

# HARMONİKLER

---

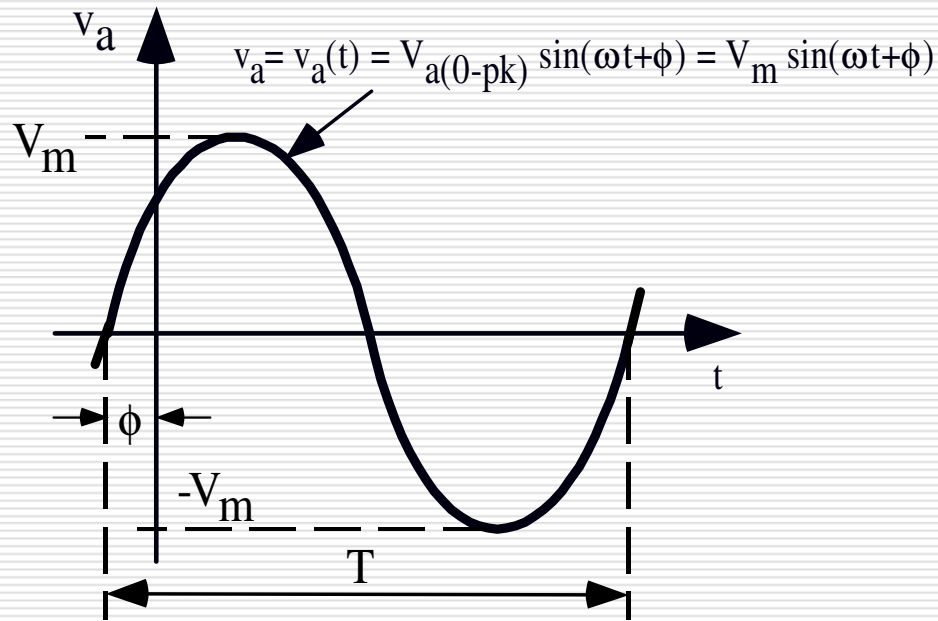
Murat Genç  
Elektrik ve Elektronik Mühendisi  
TÜBİTAK-UZAY

# Kapsam

---

- Genel Kavramlar
  - Güç Kalitesi Problemleri
  - Harmonikler ve Etkileri
  - Çözüm Yöntemleri
  - Standartlar
  - Sonuç
-

# Bir AA Dalganın Parametreleri

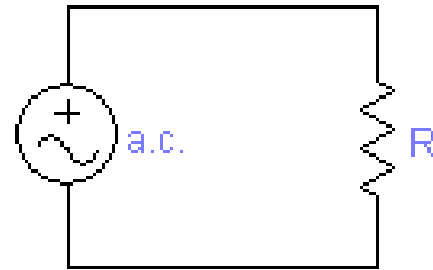
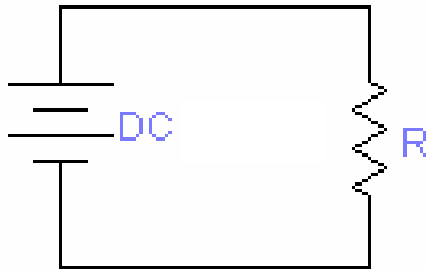


$$v_s = V_m \sin(\omega t + \phi)$$

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

# Etkin Değer

---



- DA Kaynak: aktarılan güç sabit olduğundan, anlık güç ortalama güce eşittir.  
 $P = p = I^2R$  [P ortalama, p anlık gücü göstermektedir.]
  - AA Kaynak:  $p = i(t)^2R$   
T, AA dalgaının 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.
-

# Harmonik Bileşenler

---

- Periyodik bütün dalgalar sinüs dalgaların toplamı şeklinde ifade edilirler.

$$x(t) = a_0 + \sum (a_n \cdot \cos(2\pi n t / T) + b_n \cdot \sin(2\pi n t / T))$$

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

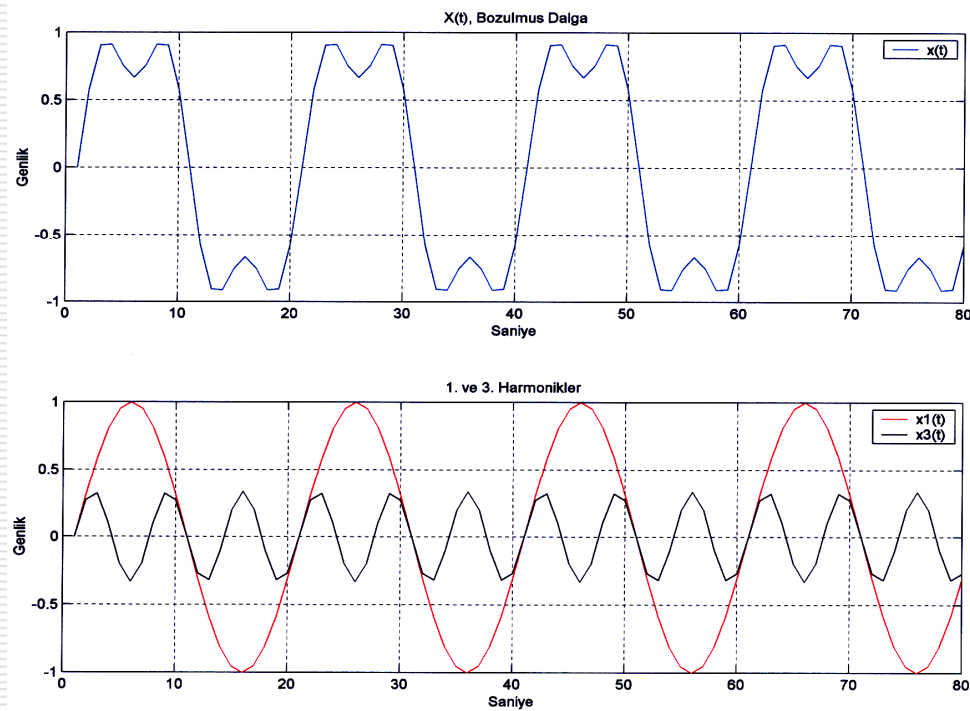
T = Dalga'nın Periyodu

- Toplamda yer alan sinüs terimlere ana (fundamental) bileşenin harmoniği adı verilir.
  - Harmonik bileşenlerin frekansları ana bileşenin frekansının tamsayı katları şeklindedir.  
Örnek: 3. Harmoniğin frekansı  $3 \cdot 50 = 150$  Hz'dir.
  - Simetrik dalgalar yalnızca tek-sayıli harmonikler bulundurlar.
-

# Harmonik Bileşenler

Şebekede oluşan bozulmalar harmoniklerle ifade edilir.

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



## THD<sub>i</sub> & THD<sub>v</sub>

---

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

Ana bileşene göre Akım Toplam Harmonik Bozulumu

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

Ana bileşene göre Gerilim Toplam Harmonik Bozulumu

---

# TDD

---

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

TDD : Toplam Talep Bozulumu (Total Demand Distortion)

$i_L$  : 15-30 dakikalık ortalamada maksimum yük akımı

---

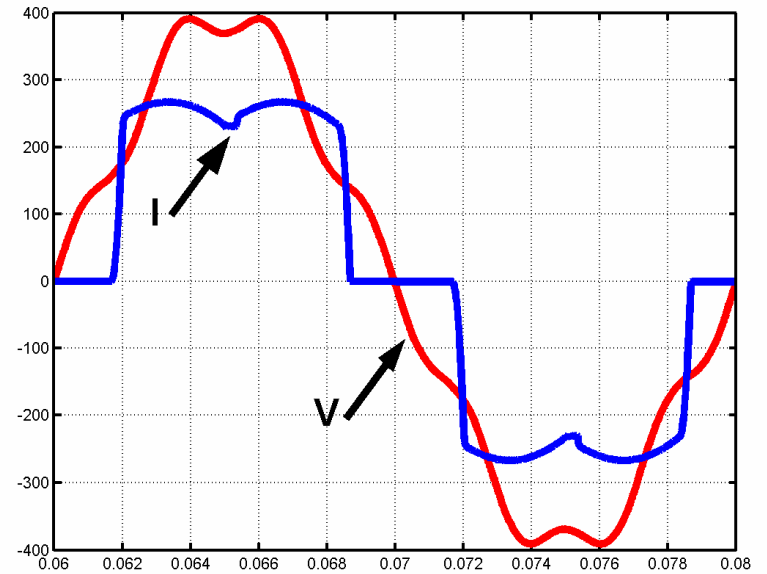
# Güç Kalitesi Problemleri

---

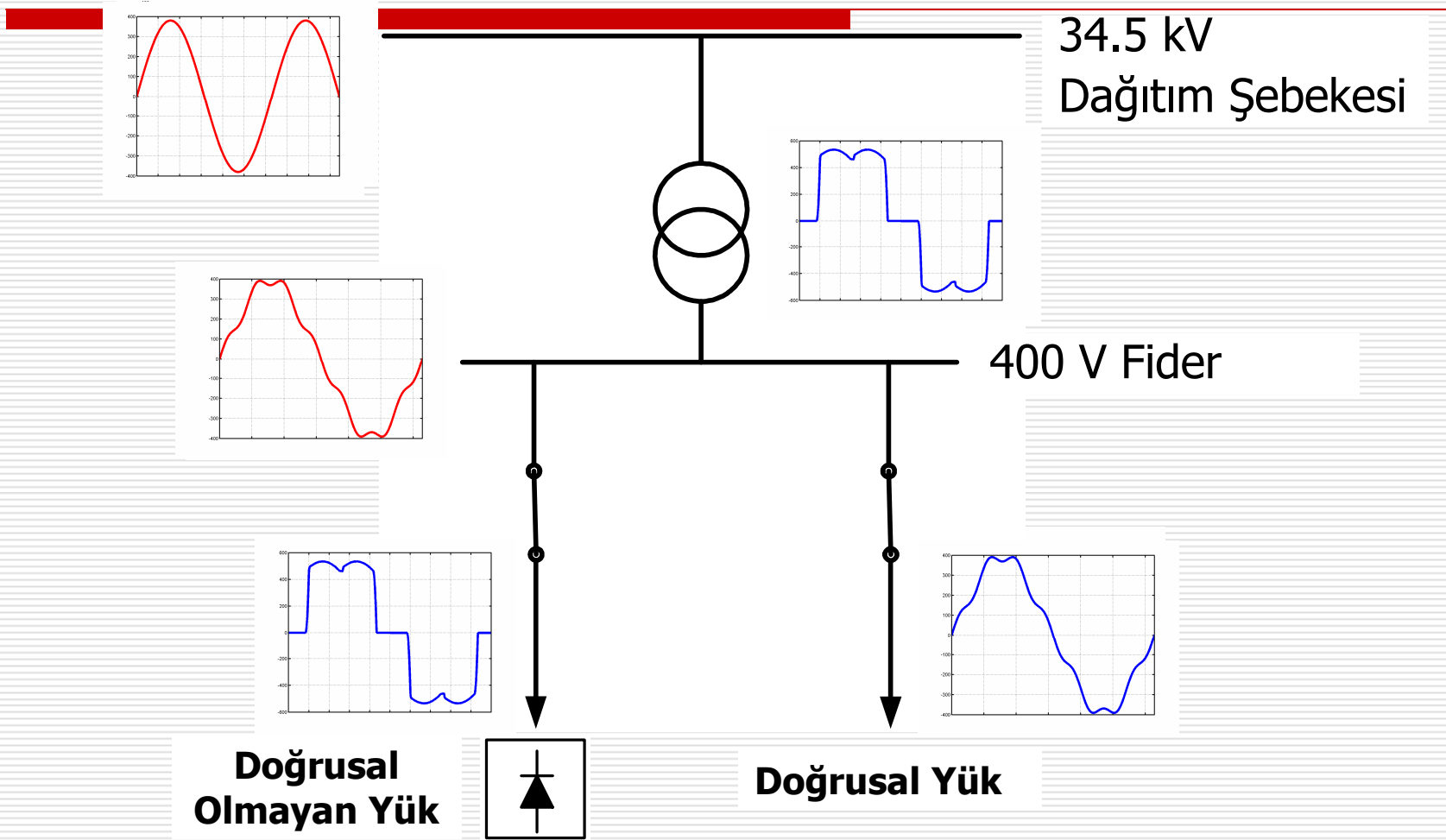
- Güç elektroniği ve yarı iletken teknolojisindeki gelişmeler
  - Doğrusal olmayan yüklerin kullanımındaki artış
  - Yüklerin giderek güç kalitesine daha duyarlı olması
  - Mevcut iletim ve dağıtım sisteminin etkin ve verimli kullanılabilmesi
-

# Güç Kalitesi Nedir?

- ❑ İdeal Elektrik Şebekesi: 50 Hz (saf sinüs), 220V/380V
- ❑ Türkiye'de Elektrik Şebekesi:
- ❑ THDv  $\geq$  %5, THDi  $\geq$  %10
- ❑  $\Delta f \geq 0.5$  Hz
- ❑  $\Delta V \geq$  % 20-30
- ❑ Fliker
- ❑ Kesintiler
- ❑ Gelişmekte olan ülkelerde de durum benzer



# Güç Kalitesi Nedir?



# Uygulamada Güç Kalitesi Problemleri

---

- Müşteriler açısından problemler:
    - Üretim hattındaki kesinti sonucu maddi kayıplar
    - Sistemlerde geçici/kalıcı hasarlar
    - Yüksek onarım veya yeni yatırım maliyetleri
  - Dağıtım işletmesi açısından problemler:
    - Müşteri memnuniyetsizliği
    - Dağıtım sistemi kayıplarının artması
    - Kapasitenin verimli kullanılamaması
-

# Problemler

---

- İletim ve dağıtım şebekelerinde gerilim salınımları  
(sag & swell)
  - Reaktif güç kompanzasyonu ihtiyacı
  - Akım ve gerilimdeki harmonik bileşenler
  - Kısa veya uzun vadeli enerji kesintileri
-

# Harmonikler

---

- Akım ve gerilim dalga şekillerinde bozulmalar
  - Devre elemanlarında aşırı ısınmalar
  - Koruma cihazlarında zamansız ve hatalı açmalar
  - Yük ve şebeke arasında rezonans (aşırı akım ve gerilim bileşenleri)...vb.
-

# Çözüm Yöntemleri

---

## □ Pasif Filtre Sistemleri

- Direnç, reaktör ve kapasitörden oluşan değişik devre topolojileri

## □ Aktif Filtre Sistemleri

## □ Hibrid Çözümler

---

# Standartlar

---

- Türkiye
    - TEK, 1992, Bozucu Etki Yaratan Müşterilerin Uymak Zorunda Olduğu Koşullar
    - EPDK, 2004, Elektrik Sistemi Arz ve Kalitesi Yönetmeliği
    - TSE
  - Uluslararası
    - IEEE, 1992, Std. 519, IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems
    - IEC 61000-2-x, 61000-3-x, 61000-4-x
-

# Standartlar

**Table 10.3**  
**Current Distortion Limits for General Distribution Systems**  
**(120 V Through 69 000 V)**

Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of $I_L$						
Individual Harmonic Order (Odd Harmonics)						
$I_{h0}/I_L$	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	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

Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

\*All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual  $I_{h0}/I_L$ .

where

$I_{sc}$  = maximum short-circuit current at PCC.  
 $I_L$  = maximum demand load current (fundamental frequency component) at PCC.

---

TEŞEKKÜRLER...

---