCOM to Study Voltage Stability in Distribution System", IJSRD, Vol. 1, no. 3, pp: 510-512, 2013
- [15] F.A.Aksoy, T. Yalçınöz, "Bulanık Mantık Kontrollü Statik Senkron Kompanzatorlerin Tasarımı ve Uygulaması", 12. Elektrik, Elektronik Bilgisayar Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi ve Fuarı, 14-18 Kasım 2007, Eskişehir
- [16] C.C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller, IEEE Transactions on Systems", Vol. 20, no. 2, pp:404-435, March-April 1990
- [17] Y.H. Song, A.T.Johns, "Applications of Fuzzy Logic in Power Systems, Part 2: Comparison And Integration with Expert Systems, Neural Networks and Genetic Algorithms", IEE Power Engineering Journal, pp:185-190, August, 1998