

Üç Baralı Statik Yüklü Bir Sistemde TCSC'nin Bulanık Mantık ile Kontrolü

Uğur YOLAÇ¹

Tankut YALÇINÖZ²

Ayetül GELEN³

^{1,2,3} Niğde Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 51200, Niğde

uyolac@yahoo.com¹, tyalcinoz@nigde.edu.tr², agelen@nigde.edu.tr³

Anahtar Sözcükler: Kompanzasyon, TCSC, Gerilim Regülasyonu, Matlab/Simulink

Özetçe

Son yıllarda modern kompanzasyon yöntemlerini oluşturan FACTS (Flexible Alternative Current Transmission Systems) cihazları sistemlerin terminal ve hat gerilimi regülasyonları için sıkça kullanılmaktadırlar. FACTS cihazlarından biri olan TCSC (Thyristor Controlled Series Capacitor); seri kapasitör ekleyerek iletim hattının empedansını değiştirme kabiliyetine sahiptir. TCSC'nin yapısındaki tristörlerin tetikleme açısı kontrolü ile TCSC'nin empedansı hızlı ve düzgün bir şekilde ayarlanabilir. Bu bildiri; üç baralı, statik yüklü bir güç sisteminde kompanzasyon için TCSC kullanılmıştır. TCSC yapısındaki tristörlerin tetikleme açılarını kontrol etmek için Matlab/Simulink®, Güç Sistemleri Blok Seti ve Bulanık Mantık Araç Kutucuğu kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları Bulanık Mantık kontrolörünün çok baralı sistemlerde oldukça iyi cevaba sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca TCSC'nin kullanımı ile gerilim harmonik seviyelerinde de düşme görülmüştür.

1. Giriş

Gerilim kontrolü, gerilim regülasyonu, reaktif güç kontrolü, sürekli hal kararlılığı vb. güç sistemlerinin önemli problemleridir. Büyüyen ve karmaşıklaşan güç sistemlerinin üretim, iletim ve dağıtım kapasitelerinin artırılması, reaktif güç akışının neden olduğu kayıpların en alt düzeye indirilmesi ve kullanıma sunulan elektrik enerjisinin daha kaliteli hale getirilmesi amaçlarıyla reaktif güç kompanzasyonu gün geçtikçe daha yaygın bir biçimde uygulanmaktadır [1, 2].

Seri kondansatörler çok yüksek verimle kullanılan iletim hatlarında hattın endüktivitesi nedeni ile meydana gelen gerilim düşümünü önlemek ve hattın daha fazla yüklenebilmesini sağlamak amacıyla kullanılırlar. Artan güç iletimi talebinin anlamı daha çok iletim hattı ya da hat kompanzasyonu anlamına gelmektedir. Seri kompanzasyon, iletim hatların güç iletim kapasitesini artırmanın en ekonomik metodudur. Seri kapasitör ile kompanze edilen iletim hattında aşağıdaki gibi sonuçlar alınır [3].

- Seri kompanzasyonlu hattın taban güç akışı ve yüklenebilirliği artar,
- Kompanzasyonla azaltılan kayıplar, güç akışını artırır,
- Seri kompanzasyonlu hat ile sistemdeki diğer hatlar arasında güç akışı cevabı hızlıdır.

Mekanik anahtarlanmanın fiziksel problemler ortaya çıkarması ve kontaktörlerin ömrünün sınırlı olması, yarı iletken

teknolojinin gelişimiyle birlikte anahtarlama sistemlerinde kontaktörün yerinin tristörün almasına sebep olmuştur [4]. Modern kompanzasyon tekniklerinden Flexible AC Transmission Systems (FACTS, Esnek AC İletim Sistemleri) kontrolörleri sistemin ihtiyacı olan reaktif enerjiyi güç elektroniği kullanarak sağlamaktadırlar. FACTS kontrolörlerinin farklı tipleri IEEE, CIGRE ve EPRI dökümanlarında tanımlanmaktadır [5-9]. Tristör Kontrollü Seri Kapasitör (TCSC, Thyristor Controlled Series Capacitor) de IEEE, CIGRE ve EPRI tarafından tanınan hatta seri bağlanan bir kontrolördür [1, 10].

Ters paralel bağlı bir tristör grubuna seri olarak bir endüktörün bağlanması ile Tristör Kontrollü Reaktör (TCR) elde edilir. TCR yapısına paralel bağlı bir kondansatör eklenmesiyle de TCSC yapısı elde edilmiş olur [11-13]. TCSC ile kontrol daha çok 'empedans' tip kontrolüdür, örneğin gerilimle birlikte orantısal olarak akımın kontrol edilmesi gibi.

Bugüne kadar yapılan birçok çalışmada TCSC; ATP, PSASP, EMTD, SIMPOV, NETOMAC, PSCAD/EMTDC, MICROCAP gibi çeşitli Bilgisayar programları kullanılarak simüle edilmiştir. [14-19]. Bu bildiriye FACTS cihazlarından olan TCSC'nin davranışı üç baralı statik yüklü bir sistemde incelenmiştir. TCSC yapısında bulunan tristörün kontrolü için Bulanık Mantık kullanılmıştır ve çalışmalar Matlab/Simulink® ortamında SimPowerSystems Araçkutucuğu ve Bulanık Mantık Araçkutucuğu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bugüne kadar bazı çalışmalarda TCSC'yi incelemek amacıyla MATLAB kullanılmıştır. Ancak bu çalışmalarda SimPowerSystems Araçkutucuğu kullanılmamıştır. Bulanık Mantık ile yapılan çalışmalarda ise yazılım ile gerçekleştirmeler yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmaların odağında gerilim regülasyonu bulunmamaktadır [20-23]. Yapılan çalışmalar sonucunda, karmaşık sistemler için bulanık mantıklı kontrolün en iyi kontrollerden biri olduğu gösterilmiştir [24, 25]. Ayrıca bu tip bir kontrolün enerji sistemlerinde istenmeyen bir durum olan gerilim harmoniklerinin üzerinde de azaltıcı bir etkisi olduğu görülmüştür.

2. TCSC'nin Çalışma Prensipleri

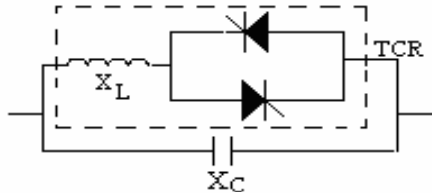
Seri kompanzasyon yapılarak hat empedansının kontrolü ile gerilim büyüklüğü, faz açısı ve hat akımının kontrolünün yanı sıra güç faktörünün ve güç transferinin artırılması da mümkündür [26, 27]. Hat kapasitansı ve direncinin ihmal edilmesi durumunda hattın aktarılan aktif ve reaktif güç,

$$P = \frac{V_s V_r}{X_L} \sin \delta \quad (1)$$

$$Q = \frac{1}{X_L} (V_s V_r \cos \delta - V_s^2) \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Burada V_s , V_r sırasıyla hat başı ve hat sonu gerilimlerinin etkin değeri, X_L hattın endüktif reaktansı ve δ gerilimler arasındaki faz farkıdır.

TCSC güç sistemine seri olarak bağlanmaktadır. TCSC'nin endüktif veya kapasitif olarak çalıştırılması ile hat empedansının geniş aralıkta kontrolü yapılmaktadır. TCSC; ters paralel bağlı iki tristör ve bu tristörlere seri bağlı bir adet endüktans ile bu gruba paralel bağlı bir adet sabit kondansatörden meydana gelmektedir. TCSC'ye ait temel devre şeması Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. TCSC devre şeması

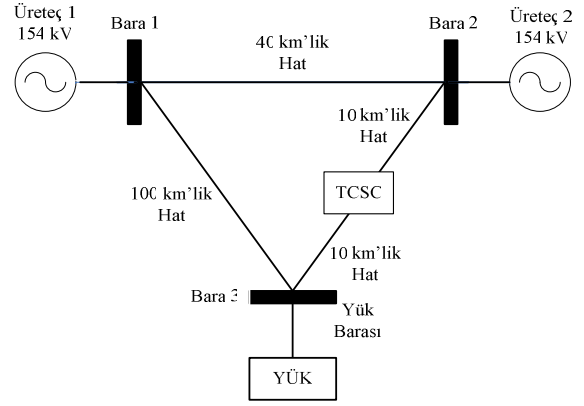
Tristörler simetrik olarak 90° ile 180° arasında tetiklenerek TCSC reaktansı; X_L ile X_C arasında değiştirilmektedir [4, 28]. TCR reaktansının, kondansatör reaktansından büyük değerleri için TCSC kapasitif, küçük değerlerinde ise TCSC endüktif olarak çalışmaktadır. Eşit olması durumunda paralel rezonans oluşmakta ve böylece TCSC akımı sıfır olmaktadır. Rezonans durumu X_C/X_L oranına bağlı olup bu oran TCSC'nin endüktif ve kapasitif olarak çalışma aralığına bağlı olarak değişmektedir. TCSC eşdeğer reaktansı TCR reaktansı ile kapasitör reaktansının paralel eşdeğerinden elde edilir [4]

$$X_E = X_C \frac{\pi / r_x}{\sin 2\alpha - 2\alpha + \pi(2 - 1/r_x)} \quad (3)$$

Burada $r_x = X_C/X_L$ ye eşit olup kompanzatörün endüktif ve kapasitif çalışma aralığına göre belirlenir. α ise tetikleme açısıdır. Rezonans tetikleme açısında TCSC empedansı sonsuz değer almaktadır [29].

3. Üç Baralı Statik Yük Modeline Bağlı TCSC Yapısı

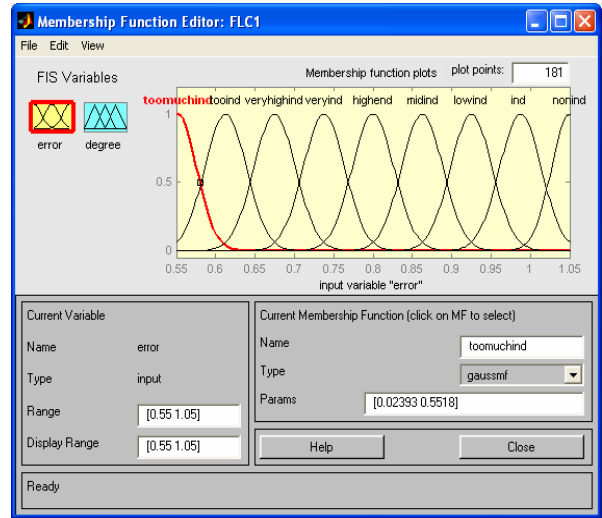
Şekil 2'de üç baralı TCSC bağlı bir enerji sistemi görülmektedir. Bara 3'e (yük barası) seçimimize göre değişik yükler bağlanabilmektedir. Bu çalışmada seri bağlı omik-endüktif eleman içeren statik yük tipi kullanılmıştır. Sistem; üç fazlı olarak 154 kVrms'lik, şebeke gerilimi ve 50 Hz'lik şebeke frekansında çalışmaktadır. Bu tür bir çalışma sisteminde yük barasından elde edilen ölçme sonucu kontrol elemanına verilmektedir. Kontrol elemanı TCSC yapısındaki tristörlerin tetiklenmesi için kullanılmaktadır. Bu çalışmada kontrolör olarak ta Bulanık Mantık seçilmiştir.



Şekil 2. TCSC'li 3 baralı hattın genel görünümü

4. TCSC'li Sistemin Matlab/Simulink Modeli

TCSC uygulamasında, V_r olarak ifade edilen giriş gerilimi referans alınır. V_r 'nin belirlenmesi ile ilgili detaylı bilgi daha önce yaptığımız bir çalışmada verilmiştir [4]. V_r aralığı belirlenip, Fuzzy Inference System (FIS, Bulanık Çıkarım Sistemi)'in giriş üyelik değerlerinin yatay sınırları belirlenir. Membership (Üyelik) fonksiyonlarının (MF) düşey aralığı ise Simulink, 1 olarak ayarlar [3]. V_r aralığını 0.55-1.05 seçtiğimizde aşağıdaki gibi bir durum söz konusu olur. Şekil 3'te V_r değerinin, üyelik fonksiyonunda nasıl tanımlanacağı gösterilmiştir.

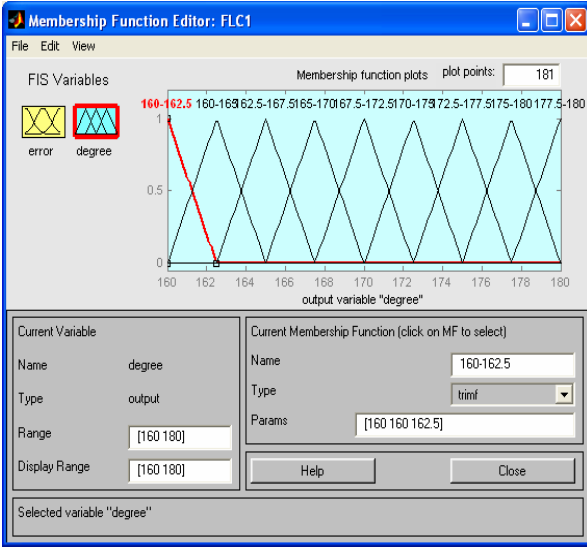


Şekil 3. V_r MF'nin düşey ve yatay aralığı

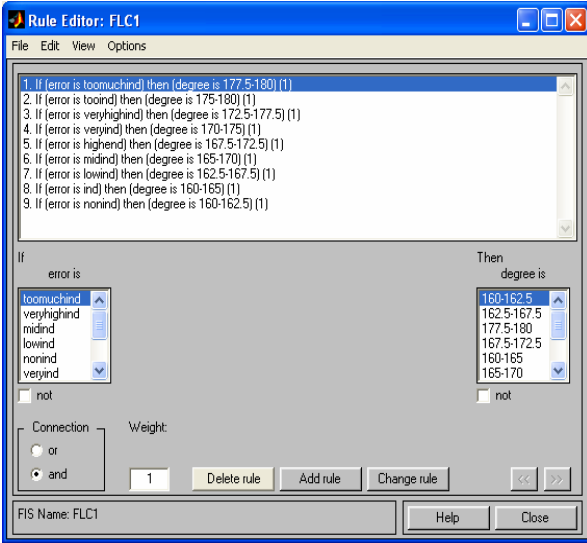
Çıkış MF aralığı hangi V_r değerinde, kaç derece tetikleme açısı üretileceği ile ilgilidir. Buna göre tetikleme açısı aralığı, TCSC grubu için genelde büyük bir kapasitif alan ve hata durumlarını yok edebilmek için çok küçük bir endüktif alan olacak şekilde belirlenir. Dolayısıyla çalışma aralığının; TCSC'nin rezonans açısı değeri ile 180° arasında kapasitif, TCSC'nin rezonans açısı değeri ile rezonans değerinin biraz altında endüktif olmak üzere iki bölgeye ayrılacağını belirtir [3, 4]. Bu durum Şekil 4'te verilmiştir.

Her eklenen MF, Kural-Düzenleyicisi'nde oluşturulacak, kural dizisinin bir üyesidir. Bu kurallar birbirinden bağımsız olup kural oluştururken kullanılan MF'leri birden fazla

kullanabilir. Şekil 5'te gösterildiği gibi bir giriş ve çıkışın üstüne gelerek seçim yapıldıktan sonra, bağlantı şeklini *Connection* kısmından or-and şeklinde bir seçim yapılarak, *Add rule* kutusuna tıklayıp yeni bir kural oluşturulabilmektedir.



Şekil 4. Çıkış MF'leri, çıkış aralığı ve sıklıkları



Şekil 5. Rule editör ve kuralların oluşturulmuş hali

Bütün bu işlemler gerçekleştirildikten sonra, FIS File>Export>To Disk yolu takip edilerek kaydedilmektedir. Simulink ortamında oluşturulan TCSC uygulamasına Simulink Library > Fuzzy Logic Toolbox'tan Şekil 6'da gösterilen Fuzzy Logic Controller (FLC) seçilerek eklenir. V_r değeri FLC'nin girişine verilmektedir. Çıkışı ise tristörlerin tetiklenme açıları üretmektedir [4].



Şekil 6. FLC'nin yapısı

5. Benzetim Sonuçları

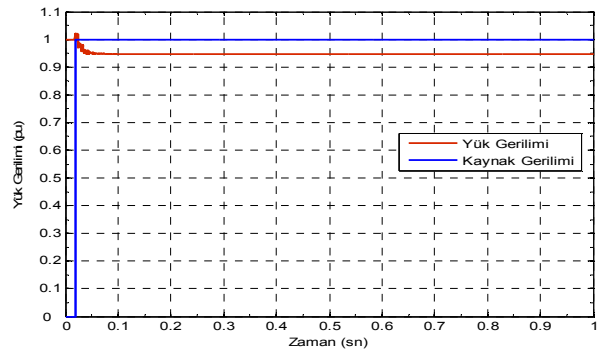
Üzerinde çalışılan sistem 3 baralı olup 154 kV'luk, 50 Hz'lik iki ayrı barada bulunan üreteçlerden beslenmektedir. Yük olarak 15 MW'lık aktif güce ve 10 MVar'lık reaktif güce sahip statik yük tipi kullanılmış olup yükün omik ve endüktif kısımları birbirine seri bağlıdır. Hatlar arasındaki uzunluklar sırası ile Bara 1-2; 40 km, Bara 2-3; 20 km ve Bara 1-3; 100 km şeklindedir. İletim hattının km başına direnç, bobin ve kapasitör değerleri sırasıyla 0.012 ohm/km, 0.993e-2 H/km ve 12.74e-9 F/km şeklindedir. Simülasyon süresi 1 saniyedir.

Üç baralı ve daha büyük sistemlerde karşımıza çıkan ilk sorun, sistemin çok baralı olmasından dolayı TCSC'nin hangi noktaya bağlanması gerektiğidir. TCSC'nin hangi baralar arasına konulacağını bulmak için iki yöntem vardır. Birincisi, incelenen sistemi MATLAB/Simulink ortamında oluşturup TCSC'siz olarak simülasyonunun gerçekleştirilmesidir. Burada iletim hattı ile birbirine bağlı her iki bara arasındaki gerilim değeri ölçülür ve hangi baralar arasındaki gerilim düşük bulunur ise veya hangi hat en kararsız ise o noktaya TCSC yerleştirileceği bulunmuş olur. Bir diğer yöntem ise güç (yük) akış analizi (Örneğin Newton-Raphson yöntemi) ile sistemdeki tüm bara gerilim genlik ve açıları, iletim hatları üzerinden akan aktif ve reaktif güçler ve sisteme ilişkin toplam güç kaybı hesaplanmaktadır [30]. Böylece bu yöntemle gerilim değişiminden en fazla etkilenen bara belirlenir ve elde edilen sonuca göre TCSC'nin hangi noktaya yerleştirileceği belirlenmiş olur.

Bu çalışmada ise TCSC'siz yapı simüle edilerek gerilimin en düşük olduğu nokta bulunmaktadır. TCSC için ilk benzetim sonuçları, kompanzasyon yapılmayan statik yüklü sistem için elde edilmiştir. Kaynak (giriş) gerilimi referans olarak seçilmiştir ve 1 pu değerindedir. Kompanzasyonsuz sistemdeki baralar arasındaki iletim hatlarının orta nokta gerilim değerleri (pu cinsinden) aşağıdaki şekildedir:

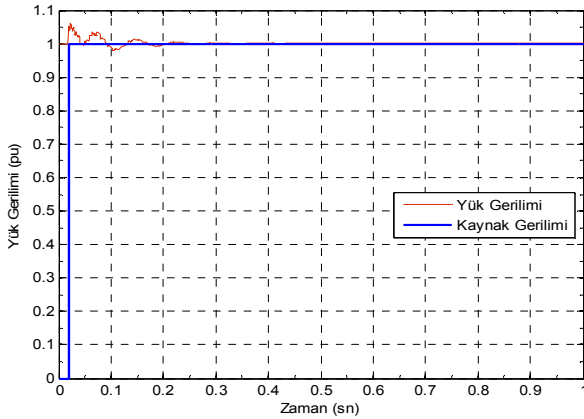
- 1. ve 2. bara arası (hat ortası) 149.5 kV (0.971 pu)
- 2. ve 3. baralar arası (hat ortası) 147.3 kV (0.956 pu)
- 1. ve 3. baralar arası (hat ortası) 148.2 kV (0.962 pu)

şeklinde elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre gerilimin en düşük olduğu yerin 2. ve 3. baralar arasındaki nokta olduğu açıkça görülmektedir. Bundan dolayı TCSC 2. ve 3'ncü baralar arasına yerleştirilmelidir. İkinci ve üçüncü baralar arasındaki hat geriliminin grafiksel olarak gösterimi Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Statik yük modeline bağlı kontrolsüz sistem için V_{Kaynak} ve $V_{Yük}$ 'ün karşılaştırılması

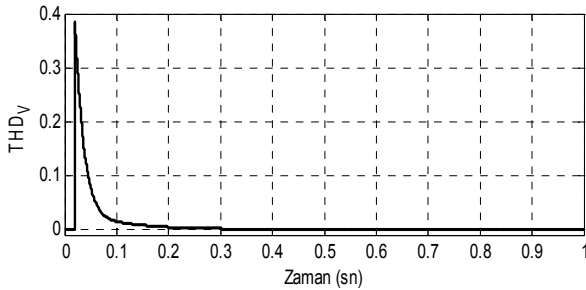
Kompanzator olarak TCSC ve TCSC'nin yapısında bulunan tristörleri kontrol etmek için de bulanık mantık kontrolör olarak seçilmiştir. Bu durumda elde edilen simülasyon sonucu Şekil 8'de gösterilmiştir.



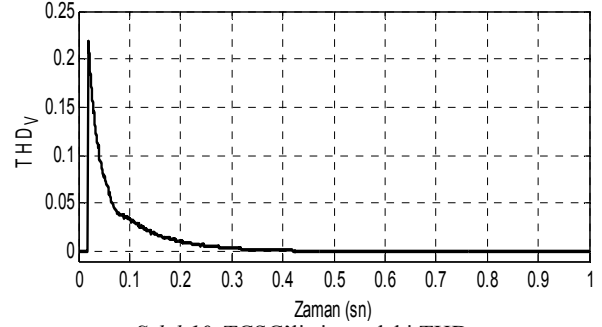
Şekil 8. Üç baralı FLC kontrollü statik yüklü TCSC yapısı için V_{Kaynak} ve $V_{Yük}$ 'ün karşılaştırılması

Yapılan simülasyon sonucunda, gerilim dalgalanmasından en fazla etkilenen ve daha önce yapılan simülasyon sonucunda TCSC'nin bağlanmasına karar verilen 2. ve 3. baralar arasındaki per-unit değer grafikten de anlaşılacağı üzere 0.956 pu değerinden yaklaşık olarak 1 pu civarlarına çıkmıştır. Bu değerler kıyaslandığında devreye TCSC'nin eklenmesiyle baralar arasındaki gerilimin 0.044 pu arttığı görülür. Kontrolörün devreye girdiği ilk anda gerilimde meydana gelen dalgalanmaların süresi yaklaşık olarak 5 periyottur. Bu süre güç elektroniği tabanlı bir sistem için literatürde de kabul edilebilir bir sınırdır. Kontrolsüz sisteme göre önemli bir kazanç elde edilmiştir. Böylece yükümüz daha ideal koşullarda çalışmaktadır. Çünkü gerilim nominal seviyeye daha da yaklaştırılmıştır. FLC kontrollü çok baralı ve statik yüklerde sistemin çok kararlı ve sonuca hızlı bir şekilde ulaştığı söylenebilir.

Son olarak gerilim toplam harmonik distorsiyonuna ait dalga şekli verilecektir. İlk aşamada kompanzasyon yapılmamış sistem için elde edilen THD_V Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 9'dan da görüldüğü üzere kompanzasyon yapılmamış sistemde yükün nominal şartlarda çalışmamasından dolayı gerilim harmonikleri meydana gelmektedir. Gerilim toplam harmonik distorsiyonu yaklaşık olarak 0.38 değerine sahiptir. Sisteme TCSC eklenmesi sonucu elde edilen THD_V Şekil 10'da verilmiştir. Bir önceki duruma göre gerilim THD_V 'sinde azalma görülmektedir. Bu durumda elde edilen THD_V değeri yaklaşık 0.23'tür.



Şekil 9. Kompanzasyon Yapılmamış Sistemdeki THD_V



Şekil 10. TCSC'li sistemdeki THD_V

6. Sonuçlar

AC iletim sistemlerinde seri kapasitif kompanzasyon, güç iletim kapasitesini arttırmak, geçici kararlılığı iyileştirmek gibi bazı faydalar sağlar. Arjantin, Belçika, Slovenya, Danimarka gibi birçok ülkede, iletim ve dağıtım hatlarında reaktif enerji kaybının önlenmesini sağlayan TCSC, henüz ülkemizde önemi kavranmadığından dolayı kullanıma geçmemiştir.

Bu bildiride, üç baralı, iki ayrı üreteçten beslenen ve statik yük içeren bir elektrik sistemi incelenmiştir. Bulanık Mantık kontrolörü; MATLAB/Simulink®, Güç Sistemleri Araçkutucuğu ve Bulanık Mantık Araçkutucuğu TCSC'nin tetikleme açılarını kontrol etmek için kullanılmıştır. Simulink'in grafik arayüzü; güç devrelerini ve kontrol sistemlerini aynı çalışma ortamında göstererek kullanım kolaylığı olan bir ortam sağlamaktadır.

Simülasyon sonuçları; Bulanık Mantık kontrollü sistemin çok baralı sistemlerde statik yük koşullarında çok kararlı bir şekilde çalıştığını göstermektedir. Kompanzator sisteme hızlı bir şekilde cevap vermekte ve yük sürekli hal durumuna hızlı bir şekilde ulaşmaktadır. Ayrıca gerilim nominal değerlere olabildiğince yaklaştırılmıştır. Bu da yükün daha verimli koşullarda çalışmasını sağlamaktadır. Bunların dışında gerilim harmonik seviyelerinde gözle görülür düşmeler olmuştur. Bu da enerji sistemleri açısından oldukça önemlidir.

7. Teşekkür

Bu çalışma Devlet Planlama Teşkilatı DPT 2003K 120880-2, 2003 proje çerçevesinde desteklenmiştir.

8. Kaynakça

- [1] TMMOB, "TMMOB Reaktif Güç Kompanzasyonu Seminer Notları", İstanbul, EMO, 1999.
- [2] Gelen (Kara) A., Yalçınöz, T., "AÇ-KAPA Kontrollü FACTS Cihazları ile Yük Kompanzasyonu", III. Otm. Semp., Sy: 68-72. 11-12 Kasım 2005, Denizli.
- [3] Yolaç U., "Tristör Kontrollü Seri Kapasitör ve Uygulamaları", Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 2005.
- [4] Yolaç, U., Yalçınöz, T., Gelen (Kara) A., "Dinamik Yük Koşullarında TCSC'nin Bulanık Mantık ile Kontrolü", Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu (ASYU 2006), Sy: 204-208, 31 Mayıs-2 Haziran 2006, İstanbul.

- [5] Povh D., "Modelling of FACTS in Power System Studies", IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, Vol. 2, 23-27 January/2000, pp.1435-1439.
- [6] G. F. Ledwich, S. H. Hosseini, G. F. Shannon, "Voltage Balancing Using Switched Capacitors", Electric Power Systems Research, Vol. 24, Issue 2, August/1992, pp. 85-90.
- [7] Hingorani N. G., Gyugyi L., "Understanding FACTS: Concepts and Technology Flexible AC Transmission Systems", IEEE Press, New York, 1999.
- [8] Mathur R. M., Varma R. K., "Thyristor-Based FACTS Controllers for Electrical Transmission Systems", IEEE Press, USA, 2002.
- [9] Gelen (Kara) A., Yalçınöz T. "Modelling and Simulation of TSR-based SVC on Voltage Regulation for Three-Bus System", 3rd ISEECE-2006, 23-25 Nov. 2006, Near East University, Nicosia, TRNC.
- [10] Gelen (Kara) A., Yalçınöz T., "Esnek AC İletim Sistemlerinde Kullanılan Cihazlar ve TCR, SVC, TSR Yapılı Paralel Kompanzatorların Yük Gerilimine Etkisinin Matlab Ortamında İncelenmesi", II. Müh. Blm. Genç Araş. Kongresi MBGAK 2005, ISBN: 9754047588, İstanbul, 17-19 Kasım/2005.
- [11] Edris A., 'FACTS Technology Development: An Update', IEEE Power Eng. Review, March/2000, Sy:4-9.
- [12] IEEE/CIGRE, 'FACTS Overview', IEEE Service Center, IEEE 95-TP-108, 1995.
- [13] Huang G. M., Yan Ping, 'The Impacts of TCSC and SVC on Power System Load Curtailment', IEEE Winter Conference, 2001.
- [14] Lu, Y., Aburb, A., "A Tracking Estimator for the Firing Angle of the Thyristor Controlled Series Capacitors", Electric Power Systems Research, Sy:57-64, 2005.
- [15] Zhou, X. ve ark., "Analysis and Control of Yimin-Fengtun 500 kV TCSC System", Electric Power Systems Research, Sy:157-168, 1998.
- [16] Jalali, S. G. ve ark., "Dynamic Response of a TCSC", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 9(3), Sy:1609-1615, July/1994.
- [17] Person, J., Lennart, S., "Linear Analysis of a Two-area System Including a Linear Model of a Thyristor-Controlled Series Capacitor", IEEE Porto Power Tech. Conf., 10-13 Sept./2001, Portugal.
- [18] Lei, X., Povh, D., "Optimization of Power Systems Control within a Simulation Software Package", Control Engineering Practice, Sy:155-163, 2000.
- [19] Li, G. ve ark., "Real-time Coordinated Optimal FACTS Controllers", Electric Power Systems Research, Sy:273-286,1999.
- [20] Han, H. G. ve ark., "Analysis of TCSC Dynamics Using the State Variable Approach of a Periodic System Model", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 12(4), Sy:1744-1750, Oct./1997.
- [21] Kabiri, K. ve ark., "Resistivite Behavior of TCSC at Subsynchronous Frequencies", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 19(1), Sy:374-379, Jan./2004.
- [22] Li, W. ve ark., "Nonlinear Adaptive Robust Control of TCSC", 2002 IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, Vol.3, 6-9 Oct./2002.
- [23] Chaudhuri, B., Pal, B. C., "Robust Damping of Multiple Swing Modes Employing Global Stabilizing Signals with a TCSC", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 19(1), Sy:499-506, Feb./2004.
- [24] Momoh JA, Ma XW, Tomsovic K, 'Overview and Literature Survey of Fuzzy Set Theory in Power Systems', IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 10, Aug. 1995, pp. 1676-1690.
- [25] Yolaç U., Yalçınöz T., "Tristör Kontrollü Seri Kapasitörün Bulanık Mantık ile Kontrolünün Gerçekleştirilmesi", I. EVK Sempozyumu, Sy:6-10, Kocaeli, 17-18 Mayıs 2005.
- [26] Sadikovic R.P., Glaviç M., 'Effect of FACTS Devices on Steady State Voltage Stability', 1.st Balkan Power Conference, Slovenia, September 2001.
- [27] Eminoğlu U., Yalçınöz T., Herdem S., "Tristör Kontrollü Seri Kapasitör Kullanılarak Değişken Yüklü Güç Sistemlerinde Gerilim Kontrolü", 10. Ulusal Kongre, Sy:148-151, İstanbul, 18-21 Eylül 2003.
- [28] Canizares C.A., Faur, Z.T., 'Analysis of SVC and TCSC Controllers in Voltage Collapse', IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 14, Feb. 1999, pp. 158-165.
- [29] Claudio A. Canizares, A. Berizzi, P. Marannino, 'Using FACTS Controllers to Maximize Available Transfer Capability', Bulk Power Systems Dynamics and Control IV-Restructuring, Santorini, Greece, 24-28 August 1998.
- [30] Arifoğlu U., "Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi", Alfa Basım, İstanbul, 2002.