

# REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONUNDA GÜÇ KALİTESİ SORUNLARI

Prof.Dr. İsmail Kaşıkçı, Elk.Yük.Müh. Teknik Öğretmen Levent Özden

[info@kasikciakademi.com](mailto:info@kasikciakademi.com)

## Özet

*Elektrik tesislerinin işletilmesinde güç sistemlerinin verimliliğini arttırmak ve işletme şartlarını en verimli hale getirmek için gerekli olan en etkili yöntemlerden birisi de reaktif akımı kontrol altında tutabilmektir. Genel bilinen haliyle reaktif güç kompanzasyonu yapılmasıdır. Ancak günümüzde uygulanan sistemlerin çoğunluğu cezayı bertaraf etmek için yapılmakta diğer etkiler göz ardı edilmektedir. Saf kondansatörlerle yapılan sistemler, SVC mantığıyla yapılan faz kontrolleri, harmonikleri elimine etmek için yapılan pasif filtrelemeler cezanın önüne geçmekten başka çözüm getirmemekte akım, gerilim ve güç kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bu çalışmada yukarıda belirtilen hususlara yer verilecektir.*

## 1. Giriş

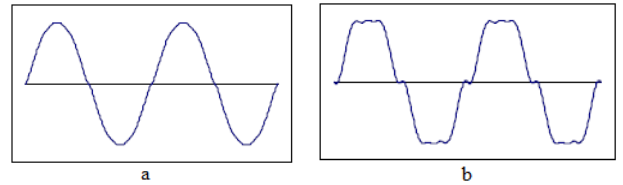
Reaktif akımın kompanzasyonu tüketicilerin geleneksel olarak şebekeden çektikleri endüktif (geri) reaktif gücün, endüktif kapasitif (ileri) güç vermek suretiyle bir güç kondansatörü tarafından dengelenmesidir. Günümüzde değişen teknoloji sayesinde birçok alıcı, şebekeden endüktif kapasitif güç çekmeye başlamış olup bu güç endüktif reaktif üreten reaktörler ile dengelenmektedir.

Reaktif akım genellikle 50/60 Hz temel frekansla ilgili olan ve akımların gerilime kıyasla faz kayması nedeniyle ortaya çıkar. Elektrik besleme şebekesi görünen güç için tasarlanır [1].

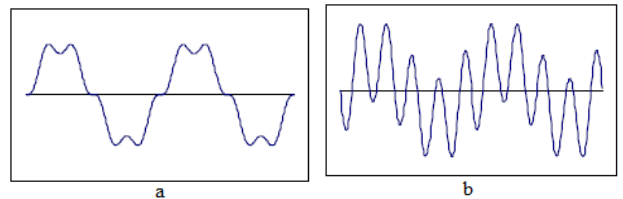
Bilimsel olarak sinüs formunda olmayan koşullarda reaktif güç kavramı konusunda bir anlaşma olmasa da reaktif akım sistemden güç çekmezken, iletkenleri ısıtarak gerilim düşümüne sebep olacağı, iletim ve dağıtım sistemlerinde güç kayıplarının meydana geleceği unutulmamalıdır.

## 2. Kondansatörlerle reaktif güç kompanzasyonu

Saf kondansatörler ve kontaktörler ile yapılan reaktif güç kompanzasyonu günümüzde en çok kullanılan ve en basit sistemdir. Fakat saf kondansatörlerin kullanılması akım-gerilim dalga şekillerini bozmakta ve paralel rezonansa sebep olmaktadır. Aşağıda şebeke simülasyonu yapılmış endüstriyel tesisin verilen şekillerde kompanzasyon öncesi (Şekil 1a-1b) ve sonrasında (Şekil 2a-2b) meydana gelen dalga şekli bozuklukları görülmektedir.



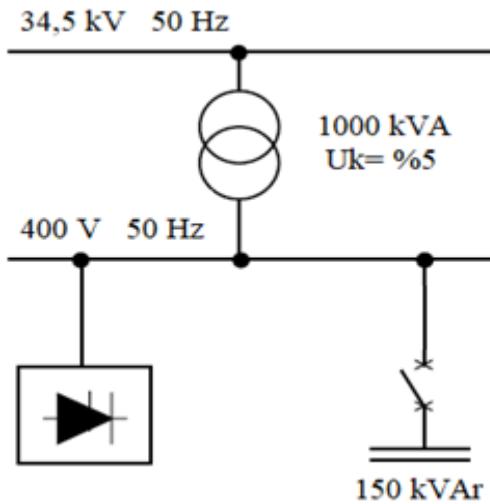
Şekil 1- Kompanzasyon öncesi gerilim dalga şekli (a) ve akım dalga şekli (b) [2]



Şekil 2- Kompanzasyon sonrası gerilim dalga şekli (a) ve akım dalga şekli (b) [2]

Endüstriyel tesislerde yeterli ve bilinçli bir ölçme (analiz) yapılmadan veya işletme devreye alınmadan saf kondansatörlerle yapılan reaktif güç kompanzasyonu, sisteme bağlanacak olan sinüs formunda olmayan (nonsinüsoidal) yüklerin varlığı dolayısıyla kondansatörlerin aşırı yüklenmelerine, patlamalarına, rezonans olaylarına ve harmonik seviyelerin artmasına sebep olacaktır.

Aşağıda bir plastik kalıp atölyesine ait basit tek hat şeması verilmiştir (Şekil 3). Sistemde sinüs formunda olmayan yükler bulunmakta ve saf kondansatörlerle reaktif güç kompanzasyonu yapılmaktadır. Sistem üzerinde 150 kVAr değerindeki kondansatör grubu devrede iken yaşanan arıza tespit edilmiş sonuçlar Tablo 1. de verilmiştir.



Şekil 3. Sistem tek hat şeması

Harmonik Sırası (h)	Kondansatör Akımı $I_c / A$	Akım THD Değeri	
		Kondansatör olmadan %	Saf Kondansatör ile %
1	209	-	-
5	100	7,7	9,7
7	45	1,3	2,7
11	283	2,3	11,3
RMS	371	8,1	15,1

Tablo 1. Analiz tablosu

Tablodan da görüleceği gibi sistem normal çalışma halinde %8,1 gibi harmonik bozulumuna sahip olup, bu değer kondansatör grubu devreye alındığında %15,1 değerine çıkmıştır. Sistem üzerinde 11. Harmonik baskın hale gelmiş ve kondansatör grubunun arızalanmasına sebep olmuştur. Şebeke transformatörü ve devreye alınan kondansatör grubunun gücü ile sistemde paralel rezonans meydana gelmiştir. Yani;

$$h = \sqrt{\frac{S_{tr}}{Q_c \cdot U_k}} \quad (1)$$

formülünü uygularsak;

$$S_{tr} = 1000 \text{ kVA}, Q_c = 150 \text{ kVAr}, U_k = \%5 \text{ ise}$$

$$h = \sqrt{\frac{1000 \text{ kVA}}{150 \text{ kVAr} \cdot 0,05}} \text{ formülünden } h = 11,5$$

değeri bulunur. 11. Harmonikte sistemin paralel rezonansa girdiği görülür.

Burada ayrıca unutulmaması gereken noktayı şöyle açıklayabiliriz. Temel frekans değerleri için tasarlanmış kompanzasyon tesislerindeki güç kondansatörleri,

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad (2)$$

Formülü gereğince harmonik frekanslarında (150, 250, 350 Hz. gibi) düşük kapasitif reaktans gösterecekleri için daha çok yüklenecekler ve yalıtım hasarlarından dolayı patlamaya maruz kalacaklardır.

Bu analiz sonuçlarına göre sisteme yine en çok tercih edilen pasif harmonik filtreler (detuned) takılmalıdır. Bu sayede hem paralel rezonans riski ortadan kalkacak hem de kondansatör patlamalarının önüne geçilecektir.

Tablo 1 de görüldüğü gibi sisteme bağlanan yeni nesil cihazların (yarı iletken tabanlı) ürettikleri akım ve gerilimin dalga şekli ve

frekansındaki değişimler elektrik güç kalitesi problemi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Örnek olarak üç fazlı bir hız kontrol cihazının harmonik spektrumunu ele alırsak, 6 darbeli doğrultucu (diyot /tristör) ile;

$$h = \frac{f_n}{f_t} = n \cdot p \pm 1 \quad (3)$$

Burada:

h: harmonik sırası

$f_n$ : harmonik akımın frekansı

$f_t$ : sistemin temel frekansı

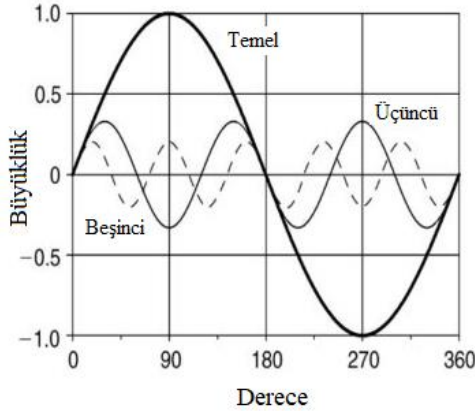
n: katsayı (1,2,3...)

p: hız kontrol cihazının yarı iletken adedi

$h = (1.6) \pm 1$  formülü ile

$h = 5,7,11,13....$  Harmonikleri elde edilir.

Yani 50 Hz lik şebekeye bağlanan üç fazlı 6 darbeli bir doğrultucu şebekeden 50 Hz temel frekansın içinde 5.50 =250 Hz, 7.50 =350 Hz, Bir fazlı yüklerin bağlı olduğu şebekede ise 3.50=150 Hz gibi farklı frekanslarda akım harmonikleri üretilmiş olur (Şekil 4).

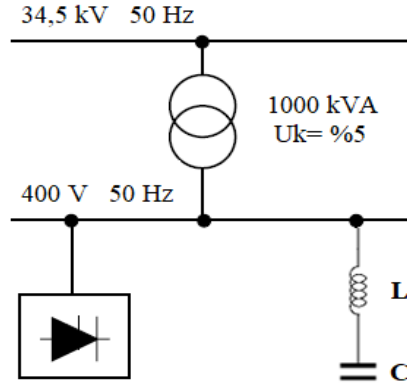


Şekil 4. Temel, üçüncü ve beşinci harmonikler.

### 3. Pasif harmonik filtreler (de-tuned)

Saf kondansatörlerle yapılan reaktif güç kompanzasyonunun sakıncaları pasif harmonik filtreler (de-tuned) sayesinde azaltılmaktadır. Bu filtre sistemi sayesinde, rezonans riski ve kondansatörlerin

şebekeden çektiği akım harmonikleri azalmaktadır. Ayrıca yük tarafından üretilen harmonikler bir miktar süzülecektir. Bunun sebebi pasif filtrelerin rezonans frekansının, temel harmoniklerden uzak bir frekansa ayarlanmasıdır. Pasif filtreli eşdeğer devre aşağıdaki gibidir.



Şekil 4. Pasif filtre eşdeğer devresi

Sistem üzerinden yapılacak olan ölçümlerin analizi yapılmalı ve baskın olan harmonik katsayısına göre filtre seçimi yapılmalıdır. Pasif harmonik filtrelerin (de-tuned) koruma faktörleri ve rezonans frekansları aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo.2).

Filtre koruma faktörü p	Filtre rezonans frekansı f r
% 5	223 Hz
%5,5	213 Hz
% 5.67	210 Hz
%6	204 Hz
% 7	189 Hz
% 8	177 Hz
% 12.5	141 Hz
% 14	134 Hz

Tablo.2 Pasif harmonik filtrelerin (de-tuned) koruma faktörleri ve rezonans frekansları [2]

Pasif harmonik filtreler (de-tuned) kullanılması durumunda paralel rezonans frekansı üç faz sistemlerde görülebilen temel harmoniklerden uzak bir noktaya kaymakta ve paralel rezonans riskini neredeyse ortadan kaldırmaktadır.

Ülkemizde genelde 210 Hz, 189 Hz ve 134 Hz sıklıkla kullanılmaktadır. Harmoniklerin tam olarak süzülmemesi önceden de belirttiğimiz gibi rezonans frekansının, temel harmoniklerden uzak bir frekansa ayarlanmasıdır. (Örnek 250 Hz frekansın 189 Hz frekansına akort edilmesi)

Daha yüksek seviyede harmoniği süzebilmek için filtre 189 Hz yerine 250 Hz'e veya yakın bir frekansa akort edilse idi daha fazla akım harmoniğini süzecek fakat o derecede de filtre akımının gerçek etkin değeri artacak ve filtre aşırı yüklenecekti. Bu sebeple harmonik filtrelerde kullanılacak gerek reaktörün gerekse kondansatörün nominal akım ve gerilim değerleri bu yüklenmeler dikkate alınarak seçilmelidir [3].

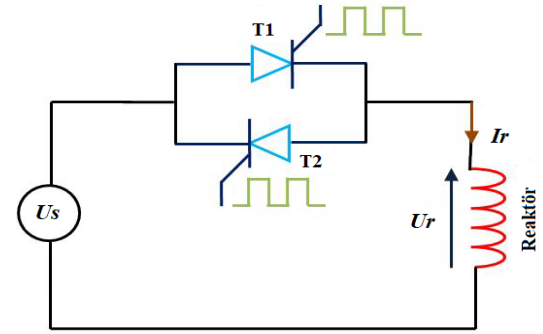
Pratikte ölçme ve analiz yapılmadan uygulanan  $p=7\%$   $f_r=189$  Hz reaktörleri istenen performansı sağlayamamaktadır. Bu nedenle işletme devreye alındıktan sonra ölçme ve analiz yapıp işletmenin durumuna göre yapılacak  $p=5,67\%$   $f_r=210$  Hz veya  $p=5\%$   $f_r=223$  Hz değerleri daha verimli çözüm olacaktır. Yoksa filtreler aşırı yüklenecek diye  $p=7\%$   $f_r=189$  Hz seçilmesi çözüm değil çözümsüzlük getirmektedir. Artık sistem harmonikleri filtreleme görevi değil, kondansatörleri korumaya dönmekte ve tıkaç görevi yapmaktadır.

#### 4. Statik Var Kompanzasyonu (SVC)

Reaktif güç kompanzasyonu genelde endüktif reaktif karakterli güçleri kompanze etmek için yukarıda belirttiğimiz kondansatör gruplarını devreye alma metotlarını içermektedir. Fakat yeni nesil cihazların (yarı iletken tabanlı) ürettikleri

güç endüktif kapasitif karakterlidir. Bazı durumlarda reaktif güç kompanzasyonunun çok hızlı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu sebeple hızlı kompanzasyon sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemler Statik Var Kompanzasyonu (SVC) diye bilinir. Yarı iletken tabanlı Tristör Kontrollü Reaktör (TCR) ve Tristör Anahtarlama Kondansatör (TSC) ünitelerinden oluşur. Yukarıdaki bölümlerde kondansatörlerin anahtarlama ve meydana gelen etkiler anlatıldığı için bu kısımda TCR lere değinilecektir.

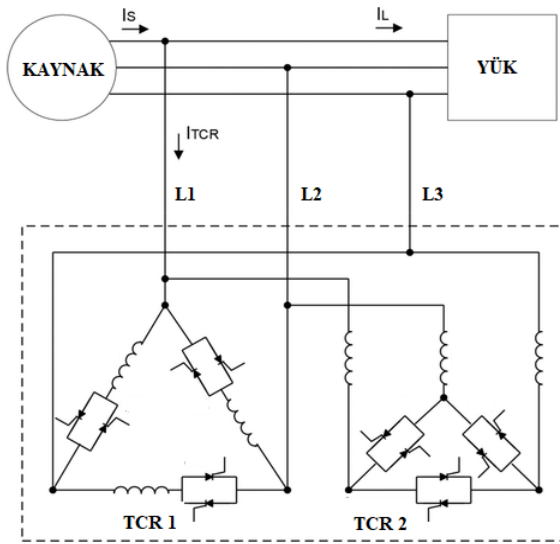
TCR nin prensip şeması Şekil.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. Bir fazlı tristör kontrollü reaktör (TCR) prensip şeması

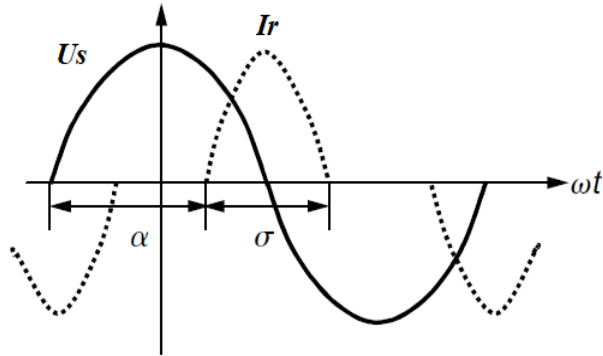
Güç sistemlerinde endüktif kapasitif gücün kontrolü amacıyla kullanılan TCR ler içerdikleri anahtarlama elemanları (tristör) sayesinde lineer olmayan uç karakteristiklerine sahiptirler. Reaktörlerin anahtarlama sistemi geriliminin kontrolü ile yapılmaktadır. Gerilimin değeri tetikleme ( $\alpha$ ) açısı değiştirilerek elde edilir. (Faz kontrolü) Şekil 7'de görüldüğü gibi gerilimin değiştirilmesi akım dalga şeklini bozmakta ve harmonikli bileşenleri üretmektedir. Burada 2 husus önem arz etmektedir.

Dengeli yüklenme koşulu altında TCR tek dereceli harmonikler üretir. Eğer TCR ler üçgen bağlı ise (Şekil 6) 3. Harmonik ile 3 ün katları olan harmonikler şebekeye verilmez ve bağlantı içinde yok edilir.



Şekil 6. TCR nin üçgen olarak farklı şekilde bağlantıları

Diğer husus ise Şekil 7 de görüldüğü gibi dengesiz veya bir fazlı uygulamalarda harmonik bileşenlerden herhangi birinin sistemi rezonansa sokma ihtimalidir.



Şekil 7. Bir fazlı tristör kontrollü reaktör (TCR) gerilim ve akım dalga şekli

Ayrıca burada her faz için ayrı ayrı yapılacak TCR kontrolü sonucu oluşacak harmonik akımların nötr iletkeni üzerinde toplanarak bu iletken üzerinden aşırı akımlar geçmesine ve iletkenin zarar görmesine sebep olacağı unutulmamalıdır. Bu sebeple TCR içeren devrelerin rezonans sonucu etkin harmonik üretimine ve süreksizliğe sebep olacak noktalarda çalıştırılmamasına dikkat edilmelidir [5].

## 5. Sonuç ve Öneriler

Güç dağıtım sistemlerinde sinüs formunda olmayan (nonsinüsoidal) yükler veya

elemanlar harmonik kirliliğe sebep olmakta ve kullanılan enerjinin kalitesini düşürmektedir. Sistemlerin kesintisiz ve güvenli bir şekilde çalışabilmesini sağlamak için sistemin tasarımında ve işletilmesinde gerekli ölçüm ve analizleri yapmak, sinüs formunda olmayan yükleri veya elemanları dikkate almak önemli bir husus arz etmektedir. Yukarıda değinildiği gibi reaktif güç kompanzasyonunda kullanılan yarı iletken tabanlı cihazlar, daha hızlı reaktif güç kontrolü sağlama performansına sahiptirler. Reaktif güç kompanzasyonunun cezaı bertaraf etmek için yapılmasının yanı sıra yapılacak panolarda şalt malzemeleri, kondansatörler ve anahtarlama elemanlarının kalitesi de ayrıca önemli bir konudur. Burada özensiz ve standartlara uymayan malzeme seçimi panolarda ve sistemde ağır hasarlara ve işletmenin ciddi zarar görmesine sebep olmaktadır. Yapılacak sistem akım, gerilim ve güç kalitesini üzerinde bozucu etki meydana getirecekse, yazıda kısaca açıklanan temel ve basit yöntemleri göz önüne almak, ulusal şebekede daha kararlı gerilim ve güç kalitesinin performansının iyileştirilmesine katkıda bulunacaktır. Aksi taktirde maliyet bedeli, ceza bedelinin önüne geçerse hem işletme hem de sistem daha çok kesintiye uğrayacaktır.

## Kaynaklar

- [1] Kaşıkçı, İ "Elektrik Güç Sistemleri" Birsen Yayınevi, İstanbul, 2021
- [2] Epcos, Power Factor Correction and Harmonic Filter, document
- [3] Terciyanlı, A, Doğrusal Olmayan Yüklerin Kompanzasyonunda Rezonans Olgusunun İncelenmesi
- [4] Ivana D, Bozidar F, Harmonic Performance Analysis of Static Var Compensator Connected to the Power Transmission Network, 2018
- [5] Kocatepe, C Uzunoğlu, M, Tristör Kontrollü Reaktör İçeren Statik VAR Kompansatörler ve Harmonik Etkinliği