

Alçak Gerilim Reaktif Güç Kompanzasyon Sistemlerinin Deneysel Karşılaştırması

Elk. Müh. Ali Cüneyt Kurt
cuneyt.kurt@emo.org.tr



I. 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
- İletim-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 kaldırabildiği 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 yazıda 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.

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. 9 Ocak 2007 tarihli ve 26398 sayılı Resmi Gazetede Yayımlanan Elektrik Piyasası Müşteri Hizmetleri Yönetmeliğinde yapılan değişiklik ile Yönetmeliğinin 16. maddesinin dördüncü fıkrası aşağıdaki şekilde değiştirilmiştir.

“Reaktif enerji miktarını ölçmek üzere gerekli ölçme düzeneği, mevzuat hükümleri çerçevesinde mesken abone grubu dışında kalan müşteriler tarafından tesis edilir. Bu müşterilerden, bağlantı gücü 50 kVA ve üstünde olanlar ise, çektikleri aktif enerji miktarının %20'sini aşan şekilde endüktif reaktif enerji tüketmeleri veya aktif enerji miktarının %15'ini aşan şekilde

sisteme kapasitif reaktif enerji vermeleri halinde, reaktif enerji tüketim bedeli ödemekle yükümlüdür. [2]

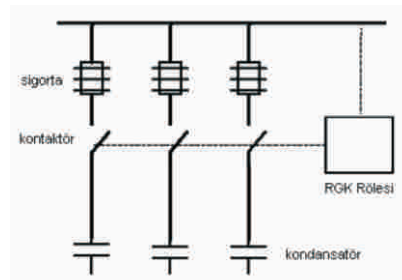
AG sistemlerde reaktif gücün en ekonomik biçimde kompanse edilmesi yöntemi, sisteme paralel bağlı reaktif güç kondansatörleri kullanılmasıdır. Bu kondansatörler, kademeli olarak dizayn edildiğinde, sistemin değişen reaktif güç gereksinimine göre reaktif güç üretecek ve böylece reaktif gücün şebekeden 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 kondansatörlerinin elektro-mekanik yöntemlerle anahtarlanmasına dayanan geleneksel kompanzasyon sistemleri, çeşitli güç kalitesi problemlerini de beraberinde getirmektedir.

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

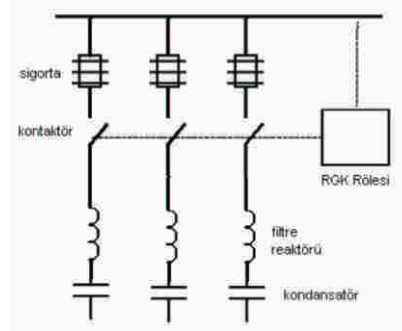
II. KOMPANZASYON YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Reaktif güç kompanzasyonunda, Türkiye'de en sık karşılaşılan çözüm olarak kontaktörlü yalın kondansatör bankları kullanılmaktadır (Şekil-1). Bunun nedeni, bu sistemlerin ekonomik ve kolay bir çözüm sunmasıdır. Bu yöntem, yükün reaktif güç gereksinimine 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 bankının 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 PLC, CNC ve motor sürücü gibi hassas sistemlerin



Şekil 1. Yalın kondansatörlü kompanzasyon

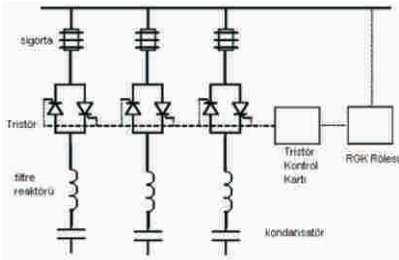


Şekil 2. Filtreli Kompanzasyon

bozulmasına ya da yanlış çalışmasına ve kondansatörlerin ömürlerinin kısalmasına 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 gereksinimi olan reaktif gücü karşılamakta gecikir. Dolayısı ile, tristör anahtarlama kondansatör banklarının kullanımı zorunluluk haline gelmiştir. Tristör anahtarlama kompanzasyon sistemleri, bara gerilimi ile kondansatör geriliminin sıfır noktasında kondansatör banklarını 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:

$$i(t) = \frac{V_m}{X_C - X_L} \cos(\omega t + \alpha) - \frac{V_m}{X_C - X_L} \cos(\alpha) \cos(\omega t) + \left[\frac{X_C V_m \sin(\alpha)}{\omega L (X_C - X_L)} - \frac{V_{\infty}}{\omega L} \right] \sin(\omega t) \quad (1)$$

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, W_r sistem rezonans frekansını ($\omega = 1/\sqrt{LC}$), $V_{\infty} t = 0$ anındaki kondansatör gerilimini belirtmektedir. (Bu denklemde sistemin eşdeğer direnci ihmal edilmiştir.) [4]

Geçici rejimleri olmayan bir anahtarlama için $\cos \alpha = 0$ ve $V_{\infty} = \pm V_m (X_C / (X_C - X_L))$ (2) koşulları eş zamanlı olarak sağlanmalıdır. Sürekli değişen koşullarda, mükemmel geçici rejimsiz bir anahtarlama sağlamaya olanaksızdır, 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 takdirde 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 gereksinimini anlık olarak karşılayabilecek tek yöntemdir.

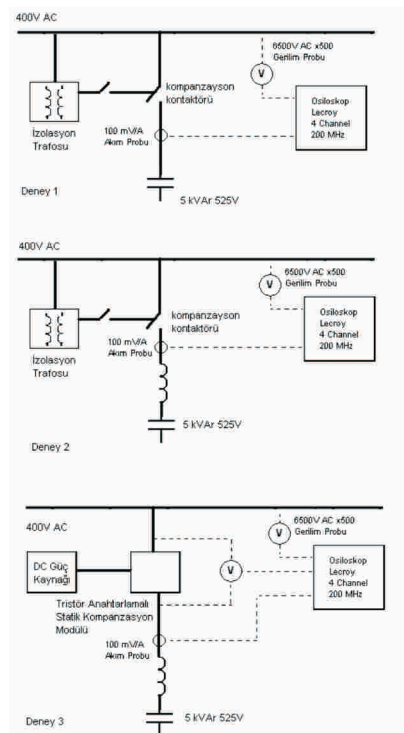
5. Geleneksel kompanzasyon sistemlerdeki dalgalanmaların ve mekanik kısımların hareketinden kaynaklı kayıplar olmayacağı için kondansatörlerin ömrü uzayacaktır.

III. DENEY SONUÇLARI

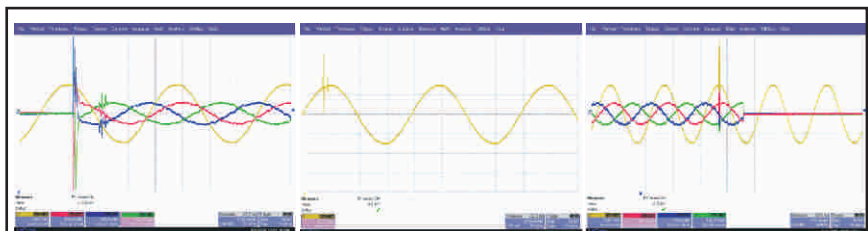
Aşağıda, 5 kVar gücündeki bir kompanzasyon kondansatörünün yalın olarak ve daha sonra filtre reaktörü kullanılarak; kompanzasyon kontaktörü ve tristörle devreye alınması ve devreden çıkarılması sırasındaki oluşan geçici rejimleri gösteren deney sonuçlarına yer verilmektedir.

Deneyde üç sistem rastgele anlarda anahtarlanaarak, anahtarlama anlarındaki akım ve gerilim dalga formları 200 Mhz-4

kanallı bir osiloskop yardımı ile görüntülenmiştir. Aşağıda deneylerin prensip şemasına yer verilmektedir. Deney 1 ve 2'de kontaktör girişi 220V AC olduğu için anahtarlama sigorta ve izolasyon trafosu kullanılarak gerçekleştirilmiştir, deney 3'de ise DC güç kaynağı kullanılmıştır. İzolasyon trafosu kullanılmasının nedeni kontaktörün enerjilendirilmesi anında, anahtarın baraya olan etkisini engellemektir.

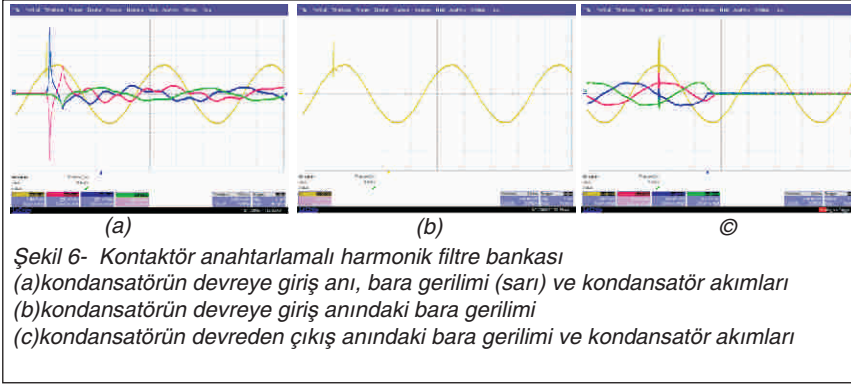


Şekil 4 Deney Prensip Şemaları



(a) kondansatörün devreye girişi anı, bara gerilimi (sarı) ve kondansatör akımları
(b) kondansatörün devreye girişi anındaki bara gerilimi
(c) kondansatörün devreden çıkışı anındaki bara gerilimi ve kondansatör akımları

Şekil 5 Yalın kondansatörlü kompanzasyon



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 anlaşılabilir gibi, geçici rejim akımının üst ve alt sınırı osiloskop ekranının dışına çıkmaktadır. Öte yandan, kontaktör anahtarlama filtreli kondansatör sisteminde de önemli oranda geçici rejim akımı olduğu göze çarpmaktadır. Tristör anahtarlama 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 anahtarlama sistemlerle, geleneksel kontaktör anahtarlama sistemlerinin karşılaştırılması sunulmaktadır.

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 anahtarlama geleneksel kompanzasyon yöntemleri modern statik anahtarlama sistemlerle hem teorik hem de deneysel olarak kıyaslanmıştır. Sonuç olarak, kontaktör anahtarlama sistemler, şebekede bozucu etkilerde bulunan aşırı akım ve gerilim bileşenleri yaratırken, tristör anahtarlama 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 anahtarlama çözüm, kontaktörlü sistemlerin yerini alacaktır.

V. KAYNAKÇA

- [1] U. Arifoğlu, "Güç sistemlerinin bilgisayar destekli analizi", Alfa, 2002
 [2] "http://www.epdk.org.tr/mevzuat/yonetmelik/elektrik/musteri/musteridegisiklik8.html
 [3] A. Terciyanlı, "Konvansiyonel ve statik anahtarlama kompanzasyon sistemlerinin performans karşılaştırılması", Enerji Verimliliği ve Kalitesi Semp.-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
 M. KIYAN - M. KAYABAŞI
 Elektrolojik Ltd.Şti. Aynı adlı yazısından

Özellikler	Kontaktör Anahtarlama	Tristör Anahtarlama
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

Çizelge 1 – Kompanzasyon sistemlerinin karşılaştırılması