

ALÇAK GERİLİM REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYON SİSTEMLERİNİN DENEYSEL KARŞILAŞTIRMASI

Metin Kıyan

Metin Kayabaşı

Elektrolojik Enerji Teknolojileri Ltd. Şti. Hacettepe Tekmer HÜ/ANKARA

metinkıyan@yahoo.com

mkayabasi@yahoo.com

ABSTRACT

Quality of electrical energy is an important issue which has to be dealt with carefully. This paper examines the basic power quality problems and make a comparative study on the solutions of one of the most important power quality problem: compensation of reactive power. In this study, particularly, the conventional compensation methods (contactor switched) and the thyristor switched capacitor (TSC) method which are used mostly in the LV (low voltage) distribution systems, are compared theoretically and the results are demonstrated based on real experiments. The advantages and disadvantages of the both methods are listed according to the equipment and system characteristics and the superiority of the TSC system is revealed.

Anahtar sözcükler: *Kompanzasyon, Statik Anahtar, TAK, Tristör, TSC*

1. GİRİŞ

Elektrik enerjisinin kalitesi bir çok nedenden ötürü titizlikle ele alınması gereken bir konudur. Günümüzde, güç elektroniğindeki gelişmelere paralel olarak, gerilim bozulmalarına duyarlı ve/veya bu bozulmaları bizzat kendisi yaratan cihazların giderek daha yaygın bir biçimde kullanılmaya başlanması, buna bağlı olarak çoğu zaman nedeni bile anlaşılamayan arızaların ortaya çıkması ve yine bununla birlikte üretim kalitesinin ve kapasitesinin düşerek maliyetlerin artması, can güvenliğine yol açabilecek sorunların ortaya çıkması, gözlerin bu konu üzerine daha fazla çevrilmesine neden olmuştur.

Güç kalitesi problemleri; gerilim düşmeleri ve kesintiler, harmonikler, aşırı gerilimler, gerilim dalgalanmaları, dengesizlikler ve iletim-dağıtım hatlarını gereksiz meşgul eden reaktif enerji olmak üzere birkaç başlık altında toplanabilir. Bütün bu problemlerin arkasında gerek iletim ve dağıtım hatlarından gerekse kullanıcılardan kaynaklanan sorunlar yatar. Öte yandan problemlere ilişkin bir çözüm, birden fazla güç kalitesi sorununu ortadan kaldıracak gibi, dikkatsiz tasarlanmış bir çözüm ise başka güç kalitesi problemlerini ortaya çıkartabilir. Dolayısı ile bir güç kalitesi problemi çözülmeye

çalışılırken, sistem bütünlüklü olarak hassasiyetle ele alınmalı, uygulanacak çözüm bütün yönleriyle değerlendirilmelidir.

Bu bildiri de iletim ve dağıtım hatlarını gereksiz yere meşgul eden reaktif enerjinin kompanse edilmesinde kullanılan geleneksel yöntemlerle, tristör anahtarlamalı kondansatör sistemlerinin karşılaştırılması sunulacak, bu yöntemlerin ortaya çıkardığı güç kalitesi problemleri ve uzun süreli etkileri incelenecektir.

Elektrik tesislerinde, manyetik ve statik alanla çalışan işletme araçları, aktif güçle birlikte, şebekeden reaktif güç de çekerler. Transformatörler, bobinler, asenkron motorlar, doğrultucular, endüksiyon ve ark ocakları, kaynak makineleri, florasan lambalar, sodyum ve civa buharlı lamba balastları gibi yükler şebekeden reaktif güç çeken yüklerden bazılarıdır. Fiziksel anlamda iş yapmayan güç olarak tabir edilen reaktif güç, periyodun bir yarısında kaynaktan yüke doğru, diğer yarısında ise yükten kaynağa doğru akmaktadır. Dolayısı ile reaktif güç iletim hatlarının önemli bir kısmını gereksiz yere meşgul etmekte ve gereksiz kayıplara neden olmaktadır. İletim hatlarının reaktif güçle fazla yüklenmesini engellemek, buna bağlı kayıpları en aza indirmek için reaktif güç kullanıldığı yerlerde üretilerek kompanse edilir.

Reaktif güç kompanzasyonu şebeke açısından, güç kapasitesinin artmasına, ısı kayıplarının azalmasına, gerilim düşmesinin ve gerilim dalgalanmalarının azalmasına, iletim hatlarının geçici durum kararlılığının iyileşmesine ve faz gerilim dengesizliklerinin azalmasına neden olur [1]. Tüketici açısından ise, işletme maliyetleri düşecek, şebekeden daha az reaktif güç çekilmesi sonucu ödenen faturalar azalacak, elektrik enerjisinin kalitesizliğinden kaynaklanabilecek arıza riski en aza inecek ve buna bağlı olarak üretim ve hizmet kalitesi artacaktır.

Öte yandan yasal sınırlamalar ve yeni düzenlemeler, kompanzasyonu ekonomik bir zorunluluk haline getirmektedir. EPDK'nin (Enerji Piyasaları Denetleme Kurulu), 25639 sayı ve 10/11/2004 tarihli "Elektrik İletimi Arz Güvenirliği ve Kalitesi Yönetmeliği"nde mevcut güç faktörü değerlerini aşamalı olarak yükseltmesi, kompanzasyon ihtiyacını daha da arttırmıştır. Buna göre, 1 Ocak 2007 tarihinden itibaren; iletim sistemine doğrudan bağlı

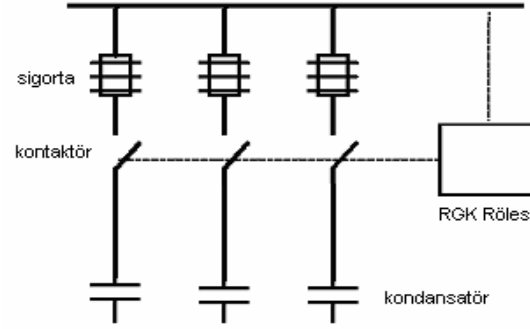
tüketiciler ve dağıtım lisansına sahip tüzel kişiler için, iletim sisteminin her bir ölçüm noktasında aylık çekilen endüktif reaktif enerjinin sistemden çekilen aktif enerjiye oranı yüzde yirmibeş, aylık sisteme verilen kapasitif reaktif enerjinin sistemden çekilen aktif enerjiye oranı yüzde onbeş olarak uygulanacak, 1 Ocak 2009 tarihinden itibaren ise bu oranlar sırasıyla endüktif ve kapasitif enerji için yüzde ondört ve yüzde on olarak uygulanmaya başlanacaktır. [2]

AG (alçak gerilim) sistemlerde reaktif gücün en ekonomik biçimde kompanse edilmesi yöntemi, sisteme paralel bağlı reaktif güç kondansatörleri kullanılmasıdır. Bu kondansatörler, kademeli olarak dizayn edildiğinde, sistemin değişen reaktif güç ihtiyacına göre reaktif güç üretecek ve böylece reaktif gücün şebekeden çekilmesi yerine kullanıcı tarafından üretilmesini sağlayacaktır. Bunun sonucu olarak, iletim ve dağıtım hatları gereksiz yere yüklenmeyecek, daha fazla yükü besleyebilecek duruma gelecek, tesislerdeki gerilim düşümü ve kayıplar azalacaktır. Bununla birlikte günümüzde yaygın kullanılan ve kondansatörlerin elektro-mekanik yöntemlerle anahtarlanmasına dayanan geleneksel kompanzasyon sistemleri, çeşitli güç kalitesi problemlerini de beraberinde getirmektedir.

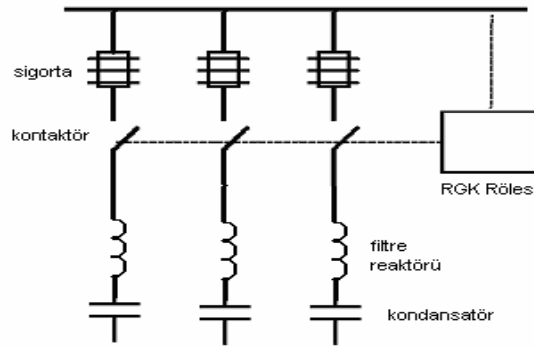
Bu sistemler, kontaktör anahtarlamalı yalın kondansatör bankaları veya kontaktör anahtarlamalı filtreli kondansatör bankaları olmak üzere ikiye ayrılır. Bununla birlikte üçüncü bir yöntem ise bara-kondansatör geriliminin sıfır noktasında ateşlenen "thyristor switched capacitor" (TSC) yöntemidir.

II. KOMPANZASYON YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Reaktif güç kompanzasyonunda, Türkiye'de en sık karşılaşılan çözüm olarak kontaktörlü yalın kondansatör bankaları kullanılmaktadır (Şekil-1). Bunun nedeni, bu sistemlerin ekonomik ve kolay bir çözüm sunmasıdır. Bu yöntem, yükün reaktif güç ihtiyacına göre, belli bir dizine sahip kondansatör kademelerinin, elektronik reaktif güç kontrol (RGK) rölesi ve kontaktörler yardımıyla devreye alınıp, devreden çıkarılmasına dayanır. Hızlı değişmeyen yükler için ekonomik ve kolay bir yöntem olmasına karşın, bu yöntemin çeşitli sakıncaları vardır. Kontaktörler şebeke gerilimi ve kondansatör üzerindeki gerilimi dikkate almadan rastgele bir anda ateşleme yaptıklarından dolayı, bara üzerinde ani ve hızlı gerilim yükselmeleri veya çukurları ile kondansatörler üzerinde aşırı geçiş akımları oluşabilmektedir. Bir kondansatör bankasının enerjilendirilmesiyle, ilk tepe gerilimi nominal gerilimin rms değerinin $2\sqrt{2}$ katına kadar ulaşabilen bir geçici rejim (transient) aşırı gerilimi (örnek: kondansatör henüz deşarj olmamış ve gerilimi negatif tepe değerinde, bara ise pozitif tepe değerinde olması durumu) ve tepe değeri kondansatörün nominal akımının 100 katına kadar ulaşabilen geçici rejim aşırı akımı oluşabilir. Bu durum aynı baradan beslenen



Şekil 1. Yalın kondansatörlü kompanzasyon

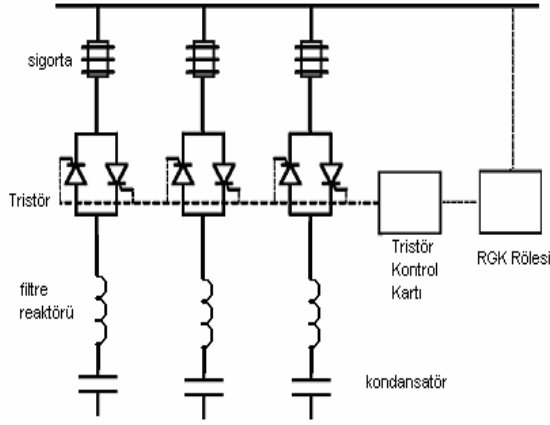


Şekil 2. Filtreli Kompanzasyon

PLC, CNC ve motor sürücü gibi hassas sistemlerin bozulmasına ya da yanlış çalışmasına ve kondansatörlerin ömürlerinin kışalmasına neden olmaktadır. Kontaktör yapışması ise sıkça karşılaşılan diğer bir önemli mekanik sorundur. Bununla birlikte yalın kondansatörlerin şebeke empedansı ile rezonansa girip patlama tehlikesi de vardır. Kontaktörlü filtreli kondansatör çözümü ile yalın kondansatör yönteminin bazı sakıncalarının önlenmesi amaçlanmıştır (Şekil-2).

Kondansatöre seri olarak bağlanan bir anti-harmonik filtresi ile rezonans riski azaltılmakta, anahtarlama esnasında oluşan geçici aşırı akım ve gerilim bileşenleri de sınırlandırılmaktadır. Ancak bu bileşenler tamamen ortadan kalkmamaktadır. Dolayısı ile, kontaktör yapışmalarına bu sistem yapısında da rastlanabilmektedir. Bu sistem de yine yalın kondansatör yöntemindeki gibi, hızlı değişen yüklerin kompanzasyonunda kullanılamamaktadır [3].

Hızlı değişen yük durumlarında güç faktörünün elektro-mekanik olarak sürülen kondansatör kademeleriyle değişmesi zordur. Böyle durumlarda geleneksel sistem, yükün ihtiyacı olan reaktif gücü karşılamakta gecikir. Dolayısı ile, tristör anahtarlamalı kondansatör bankalarının kullanımı zorunluluk haline gelmiştir. Tristör anahtarlamalı kompanzasyon sistemleri, bara gerilimi ile kondansatör geriliminin sıfır noktasında kondansatör bankalarını devreye alma ve akımın sıfır noktasında devreden çıkarma esasına göre çalışır. Bununla birlikte, kondansatörlere seri olarak bağlanan anti-harmonik filtresi ile rezonans riski de bertaraf edilmektedir.



Şekil 3 Tristör Anahtarlamalı Kompanzasyon

Geçici rejim aşırı akım ve gerilimlerin oluşması, kondansatörlerin hangi anda ateşlendiğine bağlıdır. Verilen bir zamanda kondansatör üzerinden geçen akım aşağıdaki denklemle ifade edilir:

$$i(t) = \frac{V_m}{X_C - X_L} \cos(\omega t + \alpha) - \frac{V_m}{X_C - X_L} \cos(\alpha) \cos(\omega t) + \left[\frac{X_C V_m \sin(\alpha)}{\omega_r L (X_C - X_L)} - \frac{V_{co}}{\omega_r L} \right] \sin(\omega_r t)$$

Burada X_C ve X_L kademedeki kondansatör ve reaktörün reaktansını, V_m kaynağın maximum anlık gerilim değerini, α kondansatörün bağlı olduğu baradaki gerilimin faz açısını, ω_r sistem rezonans frekansını ($\omega_r = 1/\sqrt{LC}$), V_{co} $t = 0$ anındaki kondansatör gerilimini belirtmektedir. (Bu denklemde sistemin eşdeğer direnci ihmal edilmiştir.) [4]

Geçici rejimleri olmayan bir anahtarlama için $\cos \alpha = 0$ ve $V_{co} = \pm V_m (X_C / (X_C - X_L))$ koşulları eş zamanlı olarak sağlanmalıdır. Sürekli değişen koşullarda, mükemmel geçici rejimsiz bir anahtarlama sağlamak imkansızdır, ancak uygun bir kontrol stratejisiyle tristörün, kabul edilebilir sınırlarda anahtarlama yapması sağlanabilir. [5]

Tristör anahtarlamalı kondansatör sistemlerinin avantajları aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

1. Her kondansatör grubu anahtar uçlarındaki sıfır gerilim anında devreye alınacağı için anahtarlama dalgalanmaları engellenmiş ve aynı AG baradan beslenen elektronik cihazlar ise parazitlerden uzak tutulmuş olacaktır.

2. Kondansatörün devreden çıkarılması akımın sıfır anında olacağı için akım kesmesinden kaynaklı paralel endüktif yükler üzerindeki yan etkiler ortadan kalkacaktır.

3. Yukarıdaki avantajlardan dolayı tristör anahtarları çok hızlı seviyelerde çalıştırılabilirler. Yük tarafından ihtiyaç duyulduğu taktirde tristör bir periyot içinde yanıt verebilir.

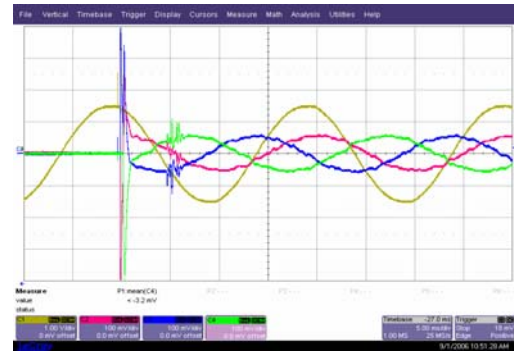
4. Tristörlü anahtarlama, kaynak makinesi, vinç, asansör ve benzeri sık ve kısa periyotlarla reaktif

güç ihtiyacı olan endüktif yüklerin reaktif güç ihtiyacını anlık olarak karşılayabilecek tek yöntemdir.

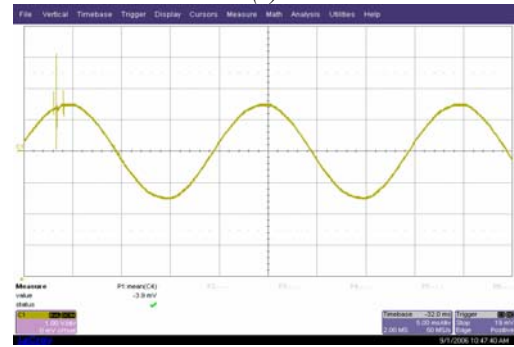
5. Geleneksel kompanzasyon sistemlerdeki dalgalanmaların ve mekanik kısımların hareketinden kaynaklı kayıplar olmayacağı için kondansatörlerin ömrü uzayacaktır.

III. DENEY SONUÇLARI

Aşağıda, 5 kVAr gücündeki bir kompanzasyon kondansatörünün yalın olarak ve daha sonra filtre reaktörü kullanılarak; kompanzasyon kontaktörü ve tristörle devreye alınması ve devreden çıkarılması sırasındaki oluşan geçici rejimleri gösteren deney sonuçlarına yer verilmektedir. Sonuçlar bir osiloskop yardımıyla gözlenmiş ve karşılaştırılmıştır.



(a)



(b)



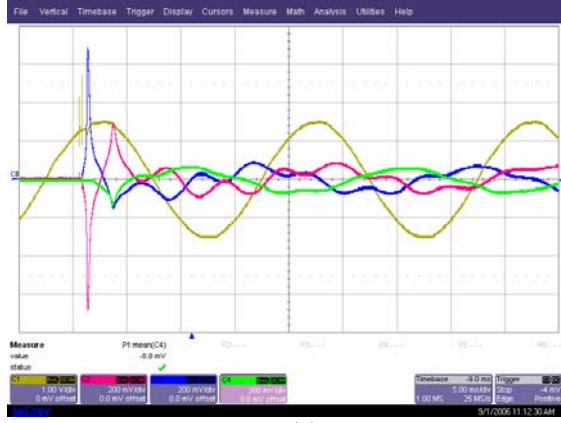
(c)

Şekil 4- Yalın kondansatörlü kompanzasyon

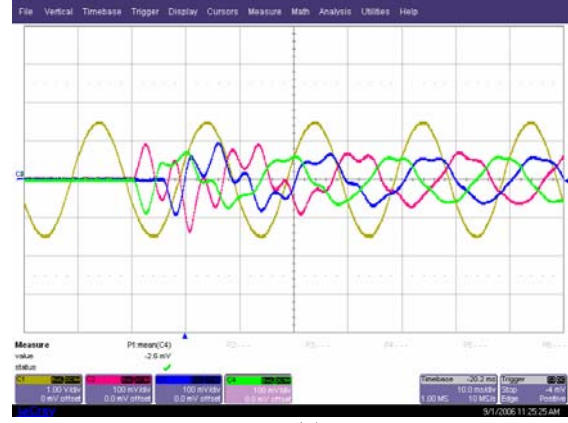
(a) kondansatörün devreye giriş anı, bara gerilimi (sarı) ve kondansatör akımları

(b) kondansatörün devreye giriş anındaki bara gerilimi

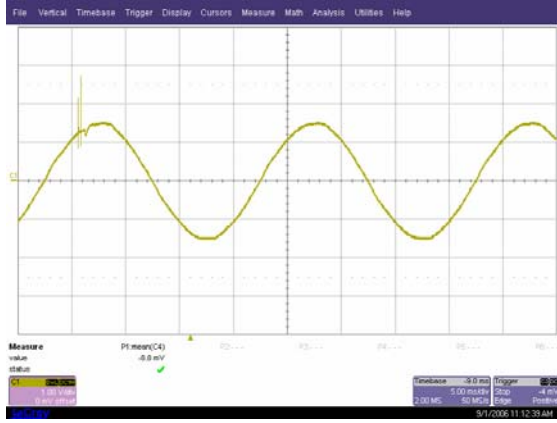
(c) kondansatörün devreden çıkış anındaki bara gerilimi ve kondansatör akımları



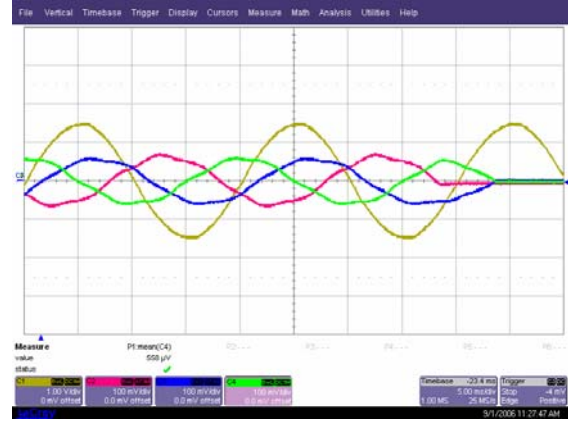
(a)



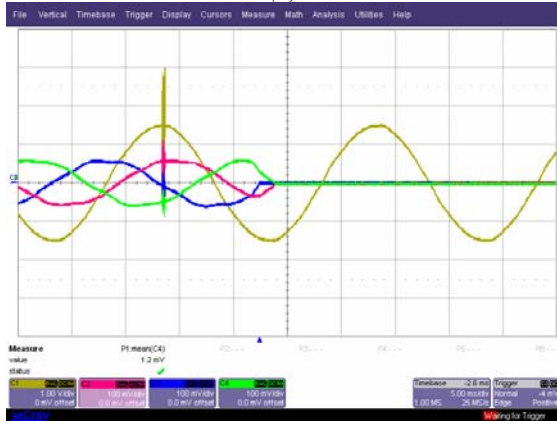
(a)



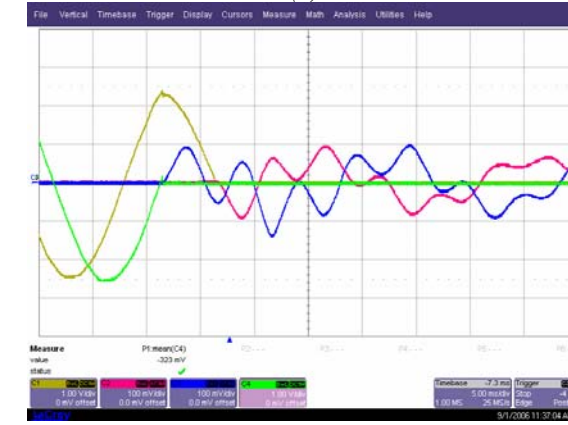
(b)



(b)



(c)



(c)

Şekil 5- Kontaktör anahtarlama harmonik filtre bankası
 (a) kondansatörün devreye giriş anı, bara gerilimi (sarı) ve kondansatör akımları
 (b) kondansatörün devreye giriş anındaki bara gerilimi
 (c) kondansatörün devreden çıkış anındaki bara gerilimi ve kondansatör akımları

Şekil 6-Tristör anahtarlama harmonik filtre bankası
 (a) kondansatörün devreye giriş anı, bara gerilimi (sarı) ve kondansatör akımları
 (b) kondansatörün devreden çıkış anındaki bara gerilimi ve kondansatör akımları
 (c) tristörün sıfır geçiş ateşleme anı (sarı- yeşil: kondansatör-bara gerilimleri, mavi, kırmızı: akımlar)

Yukarıdaki grafiklerde elde edilen sonuçlar kıyaslandığında, yalnız kondansatörlü kompanzasyonda geçici aşırı akım ve gerilimdeki anlık bozulmanın diğer sistemlere oranla daha fazla olduğu, kondansatörün akım harmoniklerini artırdığı (amplification) rahatlıkla görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi, geçici rejim akımının üst ve alt sınırı osiloskop ekranının dışına çıkmaktadır. Öte yandan, kontaktör anahtarlamalı filtreli kondansatör sisteminde de önemli oranda geçici rejim akımı oluştuğu göze çarpmaktadır. Tristör anahtarlamalı sistemde ise oluşan akım ihmal edilebilir bir seviyede yükselmekte, şebeke geriliminde ise ne devreye giriş, ne de devreden çıkış anında en ufak bir bozulma gözlemlenmemektedir. Aşağıdaki çizelgede, tristör anahtarlamalı sistemlerle, geleneksel kontaktör anahtarlamalı sistemlerin karşılaştırılması sunulmaktadır.

Çizelge 1 – Kompanzasyon sistemlerinin karşılaştırılması

Özellikler	Kontaktör Anahtarlamalı	Tristör Anahtarlamalı
Anahtarlama metodu	Kontrolsüz anahtarlama	Sıfır gerilimde anahtarlama
Anahtarlama Dalgalanmaları	Çok yüksek	İhmal edilebilir
Yanıt Süresi	Çok ağır (dakikalar seviyesinde)	Çok hızlı (milisaniyeler seviyesinde)
Açma/kapama sayısı	Sınırlı	Sınırsız
Anahtar tipi	Elektro-mekanik Çok aşınma ve bozulma Kısa ömürlü	Yarı-iletken Aşınma ve bozulma yok Uzun ömürlü
Bakım maliyetleri	Çok yüksek	İhmal edilebilir

IV. SONUÇ

Güç elektroniğinin gelişmesi ile birlikte, bozulma yaratan ve/veya bozulmalardan etkilenen yüklerin daha yaygın kullanılmaya başlanması, kullanıcılar için her geçen gün daha fazla kayıp ve hasara yola açan güç kalitesi problemlerinin üzerinde daha titizlikle durulması gerekliliğini doğurmuştur.

Günümüzde kullanılan geleneksel reaktif güç kompanzasyon teknikleri, çeşitli güç kalitesi problemlerini de beraberinde getirmektedir. Bu

çalışmada kontaktör anahtarlamalı geleneksel kompanzasyon yöntemleri modern statik anahtarlamalı sistemlerle hem teorik hem de deneysel olarak kıyaslanmıştır. Sonuç olarak, kontaktör anahtarlamalı sistemler, şebekede bozucu etkilerde bulunan aşırı akım ve gerilim bileşenleri yaratırken, tristör anahtarlamalı statik kompanzasyon sistemleri herhangi bir güç kalitesi problemine neden olmamaktadır. Yukarıda sayılan özelliklerinden dolayı ve yarı-iletken teknolojisinin gün geçtikçe ucuzlaması ve yaygınlaşmasının bir sonucu olarak, daha hızlı, güvenli ve ekonomik olan statik anahtarlamalı çözüm, kontaktörlü sistemlerin yerini alacaktır.

V. KAYNAKÇA

- [1] U. Arifoğlu, “Güç sistemlerinin bilgisayar destekli analizi”, Alfa, 2002
- [2] T.C. EPDK, “Elektrik İletimi Arz Güvenirliliği ve Kalitesi Yönetmeliği, T.C. EPDK”, Resmi Gazete, 10/11/2004, Sayı:25639
- [3] A. Terciyanlı, “Konvansiyonel ve statik anahtarlamalı kompanzasyon sistemlerinin performans karşılaştırılması”, Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu-Mayıs 2005, Kocaeli
- [4] J.Dikson, “Reactive Power Compensation Technologies”, State-of-the Art Review
- [5] Miller T.J., “Reactive Power Control in Electrical Systems”, John Wiley&Sons,1982