

Yeni Bir STATCOM Modeli ve PI ve Bulanık Mantık Denetimi

A New STATCOM Model and PI and Fuzzy Logic Control

Hasan DİRİK¹, Muammer ÖZDEMİR²,

^{1,2} Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
hasan_dirik@hotmail.com, ozdemirm@omu.edu.tr

Özet

Bu çalışmada esnek alternatif akım iletim sistemi yapılarından olan STATCOMun öncelikle bilgisayar benzetimi çalışmalarında kullanılmak üzere yeni bir modeli geliştirilmiştir. Bu model örnek bir güç sistemi üzerinde kullanılarak iki farklı denetleyici yapısının denetim başarımları incelenmiştir. Bu denetleyici yapıları geleneksel PI denetleyicisi ve bulanık mantık denetleyicileridir. Geliştirilen STATCOM modeli, 48-darbeli eviricinin giriş-çıkış etkin güç dengesine dayanmaktadır. Benzetim çalışmaları Matlab/Simulink ortamında yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında PI denetleyici yapısının STATCOM denetiminde yeterli başarımları gösterdiği görülmüştür. Kullanılan bulanık denetleyici ise tek giriş değişkenine ve yalnızca üç kurala sahip olmasına rağmen denetim işlevini başarılı bir şekilde yerine getirmiştir. Giriş değişkeni ve kural sayısında artış ile birlikte bu başarımın daha da iyileştirilebileceği aşiktır.

Abstract

In this study, firstly, a new model of STATCOM which is a structure of flexible a.c. transmission systems has been developed for carrying out computer simulations. Then, performances of two different controllers have been investigated by using this model in a sample power system. These controllers are conventional PI controller and fuzzy logic controllers. The STATCOM model is based on input-output active power balance of 48-pulse converter. The Simulation studies have been carried out on MATLAB/Simulink environment. The simulation results showed that PI controller structure has enough performance to control STATCOM. Also, although fuzzy logic controller used in simulation has only one input and three rules, it successfully performs control actions. It is obvious that performance of this controller can be further improved by increasing the number of input variables and rules.

1. Giriş

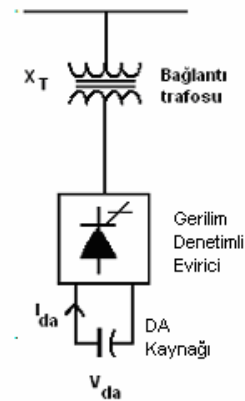
STATCOM (Statik Senkron Kompanzatör) güç elektroniği temelli bir esnek alternatif akım iletim sistemi yapısıdır. STATCOM bağlı olduğu şebekede meydana gelen değişimlere hızlı tepki verebilme yeteneği ile dinamik kararlılığa önemli

derecede katkıda bulunabilmektedir. Bu yetenek STATCOM yapısında kullanılan denetim devresi ile oldukça yakından ilgilidir. Denetim işlemi eskiden beri PID türü doğrusal denetleyicilerle yapılmakta iken son yıllarda bulanık mantık ve yapay sinir ağları gibi doğrusal olmayan denetim teknikleri de öne çıkmaktadır. Dinamik sistemler için geliştirilen denetleyicilerin test edilmesinde bilgisayar benzetimleri oldukça önemli yer tutar. Benzetimlerde kullanılan yöntem kadar kullanılan modelin gerçeği ne kadar temsil edebildiği de önemlidir.

Burada öncelikle STATCOMun kısa bir tanıtımı yapılmış ve 48-darbeli evirici için güç dengesini eşitliklerinden yararlanılarak geliştirilen STATCOM modeli anlatılmıştır. Daha sonra modelin denetiminde kullanılmak üzere PI ve bulanık mantık denetleyiciler tanıtılmıştır. Son olarak bu model ve denetleyiciler kullanılarak örnek bir güç sistemi üzerinde yapılan bilgisayar benzetim çalışmaları ve sonuçları verilmiştir.

2. STATCOM

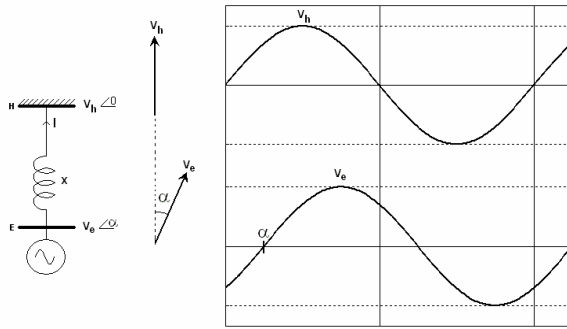
Şarj edilmiş bir sığaç bir doğru gerilim kaynağı olarak kullanılarak bir evirici ve bağlantı trafosu ile a.a sistemine bağlanabilmektedir. Evirici çıkışındaki gerilim hattaki gerilimden küçük veya büyük tutularak a.a sisteminden çekilen veya a.a sistemine verilen tepkin güç denetlenebilmektedir. İşte bu yapı (STATCOM) statik senkron kompanzatör olarak bilinmektedir. (Şekil 1)



Şekil 1: STATCOMun genel yapısı

Bir STATCOM aslında ideal bir senkron makineye yakındır. Öyle ki iki cihaz da temel frekansta dengeli 3 fazlı sinüzoidal gerilim üretirler. Bu gerilimin genliği ve faz açısı her ikisinde denetlenebilir. Fakat STATCOM eylemsizlik momentine sahip değildir. Dolayısıyla çok hızlı bir şekilde denetlenebilmektedir. Her ikisi endüktif veya kapasitif tepkin güç üretebilirler. STATCOM bir denetimli tepkin güç kaynağıdır. [1]

STATCOM genel yapı bakımından bir reaktans ve bu reaktansın gerisinde yer alan bir gerilim kaynağı ile temsil edilebilir. STATCOM un genel çalışma ilkesi Şekil 2'deki eşdeğer devreden yararlanılarak elde edilen çıkış barası (H barası) güç bağlantıları ile anlaşılabilir.



Şekil 2: STATCOM'un genel eşdeğer devre yapısı, gerilim fazörleri ve gerilim dalga biçimleri

H barası sabit genlik ve faz açılı (V_h genlikli ve 0 derece faz açılı) sonsuz güçlü bir şebekeye bağlantı barası olarak kabul edilebilir. Evirici çıkışındaki gerilimin genliği V_e , faz açısı α ve ara bağlantı reaktansı X olmak üzere H barasından STATCOM'un verdiği güçler aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$Q = \frac{V_h \cdot (V_e \cdot \cos \alpha - V_h)}{X} \quad (1)$$

$$P_s = \frac{V_h \cdot V_e}{X} \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

İdeal durumda toplam kayıpların sıfır olduğu düşünülürse $P_s = 0$ olmalıdır. Bu da ancak $\alpha = 0$ olması durumunda gerçekleşir. O halde ideal durum için tepkin güç akışı 3 farklı durumda gerçekleşebilir.

$$1. \text{ durum: } V_e > V_h \text{ durumunda } Q = \frac{V_h \cdot (V_e - V_h)}{X} > 0$$

olacaktır. Yani H barasından dışarıya bir tepkin güç verilir. STATCOM bağlı olduğu şebekede kapasitif bir yük gibi davranacaktır.

$$2. \text{ durum: } V_e = V_h \text{ durumunda } Q = \frac{V_h \cdot (V_e - V_h)}{X} = 0$$

olacaktır. Yani H barasında herhangi bir tepkin güç alışverişi olmayacaktır.

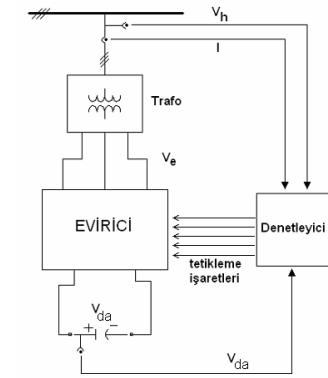
$$3. \text{ durum: } V_e < V_h \text{ durumunda } Q = \frac{V_h \cdot (V_e - V_h)}{X} < 0$$

olacaktır. Yani H barasından eviriciye doğru bir tepkin güç çekilir. STATCOM bağlı olduğu şebekede endüktif bir yük

gibi davranacaktır. Sığaç uç geriliminin sürekliliğinin sağlanması için trafo, evirici ve sığaç etkin güç kayıplarının H barasından karşılanması zorunludur. Bu yüzden α açısı gerçek uygulamalarda 0.1° - 2° arasında tutularak gerilimin devamlılığı sağlanır.

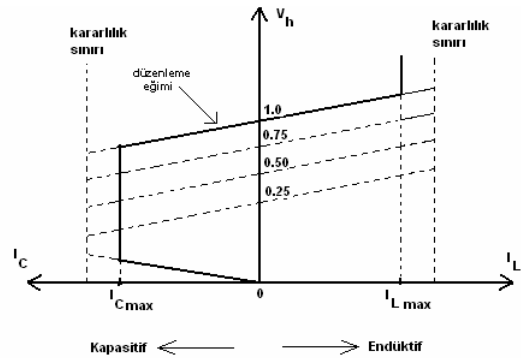
STATCOM'un H barasından verdiği yada çektiği tepkin gücün (Q) denetimi evirici çıkışındaki V_e geriliminin genliğinin değiştirilmesi ile mümkündür. O halde evirici girişindeki doğru gerilim ile çıkışındaki alternatif gerilim arasındaki doğrusal orantıdan dolayı tepkin gücün denetimi sığaç doğru gerilimi değiştirilerek yapılır. Bu amaçla sığacın amaca uygun olarak şarjı veya deşarjı yapılarak tepkin güç denetimi yapılabilir. Bu şekilde yapılan tepkin güç denetimi dolaylı denetim adımı alır. α açısı toplam kayıpların üstünde bir etkin gücün çekilmesini sağlayacak kadar büyük tutulursa sığaç şarj olacak ve evirici çıkışı gerilimi olan V_e gerilimi büyüyecektir.

Bu da STATCOM'un H barasından verdiği tepkin gücünün artmasını sağlayacaktır. Denetim işlemi Şekil 3'te gösterildiği gibi evirici çıkışındaki akım ve gerilim işaretleri işlenerek uygun tetikleme işaretlerinin üretilmesi ile sağlanır. Doğrudan denetim yönteminde evirici girişindeki sığacın gerilimi de denetim işaretlerinin üretilmesinde kullanılır. [2]



Şekil 3: STATCOM ve genel denetim yapısı

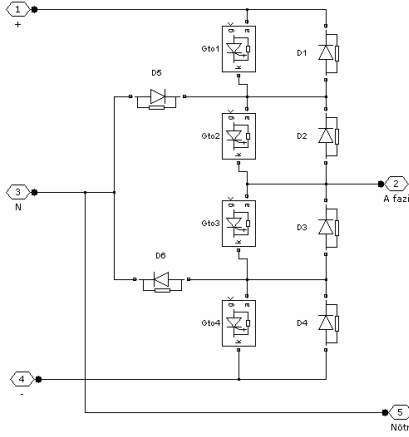
STATCOM denetiminde kullanılan ana düşünce uç geriliminin değişimine bağlı olarak üretilen veya tüketilen tepkin gücün değiştirilmesi fikridir. Uç gerilimi referans değerinin ne kadar üzerinde olursa STATCOM'un bağlı olduğu şebekeden o oranda tepkin güç çekmesi ve ne kadar altında olursa STATCOM'un bağlı olduğu şebekeye o oranda tepkin güç vermesi sağlanır. Bu durum STATCOM'un Şekil 4'teki akım-gerilim karakteristiğinde açıkça görülmektedir.



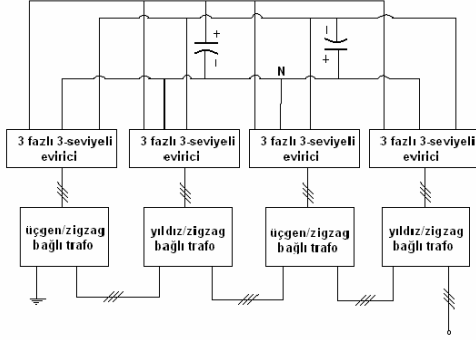
Şekil 4: STATCOM'un akım-gerilim karakteristiği

3. STATCOM Modeli

Evirici, STATCOM un temel yapı birimlerinden biri olup uygulamada kullanılan ve literatürde önerilen pek çok evirici yapıları mevcuttur. Burada kullanılan evirici 3-seviyeli 48-darbeli bir evirici olup burada bu eviricinin geçici kararlılık için uygun bir benzetim modeli geliştirilmiştir. 48-darbeli eviriciler 4 adet 3-fazlı ve 3-seviyeli evirici geriliminin yine 4 adet trafo üzerinden toplanması ile elde edilir. Şekil 5'te 3-fazlı eviricinin 1 faz yapısı ve Şekil 6'da 48-darbeli eviricinin genel yapısı verilmiştir. Evirici çıkış gerilimi harmonikli olup dalga biçmi Şekil 7'de gösterildiği gibidir. Toplam harmonik bozunum oranı % 3'ün altında olup bu oran pratik STATCOM uygulamaları için yeterli sayılabilecek bir değerdir.



Şekil 5: 1-fazlı, 3-seviyeli evirici yapısı



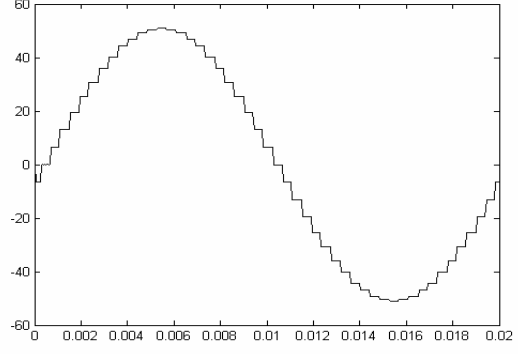
Şekil 6: 3-fazlı, 3-seviyeli, 48-darbeli evirici yapısı

Bu eviricinin girişindeki doğru gerilim ile çıkışındaki alternatif gerilimin temel harmonik bileşeni arasında

$$V_e = \frac{16}{\sqrt{2} \cdot \pi} \cdot V_{da} \quad (3)$$

eşitliği vardır. [3] Kayıpsız kabul edilen bir eviricinin AA uçlarından içeriye giren etkin güç ile DA uçlarından çıkan etkin güç birbirine eşit olacağından

$$P_{aa} = P_{da} \quad (4)$$



Şekil 7: 48-darbeli eviricinin çıkış gerilimi dalga biçimi

yazılabilir. 3-seviyeli eviricilerin DA tarafında iki adet eş kapasitede sığaç kullanılır. Bu sığaçların dolması yada boşalması tamamen eviriciden gelen güç ile doğru orantılı olduğundan d.a tarafındaki güç dengesi için

$$P_{da} = 2 \cdot U_{da} \cdot I_{da} \quad (5)$$

eşitliği yazılabilir. Eviricinin AA tarafından DA tarafına doğru akan etkin güç bir bağımlı ideal akım kaynağı ile modellendiğinde bu kaynağın akım değeri

$$I_{da} = \frac{P_{aa}}{2 \cdot U_{da}} \quad (6)$$

ile bulunabilir. Evirici anahtarlama kayıpları ve sığaç kayıpları evirici girişindeki sığaca paralel bir direnç ile modellenmiştir. [4] Bulunan bu eşitliklere uygun olacak şekilde MATLAB/Simulink ortamı benzetim çalışmalarında kullanılmak üzere geliştirilmiş olan STATCOM modeli Şekil 8'de verilmiştir.

Şekil 8'de verilmiş olan STATCOM modelinde alfa ve PLL denetim uçları sırasıyla evirici faz açısı ve senkronizasyon açısı girişlerini gösterir. Bu değerler pratikte anahtarlama elemanlarının ateşleme anlarının belirlenmesinde kullanılır.

Bu modelin hem doğrudan hem de dolaylı yolla STATCOM denetim benzetimlerinde kullanıma imkanı vardır. Doğrudan denetim yapılırken sığaç gerilimleri sabit tutulur. Bu amaçla modelde sığaç gerilimi ölçülerek denetim devresine verilir. Dolaylı denetimde sığaç geriliminin denetim devresine verilmesine gerek yoktur. Bir sonraki başlıkta yapılan bilgisayar benzetim çalışmalarında dolaylı denetim yöntemi ile geliştirilen STATCOM modelinin iki farklı şekilde denetim benzetimleri anlatılmıştır.

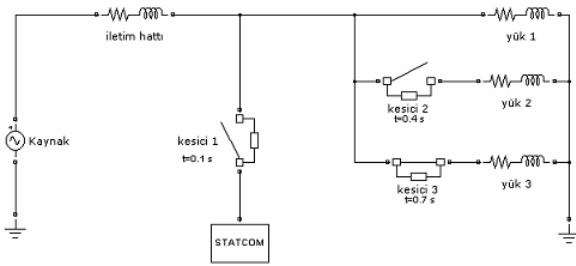
4. PI ve Bulanık Mantık Denetleyici Modelleri

Bir STATCOMun denetimi iki aşamalı işlem sonucunda yapılır. İlk aşamada STATCOMun bağlı olduğu baradaki gerilim değeri kullanılarak tepkin akım değeri hesaplanır. İkinci aşamada hesaplanan tepkin akım değerini sağlayacak şekilde evirici faz açısı belirlenir. Bu aşamaları içeren PI ve bulanık mantık denetleyici yapıları Şekil 9 ve 10'da verilmiştir.

2-Eğer dI_q S ise α S
 3-Eğer dI_q P ise α P şeklindedir. Denetleyicilerde kullanılan üyelik fonksiyonları Şekil 11’de verilmiştir. Her iki denetleyici Mamdani tip bulanık denetleyici olup durulaştırmada ağırlık merkezi yöntemi kullanılmıştır.

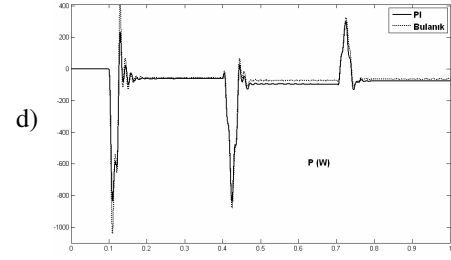
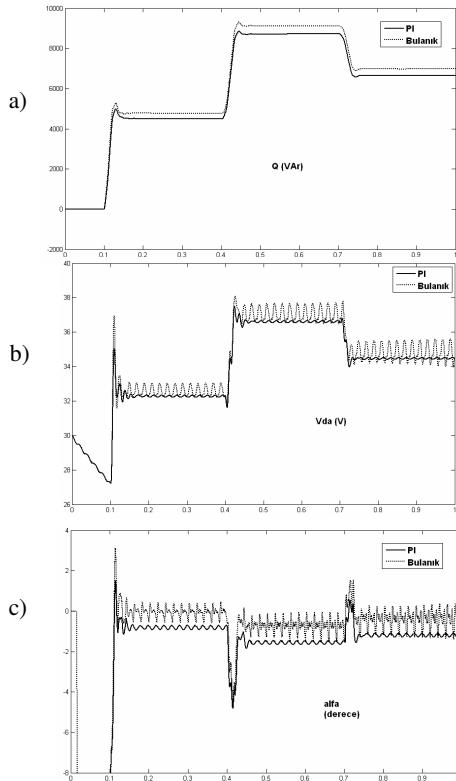
5. Benzetim Çalışmaları

Her iki denetim yapısı ayrı ayrı Şekil 12’de verilen örnek bir güç sisteminde kullanılarak STATCOMun nasıl bir tepki verdiği incelenmiştir. Benzetim çalışmaları 1 saniyelik zaman aralığında gerçekleştirilmiştir. Başlangıçta STATCOMun devrede olmadığı sistemde 0,1 saniye anında kesici-1 kapatılarak STATCOM devreye alınmıştır. 0,4 saniye anında kesici-2 kapatılarak sistemdeki yük 2 katına çıkarılmıştır. Daha sonra 0,7 saniye anında kesici-3 açılarak sistem yükü azaltılmıştır.



Şekil 12: Benzetim çalışmalarında kullanılan güç sisteminin tek hat şeması

Benzetimler MATLAB/Simulink ortamında yapılmış olup sonuçlar Şekil 13’te karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 13: Geliştirilen STATCOM modelinin iki farklı denetleyiciyle denetlenmesi durumunda a) tepkin güçlerin b) sığaç gerilimlerinin c) evirici faz açılarının d) çekilen etkin güçlerin değişimleri

6. Sonuçlar

Geliştirilen model STATCOMun güç sistemlerindeki dinamik kararlılık benzetimlerine uygundur. Elde edilen sonuçlara bakıldığında her iki denetleyici yapısının geliştirilen STATCOM modelinin akım-gerilim karakteristiğine uygun olacak şekilde referans tepkin akım değerlerini değiştirdikleri görülmektedir. Şekil 13.a’da her anahtarlama sonrası çekilen etkin güçte yüksek aşım değerleri görülmektedir. Bu aşım gerçekte sığacın dolması yada boşalması esnasında oluşan ani güç değişimleri olup denetimin yetersizliği anlamına gelmemektedir. Her iki denetim yapısı karşılaştırıldığında ilk bakışta PI denetimin bulanık denetime göre daha kararlı bir davranış gösterdiği görülmektedir. Bu durum aslında kullanılan PI denetleyicilerin parametrelerinin ne kadar iyi bir şekilde belirlenmiş olduğuna bağlı olduğu kadar kullanılan bulanık denetleyicilerde kullanılan üyelik fonksiyonu sayısına, kural sayısına ve üyelik fonksiyonu tiplerine de bağlıdır. Burada kullanılan bulanık denetleyiciler oldukça az sayıda üyelik fonksiyonu ve kurala sahiptirler. Bulanık denetleyicilerin doğrusal olmayan yapılarından dolayı uygun tasarım yapıldığında doğrusal yapıdaki PI denetleyicilerden daha iyi sonuçlar vereceği oldukça açıktır

7. Kaynaklar

- [1] Narain G. Hingorani, Lazlo Gyugyi, “Understanding Facts: Concepts and Technology of Flexible AC Transmission Systems “: November 1999, John Wiley & Sons, Incorporated.
- [2] Yong Hua Song (Editor), A. T. Johns , “Flexible AC Transmission Systems (Facts)” January 1999 , IEE Publication Series.
- [3] Zuniga-Haro P, Ramirez J. M, “Static Synchronous Series Compensator Based on 48-pulse VSC,” Power Symposium, 2005. Proceedings of the 37th Annual North American, 23-25 Oct. 2005, pp. 102-109.
- [4] C. Schauder and H. Mehta, Vector analysis and control of advanced static VAR compensators, IEE Proceedings—C 140 (4) (1993), pp. 299–306.
- [5] Amir H. Norouzi, A. M. Sharaf, “A novel control scheme for the STATCOM stability enhancement,” Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2003 IEEE PES, Vol.1, Sep. 2003, pp. 24-29.