

# ELEKTRİK KAYNAKLI YANGINLAR HARMONİKLER VE REZONANS

**Aydın Keçeci**  
Elektrik Mühendisi  
EMO İSG 47. Dönem Başkanı

**Didem Ergun**  
Elektrik Mühendisi  
Ergun Elektrik CTO

**Ahmet Çelik**  
Elektrik Mühendisi  
EMO İSG Komisyonu Üyesi

Elektrik kaynaklı yangınlar genellikle tesisata ve ekipmana yeterince dikkat edilmediğinden, yetersiz denetlendiği veya işin riskleri gerektiği gibi öngörülmediği durumlarda meydana gelmektedir. TS EN 50110-1 (2013) 7. maddesinin konusu bakımdır. Bakımın amacı elektrik tesisatının gerekli şartlara uygun durumda tutulmasıdır. Standart 2 tip bakımdan bahsetmektedir

- ✓ Önleyici bakım
- ✓ Düzeltici bakım

## Harmoniklerin Ölçümü Opsiyonel Değil Bir İş Güvenliğidir

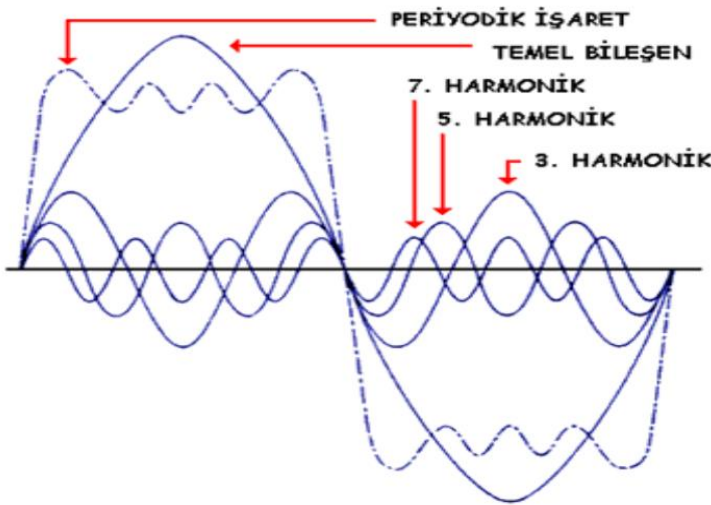
Tüm yangınlar içinde elektrik kaynaklı yangınlar yüzde 23 ile 30 arasında değişmektedir. Her 3 yangından biri elektrik kaynaklı yangındır. Yangının sebebi bilinmediğinde elektrik kontağından kaynaklanan yangınlar olarak bahsedilir. Bu yazımızda kompanzasyon panolarında rastlanan harmoniklerin sebep olduğu rezonanslar sonucu yaşanan yangınları açıklamaya çalışacağız

Sanayi tesislerinde harmoniklerin ölçümünü A class doğruluğunu EN61000-4-30 Ed.3 standardına göre sağlayan bir güç kalitesi ölçüm cihazı ile yapılmasını öneriyoruz. Sanayi tesisleri gelişen teknolojiye yetişebilmek için tesislerine sürekli yeni makineler eklemekte bu da yük karakteristiklerinin sürekli değişimine sebep olmaktadır. Yük karakteristikleri değiştiğinden ötürü her yıl harmonik (güç kalitesi) ölçümü yapılmasını öneriyoruz.

Ölçülen değerlerin EN 61000-2-4 standardında belirtilen limit değerlerini aşıp aşmadığının kontrolü yapılmalıdır. EN 61000-2-4 standardında belirtilen limit değerleri aşıyor ise kompanzasyon tesisatı detuned reaktörlü kompanzasyon tesisatı ile yenilenmelidir.

### Harmonikler Nedir?

Akım ve gerilimlerin sisteme bağlı lineer olmayan yüklerin şebekeye bağlanması ve yarı iletken malzeme içeren güç elektroniği cihazlar tarafından harmonik akım üretilerek kare dalga üretir ve şebekedeki gerilim ve akım dalga şekillerini sinüs şeklinden uzaklaştırarak sinüsoidal dalgaların bozulmalarına harmonik denir.



Şekil 1: Harmoniklerin Oluşturduğu Dalga Formları



Fotoğraf 1: Ana Dağıtım Panolarının Önünde Harmonik Ölçümü Yaparken Ark Kıyafetleri APC2 Olmalıdır.

**Harmonik Konusunda Uzmanlardan Mutlaka Destek Alın**

## Harmoniklerin Oluşmasına Sebep Olan Yükler:

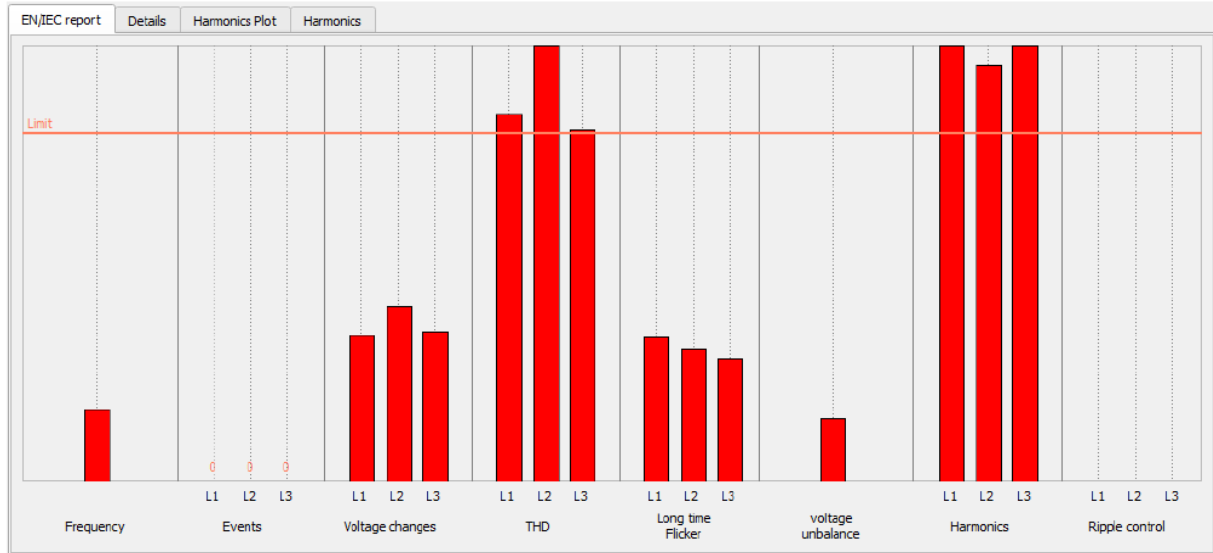
- ✓ Doymuş reaktörler ve transformatörler
- ✓ Tristör/Diyot kontrollü motor sürücüleri
- ✓ Ark ocakları
- ✓ Ark kaynakçıları
- ✓ İndüksiyon fırınları
- ✓ Gaz boşaltmalı aydınlatma, düşük/yüksek basınçlı sodyum buharlı lambalar
- ✓ Yüksek basınçlı cıva buharlı lambalar
- ✓ CFL/floresan tüplü lambalar
- ✓ DC doğrultucular
- ✓ Redresörler
- ✓ Kesintisiz güç kaynakları
- ✓ Güneş enerjisinden üretilen DC'yi AC'ye çeviren güç invertörleri
- ✓ Switch mod güç sistemleri, vb.

## Harmonikler Nelere Sebep Olur?

- ✓ Rezonans oluşur ve kompanzasyon tesisatında yangın yaşanır.
- ✓ Besleme şalterleri rezonans olayları ile belirsiz zamanda açma yaparak işletmeyi durdurur.
- ✓ Elektronik cihazlar olumsuz etkilenir.
- ✓ Motorlar ve kablolarının kayıpları artar ve aşırı ısınmalara neden olur.
- ✓ Yalıtımı zayıflatarak tesis elemanlarının ömürlerini kısaltır.
- ✓ Nötr kablosu yüklenir ve ısınır.
- ✓ Ölçüm cihazları hatalı ölçüm yaparlar.
- ✓ Sıfır noktasına bağlı çalışan kumanda devreleri yanlış çalışır.
- ✓ Kayıplar artar.  $S = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$  D: Harmonik Bozulma, vb.

Yukarıdaki olaylardan harmoniklerin sebep olduğu rezonanslar sonucu yaşanan yangınları açıklamaya çalışacağız.

## Harmonikler Rezonansın Uyarıcısıdır



Şekil 2: EN 61000-2-4 Standardında Belirtilen Limit Değerlere Göre Toplam Gerilim Harmonik Bozulması (Thdu%) Ölçümü Tablosu.

## Rezonans

Sanayi tesislerimizde transformatörler, motorlar vb. gibi endüktif yüklerimiz bulunmaktadır. Şebeke frekansına bağlı bir  $X_L$  endüktif dirençleri vardır.

$$\omega = 2 \pi f$$

L : Self Endüktansı (Henry)

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

$X_L$  : Endüktif Reaktansı (Ohm)

Bununla beraber kompanzasyon tesisatımızda kondansatörlerimiz bulunmaktadır. Bunlar kapasitif yüklerimizdir. Aynı şekilde  $X_C$  kapasitif dirençleri vardır.

$$\omega = 2 \pi f$$

C : Kondansatör Sığası (Farad)

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

$X_C$  : Kondansatör Reaktansı (Ohm)

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.

$$X_L = X_C$$

Rezonans Frekansı Hesabı

$$f_r = 1 / 2\pi \sqrt{L.C}$$

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.

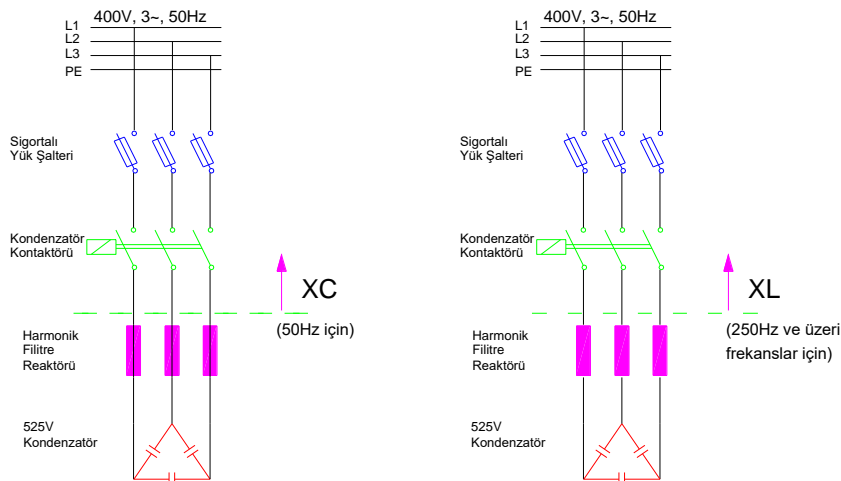


Fotoğraf 2: Harmonikler Nedeniyle Tahrip Olan Kondansatör

### Rezonansın Engellenmesi

Yukarıda belirtildiği üzere şebekede harmonikler olduğu sürece kompanzasyon tesisatı şebekeye kapasitif baktığı için harmonikler katlanmakta ve rezonans olayları yaşanmaktadır. İhtiyacımız olan kompanzasyon tesisatının nominal frekans 50Hz'de kapasitif olması, kompanzasyonu gerçekleştirmesi, ancak harmoniklerde şebekeye endüktif bakması, rezonans oluşturmamasıdır.

Bunun için kondansatöre öyle bir reaktörün seri bağlanması gereklidir ki, 50Hz'de kapasitif davranışın ve genelde 250Hz'de veya mevcut olan diğer harmoniklerde endüktif davranışın.



Şekil 3: Kompanzasyon Devrelerine İlave Edilen Reaktörler

Reaktör faktörü 189Hz olan bir detuned reaktörlü kompanzasyon tesisatında rezonans frekansı 250Hz'in altına inecektir, reaktör frekansının üstünde meydana gelecek tüm frekanslardaki rezonanslar engellenecektir.

### Harmoniklerin Güç Sistemleri Üzerindeki Etkisi

Ekipman	Problem	Etkisi
Faz kablosu	- Akımın yükselmesi - Direncin artması - Termal kayıpların yükselmesi - Yüzey etkisi	- Kablo ısınır - Açma problemi
Nötür Kablo	- 3. harmoniğin etkisi - Nötür iletkene doğru dönüş	- Nötüre doğru aşırı akım - Nötürün ısınması - Erken bozulan nötür iletkeni - Nötür-toprak gerilimi - Açma problemleri
Kondansatör	- sistem ile paralel rezonans - Harmonik oluşumu	- Isınma - Kondansatörün erken bozulması - Kondansatörün yanması
Trafo	- Bobine rağmen akım harmonikleri	- Sargıların aşırı ısınması - Isınma nedeni ile izolasyon kaybı - Histerisiz ve fuko kayıpları - Performans azalması - Ekstra büyük trafo - Trafo doyumu (Büyük ses oluşması)
Motor	- Sargılara karşı akım harmoniği oluşması	- Sargıların ısınması - Isınma nedeni ile izolasyon kaybı - Bakır ve metal kaybı - Performans azalması - eksende titreşim, yatak ve eksantrik yataklarda mekanik aşınma - Tork azalması
Güç üreten sistemler	- Şebekeden daha büyük empedans - Kotü gerilim	- Otomatik senkronizasyonun zorluğu ve anahtarlamamanın zor olması
Kontrol ve ölçü ekipmanları	- Yanlış ölçüm - Hatalı kontrol proses	- Dalganın sıfır referansını alan ekipmanda hata - Ek tork üretmek hatalı ölçüm yapma - Yanlış büyüklük değerleri

Elektronik tip kompakt şalterler harmoniklere karşı iyi tepki verirler. Bu tip kesiciler harmonik akımın teper noktasında açma olarak tepki verir.

#### Harmoniklerin Tespit Edilmesi Sırasındaki İSG Önlemleri

TS EN 50110-1 (2013) 5.3.1.3 ölçerken doğrudan temas riski varsa; çıplak canlı parçalara dokunma riski varsa, ölçümleri yapan kişi kişisel koruyucu ekipman kullanmalı ayrıca elektrik çarpmasına, kısa devre ve ark etkilerine karşı koruyucu önlem almalıdır.





Fotoğraf 3: Ölçüm Yapma Canlı Çalışmadır. Çıplak Enerjili Parça Varsa Arka Karşı Kıyafet Giyilmelidir.

Ölçüm yapacak kişinin işveren tarafından yetkilendirilmesi gerekir. Ölçüm yapmadan önce risk analizi ile olabilecek ark enerjisine karşı gerekli kıyafet giyilmelidir. Ölçüm sahasına yetkilendirilmiş kişiler girebilir. İşten sorumlu kişi bu sahaya giriş çıkışı kontrol altında tutmalıdır. Ölçüm sırasında güvenlik gözlemcisi bulundurulmalıdır. Bu kişi güvenli sahada durmalıdır. Gözlemcinin ölçüm esnasında kazaya karşı gerekli ilk yardım ekipmanı yanında olmalıdır. Acil durum prosedürlerini çok iyi bilmeli ve ilk yardım eğitimi almış olmalıdır. Gözlemci ölçüm sırasında başka hiçbir iş yapamaz. Sahada çalışmaya başlamadan önce AED/CRP defibrilatör cihazı yanında ya da 5 dakika içinde sahada olmasını sağlayacak mesafede bulunmalı ve nerede nasıl ulaşacağı konusunda bilgi sahibi olmalıdır.

Ölçüm sırasında ölçümü yapanlar üzerinde cep telefonu olmamalıdır. Cep telefonlarının uzakta ve kapalı olmasına dikkat edilmelidir.

Ölçüm yapan kişilerin üzerinde takı gibi metal malzeme olmamalıdır. Yüz siperliği içerisine gerekirse analize göre balaklava giyilmelidir.

İş izni almadan çalışmaya başlanamaz.

Çalışma sahasına girişi engelleyecek şekilde barikat konulmalıdır.

**Gece fabrikada yangın çıktı diye telefon almak istemiyorsanız harmoniklerinizi ölçün**

**Sonuç**

NFPA 70B (2019) 28.4.1.1, UPS sistemlerinde açıkça düzenli aralıklarla harmonik ölçümü istemektedir.

TS EN 50110-1 (2013) 5.3.3.1 maddesinde “Elektrik tesisatları uygun aralıklarla kontrol edilmelidir” denilmektedir. “Ayrıca kontrolü ölçme ve görsel olarak yapılmalıdır” der. Burada ölçmedeki amaç tesisatın doğru olarak çalıştığını kanıtlamaktır.

EN61000-2-4 standardında toplam harmonik gerilim bozulma oranlarının (%) sınır (limit) değerleri belirtilmiştir. Yapmış olduğunuz ölçümdeki toplam harmonik gerilim bozulma oranı limit değerlerin üzerinde ise tesisatınızda rezonans yaşanma ihtimali vardır. Kompanzasyon tesisatınızda yalın kondansatör kullanmayıp, kompanzasyon tesisatınızı detuned reaktörlü kompanzasyon tesisatı olarak tadil etmenizi öneririz.

**Kaynaklar:**

TS EN 50110-1 (2013)

NFPA70B

EN 61000-2-4