



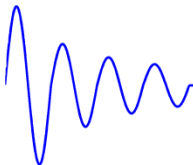
REAKTİF GÜÇ KOMPAZASYONU ve REZONANS HESAPLARI

Alper Terciyanlı
TÜBİTAK-BİLTEN
alper.terciyanli@emo.org.tr

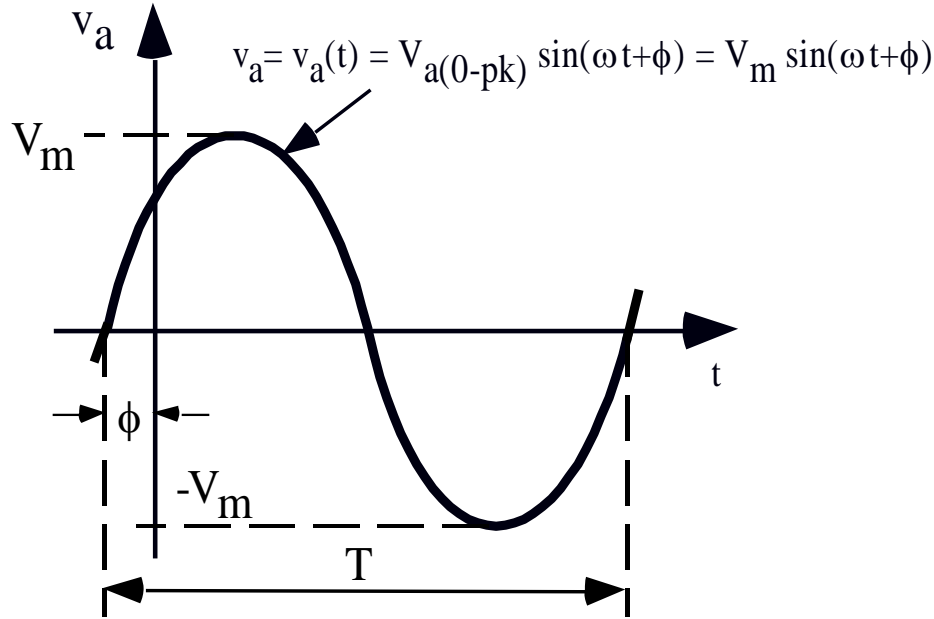


Kapsam

- Genel Kavramlar
- Reaktif Güç Kompanzasyonu
- Yasal Sınırlamalar
- Rezonans Olgusu
- Simulasyon Örnekleri
- Sonuç



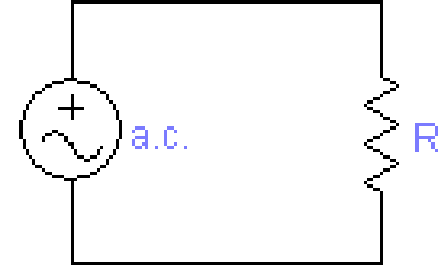
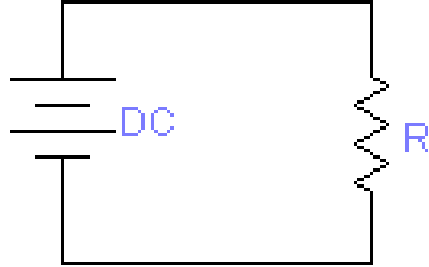
Bir AA Dalganın Parametreleri



$$v_s = V_m \sin(\omega t + \phi)$$

- V_m : Dalganın Genliđi
- ω : radyal frekansı
 $\omega = 2\pi f$
radyan/saniye
- t : saniye
- T : Period,saniye
- ϕ : faz kayma açısı
(derece veya radyan)

Etkin Değer



- DA Kaynak: aktarılan güç sabit olduğundan, anlık güç ortalama güce eşittir.

$$P = p = I^2R \quad [P \text{ ortalama, } p \text{ anlık gücü göstermektedir.}]$$

- AA Kaynak: $p = i(t)^2R$

T, AA dalganın periyodunu göstermektedir.

Etkin Değer

- AA kaynak tarafından aktarılan gücün, DA kaynak tarafından aktarılan güce eşit olduğunu kabul edersek;

$$P = I^2 R = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 R dt$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = I_{eff}$$

- I_{eff} , DA kaynağın aktardığı gücün etkisi kadar etki yaratan AA akımın etkin değeri olarak adlandırılır.
- Etkin Değer aynı zamanda **RMS (Root Mean Square)** olarak ifade edilir.

Etkin Değer

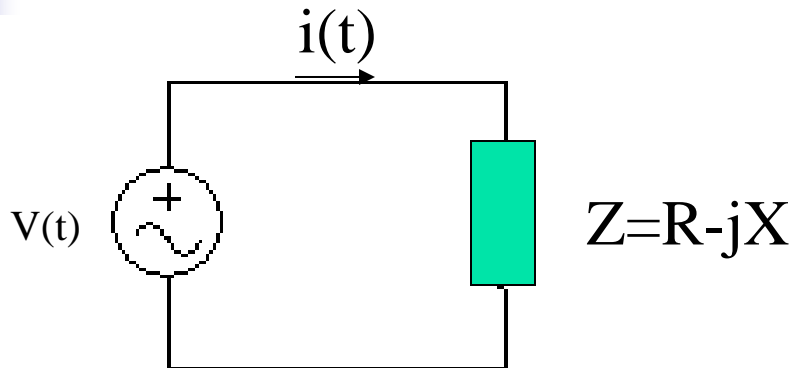
- Kullandığımız sistemlerde olduğu gibi, dalgamız sinüs olursa;

$$i(t) = I_m \cos \omega t \quad I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$v(t) = V_m \cos \omega t \quad V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

- Diğer dalga şekilleri farklı etkin değerlere sahip olabilirler.
- I_m ve V_m akımın ve gerilimin genliklerini göstermektedir.

Güç Hesabı



$$\theta = \tan^{-1} \frac{X}{R}$$

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + X^2}}$$

➤ Anlık Güç $p(t) = v(t) \cdot i(t)$

✓ $v(t) = V_m \cos \omega t = V\sqrt{2} \cos \omega t$ olsun,

✓ $i(t) = I_m \cos (\omega t + \theta) = I\sqrt{2} \cos (\omega t + \theta)$

✓ $p(t) = [V\sqrt{2} \cos \omega t][I\sqrt{2} \cos (\omega t + \theta)]$

$$= VI [\cos \theta + \cos (2\omega t + \theta)]$$

$VI \cos \theta$ sabit & $VI \cos (2\omega t + \theta)$ ise periyodik bir terimdir.

Aktif Güç

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt$$

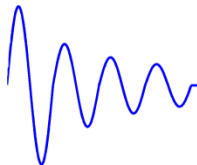
$$P = \frac{\omega}{2\pi} \int_0^T VI [\cos \theta + \cos(2\omega t + \theta)] dt$$

$$P = VI \cos \theta$$

- V, I gerçək (harmonik bozulma dahil) rms deęerler
- Ortalama Güç $P = V_{\text{rms}} I_{\text{rms}} \cos \theta_{V-I}$ (Watt)
- Ortalama (aktif) güç sistemde “gerçək işi” yapan güçtür.
- Eğer $Z = R$: $\theta = \tan^{-1} X/R = \tan^{-1} 0/R = 0^\circ$ $\therefore P = VI$ Watt,
 $Z = \pm X$: $\theta = \tan^{-1} X/R = \pm 90^\circ$ $\therefore P = VI \cos \pm 90^\circ = 0$ Watt olur.

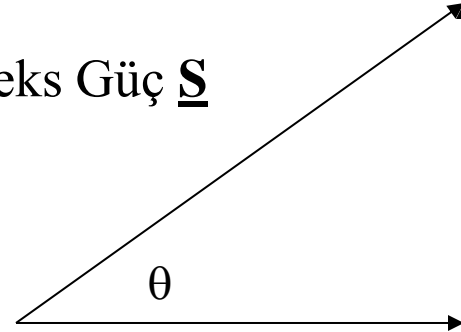
Reaktif Güç

- Görünen Güç gerilim ve akımın etkin (RMS) değerlerinin çarpımıdır ve **S** ile gösterilir. Birimi Volt*Amper (VA)' dir.
- $S = V(\text{rms}) * I(\text{rms})$ VA ile matematiksel olarak ifade edilir.
- Reaktif Güç $Q = V(\text{rms}) * I(\text{rms}) * \sin\theta$ (Var) olarak tanımlanır.
- Birimi Volt-Amper-Reaktif (VAr)' dir.



Güç Üçgeni

Kompleks Güç \underline{S}

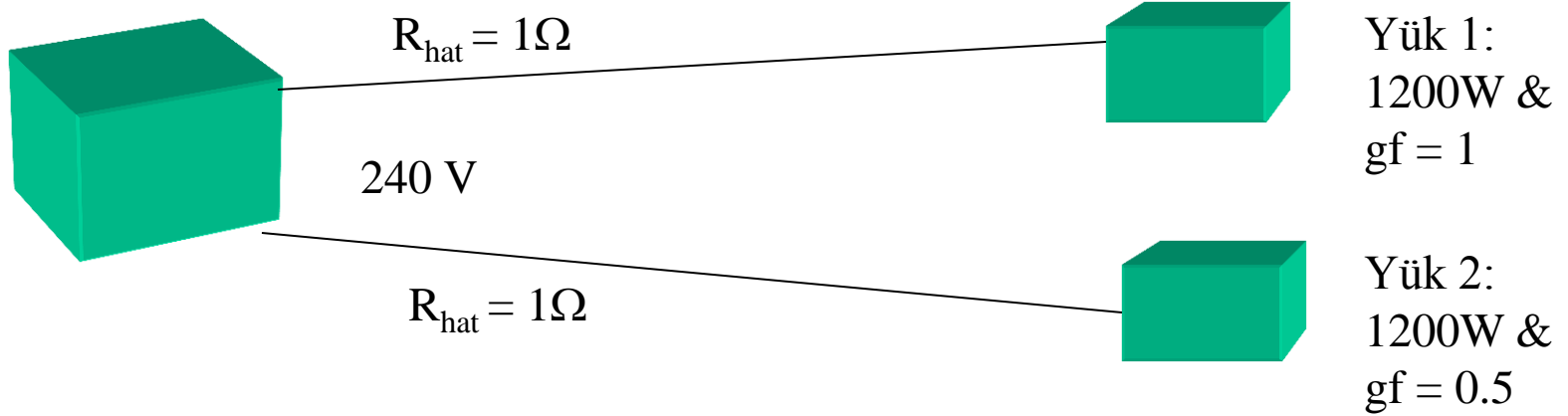


Reaktif Güç Q

Aktif Güç P

- $\underline{S} = P + jQ = VI^*$
- $S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$
- Güç Faktörü g.f. = $\cos \theta$
 - ✓ birimsizdir
 - ✓ $0 \leq gf \leq 1$
 - ✓ Yükün kapasitif veya endüktif olduğunu anlamamız için güç faktörünün yanında endüktif veya kapasitif terimlerini belirtmemiz gerekmektedir.

Güç Faktörü Niçin Önemli?

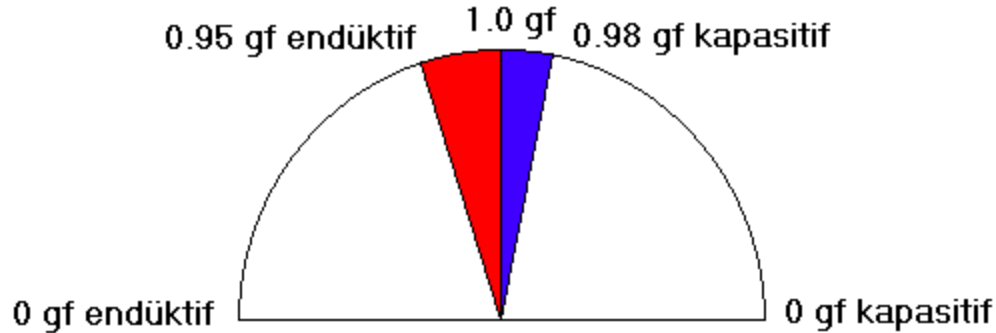


➤ Aktif Güç	1200 W	1200 W
➤ g.f.	1	0.5
➤ Görünen Güç	1200 VA	2400 VA
➤ Hat Akımı(rms)	5 A	10 A
➤ Hat Kayıpları (i^2R)	25 W	100 W

Güç Faktörü Niçin Önemli?

- Kayıplar
- İletim ve dağıtım hatlarının taşıma kapasitesinin azalması
- Üretim kapasitesinin verimli kullanılamaması
- Ek yatırımlar
- Yaptırımlar

Yasal Sınırlamalar-1



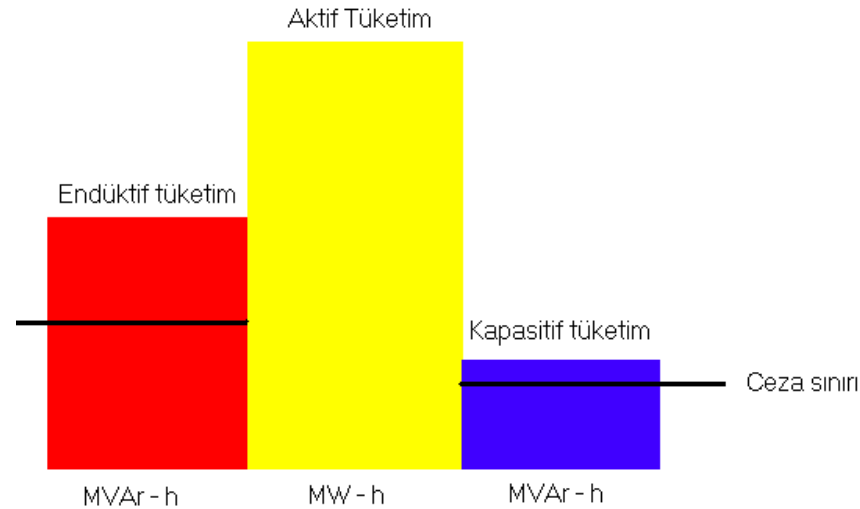
Yeni yönetmelik kurallarına göre, aylık ortalama güç faktörünün (gf)

- 0.95 - 1.0 endüktif ve
- 0.98 - 1.0 kapasitif

aralığında gerçekleşmesi gerekmektedir.

Kabul edilebilir çalışma bölgesi yukarıdaki şemada endüktif bölge için kırmızı, kapasitif bölge için mavi renk ile işaretlenmiştir.

Yasal Sınırlamalar-2



Aylık elektrik faturaları bazında, tüketilen aktif enerjinin (MW-h)

- 1/3 ve üzeri endüktif bölgede reaktif enerji (MVAr-h) ve / veya
- 1/5 ve üzeri kapasitif bölgede reaktif enerji (MVAr-h)

tüketilmesi durumunda hem endüktif hem kapasitif reaktif enerji bedeli ödenir.

Yeni Regülasyonlar

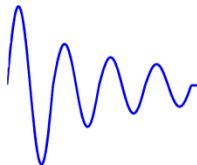
- ✓ “Elektrik İletimi Arz Güvenirliliği ve Kalitesi Yönetmeliği” ,EPDK, Kasım 2004
- ✓ 1 Ocak 2007’den itibaren 2009’a kadar kadar
 - $\text{Cos}\varphi \geq 0.970$ end., $\text{Cos}\varphi \geq 0.990$ kap.
- ✓ 1 Ocak 2009’dan itibaren
 - $\text{Cos}\varphi \geq 0.990$ end., $\text{Cos}\varphi \geq 0.995$ kap.



Çözüm Yöntemleri

- Konvansiyonel çözümler
 - ✓ Pasif devre elemanlarının anahtarlanması
 - ✓ Senkron kondanser (Dinamik)

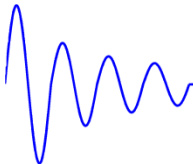
- SVC (Static VAr Compensator)
 - ✓ Yarı iletken güç anahtarları kullanılarak
 - ✓ TSC, TCR, STATCOM, Aktif Filtre..vb.





Karşılaştırma

- Konvansiyonel çözümler (anahtarlama pasif devre elemanları)
 - ✓ Düşük maliyet
 - ✓ Tepki süresi > 1dak
 - ✓ Hantal
- SVC (Static VAr Compensator)
 - ✓ Üstün kompanzasyon yeteneği (hızlı ve hassas)
 - ✓ Yüksek maliyet



Harmonik Bileşenler

- Periyodik bütün dalgalar sinüs dalgaların toplamı şeklinde ifade edilirler.

$$x(t)=a_0+\sum(a_n*\text{Cos}(2\pi nt/T) + b_n*\text{Sin}(2\pi nt/T))$$

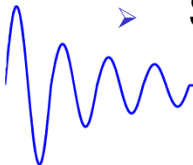
$$n=1,2,3,\dots:$$

$$T=\text{Dalga'nın Periyodu}$$

- Toplamda yer alan sinüs terimlere ana (fundamental) bileşenin harmoniği adı verilir.
- Harmonik bileşenlerin frekansları ana bileşenin frekansının tamsayı katları şeklindedir.

Örnek: 3. Harmoniğin frekansı $3*50=150$ Hz'dir.

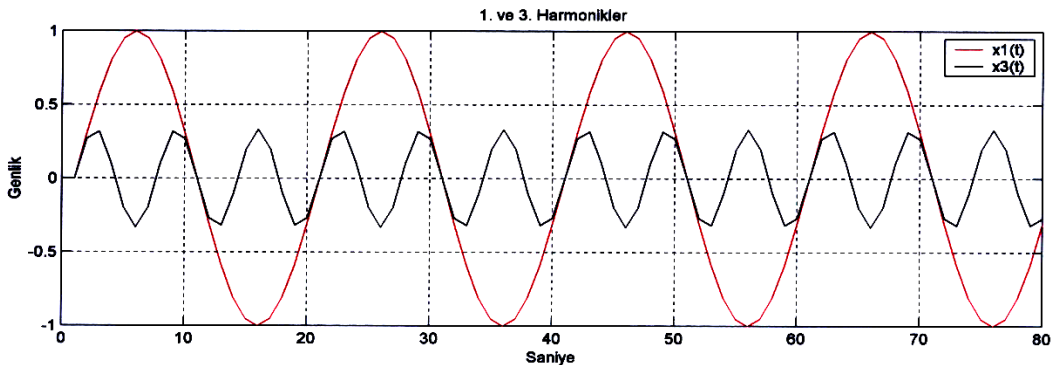
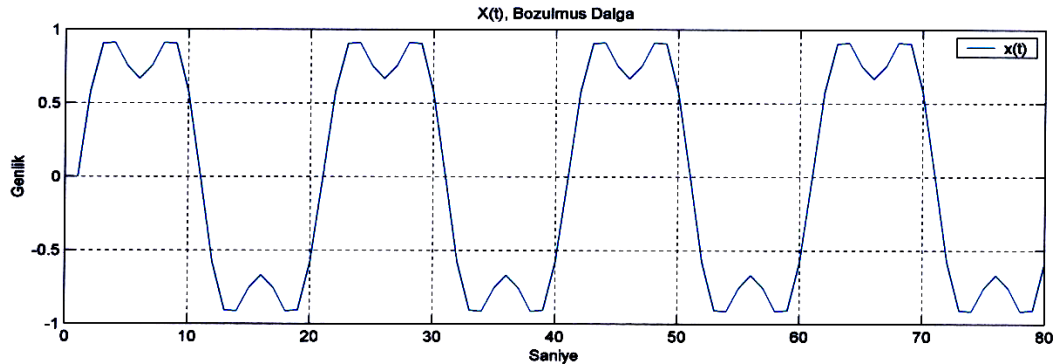
- Simetrik dalgalar yalnızca tek-sayıli harmonikler bulundurlar.



Harmonik Bileşenler

Şebekede oluşan bozulmalar harmoniklerle ifade edilir.

$$x(t) = x_1(t) + x_3(t);$$



Irms, THD_i & THD_v

Akım Gerçek Etkin Değeri

$$I_{rms} = \sqrt{(i_1^2 + i_2^2 + i_3^2 + \dots + i_n^2)}$$

Ana bileşene göre Akım
Toplam Harmonik Bozulumu

$$THD_i = \frac{\sqrt{(i_2^2 + i_3^2 + \dots + i_n^2)}}{i_1}$$

Ana bileşene göre Gerilim Toplam
Harmonik Bozulumu

$$THD_v = \frac{\sqrt{(v_2^2 + v_3^2 + \dots + v_n^2)}}{v_1}$$

Güç Faktörü Bileşenleri

- Güç Fak. = Distorsiyon Fak. x Kayma Fak.
- Distorsiyon Faktörü

$$d.f. = \frac{i_1}{\sqrt{(i_1^2 + i_2^2 + i_3^2 + \dots + i_n^2)}} = \frac{i_1}{I_{rms}}$$

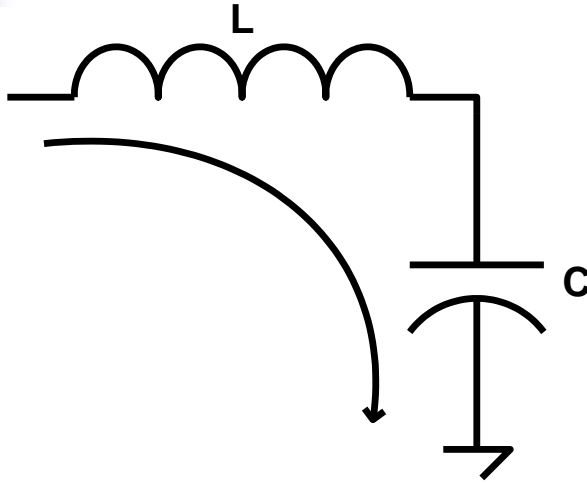
- Kayma Faktörü

$$v(t) = V \sin(\omega t)$$

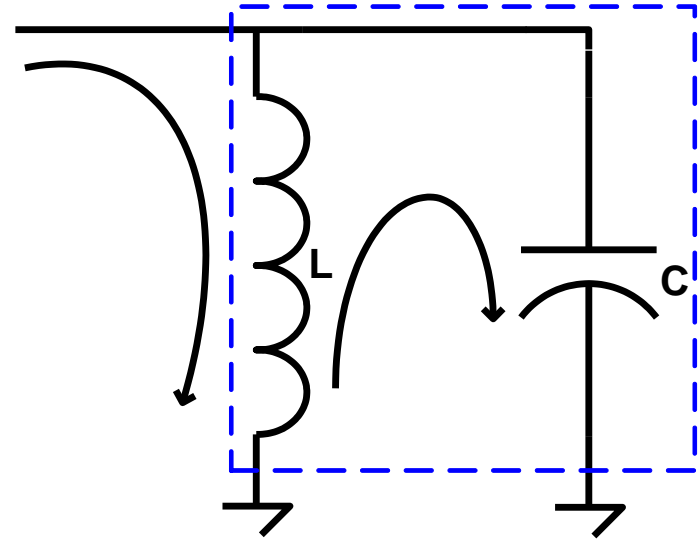
$$i(t) = I \sin(\omega t + \varphi)$$

$$k.f. = \cos \varphi$$

Rezonans



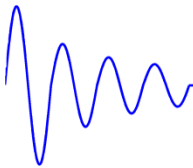
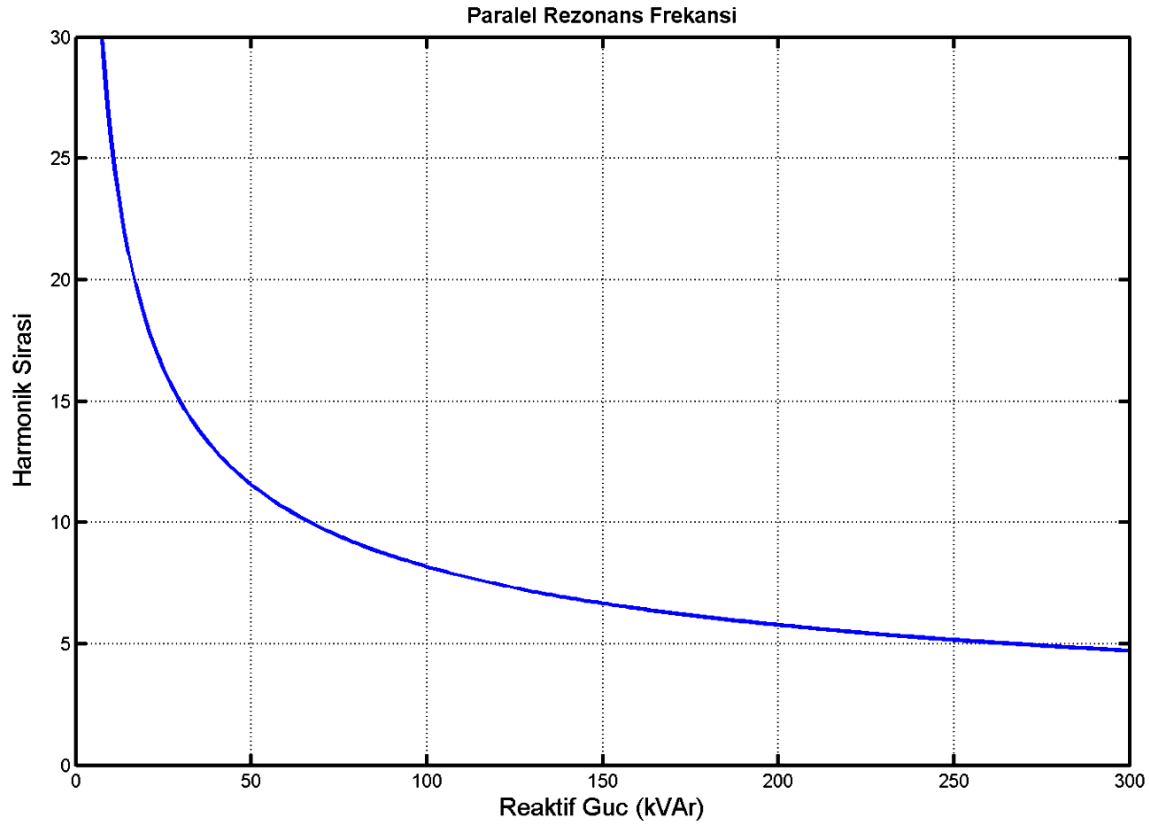
Seri rezonans devresi



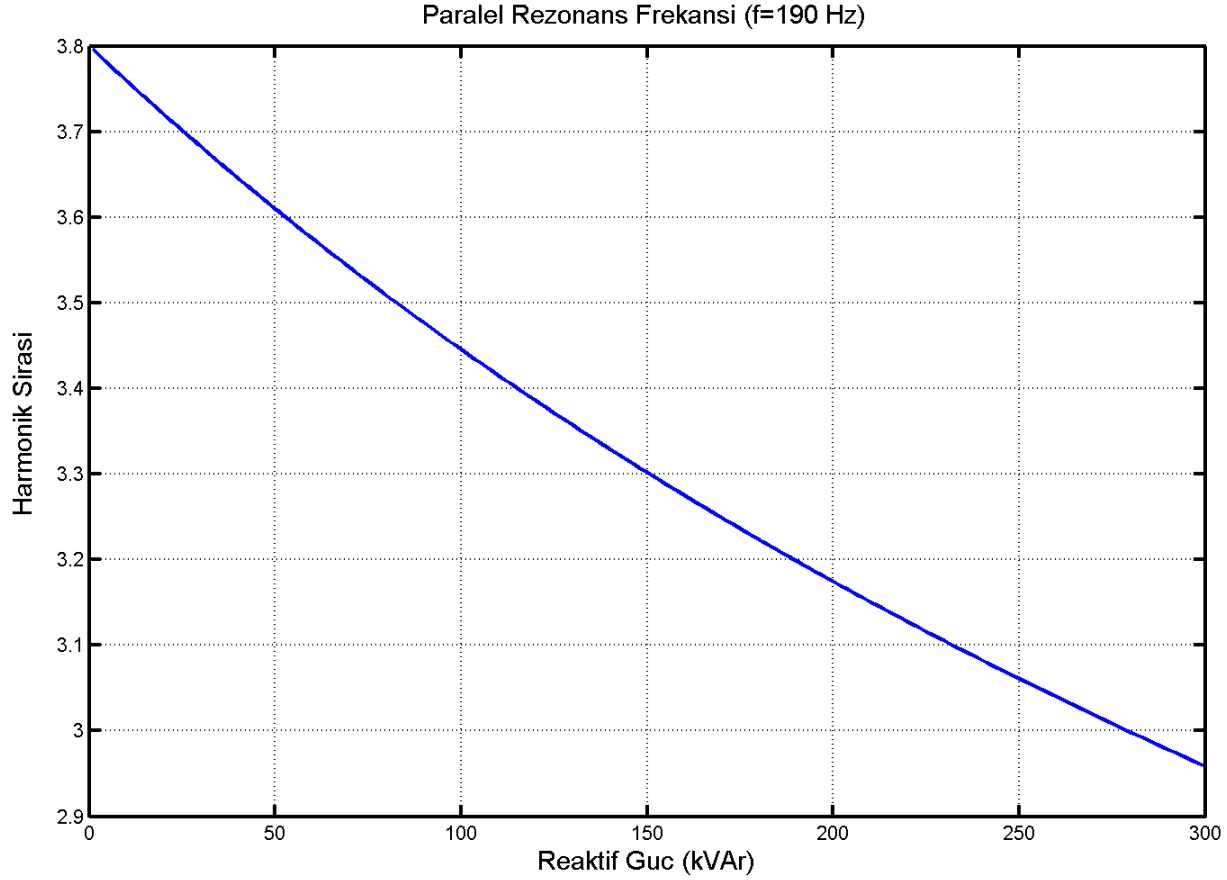
Paralel rezonans devresi

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

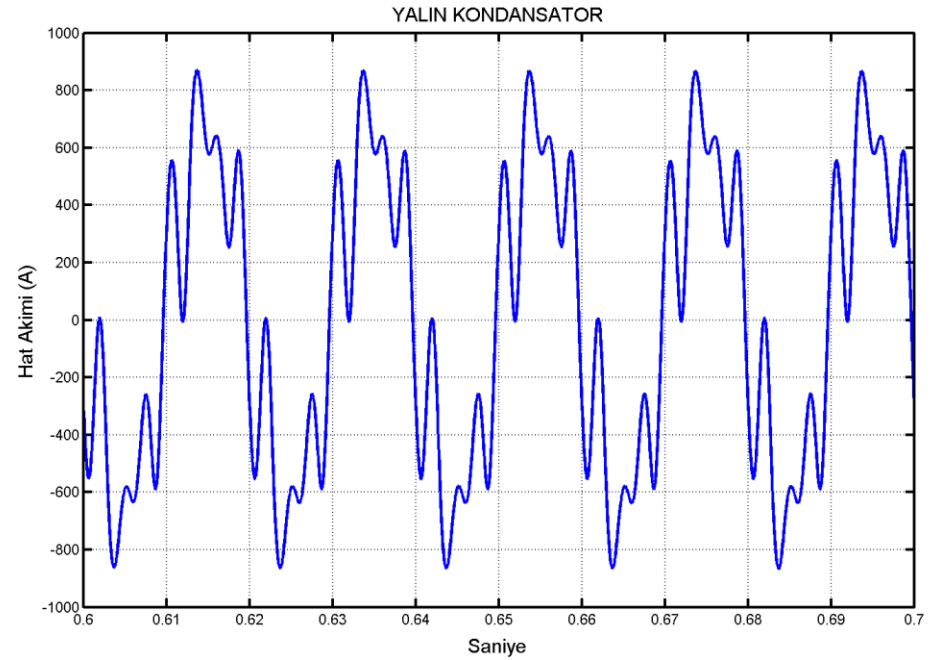
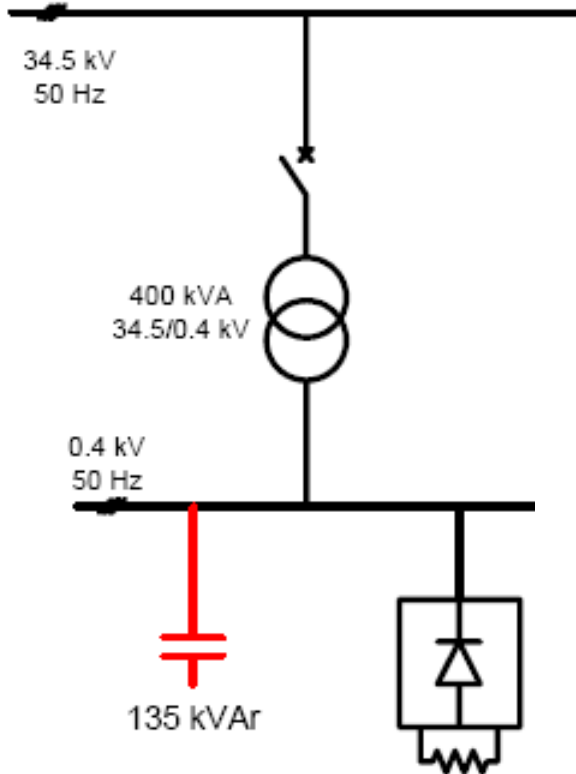
Rezonans



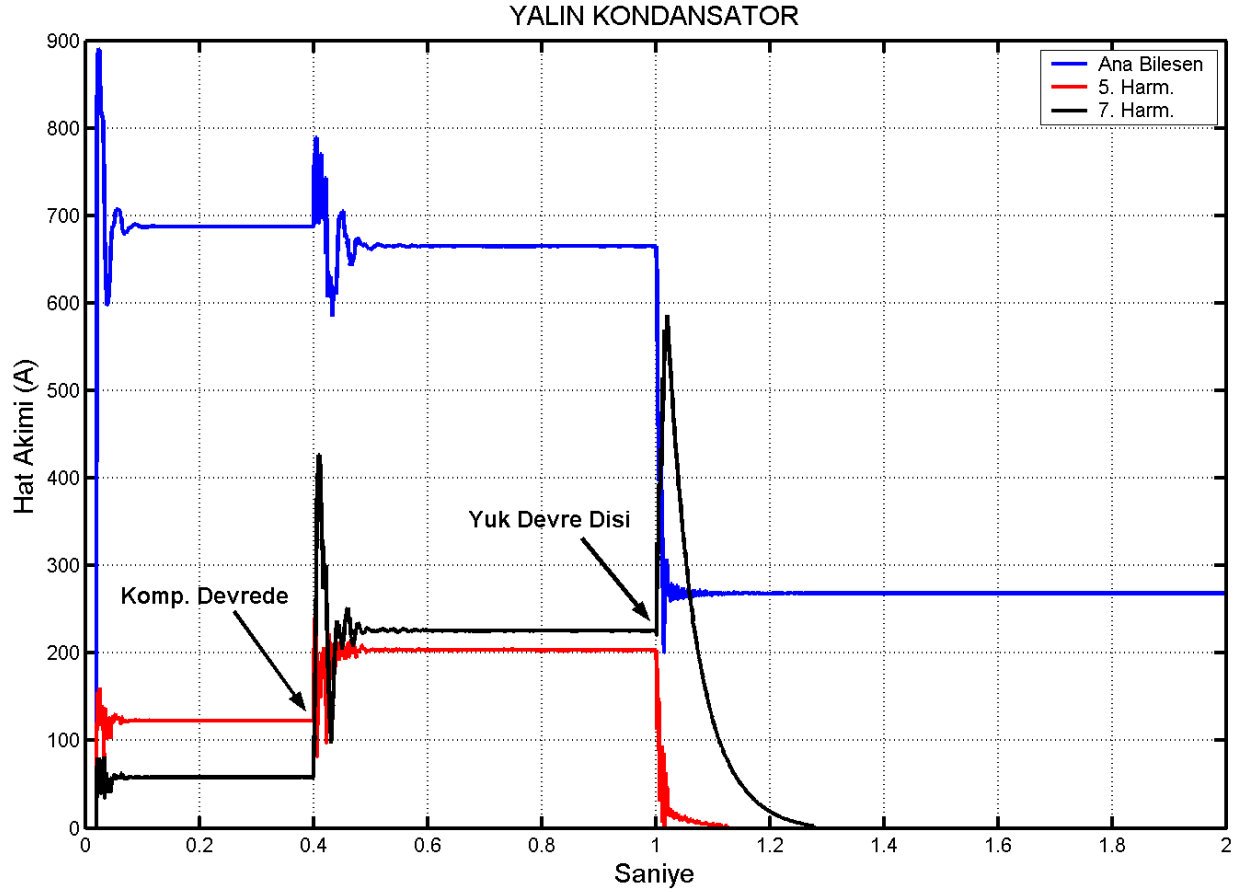
Rezonans



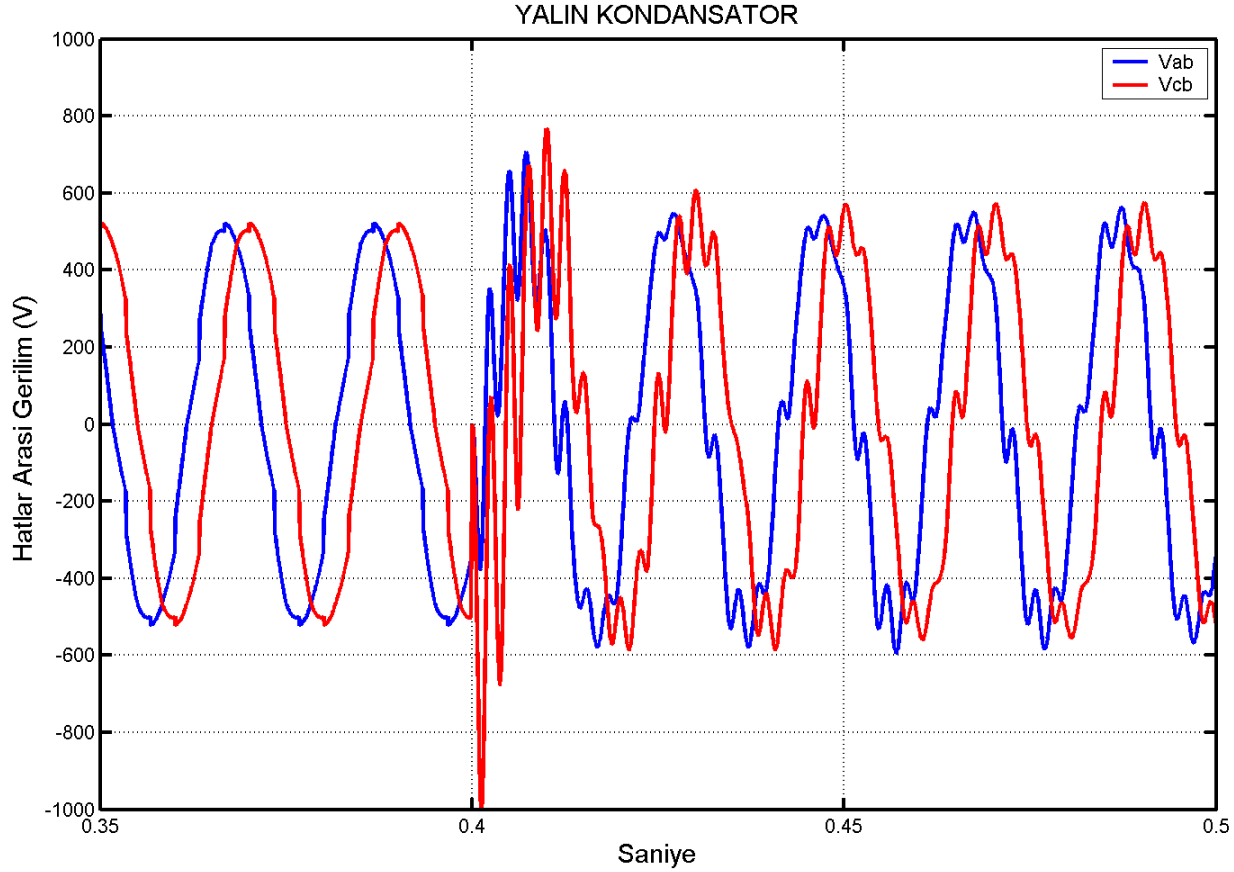
Simulasyonlar



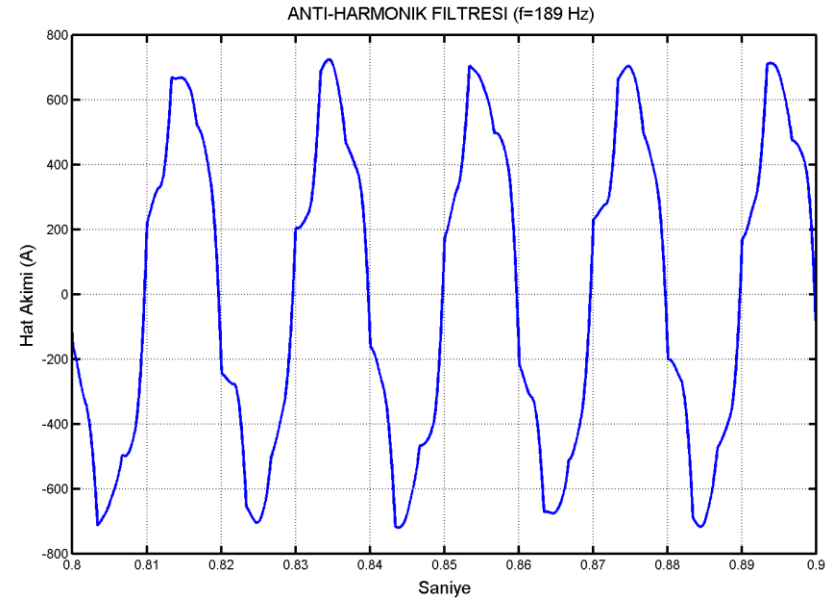
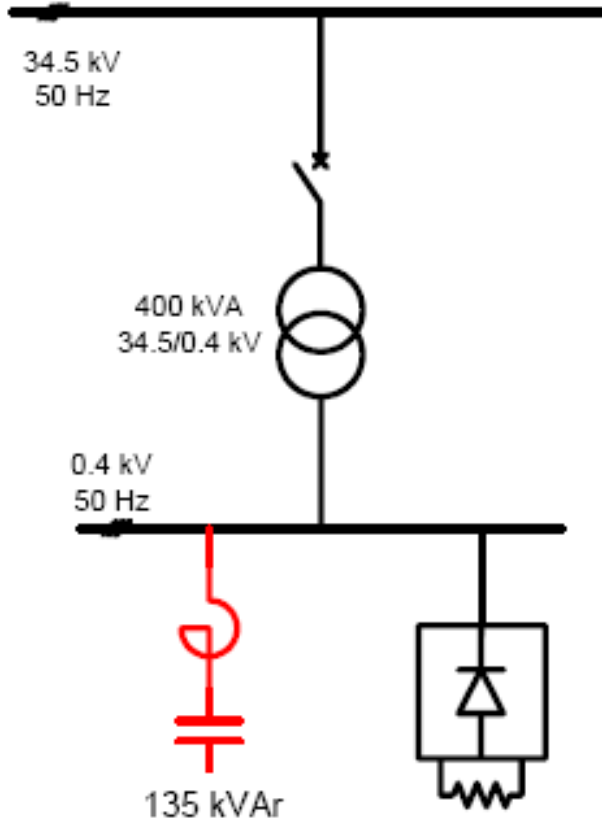
Simulasyonlar



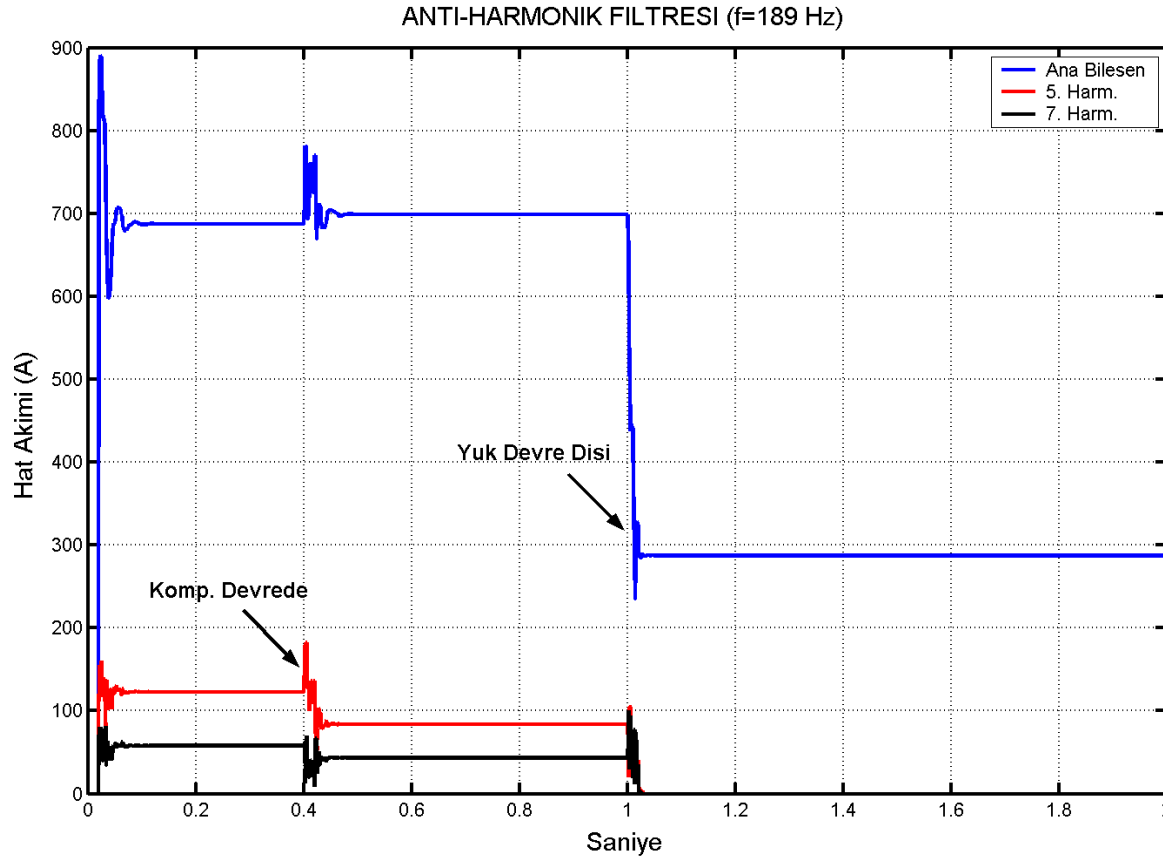
Simulasyonlar



Simulasyonlar



Simulasyonlar



Sonuç

- Yalın kondansatör bankalarının doğrusal olmayan yüklerin kompanzasyonunda kullanılması beraberinde yeni problemleri doğurmaktadır
- Anahtarlama esnasında veya rezonans sonucu akım ve gerilimde bozulmalara ve şebekeden beslenen diğer yüklerinde bu durumdan etkilenmesine neden olmaktadır
- Akord edilmiş veya edilmemiş filtrelerin kullanılması rezonans riskini ortadan kaldırmaktadır

Sonuç

- Filtrelerin kullanılması durumunda kondansatör ve reaktör üzerindeki yüklenmeler dikkate alınmalıdır
- Reaktif güç ihtiyacı hızlı değişen sistemlerde tristör anahtarlamaalı filtre grupları veya ihtiyaca göre diğer teknolojik çözümler (TCR, STATCOM veya Aktif Filtre gibi) kullanılmalıdır



TEŞEKKÜRLER...

