

ARK FIRINLARI İÇİN FUZZY KONTROLE DAYALI REAKTİF GÜÇ KOMPANZATÖRÜ TASARIMI

¹Bekir MUMYAKMAZ

²Kadir VARDAR

^{1,2}Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü

Mühendislik Fakültesi

Dumlupınar Üniversitesi, 43100 Kütahya

¹e-posta: myakmaz@dumlupinar.edu.tr

²e-posta: kvardar@dumlupinar.edu.tr

Anahtar kelimeler: Ark Fırını, Fuzzy kontrol, SVC.

ABSTRACT

In this paper, reactive power compensation of an arc furnace was made by using static VAR compensators (SVC) based on fuzzy control. A system consisted of one fixed capacitor (FC); two thyristor switched capacitors (TSC) and one thyristor controlled reactor (TCR) has been used for reactive power compensation of an arc furnace that has been represented by an inductive load with varying resistance. One phase equivalent of the system was simulated by Matlab Simulink program. In the study, thyristor switched capacitors have been controlled by classic open loop controller and thyristor controlled reactor has been controlled by a closed loop fuzzy controller. The proposed model successfully realized the necessary reactive power compensation for the arc furnace within maximum 3 cycles of network frequency.

1. GİRİŞ

Ark fırınları iyi kaliteli çelik üretimi amacıyla kullanılan ve yoğun miktarda elektrik enerjisi tüketen yüklerdendir. Darbeli ve dengesiz güç çekmeleri sebebiyle ark fırınları, elektrik iletim ve dağıtım sisteminde çeşitli problemlere neden olabilir. Bozucu tesirler; hızlı ve büyük oranlarda değişim gösteren reaktif güç gereksinimi, fliker, dengesiz yükleme ve harmonik üretimi olarak sıralanabilir.[1]

Ark fırını tesislerinin reaktif güç gereksinimi, hemen hemen aktif güç gereksinimleri kadardır. Bu tesislerin reaktif güç kompanzasyonu dinamik veya statik olarak yapılabilir. Dinamik kompanzasyonda kullanılan döner makinaların aksine statik kompanzasyonda kondansatör ve reaktör grupları mevcuttur. Bu grupların devreye alınması elektromekanik yolla kesici veya kontaktör kullanılarak yapılabileceği gibi tristör gibi güç elektroniği elemanları kullanılarak da yapılabilir.[2]

Güç elektroniği elemanları kullanılarak elde edilen statik kompanzasyon sistemleri; Doymuş

reaktör (SR), Tristör anahtarlama reaktör (TSR), Tristör kontrollü reaktör (TCR), Tristör anahtarlama kondansatör (TSC) ve kendinden veya hat komütasyonlu konverter içerebilir.[3]

2. ARK FIRINLARININ REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU

Ark fırınının aktif ve reaktif güç tüketimi; arkın özellikleri sebebiyle, belirli bir çalışma koşulundaki gerilim ve akım kademeleri ile ilişkilidir ve zamanla çok hızlı ve büyük miktarlarda değişir. Reaktif gücün bu çok hızlı değişimine rağmen ortalama bir değerinden ve; alt ve üst sınırlarından bahsetmek mümkündür. Ergitme safhasında bir ark fırınının ortalama reaktif gücü 0.7 civarında olup değişimi aşağıdaki formülle ifade edilebilir:[4]

$$Q = Q_{kd} (1 \pm 0.7) \quad \{1\}$$

Burada Q_{kd} ; kararlı durum çalışma koşullarındaki ortalama reaktif güçtür. Bu tür bir yükün reaktif enerji ihtiyacını karşılamak üzere tasarlanacak kompanzasyon sistemi; hem dengesiz çalışma özelliklerini, hem de hızlı değişimi dikkate alınmalıdır. Alışılmış yöntemlerden sabit kondansatör kullanımı sadece ortalama ihtiyacı karşılayabilirken; gerilim titreşimleri, harmonikler ve ters bileşen akımı problemlerine çözüm olamaz. Senkron makina ile kompanzasyon ise ana baradaki kısa devre gücünü artırarak aktif gücün salınmasına ve dolayısıyla da ürettiği reaktif gücünde salınmasına sebep olur. Ayrıca dengesiz yüklenmeye çare olamaz. Diğer bir yöntem ise sabit kapasitör ile doymuş reaktör (SR) kombinasyonu kullanmaktır. Bu yöntemde denetim hassas olmayıp kayıplar yüksektir ve harmonik üretilir.

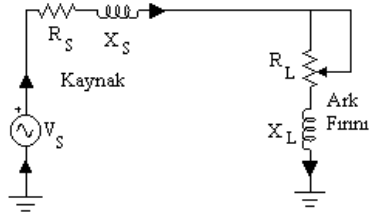
Maliyet ve teknik açıdan en optimum çözüm olarak içinde TCR; TSC ve sabit kondansatör barındıran statik VAR kompanzatorleri (SVC) kullanılabilir. Bu elemanların ark fırınının ihtiyaçlarına cevap verebilmesi ve sakıncalarını

giderebilmesi için, kullanılacak ölçme ve kontrol yönteminin önemi büyüktür. Literatürde SVC modelleme ve kontrol metodu üzerine pek çok çalışma mevcuttur. Güç sistemlerinin dinamiği ve stabilitesine yardımcı olacak bir kompanzator modeli [5]; generator osilasyonlarını gidermeye yönelik SVC modeli [6] ve EMTP programının kullanıldığı detaylı model [7] bunlardan sadece birkaçıdır. Bu çalışmada fuzzy kontrole dayalı kompanzasyon sistemi tasarlanmaktadır.

3. FUZZY KONTROLE DAYALI KOMPANZASYON

a) Yük ve kaynak modeli:

Ark fırınlarının dengesiz yük özelliği göstermesi sebebiyle; reaktif güç kompanzasyonu her bir faz için ayrı ayrı yapılmalıdır. Bu nedenle bu çalışmada tüm modeller bir fazlı olarak tasarlanmıştır. Ark fırını temsil edecek bir yük modeli Şekil 1 de görüldüğü gibi bir reaktör ve ona seri bağlı değişken bir direnç kullanılarak yapılabilir.[8]

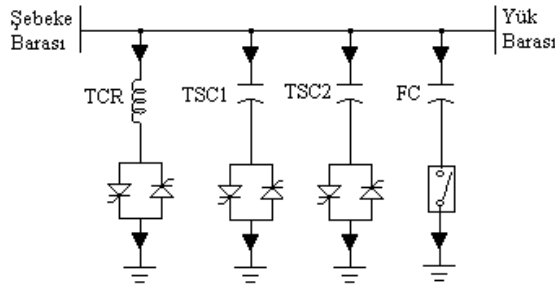


Şekil 1- Kaynak ve Ark Fırını bir fazlı eşdeğer modeli

Bu şekildeki bir ark fırını modelinin tipik direnç değerleri 50 ila 250 ohm arasında rasgele değişirken; değişim frekansı, 2 ila 100 Hz civarındadır.[9]

b) Reaktif güç kompanzasyon üniteleri:

İkinci bölümde izah edilen ihtiyaçları karşılamak ve problemleri minimize edebilmek amacıyla; ark fırınının reaktif güç kompanzasyonu için, Şekil 2 de mevcut bir adet sabit kapasitör (FC); iki adet tristör anahtarlamalı kapasitör (TSC), ve bir adet tristör kontrollü reaktör (TCR) kullanılmıştır.



Şekil 2- Reaktif güç kompanzasyonu üniteleri.

Çalışmada sabit kapasitör grubunun reaktif güç üretme kapasitesi 600 kVAr alınmıştır. Sabit

kısımdan arta kalan reaktif enerji ihtiyacını karşılayacak tristör anahtarlamalı kapasitörlerin suseptans değerleri de kontrol sistemi kararlılığını sağlayacak şekilde TCR suseptansıyla aynı değerde seçilmiştir.

c) Ölçme ve kontrol üniteleri:

Kompanzasyon sisteminde kullanılan TCR ve TSC'lerin tristörlerine gereken zamanlarda tetikleme sinyali gönderilebilmesi için; sistemin uygun noktalarında, akım ve gerilim ölçmelerine ihtiyaç vardır.

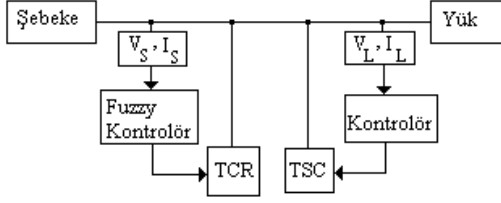
Tristör anahtarlamalı kapasitörler (TSC) sadece kademeli kompanzasyon sağlayabildikleri için açık çevrimli olarak kontrol edilmekte ve yükün ihtiyacının belirli bir değeri aşması durumunda devreye alınıp çıkarılmaktadırlar. Bu durumda; TSC'lere ait kontrol için, yük uçlarındaki akım ve gerilim örneklerinden yükün reaktif güç tüketimi hesaplanır ve ihtiyaç durumunda kontrolöre "TSC yi devreye al" sinyali gönderilir.

Ancak kontrolör bu isteği hemen yerine getiremez. Kapasitörün devreye alınabilmesi için iki şartın daha mevcut bulunması gereklidir. Birincisi; kapasitör gerilimi ile şebeke geriliminin polaritesi aynı olmalıdır, ikincisi ise şebeke gerilimi ile kapasitör gerilimi arasında yeterince az bir gerilim farkı bulunmalıdır. Kontrolör bu iki şartın yerine gelmesi durumunda tristörlere sinyal göndermelidir; aksi takdirde kapasitörlerden çok büyük miktarlarda aşırı akım akabilir ve zarar görebilirler.[10]

TSC lere ait kontrol sisteminin cevap süresi en az yarım periyottur. Ölçme sisteminin de hesaba katılmasıyla pratikte toplam cevap süresi bir periyot olur.

Yük ihtiyacı belirli seviyeyi aştıkça TSC devreye alındığından dolayı toplamda şebekeden sürekli kapasitif akım çekilir. Elektrik dağıtım şirketince belirli miktarlarla sınırlandırılması istenen bu kapasitif akımın; hem sınırı aşmaması ve hem de güç faktörünü istenmeyen seviyelere düşürmemesi için, Tristör kontrollü reaktör (TCR) devreye alınmalıdır.

Tristör anahtarlamalı kapasitörden farklı olarak TCR nin akımı, tristörlerine uygulanan tetiklemede gecikme uygulanarak ayarlanabilir. Böylece suseptans değeri değiştirilebilir. Bu suseptans değeri şebekeden kapasitif akım çekilmesini önleyecek miktarda olmalıdır. Bu da kapalı çevrim (geri beslemeli) kontrol sistemi ile sağlanabilir. Geri besleme sinyali olarak şebekenin güç faktörü kullanılabilmesi için de şebeke gerilimi ve akımı örneklerine gereksinim duyulacaktır. Şekil 3 de ark fırını için tasarlanan kompanzasyon sisteminde ölçme ve kontrol üniteleri blok diyagram halinde görülmektedir.



Şekil 3- Kompanzasyon sistemi blok diyagramı

Şebeke güç faktörünün geri besleme olarak kontrolöre verilebilmesi için; alınan akım ve gerilim örneklerinden aktif ve reaktif gücün hesaplanmasında, kullanılacak hesap metodunun önemi çok büyüktür. Çünkü bu metod kontrolörün cevap zamanını doğrudan etkileyecektir.

Pek çok yöntem bulunmasına rağmen bu çalışmada kullanılan metod "Parametre değişme oranlarının fonksiyonu olarak reaktif güç ölçümü" dür.[9] Metoda göre reaktif gücün ani değeri:

$$Q_x = \frac{v_x(i_x - i_{x-1}) - i_x(v_x - v_{x-1})}{2\tau\omega} \quad \{2\}$$

Burada Q_x ; x inci andaki ani reaktif güç değeri, τ örnekleme periyodu ve ω açısal frekanstır. Ani değer yeterince hızlı bir örnekleme ile hesaplanarak integrale edilirse çok kısa zamanda reaktif güç efektif değeri tespit edilebilir. Aynı şekilde şebekenin ani aktif gücü de:

$$P_x = v_x i_x \quad \{3\}$$

şeklinde. Çalışmada; aktif ve reaktif güç değişimleri, 20 kHz ile örneklenecek şekilde yarım periyot boyunca integrale edilmiş ve şebeke güç faktörü elde edilmiştir. Bu değer ile referans arasındaki fark olan hata sinyali fuzzy kontrolörün girişini oluşturmaktadır.

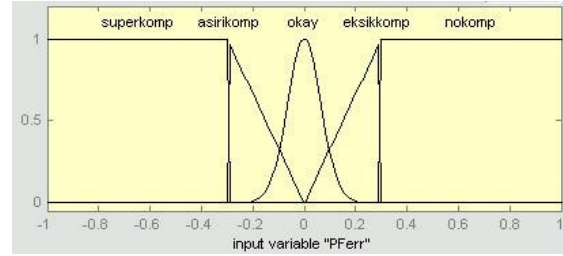
Şekil 3 de görüldüğü gibi tristör kontrollü reaktörün (TCR) süseptans kontrollü fuzzy kontrolör ile yapılmaktadır. Fuzzy kontrolör, çıkışında TCR nin tetikleme açısında yapılması gerekli değişme miktarını vermektedir. Bir tristör kontrollü reaktörün süseptans değeri B; tetikleme açısı α ya bağlı olarak:

$$B(\alpha) = \frac{2(\pi - \alpha) + \sin 2\alpha}{\pi X_L} \quad \{4\}$$

dir.[11] Tristörlere uygulanacak tetikleme sinyalleri; TCR nin çekeceği akımın, kapasitif akımı karşılayacak seviyede olmasını sağlamalıdır.

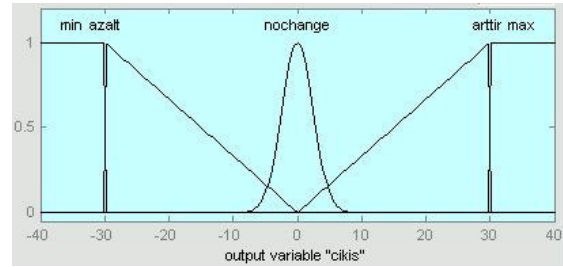
d) Fuzzy kontrolör:

Fuzzy kontrolörün girişine referans güç faktörü ile şebeke güç faktörü arasındaki fark olan hata sinyali girilmektedir. Hata sinyali değişim aralığı [+1,-1] dir. "-1" şebekeden tamamen kapasitif akım; "+1" ise tamamen endüktif akım çekildiği anlamına gelmektedir. Fuzzy kontrolör girişine ait üyelik fonksiyonları Şekil 4 te görülmektedir. Üyelik fonksiyonları "superkomp" ; "asirikomp" , "okay", "eksikkomp" ve "nokomp" olmak üzere beş tanedir. Üyelik fonksiyonlarından "superkomp" ve "nokomp" dikdörtgen şekilli; "asirikomp" ve "eksikkomp" üçgen şekilli seçilirken, "okay" gaus eğrisi şeklinde alınmıştır.



Şekil 4- Kontrolör girişine ait üyelik fonksiyonları.

Kontrolör çıkışından ise TCR nin tetikleme açısında yapılması gereken değişiklik miktarı alınmaktadır. TCR ye uygulanacak tetikleme gecikmesi sekiz bitlik bir sayıcı ile belirlenmektedir. Uygulanabilecek sayı aralığı 128 ila 255 arasında değişmekte olup; 128 sayısı 0° gecikme, 255 sayısı ise 90° gecikme açısına karşılık gelmektedir. Fuzzy kontrolör çıkışı ise bir önceki tetikleme gecikmesi sayısını Şekil 5 te görüldüğü gibi ± 40 kadar değiştirebilme yeteneğine sahiptir.



Şekil 5- Kontrolör çıkışına ait üyelik fonksiyonları.

Çıkış üyelik fonksiyonları "min" ; "azalt" , "nochange", "arttir" ve "max" olmak üzere yine beş tanedir. Üyelik fonksiyonlarından "min" ve "max" dikdörtgen şekilli; "azalt" ve "arttir" üçgen şekilli seçilirken, "nochange" gaus eğrisi şeklinde alınmıştır.

Kontrolör de kullanılan insan deneyimi ve bilgisine dayalı kurallar ise:

- 1- Eğer PFerr = okay => cikis = nochange
- 2- Eğer PFerr = nokomp => cikis = max

- 3- Eğer PFerr = eksikomp => cikis = arttir
- 4- Eğer PFerr = superkomp => cikis = min
- 5- Eğer PFerr = asirikomp => cikis = azalt
şeklindedir.

Kurallar çerçevesinde; oluşan üyelik fonksiyonları ağırlık merkezinin sayısal karşılığı, kontrolör çıkışını oluşturmaktadır.

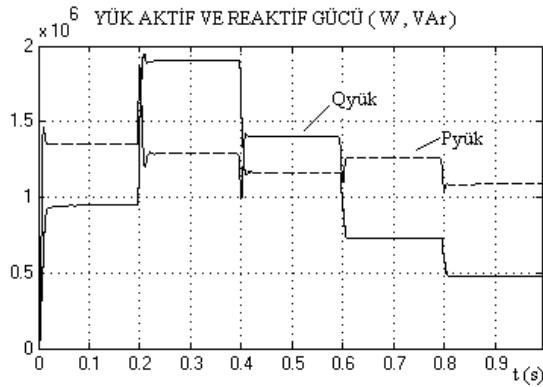
4. UYGULAMA VE ALINAN VERİLER

Tasarımın test edilmesi amacıyla modelleme MATLAB Simulink'te yapılmıştır. Şekil 1 de görüldüğü gibi; şebekeyi temsilen 19.92kV (F-N) A.C kaynak ve ona seri bağlı bir reaktör, ark fırını temsilen de bir reaktör ve ona seri bağlı zamanla Tablo 1 deki gibi değişim gösteren direnç bağlanmıştır.

Tablo 1. Model sistemde ark fırını yük rejimi

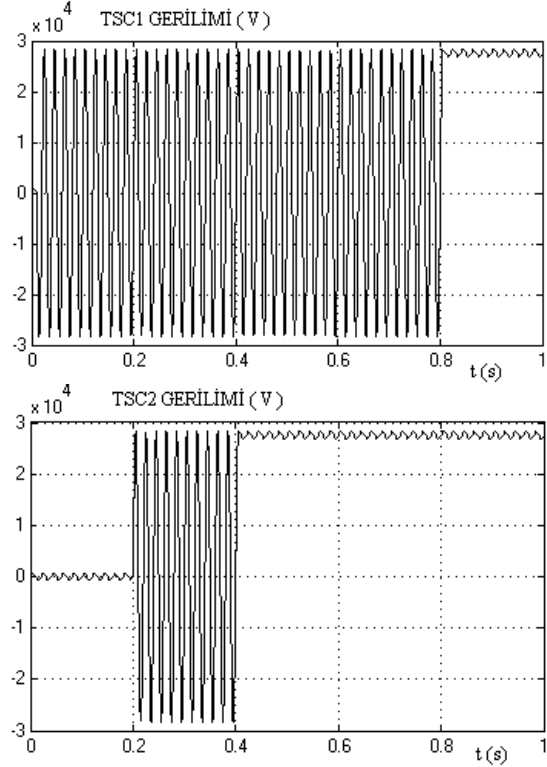
No	R (Ω)	L (mH)	Zaman Aralığı(ms)
1	190	446	0-190
2	90	446	191-390
3	160	446	391-590
4	230	446	591-790
5	250	446	791-1000

Yük endüktansı aynı kalırken direnç değeri ise rasgele değerler almış ve sonuçta ark fırını aktif ve reaktif güç değişimleri Şekil 6 daki gibi olmuştur.



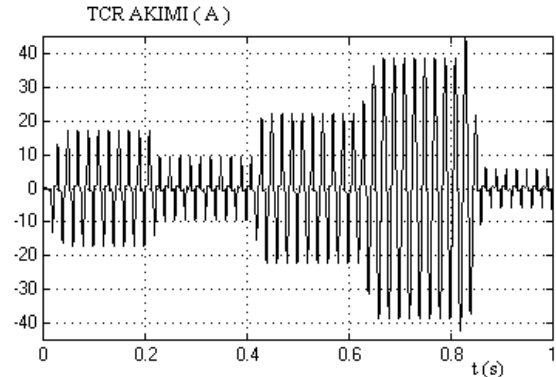
Şekil 6- Ark fırını aktif ve reaktif gücü değişimi

Ark fırınının reaktif güç kompanzasyonu için bir adet sabit kapasitör grubu 600 kVAr lik bir reaktif gücü daimi olarak üretirken; iki adet tristör anahtarlamalı kapasitörlerde her biri 700 kVAr kapasiteyle ihtiyaç halinde devreye girip çıkmışlardır. TSC lere ait gerilim değişimleri Şekil 7 de görülmektedir.



Şekil 7- TSC1 ve TSC2 gerilimlerinin değişimleri.

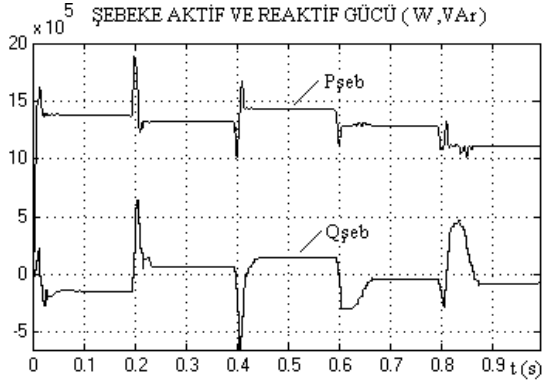
Kapasitörlerin reaktif gücü daima yükün ihtiyacından fazla olduğundan şebekeden kapasitif akım çekilmesini önlemek amacıyla uygun tetikleme gecikmesiyle TCR devreye alınmalıdır. Maksimum akım (700 kVAr); gerilimin sıfırdan geçişinden itibaren 90° gecikme uygulandığında, minimum akım (0 kVAr) ise 180° gecikme uygulandığında akar. TCR nin tetikleme gecikmesi; fuzzy kontrol aracılığıyla şebekeden sadece omik akım akacak şekilde ayarlanmıştır. Tristör kontrollü reaktörün akımı Şekil 8 de görülmektedir.



Şekil 8- TCR akımının zamana bağlı değişimi.

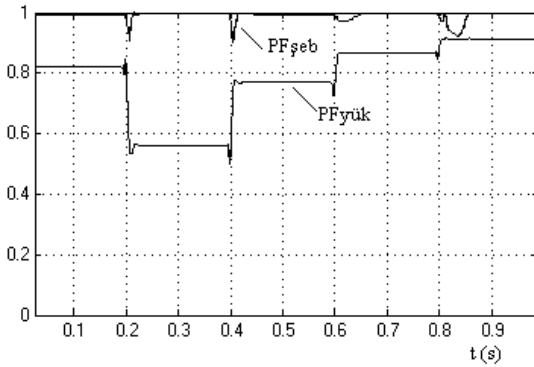
Ark fırınlarında reaktif güç değişimi rasgele ve çok hızlı olduğundan kullanılacak geri beslemeli kontrol sisteminin cevap süresi de yeterince kısa olmalıdır. Bu çalışmada tasarlanan fuzzy kontrolör,

şebeke tarafında güç faktörünü en fazla 3 periyot içerisinde 1 seviyesine getirmektedir. Sonuçta; şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç değişimi Şekil 9 da görülmektedir.



Şekil 9- Şebeke tarafı aktif ve reaktif güç değişimi.

Bu durumda şebeke tarafında güç faktörü değişimi de Şekil 10 daki gibi olmuştur.



Şekil 10- Ark fırını ve şebeke güç faktörü değişimi.

5. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME:

Bu çalışmada aktif ve reaktif güç tüketimi zamana bağlı olarak çok hızlı ve büyük miktarlarda değişen ark fırınının reaktif güç kompanzasyonu; bir adet sabit kapasitör (FC), iki adet tristör anahtarlamalı kapasitör (TSC) ve bir adet tristör kontrollü reaktör (TCR) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sistem Matlab 6 Simulink programı kullanılarak modellenmiştir. Modelde her türlü yük durumu için şebekenin güç faktörünü bir seviyesinde tutacak bir kontrol sistemi hedeflenmiştir.

Çok hızlı bir kontrol sisteminin temelinde iyi bir ölçme sistemi yatar. Bu çalışmada aktif ve reaktif güç tespiti yarım periyot içinde yapılabilmektedir. Her ne kadar TCR kontrollü yarım periyotta bir yapılabilsede sisteme bulunan TSC lerin cevap süresi pratikte 1 periyot olabileceğinden bu çalışmaya ait kompanzasyon sisteminin minimum cevap süresi 1

periyottur. En uzun cevap süresi ise 3 periyot olmuştur. Bu cevap hızı aralığı ark fırınları için yeterlidir.

Aylık baz dikkate alındığında kompanzasyon sistemi dağıtım şirketinin şartlarını sağlayabilecektir. Ancak ark fırınlarının özelliği gereği sisteme verilen harmonik akımların üzerine bir de TCR tarafından üretilen harmonikler eklenecektir. Her ne kadar bu harmonikler ark fırınının harmonikleri yanında küçük olsa da yok edilmesi gereklidir. Hem kompanzasyon sağlayan hem de harmonikleri süzen bir sistem olarak aktif filtre kullanımı tercih edilebilir. Aktif filtrelerin cevap süreleri çok daha kısa olup daha iyi sonuçlar ortaya koyabilirler. Buna rağmen bu cihazlar hem pahalıdır, hemde kontrol sistemleri daha karmaşıktır.

REFERANSLAR:

1. Bayram, M., "Hızlı değişen olaylarda reaktif güç kompanzasyonu" Elektroteknik dergisi, Sayı 1, Ocak 1984
2. Reaktif Güç Kompanzasyonu Seminer Notları. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi
3. Kundur, P., *Power System Stability and Control*, McGraw-Hill, Inc., 1993
4. Arıkan, C., Ermiş, M., "Reaktif güç kompanzasyonunda modern yöntemler." Reaktif Güç Kompanzasyonu Seminer Notları. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi
5. IEEE Special Stability Controls Working Group, "Static Var Compensator Models for Power Flow and Dynamic Performance Simulation" IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 9, No:1, February 1994
6. Cheng, C.H., Hsu, Y.H., "Damping of Generator Oscillations using an Adaptive Static Var Compensator" IEEE Trans. On Power Systems, Vol. 7, No:2, May 1993
7. Lee, S.Y., Bhattacharya S., Lejonberg, T., Hammad, A., Lefebvre, S., "Detailed Modeling of Static Var Compensators Using The Electromagnetic Transients Program (EMTP)" IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 7, No:2, April 1992
8. Etminan, S., Sotudeh, R., "Fast converging reactive power measurement techniques for high speed static VAR compensators" Proc. of 22th UPEC 87, Sunderland, U.K. 1987
9. Chow, T.W.S., Yam, Y.F., "Measurement and evaluation of instantaneous reactive power using neural networks." IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 9, No:3, July 1994
10. Mumyalmaz, B., "Tristör anahtarlamalı kapasitörlerle reaktif güç kompanzasyonunun Matlab Simulink kullanılarak modellenmesi" ELECO2000, Kasım 2000.
11. Mumyalmaz, B., Jin, X., Wang, C., Cheng, T.C., "Static Var Compensator with Neural Network Control" IEEE / PES Transmission and Distribution Conference, April 1999.