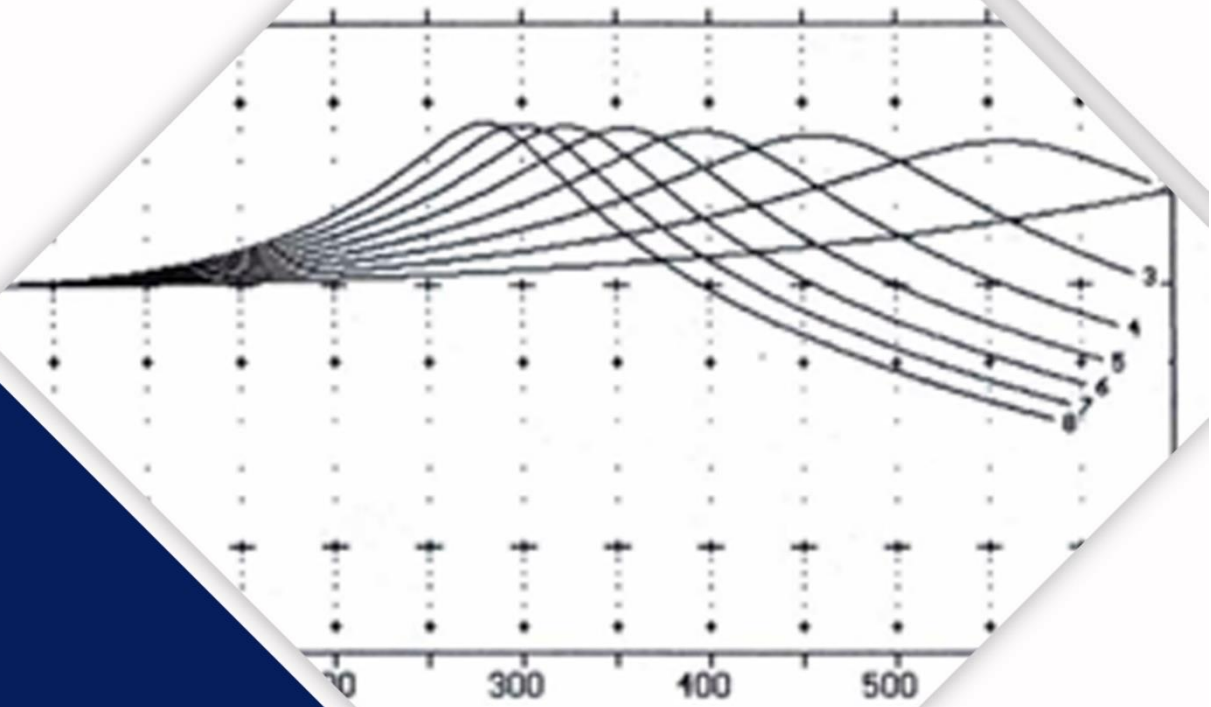
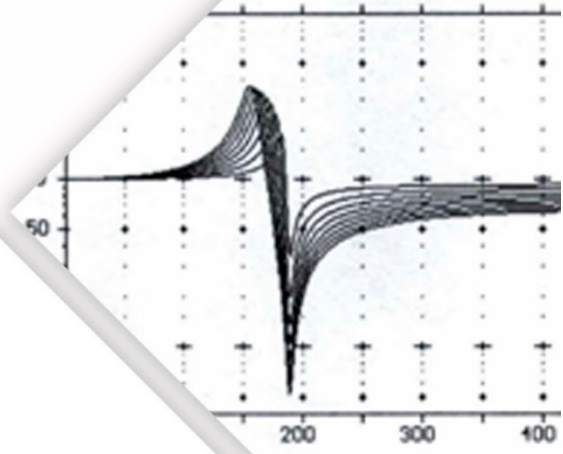


MAKALE

Harmonikli Ortamlarda Kompanzasyon

DİDEM ERGUN SEZER



HARMONİKLİ ORTAMLARDA KOMPANZASYON

Şebeke yönetmenlikleri gereği elektrik tesislerimize reaktif güç kompanzasyon panoları tesis etmekteyiz. Tesisatta harmonik akımların akmasının etkileri ise ilk olarak reaktif güç kompanzasyon panolarında bulunan kondansatör arızaları ve ana besleme şalter açmaları olarak görülmektedir. Aslında kondansatör arızaları çok basit bir şekilde en temel elektrik teorisi ile açıklanabilir.

$$\omega = 2 \pi f \quad C : \text{Kondansatör Sığası (Farad)}$$

$$X_C = 1 / \omega C = 1 / 2 \pi f C \quad X_C : \text{Kondansatör Reaktansı (Ohm)}$$

$$I_C = U_C / X_C = 2 U \pi f C \quad I_C : \text{Kondansatör Akımı (Amper)}$$

Formülden görüldüğü üzere kondansatör akımı ve frekans doğru orantılıdır. Kondansatöre uygulanan gerilim, temel frekanstan daha yüksek frekanslı bileşenleri içeriyorsa, kondansatör üzerinden akacak akım temel frekanstaki aynı gerilimin geçireceği akımdan daha büyük olacaktır. Bunun sonucunda, daha yüksek harmoniklerden birinin küçük sayılabilecek gerilim bileşeni, temel frekanslı ana geriliminden kaynaklanan akım içinde oldukça büyük şiddette bir akım meydana getirebilir ve kondansatör bileşke akımında önemli bir artış olur.

$$\text{Bileşke etken akım } I = \sqrt{(I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + \dots + I_n^2)}$$

IEC60831 standardı kondansatörlerin maksimum sürekli dayanma akım değerini $1,3I_n$ olarak belirtmiştir. Harmoniklerin bulunduğu sistemlerde kondansatörlerin üzerinden akan akımlar söz konusu değer çok çok üstünde olmaktadır. Kondansatörler çok kısa bir süre zarfında sığa değerlerini kaybetmektedirler. Markası, kalitesi, gerilim seviyesi ne olursa olsun tesis sürekli kondansatör tedarik etmek ve yenilemek zorunda kalacaktır.

Ayrıca bir tesis için kondansatörün sığa değerini kaybetmesinden daha sakıncalı bir durum olan sistem rezonansları söz konusudur.

REZONANS

Tesisimizde transformatörler, motorlar vb. gibi endüktif yüklerimiz bulunmaktadır. Şebeke frekansına bağlı bir XL endüktif dirençleri vardır. Bununla beraber kompanzasyon tesisatımızda kondansatörlerimiz bulunmaktadır, kapasitif yüklerimizdir. Aynı şekilde XC kapasitif dirençleri vardır. Her ikisi de frekansın bir fonksiyonu olarak ifade edilirler. Bu endüktif ve kapasitif reaktanslar sürekli titreşim devresi oluştururlar ve sistemin toplam rezonans frekansını oluştururlar.

Aynı zamanda tesisimizde doğrusal olmayan yüklerin neden olduğu harmonikler var ise, 5. harmonik 250Hz., 7. harmonik 350Hz., ... görüldüğü gibi temel frekansın katlarıdır.

Eğer reaktansların oluşturduğu titreşim devrelerinin frekansı harmonik frekans değerlerinin civarında ise rezonans oluşması ihtimali çok yüksektir. Rezonans durumunda sistem empedansı minimum veya maksimum değerine ulaşır. Minimum olduğu durum seri rezonans, maksimum olduğu durum paralel rezonans olarak tanımlanır. Aynı şekilde en temel elektrik teorisi ile açıklanabilir.

$$X_L = \omega L = 2 \pi f L$$

$$X_C = 1 / \omega C = 1 / 2 \pi f C$$

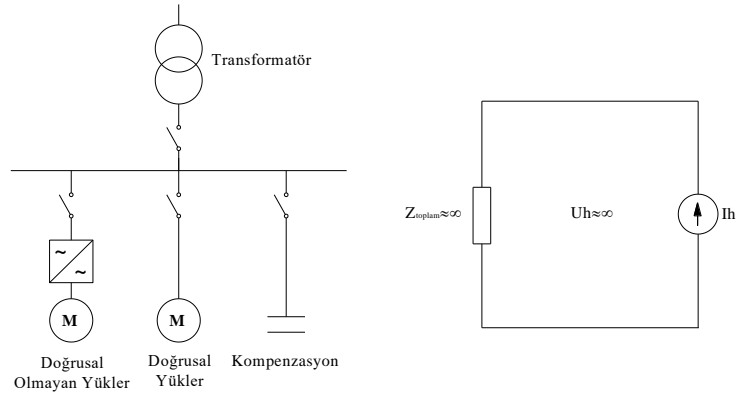
$$X_L = X_C$$

Bir sanayi tesisini örnek verecek olursak.

Doğrusal olmayan yükler bağlandığında paralel rezonans söz konusudur.

Yük tarafından üretilen harmonikler bir akım kaynağı olarak modellenir, kompanzasyon tesisatı ve doğrusal yükler paralel kolları oluşturur. Eğer kompanzasyon tesisatının kondansatörü ile toplam şebeke arasında herhangi bir harmonik değerinde rezonans oluşursa, toplam empedans sonsuz büyük değer alır.

Devre akım kaynaklı olduğu için, harmonik gerilimi $V_h = Z_{eş} \cdot I_h \approx \infty$. Kompanzasyon tesisatı veya transformatör tahrip olur.



$$f_R = 50\text{Hz} \sqrt{\frac{S_k}{Q_c}}$$

S_k : Kondansatör bağlantı noktasındaki kısadevre gücü

Q_c : Kondansatör tesisatı gücü

Trafo gücü : 1600kVA

Kısadevre gerilimi : %6

Kısadevre gücü : 26,66MVA

Orta gerilim empedansı ile : 24MVA

Kondansatör gücü : 950kVar

$$f_R = 50\text{Hz} \sqrt{(24 \cdot 10^6 / 950 \cdot 10^3)} = 251\text{Hz}$$

Sanayi tesisinde 5. harmonik bulunması halinde rezonans gerçekleşecektir.

Paralel rezonans formülünü yorumlayacak olursak,

$$f_R = 50\text{Hz} \sqrt{(S_k / Q_c)} \quad S_k \downarrow + Q_c \uparrow \rightarrow f_R \downarrow$$

Memleketimizde şebeke kısa devre güçlerinin düşük olduğunu ve elektrik tarifemiz gereği $\cos\varphi=0,98$ değerini gerçekleştirebilmek için devredeki kompenzasyon gücünün yüksek seviyede olduğunu göz önünde bulundurursak, harmonik frekansları içeren tesislerde rezonanslar kaçınılmazdır.

Kondansatörler sisteme direkt bağlı iken rezonans meydana geldiğinde, şebeke gerilimi çok az yükselir, buna karşılık kondansatör akımı çok yükselir.

Eğer 250Hz de rezonans oluşursa, aşağıdaki değerler örnek olarak verilebilir,

- Şebeke geriliminin rms değeri %1 oranında artar
- Şebeke geriliminin tepe değeri %10-%15 oranında artar
- Kondansatör akımının rms değeri %25 oranında artar

Eğer 550Hz de rezonans oluşursa, bu durumda,

- Şebeke geriliminin rms değeri %0,5 oranında artar
- Şebeke geriliminin tepe değeri %6-%10 oranında artar
- Kondansatör akımının rms değeri %50 oranında artar

Bu örnekler reaktörsüz kompenzasyon tesisatlarında kondansatörlerin dayanamayacakları akımlar ile yükleneceklerini göstermektedir.

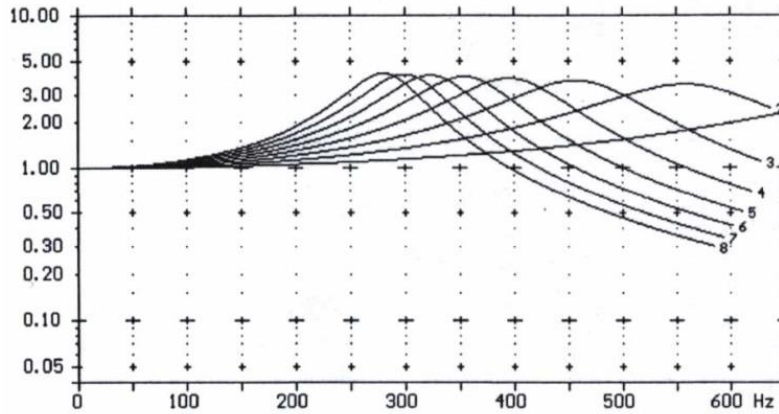
REZONANS İLE HARMONİK ARTIŞI

Sistemde rezonans meydana gelmemiş olsa dahi sisteme reaktörsüz bağlı olan kondansatörler devrede oldukları müddetçe mevcut harmonik bozulma oranını yükseltirler.

Örneğin,

Eğer sistem rezonans frekansı $\pm\%10$ oranında harmonik frekanslara yakın ise, şebekenin kalitesine göre harmoniklerin 4 katına kadar katlanmasına sebep olurlar.

Kondansatör kademeleri devreye girdikçe harmonik geriliminin artışı:

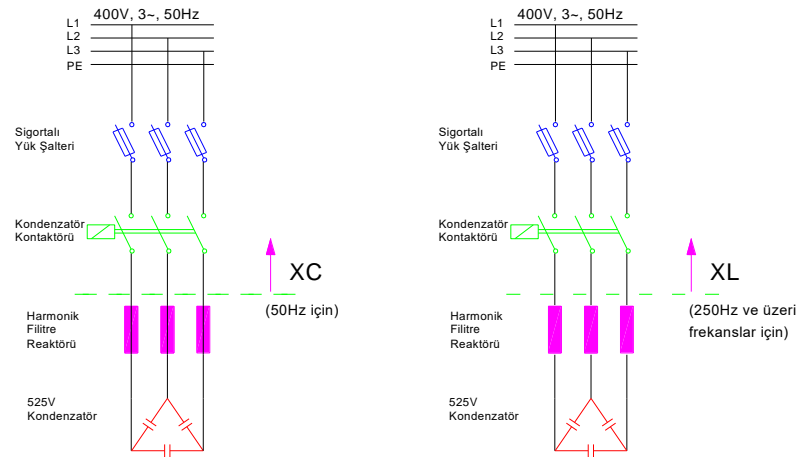


Bu nedenden dolayı bir sistem incelendiğinde bir kompenzasyon devrede, bir de kompenzasyon devre dışında iken iki adet ölçüm alınır. Kondansatörlerin sistemdeki harmonikleri ne oranda katladığı da belirlenir.

Harmoniklerin artışıyla beraber sistemde neden olduğu etkilerde artar, örneğin hassas elektronik cihazların çalışmasındaki hataların artması gibi.

REZONANSIN ENGELLENMESİ

Yukarıda belirtildiği üzere şebekede harmonikler olduğu sürece kompenzasyon tesisi şebekeye kapasitif baktığı için harmonikler katlanmakta ve rezonans olayları yaşanmaktadır. İhtiyacımız olan kompenzasyon tesisatının nominal frekans 50Hz de kapasitif olması, kompenzasyonu gerçekleştirilmesi, ancak harmoniklerde şebekeye indüktif bakması, rezonans oluşturmamasıdır.



Reaktör seçimi için bir reaktör faktörü tanımlanmış ve 2 değer seçilmiştir.

$$f_R = f_n \cdot \sqrt{\frac{1}{p}}$$

veya

$$p = \left(\frac{f_n}{f_R}\right)^2$$

p = reaktör faktörü

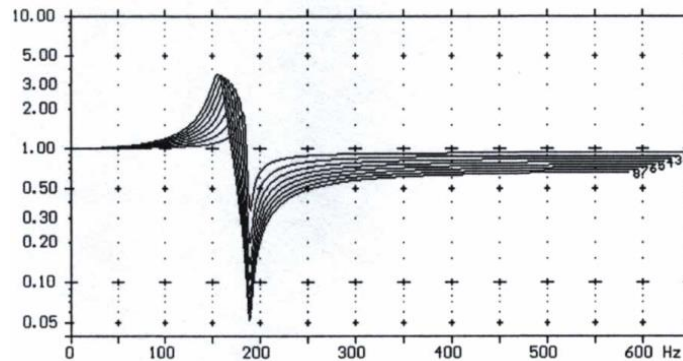
f_n = nominal frekans

f_R = reaktör frekansı

Bunun için standart olarak 189Hz reaktör faktörü %7 veya 134Hz reaktör faktörü %14 seçilmiştir. Sistemlerden en çok rastlanan 5. harmonik ve 3. harmoniğin hemen alt değeri hedef alınmıştır.

Örneğin; Reaktör faktörü %7 olan bir harmonik filtreli kompensasyon tesisatında rezonans frekansı 250Hz'in altına inecektir, reaktör frekansının üstünde meydana gelecek tüm frekanslardaki rezonanslar engellenecektir.

Harmonik filtre reaktörlü kompensasyon tesisatının kademelerinin fonksiyonu olarak harmonik gerilimlerin azalması:



Bu tesisatta dikkat edilmesi gereken en önemli husus harmonik filtre reaktörü monte edildikten sonra artık kondansatörün klemenslerindeki gerilimin aşağıdaki formüle göre hesap edilmesi gerekliliğidir. Kondansatör gerilimi reaktör faktörüne göre artmaktadır ve dolayısıyla reaktörlü bir tesisatta 400V kondansatör kesinlikle kullanılamaz.

$$U_c = \frac{U_n}{(1-p)}$$

U_c = kondansatör gerilimi

U_n = nominal gerilim

Kondansatörün IEC60831 standardının belirttiği izin verilen gerilim yükselmesi değerleri değil, nominal 24 saat çalışma gerilim değeri dikkate alınmalıdır.

Reaktör faktörü $p=7\%$ olan bir 400V detuned devrede $\pm 10\%$ gerilim değişikliği toleransı da göz önüne alınarak kondansatör nominal geriliminin 480V olması gereklidir.

Reaktör faktörü $p=14\%$ olan bir 400V detuned devrede $\pm 10\%$ gerilim değişikliği toleransı da göz önüne alınarak kondansatör nominal geriliminin 525V olması gereklidir.

Şebeke gerilim seviyesinin üzerinde kondansatör kullanılacağı için sayaç değerinin okuyacağı etken güç logaritmik olarak daha düşük olacağı için, tesis edilen kompanzasyon gücü değil 400V baraya etki edecek etken gücün göz önünde bulundurulması gerekir.

Örneğin;

Reaktör faktörü $p=7\%$ 189Hz 480V kondansatörler ile kurulu bir 1000kVar kompanzasyon panosunun etken gücü 750kVAR'dır.

Özet olarak detuned reaktörlü kompanzasyon panosu kullanıldığında:

- Rezonans ihtimalini ortadan kaldırır.
- Harmonik akımlarının artışıını engeller.
- Kondenzatörlerin ve kontaktörlerinin arızalanmasını önler, ömürlerini uzatır. Bakım maliyeti azalır ve kondenzatörlerin değer kaybetmesinden dolayı reaktif ücret ödeme riskini ortadan kaldırır.
- Ana dağıtım panosunun giriş şalterinin gereksiz açmaları sebebiyle meydana gelen istenmeyen üretim durmalarını engeller.
- Hesap edilemeyen bakım, onarım masraflarını azaltır.
- Hesap edilemeyen enerji kayıplarının ve aşırı yük artışlarının önüne geçilir.
- $\cos\phi$ ve güç faktörü değerlerini birbirine yaklaştırır.

Didem Ergun Sezer

Ergun Elektrik A.Ş.

didem@ergunelektrik.com