

# Güç Kalitesi Problemleri ve Çözüm Yöntemleri

Cihan ŞENEL  
Güç Kalitesi Departmanı  
Ürün Mühendisi

Ver.1 Rev.2

Haziran 2015

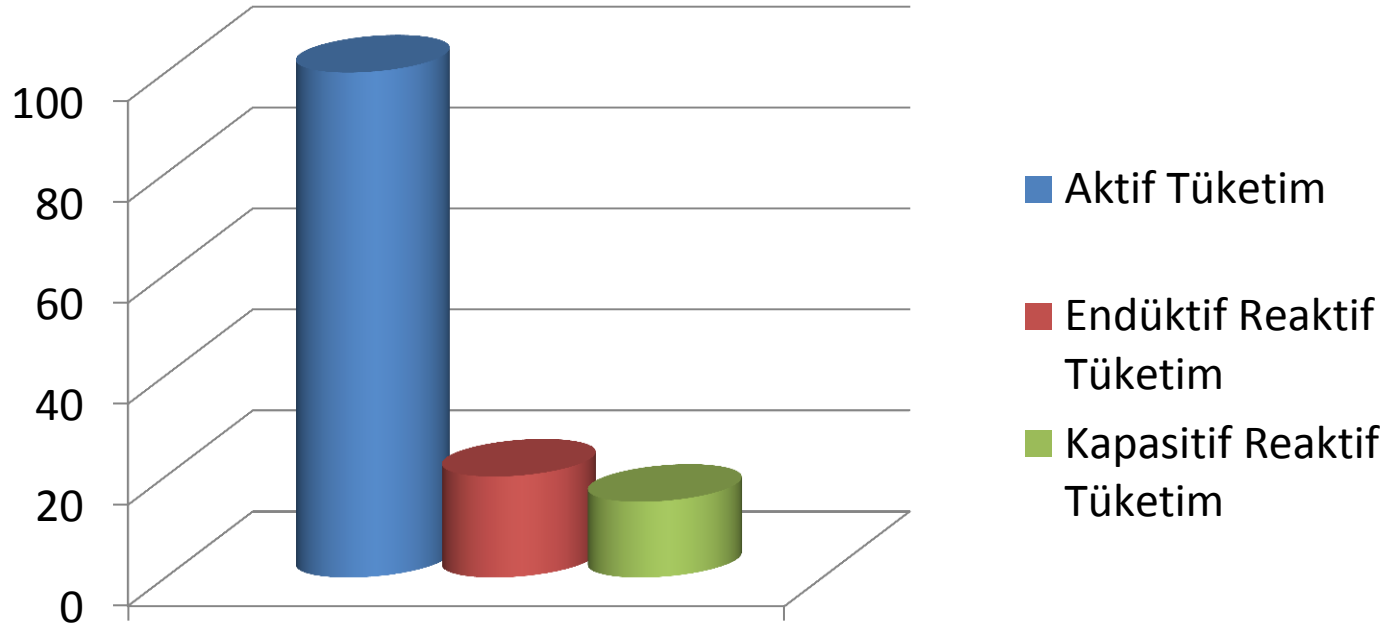
- ❖ Güç Kalitesi Nedir?
- ❖ Güç Kalitesi İle İlgili Standartlar Nelerdir ?
- ❖ Türkiye’de Güç Kalitesi ve Yaptırımlar ?
- ❖ Harmonikler
  - Tanımlar
  - Harmonik Kaynakları
  - Harmoniklerden Kaynaklanan Arızalar
- ❖ Aktif Filtreler
  - Çalışma Mantığı
- ❖ Uygulama Örnekleri

**Elektrik enerjisinin üretiminden tüketimine kadar olan tüm evrelerde, varlığının ve sürekliliğinin uluslar arası standartlarca belirlenen değerlere uygunluğunun sağlanmasıdır.**

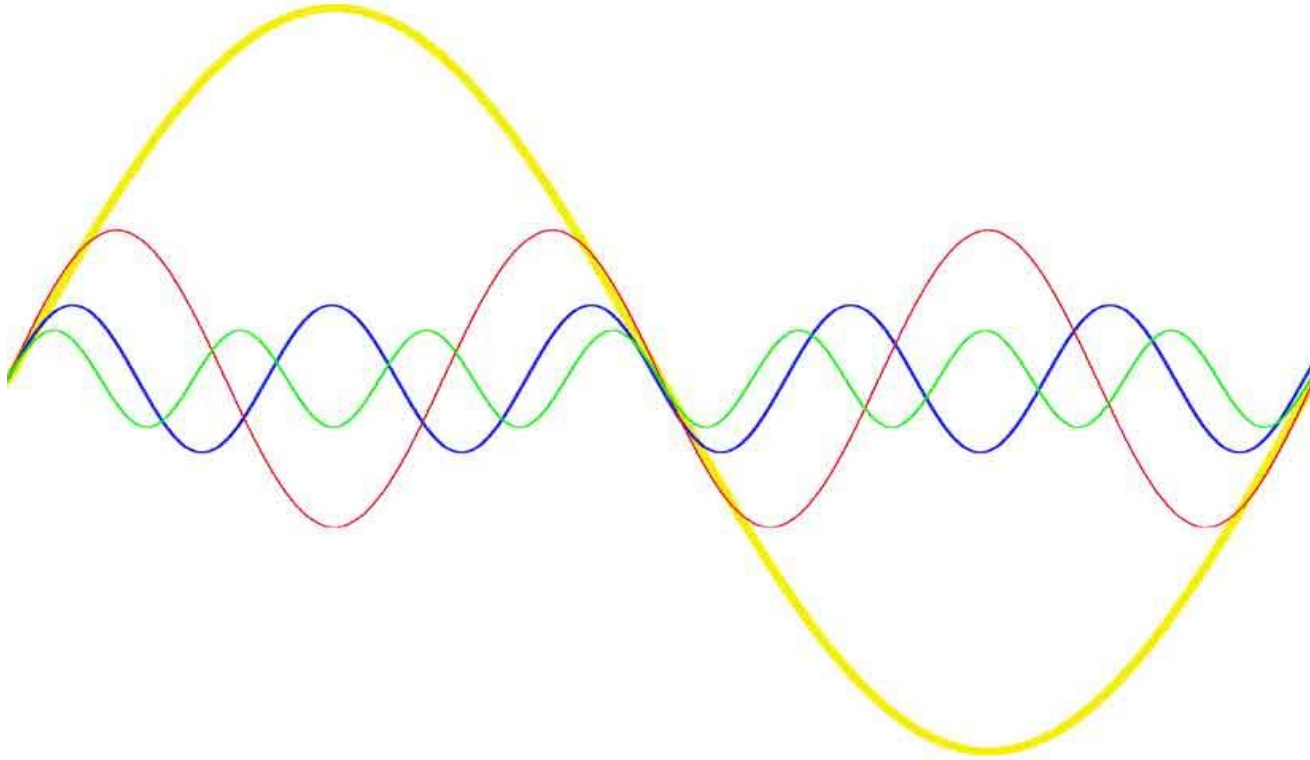
- ✓ Gerilim ve Akım tamamen dengeliyse, dalga şekli saf sinüs formunda ise ve frekans anma değerlerini koruyorsa tüketici için elektrik enerjisi kalitesi mükemmeldir.
- ✓ Güç kalitesi genellikle yükün karakteristiğinden, veya doğal ve dış etkenlerden ötürü; gerilim genliğinin değişmesi, darbeler içermesi, dengesizlik içermesi, kesintiye uğraması, dalga şeklinin sinüs formundan uzaklaşması ve frekans değişiklikleri nedeniyle bozulabilir.
- ✓ Güç kalitesi problemleri tüketici odaklı bir sorun olmasına rağmen çözümü üretici, iletili, dağıtıcı ve tüketici kısmında yapılacak çalışmalar ile çözülebilir.

- **TS EN 50160** – Genel Elektrik Şebekeleri Tarafından Sağlanan Elektriğin Gerilim Karakteristikleri
- **IEEE 519-2014** – Elektrik Güç Sistemlerinde Harmonik Kontrol Önerileri ve Uygulama Örnekleri
- **IEC 61000-4-30** – Deneyler ve ölçme teknikleri - Güç kalitesini ölçme metotları

**EPDK** - Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu 03.01.2013 tarihinde Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliğine göre güç kalitesi standartları ile ilgili düzenlemede reaktif güç ve harmonik bozulumla alakalı limitler açıkça belirtilmiştir.



Aktif Güç Tüketimi (kWh) / Reaktif Güç Tüketimi (kWh)



Elektrik sistemlerinde enerjinin üretilmesi ve dağıtılması sırasında akım ve gerilimin 50 Hz temel frekansta sinüsoidal dalga şeklinde olması idealdir.

Ancak gelişen güç elektroniği teknolojisi ile işletmelerdeki tristör ve IGBT gibi yüksek frekanslarda tetikleme yapabilen tüm yükler elektriksel çalışma karakteristiklerinden dolayı çeşitli frekans seviyelerinde **harmonik** adı verdiğimiz akımların oluşmasına neden olur.

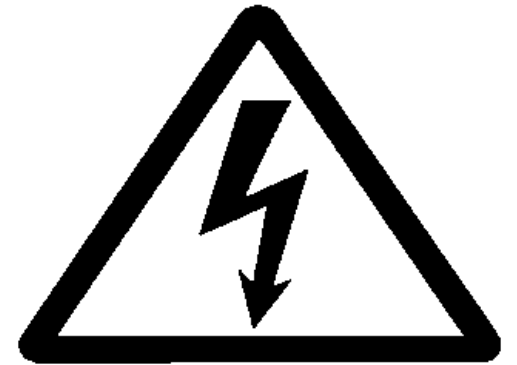
## Başlıca harmonik kaynakları;

- Güç Elektroniği içeren tüm cihazlar
  - Doğrultucular
  - Eviriciler
  - Çeviriciler
  - KGK'lar
  - Bilgisayarlar
  - Yazıcılar
  - Kompakt floresan lambalar
- Doyuma giden transformatörler
- Ark ocakları, kaynak makinaları



## Harmoniklerden Kaynaklanan Arızalar

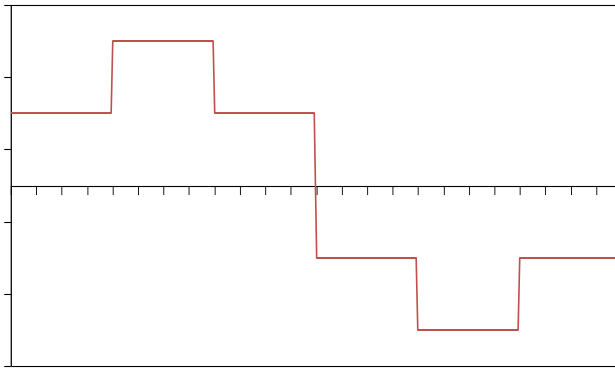
- Elektromekanik cihazlarda ve kablolarda ısınmalar,
  - Makinalarda mekanik titreşimler,
  - Ateşleme devrelerinde anormal çalışma,
  - CAD/CAM terminallerinde hafızalarında silinmeler,
  - Elektronik kart arızaları,
  - Güç kondansatörlerinde güç kayıpları, delinmeler ve patlamalar,
- kompanzasyon sigortalarında atmalar,
- Kesici ve şalterlerde açmalar,
  - Röle sinyallerinin bozulması ve anormal çalışması,
  - Enerji kayıpları' dır.



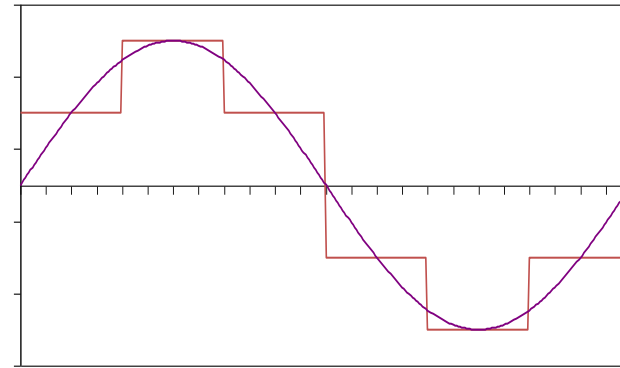


- Fourier analizi

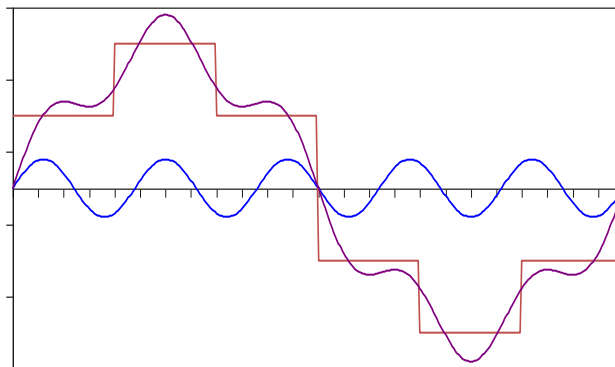
Bozulmuş dalga şekli



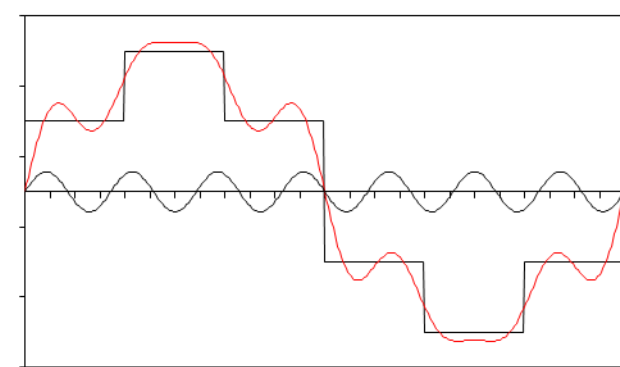
Temel bileşen (H1)



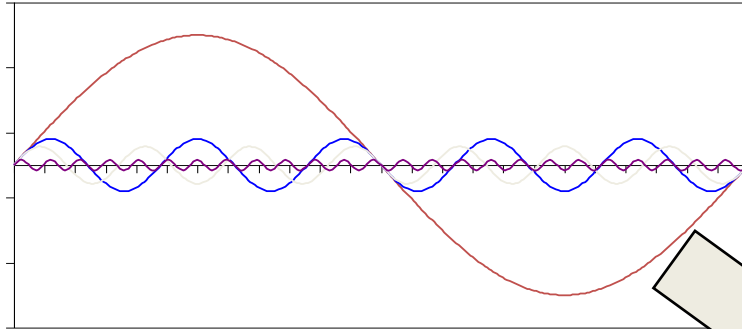
H1+H5



H1+H5+H7

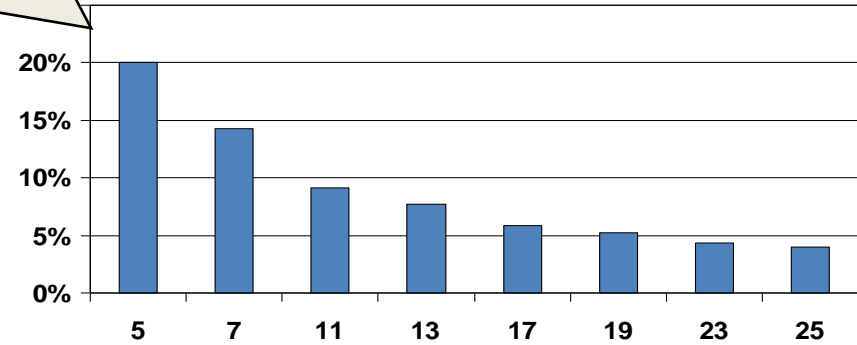


## Harmonik gösterimi



Zaman domeni

Frekans domeni



Güç şebekesi için, temel frekans 50 Hz olup, 150 Hz, 250 Hz gibi katları ise harmoniklerdir. (3<sup>rd</sup> ve 5<sup>th</sup> harmonik)

- Tek harmonikler (5<sup>th</sup>, 7<sup>th</sup>.....)
- Çift harmonikler (2<sup>nd</sup>, 4<sup>th</sup> ....)
- 3 ve 3'ün katı harmonikler (3<sup>rd</sup>, 9<sup>th</sup>, 15<sup>th</sup> ..)

Temel bileşene göre harmoniklerin bağıl miktarı

$$\text{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2} C_k^2}}{C_1}$$

(  % ile ifade edilir)

THD(U): anlamlı

THD(I): ??? Referans nedir ???

## IEEE 519 – 2014 Akım Harmoniği Limit Değerleri (120V – 69 kV)

**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
$< 20^c$	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

<sup>a</sup>Even harmonics are limited to 25% of the odd harmonic limits above.

<sup>b</sup>Current distortions that result in a dc offset, e.g., half-wave converters, are not allowed.

<sup>c</sup>All power generation equipment is limited to these values of current distortion, regardless of actual  $I_{sc}/I_L$ .

where

$I_{sc}$  = maximum short-circuit current at PCC

$I_L$  = maximum demand load current (fundamental frequency component)  
at the PCC under normal load operating conditions

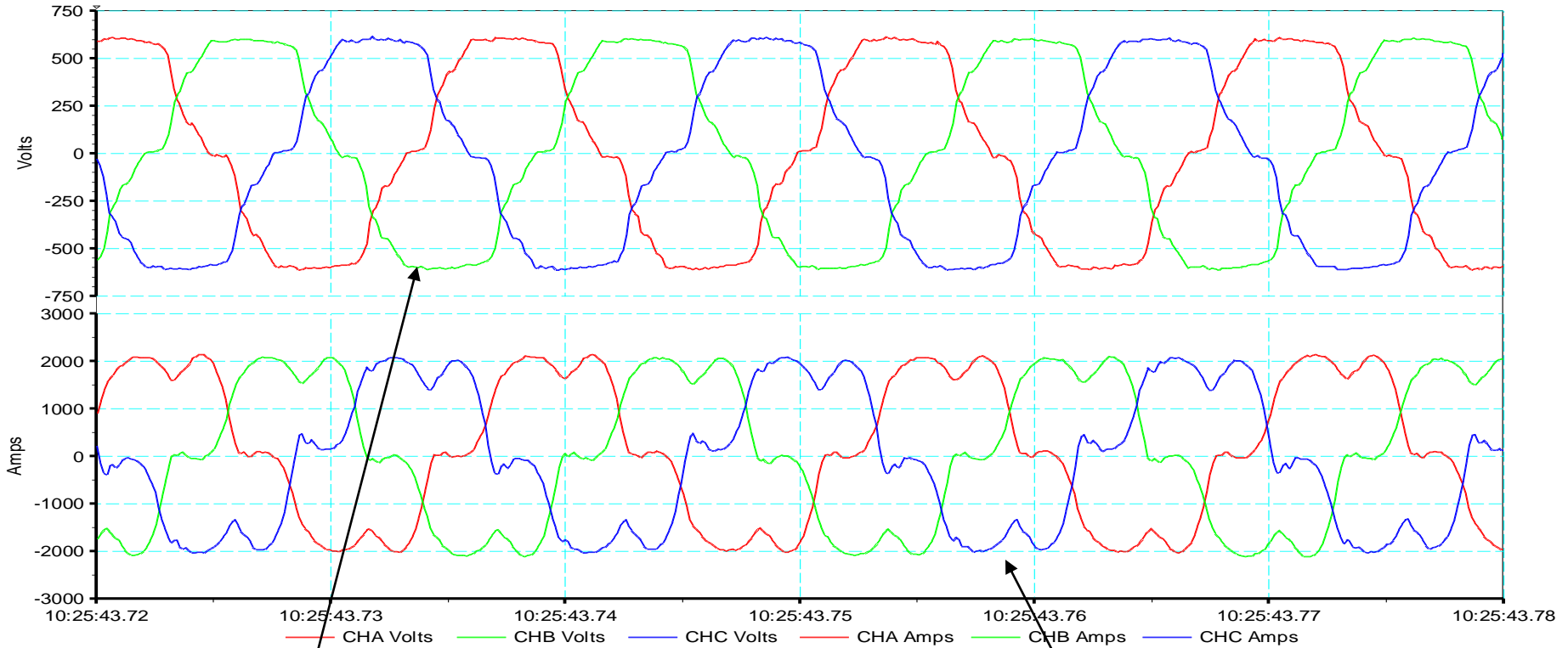
## IEEE 519 – 2014 Gerilim Harmoniği Limit Değerleri

**Table 1—Voltage distortion limits**

<b>Bus voltage <math>V</math> at PCC</b>	<b>Individual harmonic (%)</b>	<b>Total harmonic distortion THD (%)</b>
$V \leq 1.0 \text{ kV}$	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	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.

## ŞEBEKE GERİLİMİ ve HAT AKIMI DALGA ŞEKLİ



**Gerilim: THDV = 12%**

Waveform event at 22/11/01 10:25:43.533

**Akım: THDI = 27%**

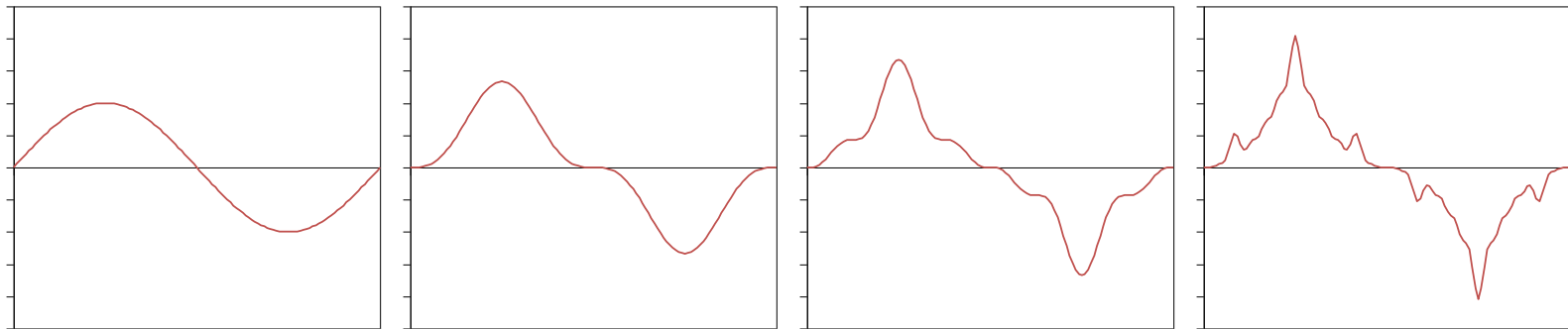
## Pik ve RMS bozulma

100%  $H_1$

+33%  $H_3$

+20%  $H_5$

...+4%  $H_{25}$



Peak	100%	133%	168%	204%
RMS	100%	105%	108%	110%
THD	0%	33%	38.6%	44%



- Anlamsız/nedensiz kesici açması
  - RMS artması ile → Termik
  - Pik artması ile → Manyetik
- Sigorta açması



Cihazlarda aşırı ısınma

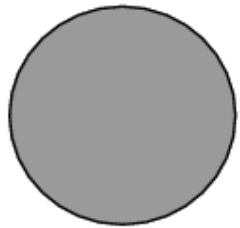
– Harmonik bozulma → RMS artması

$$\text{Kayıplar} \# R \cdot I_{\text{RMS}}^2 = R \cdot I_1^2 + R \cdot \sum I_h^2$$



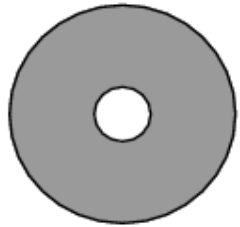


- Harmonik kaynaklı aşırı ısınma bazen elektriksel elemanlarda yanmaya yol açar!



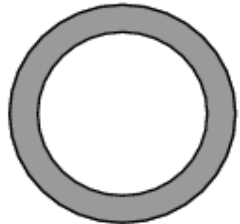
Cross-sectional area of a round conductor available for conducting DC current

"DC resistance"



Cross-sectional area of the same conductor available for conducting low-frequency AC

"AC resistance"

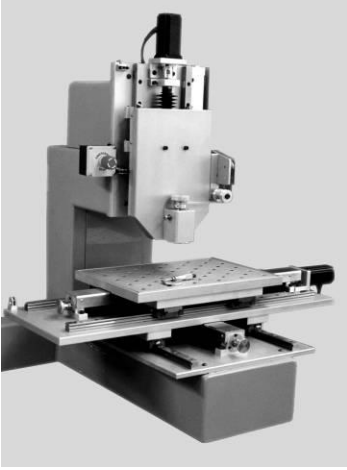


Cross-sectional area of the same conductor available for conducting high-frequency AC

"AC resistance"

## Motor problemleri

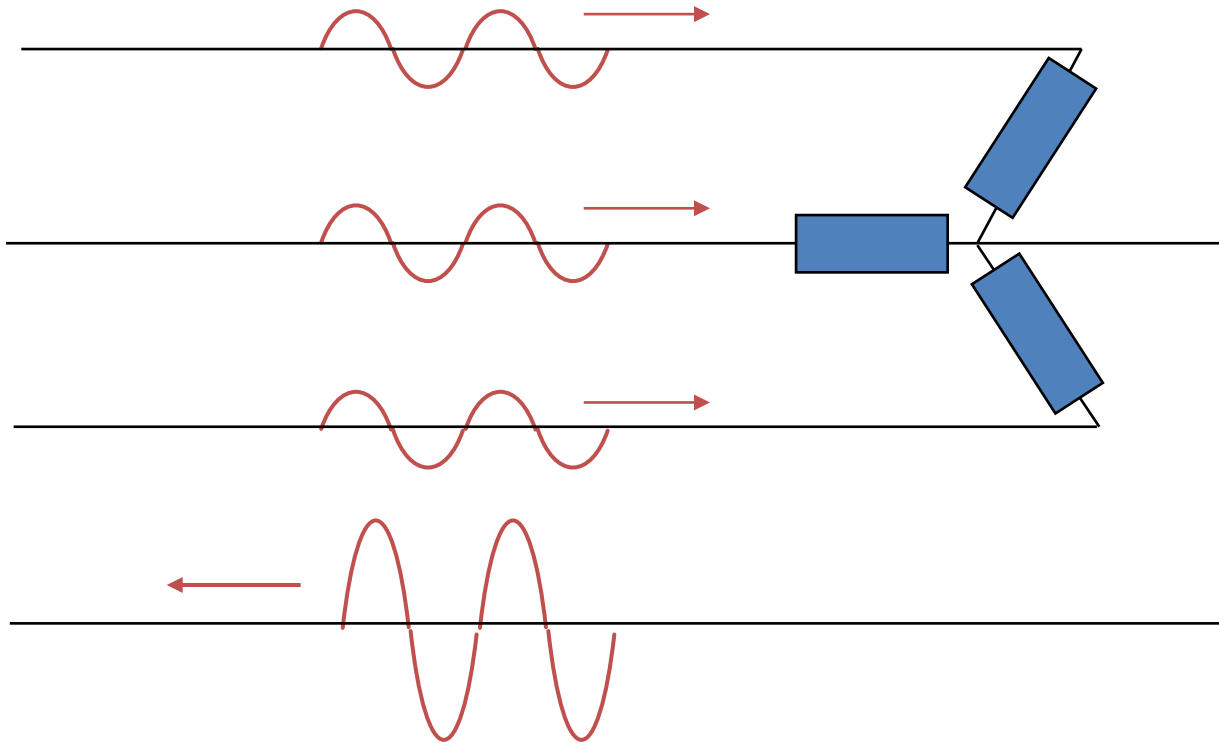
- Demir ve bakır kısımlarda ilave kayıplar (RMS artışı & deri etkisi)
- Motor şaftında zorlanma (negatif sequence harmonikler)



Elektronik hassas  
cihazlarda hasarlar

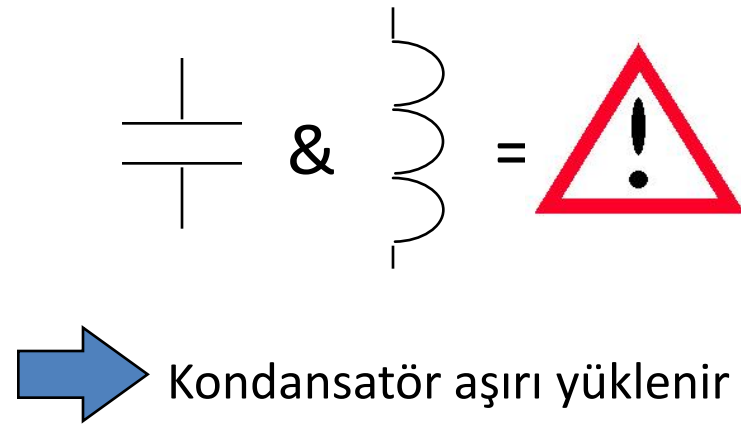
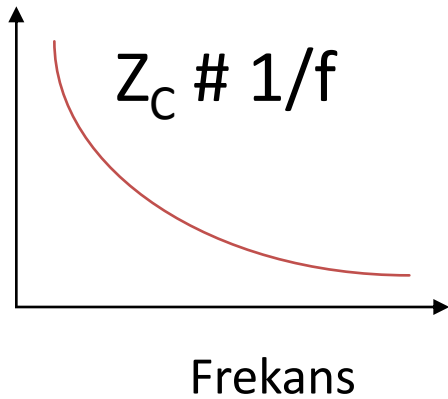
Elektronik haberleşme  
arayüzlerinde arızalar





- Nötr hattı akım artışı  
(zero-sequence harmonikler yüzünden)

## Kondansatör problemleri



**Frekansın artması ile empedans azalır!**  
**Rezonans problemleri ortaya çıkabilir!**

## Kondansatör problemleri



- Frekansın artmasıyla beraber empedansı azalan kondansatörler, yüksek frekanslara sahip harmonik akımlarının hedefi olurlar. Önlem alınmazsa, kondansatörler ciddi hasar alabilir!

## Harmoniklerden kaynaklı problemler - özet

### Aşırı ısınma (RMS akım artışı):

Nötr hattını aşırı yükler

Motor, trafo ve kabloları aşırı yükler

Hassas elektronik ekipmana zarar verir (referans noktası kayması)

### Dalga şekli bozulması (crest factor, CF):

Kesicilerde anlamsız / nedensiz açma

Sıfır geçiş arızaları

### Frekans etkisi (Yüksek frekans):

Kondansatör arızası

Deri etkisi

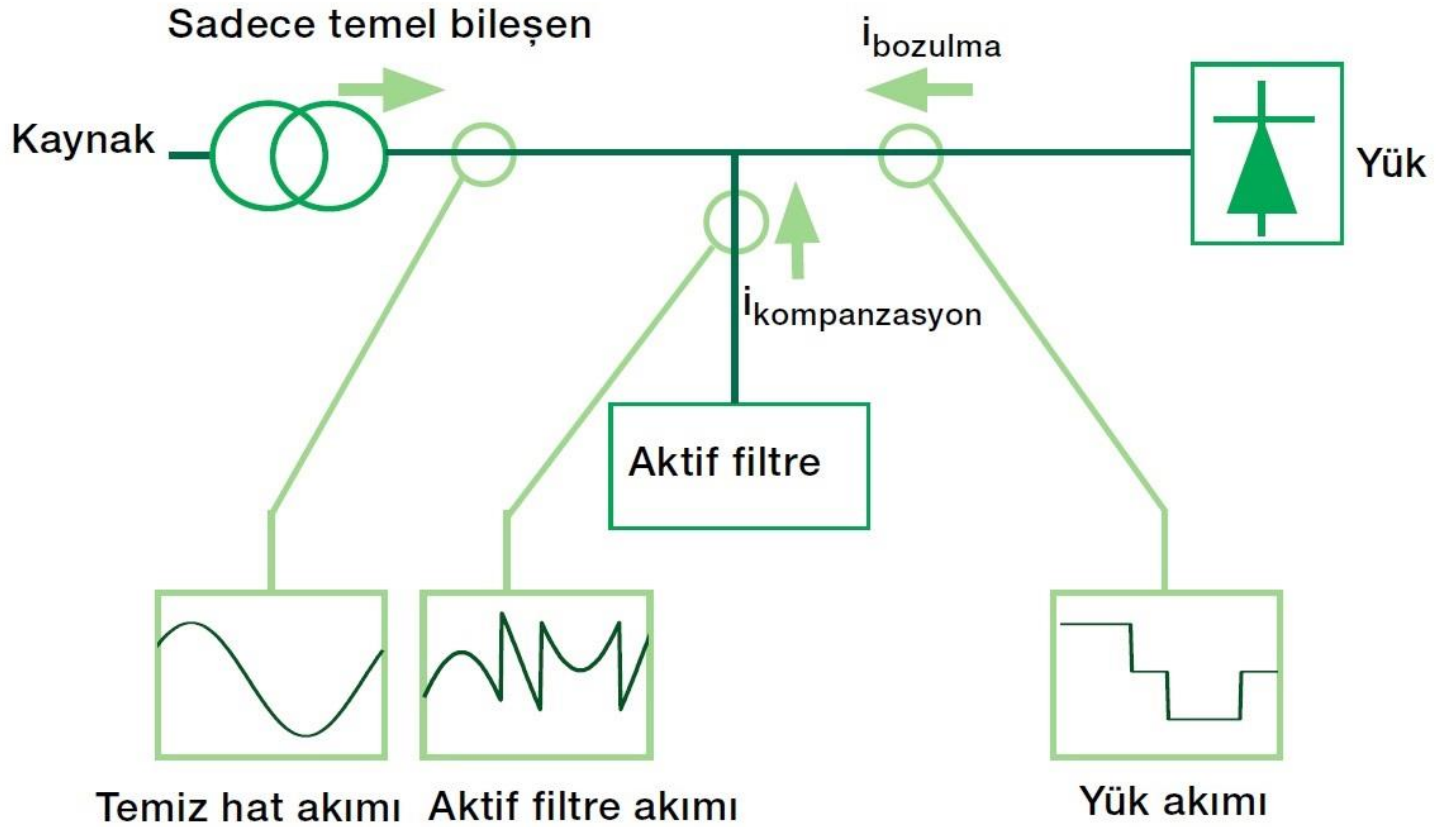
VS....



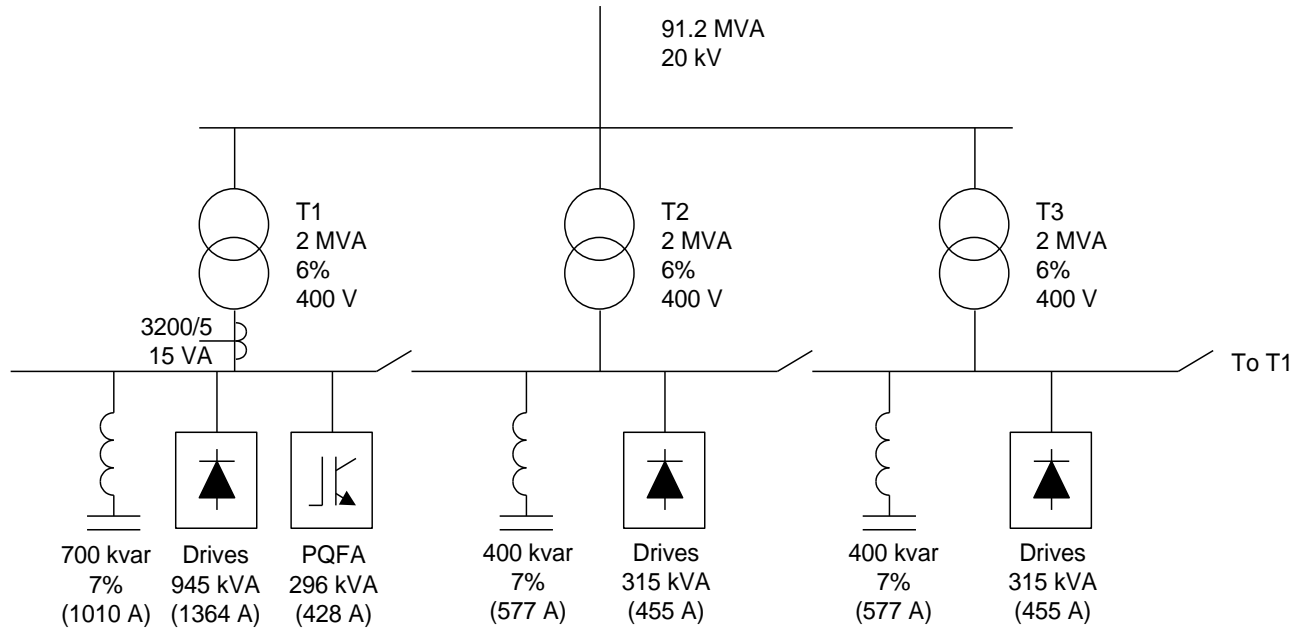
## Harmonik problemlerinin çözümü

Marjlı Trafo seçimi	<ul style="list-style-type: none"><li>• Harmonik akımlarına dayanıklı sargı ve nüveye sahip özel trafolar, K faktörlü trafolar gibi..</li></ul>
Harmonikli yükleri izole etme	<ul style="list-style-type: none"><li>• Harmonikli yükler için kirli bara uygulaması</li></ul>
Pasif filtreler	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tuned LC rezonans devreleri ile belirli harmonikleri süzme</li></ul>
Faz kaydırma	<ul style="list-style-type: none"><li>• Faz kaydırma trafoları ile bazı harmonikleri elimine etme</li></ul>
Yüksek teknoloji cihazlar	<ul style="list-style-type: none"><li>• IGBT teknoloji cihazlar neredeyse sıfır harmonik yayar!</li></ul>
Aktif filtreler	<ul style="list-style-type: none"><li>• Her harmonik akımının ters fazındaki harmoniği üretip şebekeye basarak harmonikleri yok etme</li></ul>

## Temel çalışma prensibi



## Örnek 1 – endüksiyon ısıtma uygulaması



Problem:

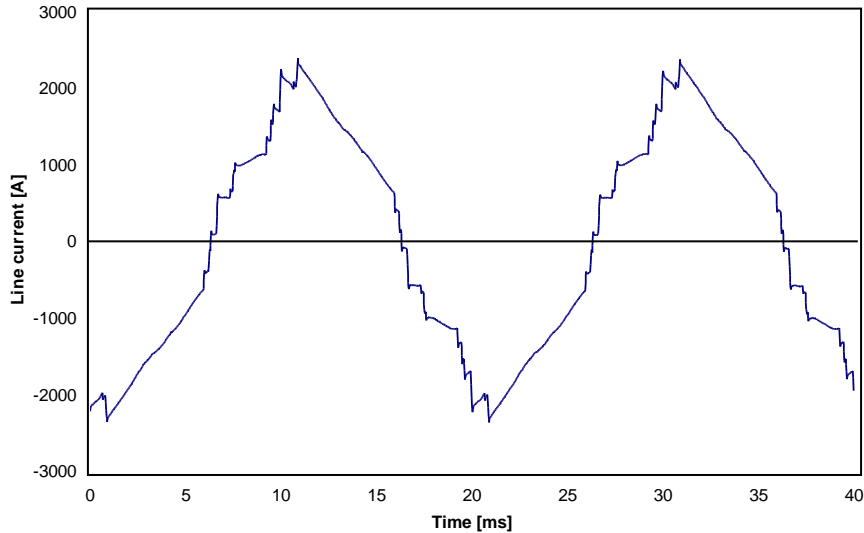
Yüksek frekanslı bileşenler üretim sisteminde sorunlar yaratıyor

Harmonikler kompanzasyon sisteminde arızalara yol açıyor

## Örnek 1 – endüksiyon ısıtma uygulaması

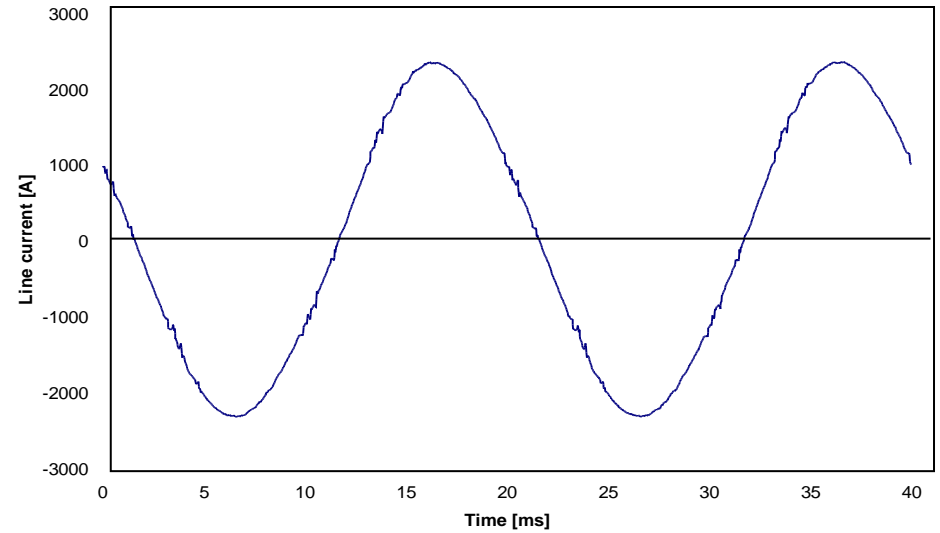
Çözüm: **ABB aktif filtre**

### Başlangıç hat akımı



**Yüksek frekanslı bileşenler**

### Filtrelenmiş hat akımı

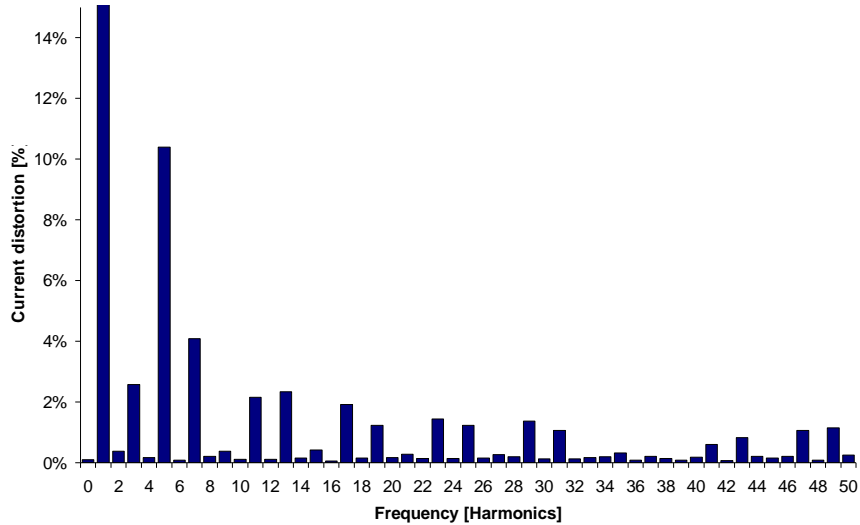


**Mükemmel sinüs dalgası**

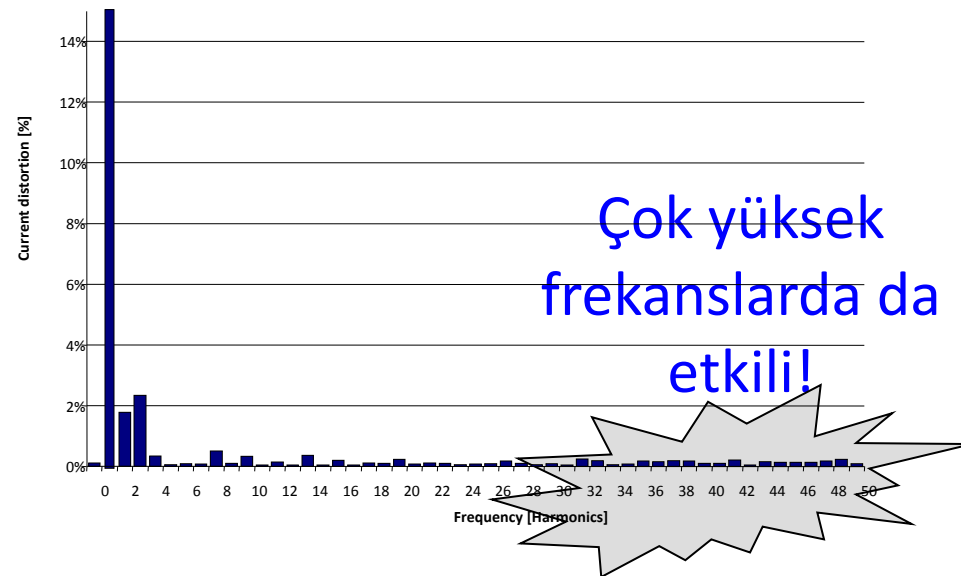
## Örnek 1 – endüksiyon ısıtma uygulaması

Çözüm: **ABB aktif filtre**

### Başlangıç hat akımı

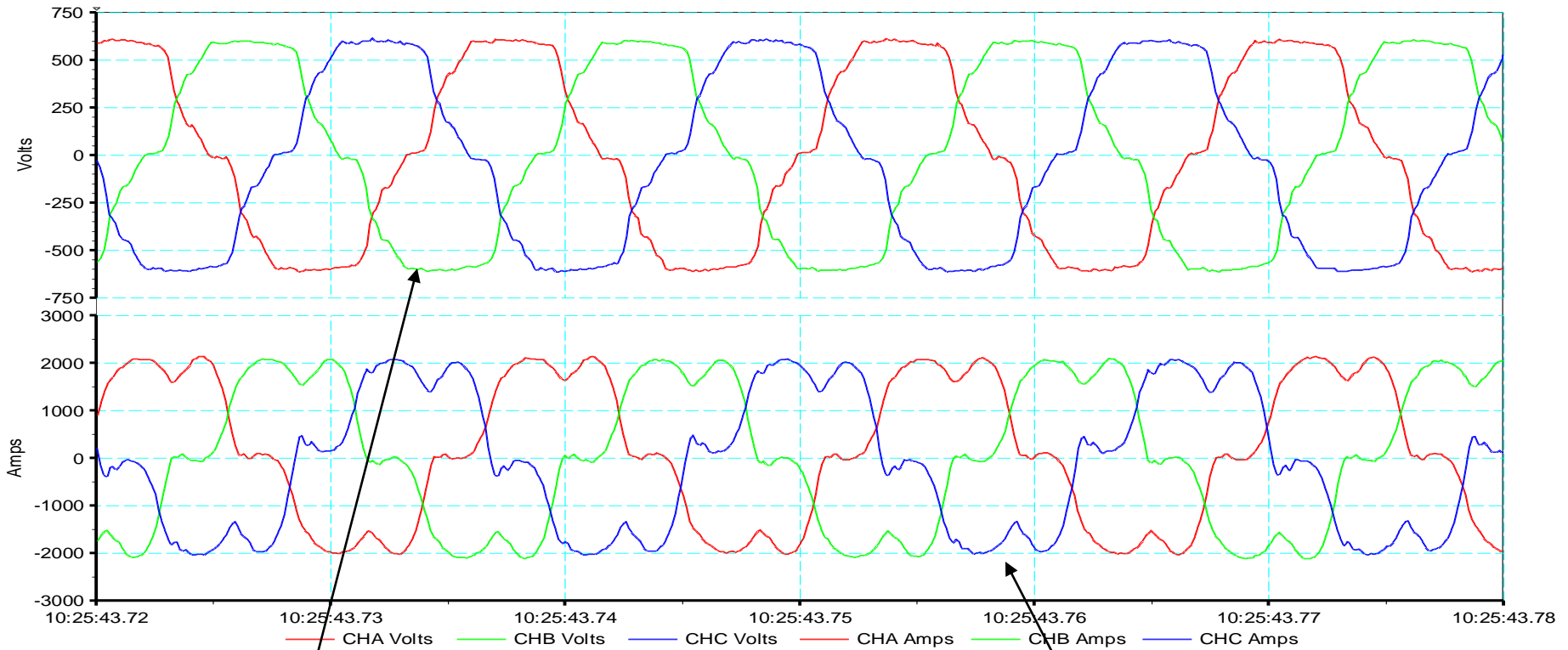


### Filtrelenmiş hat akımı



## Örnek 2 – sürücülü pompa uygulaması

### SÜRÜCÜLÜ POMPA GERİLİM&AKIM DALGA ŞEKİLLERİ



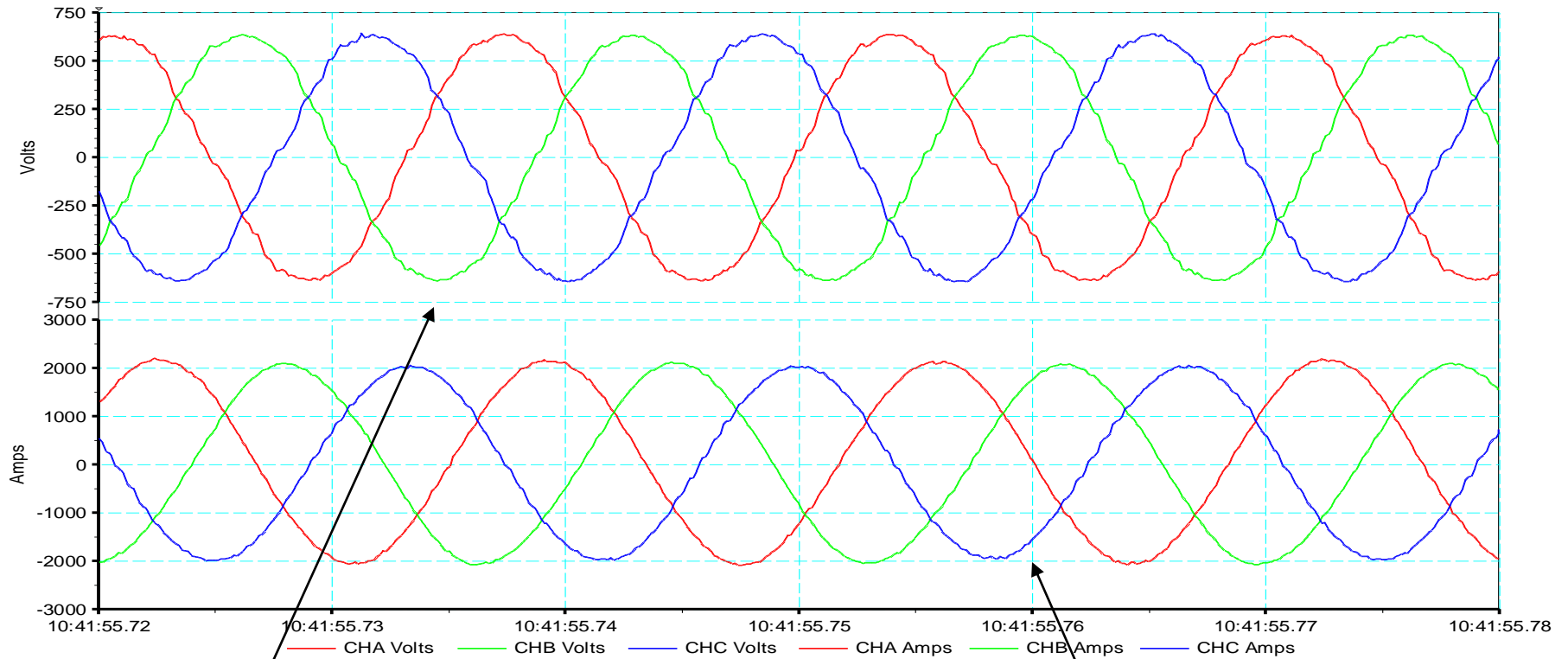
Gerilim: THDV = 12%

Waveform event at 22/11/01 10:25:43.533

Akım: THDI = 27%

## Örnek 2 – sürücülü pompa uygulaması

### FİLTRELENMİŞ GERİLİM&AKIM DALGA ŞEKİLLERİ



**Gerilim: THDV = 2%**

Waveform event at 22/11/01 10:41:55.533 **Akım: THDI = 3%**

## Örnek 3 – yük dengeleme fonksiyonu

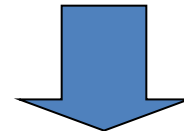
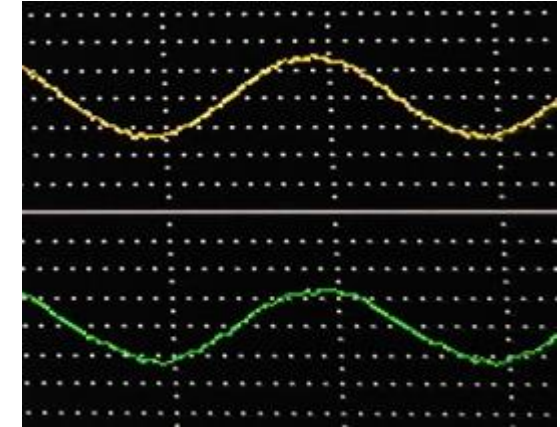
L1: 49.1 Arms  
L2: 5.3 Arms  
L3: 5.1 Arms



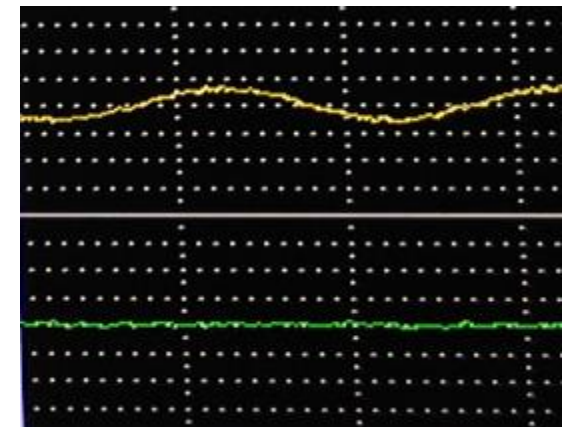
L1: 19.6 Arms  
L2: 19.4 Arms  
L3: 19.5 Arms



N: 44.1 Arms



N: 3.5 Arms





## Uygulama alanları

Otel, banka,  
data center



Baskı tesisi



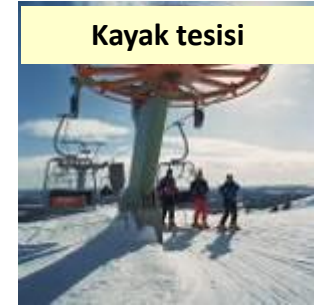
Kağıt



Petrol



Kayak tesisi



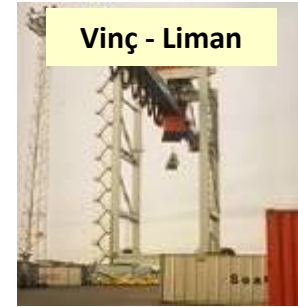
Santifrjü



Denizcilik



Vinç - Liman



Telekom



Su arıtma



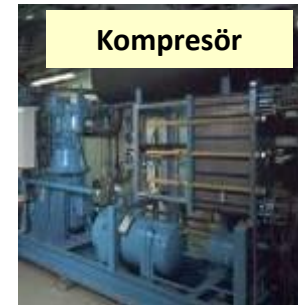
Petrokimya



Sargı



Kompresör



Değerli Vaktinizi Ayırdığınız İçin Teşekkürler.

**Cihan ŞENEL**  
Elektrik Mühendisi  
cihan.senel@aktif.net