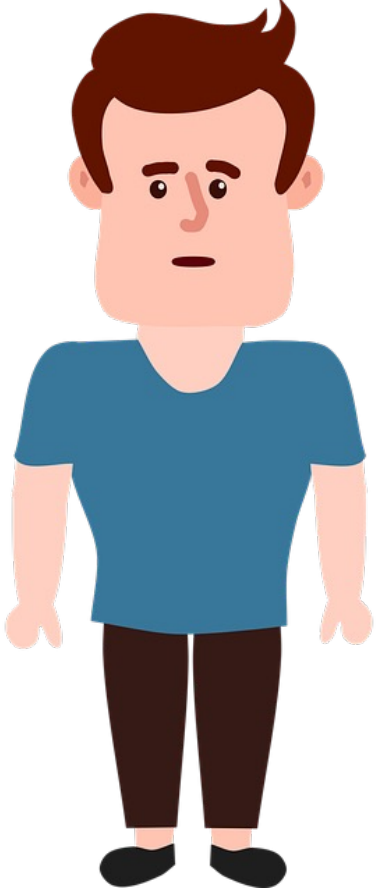


Reaktif Enerji ve Kompanzasyon

18 Ekim 2023
Ender KASIM
Ar-Ge Müdürü

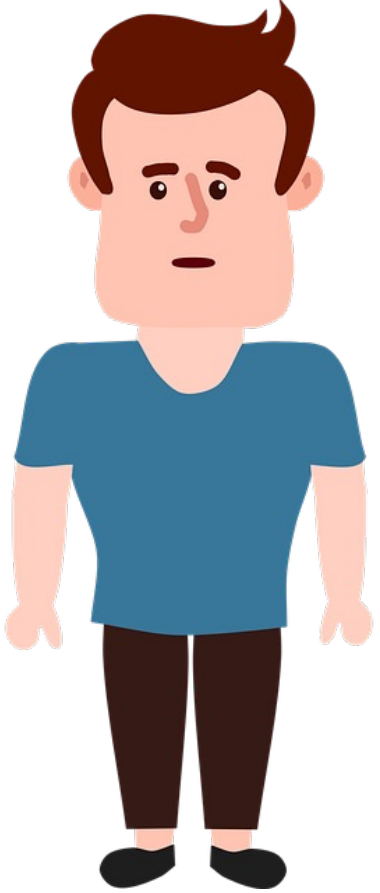
Para Transferi



80tl Borç



Para Transferi



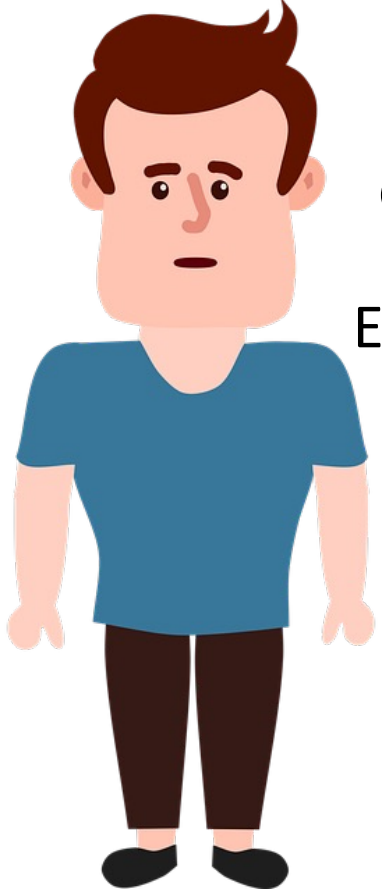
100tl Ödeme

20tl Para üstü

120 TL İşlem Hacmi



Para Transferi



80tl

El deęiřtiren
miktar

+

40tl

işlem fazlası

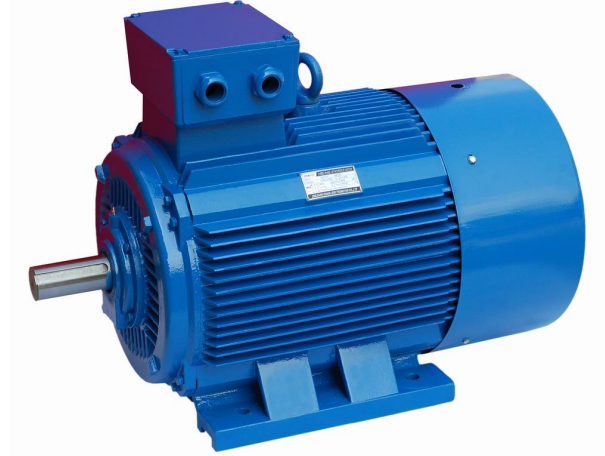
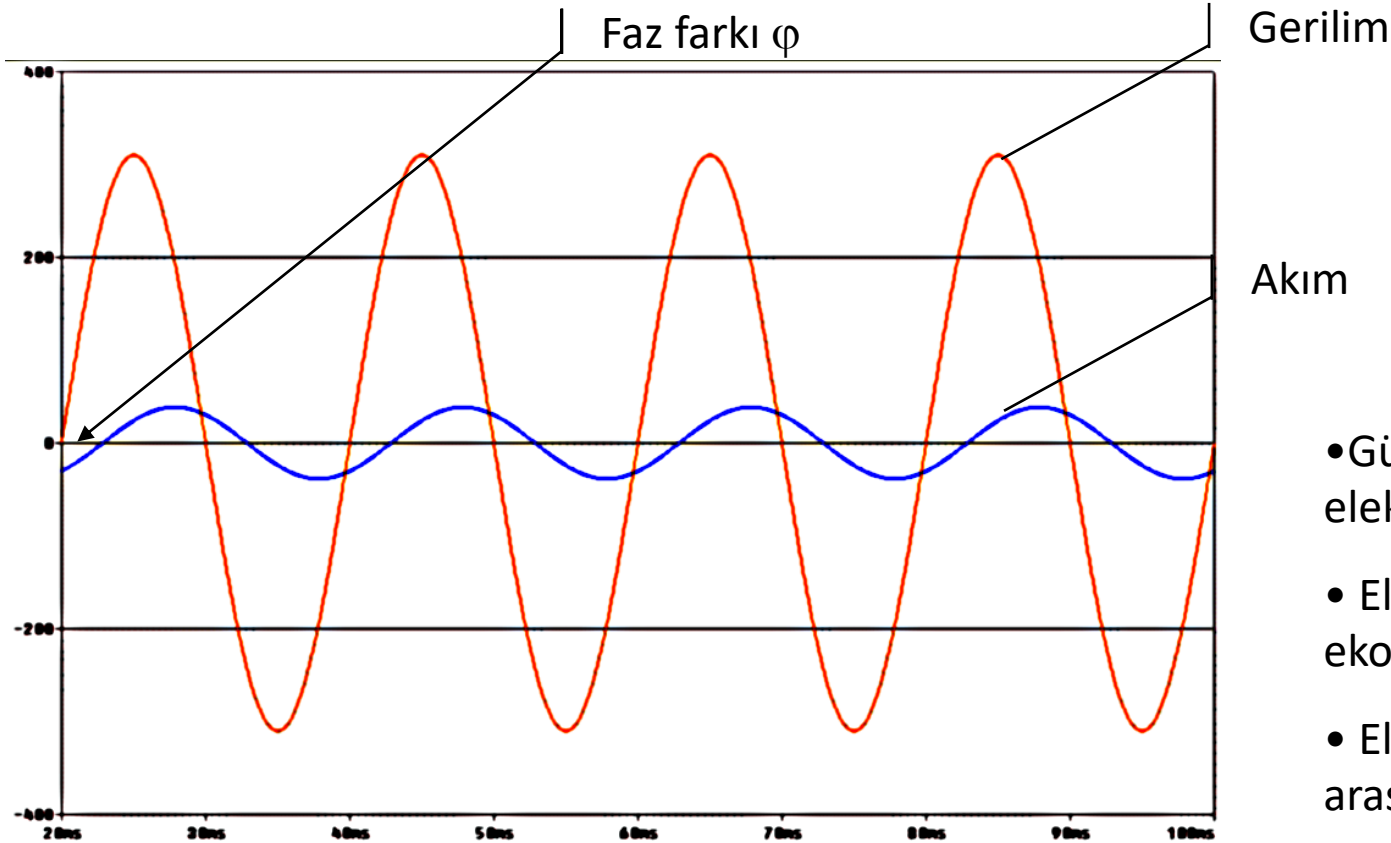
=

120tl

işlem Hacmi

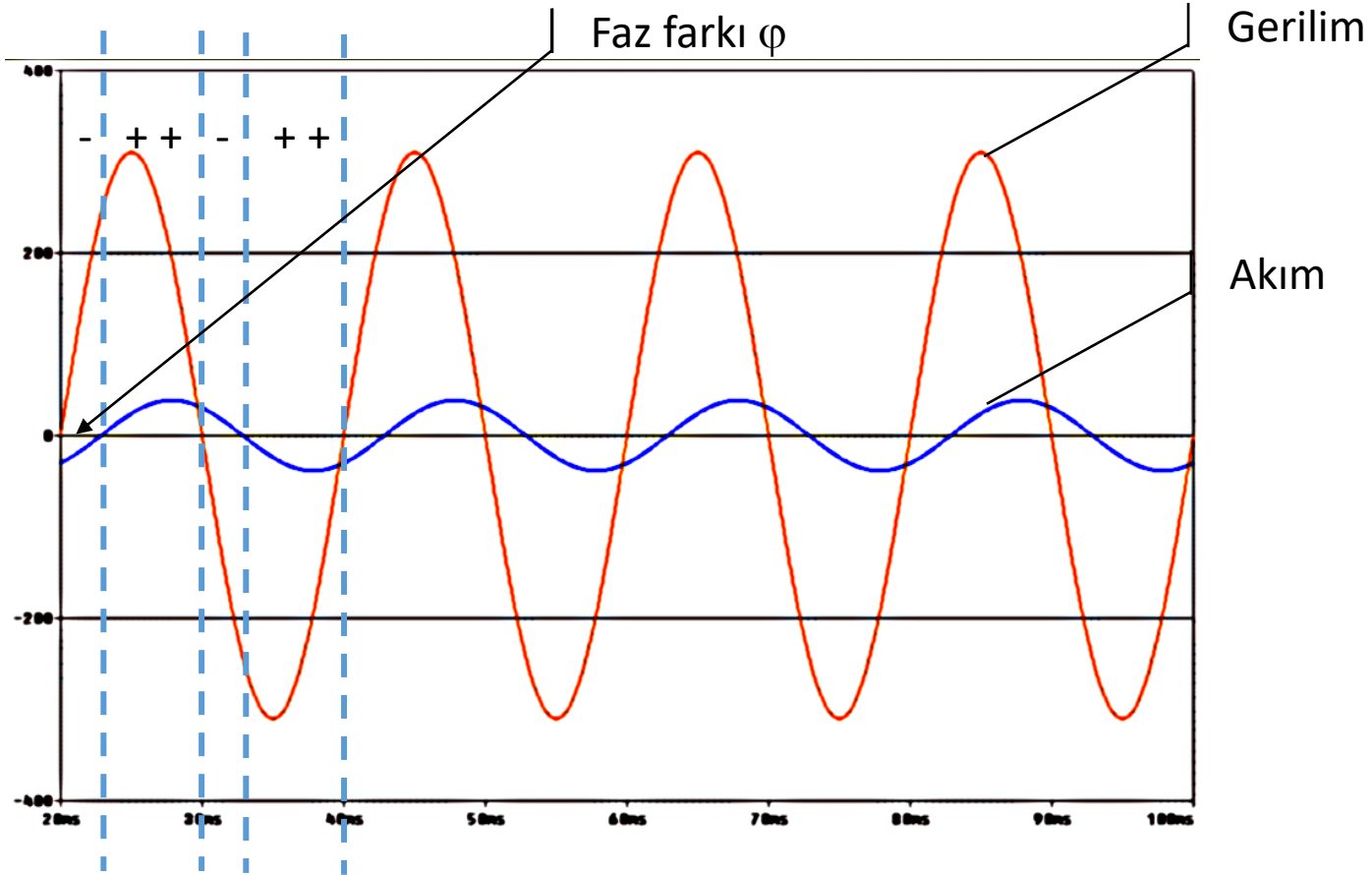


Elektrik Motoru

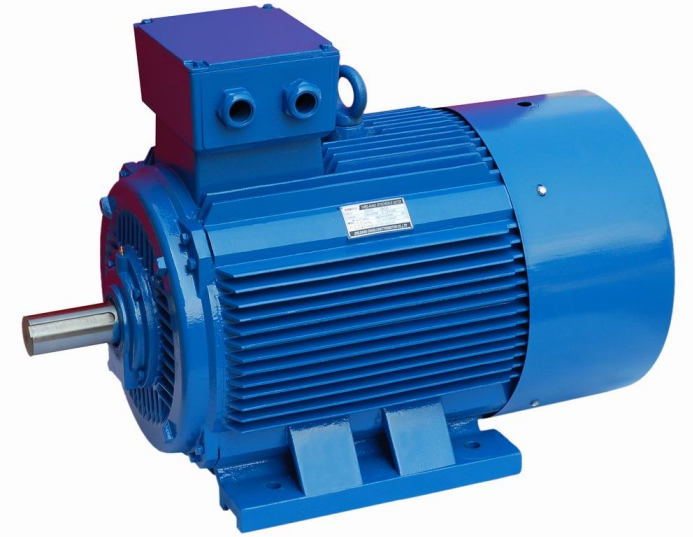


- Günümüz endüstrisinde en yaygın olarak kullanılan elektrikli cihaz, elektrik motorudur.
- Elektrik enerjisini fiziksel enerjiye çevirmenin ekonomik yoludur.
- Elektromanyetik çevrim esnasında akım ve gerilim arasında **faz farkı** oluşur

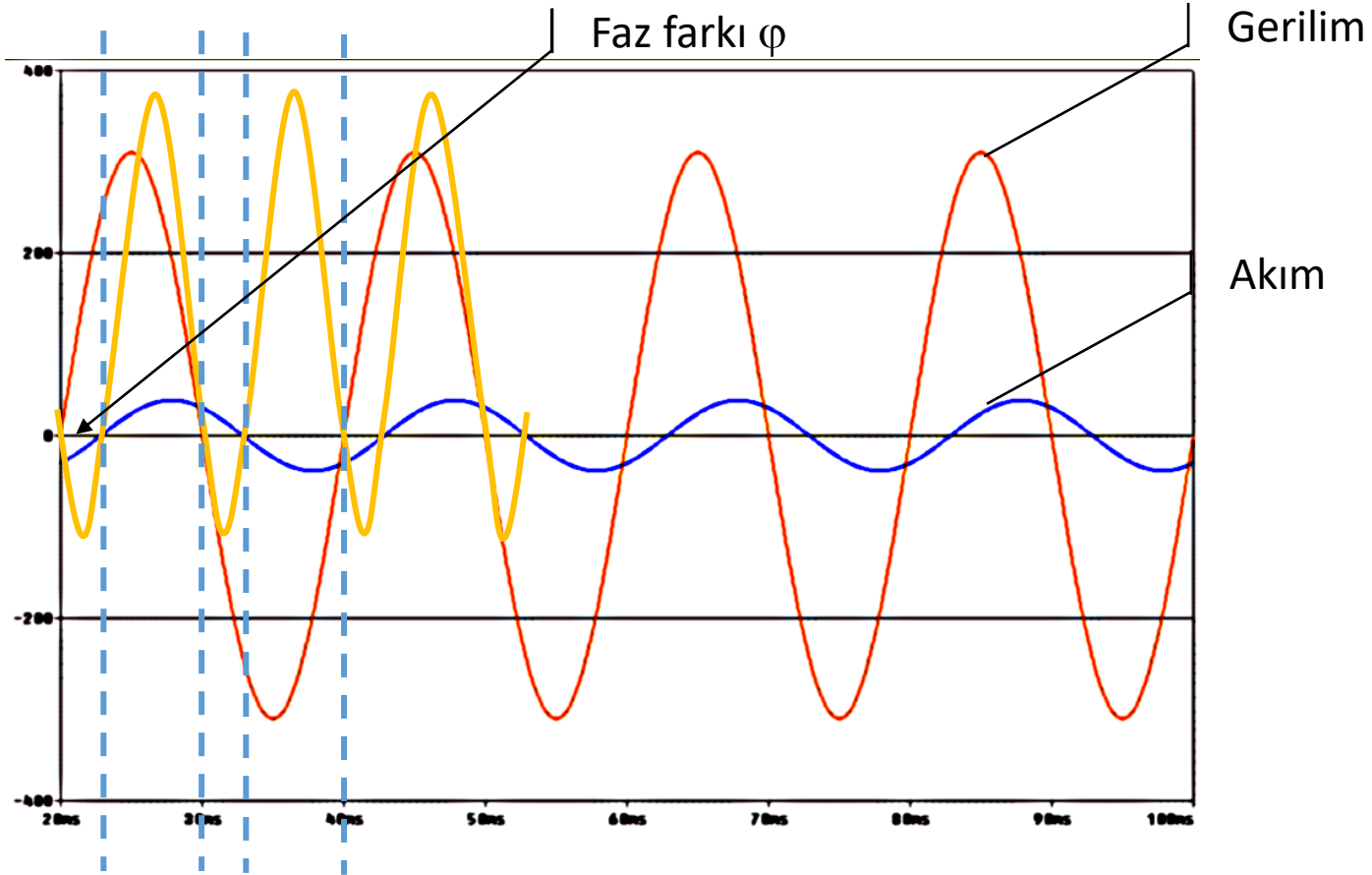
Elektrik Motoru



- 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



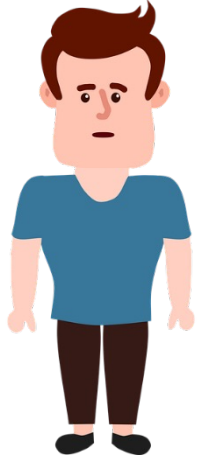
100kVA çekilen

20kVA verilen

120kVA işlem hacmi??



Para Transferi vs. Enerji Transferi



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

El deđiřtiren
miktar

işlem fazlası

işlem Hacmi



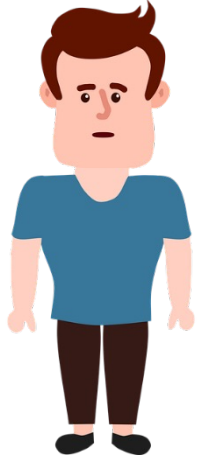
Aktif Güç

Reaktif Güç

Görünür Güç



Para Transferi vs. Enerji Transferi



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

El deđiřtiren
miktar

işlem fazlası

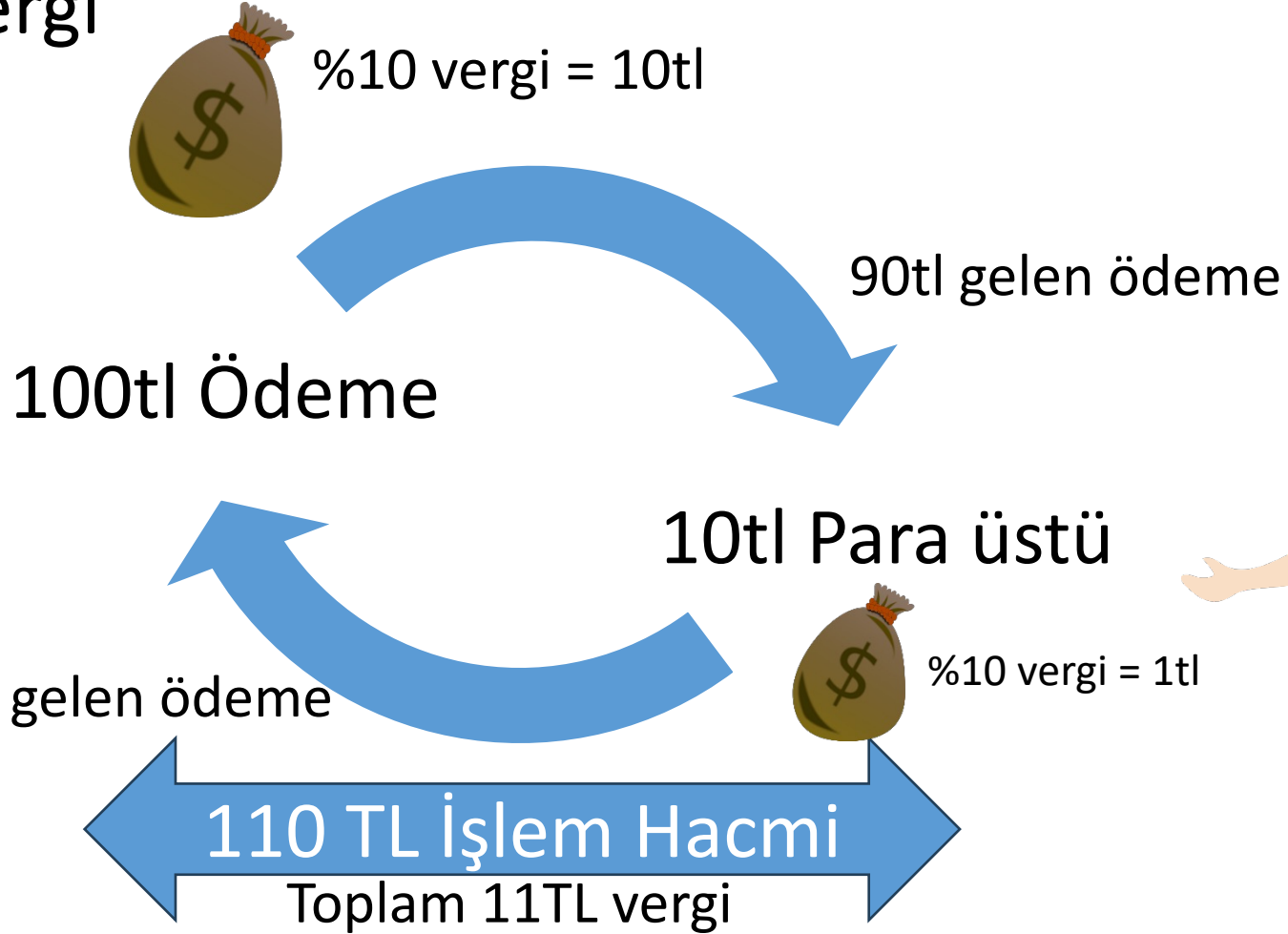
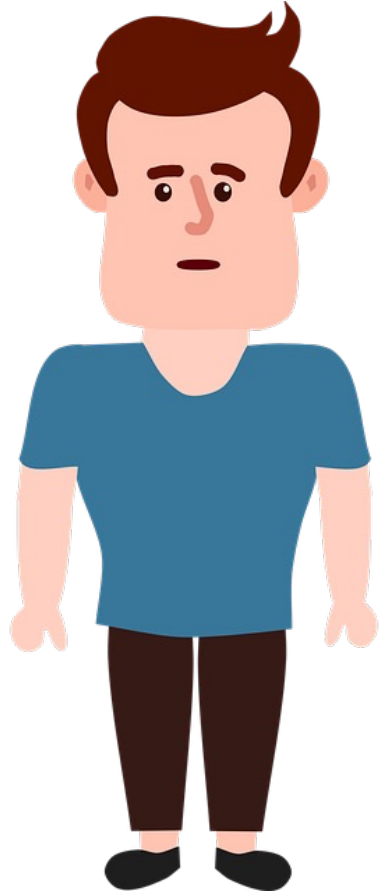
işlem Hacmi



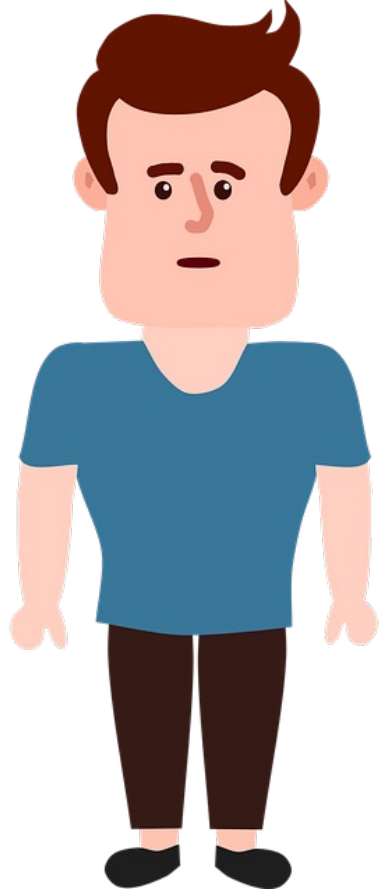
$$\text{Aktif Gc}^2 + \text{Reaktif Gc}^2 = \text{Görünür Gc}^2$$



Para Transferi + Vergi



Para Transferi + Vergi



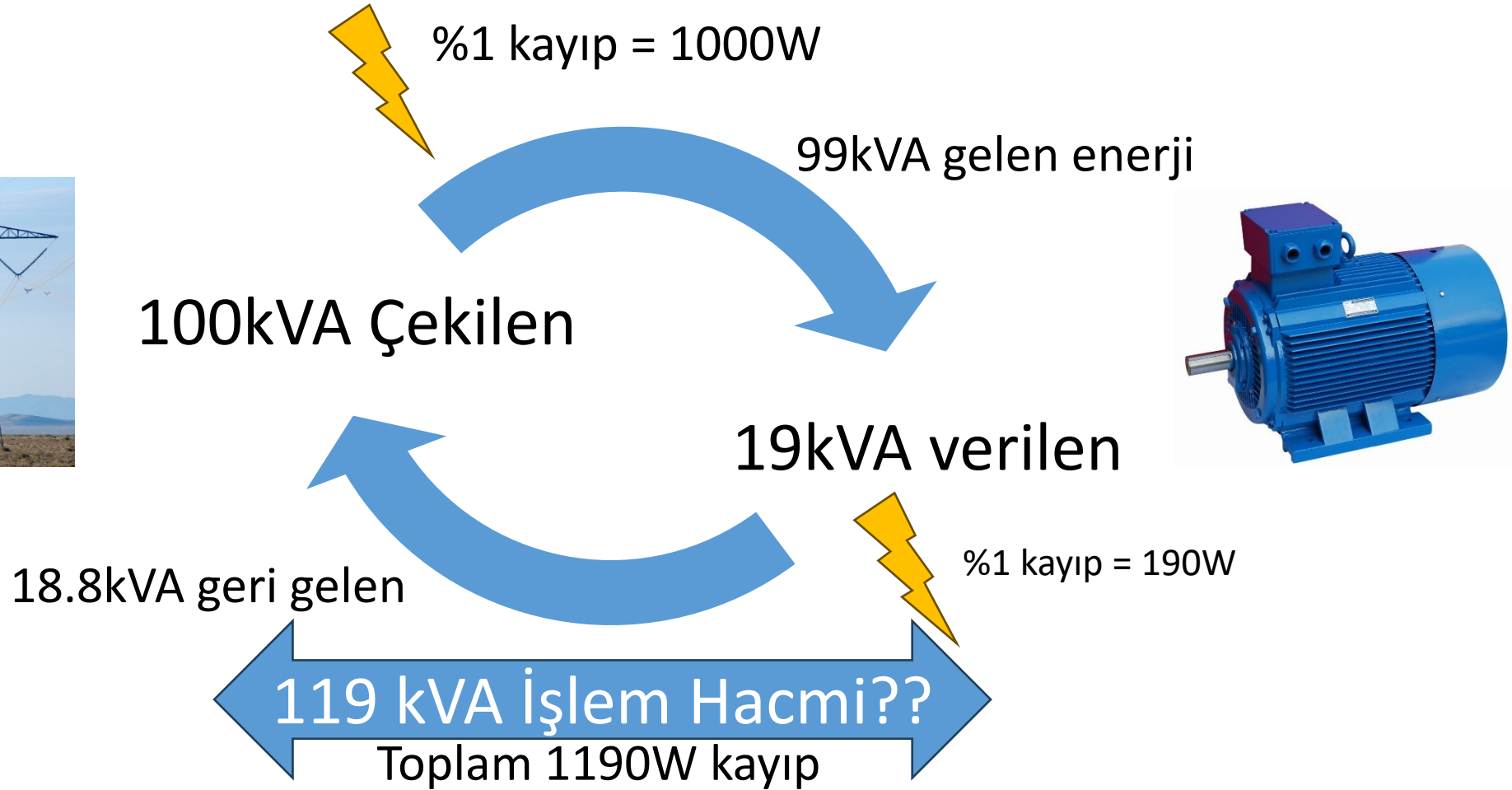
88.8tl ödeme

%10 vergi = 8.88tl

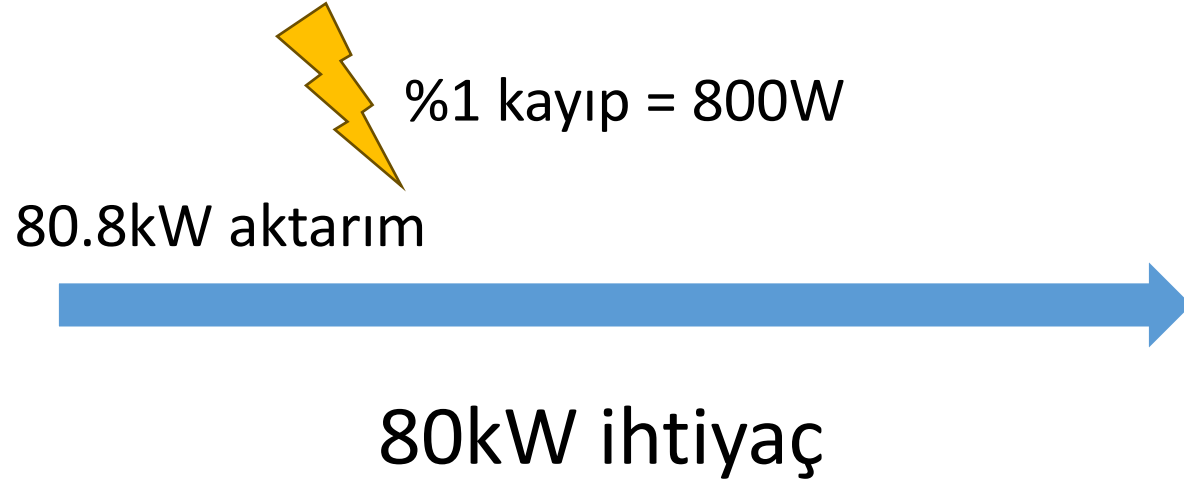


80tl Borç

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

Enerji Transferi +
Kayıp

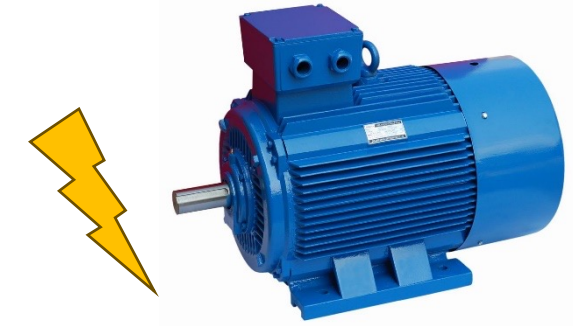
Enerji Transferi + Kayıp



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.



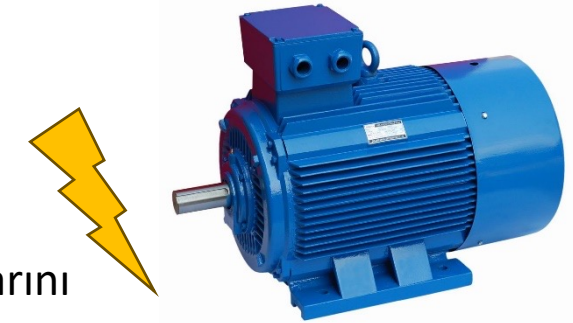
Yasal Mevzuat

- 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

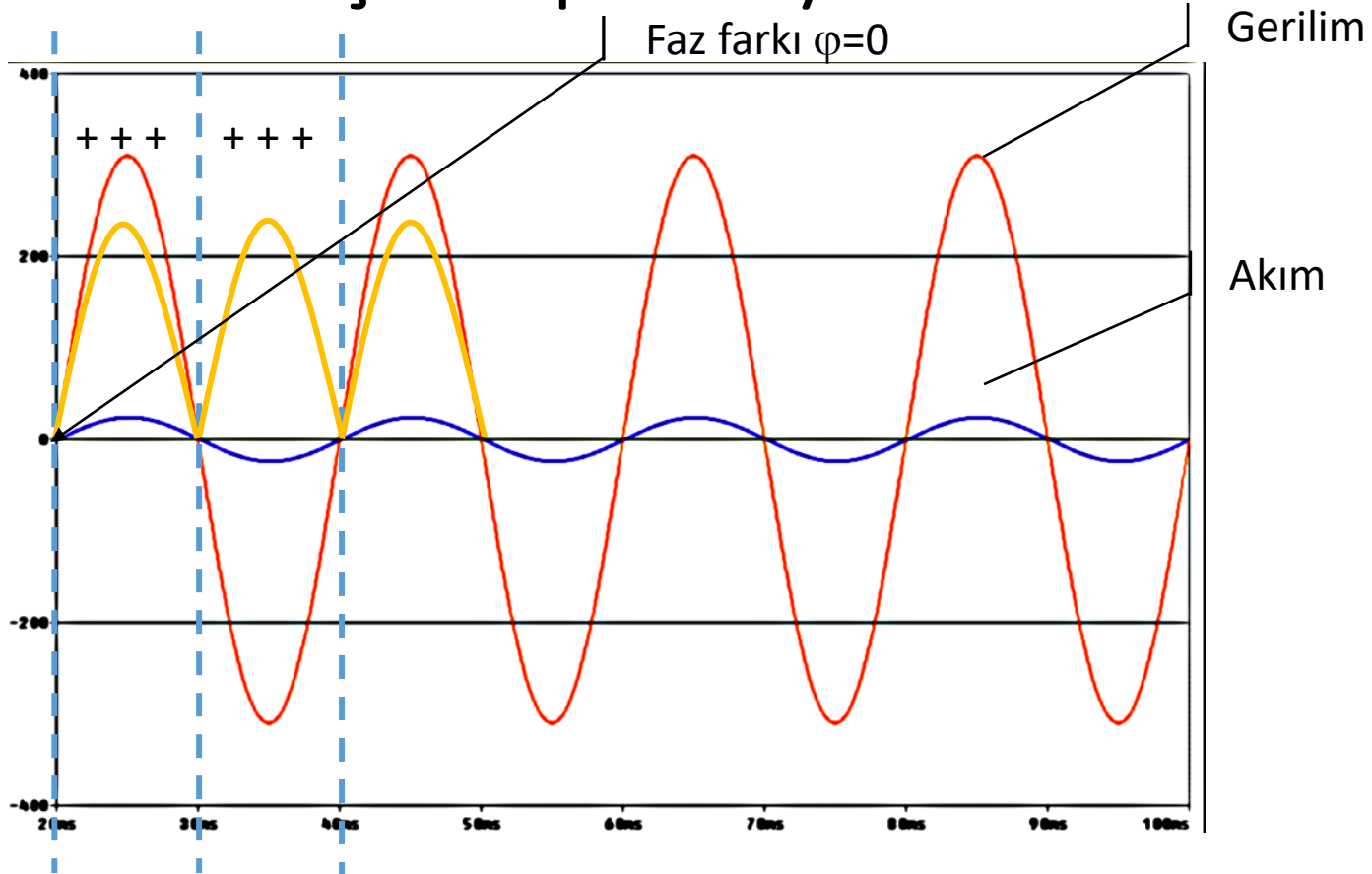
<i>EPDK Ceza Sınırları</i>	<i>Reaktif/Aktif güç oranı</i>
Endüktif	%20
Kapasitif	%15

- Kullanıcılar bu sınırlara uymadıkları durumda, harcamış oldukları reaktif enerji miktarını **yüksek tarifeden ödeme cezasına çarptırılırlar.**

- Bu sebeple 50kVA'nın üzerindeki tüm kullanıcılar **REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYON SİSTEMİ** kurmak **zorundadır.**



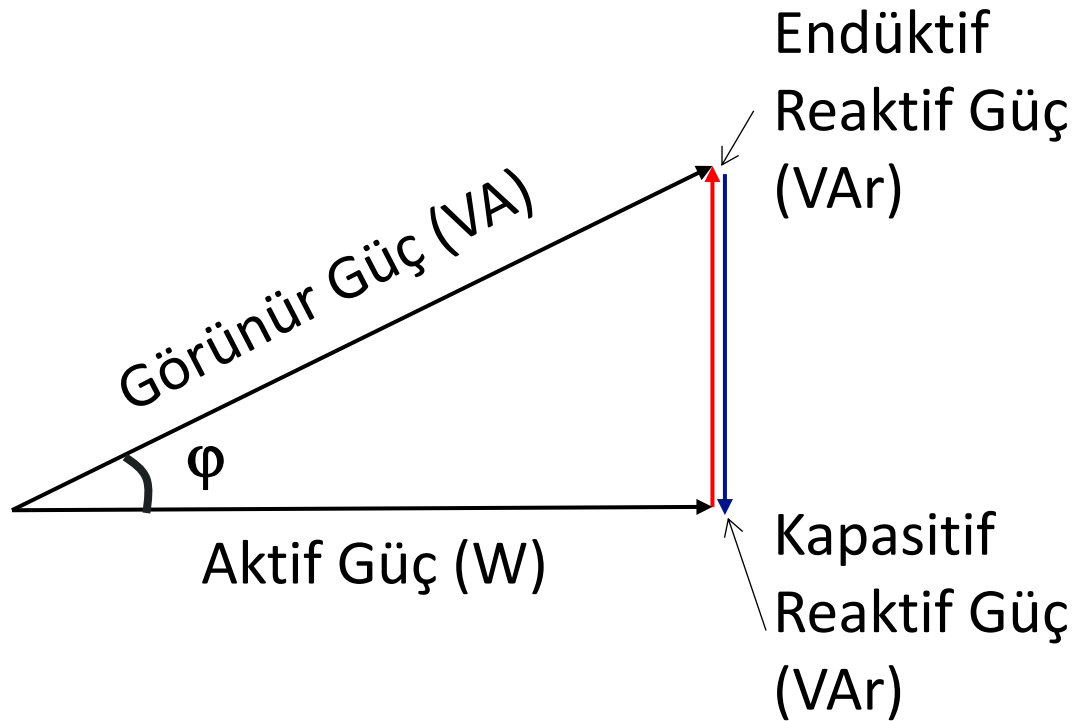
Reaktif Güç Kompanzasyonu



- 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

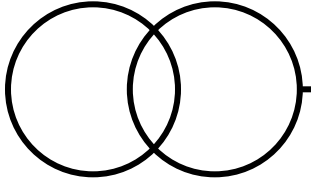


- Sistem genelindeki akımı, gerilim ile aynı faza getirmek için, sisteme motorların (endüktif yüklerin) reaktif güç ihtiyacı miktarında kondansatör (kapasitif yük) eklenmesi gerekmektedir.
- Bu durumda, birbirine vektörel olarak tem ters açıda olan **Endüktif Reaktif Güç** ve **Kapasitif Reaktif Güç** birbirlerini götürcek ve sistemin **Aktif Güç'ü Görünür Güç'üne** eşit olacaktır.



Reaktif Güç Kompanzasyonu

Transformatör

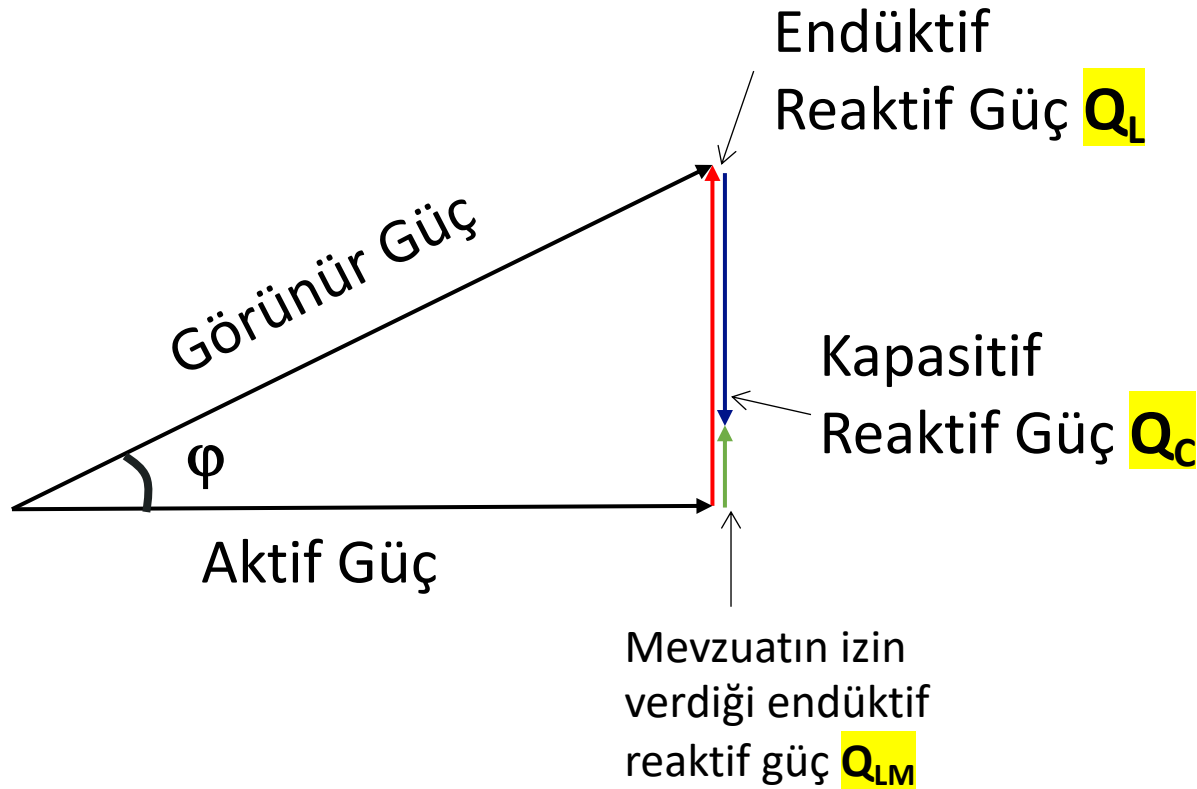


Sabit Endüktif Yük Q_L



Sabit Kapasitif Yük Q_C

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 **$\cos(\varphi)$** olarak da tanımlayabiliyoruz.

- Buna göre toplam endüktif reaktif gücümüz için

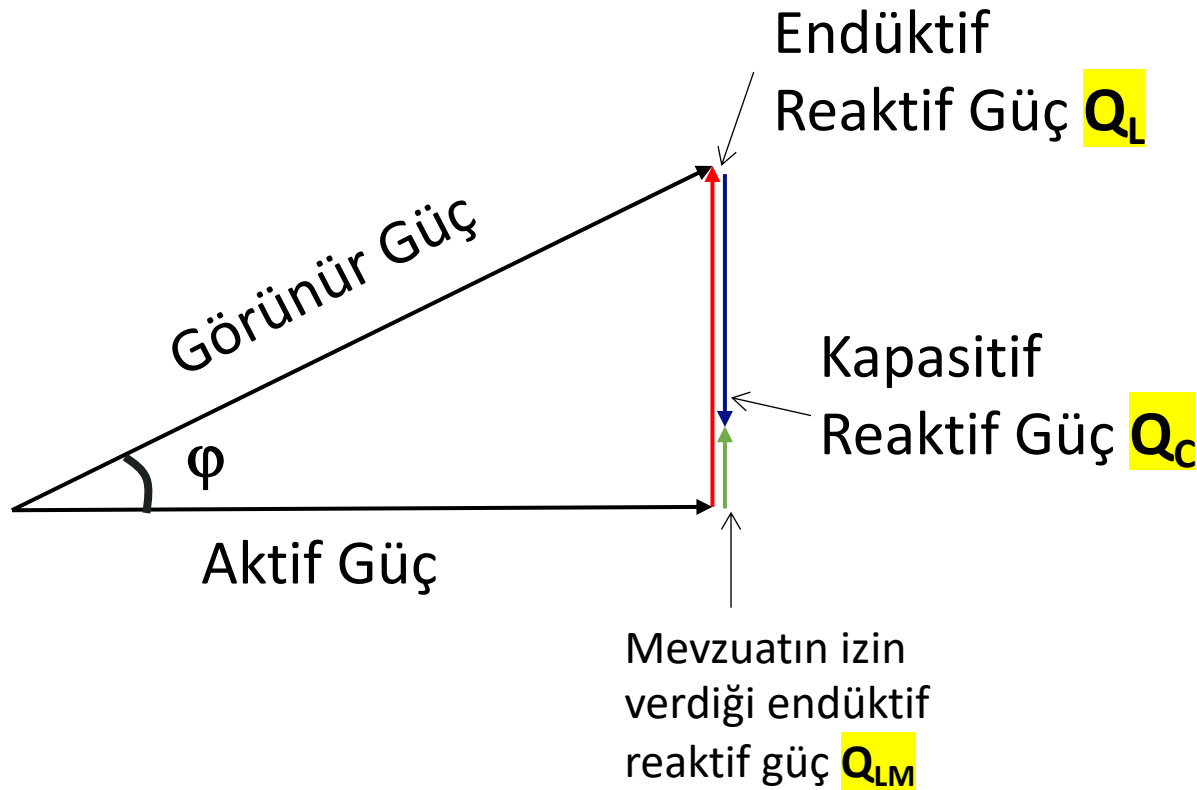
$$Q_L = S \cdot \sin(\varphi) = S \cdot \sqrt{(1 - \cos(\varphi)^2)}$$

- 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:

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

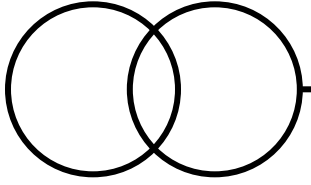
- Dolayısıyla:

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

- 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 ölçölüp, 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

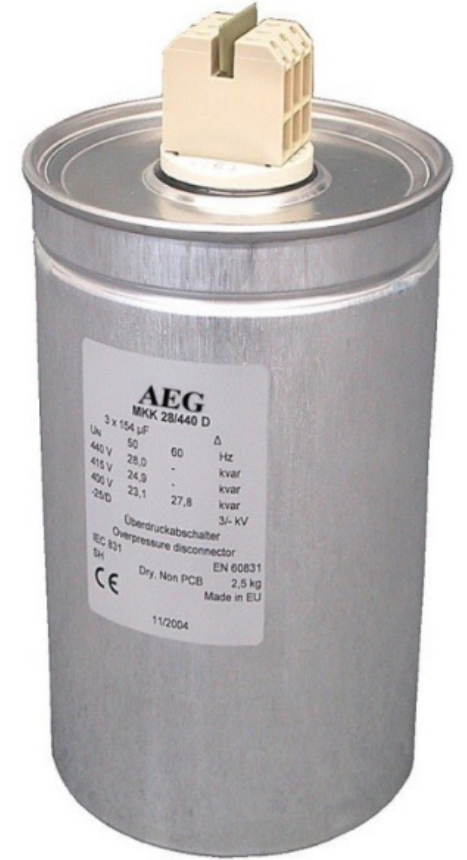
- Kondansatörlerin empedans formülü şu şekildedir.

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

- 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.

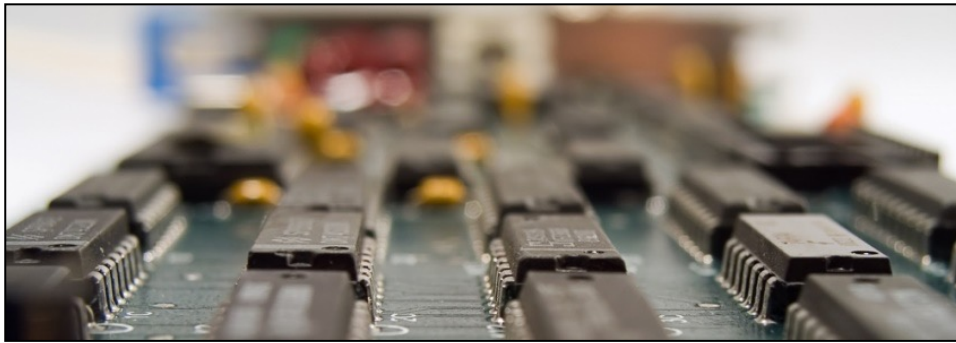
$$I_C = \frac{V_C}{X_C} = V_C \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$$

- 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 bozulmaları da mevcut.
- Bu bozulmalara verilen genel isim ise: **Harmonikler**



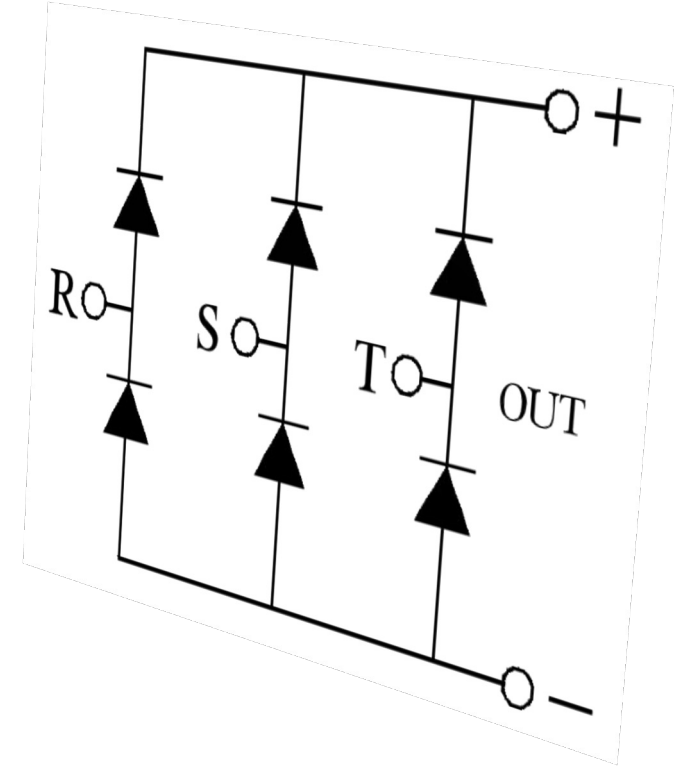
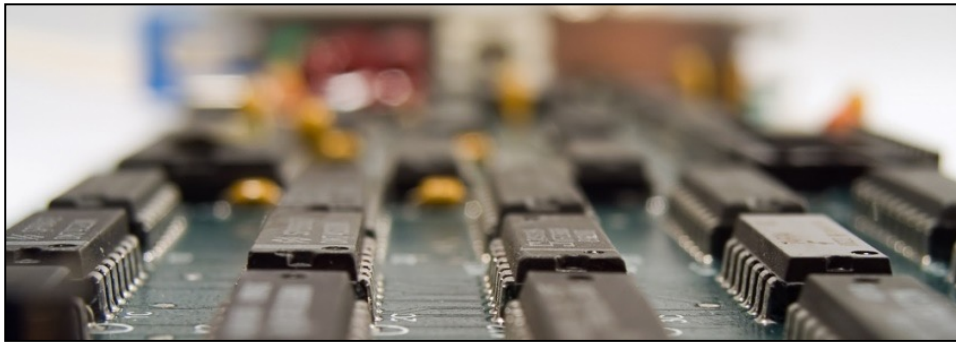
Harmonik Nedir?

- 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.



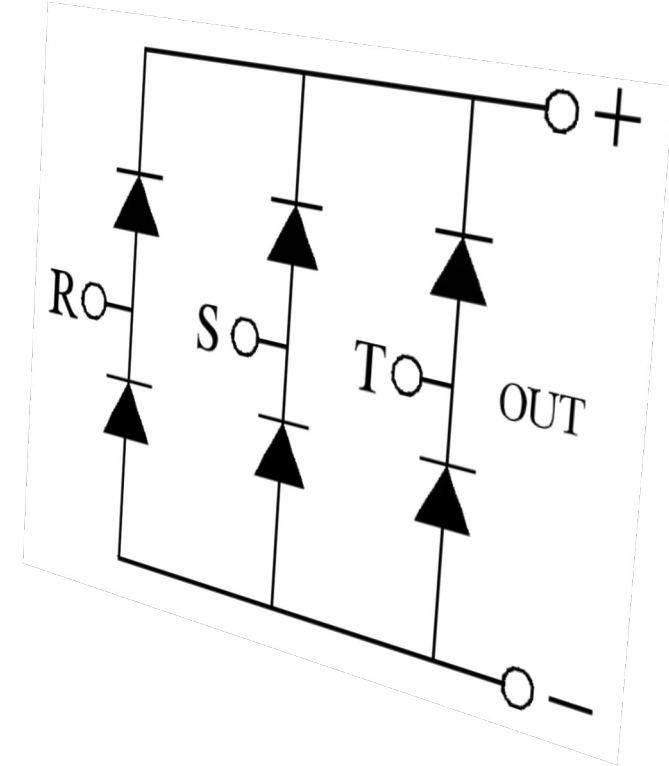
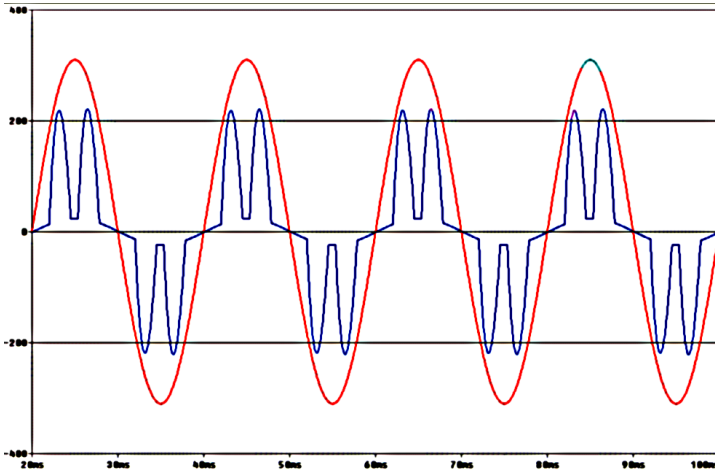
Harmonik Nedir?

- 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.

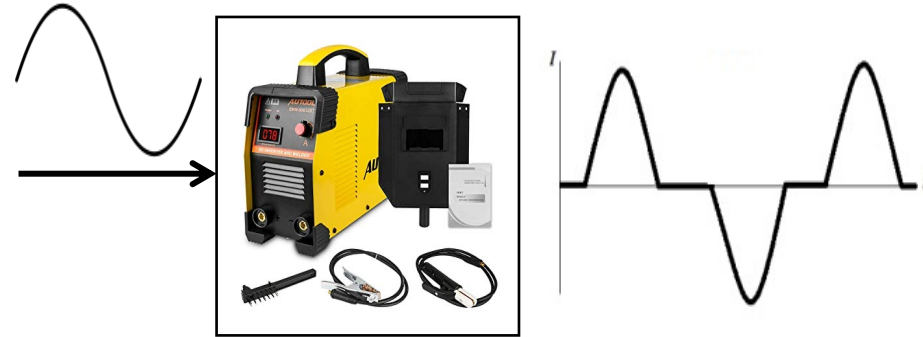
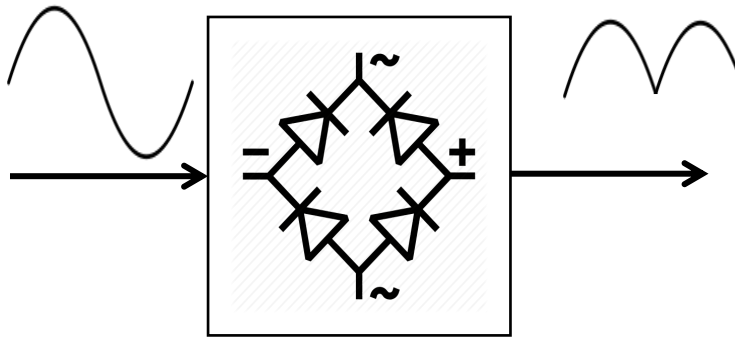
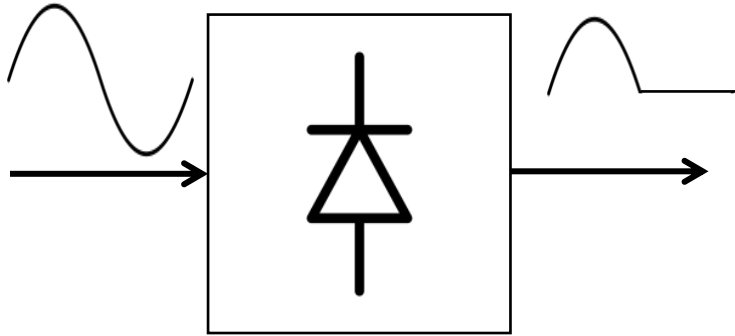


Harmonik Nedir?

- 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

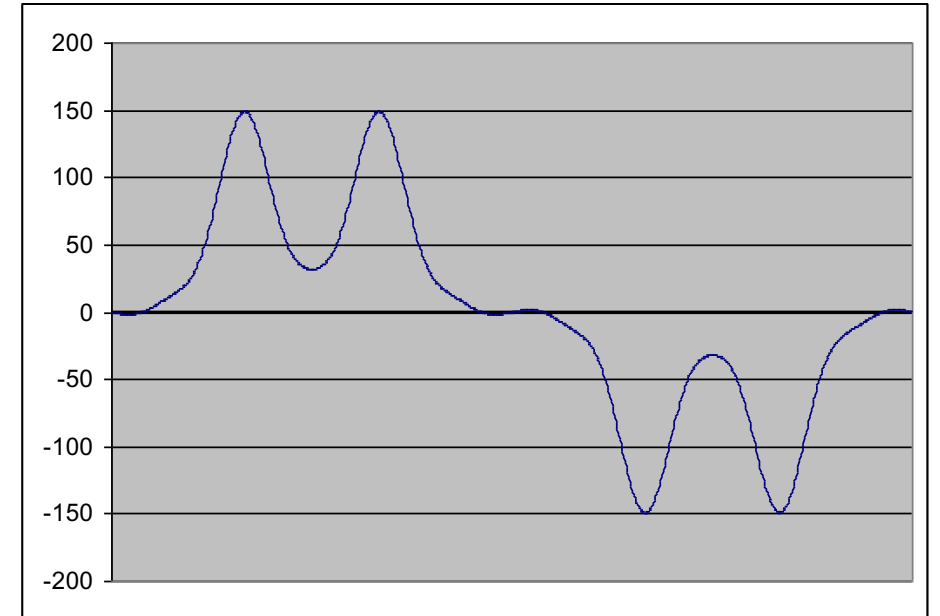


Harmonik üreten Yükler



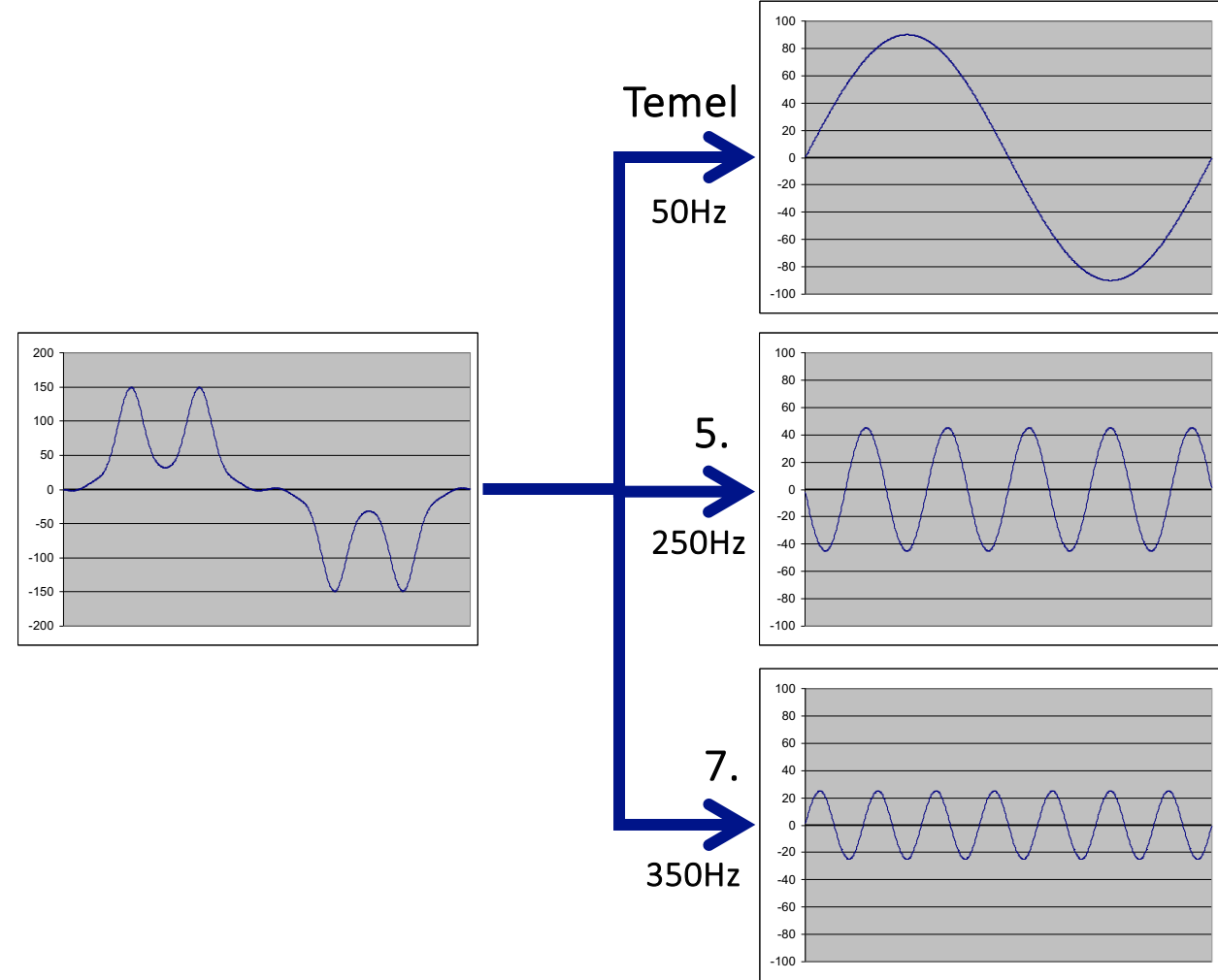
Harmoniklere Detaylı Bir Bakış

- 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



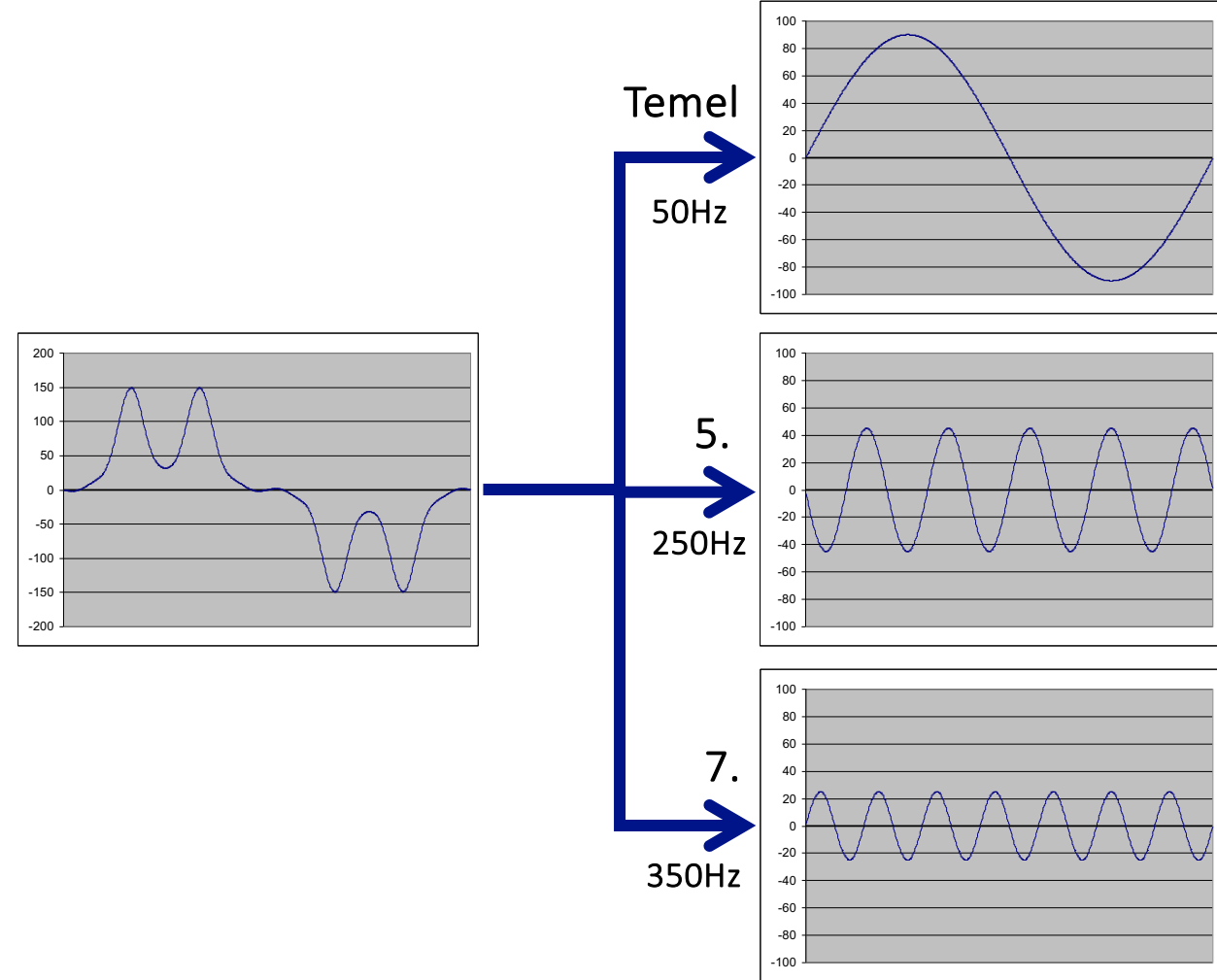
Harmoniklere Detaylı Bir Bakış

- 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.



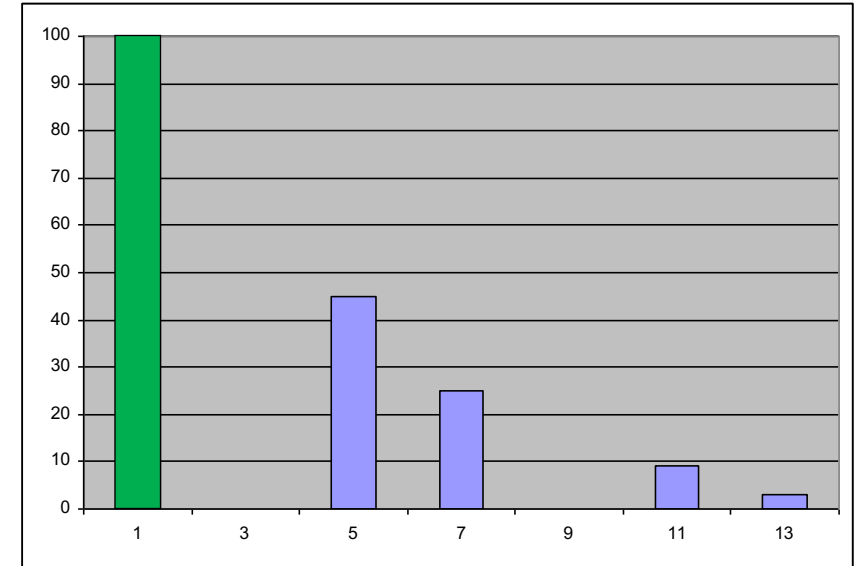
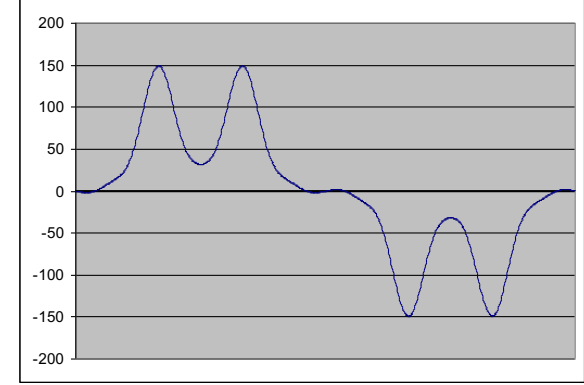
Harmoniklere Detaylı Bir Bakış

- 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.



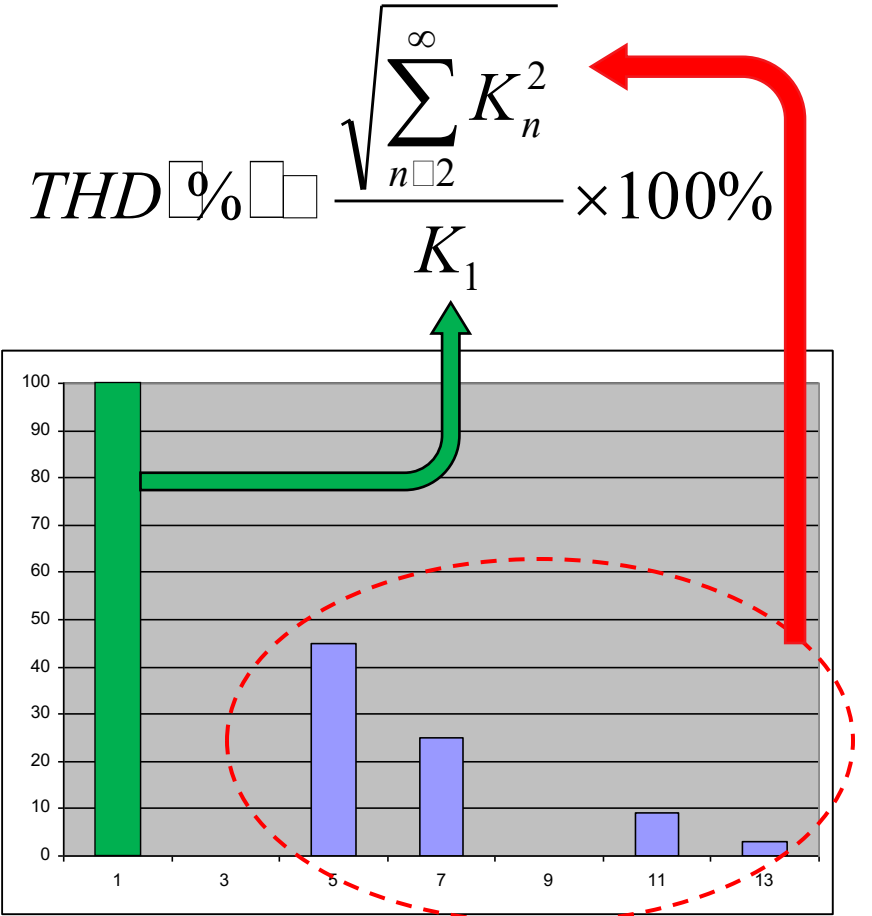
Harmoniklere Detaylı Bir Bakış

- 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 toplamalarının 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 ^a

^aHigh-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 değerlerin bir ORAN olduğu unutulmamalıdır.
- Aynı fabrika içerisinde 1000A %15 THDI, 5A %70 THDI'dan çok daha tehlikelidir.

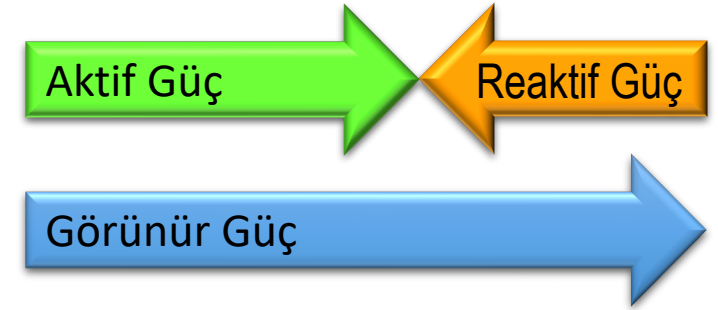
$$THD [\%] = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} K_n^2}}{K_1} \times 100\%$$

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) ^{a, b}						
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

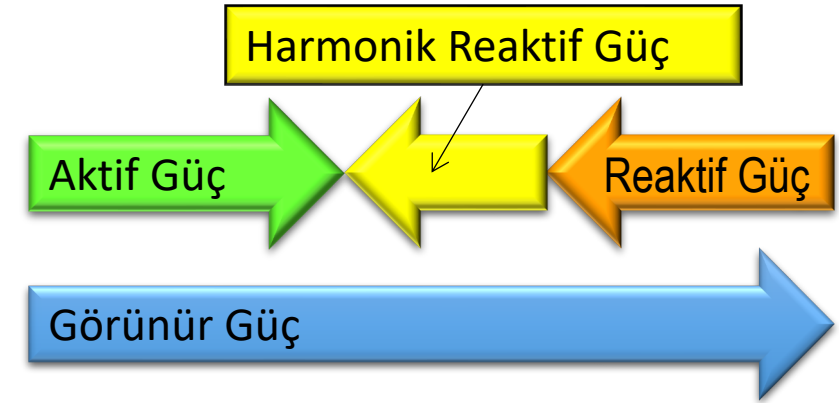
- **Reaktif enerji** en basit tabirle enerji alışverişi esnasında oluşan para üstüdür.
- Endüstride kullanılan yüklerin büyük çoğunluğu bu alışverişi her saniye defalarca tekrarlar
- Örneğin bir elektrik motoru her bir dönüşünde şebekeden belirli bir miktarda enerji çekip, bunun bir kısmını şebekeye 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 $\cos \phi$ değerleri yeni tanımda birbirlerine eşit değildir.
- Güç faktörü hala aktif gücün reaktif güce oranı şeklinde tanımlanmaktadır
- $\cos \phi$ değeri artık sadece faz kaymasını göstermektedir. Yeni adı ***dpf*** dir.
- ***Dpf*** 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

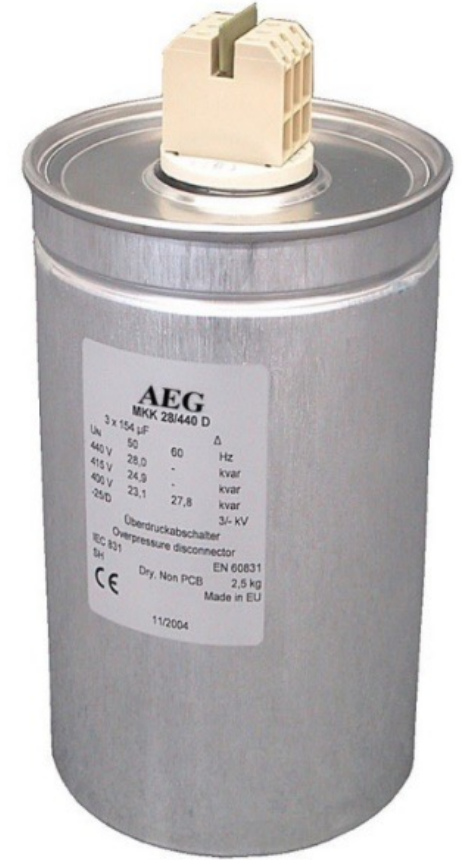
Kondansatörlerin aşırı ısınması	Dielektrik malzemeye zarar vererek kondansatör ömrünün kısalması
Kablolarda, baralarda ve trafolarda aşırı ısınma	Kayıpların ve ısı sebepli hataların artması
Normal çalışma durumunda atan sigortalar ve koruma cihazları	İşgücünün, zamanın ve sigortanın kaybı
Elektromanyetik 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.

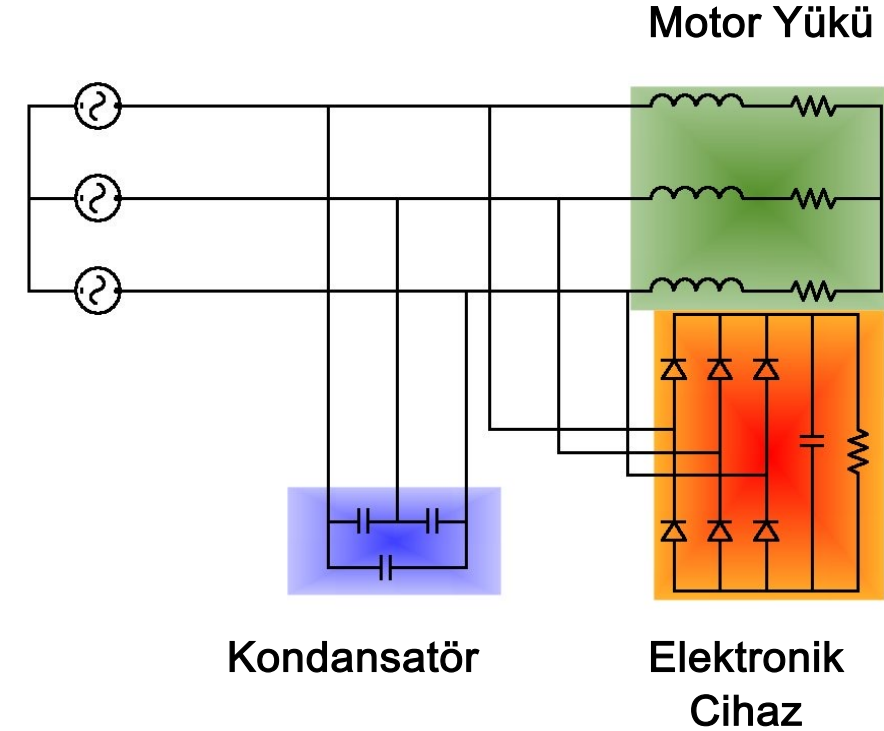
$$I_C = \frac{V_C}{X_C} = V_C \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C$$

- 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 bozulmaları da mevcut.
- Bu bozulmalara verilen genel isim ise: **Harmonikler**



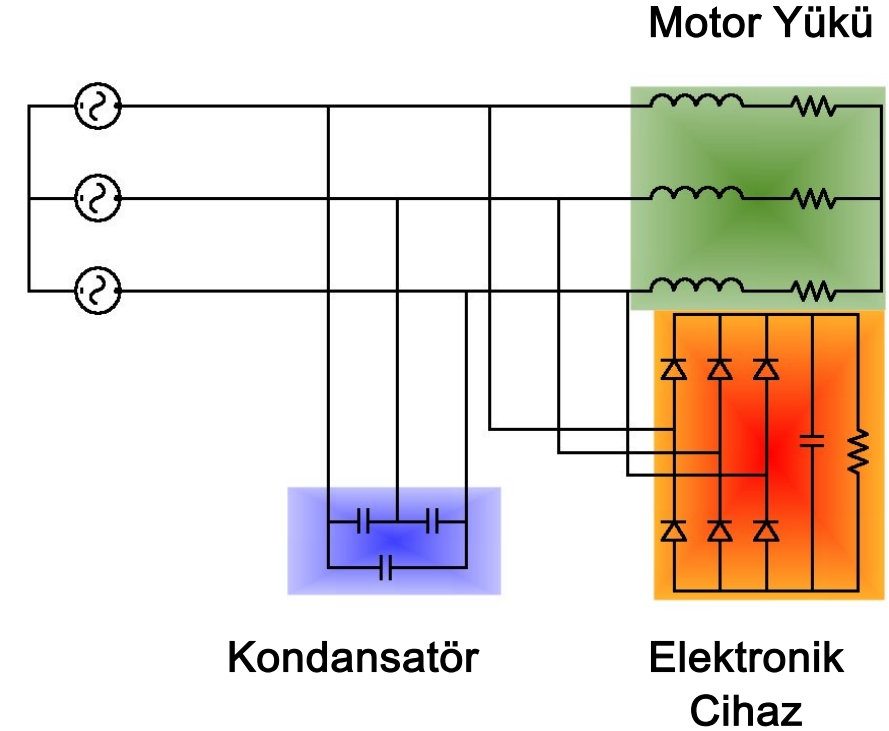
Kompanzasyon Sistemleri ve Harmonikler

- 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 yüklenmeye** yol açar.



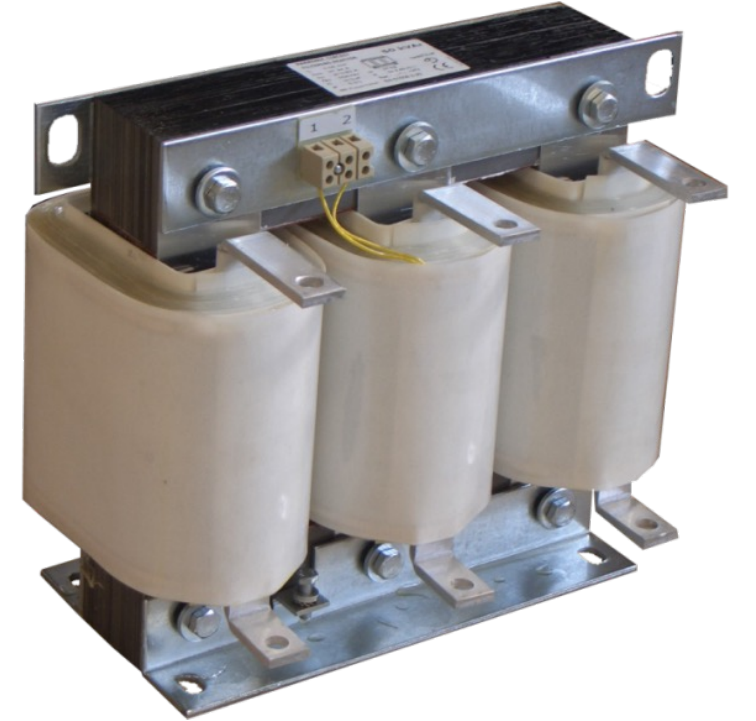
Kompanzasyon Sistemleri ve Harmonikler

- 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



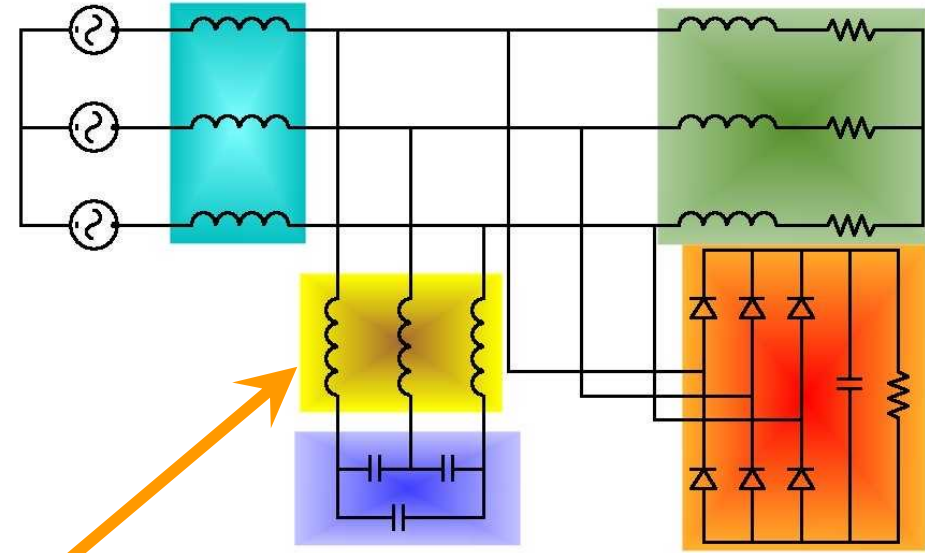
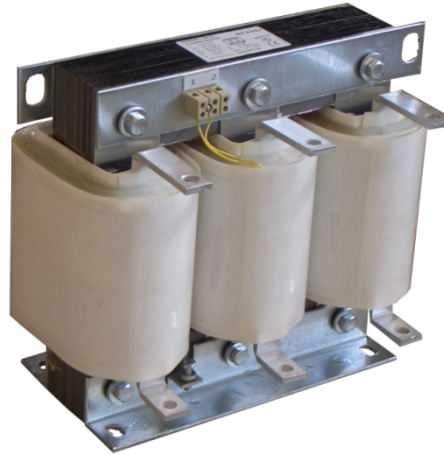
***HARMONİKLERDEN
ETKİLENEBİLİRSİNİZ***

Harmonik Filtre Reaktörü



Kompanzasyon Sistemleri ve Harmonikler

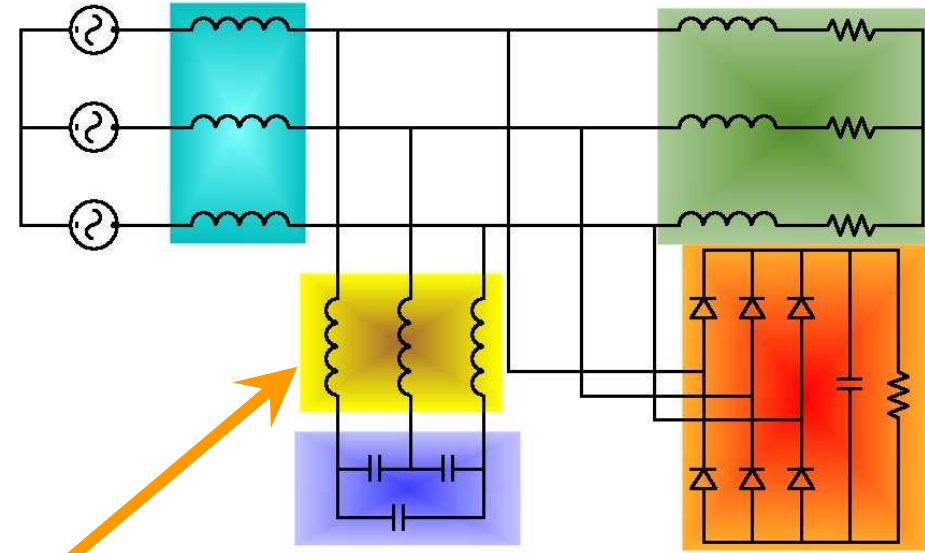
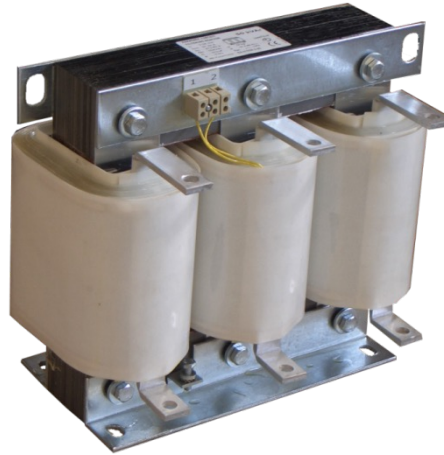
- Bu sorunların çoğu, kondansatörlerin önüne yerleştirilecek bir **harmonik filtre reaktörü** ile giderilebilir.
- Kondansatörlere seri bir şekilde yerleştirilen bu reaktörler sayesinde **yüksek frekans** değerleri için **yüksek empedans** elde edilir.



Kompanzasyon Sistemleri ve Harmonikler

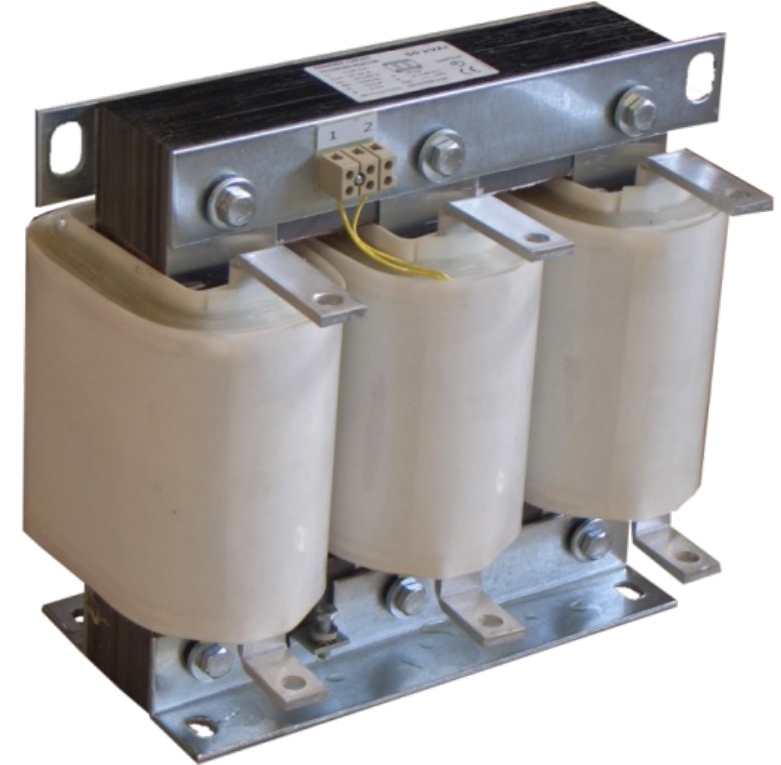
- Bu yüksek empedans değeri sayesinde şebeke tarafındaki bozulmaların kondansatörler üzerindeki **zararlı etkisi azaltılmış** olur.
- Harmonik filtre reaktörü içeren reaktif güç kompanzasyonu sistemlerine verdiğimiz isim:

Filtreli Reaktif Güç Kompanzasyonu Sistemi



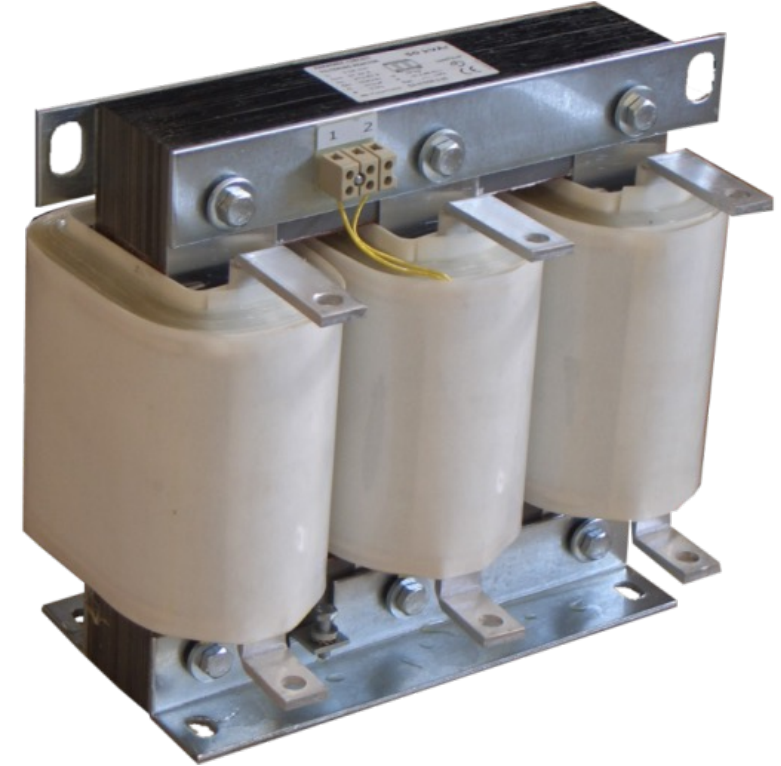
Harmonik Filtre Reaktörü Seçimi

- 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

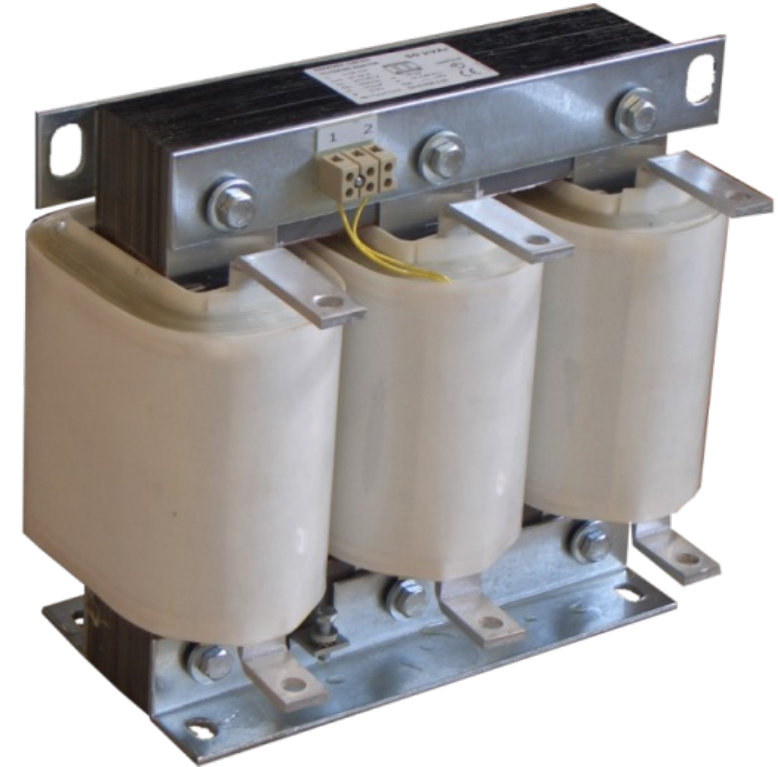
- Filtre seçimi esnasında uygun filtreleme faktörüne karar verebilmek için sistemin THDV ve THDI değerlerine bakmak gerekir.
- En yaygın olarak kullanılan filtreleme değerleri:
 - 5.67% (210 Hz)
 - 7% (189 Hz)
 - 14% (134 Hz)



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%

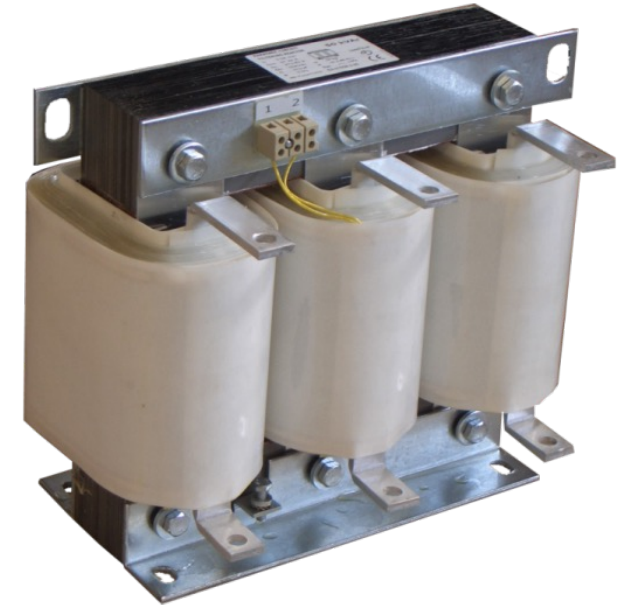


Harmonik Filtre Reaktörü Seçimi

- 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**:

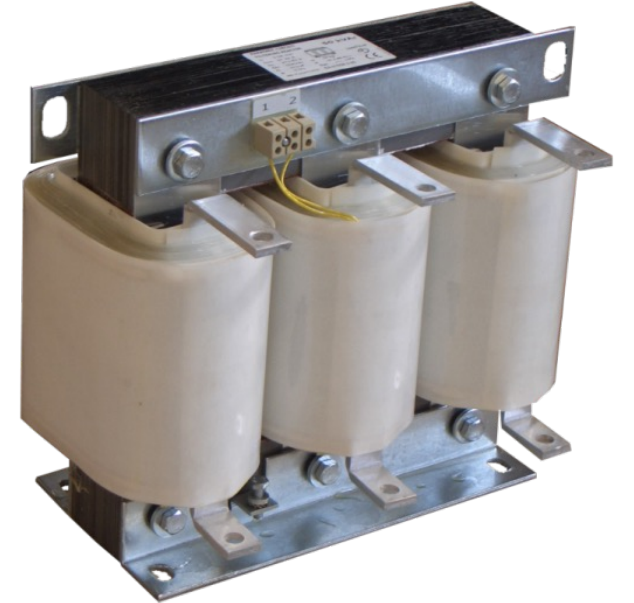
$$Q_c = Q_{net} \cdot \frac{V_c^2}{V_n^2} \cdot (1 - p)$$

Olarak hesaplanır



Harmonik Filtre Reaktörü Seçimi

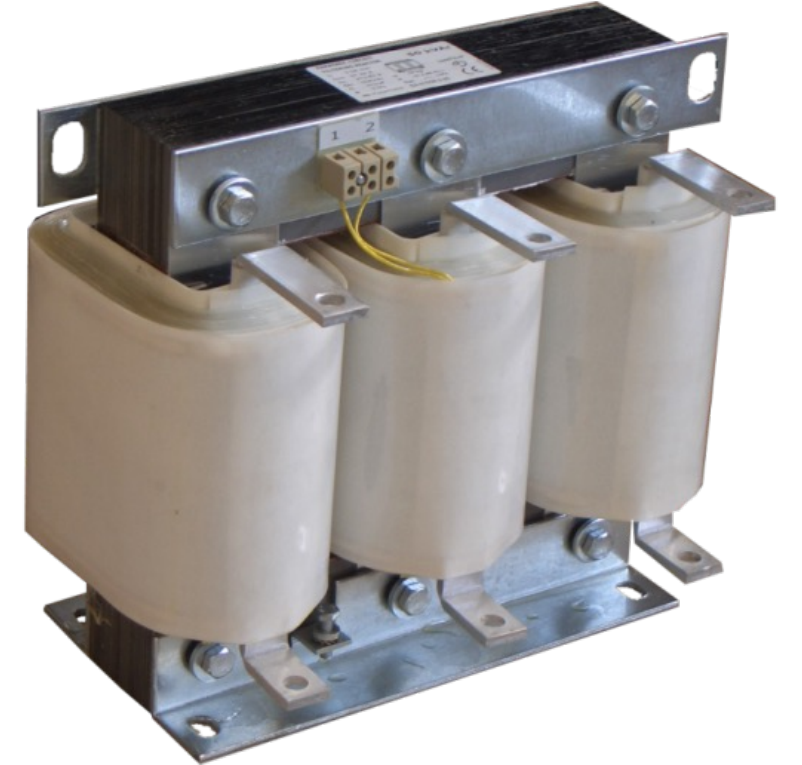
- Dikkat edilmesi gereken başka bir konu reaktörün dayanabileceği **gerilim distorsiyonu** seviyesidir
- **Standart tip** ürünler EN 61000-2-2 de belirtilmiş olan gerilim distorsiyon değerlerine göre tasarlanmaktadır.
- Yüksek gerilim distorsiyonu seviyeleri için **güçlendirilmiş tip** reaktör kullanılması 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.



Pasif Harmonik Filtre



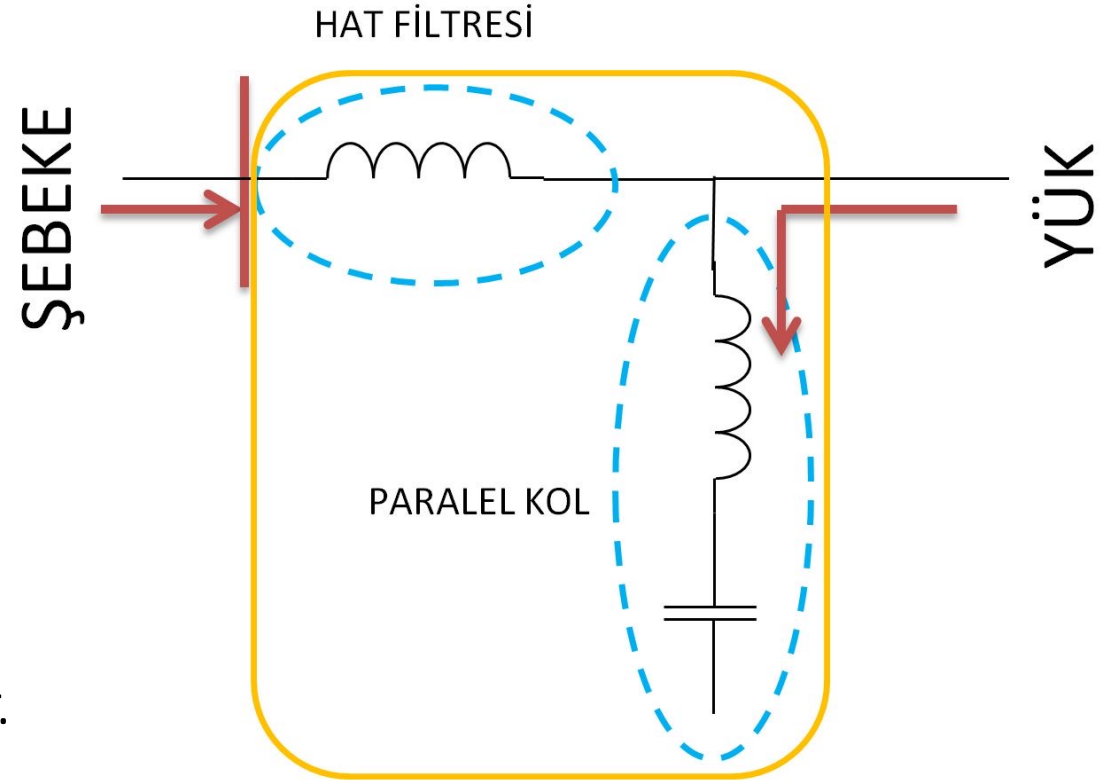
Pasif Harmonik Filtre Nedir?

- Pasif filtreler, kaynak ile alıcı arasına konulan ve temel frekans dışındaki bileşenleri yok etmek için tasarlanan kondansatör (C), endüktans (L) ve bazı durumlarda direnç (R) elemanlarından oluşan devrelerdir.
- Elektra Pasif harmonik filtreleri sisteminizi, harmoniklerin zararlı etkilerine karşı korumak üzere tasarlanmıştır. Ünite harmonik üreten yüklerin (motor, sürücüler, UPS'ler vs.) girişlerinde uygulanır ve harmoniği üretildiği noktada temizler.



Pasif Harmonik Filtre Hangi Parçalardan Oluşur?

- Pasif filtreler, kaynak ile alıcı arasına konulan ve filtrenin iki temel parçası mevcuttur. Hat Empedansı ve Filtre Bölümü.
- Hat empedansı 250 Hz'de yüksek bir empedans oluştururken, filtre bölümü 250 Hz'den düşük bir empedans oluşturur.
- Bu sayede cihazların üretmiş olduğu harmonikler filtre bölümüne yönlendirilip orada hapsedilir ve 5. harmoniğin sisteme akmasının önüne geçilmiş olur.



Pasif Harmonik Filtre Hangi Uygulamalarda Kullanılır?

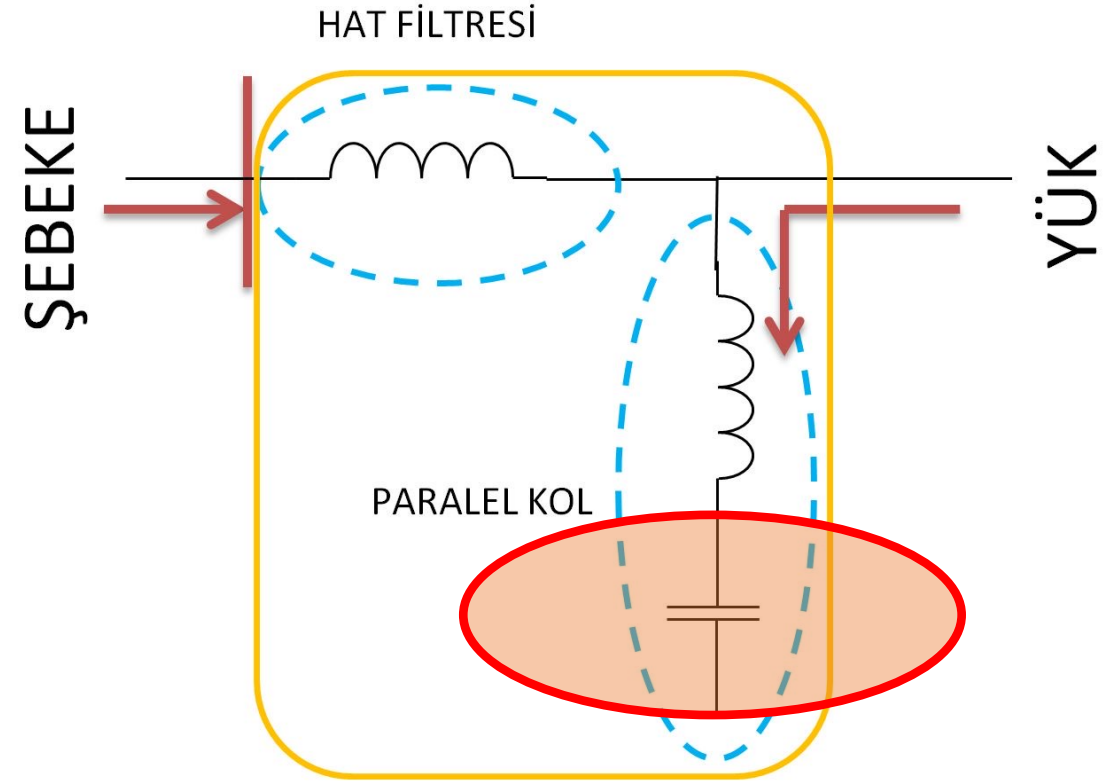
- Pasif filtreler harmonik üreten yüke mümkün olduğu kadar yakın yerleştirilmelidir.
- Yükün fazla değişmediği. Sabit çalışan cihazlarda kullanılmalıdır.
- Yapısı gereği büyük bir seri empedans içerdiğinden, gerilim açısından hassas cihazlar ile kullanılmamalıdır.
- Çıkış tarafı kapasitif olduğundan AFE tarzı şebekeye enerji basan cihazlar ile kullanılmamalıdır.



Pasif Harmonik Filtre Seçerken Nelere Dikkat Etmek Gerek?

1-Kapasitif Etki:

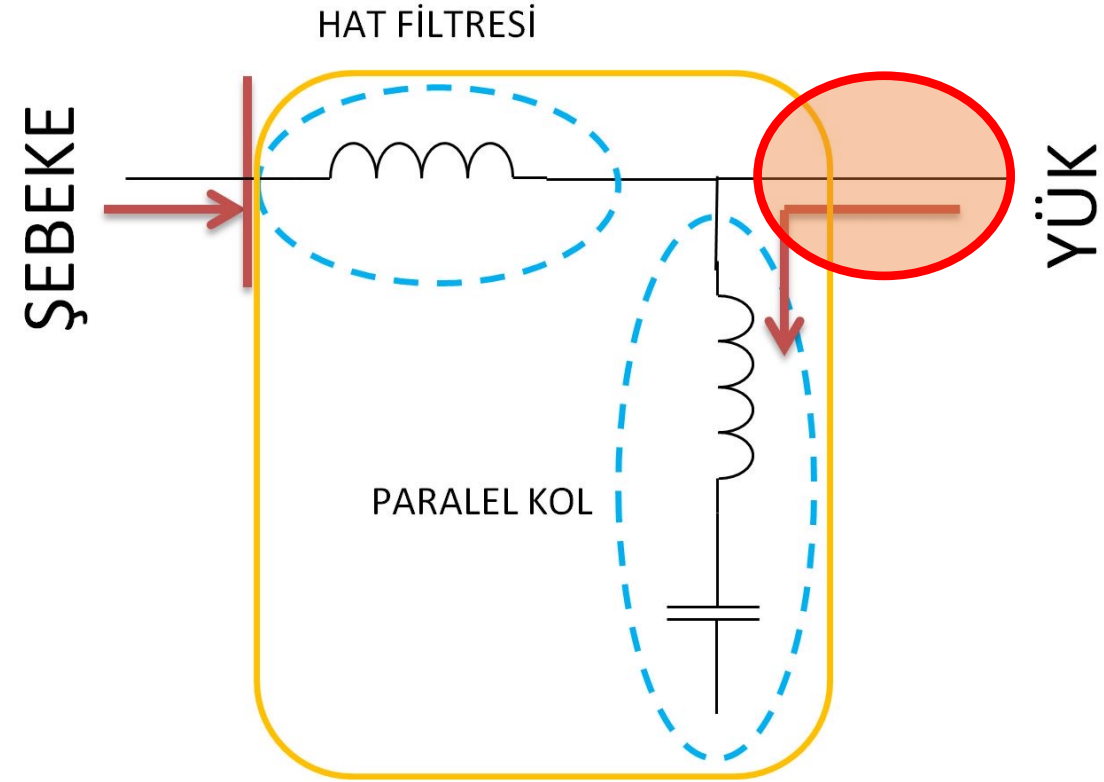
- Pasif filtreler, yapıları gereği kapasitif ürünlerdir.
- Tam yükte çalışırken bu durum kompanzasyon etkisi yapıp sisteme katkıda bulunur.
- Düşük güçlerde sistem kapasitif kalmakta ve boşta akım çekmektedir.
- Bunun önüne geçmek için pasif filtrelere ufak bir kontrol devresi yerleştirilir.
- Düşük güçlerde paralel kol devreden çıkarılır.



Pasif Harmonik Filtre Seçerken Nelere Dikkat Etmek Gerek?

2-Çıkış Gerilimi:

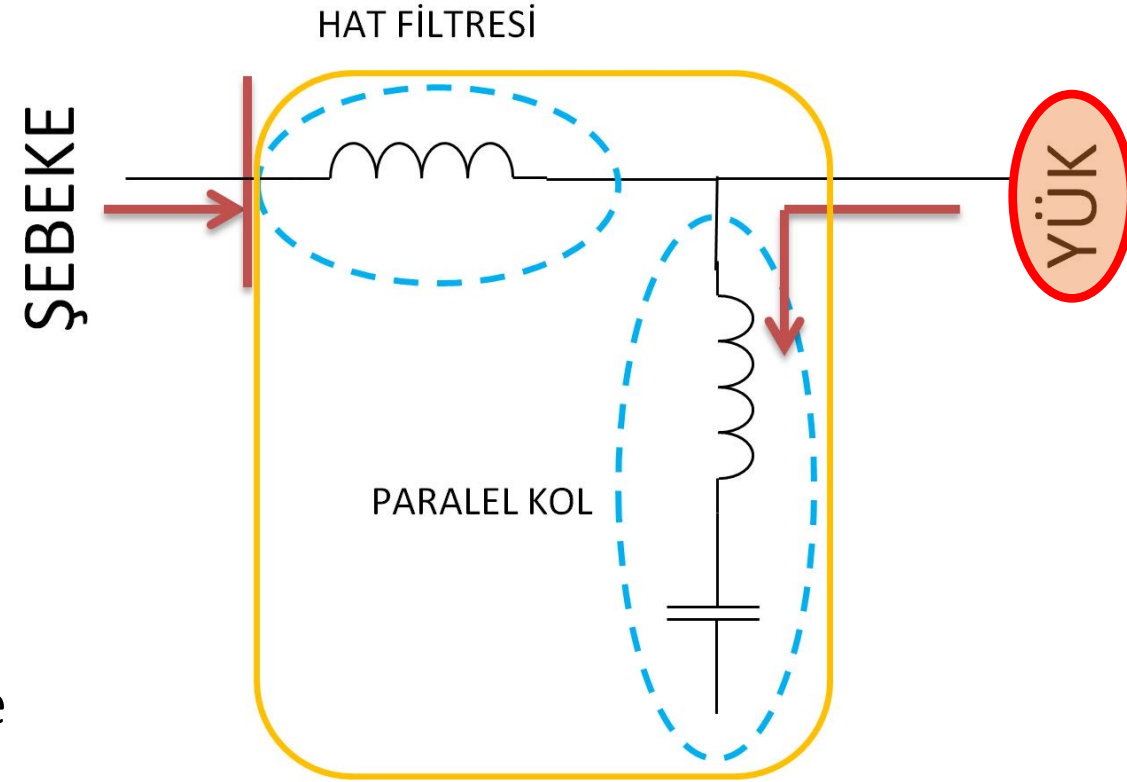
- Çıkıştaki kapasitif etkiden dolayı düşük güçlerde pasif filtrelerin çıkış gerilimi yükselmektedir.
- Yük arttıkça çıkış gerilimi düşer.
- Seri empedansın büyüklüğünden dolayı gerilim düşümü tam yükte artmaktadır.
- Uygulamanın bu tip gerilim değişikliklerine uygun olması gerekmektedir.



Pasif Harmonik Filtre Seçerken Nelere Dikkat Etmek Gerek?

3-Yük Akımı

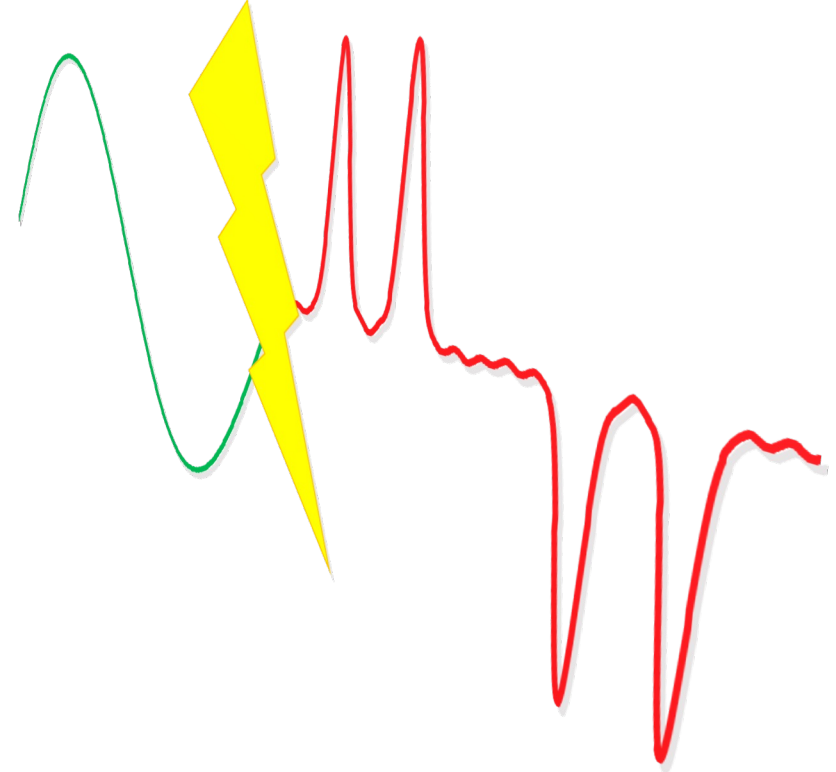
- Pasif filtre uygulandığı noktadan şebekeye doğru bir filtreleme sağlar.
- Yük akımının THD seviyesi üzerinde çok büyük bir etkisi olmayacaktır. Sadece seri empedans bu değeri etkiler.
- Filtre yük akımında tam yükte %33 THDI değerine göre tasarlanmıştır. Daha yüksek kirlilik seviyesinde aşırı yüklenme oluşabilir.



Pasif Harmonik Filtre Seçerken Nelere Dikkat Etmek Gerek?

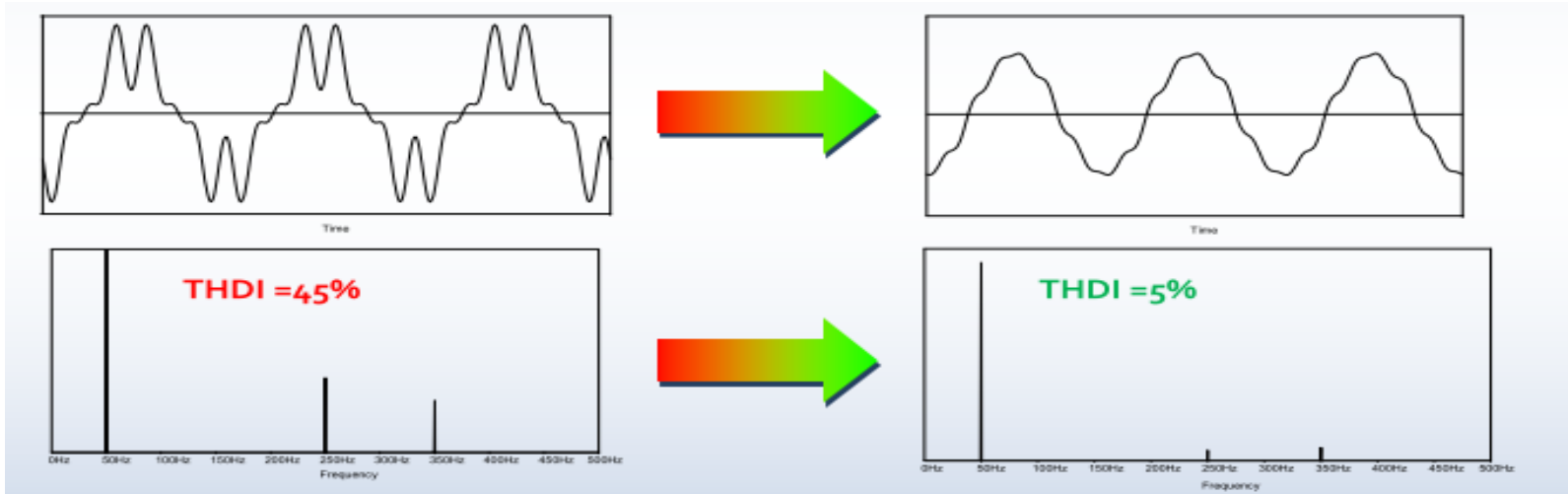
4-Yük Değişimi

- Pasif filtreler nominal yüklerinde çalışmak üzere tasarlanmışlardır.
- Düşük güçlerde filtreleme performansı da düşmektedir.
- Bu sebeple yükü sabit ve belirli yüklerde uygulandığı zaman çok iyi sonuç vermelerine rağmen, değişken yüklerde performansları yereli olmayabilir.



Pasif Harmonik Filtre Ne kadar iyi filtreler?

- Ünite en zorlu harmonik yüklerde bile yüksek performans göstermektedir.
- Yukarıda görüldüğü gibi yüksek miktarda harmonik yüklü sistemde pasif filtre kullanımı sonrası THDI değeri %45'ten %5 seviyesine çekilmiş ve harmoniğin zararlı etkileri giderilmiştir.

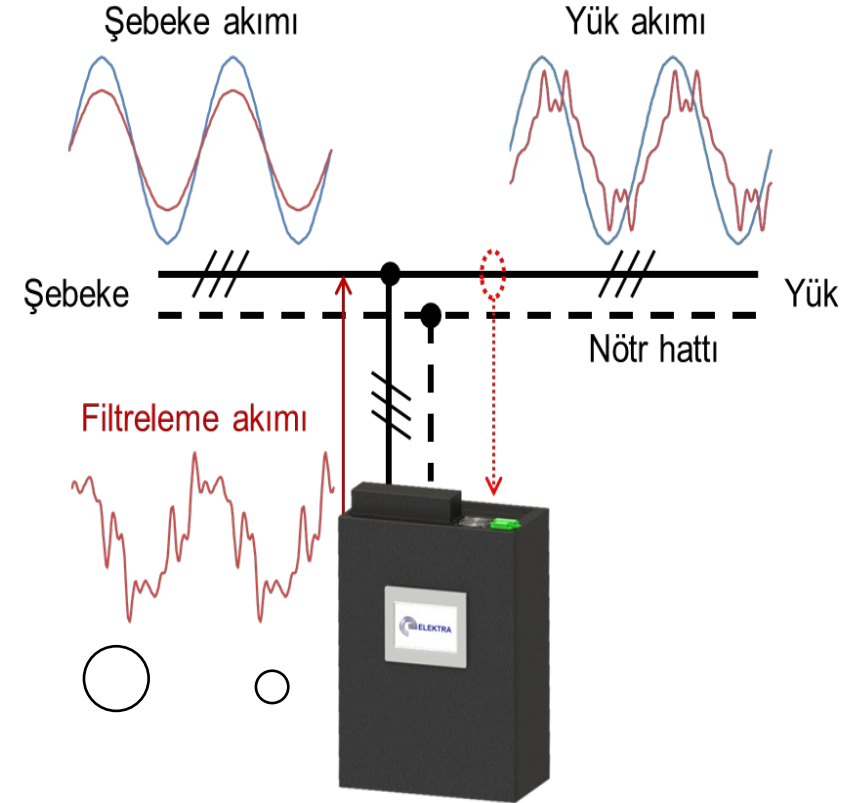
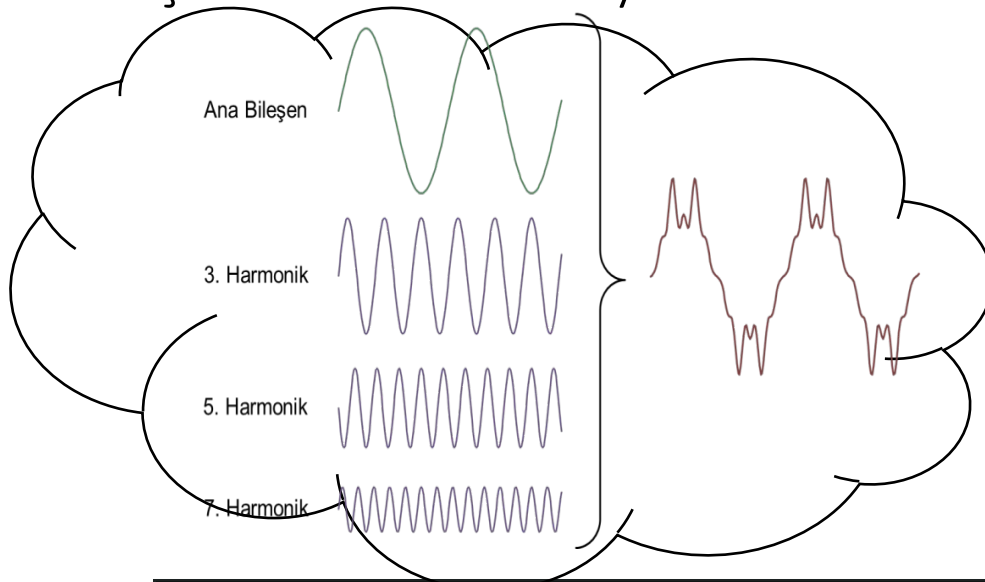


Aktif Harmonik Filtre



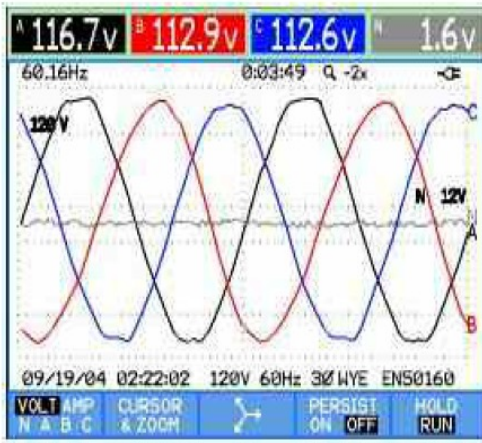
Aktif Harmonik Filtre Harmonikleri Nasıl Temizler?

- AHF Harmonikli akımları ölçerek içlerindeki harmonik frekans bileşenlerini hesaplar.
- Hesaplanan bileşenlerinin zıttı bileşenleri şebekeye verir
- Bu sayede bu bileşenler birbirlerini yok ederler



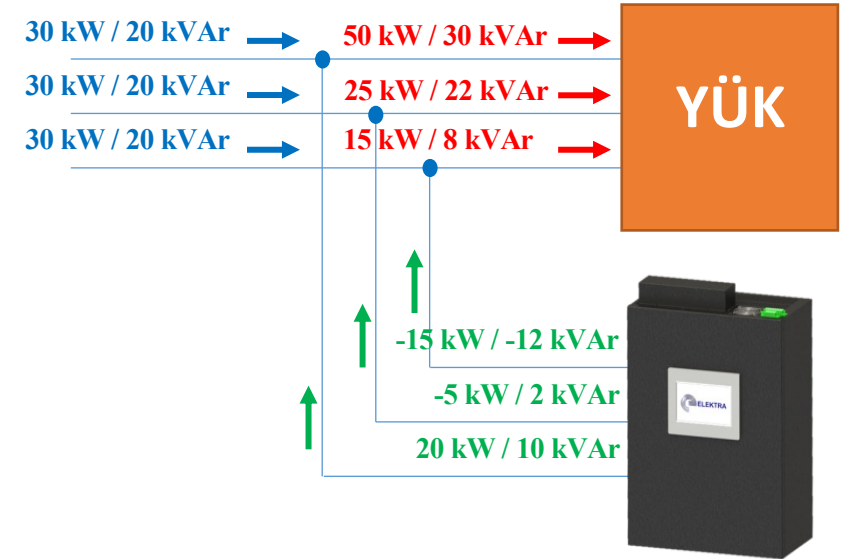
Aktif Harmonik Filtre ve Enerji Kalitesi

- AHF'lerin kabiliyetleri sadece harmonikleri filtrelemekle sınırlı değildir.
- Dengesiz yükleri dengeleyebilir ve süper hızlı reaktif güç kompanzasyonu yapabilirler.
- 4 Wire AHF'ler nötr toprak gerilimini düşürürler.



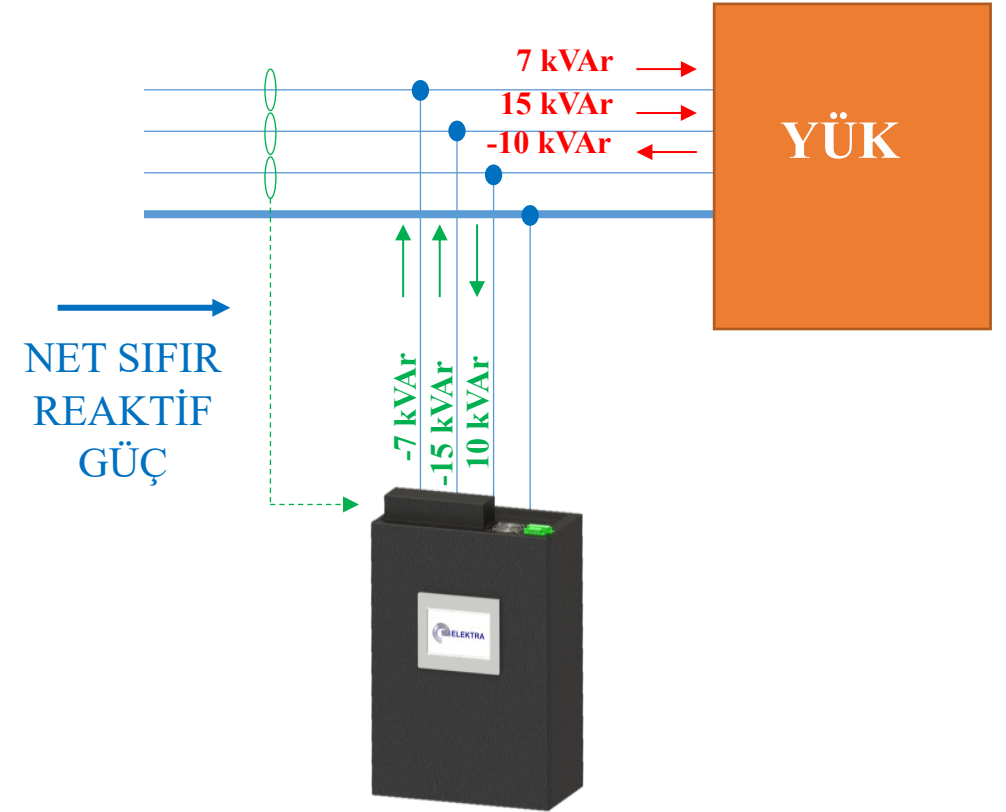
Aktif Harmonik Filtre Dengesiz yükleri nasıl dengeler?

- Dengesiz yükler, her fazdan farklı genlikte akım çekerler.
- 4 Wire (Nötr bağlantısı olan) uygulamalarda büyük nötr akımları akmasına sebep olur.
- Az güç çekilen fazdan dengeleyici miktarda ek güç çekip, bu çekilen ek gücü fazla güç çekilen diğer fazlara bölüştürür.



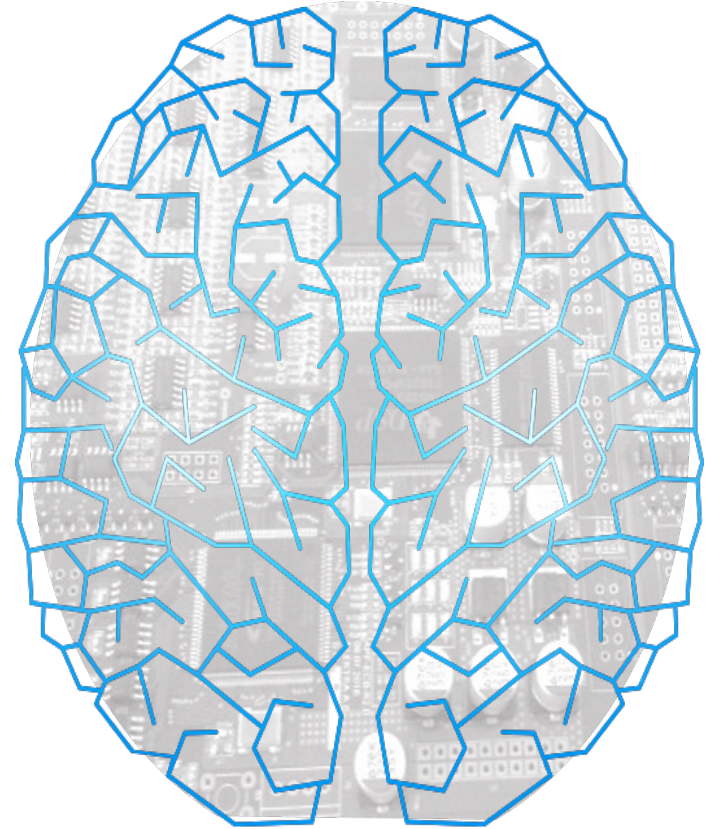
Aktif Harmonik Filtre Nasıl reaktif güç kompanzasyonu yapar?

- AHF'ler kapasitif veya endüktif davranabilmektedir.
- Yükün çektiği reaktif gücü kompanze edebilmek için gereken reaktif gücü tam tamına üreterek sisteme verirler.



Aktif Harmonik Filtre Değişimlere ne kadar hızlı tepki verir?

- Harmonikleri filtreleyebilmek için tepkime süreleri çok kısadır
- Mikro saniyeler içerisinde harekete geçip, reaktif güç akışını düzenlemek için alınması gereken aksiyonu yerine getirirler.



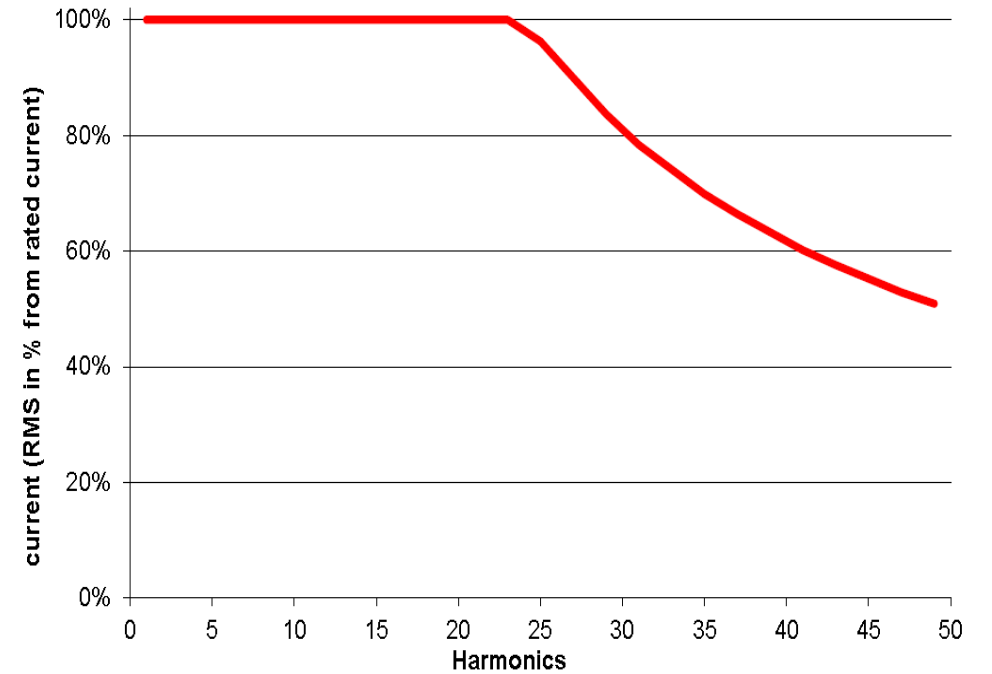
Aktif Harmonik Filtre Seeken nelere dikkat etmeliyim?

- Harmonik akım basma yeteneđi
 - Yüksek frekanslar
- Modüler mi, tümleşik mi?
 - Neden birisini tercih etmeliyim
- AHF'ler her tesiste çalışabilir mi?
 - Enerji kalitesini düzelten bir cihaz, enerji kalitesinden etkilenir mi?
- Nötr Akım kapasitesi
 - 4-Wire mı 3+1-Wire mı?



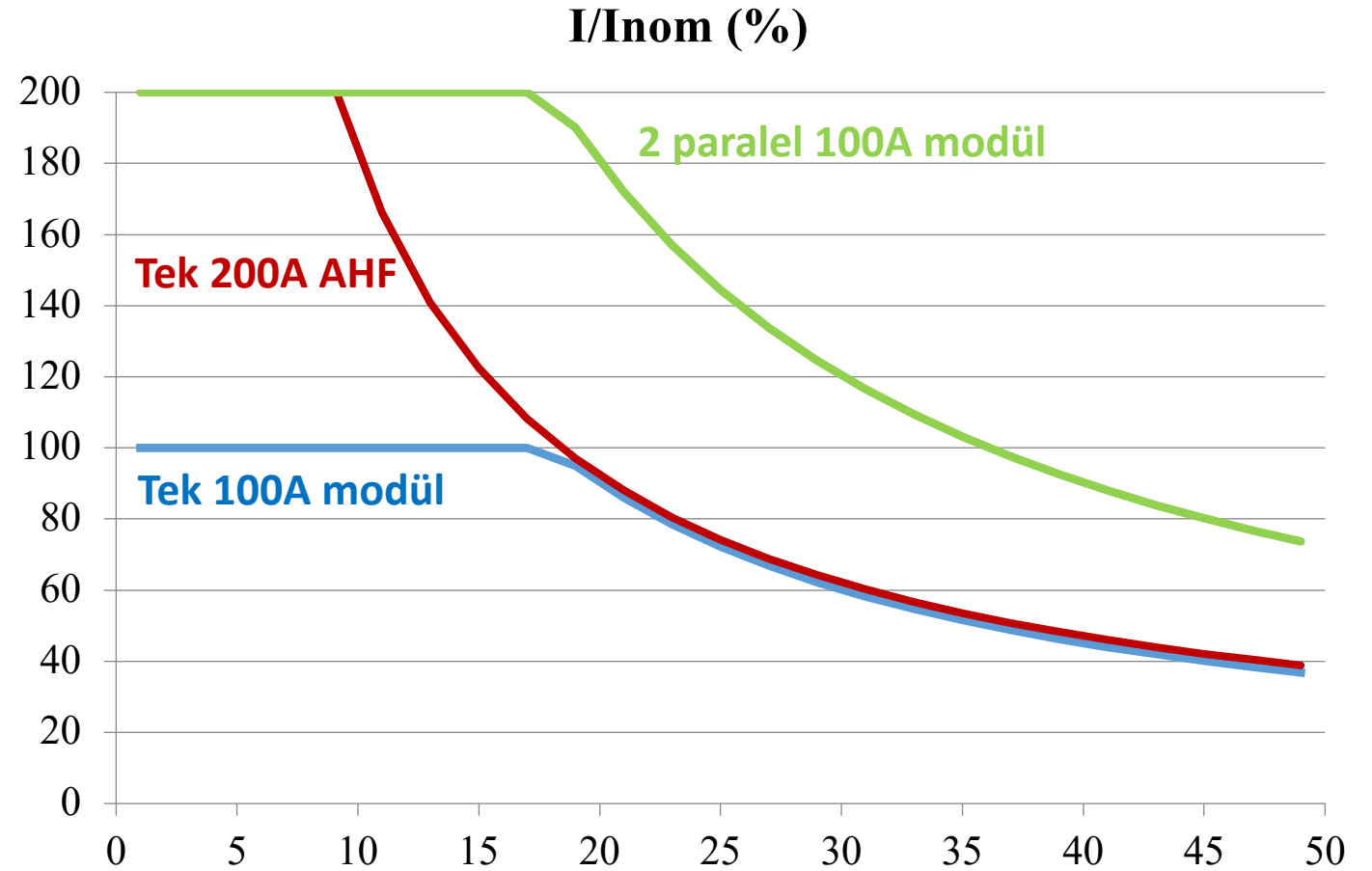
Aktif Harmonik Filtre Ne kadar akım basabilir?

- Yüksek frekansları basma kabiliyetleri sınırlıdır.
- Frekans arttıkça basılabilecek akım azalır.
- 50A'lık bir AHF, 35. Harmonikte en fazla 10A akım basabilir.
- Bu karakteristikler üreticiden üreticiye farklılık göstermektedir.



Aktif Harmonik Filtre Modüler mi? Tümüleşik mi?

- Eş şartlar altında çalışan iki paralel modül vs. iki katı gücünde tümleşik tek modül yüksek frekans basma kapasitesi:



Aktif Harmonik Filtre Modüler mi? Tümüleşik mi?

- Yüksek akımlı tümleşik yapıların yüksek frekans akım kapasiteleri düşük akımlı bir modülle denk olacaktır.
- Yüksek güçlü tümleşik bir AHF'nin yüksek frekansları basma kabiliyetini artırabilmek için gerekli değişiklik bu AHF'nin maliyetini misliyle artırmaktadır.
- Bunun yerine daha küçük güçlü birçok modül paralellenerek bu kapasite daha ucuza artırılabilir.

Aktif Harmonik Filtre Modüler mi? Tümüleşik mi?

- 13. harmoniğin üstü çok nadir yüksek olacaktır.
- Yüksek akımlı (yüksek frekans akım kapasitesi düşük) bir tümleşik AHF, modüler AHF ünitelerinden çok daha ucuzdur.
- Çoğu zaman modüler yapının sunduğu yüksek frekans akım kapasitesi rezonans risklerinden dolayı kullanılamamaktadır.

Aktif Harmonik Filtre Modüler mi? Tümüleşik mi?

- AHF'ler yapıları gereği kapasitif yükleri sevmez.
- Kapasitif karakterli yüklere örnek:
 - Kompanzasyon panosu olan tesisler
 - Filtresiz kompanzasyon kademeleri
 - Online UPS sistemleri olabileceği gibi
 - En basitinden bir motor sürücünün girişindeki EMI filtreleme kondansatörleri bile rezonans yaratabilmektedir.
- Eğer rezonans korumanız yoksa, tesise AHF'yi takıp, sonra patlamasın diye ümit etmekten başka hiçbir çareniz kalmaz.



Aktif Harmonik Filtre Nötr Akım Kapasitesi

- 4 Wire uygulamalarda üç ve üçün katı (triplen) harmonikler de filtrelenmektedir.
- Fazlardaki triplen harmonikler toplanarak nötr'den akar.
- 4 Wire AHF'lerin nötr akım kapasitesinin faz akımının 3 katı olması gerekmektedir.
- Nötr akımının yüksek olabilmesi çok detaylı çalışmalar ve dikkatli mühendislik gerektirmektedir. IGBT değiştirerek vs. sağlanabilecek bir spec değildir.
- Ucuz Çinli üreticiler (Delta gibi büyük firmalar da buna dahil) ürünlerinde nötr akımının kapasitesini bile belirtmezler.



Aktif Harmonik Filtre Ürün Çalışma Ömrü

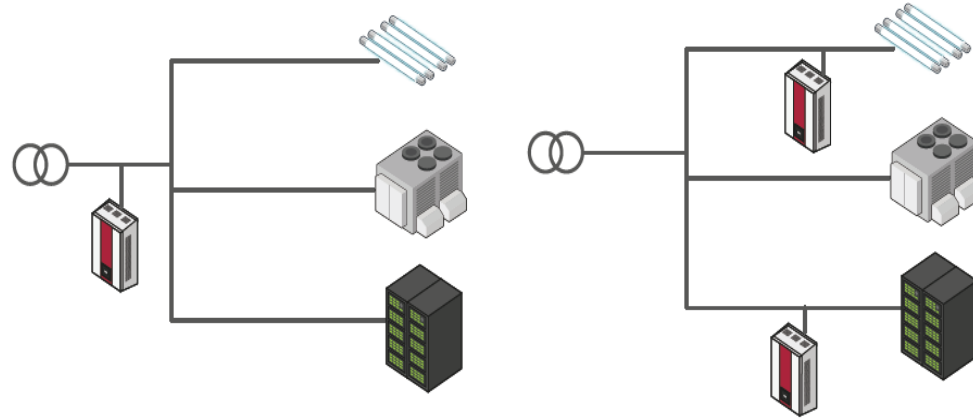
- Herhangi bir elektronik cihazın çalışma ömrü hesaplanırken en zayıf halka göz önünde bulundurulur. Aktif filtre için bu halka kondansatördür
- Doğru tasarlanmış bir aktif filtrenin çalışma ömrü, dolayısıyla içindeki kondansatörlerin çalışma ömrü 100k saat'ten büyük seçilmelidir.
- Kimi uzak doğu menşeli üreticilerin ürünlerinde kullanılan kondansatör önürleri 10K saat i bile bulmamaktadır.

Variant 1 (free convection)					Frequency Coefficient:				0,80	1,00	1,05	1,16						
	Lo / h	To / °C	Tx / °C	Ki	I/lo*	lo / Arms	I / Arms	I(50Hz)	I(120Hz)	I(150Hz)	I(300Hz)	ΔTo	UR/Ux	n	Life / h	air flow	"chill factor"	Ux / V
ECS2WQH821MT4P2: ELEKTRA	5000	105	50	2	1,9	3,49	6,80	-	-	7,14	-	5	1,125	2,5	115.245	0,3m/s	1,0	400
CD29L 450V 1500uF	5000	85	50	2	0,6	7,30	4,08	-	-	4,28	-	5	1,125	2,5	96.392	0,3m/s	1,0	400
CD294 450V 820uF	2000	105	50	2	3,1	2,20	6,81	-	-	7,15	-	5	1,125	2,5	6.210	0,3m/s	1,0	400

* = divided by "chill factor"

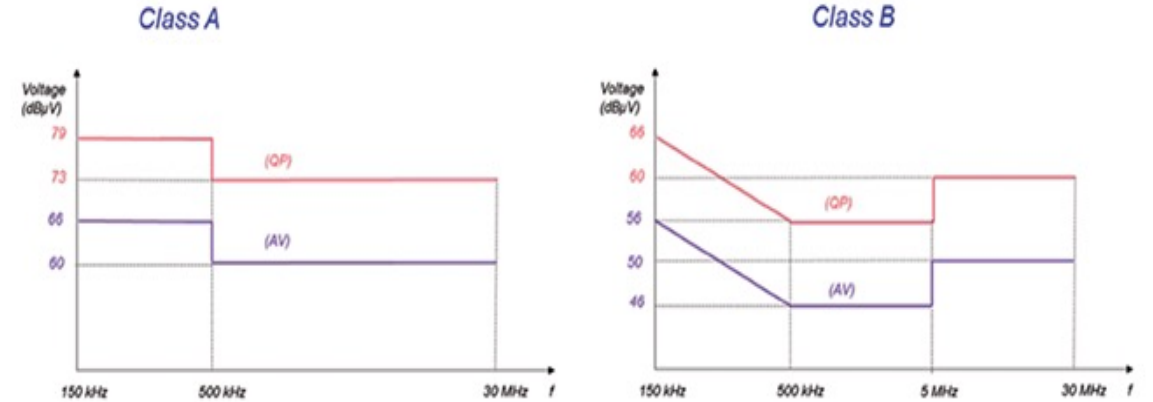
Aktif Harmonik Filtre Uygulama Şekilleri

- Tesisin tümünü filtrelemek, nötr-toprak gerilimini düşürmek ve/veya kompanzasyon yapmak için, ana girişe bağlanmalıdır.
- Harmonikli yükler ana girişten uzakta ise, tesis içinde akan harmonik akımlar tesis veya diğer yükler için risk oluşturuyor ise, doğrudan yükün girişine uygulanmalıdır.



Aktif Harmonik Filtre Sıkça Karşılaşılan Uygulamalar

- AHF'ler sanayinin sayısız alanında kullanılmaktadır.
- Her sanayi tesisi ve kullanım amacı değişik gereksinimleri yaratmaktadır: yapısal farklar ve maliyet
- Örn. kendine ait bir dağıtım trafosu olmayan bir ticari tesiste çalışan AHF daha zorlu EMC şartlarını sağlamak zorundadır.
- Online UPS üzerinden beslenen tesislerde entegrasyona yönelik daha zorlu şartlarla karşılaşılmaktadır.



Uygulama Türleri

Birinci Tip Uygulama: Hafif Endüstri

- Kullanıcı tesisinin girişine AHF takarak bütün tesisini filtrelemek/nötr toprak gerilimini düşürmek istiyor.
- Banka Binası:
 - Bilgisayar, UPS, monofaze yükler, hatta filtresiz kompanzasyon



Uygulama Türleri

Birinci Tip Uygulama: Hafif Endüstri

- Dağıtım trafosu var mı? / LV şebekeye mi bağlı?
 - CE işaretli ürün için EMC filtre gereksinimi
- Bilgisayar ve UPS gibi sistemler kapasitif karakterli yüklerdir.
 - Rezonans Koruması Gerekiyor
- Önerilecek olan AHF için önden bir güç belirlemek mümkün değildir. Sahada ölçüm almak gerekmektedir.



Uygulama Türleri

İkinci Tip Uygulama: Ağır Endüstri

- Kullanıcının kabloları titreşim yapıyor. Kablolar çok ısınıyor. Motor sürücü yükleri var. Çözüm istiyor.
- Burada AHFnin sürücünün hemen girişine takılması gerekmektedir.
- Yük sürücü olduğu için, akan akımda 5. 7. 11. ve 13. harmonik bileşenleri yoğunluktadır.



Uygulama Türleri

İkinci Tip Uygulama: Ağır Endüstri

- Çok yüksek frekansları basabilen modüler yapıya sahip bir AHF çözümü gerekmemektedir.
- Burada tümleşik yapıya sahip, yüksek akımlı ama yüksek frekans kapasitesi düşük, rezonans koruması bile olmayan bir AHF çözüm olabilir.

Uygulama Türleri

İkinci Tip Uygulama: Ağır Endüstri

- Tesisle ilgili verilen verilerden faydalanarak gerekli AHF gücü hesaplanabilmektedir.
- AHF gücünü hesaplarken kullanılacak kriter, tesisin filtreleme sonrası hedef THDi değeridir.
- IEEE standartları hedef THDi değerini belirlemede yol gösterici olmaktadır. Bu hesaplama ilgili izlenecek adımlar daha sonra anlatılacaktır.



Uygulama Türleri

Üçüncü Tip Uygulama: Marin Uygulamaları

- Marine Uygulaması
- AHF gücü IEEE standartlarına göre değil, DNV standartlarına göre hesaplanmaktadır.
- DNV standartları için mühendislik hesapları gerekmektedir.
- Marin sektöründe AHF üreticisi olmaktan çok çözüm ortağı olmak gerekmektedir.
- Gemi sektörü için gerekli DNV standartları, normal ürünlere göre çok daha sıkıdır. Bu da ürünün maliyetine yansımaktadır.



Teşekkür Ederiz