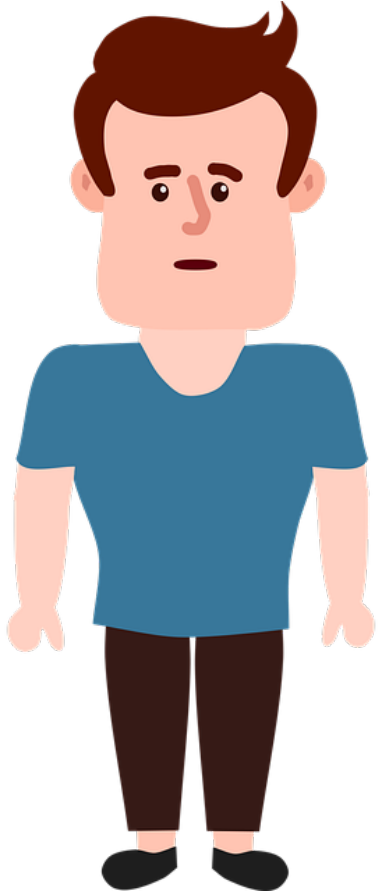


# Reaktif Enerji ve Kompanzasyon

**21 Ocak 2026**  
**Ender KASIM**  
**Ar-Ge Müdürü**

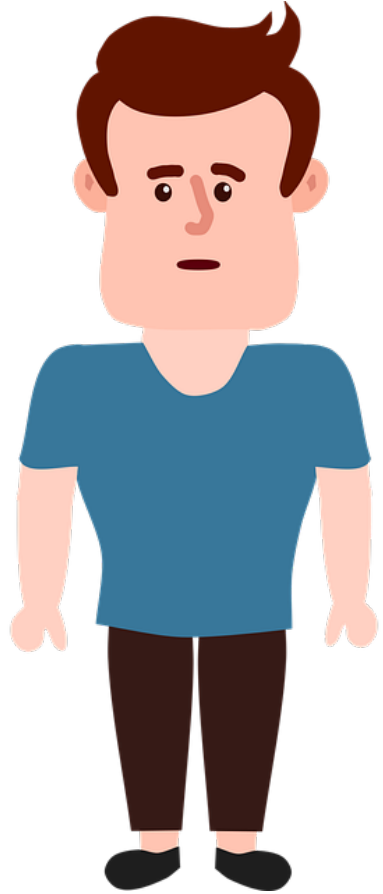
## Para Transferi



80tl Borç



## Para Transferi



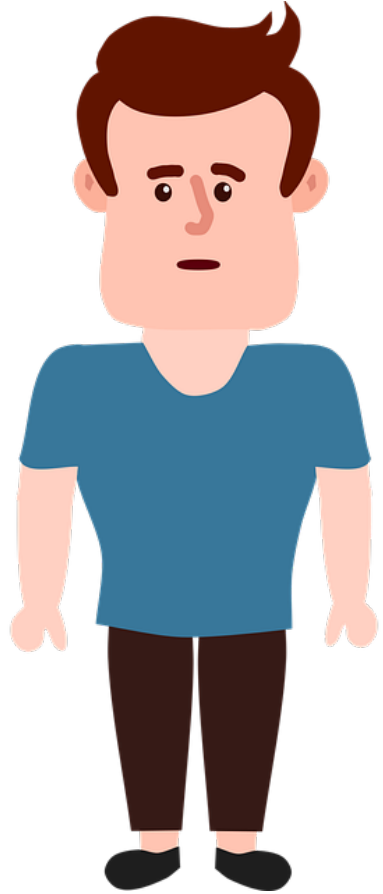
100tl Ödeme

20tl Para üstü

120 TL İşlem Hacmi



## Para Transferi



$$80\text{tl} + 40\text{tl} = 120\text{tl}$$

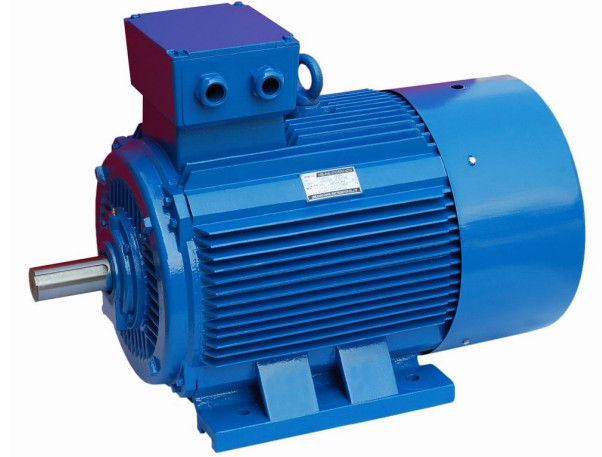
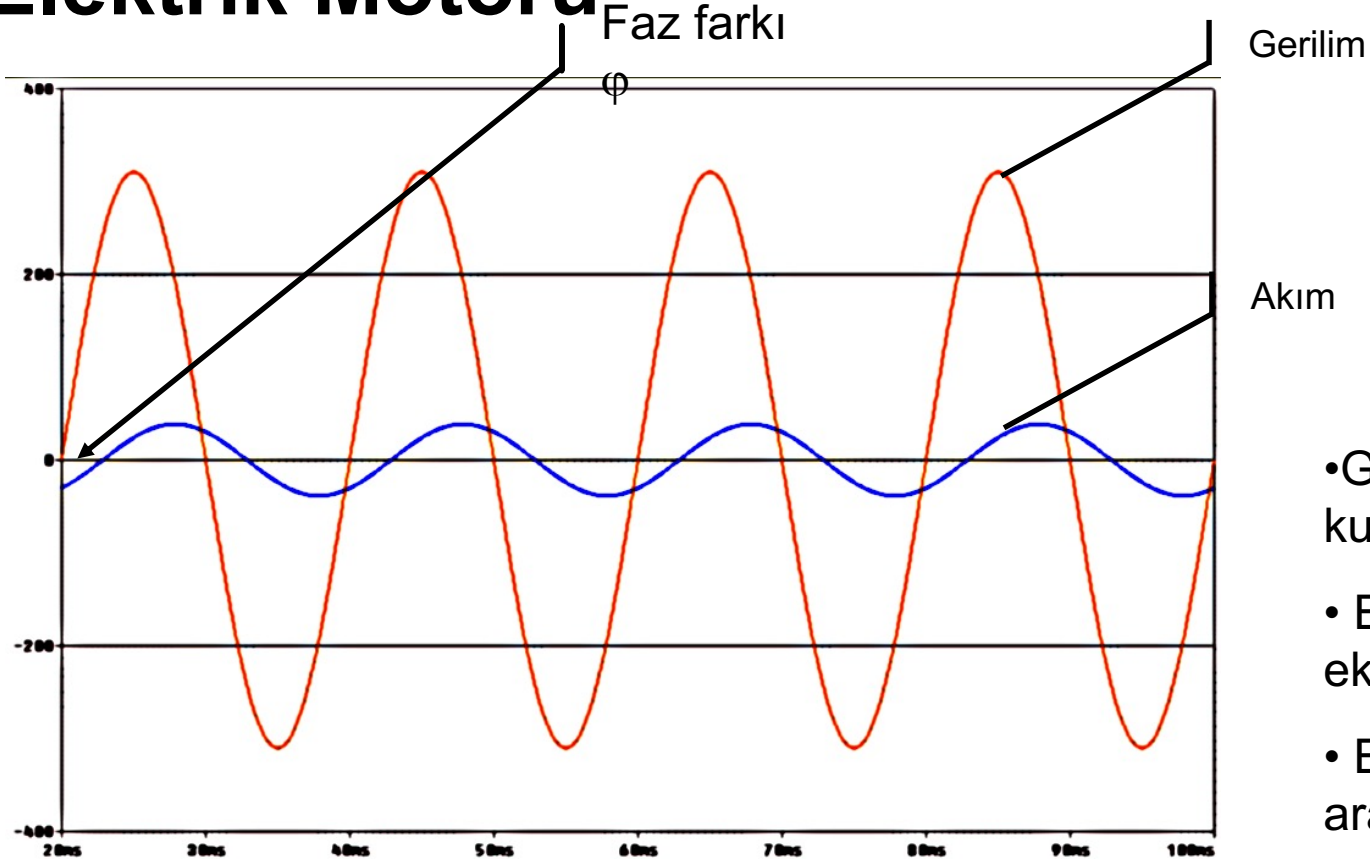
Eİ  
değiştiren  
miktar

İşlem  
fazlası

İşlem  
Hacmi

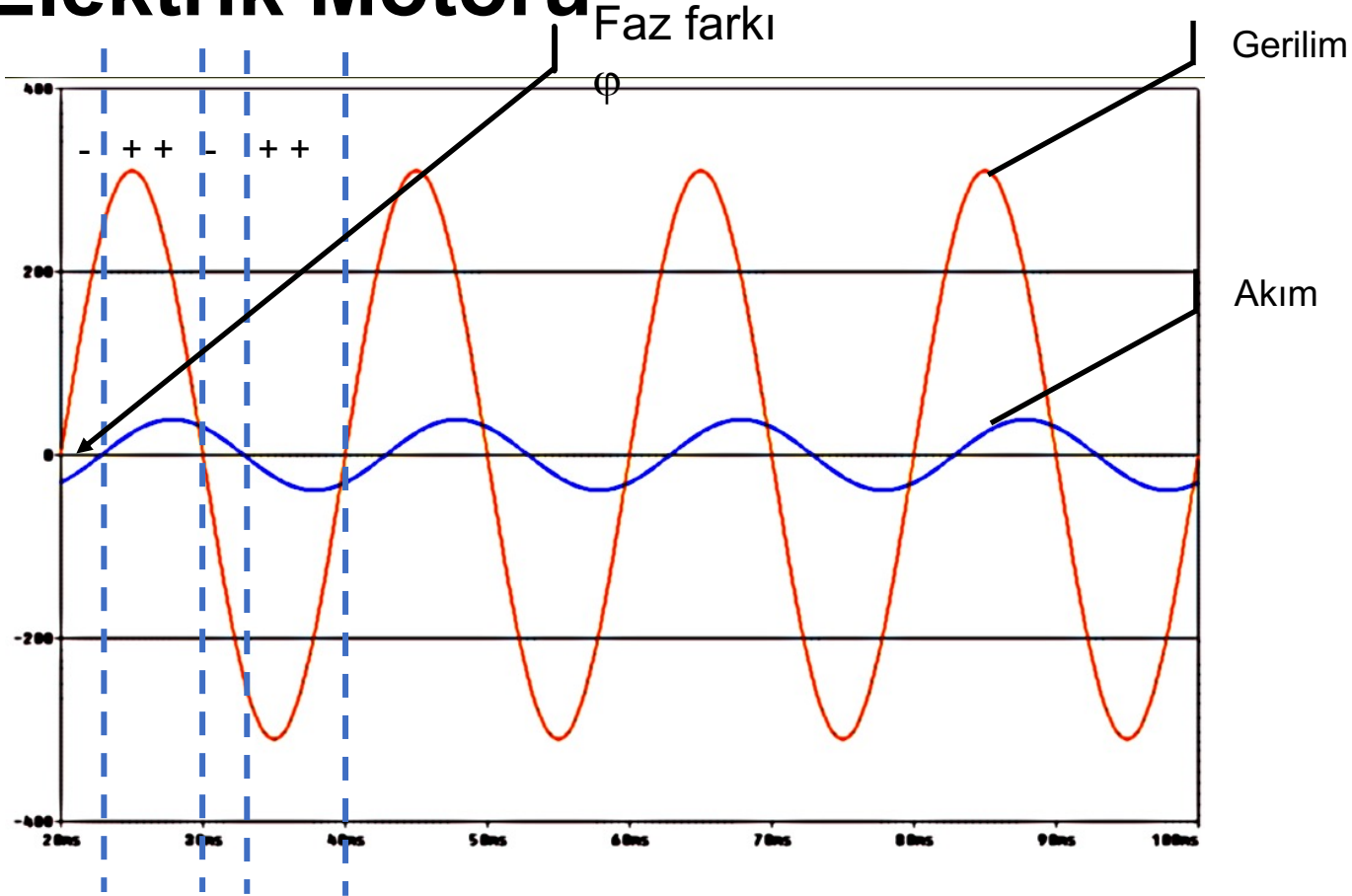


## Elektrik Motoru

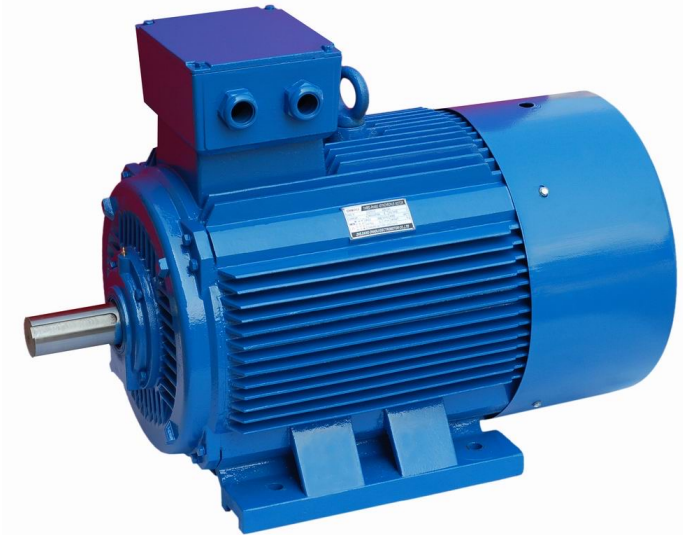


- Günümüz endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan elektrikli cihaz, elektrik motorudur.
- Elektrik enerjisini fiziksel enerjiye çevirmenin ekonomik yoludur.
- Elektromanyetik çevrim esnasında akım ve gerilim arasında **faz farkı** oluşur

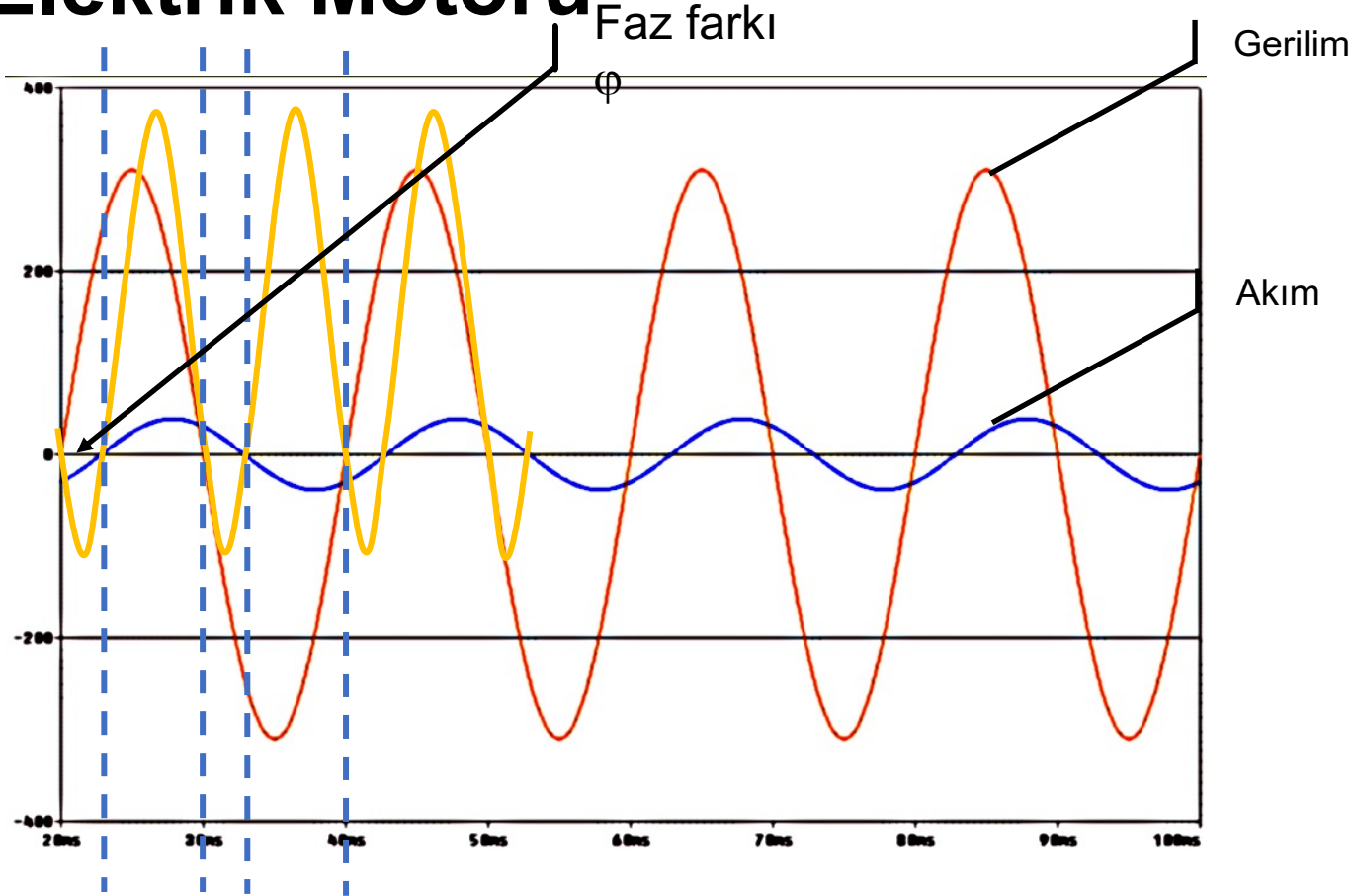
## Elektrik Motoru



- Anlık güç; gerilim ve akımın anlık değerlerinin çarpımı ile hesaplanır
- Gerilim ve akım arasında faz farkından dolayı bu çarpımın **pozitif** ve **negatif** olduğu durumlar oluşur.



## Elektrik Motoru



- Bu durumda motor ile bağlı olduğu şebeke arasında sürekli bir enerji alışverişi olur
- Motor sürekli olarak ihtiyacından fazla bir enerji çekip, ihtiyaç fazlası miktarı şebekeye geri verir
- Motorun toplam oluşturduğu işlem hacmine **Görünür Güç**,
- Motorun fiziksel enerjiye çevirdiği miktara **Aktif Güç**
- İhtiyaç fazlası miktara da **Reaktif Güç** diyoruz

## Enerji Transferi



80kW ihtiyaç



## Enerji Transferi



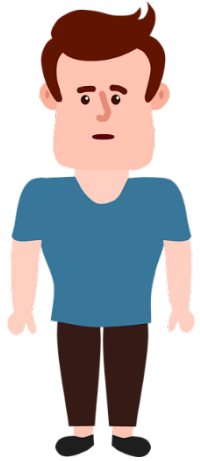
100kVA çekilen

20kVA verilen



120kVA işlem hacmi??

## Para Transferi vs. Enerji Transferi



$$80\text{tl} + 40\text{tl} = 120\text{tl}$$

El değıştiren  
miktar

İşlem fazlası

İşlem Hacmi



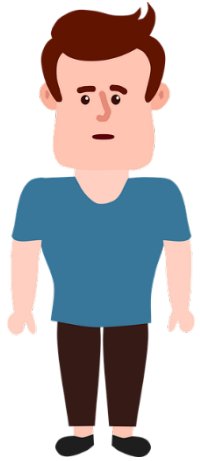
Aktif Güç

Reaktif Güç

Görünür Güç



## Para Transferi vs. Enerji Transferi



$$80\text{tl} + 40\text{tl} = 120\text{tl}$$

El değiştiren  
miktar

İşlem fazlası

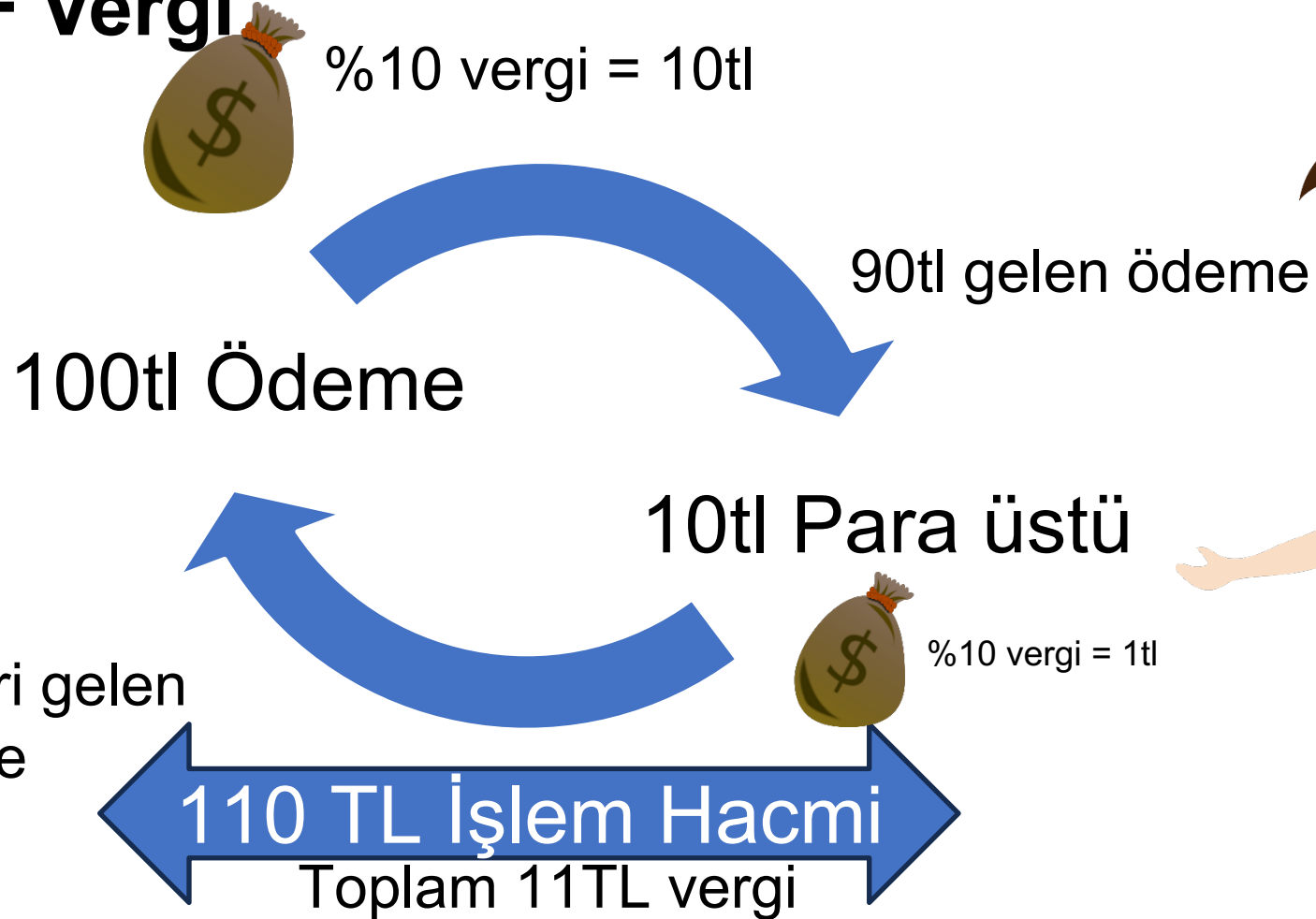
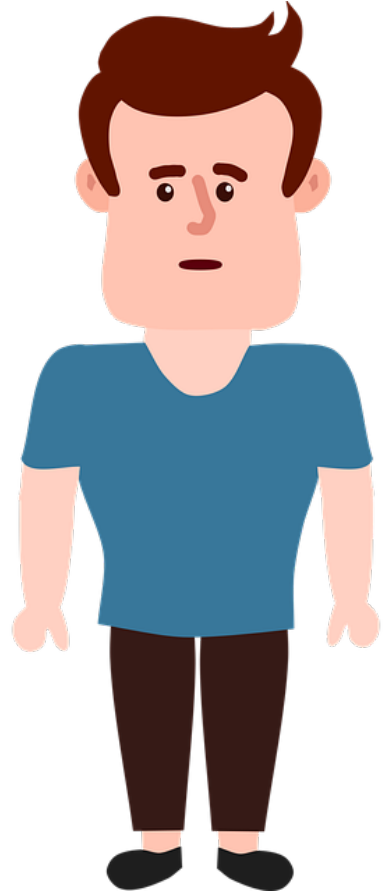
İşlem Hacmi



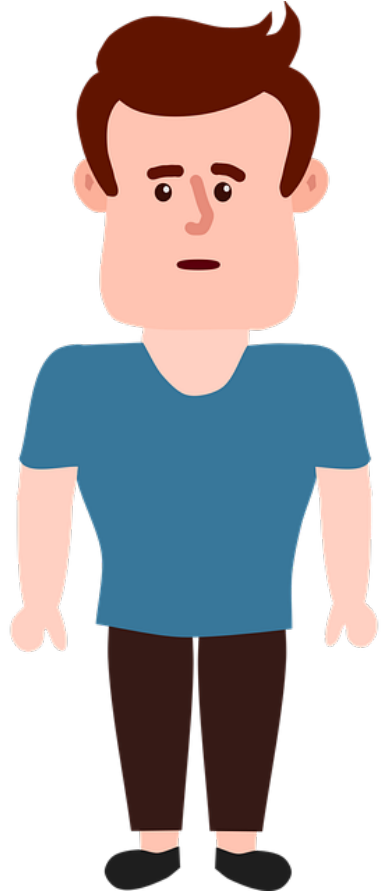
$$\text{Aktif Güç}^2 + \text{Reaktif Güç}^2 = \text{Görünür Güç}^2$$



## Para Transferi + Vergi



## Para Transferi + Vergi



88.8tl ödeme

%10 vergi =  
8.88tl

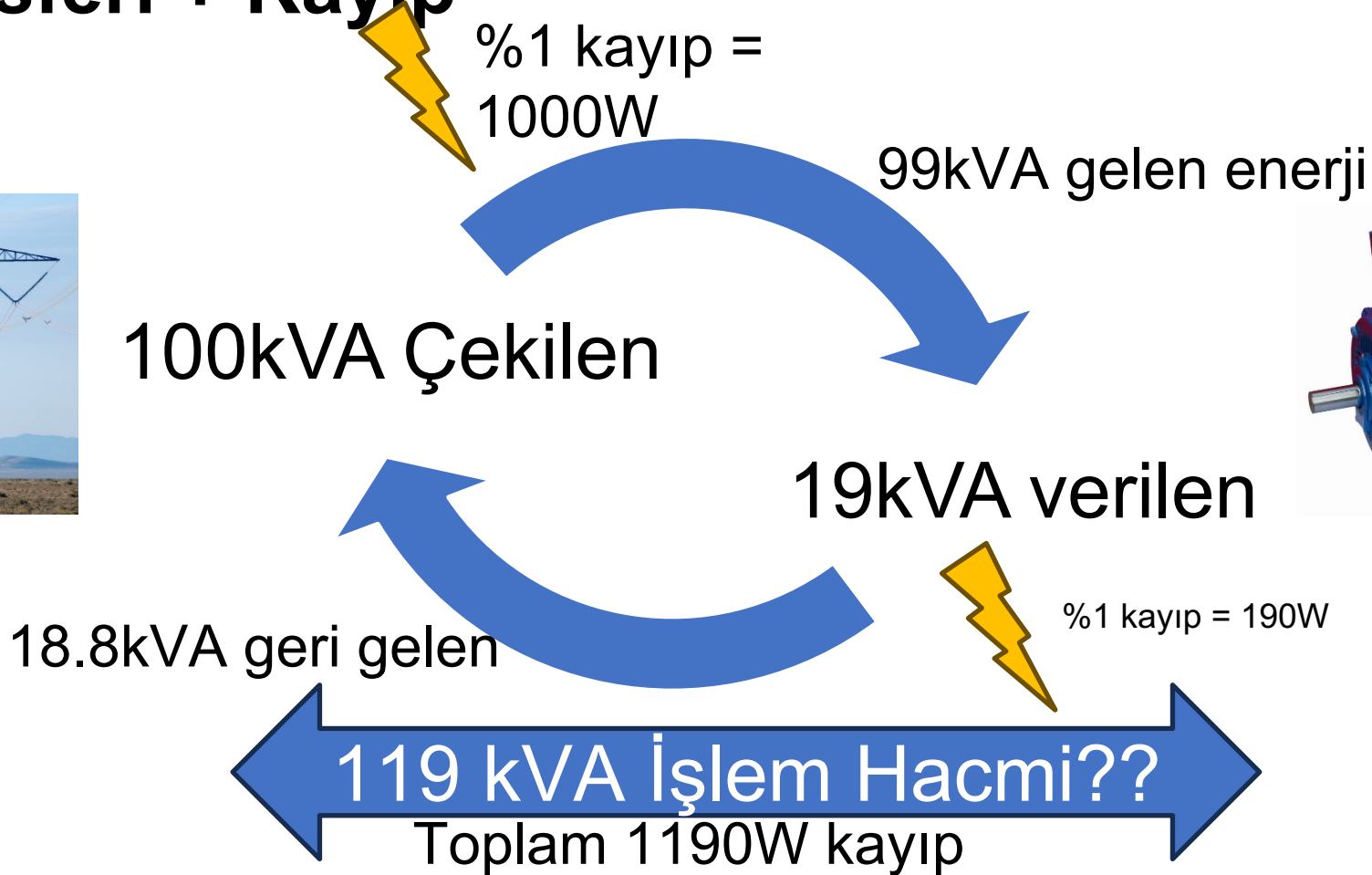


80tl Borç

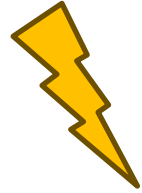
11tl vergi vs 8.88tl vergi  
+23.8% daha fazla vergi



## Enerji Transferi + Kayıp



## Enerji Transferi + Kayıp



%1 kayıp = 800W

80.8kW aktarım



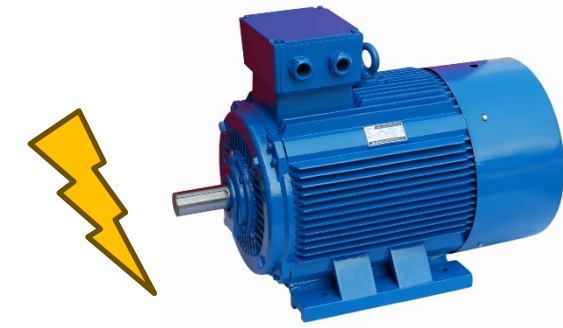
80kW ihtiyaç



1190W kayıp vs 800W kayıp  
+48.8% daha fazla kayıp!!

## Güç Faktörü

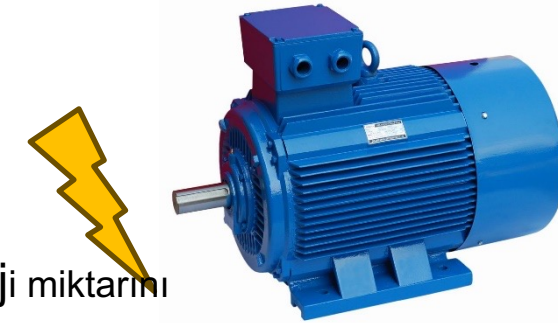
- Enerji hatlarındaki kayıplar bir ülke için milli servetin boşa gitmesine eşdeğerdir
- Ayrıca hattın yüklenme miktarı, harcanan **Aktif Güç**'e değil, **Görünür Güç**'e bağlıdır.
- Bu sebeple **Görünür Güç**, **Aktif Güç**'e ne kadar yakın olursa, hat o kadar verimli şekilde yüklenir.
- **Aktif güç**'ün **Görünür Güç**'e oranına **Güç Faktörü** denir.
- Motor yüklerinin güç faktörleri 0.65-0.8 arası değişir.
- Bu durumda sistemin genel **Güç Faktörü**'nü yükseltmek için önlem almak gerekir.



## Yasal Mevzuat

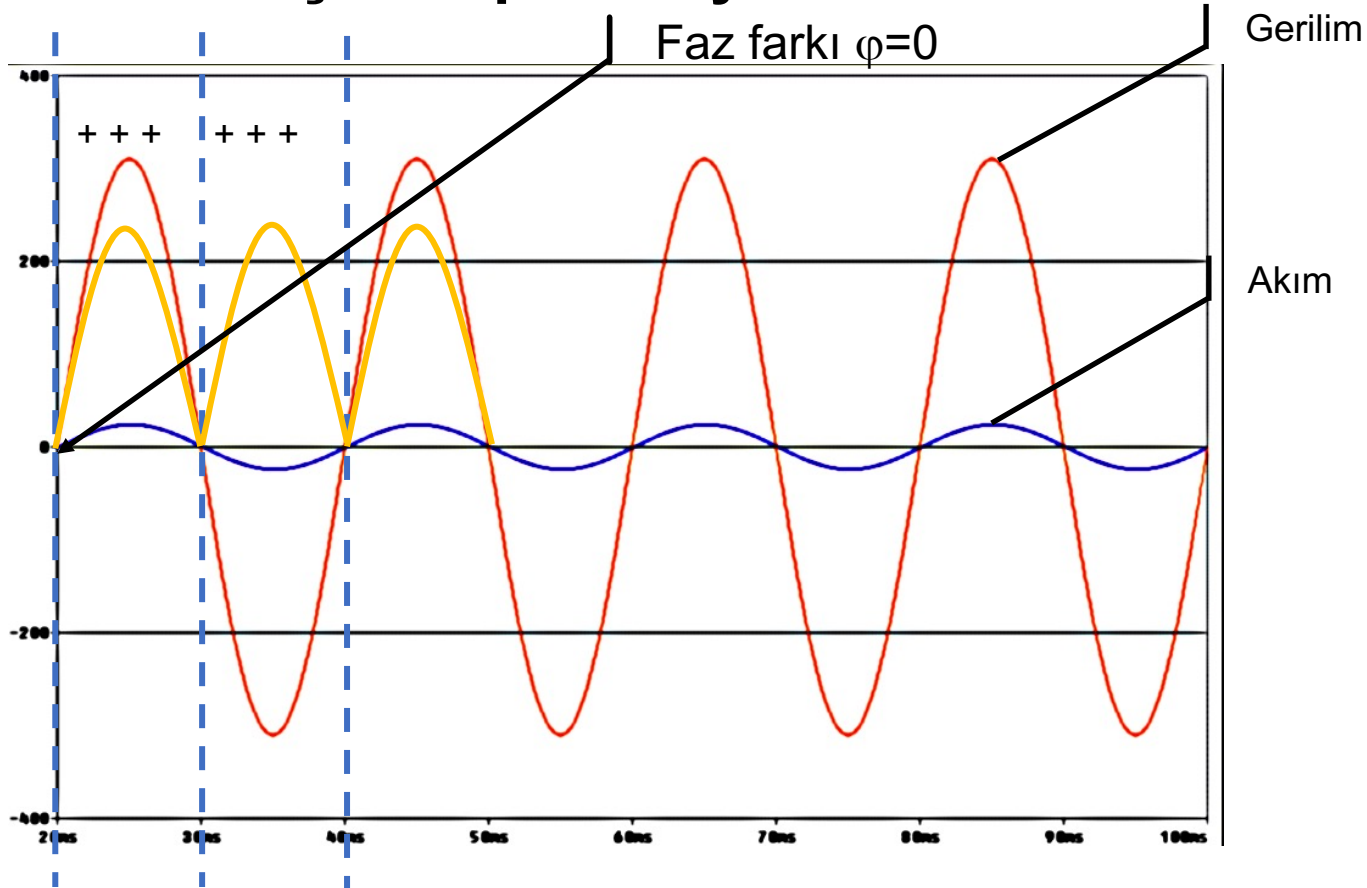
- Devletler, milli servetlerini korumak amacıyla, elektrik şebekesi kullanıcılarının reaktif enerji harcama miktarlarını sınırlayacak yasal önlemler almaktadırlar.
- Ülkemizde 50kVA ve üzeri kullanıcıların uyması gereken reaktif enerji sınırları aşağıdaki gibidir

<i>EPDK Ceza Sınırları</i>	<i>Reaktif/Aktif güç oranı</i>
Endüktif	%20
Kapasitif	%15



- Kullanıcılar bu sınırlara uymadıkları durumda, harcamış oldukları reaktif enerji miktarını **yüksek tarifieden ödeme cezasına çarptırılırlar.**
- Bu sebeple 50kVA'nın üzerindeki tüm kullanıcılar **REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYON SİSTEMİ** kurmak **zorundadır.**

## Reaktif Güç Kompanzasyonu



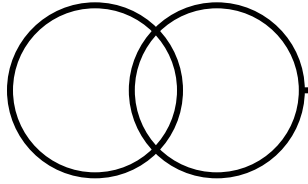
- Anlık güç; gerilim ve akımın anlık değerlerinin çarpımı ile hesaplanır
- Gerilim ve akım arasında faz farkı olmazsa bu çarpım değeri sürekli pozitif kalır
- Bu durumda **Aktif Güç**, **Görünür Güç**'e eşit olacaktır.





## Reaktif Güç Kompanzasyonu

Transformatör



Sabit Endüktif Yük

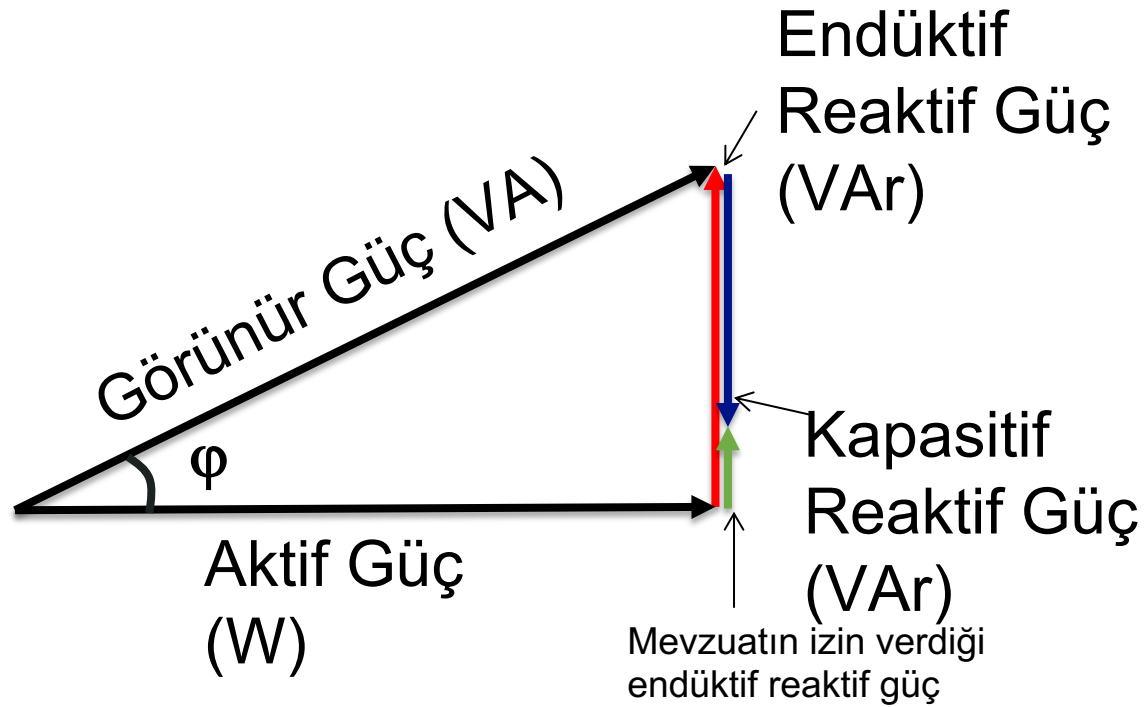
$Q_L$



Sabit Kapasitif Yük

$Q_C$

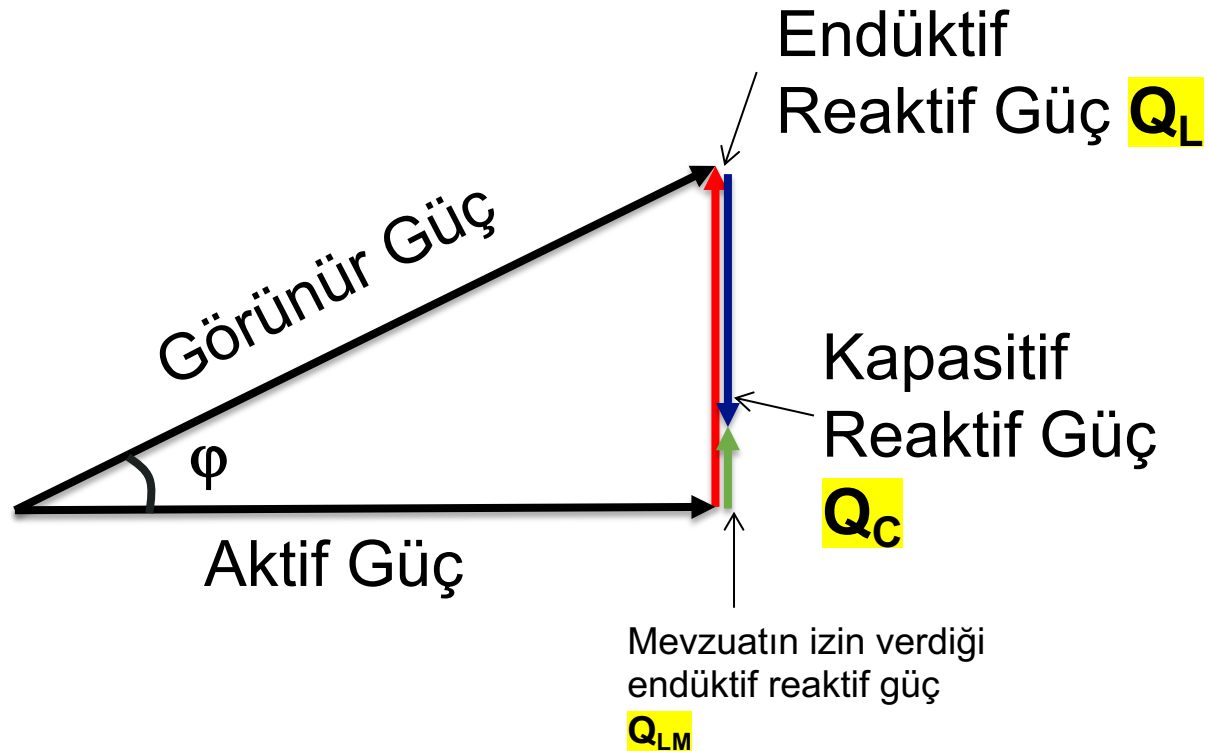
## Reaktif Güç Kompanzasyonu



- Toplam kondansatör miktarına karar verirken hedef güç faktörü doğru belirlenmeli.
- Eğer amaç endüktif yükü tamamen kompanze etmek ise toplam endüktif yük miktarına denk kondansatör seçilmeli.
- Ancak yasal mevzuat aslında tam kompanzasyon istemiyor.
- Verilen sınırlar içerisinde kalacak miktarda kondansatör devreye alınması, yasal mevzuatın sağlanması için yeterli.



## Reaktif Güç Kompanzasyonu



- Genellikle toplam kompanzasyon miktarını belirlemeniz gerektiğinde elinizdeki veriler sistemin **görünür gücü (S)** ve **güç faktörü** olacaktır.

- Daha önce «**Aktif güç'ün Görünür Güç'e oranına Güç Faktörü denir**» demiştik. Yandaki şekli baktığımızda güç faktörünü trigonometrik olarak **cos(φ)** olarak da tanımlayabiliyoruz.

- Buna göre toplam endüktif reaktif gücümüz için

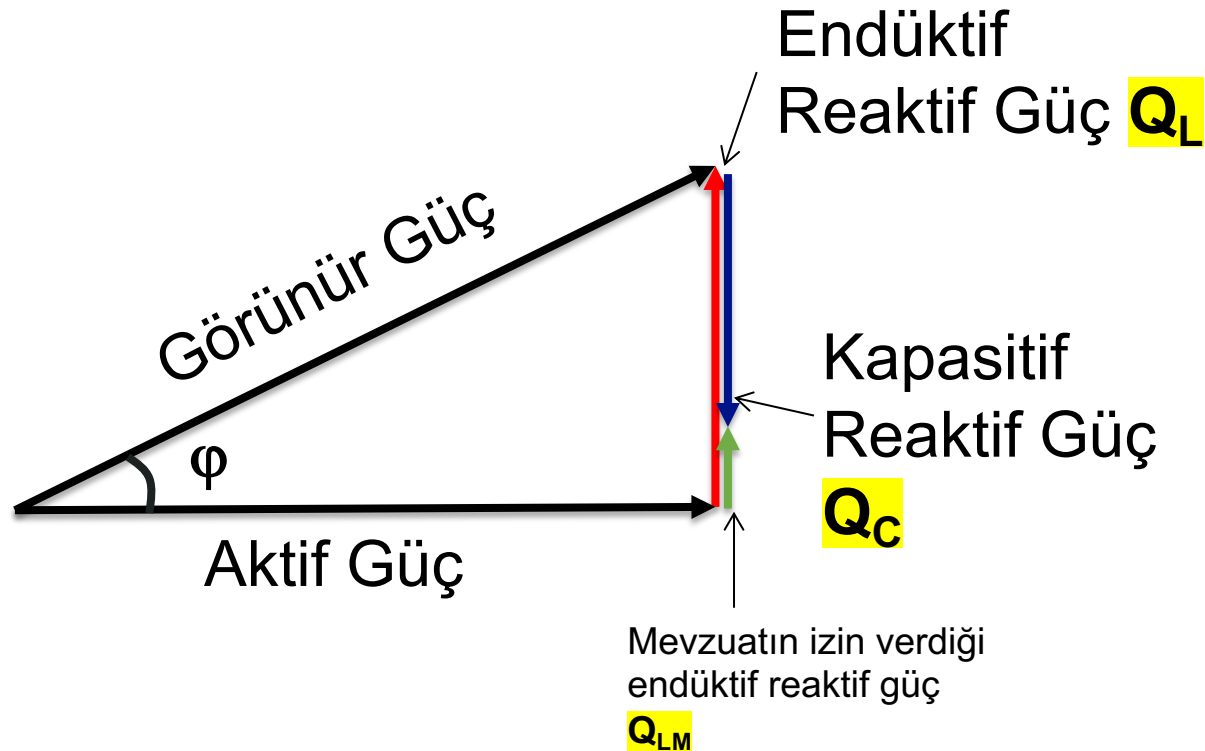
$$Q_L = S \cdot \sin(\varphi) = S \cdot \sqrt{1 - \cos^2(\varphi)}$$

- Yasal endüktif reaktif güç sınırı olan **aktif gücün %20'si** için ise

$$Q_{LH} = S \cdot \cos(\varphi) \cdot 0.2$$

Diyebiliriz.

## Reaktif Güç Kompanzasyonu



- Hedeflediğimiz  $Q_C = Q_L - Q_{LM}$  olduğuna göre:

$$Q_C = Q_L - Q_{LM} = S \cdot \sqrt{(1 - \cos(\varphi))^2} - S \cdot \cos(\varphi) \cdot 0.2$$

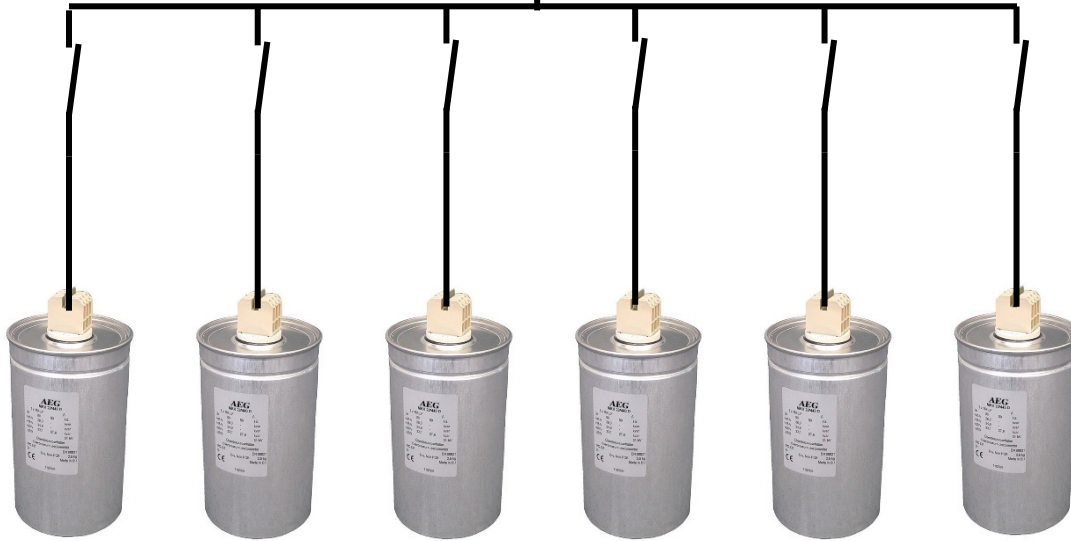
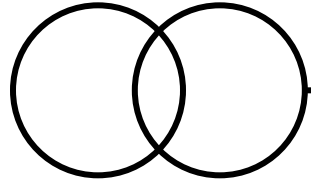
- Dolayısıyla:

$$Q_C = S \cdot (\sqrt{(1 - \cos(\varphi))^2} - \cos(\varphi) \cdot 0.2)$$

- Eğer hedefiniz yasal mevzuat olan %20 sınırı değil de %10 endüktif yük oranına ayarlamaksa formülde sadece 0.2 katsayısını değiştirebilirsiniz.
- Eskiden hedef reaktif güç miktarını bulmak için yukarıdaki formüle benzer bir formülden yola çıkılarak hazırlanmış bir tablo kullanılırdı.

## Reaktif Güç Kompanzasyonu

Transformatör



Değişken Endüktif Yük  
 $Q_L$



Değişken Kapasitif Yük  
 $Q_C$

## Reaktif Güç Kontrolörü

- Bir uygulamada değişken yükler oldukça, kompanzasyon sisteminin de buna ayak uydurması gerekmektedir.
- Bu amaçla kompanzasyon sistemi bir çok farklı adıma ayrılır.
- Mevcut sistemin reaktif güç ihtiyacı, **Reaktif Güç Kontrolörü** adı verilen bir cihaz tarafından ölçülüp, uygun miktarda kompanzasyon adımı, kontaktörler aracılığı ile devreye alınır.
- Kompanzasyon adımları seçilirken, ufak güçlü adımlardan başlanıp daha büyük güçlere doğru gidilir.
- Kompanzasyon sistemin sahip olduğu ufak adımlar daha hassas bir reaktif güç kompanzasyonuna olanak sağlar. Ufak adımlara sahip bir sistemin çözünürlüğü daha yüksek olur.
- Amaç, olabilecek en az sayıda adımla en yüksek çözünürlükte kompanzasyonu gerçekleştirebilmektir.



## Reaktif Güç Kontrolörü

- Adımların güçleri seçilirken genellikle önce en küçük adım gücü seçilir.
- Bu güç seviyesi belirlendikten sonra her bir adım bir öncekinin iki katı olacak şekilde güç seçilmeye başlar. Yaygın olarak kullanılan bir yöntem her bir adım seviyesinin iki kere tekrarlanmasıdır.

- Örnek verecek olursak en ufak adım olarak 1kVAR'lık seçilmiş ise:

$$1 + 1 + 2 + 2 + 4 + 4 + 8 + 8 + 16 + 16 + 32 \dots$$

şeklinde adımlar dizilir.

- Yüksek reaktif güç ihtiyacı olan bir sistemde başlangıç adımını düşük seçmek adım sayısını ve dolayısı ile maliyeti arttıracığından tercih edilmez.
- Başlangıç adımını çok yüksek seçmek ise her ne kadar maliyeti düşürse de sistemin çözünürlüğünü azaltacak ve yükün az olduğu dönemlerde cezaya girme riskini de beraberinde getirecektir.



## Kompanzasyon Kontaktörleri

- Dikkat edilmesi gereken bir başka husus ise adımların devreye giriş ve çıkış anlarıdır.
- Boş bir kondansatör dolar iken yüksek bir akım çeker. Bu akım kimi durumlarda kontaktör kutuplarının birbirine kaynamasına yol açacak kadar yüksek olabilir.
- Bu sebeple kondansatörlerin devreye alınması ve çıkarılması amacı ile, kendi üzerinde akım sınırlayıcı devre bulunan kompanzasyon tipi kontaktörler kullanılmaktadır.



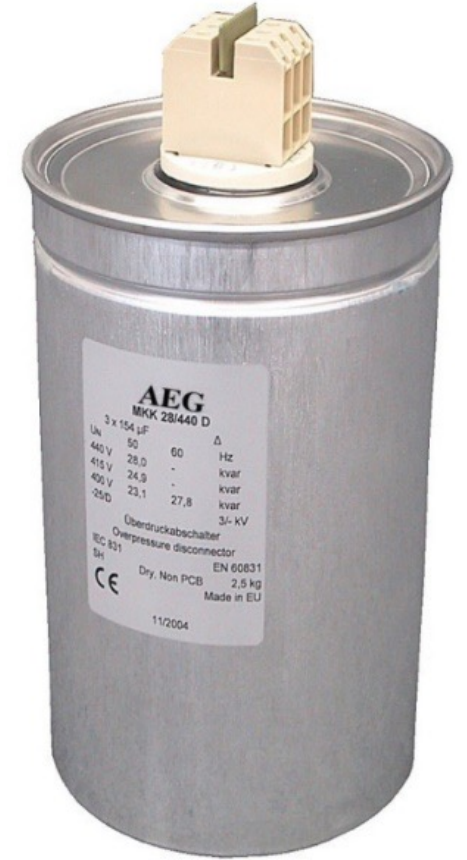
## Deşarj Bobinleri

- Dolu bir kondansatör ise kontaktör onu devreden çıkarttıktan sonra bile dolu kalmaya devam edecektir.
- Eğer yükün değişim hızı çok yüksek değil ise kondansatörün üzerinde bulunan deşarj dirençleri ile yavaşça deşarj olması beklenir.
- Bu esnada aynı adımın yeniden devreye alınmaması için, reaktif güç kontrol rölelerindeki zamanlayıcılarda gecikme ayarları mevcuttur.
- Eğer yükün değişimi hızı yüksek ise ve kondansatörün daha hızlı deşarj edilmesi isteniyorsa deşarj dirençleri yerine deşarj reaktörleri de kullanılabilir.



## Kondansatörler

- Sürekli dolup boşalan ve yük altında kalan kompanzasyon kondansatörlerinin de bazı özelliklere sahip olması gerekir.
- Genel olarak bakım kolaylığı açısından MetalizePoliPropilen (MPP) tip kondansatörler tercih edilir.
- Bu kondansatörler hem kompakt boyutta yüksek reaktif güç miktarları, hem bakım kolaylıkları hem de kendilerini iyileştirebilme özellikleri sebebiyle bu konuda piyasa standardı haline gelmiştir.
- Çok değişik güç ve gerilim değerlerinde bulunmaları mümkündür.



## Kondansatörler

- Kondansatörlerin empedans formülü şu şekildedir.

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

- Burada C kondansatörün sığasını, f ise üzerindeki sinyalin frekansını simgeler.
- Bu kondansatörün üzerinden akan akım değerini şu şekilde hesaplayabiliriz.

$$I_C = \frac{V_C}{X_C} = V_C \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$$

- Buna göre kondansatörün üzerinden akan akım frekans arttıkça artacaktır
- Şebekedeki gerilim sadece 50Hz'den oluştuğuna göre bu fazla bir sorun çıkarmayacaktır

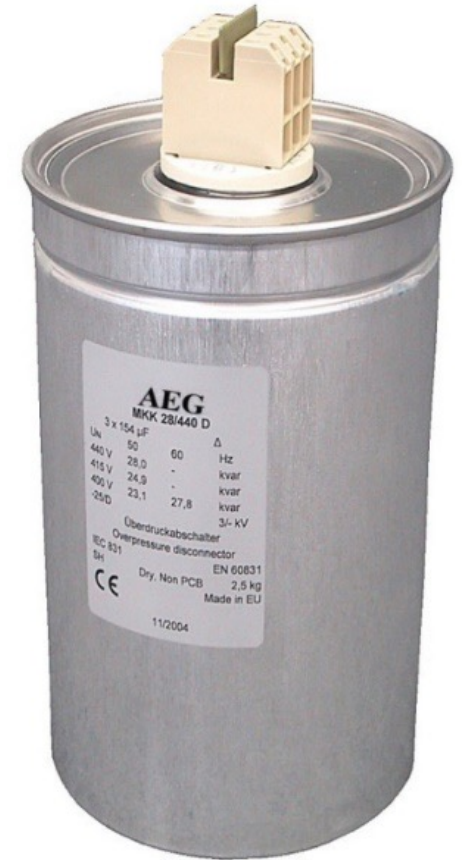


## Kondansatörler

- Kondansatörlerin empedans formülü şu şekildedir.  $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$
- Burada C kondansatörün sığasını, f ise üzerindeki sinyalin frekansını simgeler.
- Bu kondansatörün üzerinden akan akım değerini şu şekilde hesaplayabiliriz.

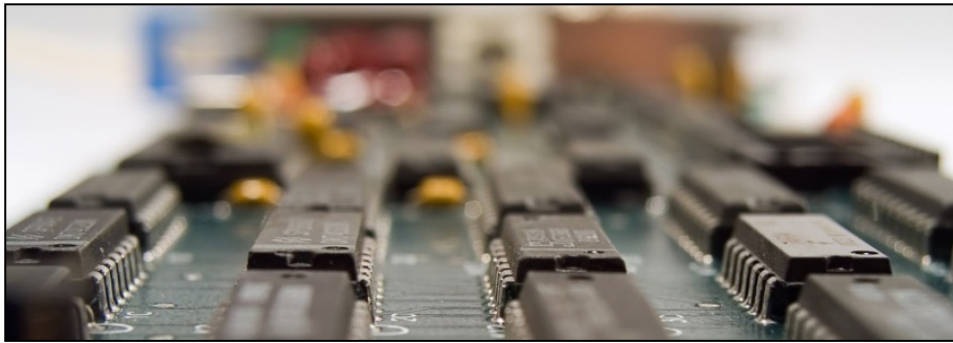
$$I_C = \frac{V_C}{X_C} = V_C \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$$

- Buna göre kondansatörün üzerinden akan akım frekans arttıkça artacaktır
- ~~Şebekedeki gerilim sadece 50Hz'den oluştuğuna göre bu fazla bir sorun çıkarmayacaktır~~
- Yukarıdaki cümle 1950'lerde geçerli olabilirdi ancak 2023 yılındayız ve şebekemizde maalesef daha yüksek frekans bozulmalar da mevcut.
- Bu bozulmalara verilen genel isim ise: **Harmonikler**



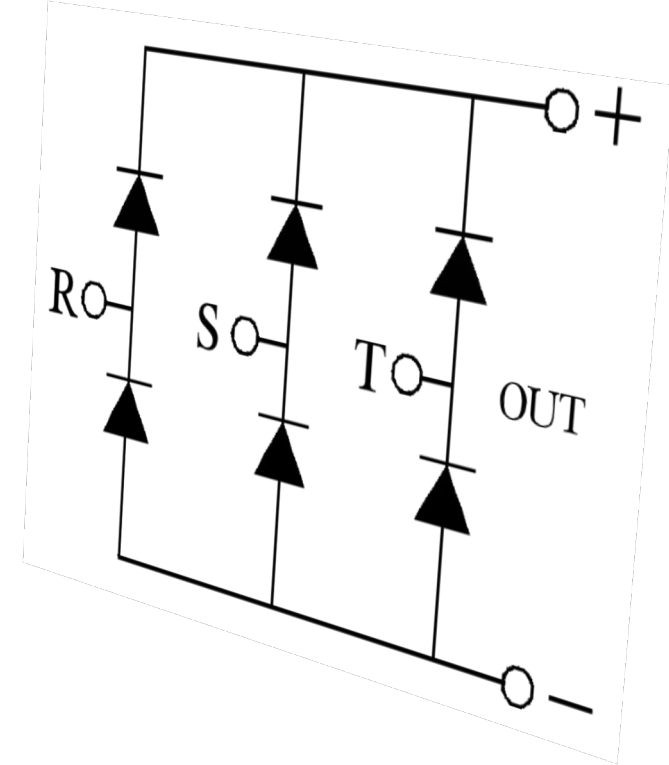
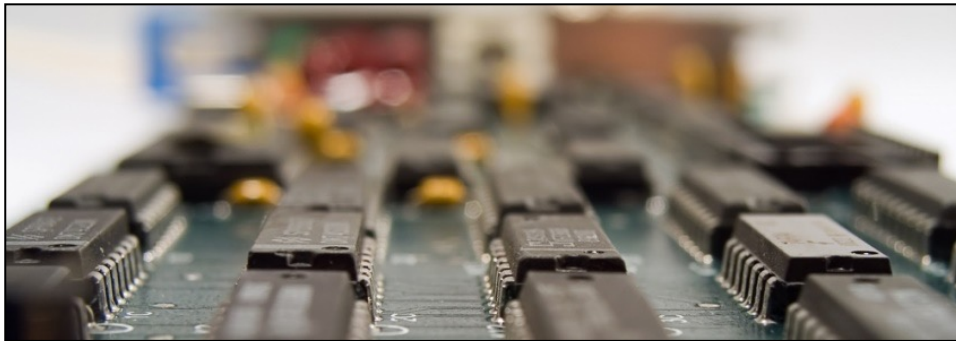
## Harmonik Nedir?

- Dünya genelinde elektrik dağıtımı 50 veya 60Hz'lik alternatif akım(AC) ile yapılır
- Bir çok cihaz alternatif akım ile rahat bir şekilde çalışabilmesine rağmen. Yeni nesil elektronik cihazların çalışması için doğru akım(DC) gerekmektedir.



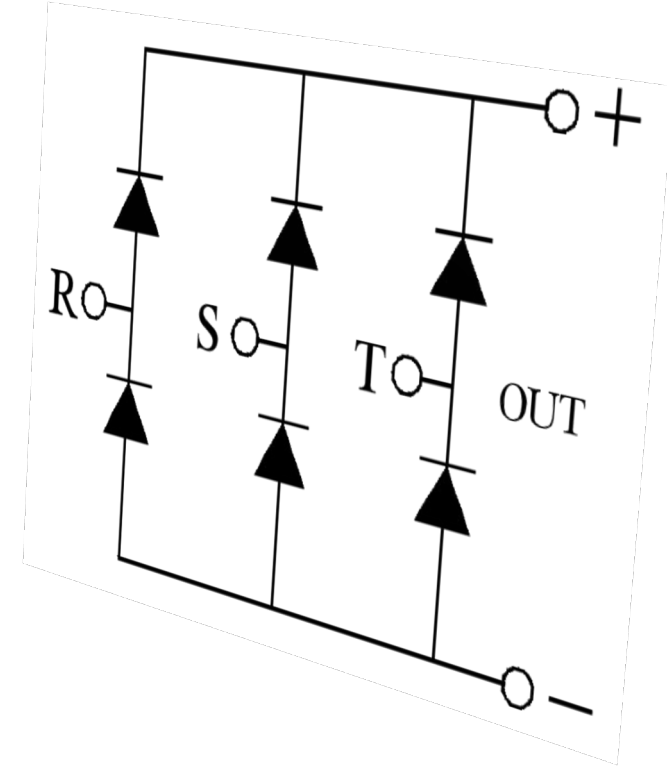
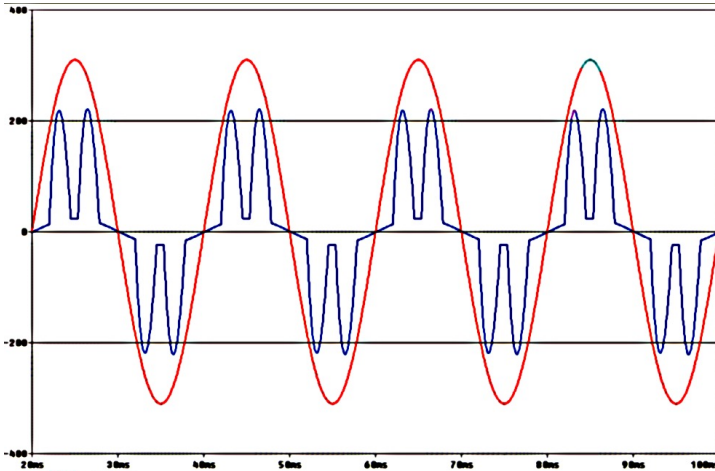
## Harmonik Nedir?

- Alternatif akımın doğru akıma çevrilmesine, yani doğrultulmasına yarayan cihazlara doğrultucu adı verilir.
- Bilgisayar, buzdolabı, televizyon, klima gibi günlük hayatta kullandığımız bir çok cihazın içerisinde bu tip doğrultucular mevcuttur.

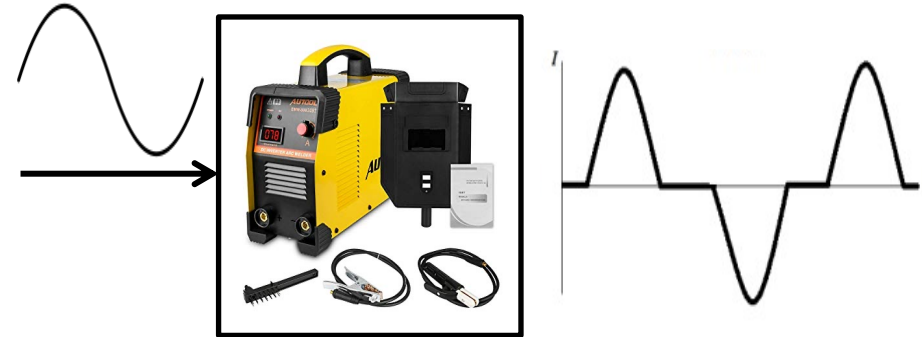
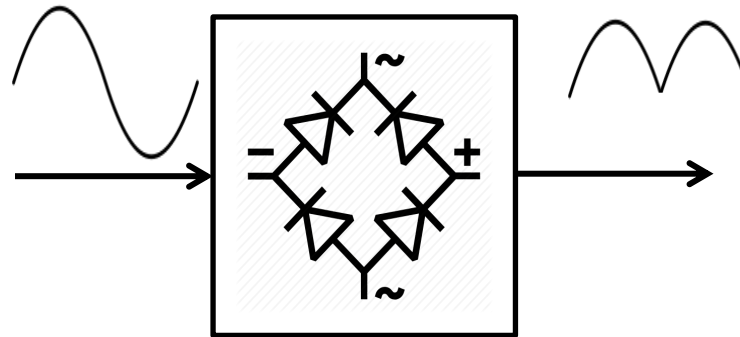
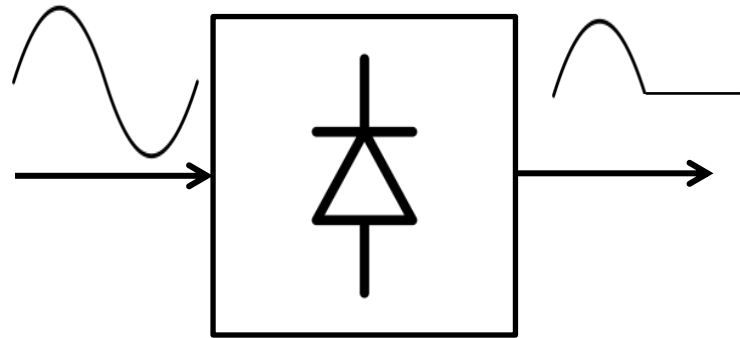


## Harmonik Nedir?

- Maalesef doğrultucuların çoğunun yapısında ortak bir kusur mevcuttur: Giriş akım dalga şekli darbelidir.
- Bu akım darbeleri şebekede yüksek frekansta bozulmalara yol açar.
- Bu bozulmalara verdiğimiz isim ise **Harmonikler**'dir

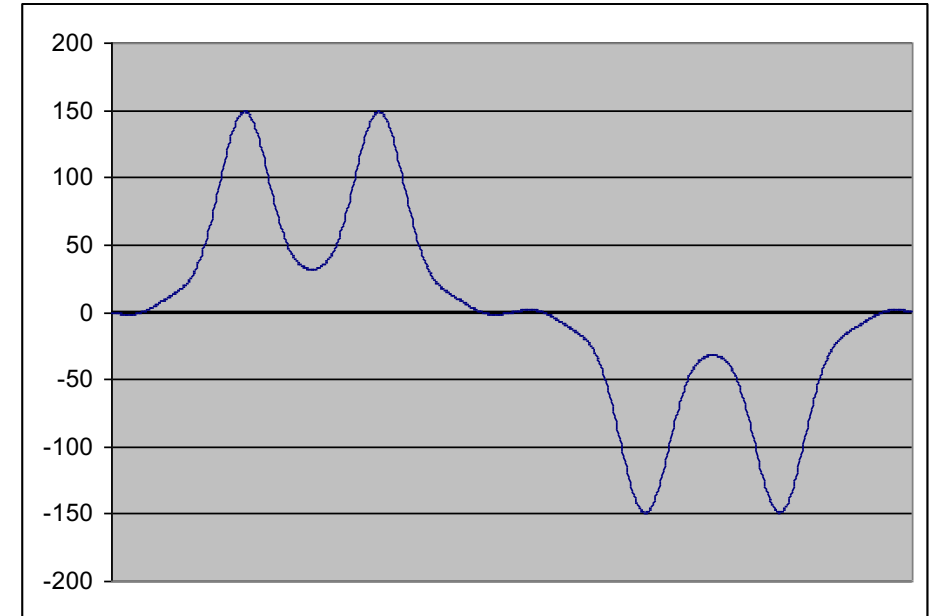


## Harmonik üreten Yükler



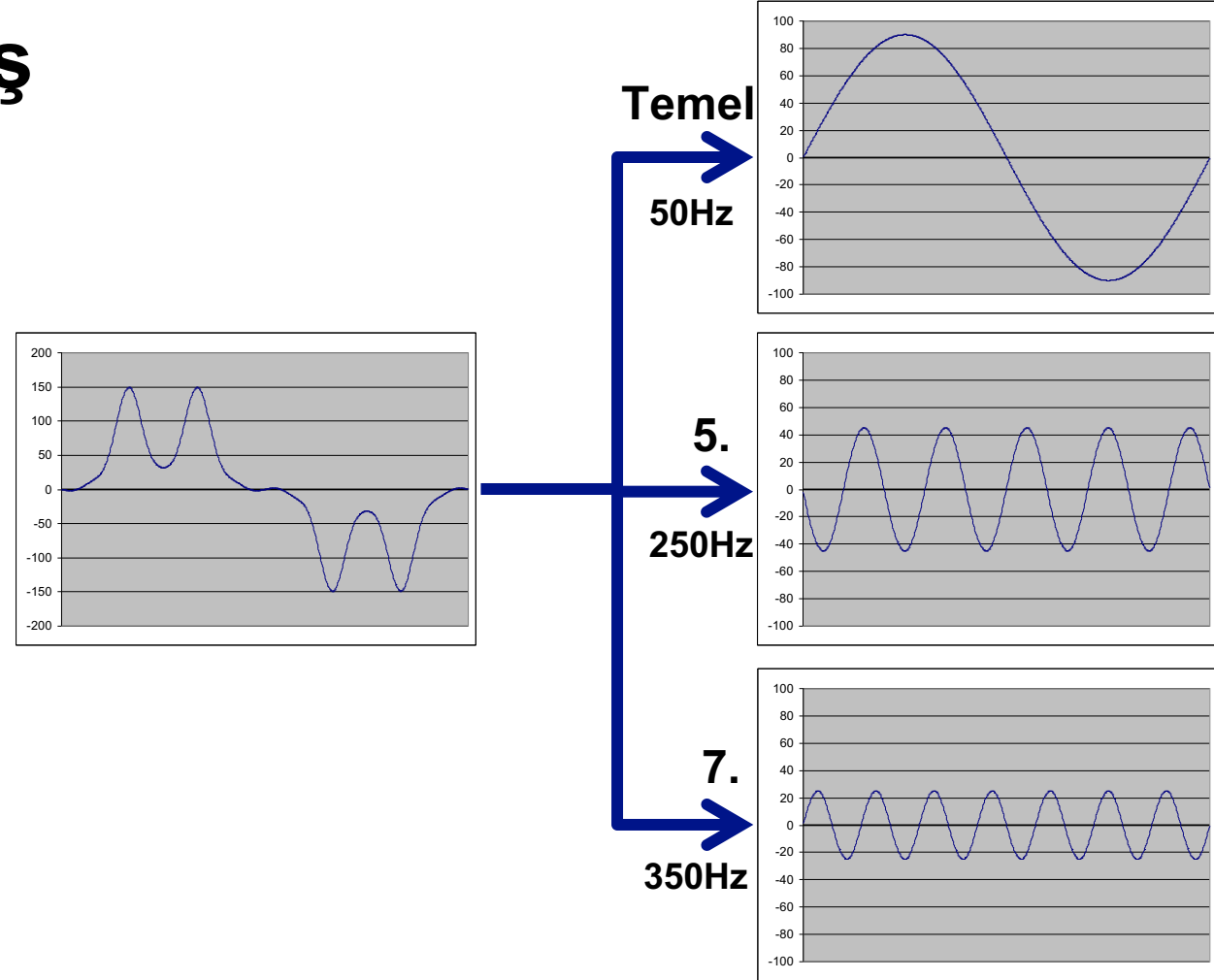
## Harmoniklere Detaylı Bir Bakış

- Yanda görmüş olduğumuz dalga şekli standart bir 6 darbeli doğrultucunun çektiği akımın dalga şeklidir
- Akımın temel frekansı 50Hz olsa da dalga şekli sinüs formundan uzaktır.
- Daha yüksek frekanslarda olan parçalar akım dalga şeklini bozmaktadır.
- Bu dalga şeklini **TEMEL FREKANS** ve **HARMONİKLERİ** olarak ayırabiliriz



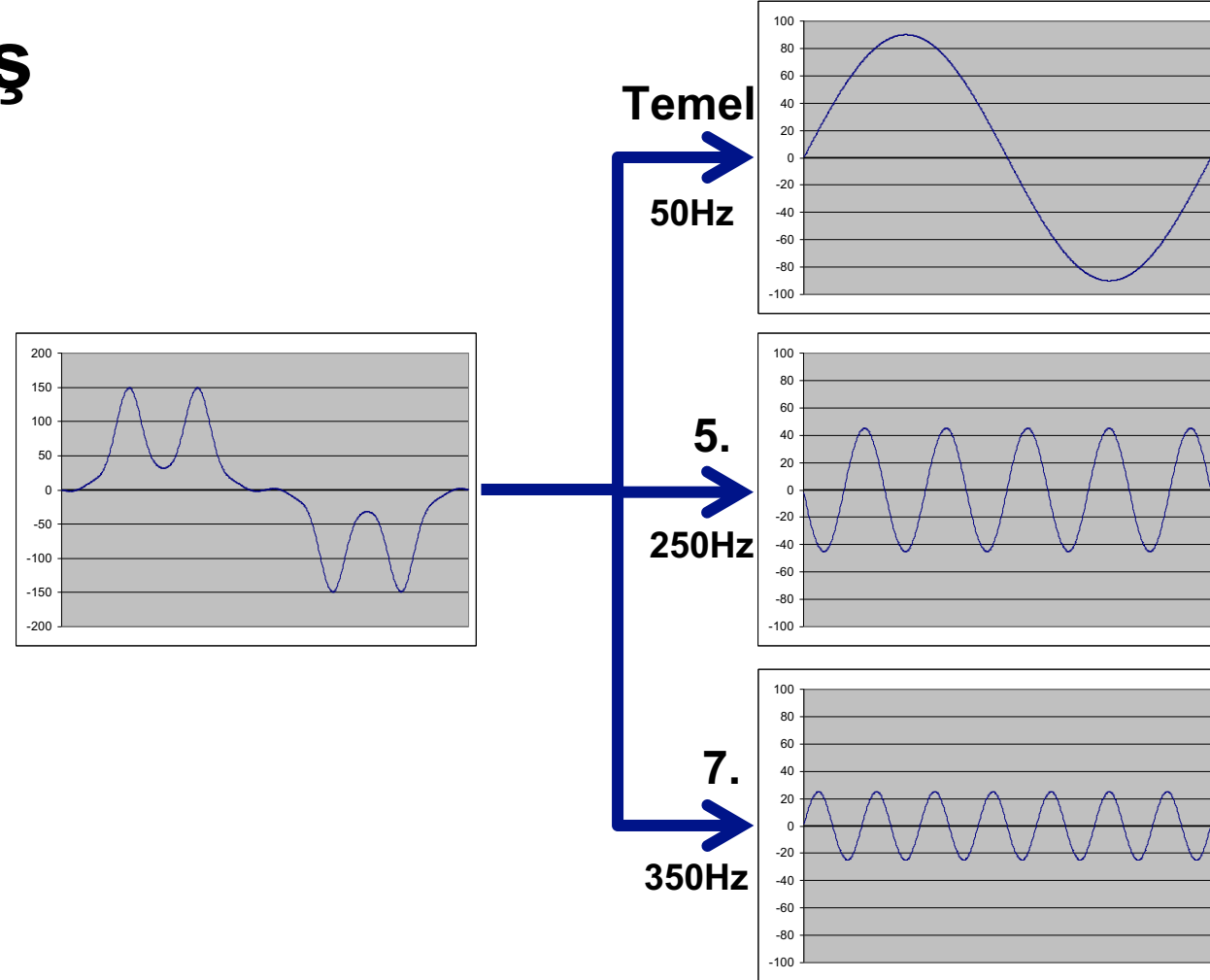
## Harmoniklere Detaylı Bir Bakış

- Bir dalga şeklini değişik frekanstaki parçalarına ayırma işlemine Fourier Analizi denir.
- Dalga şeklinin en düşük frekanslı parçasına TEMEL FREKANS denir.
- Daha yüksek frekanslarda olan parçalara HARMONİKLER denir.
- Bu parçaların hepsi Temel Frekans'ın tam sayı katında frekans değerine sahiptir.



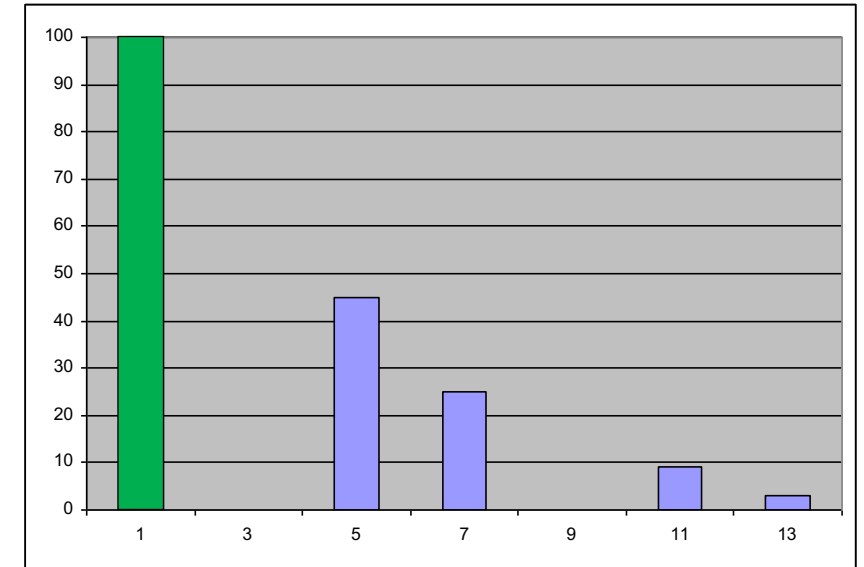
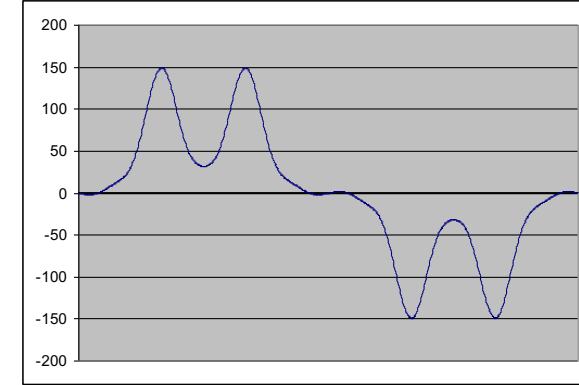
## Harmoniklere Detaylı Bir Bakış

- Normal bir Fourier Analizi'nde temel bileşenin bütün katlarına (2,3,4,5...) rastlanırken, elektrik sistemlerinde bazı istisnalar mevcuttur.
- Nokta simetrisine sahip dalgalarda çift harmoniklere rastlanmaz.
- Dengeli üç fazlı sistemlerde üçüncü harmoniğe rastlanmaz.



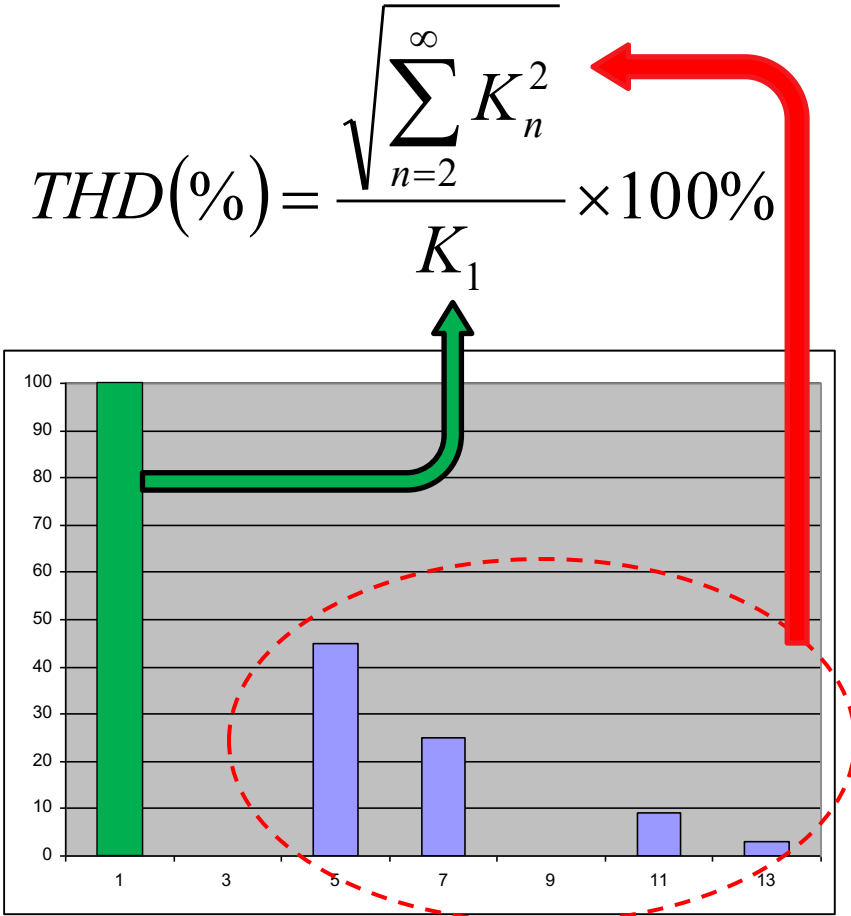
## Harmoniklere Detaylı Bir Bakış

- Fourier analizinin sonucunda elde edilen veriler genellikle bir bar grafiği ile gösterilir. Her bir harmonik bileşenin genliği bu bar grafiğinde rahatça gözlemlenebilir ve anlaşılabilir.
- En soldaki büyük bileşen temel bileşendir. Elektrikli cihazlarımız tarafından kullanılan enerjiyi temsil eder.
- Diğer tüm bileşenler harmoniklerdir. Bu bileşenleri kullanılabilir enerji olarak değerlendirmek mümkün değildir ve sistemlerde sorunlara yol açarlar.



## Harmoniklere Detaylı Bir Bakış

- Bir sistemin toplam harmonik içeriği, bütün harmonik bileşenlerin değerlerinin karelerinin toplamlarının karekökünün, temel bileşene bölünmesi ile bulunur. Bu değere THD (Total Harmonic Distortion) denir.
- Bir sistemin akım ve gerilim THD değerlerine bakarak sistemin kirlilik seviyesi hakkında yorum yapabiliriz.
- Gerilim THD değeri (THDU) ve akım THD değeri (THDI) kirlilik ölçekleri birbirinden farklıdır.



## Harmoniklere Detaylı Bir Bakış

- Gerilim THD değeri de (THDU) sistem geriliminin harmonik bozulma miktarını belirtmek için kullandığımız çok önemli bir değerdir.
- THDU < 1% Temiz
- 1% < THDU < 3% Az Kirlilik
- 3% < THDU < 5% Çok Kirlilik
- 5% < THDU TEHLİKE!!!!

$$THD(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} K_n^2}}{K_1} \times 100\%$$

Table 1—Voltage distortion limits

Bus voltage $V$ at PCC	Individual harmonic (%)	Total harmonic distortion THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
$1$ kV < $V \leq 69$ kV	3.0	5.0
$69$ kV < $V \leq 161$ kV	1.5	2.5
$161$ kV < $V$	1.0	1.5 <sup>a</sup>

<sup>a</sup>High-voltage systems can have up to 2.0% THD where the cause is an HVDC terminal whose effects will have attenuated at points in the network where future users may be connected.

## Harmoniklere Detaylı Bir Bakış

- Akım THD değeri (THDI) bir sistemdeki harmonik bozulmanın miktarını belirtmek için kullandığımız çok önemli bir değerdir.
- THDI < 10% Temiz
- 10% < THDI < 20% Az Kirlilik
- 20% < THDI < 30% Çok Kirlilik
- 30% < THDI TEHLİKE!!!!
- Akım THD değeri yorumlanırken bu değer bir ORAN olduğu unutulmamalıdır.
- Aynı fabrika içerisinde 1000A %15 THDI, 5A %70 THDI'dan çok daha tehlikelidir.

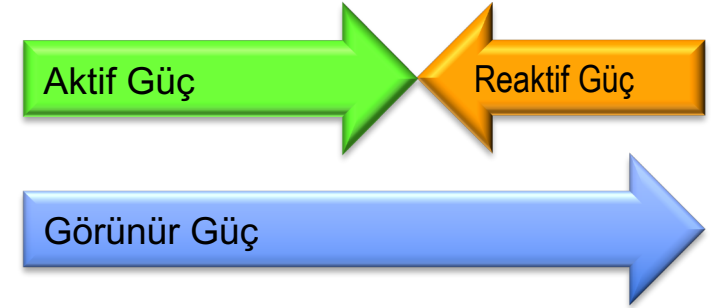
$$THD(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} K_n^2}}{K_1} \times 100\%$$

Table 2—Current distortion limits for systems rated 120 V through 69 kV

Maximum harmonic current distortion in percent of $I_L$						
Individual harmonic order (odd harmonics) <sup>a, b</sup>						
$I_{SC}/I_L$	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
<20°	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

## Reaktif Enerji Nedir

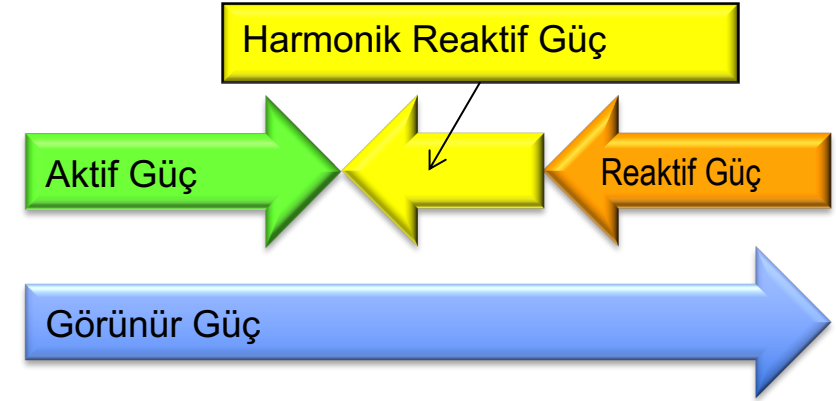
- **Reaktif enerji** en basit tabirle enerji alışverişi esnasında oluşan para üstüdür.
- Endüstride kullanılan yüklerin büyük çoğunluğu bu alışverişi her saniye defalarca tekrarlar
- Örneğin bir elektrik motoru her bir dönüşünde şebekeden belirli bir miktarda enerji çekip, bunun bir kısmını şebekeye iade eder.
- Giden ve gelen bu güç hacminin toplamına **görünür güç**
- İade edilen kısma **reaktif güç**
- Aradaki farka ise **aktif güç** denir.



$$S^2 = P^2 + Q^2$$

## Reaktif Enerjinin Yeniden Tanımlanması

- **Reaktif enerji** en basit tabirle enerji alışverişi esnasında oluşan para üstüdür.
- Endüstride kullanılan yüklerin büyük çoğunluğu bu alışverişi her saniye defalarca tekrarlar
- Örneğin bir elektrik motoru her bir dönüşünde şebekeden belirli bir miktarda enerji çekip, bunun bir kısmını şebekeye iade eder.
- Giden ve gelen bu güç hacminin toplamına **görünür güç**
- **Nominal frekansta iade edilen kısma reaktif güç**
- **Yüksek frekansta iade edilen kısma harmonik reaktif güç**
- Aradaki farka ise **aktif güç** denir.



$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$$

## Reaktif Enerjinin Yeniden Tanımlanması

- Bu kapsamda eski tanımda aynı şeyi ifade eden Güç Faktörü ve  $\cos \varphi$  değerleri yeni tanımda birbirlerine eşit değildir.
- Güç faktörü hala aktif gücün reaktif güce oranı şeklinde tanımlanmaktadır
- $\cos \varphi$  değeri artık sadece faz kaymasını göstermektedir. Yeni adı ***d*pf** dir.
- ***D*pf** değeriniz 1 olsa bile güç faktörünüz 1 olmayabilir.

$$pf = \frac{P}{S} = dpf \cdot dtpf$$

$$dpf = \cos \varphi \quad \varphi = \tan^{-1} \frac{Q_1}{P_1}$$

## Reaktif Enerjinin Yeniden Tanımlanması

- Güç faktörünün hesaplanmasındaki yeni faktör ***dtpf*** dir.
- ***Dtpf*** sistemdeki yüksek frekans bozulmaların güç faktörüne olan etkisini temsil eder.
- ***Dpf*** değeriniz 1 olsa bile , ***dtpf*** değeriniz 1'in altında ise, yani sistemde yüksek frekansta bozulmalar mevcut ise güç faktörünüz 1 olamayacaktır.
- ***Dtpf*** değeri sistem gerilim ve akımının yüksek frekans bozulma oranına bağlıdır.

$$pf = \frac{P}{S} = dpf \cdot dtpf$$

$$dpf = \cos\varphi \quad \varphi = \tan^{-1} \frac{Q_1}{P_1}$$

$$dtpf = \frac{1}{\sqrt{1 + THD_U^2} + \sqrt{1 + THD_I^2}}$$

## Harmoniklerin Zararlı Etkileri

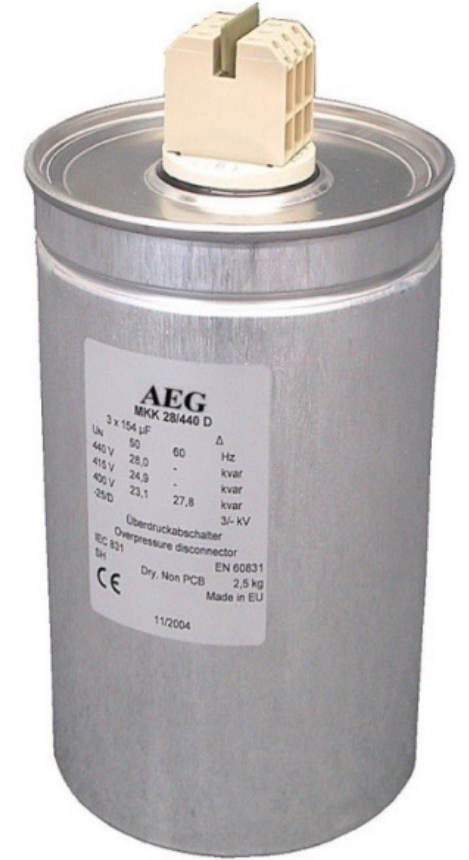
Kondansatörlerin aşırı ısınması	Dielektrik malzemeye zarar vererek kondansatör ömrünün kısalması
Kablolarda, baralarda ve trafolarda aşırı ısınma	Kayıpların ve ısı sebepli hataların artması
Normal çalışma durumunda atan sigortalar ve koruma cihazları	İşgücünün, zamanın ve sigortanın kaybı
Elektromanyetik cihazlarda gürültülü çalışma	Motor rulmanlarının hızlı bir şekilde bozulması
Elektromanyetik girişim sebebiyle elektronik kartların yanması	Veri kayıpları, sunucu çöküntüleri proses hataları, kart maliyetleri.

## Kondansatörler

- Kondansatörlerin empedans formülü şu şekildedir.  $X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$
- Burada C kondansatörün sığasını, f ise üzerindeki sinyalin frekansını simgeler.
- Bu kondansatörün üzerinden akan akım değerini şu şekilde hesaplayabiliriz.

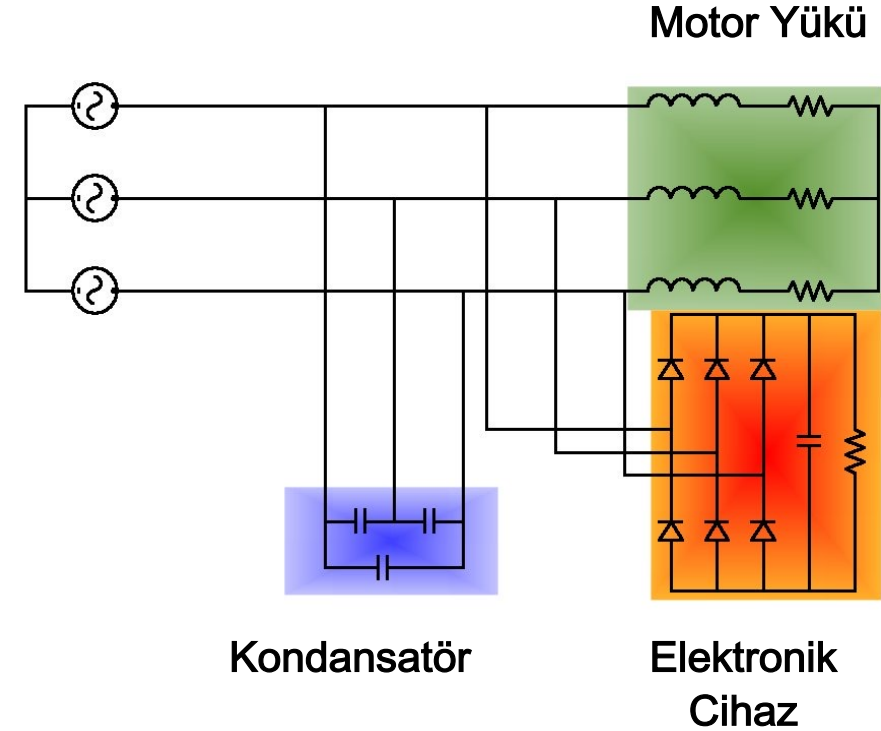
$$I_C = \frac{V_C}{X_C} = V_C \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$$

- Buna göre kondansatörün üzerinden akan akım frekans arttıkça artacaktır
- ~~Şebekedeki gerilim sadece 50Hz'den oluştuğuna göre bu fazla bir sorun çıkarmayacaktır~~
- Yukarıdaki cümle 1950'lerde geçerli olabilirdi ancak 2023 yılındayız ve şebekemizde maalesef daha yüksek frekans bozulmalar da mevcut.
- Bu bozulmalara verilen genel isim ise: **Harmonikler**



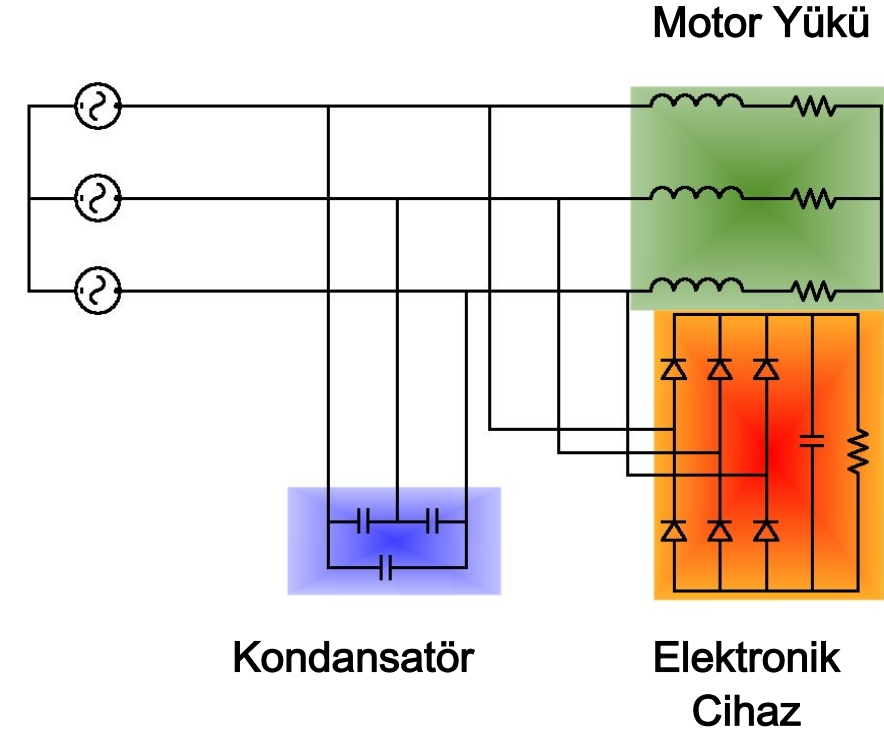
## Kompanzasyon Sistemleri ve Harmonikler

- Harmoniklerden dolayı oluşan sorunların büyük kısmı **RGK sistemleri**nde oluşur
- RGK sistemlerinin empedansları yüksek frekanslar için çok düşüktür.
- Bu yüzden şebeke gerilimindeki en ufak bozulmalar bile kondansatörlerde **aşırı yüklenme**ye yol açar.



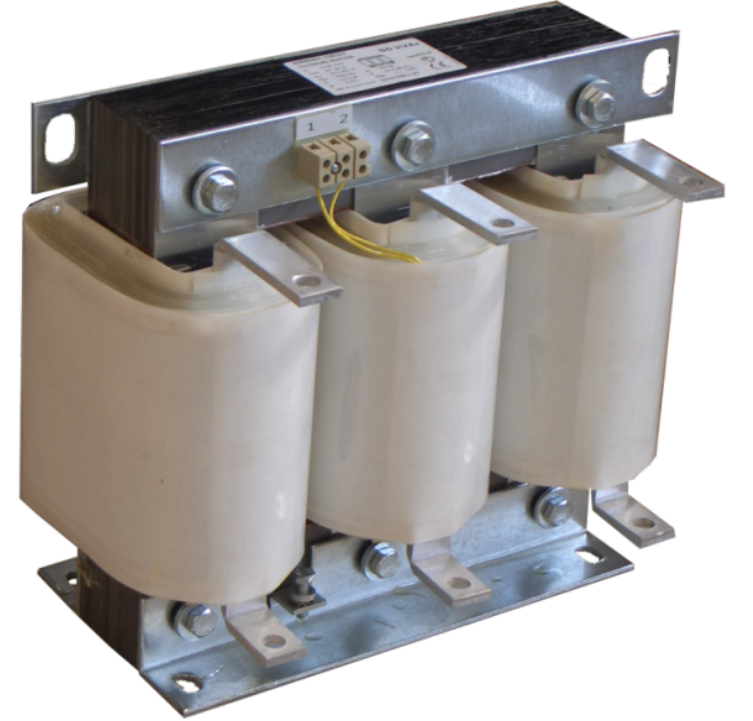
## Kompanzasyon Sistemleri ve Harmonikler

- Bu aşırı yüklenmeler sizin sisteminizde bulunun ve harmonik üreten cihazlar sebebiyle meydana gelmiş olabilir.
- Fakat harmonik üreten cihazlar bütün şebekede mevcuttur.
- Yani sizin sisteminizde harmonik üreten bir cihaz olmasa bile



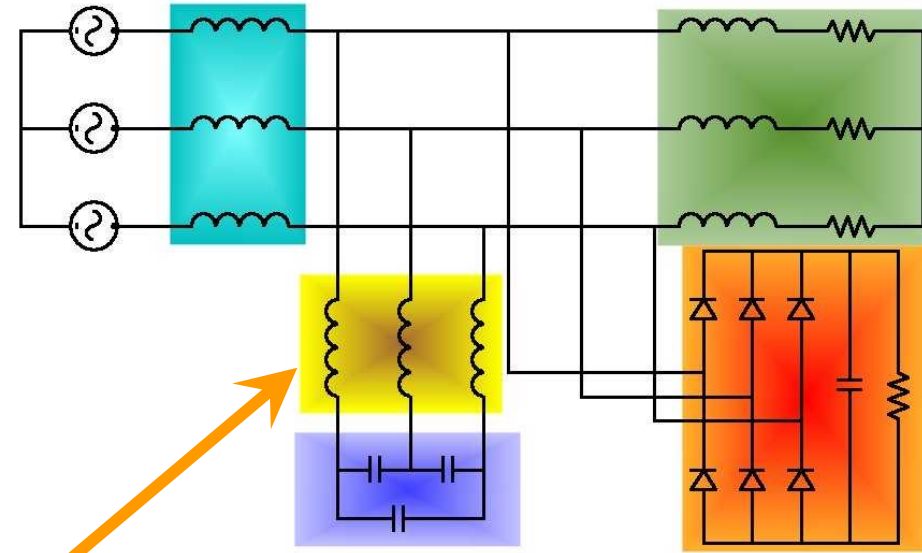
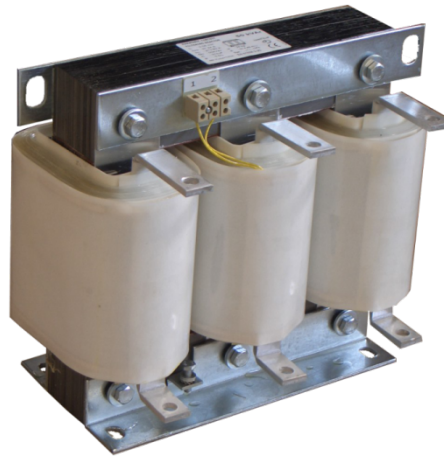
***HARMONİKLERDEN ETKİLENEBİLİRSİNİZ***

# Harmonik Filtre Reaktörü



## Kompanzasyon Sistemleri ve Harmonikler

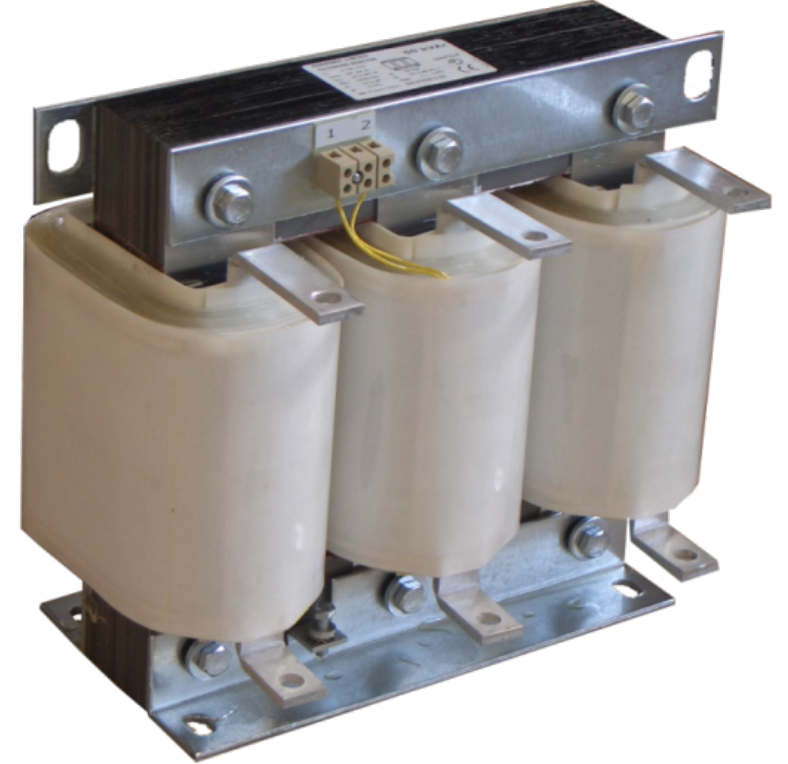
- Bu sorunların çoğu, kondansatörlerin önüne yerleştirilecek bir **harmonik filtre reaktörü** ile giderilebilir.
- Kondansatörlere seri bir şekilde yerleştirilen bu reaktörler sayesinde **yüksek frekans** değerleri için **yüksek empedans** elde edilir.





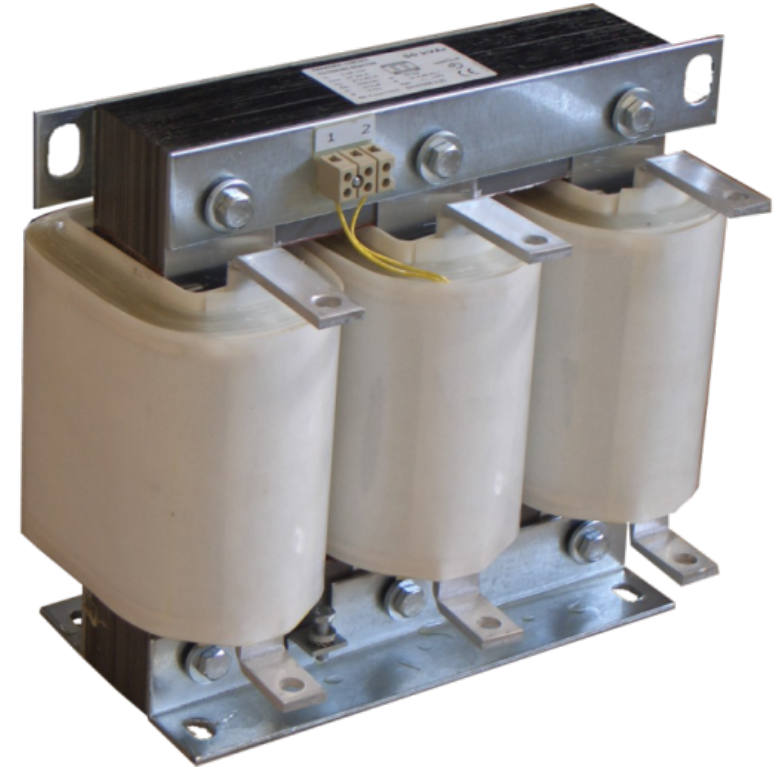
## Harmonik Filtre Reaktörü Seçimi

- Filtreli RGK sistemini diğer RGK sistemlerden ayıran parça **Harmonik Filtre Reaktörü**dür.
- Harmonik Filtre Reaktörünün seçimi esnasında çok dikkatli davranılmalıdır.
- Dikkat edilmesi gereken husus, bir çok elektrik cihazında geçerli olan “Bir boy büyüğünü alırız, güvende oluruz” kavramı Harmonik Filtre Reaktörleri için **GEÇERLİ DEĞİLDİR**.



## Harmonik Filtre Reaktörü Seçimi

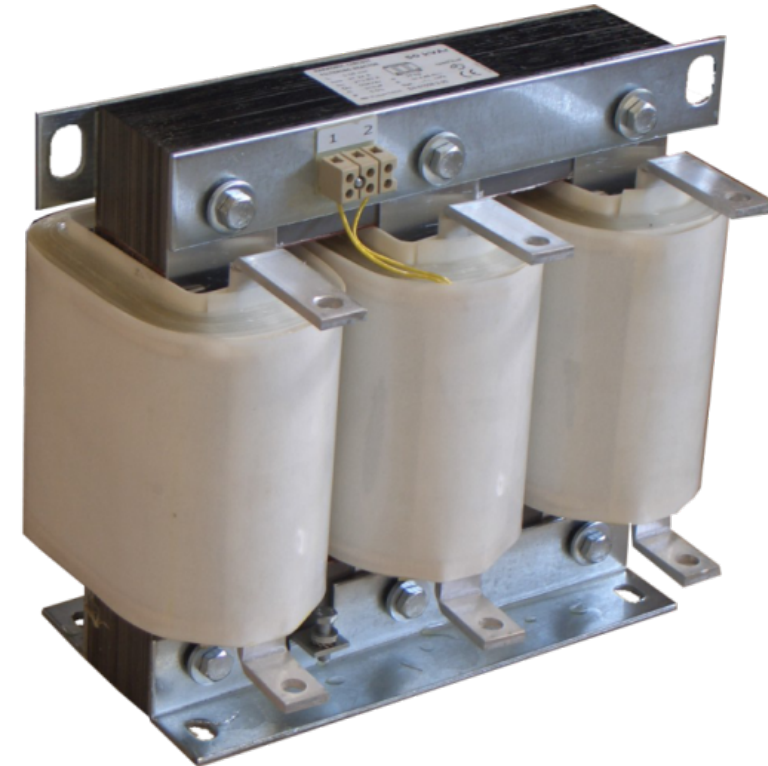
- Filtre seçimi esnasında uygun filtreleme faktörüne karar verebilmek için sistemin THDV ve THDI değerlerine bakmak gerekir.
- En yaygın olarak kullanılan filtreleme değerleri:
  - 5.67% (210 Hz)
  - 7% (189 Hz)
  - 14% (134 Hz)



## Harmonik Filtre Reaktörü Seçimi

- Eğer THDV ve THDI değerleri biliniyorsa aşağıdaki tabloya bakılarak filtreleme faktörü seçimi yapılabilir.
- Bu değerler sistemdeki mevcut kompanzasyon sistemi devre dışı iken ölçülmelidir.

	THD V	THD I
5.67%	<2%	>25%
7%	Diğer Bütün Durumlar	
14%	>4%	<15%

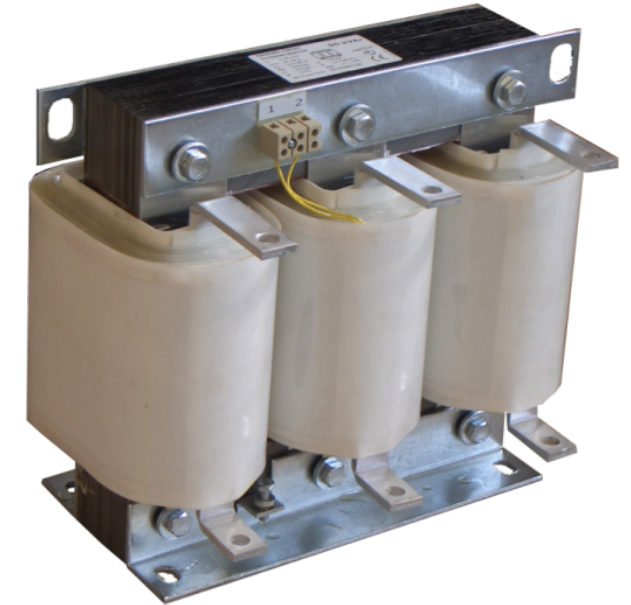


## Harmonik Filtre Reaktörü Seçimi

- Filtreleme esnasında kondansatör üzerindeki gerilim  $\frac{1}{1-p}$  oranında **artar**.
- Bu sebeple filtreli kompanzasyon sistemlerinde  $V_n \cdot \frac{1}{1-p}$  V dayanımlı kondansatörler kullanılması gerekmektedir.
- Yüksek gerilimli kondansatörlerin kullanımında, gereken kondansatör miktarı  $\frac{V_c^2}{V_n^2}$  oranında **artacaktır**.
- Filtre reaktörlerinin kendileri de reaktif enerji harcadığı için toplam elde edilen reaktif güç  $(1 - p)$  oranında **azalacaktır**.
- Buna göre istenen  $Q_{net}$  reaktif enerji miktarını elde etmek için **gerekli kondansatör gücü**:

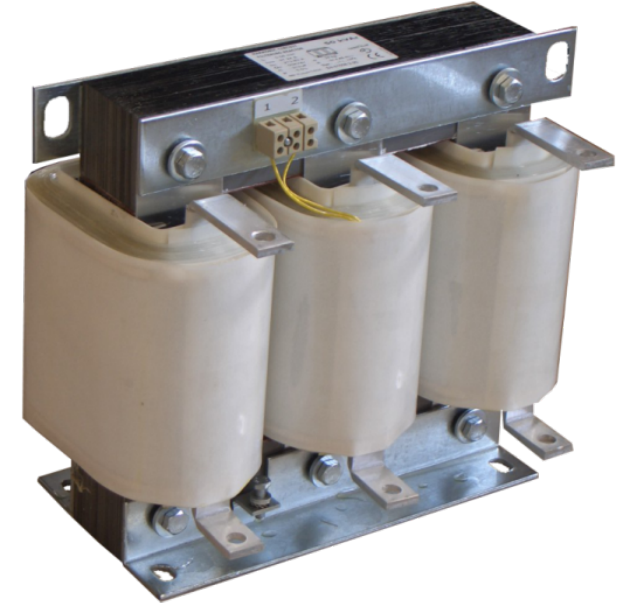
$$Q_c = Q_{net} \cdot \frac{V_c^2}{V_n^2} \cdot (1 - p)$$

Olarak hesaplanır



## Harmonik Filtre Reaktörü Seçimi

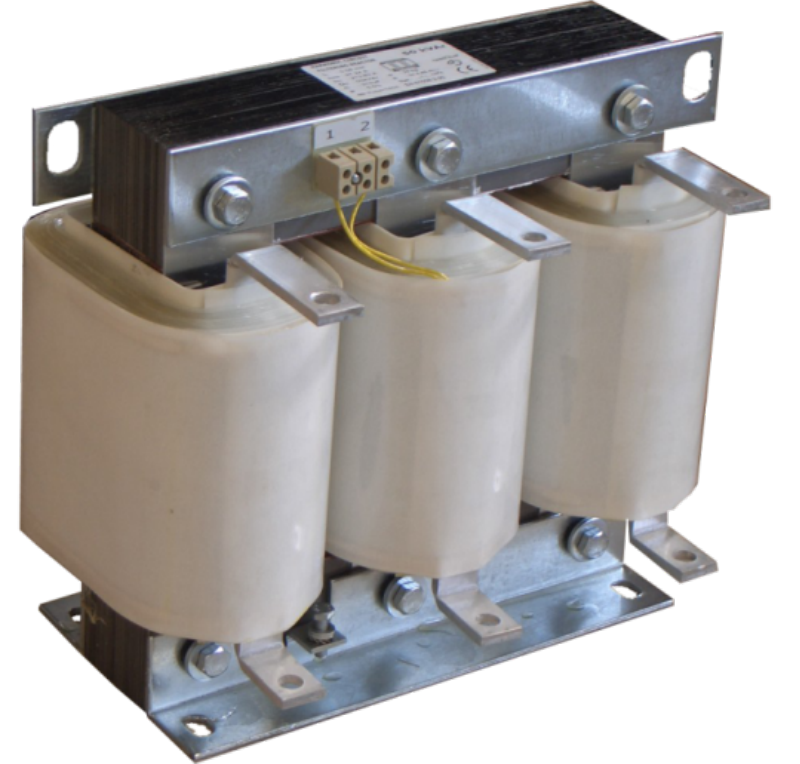
- Dikkat edilmesi gereken başka bir konu reaktörün dayanabileceği **gerilim distorsiyonu** seviyesidir
- **Standart tip** ürünler EN 61000-2-2 de belirtilmiş olan gerilim distorsiyon değerlerine göre tasarlanmaktadır.
- Yüksek gerilim distorsiyonu seviyeleri için **güçlendirilmiş tip** reaktör kullanılması gerekmektedir. Bu reaktörler aynı standarttaki yükseltilmiş değerler tablosuna göre tasarlanmaktadır.
- Bu değerlerin de üzerindeki gerilim bozulmaları için özel tip üretimimiz mevcuttur.



EN 61000-2-2	3.	5.	7.	9.	11.	13.
Standart Tip	0.5%	6.0%	5.0%	0.3%	3.5%	3.0%
Güçlendirilmiş Tip	0.6%	7.8%	6.7%	0.2%	4.9%	4.3%

## Harmonik Filtre Reaktöründe olması gereken özellikler

- Yüksek manyetik geçirgenlikli demir nüve.
- İsteğe göre bakır veya alüminyum sargı
- İstenen rezonans noktasında üretim
- Yüksek linearite
- EN 61000-2-2'e göre harmonik yük karakteristiği.
- Aşırı ısıya karşı termik koruma
- Sessiz çalışma ve nem koruması amaçlı vakumda vernikleme.
- EN 61558 2-20 ile uyum.



# Teşekkür Ederiz

