

TRİSTÖR ANAHTARLAMALI KAPASİTÖRLERLE REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONUNUN MATLAB SIMULINK KULLANILARAK MODELLENMESİ

Bekir MUMYAKMAZ

Elektrik - Elektronik Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Fakültesi

Dumlupınar Üniversitesi, 43100 Kütahya

e-posta: myakmaz@dlupinar.edu.tr

Anahtar sözcükler: Tristör Anahtarlama Kapasitör (TSC), Simulink.

ABSTRACT

In this paper, reactive power compensation of fast changing loads was made by using thyristor switched capacitors (TSC). A system consisted of three thyristor switched capacitors (TSC), four different loads that have inductive character, and a source that represented network has been taken into consideration. One phase equivalent of the system was simulated by Matlab Simulink program. The proposed model successfully realized the necessary reactive power compensation for the loads that were connected to the circuitry in different time intervals.

1. Giriş

Endüktif karakterli yükler şebekeden aktif ve reaktif bileşenden oluşan güç çekerler. Aktif güç bileşeni makinalarda işi yapan güç olarak tüketilirken; reaktif güç bileşeni manyetik alan eldesi için harcanır. Reaktif gücün enterkonekte şebekeden alınarak dağıtım hatları aracılığıyla yüklerle ulaştırılması; hatlarda enerji kayıplarına neden olmakta, hat taşıma kapasitesini azaltmakta ve ayrıca santrallarda fazladan yakıt tüketimine neden olmaktadır. Bu nedenle yüklerin tüketilecekleri reaktif gücün yük bölgesinde üretilmesi daha ekonomiktir. Bu amaçla reaktif güç kompanzasyon üniteleri yapılmaktadır.

Reaktif güç kompanzasyonu dinamik ve statik olmak üzere iki şekilde yapılır. Dinamik kompanzasyonda kullanılan döner makinaların aksine statik kompanzasyonda kondansatör grupları mevcuttur. Bu grupların devreye alınması kapasitelerine bağlı olarak elektro-mekanik yolla kesici veya kontaktör kullanılarak yapılabileceği gibi tristör gibi güç elektroniği elemanları kullanılarak da yapılabilir.[1] Tristör kullanılarak devreye alınıp

çıkarılan kondansatör bataryalarına Tristör Anahtarlama Kapasitör (TSC) adı verilir.

2. Tristör Anahtarlama Kapasitör

Kondansatörler; devreye alınıp çıkarılmaları sırasında sistemde ani aşırı akım ve gerilimlere, ayrıca rezonanslara neden olabilirler. Bu nedenle, kondansatörleri devreye alma çıkarma amacıyla tristör kullanıldığında dikkatli olunması gereklidir. Kondansatör gruplarını devreye alacak tristörlerin tekillenmeleri ancak kondansatör gerilimi ile şebeke geriliminin aynı polaritede olduğu ve aralarında çok az bir fark olduğu zaman yapılmalıdır. Bu sayede tristörlerden geçen akımın zamana bağlı değişme miktarı tristörleri yakacak seviyeye ulaşmaz. Kondansatörleri devreden çıkarma akımlarının sıfırdan geçtiği anda yapılmalıdır.[2]

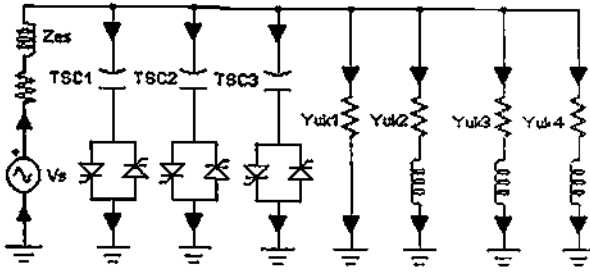
Tristör anahtarlama kapasitörlerinin şebeke ile rezonansa girmelerini önlemek ve anahtarlama esnasında oluşabilecek transientleri gidermek amacıyla; kondansatör gruplarına, seri küçük değerli endüktanslar bağlanır. Bu endüktansların değerleri; yükler harmonik üretiyorsa, bu harmoniklerin bir kısmını süzecek şekilde seçilebilir.[3]

Tristör anahtarlama kapasitörlerinde (TSC) kontrol mekanizmasının cevap süresi yarım ila bir periyot (50 Hz de 10-20ms) arasındadır ve kademeli bir şekilde kompanzasyon sağlarlar.[4] Bu nedenle reaktif enerji ihtiyacı kısa zamanda sürekli değişen ve değişim miktarı çok fazla olan endüktif karakterli yüklerin kompanzasyonunda tristör anahtarlama kapasitörlerinden oluşmuş bir kompanzasyon kullanılabilmesi için ünite sayısının çok olması gerekmektedir. Üç fazlı uygulamalarda tristör anahtarlama kapasitörleri üçgen bağlanır.

3. Tristör Anahtarlamaalı Kondansatörün (TSC) Simulink ile modellenmesi:

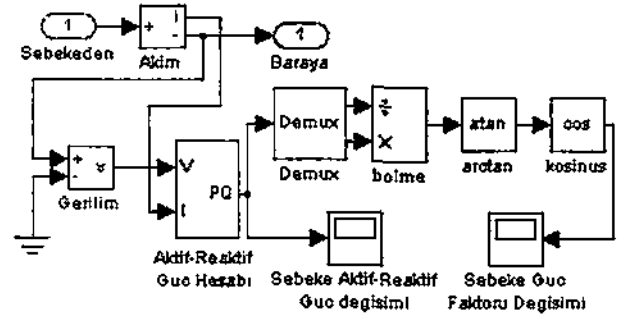
Simulink; MATLAB programı içerisinde dinamik sistemleri modelleme, simüle etme ve analiz için yazılmış bir yazılımdır.[5] Bu yazılımın grafik iletişimi sayesinde modeller, bloklar halinde dizayn edilip mouse yardımıyla birbirleriyle iribatlandırılarak hazırlanırlar. Matlab programının sunmuş olduğu her türlü matematiksel işlemlere ait bloklar simulink kütüphanesinde bulunmaktadır. Dijital sinyal işleme; Kontrol, Komünikasyon gibi Matlab'in Toolbox'larını içinde bulundurmasıyla, Simulink'in elektrik-elektronik mühendisliği alanında kullanılması artmıştır. Güç Sistemleri Blokseti'nin eklenmesiyle de elektrik tesislerinin Simulink ile modellenmesi mümkün olabilmektedir.[6]

Bu çalışmada; Tristör anahtarlamaalı kondansatörlerle reaktif güç kompanzasyonunun modellenmesi Simulink ile yapılmıştır. Bir fazlı eşdeğer devresi Şekil 1. de yer alan sistem: şebekeyi temsil eden bir kaynak, kademeli olarak devreye girip çıkan endüktif karakterli yükler ve tristör anahtarlamaalı kondansatörlerden oluşmaktadır.



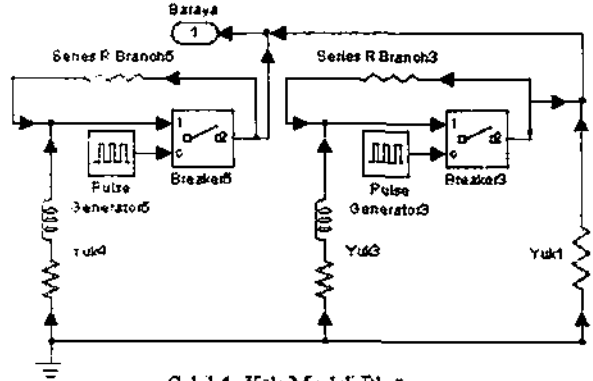
Şekil 1. Simulink ile modellenen sistemin bir fazlı eşdeğer devresi

şebekenin güç faktörü değişiminin izlenebilmesi için Şekil 3 teki ölçme bloğu tasarlanmıştır. Bu blokta şebekeden alınan giriş portu ile baraya bağlanan çıkış

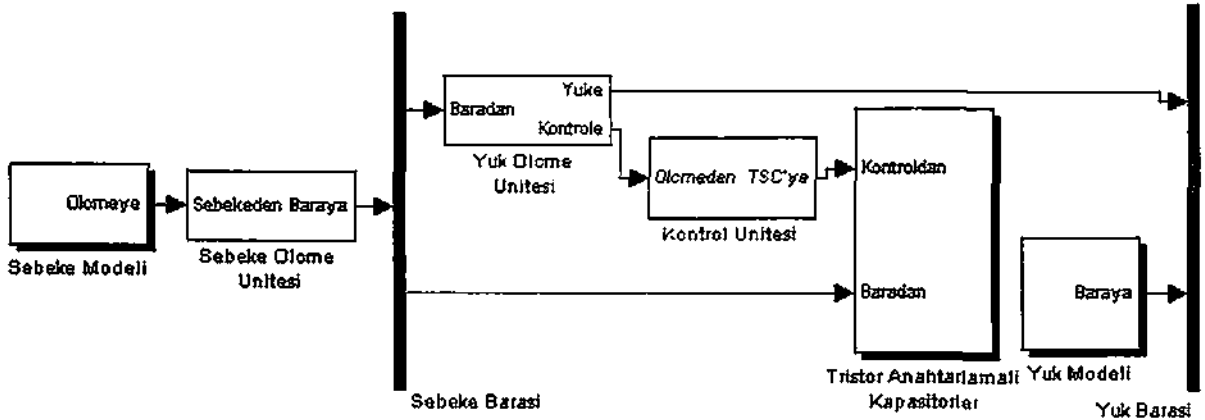


Şekil 3. Şebeke ölçme ünitesi bloğu

portu arasında akım ve gerilim ölçme bloğu yerleştirilmiştir. Ölçme bloklarının çıkışları aktif reaktif güç hesap bloğuna girilmiştir. Bu bloğun çıkışları bir dizi matematiksel işlemden sonra skoplarda şebekenin aktif-reaktif güç ile güç faktörü değişimlerini vermektedir.



Şekil 4. Yük Modeli Bloğu



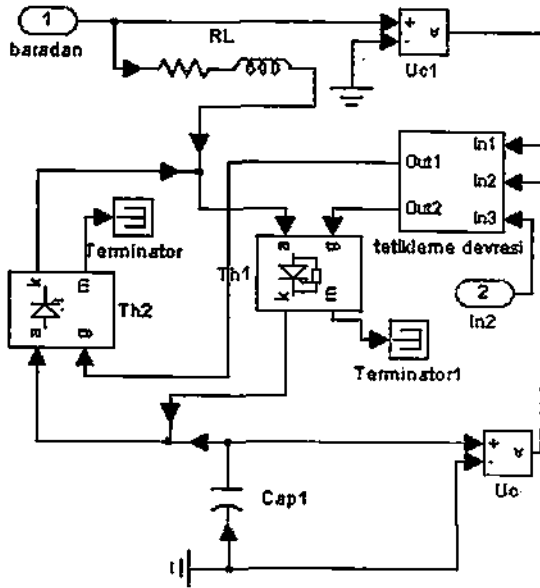
Şekil 2. Modellenen sisteme ait simulink blok akış diyagramı

Bu sistem, Simulink penceresinde Şekil 2 de görüldüğü gibi birbirlerine akış diyagramıyla bağlı altı blokla temsil edilmiştir. Şebeke modeli bloğunda 220V, 50Hz lik bir gerilim kaynağı, ona seri 0.01Ω ve 10μH lik bir endüktans bulunmaktadır. Şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç miktarı değişimi ve

Yük ölçme ünitesi bloğu da Şekil 3 teki yapıyla aynı özelliklere sahip olup hesapladığı yük reaktif gücü ile güç faktörünü kontrol bloğuna göndermektedir.

Aktif-Reaktif güç tüketimi zamana bağlı olarak hızlı değişen yükleri modellemek amacıyla: Şekil 2

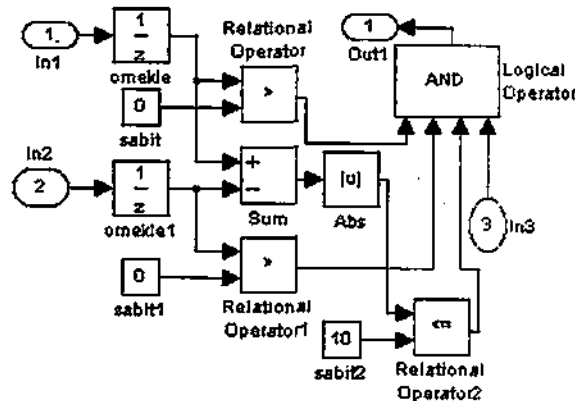
de görülen yük modeli bloğu, bir adet sabit değerli omik yük ve üç adet sabit değerli endüktif yük içermektedir. Şekil 4, birbirine paralel bağlı yükleri göstermektedir. Omik yük daima devrede kalırken, endüktif yükler ise kesici bloklarıyla belirli zamanlarda devreye alınıp çıkarılmaktadırlar. Kesicilerin kumandası kontrol uçlarına bağlanmıştır



Şekil 5. Tristör Anahtarlama Kapasitör Devresi

darbe generatörleri aracılığıyla lojik bir uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Yüklerin bir ucu toprağa diğer ucu da çıkış portuyla baraya bağlanmaktadır.

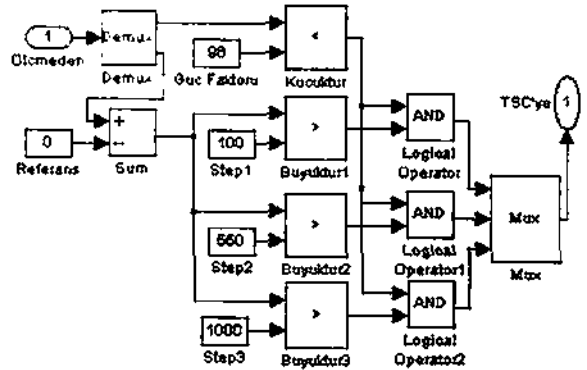
Tristör Anahtarlama Kapasitörler Bloğunda üç adet Şekil 5 te görülen TSC devresi yer almaktadır. Her bir kondansatör ünitesi 450VAr reaktif enerji üretecek şekilde seçilmiştir. Açma kapama akımını sınırlamak için konulan seri bobinin direnci 1Ω ve selfi $10\mu H$ dir. Tristörlerden birisine bağlanan snubber devresinin direnci 500Ω ve kapasitesi $15\mu F$ alınmıştır. Devrede; bara ile toprak arasına bağlanan gerilim ölçme bloğu şebeke gerilimi bilgisini, kondansatör uçlarına bağlanan gerilim ölçme bloğu da kondansatör gerilimi bilgisini tetikleme devresi bloğuna göndermektedir. Bu blokta tetikleme sinyallerinin üretildiği lojik mantık üniteleri bulunmaktadır.



Şekil 6. TSC tetikleme mantık devresi

Tetikleme devresi bloğu, Şekil 6 da görülen devreden iki adet bulundurmaktadır. Bu devrelerden birisi pozitif, diğeri negatif periyot tetikleme sinyalini üretmektedir. Devrenin üç giriş, bir çıkış portu mevcuttur. Giriş olarak şebeke ve kondansatör gerilimleri ile Kontrol ünitesi bloğunun çıkışı olan "TSC devreye alınmalıdır" sinyali girerken, çıkış olarak tetikleme sinyali çıkmaktadır.

Modellenen sistemde; yüklerin aktif ve reaktif güç tüketimleri çok kısa zamanda büyük değişim gösterdiklerinden, TSC'lerle yapılacak reaktif güç kompanzasyonunun yeterli hızda cevap verebilmesi için açık çevrim kontrol uygulanması gereklidir. Bu sebeple kompanzasyon ünitelerinin kontrolünde Şekil 7 de görülen mantık devreleri kullanılmıştır.



Şekil 7 Kontrol ünitesi bloğu mantık devresi

Bu devrede; giriş olarak, yük ölçme ünitesi bloğundan alınan yük reaktif gücü bilgisi ile yük güç faktörü bilgisi kullanılmaktadır. Kontrol mantığına göre: ölçülen güç faktörünün 0.96 dan küçük olduğu ve reaktif gücün devrede belirtilen adım fonksiyonuyla girilmiş değeri aştığı durumda ilgili TSC devreye alınmaktadır. Bu şartlar sağlanmadığı durumlar için kondansatörler devre dışı kalmaktadırlar.

4. Modelin Uygulaması ve alınan veriler:

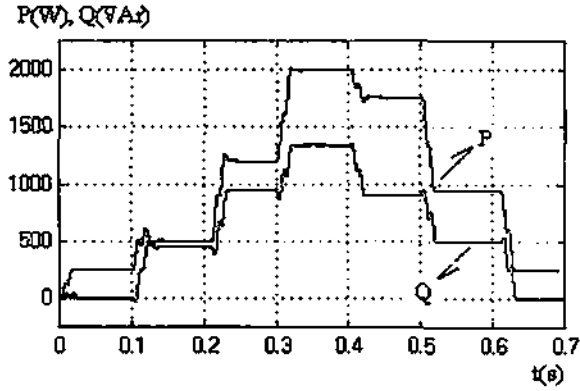
Tasarlanan modeli test etmek amacıyla; aktif ve reaktif gücü çok kısa aralıklarda değişen yüklerin bağlandığı model, 700ms lik bir zaman diliminde çalıştırılmıştır. Modellemesi yapılan sisteme Tablo 1 de görülen yük rejimi uygulanmıştır.

Tablo 1. Model sisteme uygulanan yük rejimi

Yük No	P (W)	Q (VAr)	Güç Faktörü	Zaman Aralığı(ms)
1	250	0	1	0-700
2	250	-150	0.46	100-400
3	700	500	0.81	210-610
4	800	400	0.89	300-500

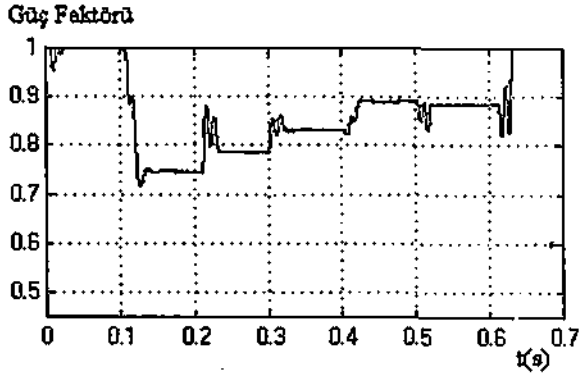
Tablo 1. de görüldüğü gibi yükler, değişik zaman aralıklarında devreye alınıp çıkarılmaktadırlar. Bu

durumda yüklerin şebekeden çektikleri toplam aktif ve reaktif güçler simülasyon sonucu Şekil 8. de görüldüğü gibi elde edilmiştir.



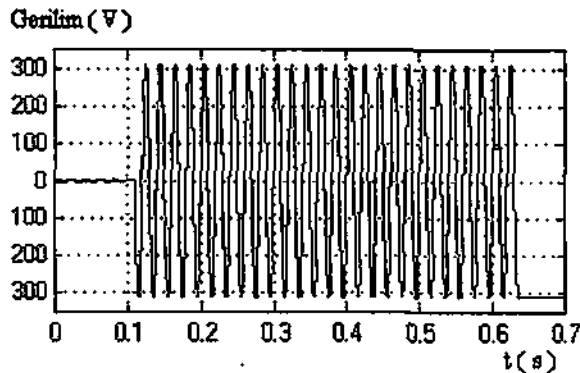
Şekil 8. Yük Aktif ve Reaktif Gücü Değişimi

Uygulanan yük rejimine bağlı olarak simülasyon süresince elde edilen yük güç faktörü değişimi ise Şekil 9. da olduğu gibidir.



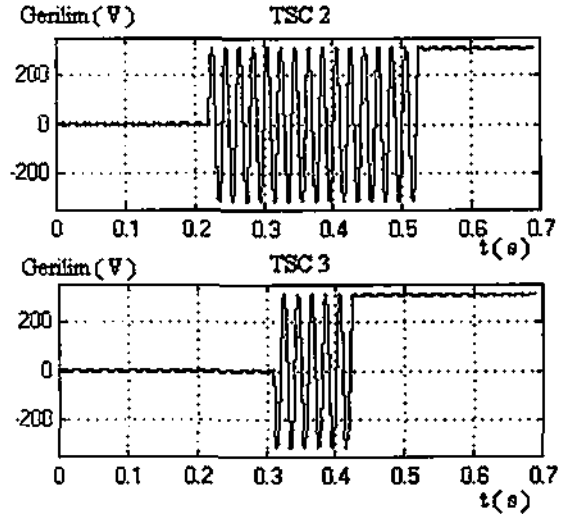
Şekil 9. Yük modelinin güç faktörü değişimi

Yük güç faktörü; simülasyonun 100. milisaniyesinden itibaren 0.96'nın altına düştüğü ve Şekil 8 de görüldüğü gibi yükün reaktif gücü yaklaşık 500 VAR değerine ulaştığı için, kontrol ünitesi bir adet TSC'ye devreye alınma sinyali göndermiştir. Dolayısıyla 100 - 200 ms aralığında sadece birinci TSC devrede olmuştur. Bu TSC, Şekil 10 da görüldüğü gibi yük reaktif gücünün sıfıra düştüğü 600. milisaniyeye kadar devrede kalmıştır.



Şekil 10. Bir numaralı TSC'nin gerilim değişimi

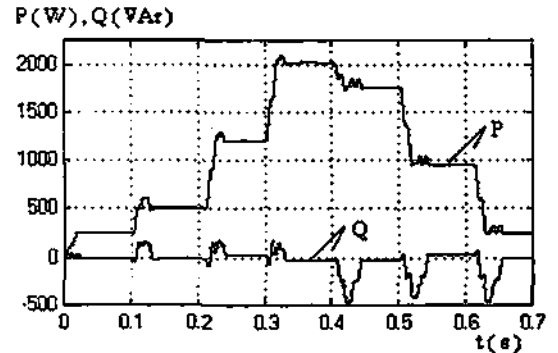
Uygulanan diğer yük kademeleri için gerekli kompanzasyonu sağlamak üzere, öteki iki kondansatör de gerekli hallerde devreye alınıp çıkarılmışlardır. Şekil 11. de öteki iki tristör anahtarlamalı kondansatöre ait gerilim değişimleri görülmektedir.



Şekil 11. TSC2 ve TSC3 için gerilim değişimleri

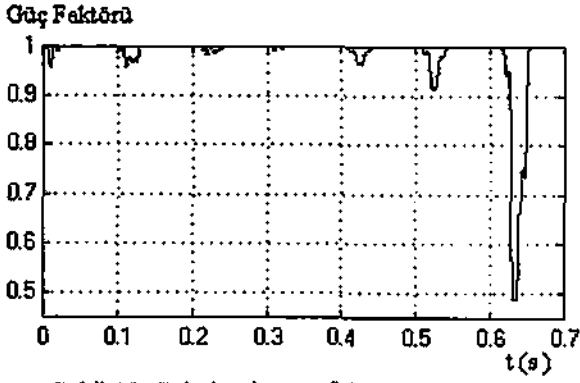
Elektrik enerjisi dağıtımını sağlayan kuruluş TEDAŞ. tüketicilerin şebekeden çekecekleri aktif ve reaktif güçlere ait düzenlemeler getirmiştir. Buna göre: tüketicilerin çekeceği aylık ortalama reaktif enerji miktarı, aktif enerji tüketimlerinin %30 unu geçemeyecektir. Ayrıca, tüketicilerin şebekeyi kapasitif olarak yüklemeleri halinde bu miktar aylık ortalamada aktif enerji tüketimlerinin %50 sini geçemeyecektir.

Şekil 12. de modellenen sistemin şebekeden çektiği aktif ve reaktif enerjinin değişimi görülmektedir. Aktif enerji tüketimine karşılık; reaktif enerji tüketimi değişimi, oldukça küçük değerde kalmaktadır.



Şekil 12. Şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç değişimleri

Şebekenin aktif ve reaktif güç değişimlerine karşılık gelen şebeke güç faktörünün zamana bağlı değişimi ise Şekil 13. de bulunmaktadır.



Şekil 13. Şebekenin güç faktörü değişimi

Şebekenin güç faktörü değişimi incelendiğinde güç faktörünün kalıcı hallerde bire yakın kaldığı geçici durumlarda ise 0.9 değerinin üzerinde olduğu görülecektir. Simülasyonun 600 ve 700 milisaniyeleri aralığında; yük olarak sadece 250W lık omik yükün devrede kaldığı durum için, 450 VAR lık kondansatörün devreden çıkarılması süresince güç faktörü kapasitif bölgede 0.5 seviyesine kadar düşmektedir.

4. Sonuç ve değerlendirme:

Bu çalışmada; aktif ve reaktif güç tüketimi zamana bağlı olarak çok hızlı ve büyük miktarlarda değişen yüklerin reaktif güç kompanzasyonu, tristör anahtarlamalı kondansatörler (TSC) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dört değişik yük için kompanzasyon sağlayacak üç adet TSC'nin bulunduğu sistem Matlab 5.2 Simulink programı kullanılarak modellenmiştir. Modelde her türlü yük durumu için şebekenin güç faktörünü 0.95 ten büyük seviyede tutacak kontrol mekanizması hedeflenmiştir.

Sistemde; yükün sabit kaldığı durumlar için güç faktörü bire yakın seviyede tutulurken, yük değişimleri anındaki geçici durumlar için güç faktörü 0.9'un üzerinde tutulmuştur. Ancak, büyük güce sahip bir yükün devre dışı kaldığı ve sonuçta sadece küçük değerlikli omik bir yükün kaldığı duruma uygun kompanzasyon sağlanması sırasında geçen 1 periyotluk kısa bir süre için güç faktörü kapasitif 0.5 değerine düşmektedir. TSC ile yapılan kompanzasyon sisteminin cevap süresi minimum 1 periyot olduğu ve sistem kademeli bir kompanzasyon sağladığı için elde edilen sonuç gayet makuldür. Ayrıca aylık ortalamalar göz önüne alındığında; sistemin, yönetmeliklerde belirtilen şartları sağlayabileceği açıktır. Daha çok sayıda TSC kullanılması halinde, sistemin performansı da iyileşecektir. Ancak; çok daha iyi performans istenildiği durumlar için TSC yanında, tristör kontrollü reaktörün de (TCR) kullanıldığı statik var sistemlerinin kullanılması önerilebilir.

REFERANSLAR:

1. Reaktif Güç Kompanzasyonu Seminer Notları, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi
2. BAYRAM, M.. "Hızlı değişen olaylarda reaktif güç kompanzasyonu" Elektroteknik dergisi, Sayı 1, Ocak 1984
3. MILLER, J.. "Reactive power control in electric power systems", John Willey & Sons, 1982
4. KUNDUR, P. , *Power System Stability and Control*, McGraw-Hill, Inc., 1993
5. The Mathworks Inc., "Using Simulink Version 2", January 1997
6. The Mathworks Inc., "Power System Blockset For Use with Simulink User's Guide", January 1998