

**T.C.  
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI**

**DENİZCİLİK**

**ALTERNATİF AKIM VE  
ELEKTROMANYETİZMANIN TEMELLERİ**

**Ankara, 2016**

- Bu modül, mesleki ve teknik eğitim okul/kurumlarında uygulanan Çerçeve Öğretim Programlarında yer alan yeterlikleri kazandırmaya yönelik olarak öğrencilere rehberlik etmek amacıyla hazırlanmış bireysel öğrenme materyalidir.
- Millî Eğitim Bakanlığınca ücretsiz olarak verilmiştir.
- **PARA İLE SATILMAZ.**

# İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR .....	iii
GİRİŞ .....	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1 .....	2
1. PERİYOT, GENLİK, FREKANS, DALGA BOYU ÖLÇÜMÜ.....	2
1.1. Alternatif Akım .....	2
1.2. Alternatif Akımın Elde Edilmesi .....	4
1.3. Sinüs Dalgası.....	6
1.4. Çevrim.....	6
1.5. Periyot .....	7
1.6. Alternans .....	8
1.7. Frekans .....	8
1.8. Açısız Hız.....	9
1.9. Dalga Boyu .....	10
1.10. Alternatif Akım Değerleri .....	11
1.10.1. Ani değer .....	11
1.10.2. Tepe-Vadi Değerler .....	12
1.10.3. Ortalama Değer.....	13
1.10.4. Etkin Değer.....	14
1.11. Alternatif Akımın Vektörlerle Gösterilmesi .....	16
1.11.1. Sıfır Faz .....	17
1.11.2. İleri Faz.....	17
1.11.3. Geri Faz .....	18
1.11.4. Faz Farkı .....	18
1.12. Alternatif Akımın Etkileri .....	19
1.12.1. Isı Etkisi.....	19
1.12.2. Kimyasal Etkisi.....	21
1.12.3. Manyetik Etkisi.....	22
UYGULAMA FAALİYETİ .....	24
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	27
ÖĞRENME FAALİYETİ-2.....	29
2. REZONANS DEVRELERİ .....	29
2.1. A.C Devrelerde Bobinler .....	29
2.1.1. Endüktans .....	30
2.1.2. AC’de Gösterdiği Özellikler.....	31
2.1.3. AC’de Seri ve Paralel Bağlantıları .....	33
2.2. A.C Devrelerinde Kapasitörler.....	35
2.2.1. Kapasitans.....	35
2.2.2. A.C’de Gösterdiği Özellikler.....	36
2.2.3. A.C’de Seri ve Paralel Bağlantıları .....	38
2.3. Alternatif Akım Devre Çeşitleri.....	40
2.3.1. Seri Devreler.....	40
2.3.2. Paralel Devreler .....	47
2.3.3. Rezonans Devreleri.....	52
2.3.4. Alternatif Akımda Güç .....	60
2.3.5. Endüktif Yüklü (R-XL) Devrelerde Güç Üçgeni .....	61
2.3.6. Güç Katsayısı.....	64

---

2.3.7. Üç Fazlı Sistemler .....	65
UYGULAMA FAALİYETİ .....	70
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	72
ÖĞRENME FAALİYETİ-3 .....	76
3. ELEKTROMANYETİZMA .....	76
3.1. Akım Geçen İletken Etrafındaki Manyetik Alan .....	76
3.2. Akım Geçen Bobinin Çevresindeki Manyetik Alan .....	77
3.3. Manyetik Alan İçinde Bulunan İletkenin Hareketi .....	78
3.4. Elektromanyetizma Kullanım Örnekleri .....	79
3.4.1. DC Motorlar .....	79
3.4.2. Alternatörler.....	81
UYGULAMA FAALİYETİ .....	82
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME .....	86
MODÜL DEĞERLENDİRME .....	88
CEVAP ANAHTARLARI .....	89
KAYNAKÇA .....	91

# AÇIKLAMALAR

<b>ALAN</b>	<b>Denizcilik</b>
<b>DAL</b>	<b>Gemi Elektronik ve Haberleşme</b>
<b>MODÜLÜN ADI</b>	<b>Alternatif Akım ve Elektromanyetizmanın Temelleri</b>
<b>MODÜLÜN SÜRESİ</b>	40/36
<b>MODÜLÜN AMACI</b>	Birey/öğrenciye alternatif akım ve elektromanyetizma temel bilgi ve becerileri kazandırmaktır.
<b>MODÜLÜN ÖĞRENME KAZANIMLARI</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Osiloskop ekranında belirlenmiş olan bir sinyalin periyod, genlik, frekans, dalga boyu değerlerini ölçebileceksiniz.</li><li>2. Rezonans devrelerinde gerekli hesaplamaları yapabileceksiniz</li><li>3. Elektro manyetizma deneyi yapabileceksiniz.</li></ol>
<b>EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI</b>	<b>Ortam:</b> Elektro mekanik atölyesi <b>Donanım:</b> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Dirençler, kondansatörler, bobinler, avometre ve osiloskop gibi ölçüm cihazları, transformatörler.</li><li>2. A.C motorlar, deney bordu, iletken teller, bağlantı kabloları</li></ol>
<b>ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME</b>	Modül içinde yer alan her öğrenme faaliyetinden sonra verilen ölçme araçları ile kendinizi değerlendireceksiniz. Çoktan seçmeli sorular, doğru/yanlış soruları ve test aletleriyle gerçekleştirilecek ölçme işlemleri sorularıyla öğrenme durumunuzu izleyeceksiniz

# GİRİŞ

**Sevgili Öğrenci,**

Alternatif akım ve manyetizmanın esasları modülünde edineceğiniz bilgiler, elektrik ve elektronik teknolojisi alanında kariyer sahibi olmak isteyen herkesin edinmesi gereken ve daha sonra karşılaşacağınız karmaşık devre analizlerinde mutlaka kullanmanız gereken bilgilerdir. Modül boyunca karşılaşacağınız matematik ve trigonometrik eşitliklerin çokluğu yılmınlığa neden olmamalıdır. Birkaç temel teoremin öğrenilmesi veya tekrar gözden geçirilmesi bu modülde verilen bilgilerin kolaylıkla zihninizde yer etmesine yardımcı olacaktır.

Bu modülü tamamladığınızda alternatif akımın esasları, elde edilmesi, kullanıldığı yerler, alternatif akımın farklı ölçme metodlarını kullanarak ölçülmesi konularında uygulamalar yapabiliyor olacaksınız.

# ÖĞRENME FAALİYETİ-1

## ÖĞRENME KAZANIMI

Bu öğrenme faaliyeti sonunda alternatif akım ile ilgili temel bilgileri edinecek ve alternatif akımın temel değerlerini ölçerek hesaplamalarını yapabileceksiniz.

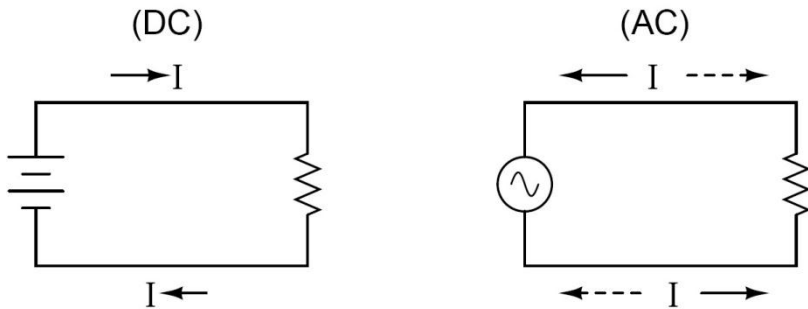
## ARAŞTIRMA

- Alternatif akım üretim ve iletim teknikleri hakkında araştırma yaparak edindiğiniz bilgileri sınıf ortamında arkadaşlarınızla paylaşınız.
- Alternatif akımın elde edildiği makineler olan alternatörler hakkında bilgi toplayarak arkadaşlarınızla paylaşınız
- Alternatif akım eğrisinin neden sinüsoidal olduğu hakkında bilgi toplayarak edindiğiniz bilgileri arkadaşlarınızla paylaşınız
- Elektrikli cihazların prizlerin üzerinde bulunan yazıların (220V AC, 50hz vb.) anlamlarını araştırınız.

## 1. PERİYOT, GENLİK, FREKANS, DALGA BOYU ÖLÇÜMÜ

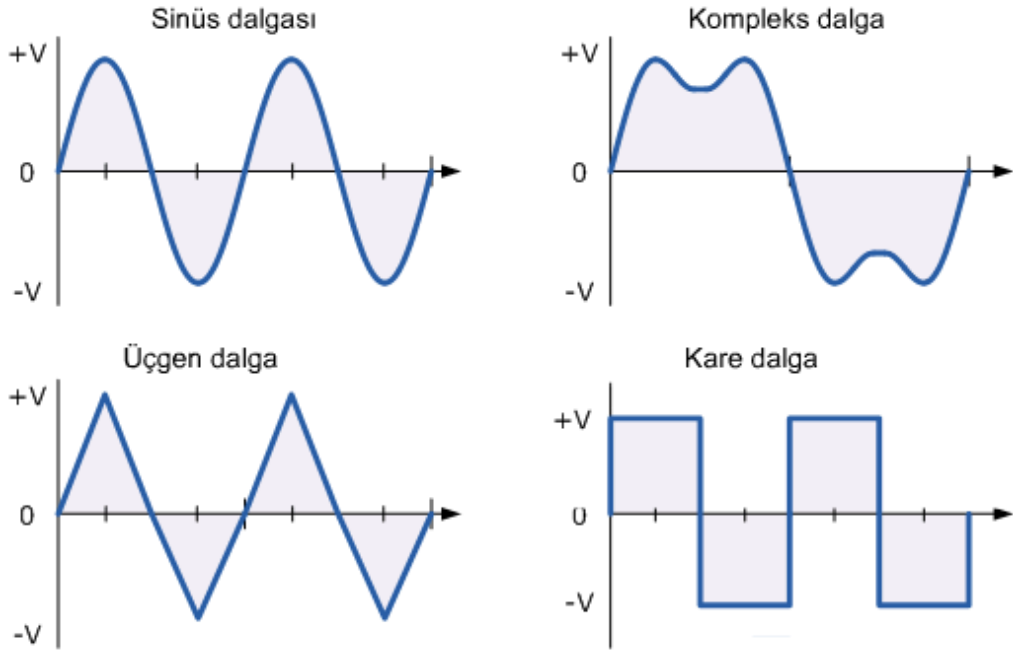
### 1.1. Alternatif Akım

Alternatif Akım, zamana göre yönü ve şiddeti değişen akım türüdür. Yani elektronların iki yönde de hareket eder ve birim zamanda geçen elektron sayısı değişkendir. Elektrik üretim santrallerinde, Alternatör diye isimlendirilen mekanik enerjiyi, elektrik enerjisine çeviren dönüştürücüler yardımı ile üretilir. Alternatif Akım' da elektronlar iki yönde de hareket ederken, Doğru Akım' da elektronlar tek yönde hareket etmektedir. Aşağıdaki şekilde (Şekil 1.1.) Doğru Akım ve Alternatif Akım yönleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 1.1.: Doğru ve Alternatif Akım Yön Karşılaştırması

Doğru akım ve alternatif akım devrelerinde akım yönleri Şekil1.1’de görüldüğü gibidir. D.C. gerilim kaynağı bulunan devrede akım, üreticin “+” kutbundan “-” kutbuna doğru direnç üzerinden geçerek ulaşır(Bu bir kabulden ibarettir. Elektronların yönü “-“ kutuptan “+” kutuba doğrudur). A.C gerilim kaynağı bulunan devrede ise kaynağın sabit bir “+” ya da “-” kutbu yoktur. Kutuplar sürekli değiştii için her kutup değişiminde direnç üzerinden geçen akımın da yönü değişecektir. Bu şekilde, zamana göre yönü ve şiddeti değişen akıma alternatif akım denir. Alternatif akımın direnç üzerinden geçmesini sağlayan gerilim kaynağına ise alternatif gerilim kaynağı denir.



**Şekil 1.2.: Alternatif Akım Örnekleri**

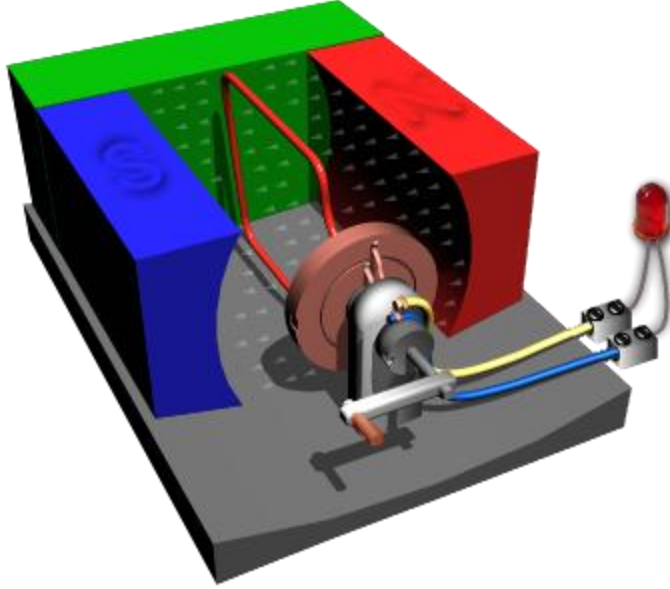
Bir alternatif gerilim kaynağının uçlarından birinin potansiyeli toprağı göre sıfır (0) iken diğer uçun potansiyeli sürekli artı (+) ve eksi (-) şeklinde farklı değerler almaktadır. Kaynağın sıfır potansiyelli ucu nötr olarak adlandırılırken diğer uç “faz” ya da “canlı uç” olarak adlandırılmaktadır. Şekil 1.2’de farklı alternatif kaynaklarına ait gerilim eğrileri görülmektedir.

Üretim ve iletim avantajlarının dışında, alternatif akım kullanımda da bazı avantajlara sahiptir. Örneğın alternatif akım makinelerinin daha basit yapıda ve daha az bakım gerektirmeleri ve doğru akım ihtiyacı olan cihazlar için kolaylıkla doğru akıma çevrilebilmesi alternatif akımın başlıca üstünlükleridir. Doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesi işleminin daha karmaşık ve daha pahalıdır.



## 1.2. Alternatif Akımın Elde Edilmesi

Alternatif akım ya da gerilimin elde edilmesinde alternatör denilen dönüştürücüler kullanılır. Bir fazlı alternatör modeli ve A.C'nin elde edilmesi Resim 1.1 ve Şekil 1.3'te gösterilmiştir. Alternatör içerisinde dönen parçaya Rotor, Rotorun etrafındaki sabit iletken sarımlarına ise Stator adı verilir. Bu resimde Stator bir mıknatıstan, Rotor ise bir tur iletken çerçeveden meydana gelmektedir. Büyük güçlü alternatörlerde Rotor bir elektromıknatıs, Stator ise çok miktarda iletken sarımlarından oluşmaktadır.

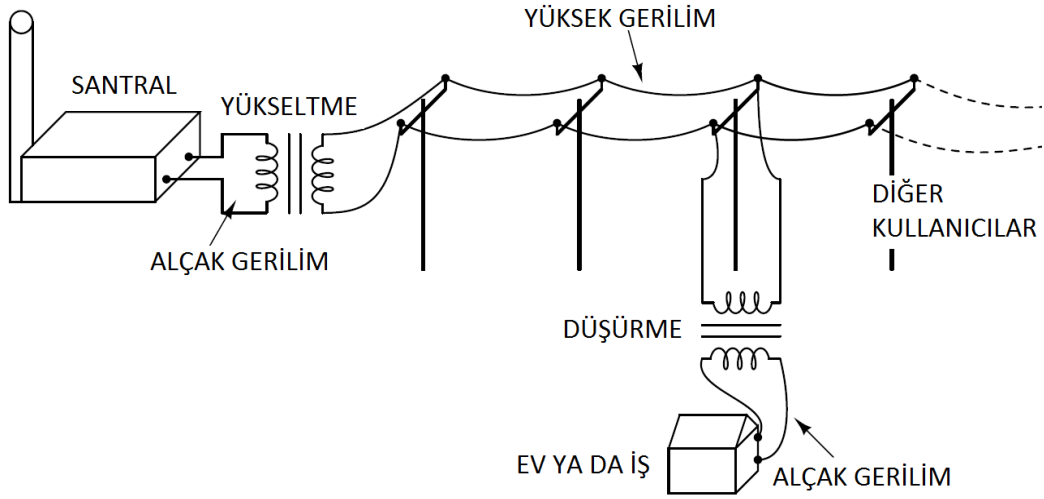


**Resim 1.1: Bir fazlı alternatör modeli**

Manyetik alan içinde tel çerçeve dönerken bir tam devir için ( $360^\circ$ lik dönüş için) geçen süre  $T$  ise bu süre içinde akımın zamana bağlı değişimi, aşağıdaki şekilde gibidir. Tel çerçevenin harekete başladığı an ile  $T/4$  zaman aralığında akım, sıfırdan pozitif maksimum değerine ulaşır.  $T/4$  ile  $T/2$  zaman aralığında akım maksimum değerinden en küçük değerine iner.  $T/2$  ile  $3T/4$  zaman aralığında sıfırdan negatif maksimum değerine ulaşır.  $3T/4$  ile  $T$  zaman aralığında ise akım ters yönde maksimum değerinden başlangıç konumuna döner. Böylece tel çerçeve  $360^\circ$  dönmüş olur. Akım bu esnada iki kez yön değiştirir.



Şekil 1. 3.: Alternatör içerisinde 90 derecelik dilimlerle işaretin elde edilmesi

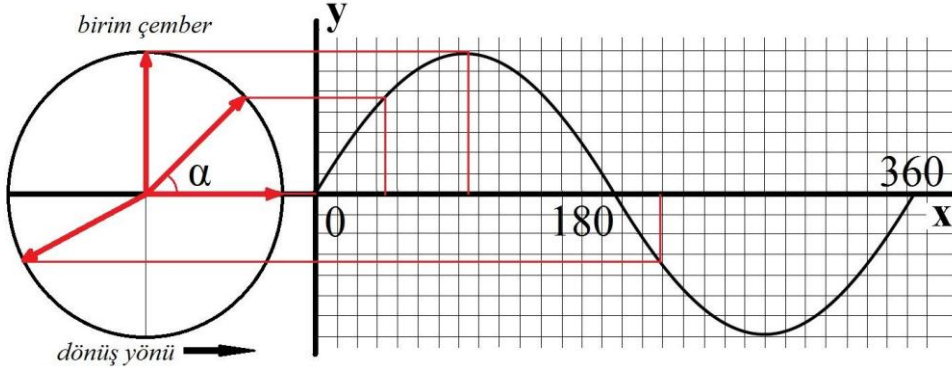


Şekil 1.4: A.C gerilimin üretilmesi ve aktarılması

A.C gerilim, elektrik santrallerinde çok daha büyük alternatörler yardımıyla üretilir. Üretilen bu A.C gerilim iletim hatlarında meydana gelebilecek kayıpları azaltabilmek için transformatörler ile yükseltilir. Gerilim yükseltilirken akım düşürülerek iletim hatlarında kullanılan iletkenlerin çapları da küçültülmüş olur. Son kullanıcıya ulaştırılmadan önce bu yüksek gerilim tekrar transformatörler ile düşürülür. Bu sefer gerilim düşürülürken akım yükseltilmiş olur (Şekil1.4).

### 1.3. Sinüs Dalgası

Alternatör ile A.C gerilim üretilirken akım yönü zamanın bir fonksiyonu olarak sürekli değişir. Alternatör ile üretilen bu alternatif akım ya da gerilimin şekli sinüs dalgası (sinüsoidal sinyal-işaret) olarak isimlendirilir.



Şekil 1.5: Sinüs dalgası

Sinüs dalgası alternatörün dairesel dönme hareketinden dolayı oluşan bir şekildir. Şekil 1.5 incelendiğinde birim çember içinde dönme hareketini temsil eden birim vektör görülebilir. Vektörün başlangıç noktası çemberin merkezidir. Sıfır noktasından ( $0^\circ$ ) başlayıp bir tam dönme hareketini yaptıktan sonra tekrar başlangıç noktasına ( $0^\circ$  ya da  $360^\circ$ ) dönmesi esnasında vektörün çember üzerinde kestiği noktalar koordinat düzlemine aktarılır ve daha sonra bu noktalar birleştirilirse ortaya sinüs dalga şekli çıkacaktır. Sinüs sinyalinin gösterildiği düzlemde “x” eksenini hareket açısını ya da açı zamanını, “y” eksenini ise oluşan alternatif akım ya da gerilimin genliğini gösterir.

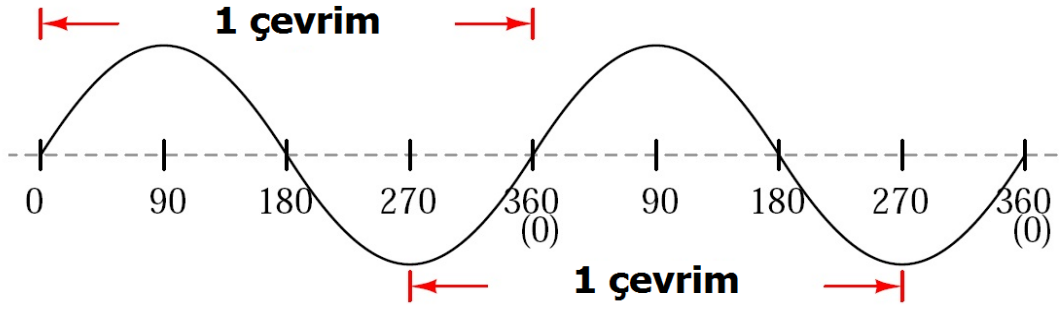
Birim çemberde vektörün konumu (koordinat düzleminde x eksenine karşılık gelir) açı, zaman ya da radyan cinsinden belirtilebilir. Tablo 1.1’de radyan cinsinden verilen açıların, derece cinsinden karşılıkları verilmiştir.

DERECE	0	30	45	60	90	180	270	360
RADYAN	0	$\pi/6$	$\pi/4$	$\pi/3$	$\pi/2$	$\pi$	$2\pi/3$	$2\pi$

Tablo 1.1: Radyan-Derece Karşılıkları

### 1.4. Çevrim

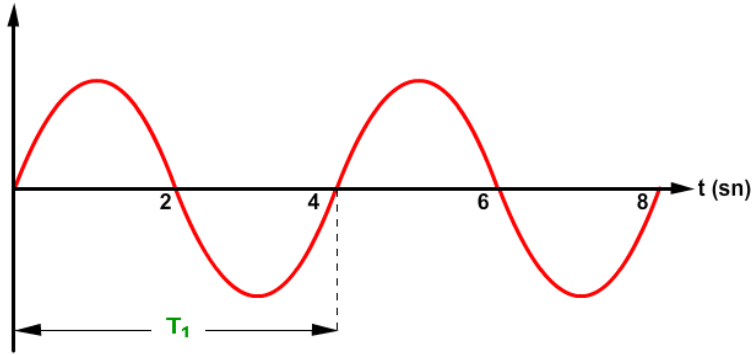
Çevrim (cycle), alternatörün bir tam tur dönmesiyle meydana gelen dalga şeklidir. Sinüs dalgasında bir çevrim gerçekleştikten sonra sinyal kendini tekrarlamaya başlar. Şekil 1.6’da görüldüğü gibi bir çevrimi tespit edebilmek için sinüs sinyalinde başlangıç olarak kabul edilen açı değerinden (x düzleminde)  $360$  derece ileri ya da geri gidilir. Başlangıç ve bitiş noktaları arasında kalan dalga şekli bir çevrimi gösterir.



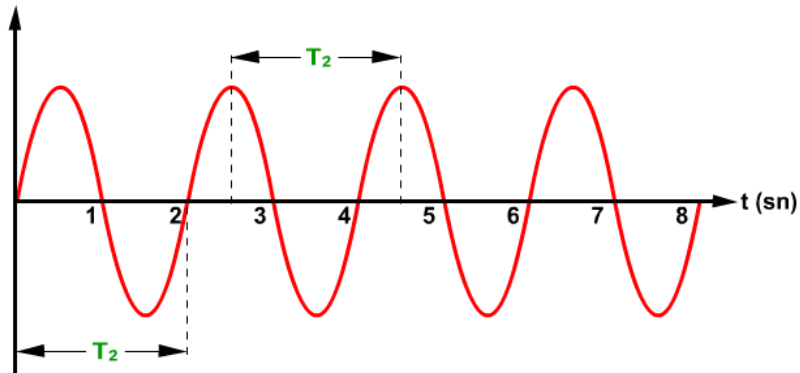
Şekil 1.6: Sinüs dalgasında çevrim

## 1.5. Periyot

Bir çevrimin gerçekleşmesi için geçen süreye periyot denir. Periyot birimi saniye (s)dirve "T" ile gösterilir. Şekil1.7 incelendiğinde periyodu  $T_1$  ile gösterilen sinüs sinyalinin bir saykılını 4 saniyede tamamladığı yani periyodunun  $T_1=4s$  olduğu görülebilir. Periyodu  $T_2$  ile gösterilen sinüs sinyali ise (Şekil 1.8) bir saykılını 2 saniyede tamamlamıştır. Yani bu sinyalin periyodu  $T_2=2s$  olur.



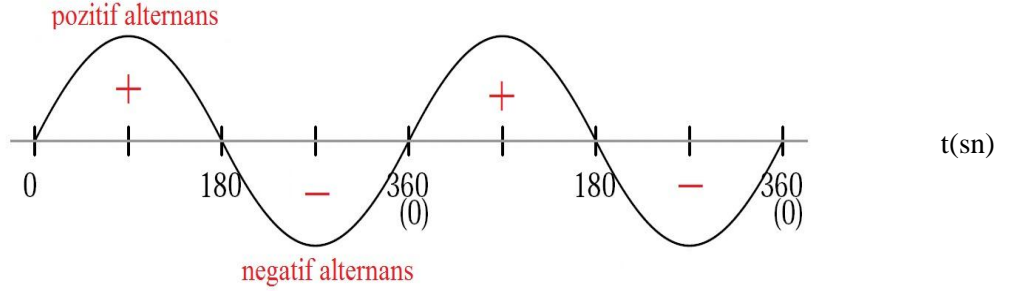
Şekil 1.7: Sinüs dalgasında periyot



Şekil 1.8: Sinüs dalgasında periyot

## 1.6. Alternans

Bir sinüs sinyalinin bir çevrimi içerisindeki pozitif değerlerin oluşturduğu eğri “pozitif alternansı”, negatif değerlerin oluşturduğu eğri “negatif alternansı” temsil eder.(Şekil 1.9)



Şekil1.9: Sinüs dalgasında alternans

## 1.7. Frekans

Frekans, sinüs sinyalinin bir saniyede tekrarlanan çevrim sayısıdır. Bir A.C sinyalin frekansından bahsedebilmek için o sinyalin bir periyoda sahip olması gerekir. Diğer bir deyişle, bir A.C sinyal belirli bir çevrimi sürekli tekrarlıyorsa o sinyalin frekansından söz edilebilir.

Bir saniyede oluşan çevrim sayısını hesaplamak için, 1 saniyeyi periyot değerine böleriz.

$$f = \frac{1}{T}$$

$$f = \frac{1}{T}$$

Bu denklemde  $f$  sinyalin frekansını belirtir ve birimi hertz (Hz)dir.En çok kullanılan üst katları Kilohertz ( $1\text{KHz}=10^3\text{Hz}$ ), Megahertz ( $1\text{MHz}=10^6\text{Hz}$ ) ve Gigahertz[(giga, ciga diye okunur.)  $1\text{GHz}=10^9\text{Hz}$ ]dir.  $T$  periyottur ve birimi saniye (s)dir.

Formülün kullanımı daha iyi anlamak için aşağıdaki örnekleri çözelim.

**Örnek 1:**  $T = 0,25$  s periyoda sahip sinyalin frekansı:

$$f = \frac{1}{0,25\text{s}} = \frac{100}{25} = 4\text{Hz}$$

**Örnek 2:** T= 0,5 s periyoda sahip sinyalin frekansı:

$$f = \frac{1}{0,5s} = \frac{10}{5} = 2Hz \text{ olacaktır.}$$

**Örnek 3:** Frekansı 100Mhz olan bir sinyalin periyodu:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{100.10^6} = 0,01. 10^{-6} = 0,01 \mu s = 10ns$$

**Örnek 4:** Frekansı 50Hz olan bir sinyalin periyodu:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0,02 = 20ms$$

Frekans, aynı zamanda alternatör içerisindeki Rotorun bir saniyede kaç tur attığını ifade eder. Rotor bir saniyede 50 tur atıyorsa, frekans 50Hz olacaktır. Buradaki tur diye ifade ettiğimiz 360 derecelik Rotor hareketinin sonucunda, Stator uçlarında bir çevrim işareti meydana gelir.

Alternatif gerilim santrallerde üretilir ve insanların kullanımı için evlere ve işyerlerine taşınır. Kullanılan bu sinyalin sabit bir frekansı vardır. Avrupa ülkelerinde şebeke geriliminin frekansı 50Hz, ABD’de ise 60Hz’dir. Yani evlerde kullanılan A.C gerilim saniyede bir çevrimi 50 ya da 60 kez tekrar eden bir dalga şeklindedir.

## 1.8. Açısal Hız

Alternatör içerisindeki dönen parça olan Rotorun, bir saniyede taradığı dairesel açığa “Açısal Hız” denir. Açısal hız  $\omega$  (omega) ile gösterilir. Frekans bir saniyedeki çevrim sayısını verdiği için, 360 derece değerinin radyan karşılığı olan  $2\pi$  değeri ile frekansın çarpımından hesaplanır.

Açısal Hız :

$$\omega = 2\pi f$$

Herhangi bir t anındaki açı değeri( $\alpha$ ):

$$\alpha = \omega t = 2\pi f t$$

Ani değer, yani sinüs sinyalinin herhangi bir t anındaki değerini hesaplamada açısal hız değeri kullanılır. Sinüs sinyalinin matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$y(t) = A. \sin(\omega t + \varphi)$$

Burada:

A : Sinyalin genliğini, yani sinyalin alabileceği en büyük gerilim değerini,

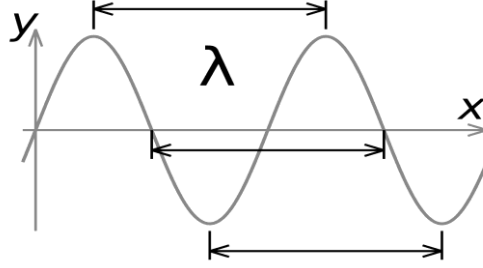
$\omega$  : açısal hızı,

$\varphi$  : faz açısını, yani t=0 anındayken sinyalin açısal pozisyonunu belirtir.

$$\omega = 2\pi. f \quad \text{açısal hızı ifade eder.}$$

## 1.9. Dalga Boyu

Dalga boyu, bir sinyalin bir çevrimde kat ettiği mesafeye denir. Elektrik akımı ışık hızında yayıldığından, ışık hızının frekansa bölünmesi ile bir çevrimde kat ettiği mesafe, yani dalga boyu hesaplanabilir.



Şekil 1.10: Sinüs dalgasında dalga boyu

Dalga boyu aşağıdaki formülle ifade edilir:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Burada:

$\lambda$  : dalga boyunu, metre (m),

$v$  : dalga hızını, metre/saniye (m/s),

$f$  : sinyalin frekansını, hertz (Hz) ifade eder.

Elektromanyetik radyasyon ya da ışık serbest ortamda, ışık hızıyla hareket eder. Havadaki ses dalgalarının hızı ise oda sıcaklığında ve atmosfer basıncında 343 m/sn'dir.

**Örnek 1:** 100MHz frekansa sahip elektromanyetik (radyo) sinyalinin dalga boyu:

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{100 \cdot 10^6} = 3m \text{ olarak bulunur.}$$

**Örnek 2:** Periyodu 100ns olan bir işaretin frekansını ve dalga boyunu hesaplayınız.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{100 \cdot 10^{-9}} = \frac{10^9}{100} = 10^7 = 10 \cdot 10^6 = 10MHz$$

Hesapladığımız frekans, dalga boyu formülünde yerine koyalım:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{10 \cdot 10^6} = 0,3 \cdot 10^2 = 30m$$

## 1.10. Alternatif Akım Değerleri

A.C'de sinyalin genlik değeri sürekli olarak değiştiğinden akım ve gerilim değerleri için birden çok ifade belirlenmiştir. Pratikte A.C için ani değer, tepe değer, ortalama değer ve etkin değer olmak üzere çeşitli parametreler kullanılmaktadır.

### 1.10.1. Ani değer

Sinüs şekline sahip ve şiddeti sürekli değişen alternatif akım ya da gerilimin herhangi bir  $t$  anındaki genlik değerine ani değer denir. (Şekil 1.11) Ani değerler küçük harflerle gösterilir. Ani gerilim " $v$ " ile ani akım ise " $i$ " ile gösterilir. Ani değerler şu şekilde ifade edilir:

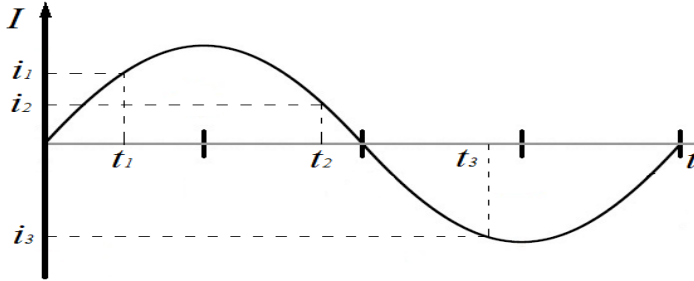
Akımın ani değeri:

$$i = I_m \cdot \sin \omega t$$

Gerilimin ani değeri:

$$v = V_m \cdot \sin \omega t$$

Burada  $V_m$  ve  $I_m$ , gerilim ve akımın maksimum değerleridir.



Şekil 1.11: Sinüs dalgasında ani değer

**Örnek 1:**  $f = 50\text{Hz}$  frekansa sahip ve maksimum değeri  $V_m = 220\text{V}$  A.C gerilimin  $t = 20\text{ms}$  anındaki ani değeri bulunmak istenirse;

$$v = V_m \cdot \sin \omega t = 220 \cdot \sin(2\pi \cdot 50 \cdot 2 / 100) = 220 \cdot \sin(2\pi) = 0\text{V} \text{ olarak bulunur.}$$

( $\sin 2\pi = \sin 360 = 0$  'dır)

**Örnek 2:** Bir alıcı uçlarındaki  $50\text{Hz}$ 'lik gerilimin maksimum değeri  $310\text{V}$ 'tur. Alıcı uçlarında  $t = 0,00166\text{s}$  anındaki gerilimin ani değerini hesaplayalım.

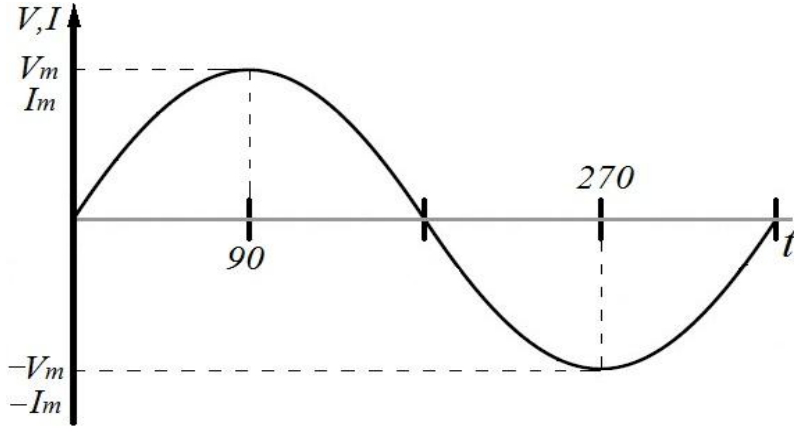
$$\omega = 360 \cdot f = 360 \cdot 50 = 18000$$

$$v = V_m \cdot \sin \omega t = 310 \cdot \sin(18000 \cdot 0,00166) = 310 \cdot \sin(30) = 310 \cdot 0,5 = 155\text{V}$$



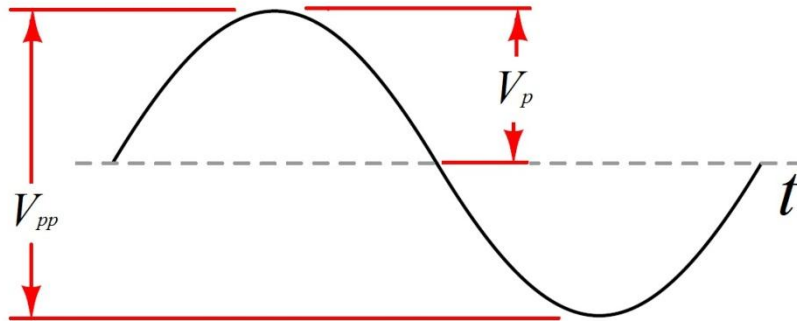
### 1.10.2. Tepe-Vadi Değerler

Tepe değer (maksimum değer), alternatif akım ya da gerilimin ani değerlerinin en büyüğüdür. Gerilimin en yüksek değeri  $V_m$ , akımın en yüksek değeri  $I_m$  ile gösterilir. Sinüs dalga şekline sahip alternatif akım ya da gerilim, tepe değerini (Maksimum değer) ( $+V_m, +I_m$ )  $90^\circ$  ya da  $\pi/2$ 'de, vadi değerini (minimum değer) ( $-V_m, -I_m$ ) ise  $270^\circ$  ya da  $3\pi/2$ 'de alır.(Şekil 1.12)



Şekil 1.12: Sinüs dalgasında maksimum değer

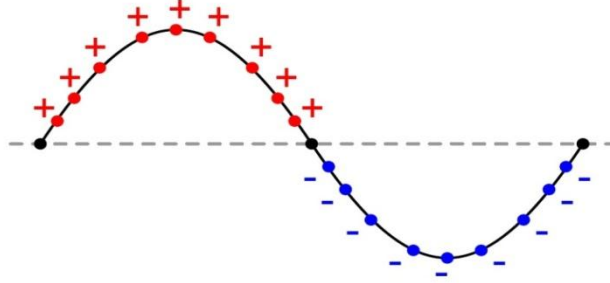
Sinüs dalgasında tepe ve vadi değerler arasındaki genlik değerine tepeden tepeye gerilim denir ve  $V_{pp}$ (pp, İngilizce peaktpeak –pik tu pik diye okunur-teriminin kısaltmasıdır) olarak isimlendirilir. (Şekil 1.13) Tepe değer(pozitif en yüksek değer) $+V_p$ , Vadi değer de (negatif en düşük değer)  $-V_p$ olarak da isimlendirilir.



Şekil 1.13: Sinüs dalgasında  $V_{pp}$  ve  $V_p$  değerleri

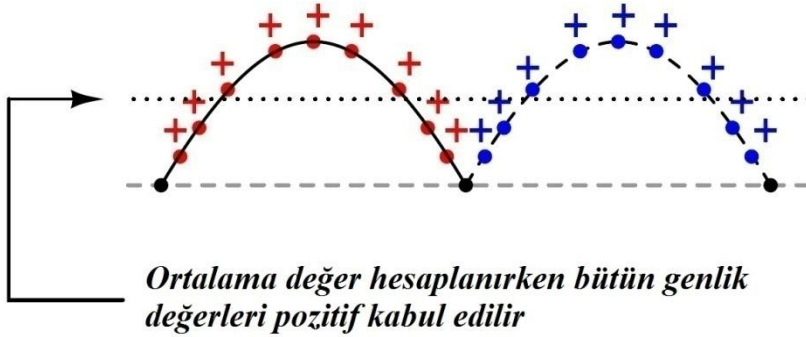
### 1.10.3. Ortalama Değer

Sinüs dalgasının ortalama değeri hesaplanmak istenirse, bütün periyotlar birbirinin aynısı olduğundan sadece bir periyodun ortalama değerini bulmak yeterli olacaktır. Ancak Şekil 1.14'te görüldüğü gibi ortalama değer hesaplanırken periyot boyunca bütün genlik değerleri toplanmalı ve hesaba katılan genlik sayısına bölünmelidir. Toplama işlemi yapıldığında periyodun yarısı pozitif, diğer yarısı da negatif değerler aldığından sonuç sıfır çıkacaktır.



Şekil 1.14: Sinüs dalgasında ortalama değer

Ancak pratikte A.C bir gerilim kaynağının uçlarına yük olarak bir direnç bağlanırsa akımın yönü direnç üzerinden yayılan ısıyı etkilemez. Isı sadece akımın şiddetine bağlıdır. Bu nedenle uygulamada A.C akım ya da gerilimin ortalama değeri bulunurken, bütün alternanslar pozitif olarak kabul edilir (Şekil 1.15) ve hesaplama buna göre yapılır.



Şekil 1.15: Sinüs dalgasında ortalama değer

Şekil 1.14'teki sadece pozitif alternansın ortalama değeri hesaplanacak olursa da

$$V_{ort} = 0,636.V_m$$

$$I_{ort} = 0,636.I_m \text{ eşitlikleri elde edilir.}$$

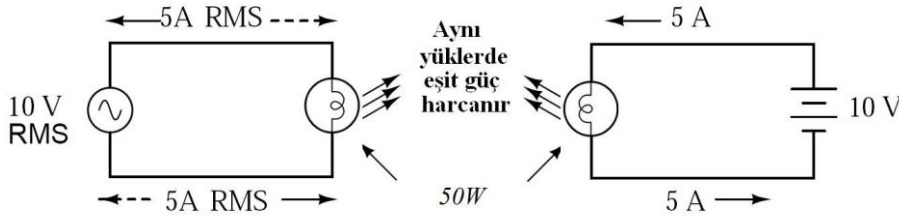
$V_{ort}$  ifadesi yerine  $V_{avg}$  (avg/average–evırıc diye okunur.) ifadesi de kullanılabilir.

**Örnek 1:** Şekil 1.15'tekisnüs sinyalinin maksimum değeri 10V ise bu sinyalin ortalama değerini hesaplayalım.

$$V_{ort} = 0,636.V_m = 0,636.10 = 6,36V \text{ olarak bulunur.}$$

#### 1.10.4. Etkin Değer

Etkin değer, A.C.'nin bir alıcı üzerinde yaptığı işe eşit iş yapan D.C karşılığıdır. Örnek olarak belirli bir zaman aralığında bir ısıtıcıya verilen alternatif akımın sağladığı ısı miktarını elde etmek için aynı ısıtıcıya aynı sürede uygulanan doğru akımın değeri, alternatif akımın etkin değeridir.



Şekil 1.16: Sinüs dalgasında etkin (efektif) değer

RMS=Karesel ortalama değer (rootmeansquare) anlamına gelir ve etkin değer, efektif değer olarak da isimlendirilir.

Şekil 1.16'da etkin değeri 10V olan bir alternatif gerilim kaynağı ve 10V D.C gerilim kaynağı uçlarına 50W değerinde bir lamba bağlanmıştır. Bu gerilim kaynaklarından her ikisi de lamba üzerinden 5ARMS akım geçirir ve dirençler üzerinde 50W güç etkisi yaratır. Dolayısıyla her iki direnç de aynı miktarda ışık enerjisi yayar.

A.C ampermetrede ölçülen akım ve A.C.voltmetrede ölçülen gerilim etkin değerdir. Etkin gerilim  $V$  ya da  $V_{eff}$  ( $V_e$ ) ile ve etkin akım değeri ise  $I$  ya da  $I_{eff}$  ( $I_e$ ) ile gösterilir. Alternatif akım veya gerilim değeri söylenirken aksi belirtilmediyse söylenen değer etkin değeri ifade eder.

Örneğin, şebeke gerilimi 220V denildiğinde bu değer şebeke geriliminin etkin değeridir.

Sinüs dalgasının etkin değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$V_{eff} = 0,707.V_m$$

$$I_{eff} = 0,707.I_m$$

**Örnek 1:** 10V maksimum değere sahip bir gerilim kaynağı 1Ω direnç ile seri bağlanmışsa direnç üzerindeki gerilimin RMS değeri;

$$V_{eff} = 0,707.V_m = 0,707.10 = 7,07V$$

Direnç üzerinden geçecek akımın RMS değeri ise;

$$I_{eff} = \frac{V_{eff}}{R} = \frac{7,07V}{1\Omega} = 7,07A \text{ olarak bulunur.}$$

**Örnek 2:**Şehir şebeke gerilimi 220 V olduğuna göre maksimum değeri hesaplanacak olursa;

$$V_{eff} = 0,707.V_m \Rightarrow V_m = \frac{V_{eff}}{0,707} = \frac{220V}{0,707} = 311,17V \text{ olarak bulunur.}$$

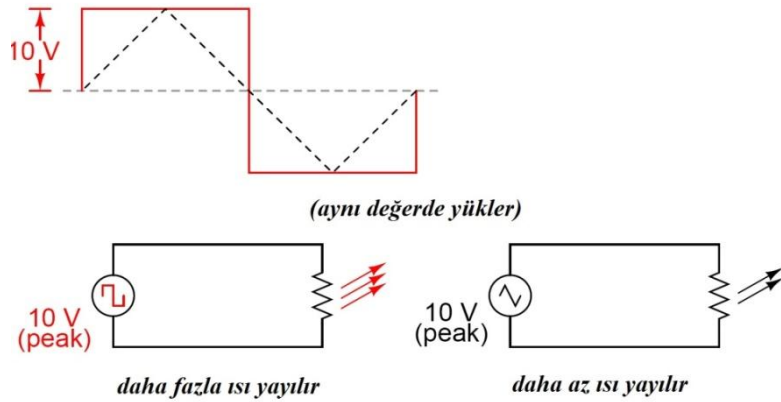
**Örnek 3:**AC Voltmetre ile ölçülen bir prizın gerilim değeri 110V çıkmıştır. Tepe değeri yani maksimum değeri hesaplanacak olursa;

$$V_m = \frac{V_{eff}}{0,707} = \frac{110}{0,707} \cong 155,59V$$

Şekil 1.17 incelendiğinde kare ve üçgen dalga şekillerine sahip ve her ikisinin de maksimum değeri 10V olan sinyallerin aynı direnç uçlarına uygulandığı görülmektedir. Kare dalgada  $V_{eff} = V_p$ , üçgen dalgada ise  $V_{eff} = 0,577.V_p$  olduğundan uçlarına kare dalga uygulanan direnç daha fazla ısı yayacaktır.

Sinüs, kare ve üçgen dalgalarda etkin değer eşitlikleri incelendiğinde, büyüklük bakımından sıralamanın kare dalga, sinüs dalgası ve üçgen dalga şeklinde olduğu görülecektir.

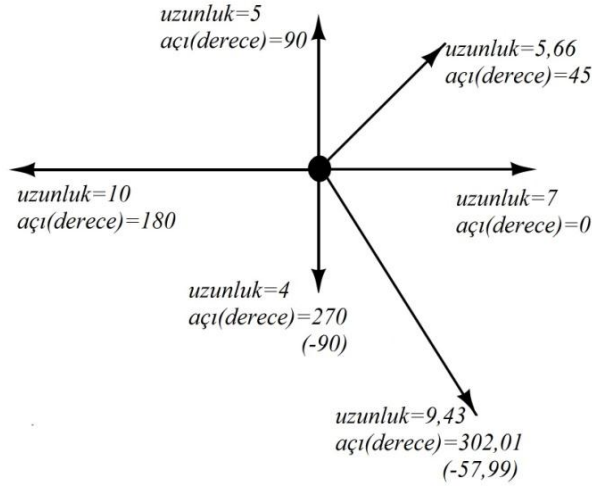
Sinüs dalgasında  $V_{eff} = 0,707.V_p$  olduğunu hatırlayınız.



**Şekil 1.17: Üçgen ve kare dalgada etkin değerler**

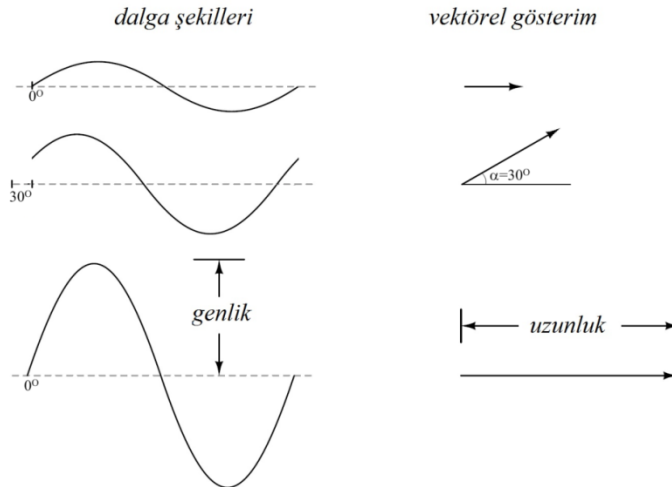
## 1.11. Alternatif Akımın Vektörlerle Gösterilmesi

Bir yönü, doğrultusu ve şiddeti (genliği) olan büyüklüklere “vektörel büyüklükler” denir. Vektörel büyüklükler aritmetik olarak toplanamaz. Alternatif akımın sinüs eğrisi ve eğriler arasındaki açı farkları dikkate alındığında, alternatif akımın da vektörel bir büyüklük olduğu kolaylıkla anlaşılabilir.(Şekil 1.18)



Şekil 1.18: Vektör gösterimleri

D.C bir gerilim kaynağının genlik değeri ya da bir direncin ohm cinsinden değeri birer skalar büyüklüktür. A.C bir gerilim kaynağının genlik değeri ise hem büyüklük hem de yön gösterilmesi gerektiği için vektörel bir büyüklüktür.



Şekil 1.19: Sinüs dalgasının vektörlerle gösterimi

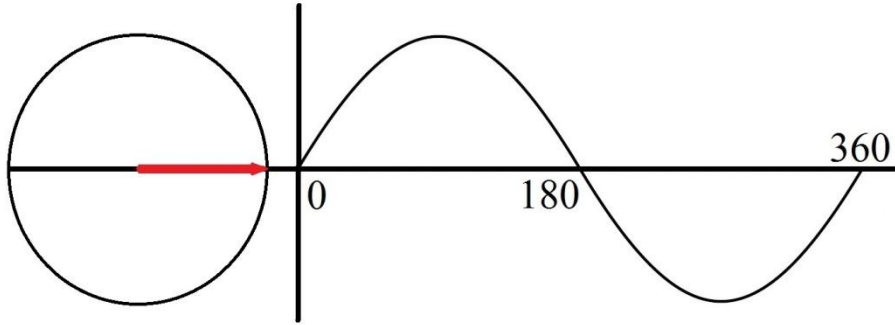
Bir doğru akım devresinde, devre elemanlarından geçen akım ya da elemanlar üzerinde düşen gerilim değerleri skalar büyüklüklerdir. Alternatif akım devrelerinde ise akım ve gerilim değerleri devre elemanlarının cinslerine bağlı olarak skalar ya da vektörel olabilir. Şayet bir alternatif akım devresinde yalnızca sabit dirençler varsa akım ve gerilim değerleri skalar; sabit dirençlerin yanında bobin ya da kapasitör(ler) bulunuyorsa bu devrede akım ve gerilim değerleri vektörel büyüklüklerdir.

Alternatif akım devrelerinde bobin ve kapasitörler faz farkına neden olurlar. Aralarında faz farkı bulunan akım ve gerilim değerleri aralarında belli bir açı bulunan vektörlerle ifade edilirler. Bu konuda ayrıntılı bilgi devre hesaplamalarında verilmiştir.

Şekil 1.19'da üç farklı sinüs sinyalinin vektörlerle gösterimi verilmiştir. Sinüs sinyallerinin üçünün de pozitif alternansı  $0^\circ$ de başlamıştır. Bu nedenle her birinin vektörü aynı doğrultudadır. Ancak vektörlerin uzunlukları farklıdır. Genliği (maksimum değeri) en büyük olan sinyalin vektörü en uzundur.

### 1.11.1. Sıfır Faz

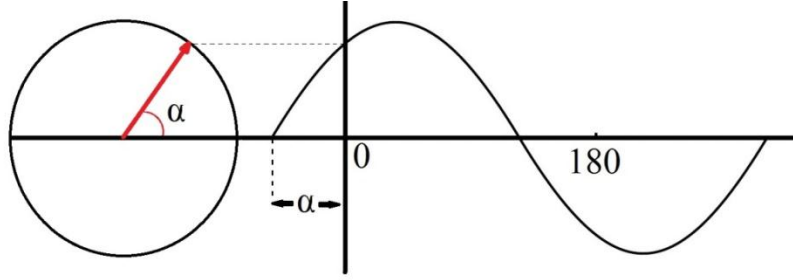
Eğer sinüs sinyali  $t=0$  anında, x eksenini referans olmak üzere sıfır genlik değerinden başlayarak pozitif yönde artıyorsa bu sinyale sıfır fazlı sinüs sinyali denir.  $\omega$  açısal hızı ile saatibresinin tersi yönde dönen bir vektörün  $t=0$  anında referans eksenini ile yaptığı açı sıfır ise bu vektöre sıfır faz vektörü denir.(Şekil 1.20)



Şekil 1.20: Sıfır fazlı sinüs sinyali

### 1.11.2. İleri Faz

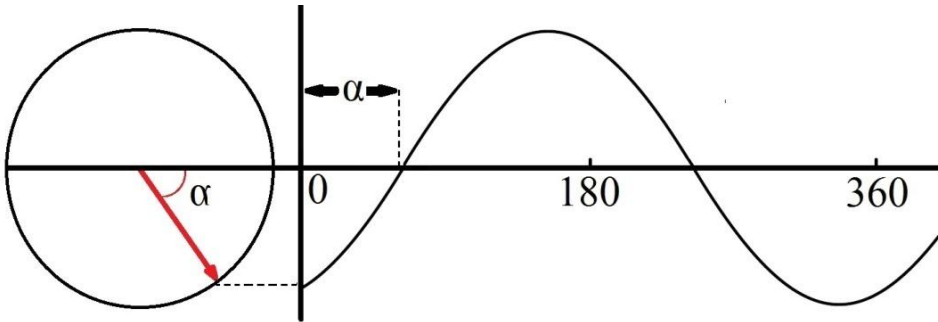
Eğer sinüs sinyali  $t=0$  anından önce, x eksenini referans olmak üzere pozitif genlik değerinden başlayarak pozitif yönde artıyorsa bu sinyale ileri fazlı sinüs sinyali denir.  $\omega$  açısal hızı ile saatibresinin tersi yönde dönen bir vektörün  $t=0$  anında referans eksenini ile yaptığı açı sıfırdan büyük ise bu vektöre ileri faz vektörü denir. Şekil 1.21'de sinüs sinyali, sıfır fazlı sinüs sinyalinden  $\alpha$  (alfa) açısı kadar ileri fazdadır.



Şekil 1.21: İleri fazlı sinüs sinyali

### 1.11.3. Geri Faz

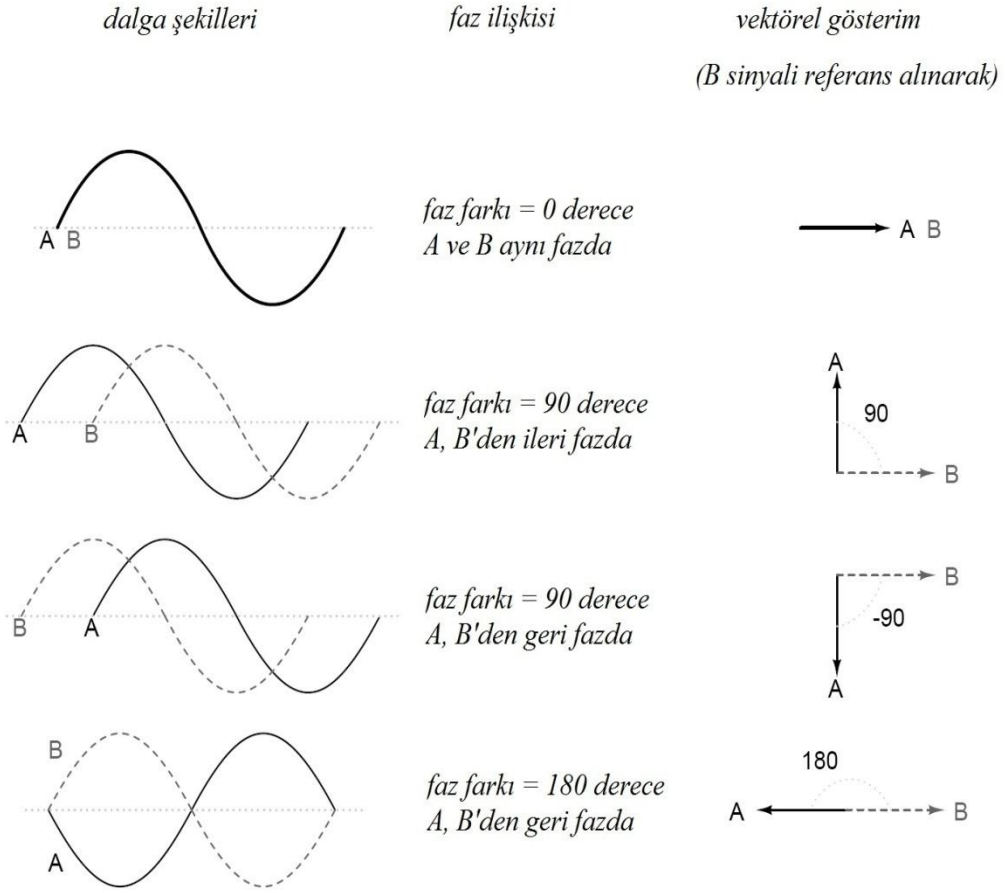
Eğer sinüs sinyali  $t=0$  anından sonra, x eksenini referans olmak üzere negatif genlik değerinden başlayarak pozitif yönde artıyorsa bu sinyale geri fazlı sinüs sinyali denir. Başka bir deyişle, zaman ekseninde normal bir sinüs şekli çizimine sıfır anından değil de bir süre sonra başlıyorsa, bu sinyale geri fazlı sinyal denir.  $\omega$  açısal hızı ile saatibresinin tersi yönde dönen bir vektörün  $t=0$  anında referans eksenini ile yaptığı açı sıfırdan küçük ise bu vektöre geri faz vektörü denir. Şekil 1.22’de sinüs sinyali, sıfır fazlı sinüs sinyalinden  $\alpha$  açısı kadar geri fazdadır.



Şekil 1.22: Geri fazlı sinüs sinyali

### 1.11.4. Faz Farkı

Faz farkı, iki ya da daha çok sinyalin fazları arasındaki ilişkidir. Sinüs şekline sahip iki sinyalin faz farkından bahsederken iki sinyalden birinin diğerinden ileride ya da geride olduğu belirtilir ve bu fark açı, radyan veya zaman cinsinden ölçülendirilir. Şekil 1.23’te A ve B gibi iki sinüs sinyali arasındaki faz ilişkileri ve vektörel gösterimleri verilmiştir.



**Şekil 1.23: A ve B sinyallerinin faz ilişkisi**

## 1.12. Alternatif Akımın Etkileri

Alternatif akımın etkileri doğru akıma kıyasla farklıdır. Bunun nedeni, alternatif akım genliğinin yönü ve şiddetinin sürekli değişmesidir. Bobinli ve kapasitörlü devrelerde alternatif akımın etkileri akımın frekansı ile doğrudan ilişkilidir.

### 1.12.1. Isı Etkisi

Elektrik enerjisinin ısı etkisinden bahsedebilmek için önce iletkenlerin dirençleri üzerinde durmak gerekir. Her iletkenin çapı, uzunluğu ve yapıldığı malzemenin öz direnci ile ilişkili bir direnci vardır. Bu iletken üzerinden elektrik akımı geçtiği zaman eğer iletken akım geçişine fazla zorluk gösteriyorsa bu zorluk iletken üzerinde ısı enerjisi olarak ortaya çıkar.





**Resim 1.2: Elektrikli ısıtıcılar**

Alternatif akımdan klasik ısıtma cihazlarından faydalanıldığı gibi, üç fazlı akımla çalışan ark fırınları ve indüksiyon fırınlarında da faydalanılmaktadır.



**Resim 1.3: Bir ark fırınında ergitme işlemi**

Ark fırınları demir ve çelik eritme işlerinde kullanılır (Resim 1.3). Bu fırınların çalışma prensibi elektrot-elektrot ya da elektrot-malzeme arasındaki arklara dayanmaktadır.

Endüksiyon fırınlarında ise çeşitli düzeneklerle akımın frekansı yükseltilir. Isıtılacak madde büyük bir bobinin içerisinde duracak şekilde yerleştirilir. Böylece malzeme bir transformatörün tek sargısına girer (Resim 1.4).

Bobinden yüksek frekanslı akım geçirilince malzemede indüksiyon gerilimi oluşur ve bu gerilim de malzemenin yüksek değerli akımlar (fuko akımı) dolaştırır. Malzemenin elektriksel direncine göre malzeme ısınır, hatta eriyebilir de (Resim 1.4).

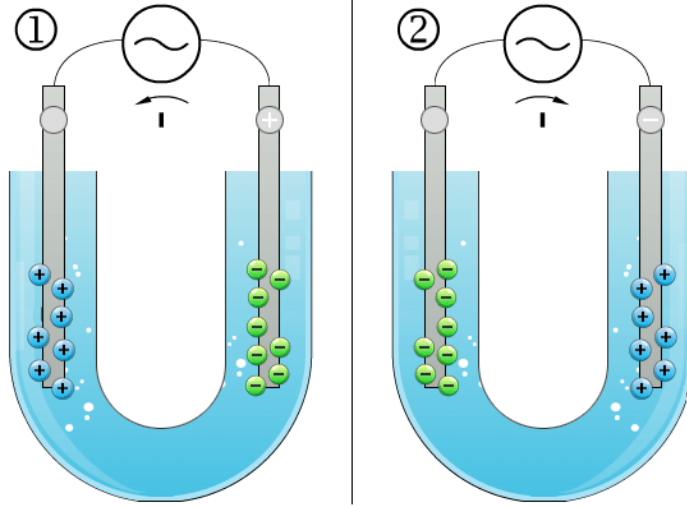
Endüksiyonla ısıtmanın en önemli avantajı klasik ısıtmaya göre daha az zamanda daha fazla ısıtmanın gerçekleştirilebilmesidir.



Resim 1.4: İndüksiyon fırınıyla ısıtma

### 1.12.2. Kimyasal Etkisi

Alternatif akımla, doğru akımla yapıldığı gibi elektroliz işleminden faydalanılamaz. Bunun nedeni alternatif akımda elektronların sürekli yön değiştirmesidir.



Şekil 1.24: Alternatif akımla elektroliz

Şekil 1.1.24'te görüldüğü gibi alternatif akım pozitif yönde geçerken anyonlar (- yüklü iyonlar) kaynağın faz ucuna bağlı elektroda giderken katyonlar ise kaynağın nötr ucuna bağlı elektroda gider. Alternans değiştiğinde yani negatif alternansa geçildiğinde akımın yönü değişeceğinden iyon hareketi bu defa tam tersi yönde olur.

Alternatif akımla elektrolizde elektrot cinsleri ve elektrolitik sıvı uyumu sağlandığı takdirde bazı gazların elde edilmesi mümkün olabilse de sistemin verimi, doğru akımla kıyaslanamayacak kadar düşük olur. Bu nedenle de gaz ayrıştırma işlemlerinde alternatif akımla elektroliz kullanılmaz.

Metallerin arılaştırılması, sertleştirilmesi ya da kaplanması işlemleri ise alternatif akımla elektrolizle gerçekleştirilemez. Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi bir metalden kopan iyonlar akımın bir sonraki alternansında geri metale döneceklerdir.

Yukarıdaki açıklamalardan anlaşılacağı gibi alternatif akım kimyasal olarak depolanamaz.

### 1.12.3. Manyetik Etkisi

Bir elektromıknatıs bobininden doğru akım geçirildiğinde akımın yönüne bağlı olarak elektromıknatısın kutupları sabittir. Bir kutbu doğal mıknatısın bir kutbunu çekerse diğer kutbu doğal mıknatısın aynı kutbunu iter.

Bir telden alternatif akım geçirildiğinde ise telin etrafında sürekli şiddeti ve yönü değişen bir manyetik alan oluşur. Bu nedenle bir elektromıknatıs bobininden alternatif akım geçirilirse elektromıknatısın kutupları sürekli yer değiştirir.



Resim1.5: Çeşitli transformatörler

Alternatif akımda bir elektromıknatıs kutuplarının sürekli yer değiştirmesi elektromıknatısın metal ve alaşımlarını çekmesinde bir sorun teşkil etmez. Bu konuda doğru akımdan tek farkı elektromıknatıs nüvesinin tek parça değil de birer yüzü yalıtılmış metal sacların preslenmesi ile yapılmasıdır.



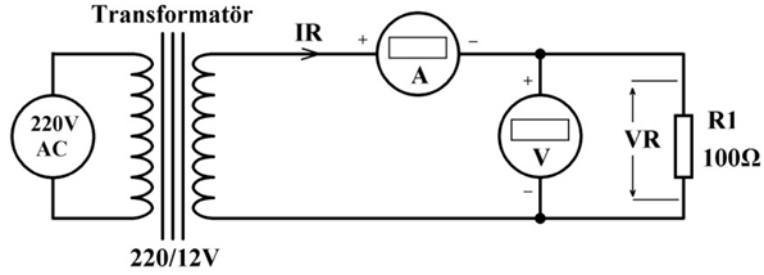
**Resim 1.6: Motor**

Alternatif akımın bu karakteristik özelliğinden en çok transformatörler ve asenkron motorlarda faydalanılır. Isı etkisi konusunda belirtildiği gibi indüksiyon fırınları da alternatif akımın manyetik etkisi ile çalışır.

## UYGULAMA FAALİYETİ

Atölyenizde bulunan deney malzemelerini kullanarak aşağıda verilen devreyi oluşturarak istenen temel alternatif akım değerlerini hesaplayınız ve ölçümleri yapınız.

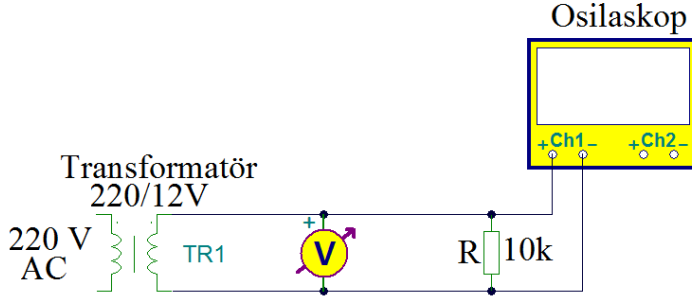
### Transformatörlü uygulama devresi 1

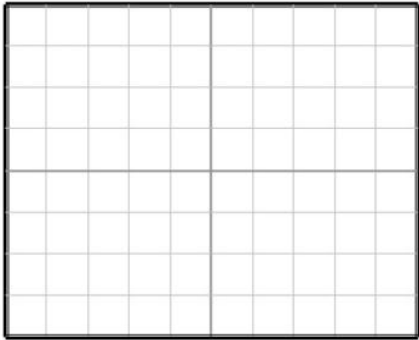


İşlem Basamakları	Öneriler												
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Şekildeki devre için gerekli olan malzemeleri ve cihazları hazırlayınız ve devreyi breadboard üzerine kurunuz.</li><li>➤ Deney şemasında verilen devreye ait büyüklükleri hesaplayarak sonuçları gözlem tablosuna kaydediniz.</li></ul> <table border="1"><thead><tr><th></th><th><math>I_R</math></th><th><math>V_R</math></th></tr></thead><tbody><tr><td>Hesaplanan</td><td></td><td></td></tr></tbody></table> <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Deney şemasında verilen devrenin girişine 220V 50Hz A.C uygulayınız.</li><li>➤ Devreden geçen akımı ve direnç üzerine düşen gerilimi ölçerek sonuçları gözlem tablosuna kaydediniz.</li></ul> <table border="1"><thead><tr><th></th><th><math>I</math></th><th><math>V_R</math></th></tr></thead><tbody><tr><td>Ölçülen</td><td></td><td></td></tr></tbody></table> <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Hesaplama ve ölçüm sonuçlarını devre elemanlarının toleranslarını da göz önünde bulundurarak kıyaslayınız.</li></ul>		$I_R$	$V_R$	Hesaplanan				$I$	$V_R$	Ölçülen			<ul style="list-style-type: none"><li>➤ İş güvenliği tedbirlerini alınız.</li><li>➤ Devreyi kurmadan önce devre elemanlarını ölçerek sağlamlık kontrollerini yapınız.</li><li>➤ Hesaplama yaparken hesap makinesi kullanınız ve hata yapmamaya dikkat ediniz.</li><li>➤ Ölçüm yapacağınız voltmetre ve ampermetrenin A.C konumunda olduğundan emin olunuz.</li></ul>
	$I_R$	$V_R$											
Hesaplanan													
	$I$	$V_R$											
Ölçülen													

## Transformatörlü uygulama devresi 2

Atölyenizde bulunan deney malzemelerini kullanarak aşağıda verilen devreyi oluşturarak istenen temel alternatif akım değerlerini hesaplayınız ve ölçümleri yapınız.



İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Şekildeki devre için gerekli olan malzemeleri ve cihazları hazırlayınız ve devreyi breadboard üzerine kurunuz.</li><li>➤ Osilaskop ekranında görüntüyü tam olarak görmek için gerekli ayarları yapınız.</li><li>➤ Osilaskop ekranındaki görüntüyü çiziniz.</li></ul>  <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Volt/Div, Time/Div ve prob değerlerini not alınız. Volt/Div:..... Time/Div:..... Probkademes: 1x – 10x</li><li>➤ Voltmetrede okunan değeri not alınız.</li><li>➤ Devrenin enerjisini kesiniz.</li><li>➤ Osilaskop görüntüsüne göre sinyalin</li></ul>	<h3>Öneriler</h3> <ul style="list-style-type: none"><li>➤ İş güvenliği tedbirlerini alınız.</li><li>➤ Osilaskop kullanımı ile ilgili bilgilerinizi tazeleyiniz.</li><li>➤ A.C voltmetrenin etkin değer ölçtüğünü hatırlayınız.</li><li>➤ Sinyal görüntüsü ve Time/div bilgisini kullanarak periyodu (T) daha sonra <math>f=1/T</math> formülünü kullanarak frekansını hesaplayınız.</li></ul>

<p>periyodunu ve frekansını hesaplayınız.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Osilaskop görüntüsüne göre sinyalin tepeden tepeye, maksimum ve etkin gerilim değerlerini hesaplayınız.</li><li>➤ Voltmetrede ölçtüğünüz değerle önceki işlem basamağında bulduğunuz değerleri karşılaştırınız.</li><li>➤ Sinyal görüntü ve Volts/div bilgisini kullanarak tepeden tepeye gerilimi hesaplayınız. <math>V_m = V_{pp}/2</math> ve <math>V_{eff} = V_m \cdot 0.707</math> formüllerini kullanarak maksimum ve etkin gerilim değerlerini hesaplayınız.</li></ul>	
--	--

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Zaman içerisinde yönü ve şiddeti değişen akıma ne denir?  
A) Alternatif Akım  
B) Eğri Akım  
C) Düzgün Akım  
D) Doğru Akım  
E) Doğrusal akım
2. Aşağıdakiler hangisi şehir şebekesinde kullanılan alternatif akım sinyalıdır?  
A) Testere  
B) Sinüs  
C) Üçgen  
D) Kare  
E) **E)Pals**
3. Aşağıdakilerden hangisi alternatif akımın avantajlarından değildir?  
A) Kolay üretilmesi  
B) Kolay depolanması  
C) Kolay düşürülmesi  
D) Kolay yükseltilmesi  
E) Kolayca doğru akıma çevrilebilmesi
4. “Pozitif ve negatif alternans bir .....oluşturur.” ifadesinde boş bırakılan yere aşağıdakilerden hangisi gelmelidir?  
A) Periyot  
B) Frekans  
C) Hertz  
D) Çevrim  
E) Genlik
5. Pozitif alternansını 0,1ms’de tamamlayan alternatif akımın periyodu hangisidir?  
A) 2m  
B) 0,1ms  
C) 0,2ms  
D) 1ms  
E) 2s
6. Periyodu 10 ms olan alternatif akımın frekansı kaç hertzdir?  
A) 100Hz  
B) 50Hz  
C) 1000Hz  
D) 20Hz  
E) 10KHz



7. 50 Hz'lik alternatif akımın bir periyodu ne kadar sürer?  
A) 20 ms  
B) 50 ms  
C) 25 ms  
D) 1 s  
E) 200 ms
8. Etkin değeri 20V olan alternatif akımın maksimum değeri kaç voltur?  
A) 20V  
B)  $10\sqrt{2}$  V  
C)  $20 \cdot 0,707$  V  
D) 10V  
E)  $20\sqrt{2}$  V
9. Etkin değeri 20 V olan alternatif akımın ortalama değeri olarak kaç voltur?  
A) 10 V  
B) 12,56 V  
C) 18 V  
D) 25 V  
E) 15 V
10. Alternatif akımın aşağıdaki etkilerinden hangisi uygulamada kullanılmaz?  
A) Manyetik etkisi  
B) Isı etkisi  
C) Işık etkisi  
D) Kimyasal etkisi  
E) Hiçbiri

## DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

# ÖĞRENME FAALİYETİ-2

## ÖĞRENME KAZANIMI

Bu öğrenme faaliyeti sonunda alternatif akımda bobin ve kondansatör devrelerini kurarak sonuçlarını değerlendirebilecek, alternatif akımda direnç, bobin, kondansatörlerin seri-paralel devrelerini kurarak bu devrelerde ölçme ve hesaplamalar yapabileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- Bobin ve kondansatör elemanlarının A.C devrelerdeki davranışlarını araştırınız ve ulaştığınız sonuçları sınıf ortamında arkadaşlarınızla tartışınız.
- Bobinler için endüktans ve kondansatörler için kapasitans kavramlarını, kapasitans ve endüktans etkileyen fiziksel faktörleri araştırarak sınıf ortamında arkadaşlarınızla tartışınız.
- Evde kullanılan prizler ile sanayi tesislerine kullanılan prizler niçin farklıdır? Elde ettiğiniz sonuçları rapor hâlinde sununuz.

## 2. REZONANS DEVRELERİ

Bildiğiniz gibi alternatif akım sürekli yönü ve şiddeti değişen bir akımdır. Alternatif akımda bazı devre elemanları (bobin, kapasitör, yarı iletken devre elemanları) doğru akım devrelerinde olduğundan farklı davranırlar.

Bu konuyu basit bir örnekle açıklayabiliriz. Örneğin bir kapasitör doğru akım devresinde üzerinden geçen akımın miktarına bağlı olarak belli bir zaman sonra dolar. Dolduktan sonra da üzerinden akım geçirmez. Oysa alternatif akım devresinde akım sürekli yön değiştirdiğinden bir kapasitörden sürekli akım geçer.

Şimdi bobin ve kapasitörün alternatif akım devrelerindeki karakteristik özelliklerine daha yakından bakalım.

### 2.1. A.C Devrelerde Bobinler

Bobinler alternatif akımdaki özelliğinden dolayı haberleşme sistemleri, A.C motorlar, transformatörler, doğrultma devreleri, flüoresan lambalar, endüksiyon fırınları vb. yerlerde ve elektroniğin farklı dallarında farklı amaçlar için kullanılmaktadır.(Resim 2.1)



**Resim 2.1: Çeşitli bobinler**

### 2.1.1. Endüktans

Bobin doğru akıma karşı devreye enerji verildiği ilk anda nispeten büyük bir zorluk gösterir. Ancak kısa bir süre sonra bu zorluk telin direncinden ibaret olur. Bir bobin uçlarına alternatif akım uygulandığında ise durum böyle olmaz. Alternatif akım bobin uçlarında yönü ve şiddeti sürekli değişen bir manyetik alan oluşturur. Bu manyetik alan bobin üzerinden geçen akım yönüne ters yönde bir akım geçirmek ister. Bu nedenle bobin uçlarında akım aniden yükselmez. Buna telin endüktans etkisi ya da bobinin endüktansı denir. Endüktans birimi Henry (H)'dir. Uygulamada H'nin ast katları kullanılır.

$$1 \text{ mili Henry} = 1\text{mH} = 10^{-3}\text{H} \text{ ya da } 1\text{H} = 10^3\text{mH}$$

$$1 \text{ mikro Henry} = 1\mu\text{H} = 10^{-6}\text{H} \text{ ya da } 1\text{H} = 10^6 \mu\text{H}$$

Şayet bobinden geçen akım sabit bir akımsa, bobin etrafında oluşan manyetik alanın şiddeti de sabittir. Bir bobinden geçen akım değişirse bobinde oluşan alan şiddeti de değişken olacaktır. Bir bobin, kendi değişken alanının etkisi ile kendi üzerinde bir EMK (elektromotor kuvvet) indükler. İndüklenen bu EMK'ye zıt EMK denmektedir.

Endüktans, bir bobinin fiziksel özellikleri ve üzerinden geçen akımın değişim hızına (amper/saniye) bağlı olarak üzerinde enerji depolama ya da kendi üzerinde EMK endükleme kapasitesi olarak da tanımlanabilir.

Bir bobinin endüktansı aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$L = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot A}{\ell}$$

- $L$  : Bobin endüktansını, Henry (H),
- $\mu$  : Manyetik geçirgenliği Henry/metre (H/m),
- $N$  : Sarım sayısını,
- $A$  : Bobin kesit alanı, metrekare(m<sup>2</sup>),
- $\ell$  : Tel uzunluğunu, metre (m)cinsinden ifade eder.

**Örnek 1:** Nüvesinin bağıl geçirgenliği  $\mu_r = 200$  olan bir bobinin sarım sayısı  $N = 10$ , bobin kesit yarıçapı  $r = 1 \text{ cm}$ , tel uzunluğu  $\ell = 10 \text{ cm}$  havanın manyetik geçirgenliği  $\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$  ise, endüktansını hesaplayınız.

$$A = \pi r^2 = 3,14 \cdot 0,01^2 = 3,14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

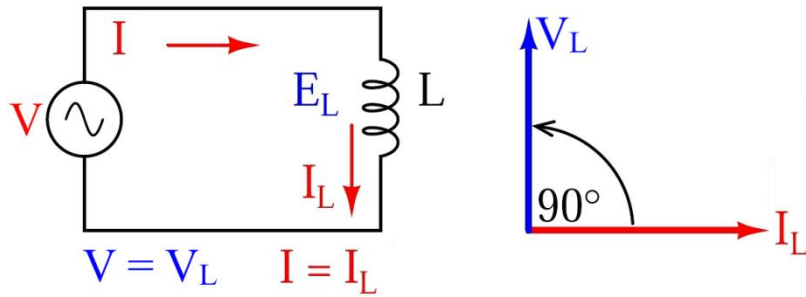
$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0 = 200 \cdot 1,256 \cdot 10^{-6} = 251,2 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$$

$$L = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot A}{\ell} = \frac{251,2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^2 \cdot 3,14 \cdot 10^{-4}}{0,1} = \frac{788,76 \cdot 10^{-10}}{0,1} = 788,76 \cdot 10^{-9}$$

= 788,76 nH olarak bulunur.

### 2.1.2. AC'de Gösterdiği Özellikler

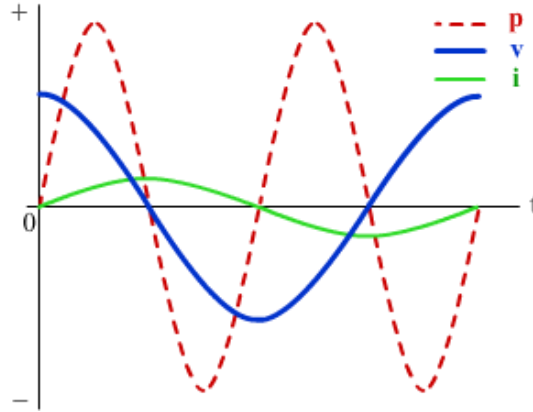
Bobinin alternatif akımın değişimine karşı zorluk gösterdiğinden daha önce bahsedilmişti. Şekil2.1'deki saf endüktif devre incelenecek olursa bobin geriliminin devrenin toplam gerilimine, bobin akımının da devrenin akımına eşit olduğu görülür. Ancak bobin gerilimi ve akımı arasında faz farkı vardır. Şekil2.1'deki vektör diyagramda gösterildiği gibi bobin akımı bobin geriliminden  $90^\circ (\pi/2)$  geridedir.



Şekil2.1: Saf endüktif devre

Saf endüktif devrede akım ve gerilimin dalga şekilleri Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Burada kalın sürekli çizgi  $v_L$  bobinin ani gerilimini, ince sürekli çizgi ise  $i_L$  bobinin ani akımını ifade eder.  $i_L$  bobin akımı  $v_L$  bobin geriliminden  $90^\circ$  geridedir.

Saf endüktif devrede ani güç ani akım ve ani gerilim değerlerinin çarpımıyla ( $P = v \cdot i$ ) bulunur. Şekil 2.2 incelenecek olursa ani akım ve ani gerilimin her ikisi de pozitif veya negatif olduğunda ani gücün pozitif, herhangi birinin negatif olduğunda ani gücün negatif ve herhangi birinin sıfır olduğunda ani gücün sıfıra eşit olduğu görülebilir.



Şekil 2.2: Saf endüktif devrede akım, gerilim ve güç dalga şekilleri

Her bobin, alternatif akım devrelerinde frekansla doğru orantılı olarak değişen bir direnç gösterir. Bu dirence “endüktifreaktans” denir. Endüktifreaktans  $X_L$  ile gösterilir ve birimi ohm ( $\Omega$ )’dur. A.C devrelerde endüktifreaktans;

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \text{ formülü ile hesaplanır.}$$

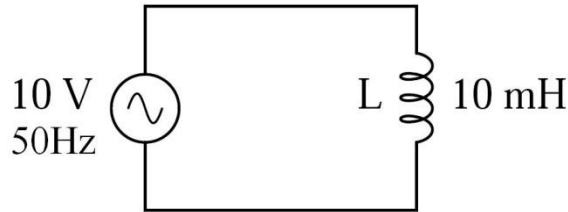
Burada;

$X_L$  :endüktifreaktansı, ohm ( $\Omega$ ),

$f$  : A.C geriliminin frekansını, Hertz ( $Hz$ ),

$L$  : bobin endüktansını, Henry ( $H$ ) ifade eder.

**Örnek 1:** Şekil2.3’te görülen devrede bobinin endüktifreaktansı ve devre akımı hesaplanmak istenirse;



Şekil2.3: A.C bobin devresi

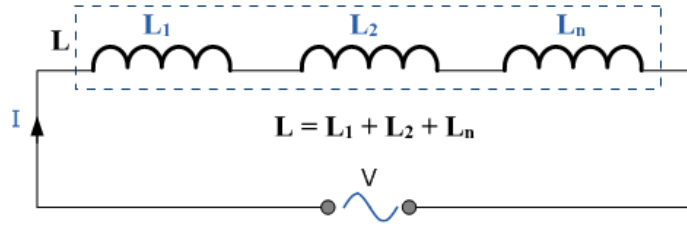
$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2,3,14 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 3,14\Omega$$

$$I = \frac{V}{X_L} = \frac{10}{3,14} = 3,18A \text{ olarak bulunur.}$$

### 2.1.3. AC’de Seri ve Paralel Bağlantıları

Bobinlerin A.C devrelerde seri ve paralel bağlantılarında eşdeğer endüktansları ve endüktifreaktansları, direnç devreleriyle aynı yöntemlerle hesaplanır.

Alternatif akım devrelerine bobinler devreye seri bağlandıklarında devrenin toplam endüktansı her bir bobin endüktansının toplanması ile bulunur.



Şekil2.4: Seri bağlı bobinlerin devredeki toplam endüktansı

Şekil.4’te görüldüğü gibi seri bir devrenin toplam endüktansını bulmak için devredeki bobinlerin endüktansları toplanarak bulunur.

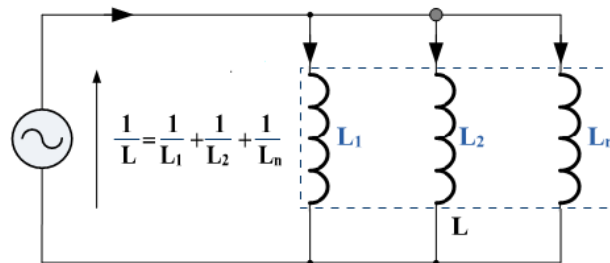
$$L = L_1 + L_2 + L_n$$

**Örnek 1:**Şekil.4’teki devrede üç bobinin endüktansları sırası ile  $L_1 = 2\text{mH}$ ,  $L_2 = 2.10^{-2}\text{ H}$  ve  $L_3 = 5\text{ mH}$  şeklindedir. Devrenin toplam endüktansı hesaplanacak olursa;

$$L_2 = 2.10^{-2}\text{H} = 2.10^{-2}.1000 = 20\text{mH}$$

$$L = L_1 + L_2 + L_3 = 2 + 20 + 5 = 27\text{mH} \text{ elde edilir.}$$

Bir devredeki paralel bağlı bobinlerin toplam endüktansı, paralel bir direnç devresinin toplam direncinin bulunduğu gibi bulunur. Yani bobinler devreye paralel bağlanırsa bobinlerin devreye uyguladıkları toplam endüktans, endüktans değerlerinin terslerinin toplanması ile bulunur. Bu nedenle toplam endüktans en küçük endüktans değerine eşit ya da daha küçük olur.



Şekil 2.5: Paralel bağlı bobinlerin devreye uyguladıkları toplam endüktans

Şekil 2.5'te görüldüğü gibi, bir devredeki toplam endüktansın tersi ( $1 / L$ ) devredeki bobin endüktanslarının terslerinin toplamına eşittir.

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_n}$$

**Örnek:**2.5'teki devrede üç bobinin endüktansları sırası ile 2 mH, 4 mH ve 6 mH'dir. Devrenin toplam endüktansı hesaplanacak olursa;

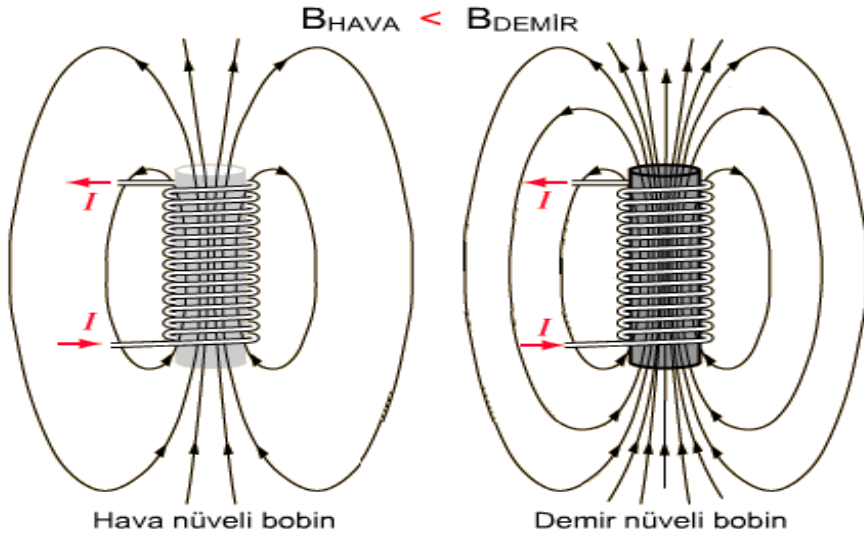
**Cevap:**

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6} = \frac{7}{12}$$

$$\frac{1}{L} = \frac{7}{12} \Rightarrow L \cdot 7 = 1 \cdot 12 \Rightarrow L = \frac{12}{7} = 1.71 \text{ mH olarak bulunur.}$$

#### ➤ Nüvenin Endüktansa Etkisi

Endüktansı etkileyen faktörlerden biri, bobinin üzerine sarıldığı nüvedir. Nüvenin manyetik geçirgenliği artarsa, bobin üzerinde oluşan manyetik alan şiddeti artacağından endüktans da artar. Örneğin yumuşak demir nüve üzerine sarılan bir bobinin üzerinde oluşan manyetik alan çizgileri sayısı, nüve olarak hiçbir malzeme kullanılmayan, yani nüvesi hava olan bir bobin üzerinde oluşan manyetik alan çizgileri sayısından daha fazladır.(Şekil 2.6) Nüvenin endüktansa etkisi,nüvenin manyetik geçirgenliği ile doğru orantılıdır.



Şekil2.6: Hava nüveli ve demir nüveli bobinler

Malzeme	$\mu/(H/m)$	$\mu_r$	Uygulama
Ferrit U60	$10^{-5}$	8	UHF bobinleri
Ferrit M33	$9,42 \cdot 10^{-4}$	750	Rezonans devresi
Nikel (%99 saf)	$7,54 \cdot 10^{-4}$	600	- -
Ferrit N41	$3,77 \cdot 10^{-3}$	3000	Güç devreleri
Demir (% 99,8 saf)	$6,28 \cdot 10^{-3}$	5000	- -
Ferrit T38	0,0126	10000	Geniş bant transformatörler
Silikon GO çelik	0,0503	40000	Dinamolar, transformatörler
Süpermaloy	1,26	1000000	Kayıt kafaları

Tablo 2.1: Manyetik malzemelerin geçirgenlik değerleri ve kullanım alanları

## 2.2. A.C Devrelerinde Kapasitörler

D.C. akım devrelerinde akımı depolama özelliği bulunan kapasitörler A.C devrelerde akım yönünün ve şiddetinin sürekli değişmesinden dolayı bu işlev için kullanılmaz. A.C devrelerde kapasitörlerden kompanzasyon sistemlerinde, elektronikte filtre ve seçici devrelerde faydalanılır. (Resim 2.2)



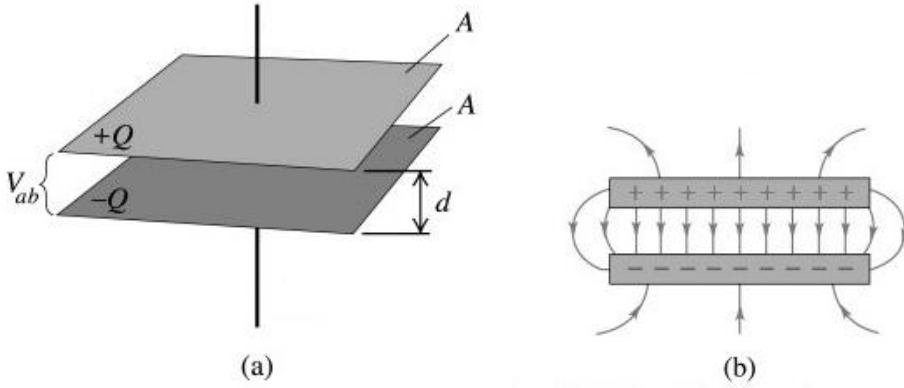
Resim 2.2: Çeşitli kapasitörler

### 2.2.1. Kapasitans

Kapasitans, elektronikte yükleri depo edebilme kabiliyeti ya da elektrik enerjisinin depolanmasında bir ölçü olarak tanımlanabilir. Elektrik enerjisini depolayabilme özelliğine sahip devre elemanlarına da kapasitör ya da kondansatör denir. Elektrik enerjisini depolayabilmenin en yaygın yöntemi birbirine paralel iki metal plaka kullanmaktır. (Şekil 2.7) Bu şekilde bir kapasitörde depolanan elektrik enerjisi plakaların yüzey alanı ile doğru orantılı, plakalar arası mesafe ile ters orantılıdır. Kapasitans birimi Farad (F)' dir.

A.C devrelerde kapasitörler elektrik yüklerini şarj etme özelliklerinden dolayı gerilimdeki değişimlere karşı zorluk gösterir.





**Şekil 2.7: Paralel plakalı kapasitör**

Paralel plakalı bir kapasitör için kapasitans değeri:

$$C = \varepsilon \cdot \frac{A}{d} \text{ formülü ile hesaplanabilir.}$$

Bu formülde:

$C$  : Kapasitansdeğerini, Farad (F),

$\varepsilon$  : Plakalar arasındaki yalıtkan malzemenin dielektrik katsayısını, Farad/metre (F/m),

$A$  : Plakaların alanını, metrekaare ( $m^2$ ),

$d$  : Plakalar arası mesafeyi, metre (m), ifade eder.

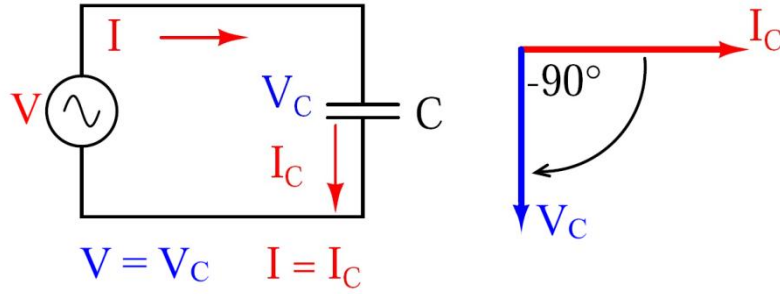
**Örnek 1:** Alanı  $0,1m^2$  olan plakaların birbirine uzaklığı  $0,01m$  ve plakalar arasında bağlı dielektrik katsayısı  $2$  olan bir malzeme (havanın dielektrik katsayısı  $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} F/m$ ) varsa kapasitans değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\varepsilon = k \cdot \varepsilon_0 = 2 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} = 17,708 \cdot 10^{-12} F/m$$

$$C = \varepsilon \cdot \frac{A}{d} = 17,708 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{0,1}{0,01} = 17,708 \cdot 10^{-11} F = 0,177 nF$$

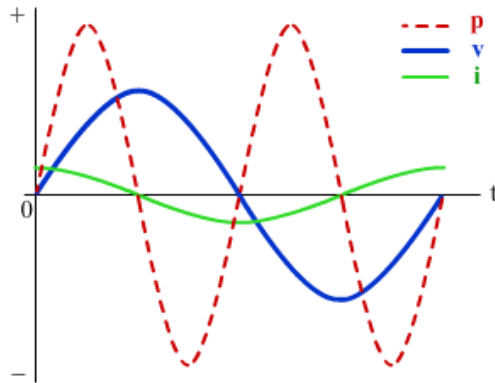
## 2.2.2. A.C’de Gösterdiği Özellikler

Kapasitörler A.C gerilimin değişimine karşı zorluk gösterir. Şekil 2.8’deki saf kapasitif devrede kapasitör üzerindeki geçen akım toplam devre akımıdır ve kapasitör gerilimi kaynak gerilimine eşittir. Ancak kondansatör gerilimi devre akımı ile aynı fazda değildir. Gerilim akımı  $90^\circ$  geriden takip eder. Bu durum, Şekil 2.8’de vektörel olarak gösterilmiştir.



Şekil2.8: Saf kapasitif devre

Şekil 2.9 incelendiğinde  $0^\circ$ 'de kalın sürekli çizgi ile gösterilen geriliminin ( $v$ ) pozitif alternans başlangıcında olduğu, ince sürekli çizgi ile gösterilen akımının ( $i$ ) aynı noktada maksimum tepe değerine ulaştığı görülmektedir. Faz farkı  $90^\circ$ 'dir ve gerilim akımdan geridedir.



Şekil2.9: Saf kapasitif devrede akım, gerilim ve güç dalga şekilleri

Saf kapasitif devrelerde akım, gerilim ve güç ilişkisi saf endüktif devrelerle aynıdır. (Şekil 2.9) Ani güç, ani akım ve ani gerilimin çarpımına eşittir ( $p = v.i$ ). Akım ve gerilimden herhangi birisi sıfır olduğunda güç sıfır, herhangi birisi negatif olduğunda güç negatif ve her ikisi de pozitif olduğunda güç pozitif olur. Gücün pozitif olması kapasitörün devreden güç çektiği, negatif olması da devreye güç verdiği anlamına gelir.

Her kapasitör, alternatif akım devrelerinde frekansla ters orantılı olarak değişen bir direnç gösterir. Bu dirence kapasitifreaktans denir. Kapasitifreaktans  $X_c$  ile gösterilir ve birimi ohm( $\Omega$ ) dur. A.C devrelerde kapasitifreaktans;

$$X_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \text{ formülü ile hesaplanır.}$$

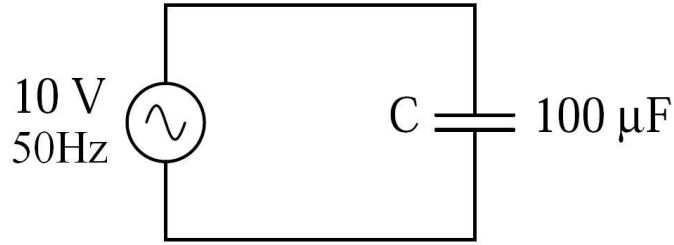
Burada;

$X_c$  :Kapasitifreaktansı, ohm ( $\Omega$ ),

$f$  : A.C geriliminin frekansını, Hertz ( $Hz$ ),

$C$  : Kapasitansı, Farad ( $F$ ) ifade eder.

**Örnek 1:**Şekil 2.10'da görülen devrede kondansatörün kapasitifreaktansı ve devre akımı hesaplanmak istenirse;



Şekil 2.10: A.Ckondansatör devresi

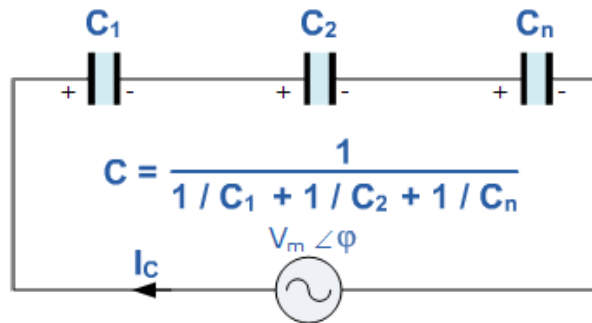
$$X_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2,314 \cdot 50 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{6,28 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} = \frac{10^3}{31,4} = 31,84 \Omega$$

$$I = \frac{V}{X_c} = \frac{10}{31,84} = 314 mA \text{ olarak bulunur.}$$

### 2.2.3. A.C'de Seri ve Paralel Bağlantıları

Kondansatörlerin A.C devrelerde seri ve paralel bağlantılarında eşdeğer kapasitansları ve kapasitifreaktansları aşağıdaki gösterildiği gibi hesaplanır.

#### ➤ Seri bağlantı



Şekil 2.11: Seri kapasitör devresinde eşdeğer (toplam) kapasite

Kapasitörler seri bağlandıklarında devrenin eş değer (toplam) kapasitesi, her bir kapasite değerinin terslerinin toplanması ile bulunur (Şekil 2.11).

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_n}}$$

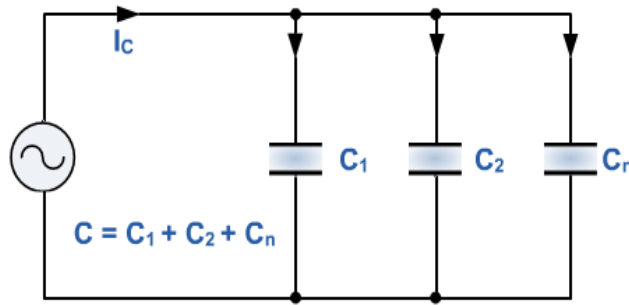
**Örnek 1:** Şekil 2.11'deki kapasitör değerleri sırasıyla  $3\mu F$ ,  $6\mu F$  ve  $9\mu F$ 'dir. Devrenin toplam kapasitesi hesaplanmak istenirse;

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_n}} = \frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{9}} = \frac{1}{\frac{3}{6} + \frac{1}{6} + \frac{2}{9}} \Rightarrow C = \frac{1}{\frac{11}{18}} = \frac{18}{11} = 1,63\mu F$$

olarak bulunur.

#### ➤ Paralel bağlantı

Paralel bağlantıda toplam kapasite, kapasiteler toplanarak bulunur.



Şekil 2.12: Paralel kapasitör devresinde eş değer (toplam) kapasite

$$C = C_1 + C_2 + C$$

**Örnek 1:** Şekil 2.12'deki kapasitör değerleri sırasıyla  $10\mu F$ ,  $150\mu F$  ve  $220\mu F$ 'dir. Devrenin toplam kapasitesi hesaplanmak istenirse;

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 10\mu F + 150\mu F + 220\mu F = 380\mu F \text{ olarak bulunur.}$$

## 2.3. Alternatif Akım Devre Çeşitleri

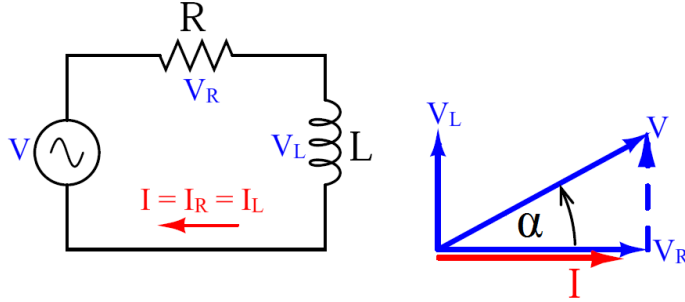
### 2.3.1. Seri Devreler

#### ➤ Seri R-L devresi

Seri R-L devresinde direnç ve bobin elemanları A.C gerilim kaynağı ile seri bağlanır.

- Toplam gerilim, direnç ve bobin gerilimleri toplamına eşittir, toplam akım ise hem direnç hem de bobin üzerinden geçer.
- Direnç akımı ve gerilimi arasında faz farkı yoktur.
- Bobin akımı bobin gerilimini 90o geriden takip eder. Bu durumda Şekil 2.13'deki vektör diyagram ortaya çıkar.
- Devrenin toplam gerilimi  $V$ , toplam akım  $I$ 'dan  $\alpha$  açısı kadar ilerdedir.

A.C devrelerde direnç elemanının yanında kapasitif ya da endüktif bileşenler de varsa devrenin eş değerreaktansı (akıma karşı gösterilen zorluk) empedans olarak isimlendirilir ve  $Z$  ile gösterilir, birimi ohm ( $\Omega$ )dur. Empedansın tersi yani elektrik akımına karşı gösterilen kolaylık da admitans olarak adlandırılır ve “ $Y$ ” ile gösterilir ( $Y = Z^{-1}$ ). Birimi siemens(S)dir.



Şekil 2.13: Seri R-L devresi ve akım-gerilim faz ilişkisi

Şekil 2.13'te görülen seri R-L devresinde;

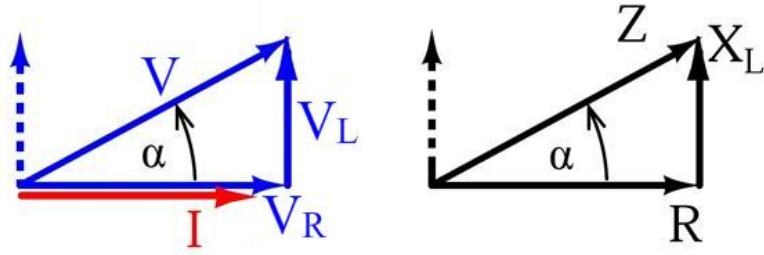
Vektör diyagramdan  $V^2 = V_R^2 + V_L^2 \Rightarrow V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$  (Pisagor Teoremi)

ohm kanunundan  $V_R = I.R$  ve  $V_L = I.X_L \Rightarrow V = \sqrt{(I.R)^2 + (I.X_L)^2}$

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

$$I = \frac{V}{Z} \Rightarrow Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

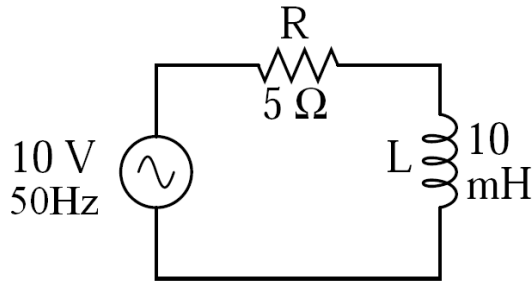
şeklinde ifade edilir. Bu formüller elde edildikten sonra gerilim ve empedans üçgenleri çizilebilir.(Şekil 2.14)



Şekil 2.14: Seri R-L devresinde gerilim ve empedans üçgenleri

Gerilim ve empedans üçgenlerinden  $\alpha$  faz açısı, farklı trigonometrik fonksiyonlar kullanılarak bulunabilir.

$$\tan \alpha = \frac{X_L}{R} \quad \cos \alpha = \frac{R}{Z} \quad \sin \alpha = \frac{X_L}{Z}$$



Şekil 2.15: Seri R-L devresi

**Örnek 1:** Şekil 2.15'teki seri R-L devresinde verilen değerlere göre;

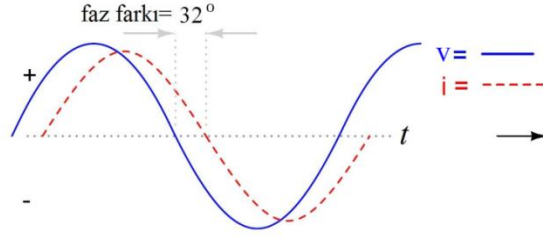
$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 6,28 \cdot 500 \cdot 10^{-3} = 3,14 \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{5^2 + (3,14)^2} = \sqrt{25 + 9,85} = \sqrt{34,85} = 5,9 \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{10}{5,9} = 1,69 A$$

$$\cos \alpha = \frac{R}{Z} \Rightarrow \alpha = \cos^{-1} \frac{R}{Z} = \cos^{-1} \frac{5}{5,9} = \cos^{-1} 0,84 \Rightarrow \alpha = 32^\circ$$

olarak bulunur. Akım gerilimden  $32^\circ$  geridedir. (Şekil 2.16)

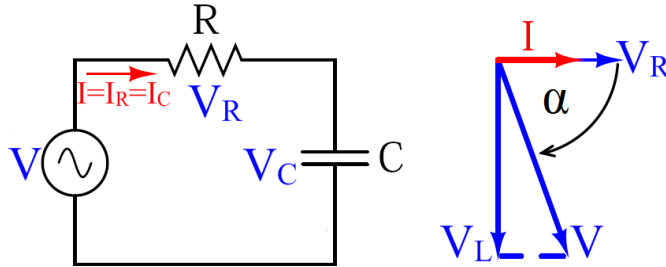


Şekil 2.16: Seri R-L devresinde ani akım ve ani gerilim arasındaki faz farkı

### ➤ Seri R-C devresi

Seri R-C devresinde direnç ve kapasitör elemanları A.C gerilim kaynağı ile seri bağlanır.

- Toplam gerilim direnç ve kapasitör gerilimleri toplamına eşittir, toplam akım ise hem direnç hem de kapasitör üzerinden geçer.
- Direnç akımı ve gerilimi arasında faz farkı yoktur.
- Kapasitör gerilimi kapasitör akımını  $90^\circ$  geriden takip eder. Bu durumda Şekil 2.17'deki vektör diyagram ortaya çıkar.
- Devrenin toplam gerilimi  $V$ , toplam akım  $I$ 'dan  $\alpha$  açısı kadar geridedir.



Şekil 2.17: Seri R-C devresi ve akım-gerilim faz ilişkisi

Şekil 2.17'de görülen seri R-C devresinde;

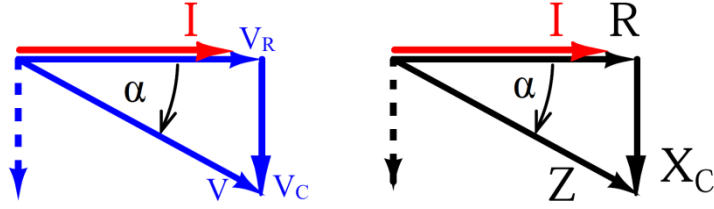
Vektör diyagramdan  $V^2 = V_R^2 + V_C^2 \Rightarrow V = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$  (Pisagor Teoremi)

ohm kanunundan  $V_R = I.R$  ve  $V_C = I.X_C \Rightarrow V = \sqrt{(I.R)^2 + (I.X_C)^2}$

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

$$I = \frac{V}{Z} \Rightarrow Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

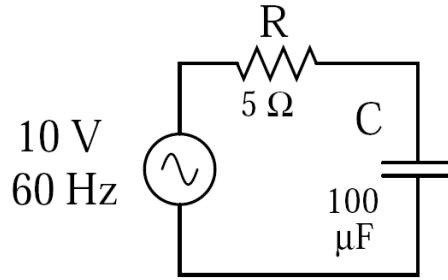
şeklinde ifade edilir. Bu formüller elde edildikten sonra gerilim ve empedans üçgenleri Şekil 2.18’de görüldüğü gibi çizilebilir.



Şekil 2.18: Seri R-C devresinde gerilim ve empedans üçgenleri

Gerilim ve empedans üçgenlerinden  $\alpha$  faz açısı, farklı trigonometrik fonksiyonlar kullanılarak bulunabilir.

$$\tan \alpha = \frac{X_C}{R} \quad \cos \alpha = \frac{R}{Z} \quad \sin \alpha = \frac{X_C}{Z}$$



Şekil 2.19: Seri R-C devresi

**Örnek 2:** Şekil 2.19’deki seri R-C devresinde verilen değerlere göre;

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2,314 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^3}{6,286} = \frac{1000}{37,68} = 26,53\Omega$$

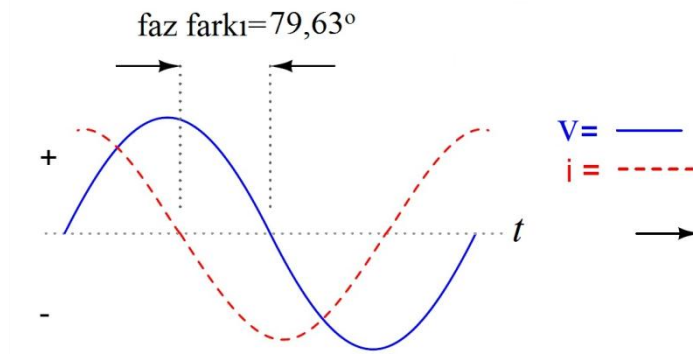
$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{5^2 + (26,53)^2} = \sqrt{25 + 704,08} = \sqrt{729,08} = 27\Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{10}{27} = 370mA$$

$$\cos \alpha = \frac{R}{Z} \Rightarrow \alpha = \cos^{-1} \frac{R}{Z} = \cos^{-1} \frac{5}{27} = \cos^{-1} 0,18 \Rightarrow \alpha = 79,63^\circ$$

olarak bulunur. Gerilim akımdan  $79,63^\circ$  geridedir. (Şekil 2.20)





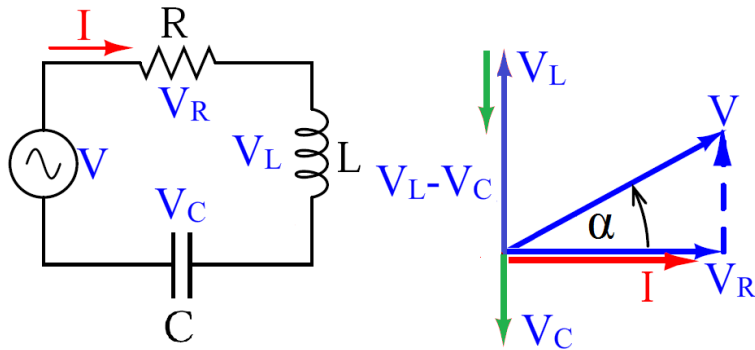
Şekil 2.20: Seri R-L devresinde ani akım ve ani gerilim arasındaki faz farkı

### ➤ Seri R-L-C devresi

Seri R-L-C devresinde direnç, bobin ve kapasitör elemanlar A.C gerilim kaynağı ile seri bağlanır.

- Direnç üzerindeki  $V_R$  gerilimi akımla aynı fazdadır.
- Bobin gerilimi  $V_L$  ile akım arasındaki faz farkı  $90^\circ$ 'dir. Gerilim akımdan  $90^\circ$  ileri fazdadır.
- Kapasitör üzerindeki  $V_C$  gerilimi ise akımdan  $90^\circ$  geridedir.
- Bu duruma göre çizilen Şekil 2.21'deki vektör diyagramında görüldüğü gibi  $V_L$  ve  $V_C$  gerilimlerinin vektörleri aynı doğrultuda fakat aralarında  $180^\circ$  faz farkı vardır. Bu vektör diyagram  $V_L > V_C$  kabul edilerek çizilmiştir.

Devrenin toplam gerilimi ile akımı arasında  $\alpha$  açısı kadar faz farkı vardır.



Şekil 2.21: Seri R-L-C devresi ve akım-gerilim faz ilişkileri

Şekil 2.22’de görülen seri R-L-C devresinin vektör diyagramından;

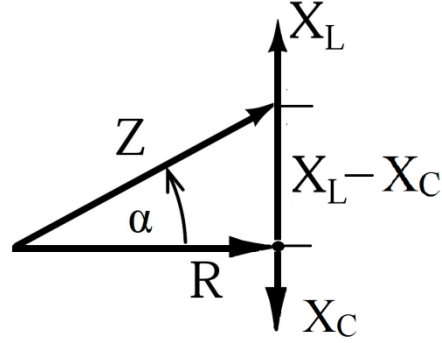
$$V^2 = V_R^2 + (V_L - V_C)^2 \Rightarrow V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} \text{ (Pisagor Teoremi)}$$

$$V_R = I.R, V_L = I.X_L \text{ ve } V_C = I.X_C \Rightarrow V = \sqrt{(I.R)^2 + (I.X_L - I.X_C)^2}$$

$$V = I.\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \Rightarrow I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

$$I = \frac{V}{Z} \Rightarrow Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

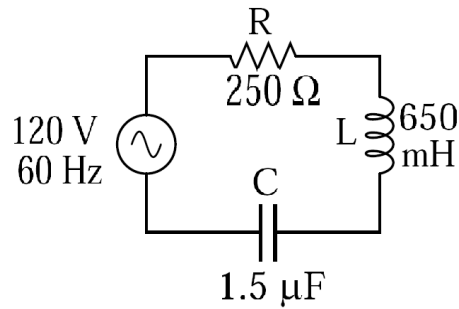
şeklinde ifade edilir. Bu formüller elde edildikten sonra empedans üçgeni çizilebilir.



Şekil 2.22: Seri R-L-C devresinde empedans üçgeni

Empedans üçgeninden  $\alpha$  faz açısı, farklı trigonometrik fonksiyonlar kullanılarak bulunabilir.

$$\tan \alpha = \frac{X_L - X_C}{R} \quad \cos \alpha = \frac{R}{Z} \quad \sin \alpha = \frac{X_L - X_C}{Z}$$



Şekil 2.23: Seri R-L-C devresi

**Örneğin** Şekil 2.23'teki seri R-L-C devresinde verilen değerlere göre;

$$X_L = 2\pi.f.L = 2.3,14.60.650.10^{-3} = 6,28.39 = 244,92\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi.f.C} = \frac{1}{2.3,14.60.1,5.10^{-6}} = \frac{10^6}{6,28.90} = \frac{10^6}{565,2} = 1,769K\Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{250^2 + (244,92 - 1769)^2} = \sqrt{62500 + 2322819} = 1,54K\Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{120}{1,54.10^3} = 77mA$$

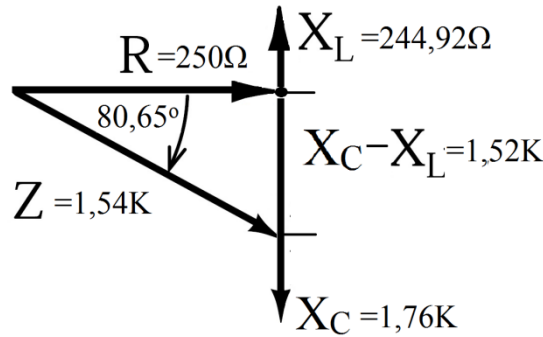
$$V_R = I.R = 0,077.250 = 19,25V$$

$$V_L = I.X_L = 0,077.244,92 = 18,85V$$

$$V_C = I.X_C = 0,077.1540 = 118,58V$$

$$\cos \alpha = \frac{R}{Z} \Rightarrow \alpha = \cos^{-1} \frac{R}{Z} = \cos^{-1} \frac{250}{1540} = \cos^{-1} 0,16 \Rightarrow \alpha = -80,65^\circ$$

Kapasitör gerilimi  $V_C$ , bobin gerilimi  $V_L$ 'den büyük olduğu için  $\alpha$  faz açısı negatif çıkmıştır. Bu durum devrenin kapasitif özellik gösterdiği anlamına gelir. Eğer bobin gerilimi kapasitör geriliminden büyük olsaydı devre endüktif özellik gösterirdi. Bulunan sonuçlar ile empedans üçgeni Şekil 2.24'deki gibi çizilebilir.



**Şekil 2.24: Örnek seri R-L-C devresinde empedans üçgeni**

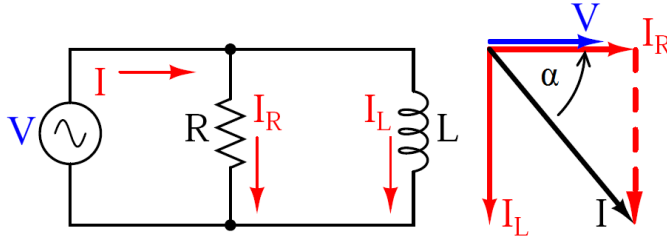
$X_C$  ve  $X_L$  birbirine eşit olduğu durum özel bir durum olup rezonans olarak geçmektedir. Bu durum rezonans devreleri konusunda işlenecektir.

## 2.3.2. Paralel Devreler

### ➤ Paralel R-L devresi

Paralel R-L devresinde direnç ve bobin elemanları A.C gerilim kaynağı ile paralel bağlanır. Şekil 2.25'teki vektör diyagram incelenecek olursa;

- Direnç ve bobin elemanları üzerinde aynı genlikte ve fazda kaynak gerilimi olduğu görülür.
- Bobin akımı  $I_L$ , toplam devre akımından ( $I$ ) 90o geri fazdadır.
- Toplam akım ( $I$ ), direnç akımından ( $I_R$ )  $\alpha$  açısı kadar geridedir.



Şekil 2.25: Paralel R-L devresinde akım-gerilim faz ilişkisi

Şekil 2.25'teki paralel R-L devresinin vektör diyagramından;

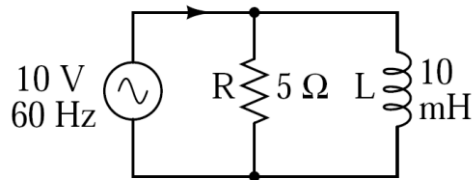
$$I^2 = I_R^2 + I_L^2 \Rightarrow I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2} \text{ (Pisagor Teoremi)}$$

$$I_R = \frac{V}{R} \quad \text{ve} \quad I_L = \frac{V}{X_L}$$

$$Z = \frac{V}{I} \quad \text{ya da} \quad Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

formülleri elde edilebilir. Faz açısı  $\alpha$  farklı trigonometrik fonksiyonlar yardımı ile bulunabilir.

$$\tan \alpha = \frac{I_L}{I_R} \quad \sin \alpha = \frac{I_L}{I} \quad \cos \alpha = \frac{I_R}{I}$$



Şekil 2.26: Paralel R-L devresi

**Örnek 1:** Şekil 2.26'daki paralel R-L devresinde verilen değerlere göre  $X_L, I_R, I_L, I, Z$  ve devrenin faz açısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 60 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 6,28 \cdot 600 \cdot 10^{-3} = 3,768\Omega$$

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{10}{5} = 2A$$

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{10}{3,768} = 2,65A$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2} = \sqrt{2^2 + (2,65)^2} = \sqrt{4 + 7,02} = \sqrt{11,02} = 3,31A$$

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{10}{3,31} = 3,02\Omega$$

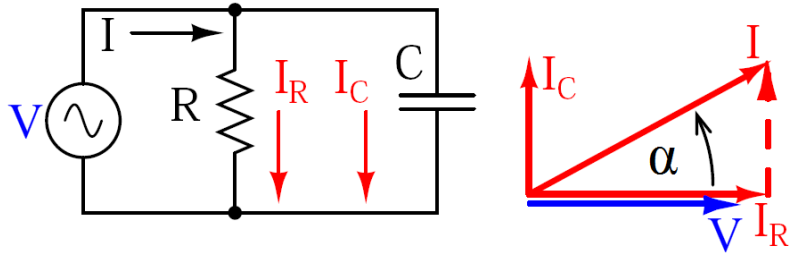
$$\cos \alpha = \frac{I_R}{I} = \frac{2}{3,31} = 0,6 \Rightarrow \alpha = \cos^{-1} 0,6 = -52,98^\circ$$

Devrenin toplam akımı, devre gerilimi ve direnç akımından  $52,98^\circ$  geridedir.

#### ➤ Paralel R-C devresi

Paralel R-C devresinde direnç ve kapasitör elemanları A.C gerilim kaynağı ile paralel bağlanır. Şekil 2.27'deki vektör diyagram incelenecek olursa;

- Direnç ve kapasitör elemanları üzerinde aynı genlikte ve fazda kaynak gerilimi olduğu görülür.
- Kapasitör akımı ( $I_C$ ), devre akımından ( $I$ )  $90^\circ$  ileri fazdadır.
- Devre akımı ( $I$ ), direnç akımından ( $I_R$ )  $\alpha$  açısı kadar ileridedir.



Şekil 2.27: Paralel R-C devresinde akım-gerilim faz ilişkisi

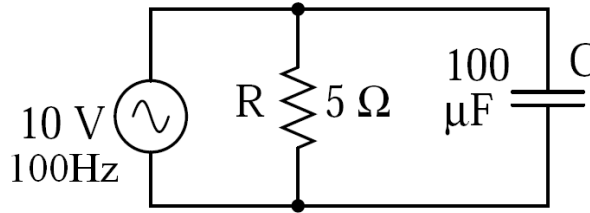
Şekil 2.27'deki paralel R-C devresinin vektör diyagramından;

$$I^2 = I_R^2 + I_C^2 \Rightarrow I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \text{ (Pisagor Teoremi)}$$

$$I_R = \frac{V}{R} \quad \text{ve} \quad I_C = \frac{V}{X_C}$$

$Z = \frac{V}{I}$  formülleri elde edilebilir. Faz açısı  $\alpha$  farklı trigonometrik fonksiyonlar yardımı ile bulunabilir.

$$\tan \alpha = \frac{I_C}{I_R} \quad \sin \alpha = \frac{I_C}{I} \quad \cos \alpha = \frac{I_R}{I}$$



Şekil 2.28: Paralel R-C devresi

Örneğin Şekil 2.28'deki paralel R-C devresinde verilen değerlere göre;

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2,3,14 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^2}{6,28} = \frac{100}{6,28} = 15,9\Omega$$

$$I_R = \frac{E}{R} = \frac{10}{5} = 2A$$

$$I_C = \frac{E}{X_C} = \frac{10}{15,9} = 0,62A$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = \sqrt{2^2 + (0,62)^2} = \sqrt{4 + 0,39} = \sqrt{4,39} = 2,09A$$

$$Z = \frac{E}{I} = \frac{10}{2,09} = 4,78\Omega$$

$$\cos \alpha = \frac{I_R}{I} = \frac{2}{2,09} = 0,95 \Rightarrow \alpha = \cos^{-1} 0,95 = 16,8^\circ \text{ olarak bulunur.}$$

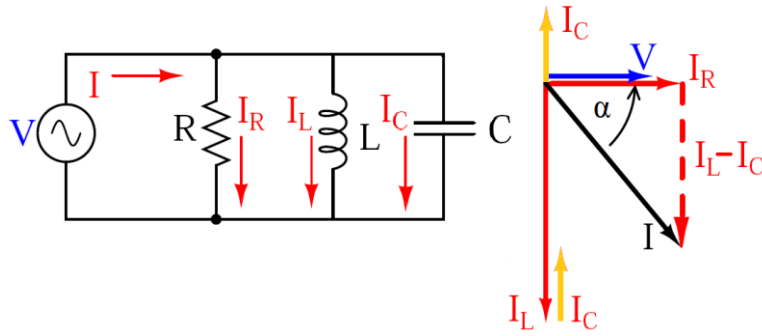
Devrenin toplam akımı, devre gerilimi ve direnç akımından  $11,47^\circ$  ileridedir.

#### ➤ Paralel R-L-C devresi

Paralel R-L-C devresinde direnç, bobin ve kapasitör elemanlar A.C gerilim kaynağı ile paralel bağlanır. Bütün devre elemanlarının üzerinde A.C kaynak gerilimi vardır.

- Direnç akımı  $I_R$  devre gerilimi ile aynı fazdadır.
- Bobin akımı  $I_L$ , devre geriliminden  $90^\circ$  geridedir.
- Kapasitör akımı  $I_C$ , gerilimden  $90^\circ$  ileridedir.

Bu duruma göre çizilen Şekil 2.29'daki vektör diyagramda görüldüğü gibi  $I_L$  ve  $I_C$  akımlarının vektörleri aynı doğrultuda fakat aralarında  $180^\circ$  faz farkı vardır. Bu vektör diyagram  $I_L > I_C$  olduğu kabul edilerek çizilmiştir. Devrenin toplam akımı ile toplam gerilimi arasında  $\alpha$  açısı kadar faz farkı vardır.



Şekil 2.29: Paralel R-L-C devresinde akım-gerilim faz ilişkisi

Şekil 2.29'da görülen paralel R-L-C devresinin vektör diyagramından;

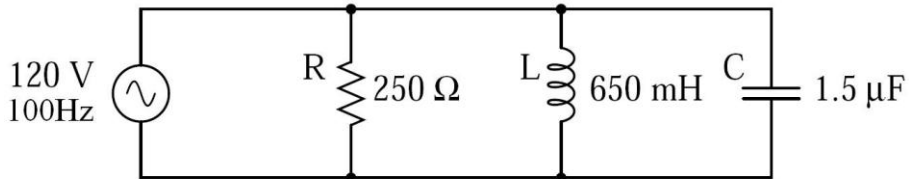
$$I^2 = I_R^2 + (I_L - I_C)^2 \Rightarrow I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

$$I_R = \frac{V}{R} \quad I_C = \frac{V}{X_C} \quad I_L = \frac{V}{X_L}$$

$Z = \frac{V}{I}$  formülleri elde edilebilir. Faz açısı  $\alpha$ ,

$$\tan \alpha = \frac{I_L - I_C}{I_R}, \quad \sin \alpha = \frac{I_L - I_C}{I}, \quad \cos \alpha = \frac{I_R}{I} \text{ eşitlikleri ile bulunabilir.}$$

**Örneğin** Şekil 2.30'daki paralel R-L-C devresinde verilen değerlere göre;



Şekil 2.30: Paralel R-L-C devresi

$$X_L = 2\pi.f.L = 2.3,14.100.650.10^{-3} = 6,28.65 = 408,2\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi.f.C} = \frac{1}{2.3,14.100.1,5.10^{-6}} = \frac{10^6}{6,28.150} = \frac{10^6}{942} = 1,06K\Omega$$

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{120}{250} = 0,48A$$

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{120}{1061} = 0,113A$$

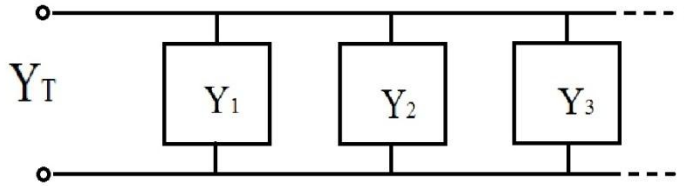
$$I_L = \frac{E}{X_L} = \frac{120}{408,2} = 0,293A$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} = \sqrt{(0,48)^2 + (0,293 - 0,113)^2} = \sqrt{0,23 + 0,032} = 0,511A$$

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{120}{0,511} = 234,83\Omega$$

$$\cos \alpha = \frac{I_R}{I} = \frac{0,48}{0,511} = 0,93 \Rightarrow \alpha = \cos^{-1} 0,93 = 21,56^\circ \text{ olarak bulunur.}$$

Paralel R-L-C devresinde eş değer empedans, eş değeradmitans yardımıyla da bulunabilir.(Şekil 2.31) Paralel R-L-C devresinde eş değeradmitans bütün admitansların toplamıdır. Eş değeradmitansbulunduktan sonra tersi alınarak empedans bulunabilir.



Şekil 2.31: Paralel R-L-C devresinde admitans

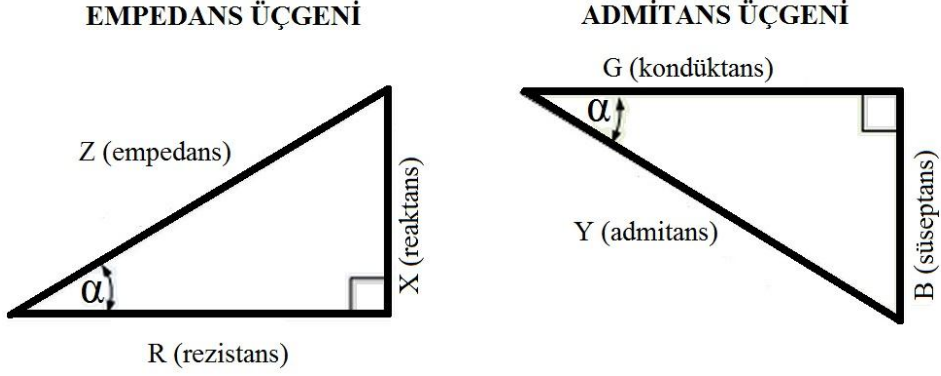
$$\frac{1}{Z_T} = Y_T = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_n$$

Admitans kavramıyla birlikte A.C devre analizlerinde kullanılan iki kavram daha vardır. Bunlardan birikonduktans diğeri de süseptanstır. Konduktans direncin tersidir.  $G$  ile gösterilir ve birimi siemens (S)dir. Süseptans ise reaktansın tersidir.  $B$  ile gösterilir ve birimi siemens (S)dir.

$$Y = \frac{1}{Z} \quad G = \frac{1}{R} \quad B_C = \frac{1}{X_C} \quad B_L = \frac{1}{X_L}$$



Paralel R-L-C devresinde empedans ve admitans üçgenleri Şekil 2.32’de gösterilmiştir.



Şekil 2.32: Paralel R-L-C devresinde empedans ve admitans üçgenleri

### 2.3.3. Rezonans Devreleri

Bobin veya kondansatörlerden oluşan devrelerde frekans değiştiğinde bobinin endüktifreaktansı ve kondansatörün kapasitifreaktansı değişeceğinden bu durum devredeki bütün akım, gerilim ve empedans parametrelerinin değişmesine neden olur.

A.C gerilim kaynağının frekansının öyle bir değeri vardır ki devredeki kapasitif ve endüktif bileşenlerin etkisi ortadan kalkar. Bu frekans değerine rezonans frekansı denir ve  $f_r$  ile gösterilir. Rezonans devreleri elektronikte kullanılan en önemli devrelerdendir. Televizyon ve radyolarda belli frekanstaki sinyallerin seçilmesinde ve A.C filtreleme işlemlerinde kullanılırlar.

#### ➤ Seri rezonans devresi

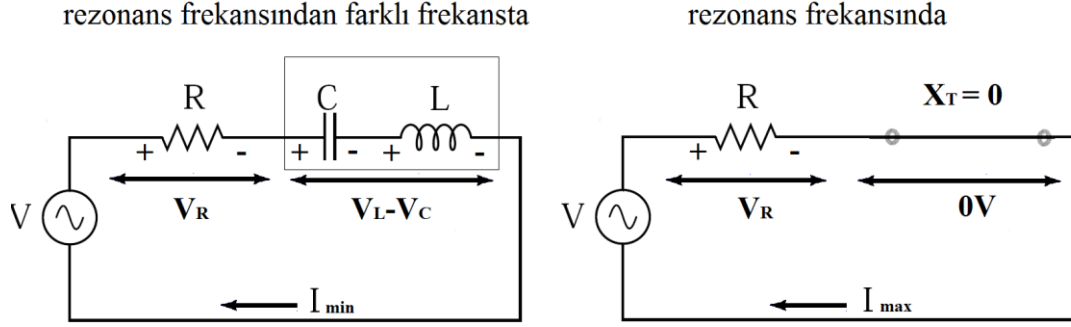
$f_r$  frekansında rezonans etkisi gösteren seri R-L-C devrelerine seri rezonans devresi denir.

Rezonans kavramını anlayabilmek için öncelikle bobin ve kondansatör elemanlarının frekans değişimlerine nasıl tepki gösterdiklerini tam olarak bilmek gereklidir. Bu noktada endüktif ve kapasitifreaktans matematiksel ifadelerini hatırlamakta yarar vardır.

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \qquad X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

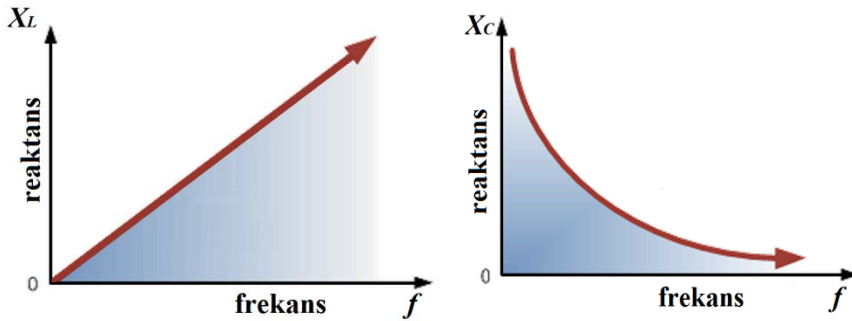
Endüktif ve kapasitifreaktansın matematiksel ifadeleri incelendiğinde frekansla olan ilişkileri açıkça görülmektedir.

Endüktifreaktans frekans ile doğru orantılıdır. Bir bobine uygulanan A.C gerilimin frekansı artırıldıkça  $X_L$  değeri de artacaktır. Yani frekans artırıldıkça bobin giderek açık devre gibi davranacak, tersine frekans azaltılıp sifıra yaklaştıkça, başka bir deyişle D.C'ye yaklaştıkça bobin kısa devre gibi davranacaktır.



Şekil 2.33: Seri rezonans devresi ve eş değer devresi

Kapasitifreaktans, frekans ile ters orantılıdır. Kondansatöre uygulanan A.C gerilimin frekansı artırıldıkça  $X_C$  değeri azalacaktır. Frekansın artması kondansatörün kısa devre gibi davranmasına, frekansın azalması ise kondansatörün açık devre gibi davranmasına neden olacaktır.

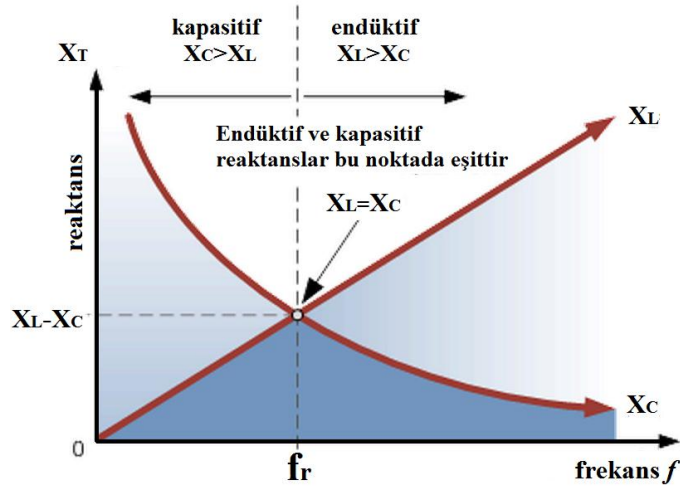


Şekil 2.34:  $X_L$  ve  $X_C$  nin frekansla değişimi

Şekil 2.33'teki devrede eğer  $X_L > X_C$  ise devre endüktif,  $X_L < X_C$  ise devre kapasitif davranacaktır.  $X_L = X_C$  durumunda ise devre rezonansa girecek ve omik karakterli olacaktır.

$X_L = X_C$  olduğunda ise devre ne endüktif ne de kapasitif özellik gösterir. Bu durumda devre rezonanstadır.

$X_L = X_C$  olduğunda A.C gerilimin  $f_r$  frekansı rezonans frekansıdır. Şekil 2.35'teki frekans-reaktans grafiğinde  $X_L$  eğrisinin  $X_C$  eğrisini kestiği nokta, frekans düzleminde rezonans frekansının değerini gösterir.



Şekil 2.35  $X_L$  ve  $X_C$  nin rezonans frekansında durumu

$f_r$  rezonans frekansında  $X_L$  ve  $X_C$  eşit ise aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$X_L = X_C \Rightarrow 2\pi \cdot f \cdot L = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

$$f^2 = \frac{1}{(2\pi)^2 \cdot L \cdot C} \Rightarrow \sqrt{f^2} = \sqrt{\frac{1}{(2\pi)^2 \cdot L \cdot C}}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

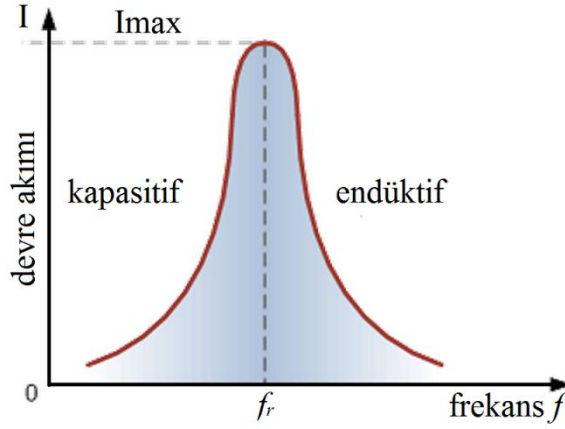
Bu eşitlikte

$f_r$  : Rezonans frekansını, Hertz (Hz)

$L$  : Bobin endüktansını, Henry(H)

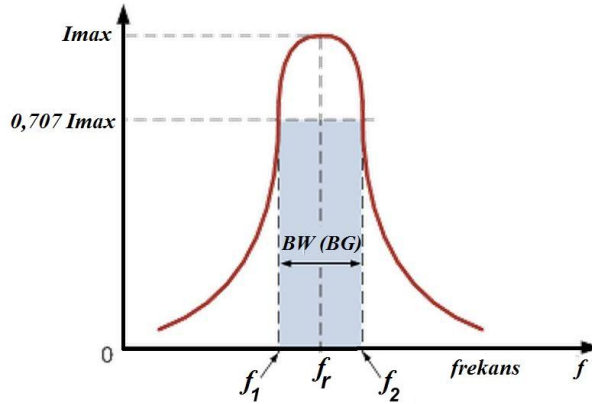
$C$  : Kondansatör kapasitansını, Farad (F), ifade eder.

Seri rezonans devresinde harcanan güç akım ve empedansla doğru orantılıdır. Akım ve empedans frekans ile değiştiği için harcanan güç A.C gerilimin frekansı ile ilişkilidir. Rezonans devresinde güç  $P = I^2 \cdot Z$  ile bulunabilir.



Şekil 2.36: Seri rezonans devresinde frekans-akım grafiği

Seri rezonans devresinde ortalama güç  $f_r$  rezonans frekansının üstünde ve altında iki frekans değeri arasında harcanır. (Şekil 2.36) Bu iki noktaya yarı güç noktaları denir ve bu noktalarda akımın değeri maksimum değer  $0,707$ 'si kadardır.  $f_r$  frekansının altında kalan noktadaki frekans alt kesim frekansı ( $f_1$ ), üstünde kalan frekans ise üst kesim frekansı ( $f_2$ ) olarak isimlendirilir. Alt kesim ve üst kesim frekansları arasındaki frekans bandına ise bant genişliği (BG ya da Bandwidth, BW) denir.



Şekil 2.37: Seri rezonans devresinde bant genişliği-akım ilişkisi

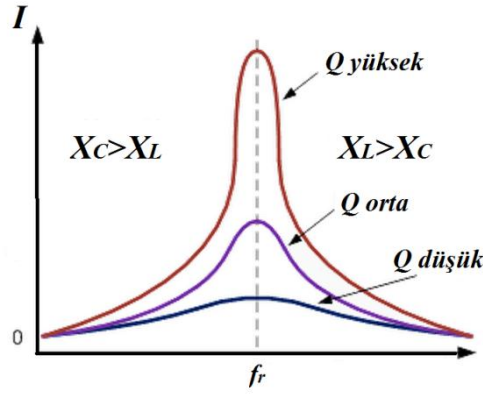
Şekil 2.37'den yararlanarak bant genişliği, alt ve üst kesim frekansları için aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$BG = f_2 - f_1, f_1 = f_r - \frac{BG}{2} \text{ ve } f_2 = f_r + \frac{BG}{2}$$

Seri rezonans devresinde bir diğere önemli parametre de kalite faktörüdür. Kalite faktörü  $Q$  ile gösterilir ve rezonansta seçiciliğinin bir ölçüsüdür. (Şekil 2.38) Seçicilik, rezonans devresinin  $f_r$  ye yakın frekanslar dışındaki sinyalleri reddetmesidir. Bir rezonans devresinin seçiciliği ne kadar iyi ise bant genişliği o kadar küçük ve kalite faktörü de yüksektir.

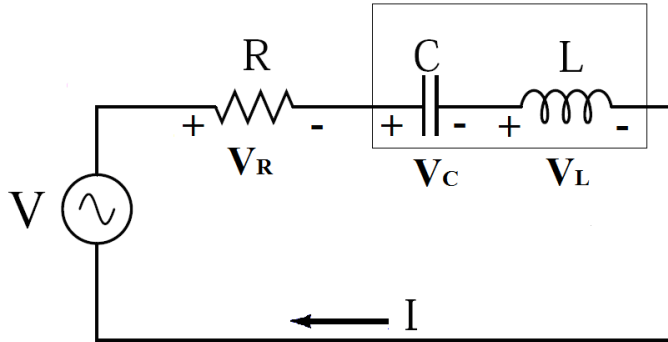
Kalite faktörü  $Q$  aşağıdaki eşitliklerden herhangi biri ile bulunabilir.

$$Q = \frac{f_r}{BG} \quad Q = \frac{X_L}{R} \quad Q = \frac{1}{R \cdot X_C} \quad Q = \frac{1}{R} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$$



Şekil 2.38: Seri rezonans devresinde seçicilik

**Örnek 1:** Şekil 2.39'daki seri rezonans devresinde  $R = 30\Omega$ ,  $L = 20mH$ ,  $C = 2\mu F$  ve A.C kaynak gerilimi  $V = 9V$  ise;



Şekil 2.39: Seri R-L-C devresi

Rezonans frekansı:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L.C}} = \frac{1}{2.3,14\sqrt{0,02.2.10^{-6}}} = \frac{10^3}{6,28\sqrt{0,04}} = \frac{10^3}{6,28.0,2} = 796Hz$$

$$\text{Rezonans frekansında endüktifreaktans} = X_L = 2\pi.f.L = 2.3,14.796.0,02 = 100\Omega$$

Rezonans frekansında kapasitifreaktans:

$$X_C = \frac{1}{2\pi.f.C} = \frac{1}{2.3,14.796.2.10^{-6}} = \frac{10^6}{2.3,14.796.2} = \frac{10^6}{10^4} = 100\Omega$$

$$\text{Devre akımı} = I = \frac{V}{R} = \frac{9}{30} = 300mA$$

Rezonans frekansında bobin ve kapasitör üzerindeki gerilimleri:

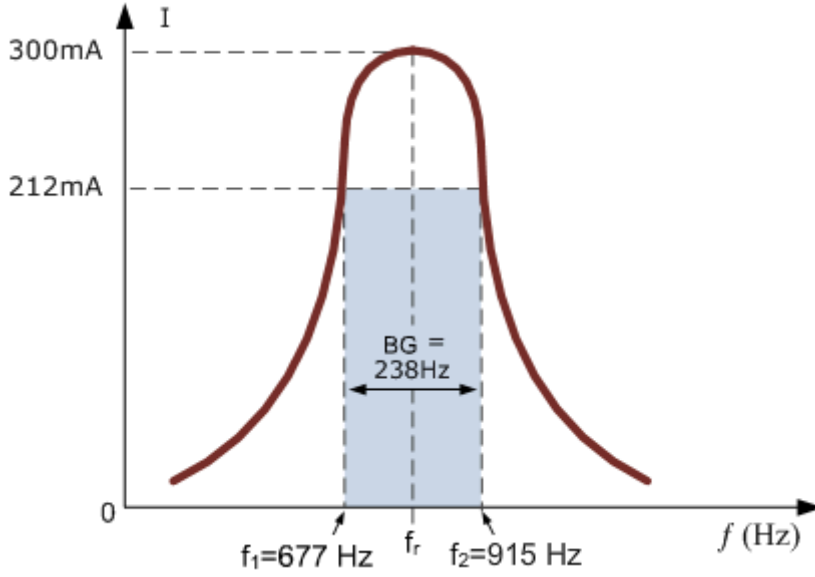
$$V_L = V_C = I.X_L = I.X_C = 0,3.100 = 30V \text{ ( hatırlayınız, kaynak gerilimi 9V)}$$

$$\text{Kalite faktörü} = Q = \frac{X_L}{R} = \frac{100}{30} = 3,33$$

$$\text{Bant genişliği} = BG = \frac{f_r}{Q} = \frac{796}{3,33} = 238Hz$$

$$\text{Alt kesim frekansı} = f_1 = f_r - \frac{BG}{2} = 796 - \frac{239}{2} = 677Hz$$

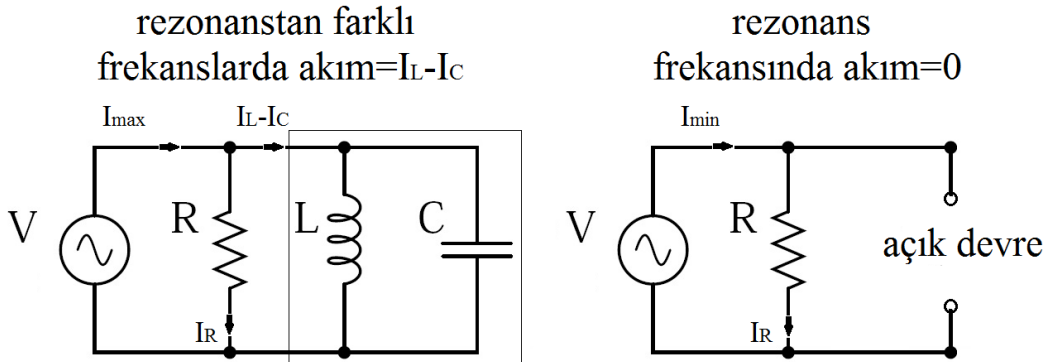
Üst kesim frekansı =  $f_2 = f_r + \frac{BG}{2} = 796 + \frac{239}{2} = 915Hz$  olarak bulunur. Ayrıca bant genişliği-akım grafiği Şekil 2.40'deki gibi olur.



Şekil 2.40: Örneğe ait bant genişliği akım grafiği

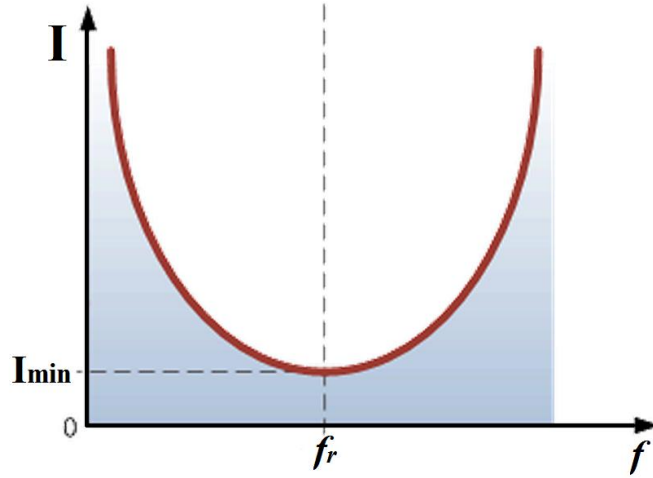
➤ **Paralel rezonans devresi**

Paralel rezonans devresi seri rezonans devrelerinden çok farklı değildir.(Şekil 2.41) Reaktif elemanların frekansa verdiği tepkiler devrenin davranışını etkiler. Paralel rezonans devresinde de seri rezonanstaki olduğu gibi reaktif elemanlar, rezonans frekansında birbirinin etkisini yok edecektir. Tank devresi olarak isimlendirilen paralel L-C devresinde bobin ve kapasitör, rezonans frekansında depoladıkları enerji ile sürekli birbirleri üzerinden akım geçirirler. Böylece A.C gerilim kaynağından akım çekmezler. Bu durumda L-C elemanlarından oluşan tank devresi açık devre gibi davranır.



Şekil 2.41: Paralel rezonans devresi

Şekil 2.42'deki grafikte görüldüğü gibi paralel rezonans devresinde  $f_r$  rezonans frekansında devrenin toplam akımı minimumdur.  $X_L$  ve  $X_C$  bileşenleri tank devresini açık devre hâline getirmiştir. Rezonans frekansının dışındaki frekanslarda ise devreden minimum akımdan fazla akım geçer.



Şekil 2.42: Paralel rezonans devresinde akım-frekans ilişkisi

Paralel rezonans devrelerinde kullanılan eşitlikler, paralel R-L-C'deki akım ve gerilim ve seri rezonanstaki  $f_r$  eşitlikleri ile aynıdır. Ancak kalite faktörü;

$$Q = R / X_L = R / X_C = R \cdot \sqrt{C / L} \text{ eşitlikleri ile bulunur.}$$

**Örnek 1:** Şekil 2.41'deki gibi bir paralel rezonans devresinde  $R = 60 \Omega$ ,  $L = 200$  mH,  $C = 120 \mu\text{F}$  ve A.C. kaynak gerilimi  $V = 100$  V ise;

$$f_r = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}} = \frac{1}{2,3,14 \cdot \sqrt{200 \cdot 10^{-3} \cdot 120 \cdot 10^{-6}}} = \frac{10^3}{6,28 \cdot \sqrt{24 \cdot 10^{-6}}} = \frac{10^3}{6,28 \cdot 4,89} = 32,5 \text{ Hz}$$

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2,3,14 \cdot 32,5 \cdot 0,2 = 40,82 \Omega$$

$$Q = \frac{R}{X_L} = \frac{60}{40,82} = 1,46$$

$$BG = \frac{f_r}{Q} = \frac{32,5}{1,46} = 22,2 \text{ Hz}$$



$$f_1 = f_r - \frac{BG}{2} = 32,5 - \frac{22,2}{2} = 21,4Hz$$

$$f_2 = f_r + \frac{BG}{2} = 32,5 + \frac{22,2}{2} = 43,6Hz$$

$$I_T = \frac{V}{R} = \frac{100}{60} = 1,67A \text{ (rezonans anında toplam akım)}$$

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{100}{40,82} = 2,45A \text{ (rezonans anında bobin ya da tank devresinin akımı)}$$

### 2.3.4. Alternatif Akımda Güç

Alternatif akım devrelerinde güç birim zamanda yapılan elektrik işidir. A.C devrelerde güç devre gerilimine ve devrede dolaşan akıma bağlıdır. Bununla beraber A.Cdevrelerde güç, endüktif ve kapasitif yüklerin de bulunması, akım ve gerilimin genliğinin devamlı olarak değişmesi ve aralarında faz farkı bulunması nedeniyle birden fazla bileşene sahiptir. A.C devrelerdeki bu güç bileşenleri aktif güç, reaktif güç ve görünür güçtür.

#### ➤ **Aktif (iş yapan) güç (P)**

Aktif (gerçek) güç, reaktif bileşenlere (bobin ve kapasitör) sahip bir devrede rezistif eleman (direnç) üzerinde harcanan güçtür.  $P$  ile gösterilir. Birimi watt (W)'tır. Aktif güç devrede harcanan enerjinin ölçüsüdür.

$$P = V.I.\cos\varphi$$

$P$  :Aktif güçwatt(W)

$I$  :Akım, amper (A)

$V$  :Gerilim, volt (V)

$\varphi$  :Gerilim ve akım arasındaki faz farkı

#### ➤ **Reaktif (kör) güç (Q)**

A.C devrelerde kaynak sinyalinin yönü ve şiddeti zamanla değişir. Endüktif ve kapasitif devre elemanları enerji depolayabilme özelliğine sahiptir ve depolanan bu enerji kaynağa tekrar aktarılır. A.C devrelerde enerji kaynağına geri aktarılan güce reaktif güç denir.  $Q$  ile gösterilir. Birimi volt-amper-reaktif (VAR)'tır.

$$Q = V.I.\sin\varphi \text{ ile hesaplanır.}$$

$Q$  : Reaktif güç volt-amper-reaktif (VAR)

$I$  : Akım, amper (A)

$V$  : Gerilim, volt (V)

$\varphi$  : Gerilim ve akım arasındaki faz farkı

➤ **Görünür (zahiri, bileşke) güç (S)**

Pratikte A.C devrelerde rezistif ve reaktif yükler bir arada bulunur. Rezistif yüklerde harcanan aktif güç ile reaktif yüklerde harcanan reaktif gücün vektörel toplamına ya da bileşkesine görünür güç denir.  $S$  ile gösterilir. Birimi volt-amper (VA)dir.

$$S = V.I \text{ ile hesaplanır.}$$

$S$  : Görünür güç volt-amper (VA)

$I$  : Akım, amper (A)

$V$  : Gerilim, volt (V)

Görünür güç, alternatif akım kaynaklarının güçlerinin belirtilmesinde kullanılır. Çünkü kaynakların iç ısıları, akımın gerilimle olan faz ilişkisine bağlı olmayıp kaynaktan çekilen toplam akım ile ilgilidir.

**Örnek 1:** Bir elektrik motoru 220V'luk alternatif akım kaynağından 10A ve  $30^\circ$  geri fazlı akım çekmektedir. Motorun kaynaktan çektiği aktif, reaktif ve görünür güçleri hesaplanacak olursa ( $\sin 30^\circ = 0,5$ ,  $\cos 30^\circ = 0,866$ );

$$P = V.I.\cos \varphi$$

$$P = 220.10.\cos 30$$

$$P = 1905,2W$$

$$Q = V.I.\sin \varphi$$

$$Q = 220.10.\sin 30$$

$$Q = 1100VAR$$

$$S = V.I$$

$$S = 220.10$$

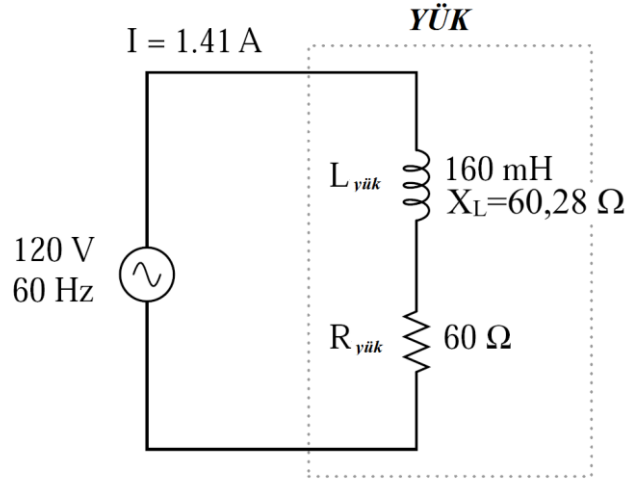
$$S = 2200VA \text{ bulunur.}$$

### 2.3.5. Endüktif Yüklü (R-XL) Devrelerde Güç Üçgeni

Bir bobin omik ve endüktif olmak üzere iki çeşit dirence sahiptir. Uygulamada saf bobin özelliği gösteren devre elemanı yoktur. Asenkron motorlar, transformatörler ve bobinli ziller yani içinde bobin olan tüm cihazlar endüktif yüküdür. Bu cihazlarda kullanılan bobinlerin omik ve endüktif dirençleri vardır. Bu tür yüklerde gerilim akımdan ileridedir. Pratikteki uygulama devreleri R- $X_L$  devresi olarak isimlendirilir.

➤ **Seri R-XL devresi**

Seri R-XL devresinde bobin ve direnç elemanları seri bağlanır ve A.C devrede yükü oluşturur. Şekil 2.43'teki R-L devresinin güç bileşenleri;



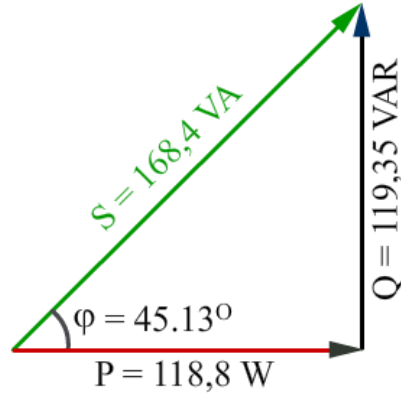
Şekil 2.43: Seri R-XL devresi

$$P = I^2 \cdot R = 1,98 \cdot 60 = 119,365W$$

$$Q = I^2 \cdot X = 1,98 \cdot 60,319 = 119,998VAR$$

$$S = I^2 \cdot Z = 1,98 \cdot 85,48 = 169,256VA \text{ olarak bulunur.}$$

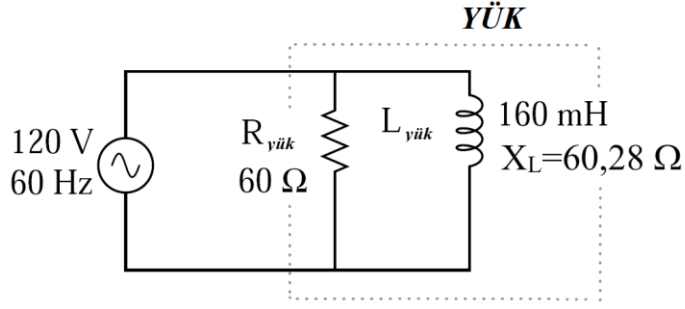
Bu sonuçlar yardımı ile seri R-XL devresinin güç üçgeni şekil 2.44'deki gibi çizilebilir.



Şekil 2.44: Reaktif yüklü seri R-XL devrede güç üçgeni

➤ **Paralel R-XL devresi**

Seri R-XL devresinde bobin ve direnç elemanları paralel bağlanır ve A.C devrede yükü oluşturur. Şekil 2.45'teki R-L devresinin güç bileşenleri;



Şekil 2.45: Paralel R-XL devresi

$$Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{60 \cdot 60,28}{\sqrt{60^2 + 60,28^2}} = 42,52 \Omega$$

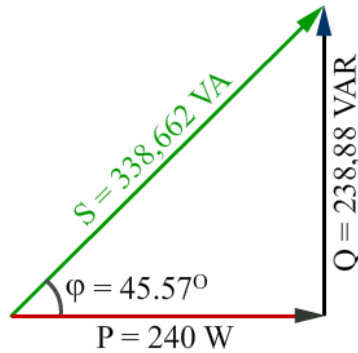
$$P = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R} = \frac{120^2}{60} = 240 \text{ W}$$

$$Q = I^2 \cdot X_L = \frac{V^2}{X_L} = \frac{120^2}{60,28} = 238,88 \text{ VAR}$$

$$S = I^2 \cdot Z = \frac{V^2}{Z} = \frac{120^2}{42,5} = 338,66 \text{ VA ve}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{240}{338,66} = 0,7 \Rightarrow \cos^{-1} = 45,57^\circ \text{ olarak bulunur.}$$

Bu sonuçlar yardımı ile paralel R-XL devresinin güç üçgeni Şekil 2.46'daki gibi çizilebilir.



Şekil 2.46: Reaktif yüklü paralel R-XL devrede güç üçgeni

### 2.3.6. Güç Katsayısı

Endüstride kullanılan yüklerin çoğunluğunun bobinli cihaz ya da makineler oluşturur. Bunlar da endüktif devreler olup geri güç katsayılıdır. Dolayısıyla şebekeler, alıcıların aktif güçleri yanında, reaktif güçlerini de karşılamak zorunda kalmaktadır. İş yapma özelliği olmayan reaktif güç, şebekeleri gereksiz yere yükler ve verimini düşürür. Bu yüzden güç katsayısının düzeltilmesi gerekmektedir. Bu işlemlere “kompanzasyon” denir.

Güç katsayısının düzeltilmesinin faydaları:

- Alternatörün ve trafonun görünür güçleri düşer.
- Aynı besleme hatlarından daha fazla aktif enerji iletilir.
- Enerji iletim hatlarındaki kayıplar azalır.
- Aynı gücü iletmek için daha az iletken kullanılır ve buna bağlı olarak yatırım maliyetleri düşer.
- Reaktif güç için ödenmesi gereken para tasarruf edilir.

Güç katsayısını düzeltmek için yani endüktif reaktif gücü yok etmek için devreye çoğunlukla paralel kondansatör grupları bağlanabilir.

#### ➤ Faz açısı

Reaktif yüklere sahip A.C devrelerde güç üçgeninde bulunan  $\varphi$  açısı, A.C gerilim kaynağından ne kadar güç çekildiğini veya kaynağa ne kadar güç aktarıldığının oranını gösterir. Güç üçgeninde bulunan bu açığı faz açısı denir.  $\varphi$  açısının kosinüsü yani  $\cos \varphi$  ise aktif gücün görünür güce oranıdır ve güç katsayısı olarak isimlendirilir.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Şekil 2.45'teki paralel R-XL devresinin faz açısı ve güç katsayısı hesaplanacak olursa;

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{240}{339} = 0,7$$

$$\varphi = \cos^{-1} 0,7 = 45^\circ \text{ olarak bulunur.}$$

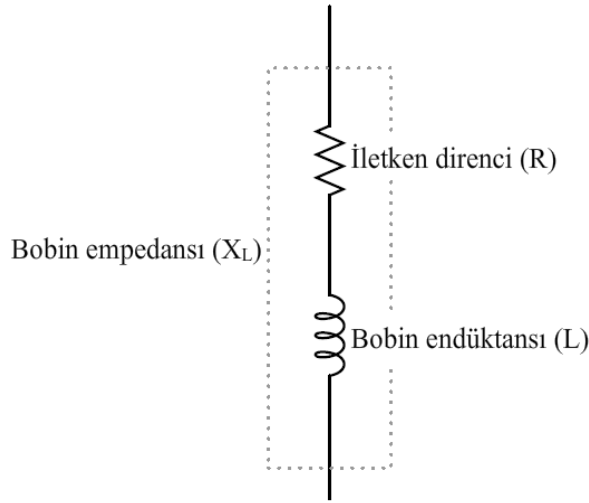
Güç katsayısının 1'e yakın bir olması istenir. Bunun anlamı aktif güç ile görünür gücün birbirine yakın ve reaktif gücün ise nispeten küçük olmasının istenmesidir. Bir sistemin güç katsayısı artırılarak sistemin verimi artırılabilir.

### ➤ Gerçek bobinin incelenmesi

İdeal bir bobinin sabit direncinin olmadığı varsayılır. Bu nedenle bir A.C devresinde ideal bir bobinin toplam direnci endüktansından kaynaklanan direncidir ( $X_L$ ).

Oysa gerçekte bir bobinin az ya da çok sabit bir direnci vardır. (Şekil 2.47) Sonuçta bobin bir iletken ve hemen her iletken yapısı, kesiti ve uzunluğuna bağlı olarak bir direnç değerine sahiptir.

Bir bobinin sabit direnci yüksek akımlı devrelerde ihmal edilemez.

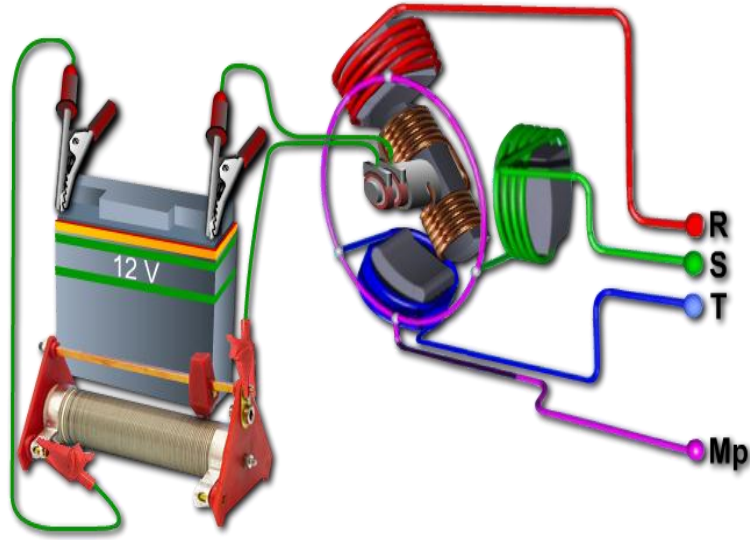


Şekil 2.47: Gerçek bobin

### 2.3.7. Üç Fazlı Sistemler

Alternatif akım üretmek için alternatör kullanıldığından ilk bölümde bahsedilmişti. Şimdiye kadar incelenen elektrik devrelerindeki A.C kaynaklar hep bir fazlı kaynaklardı. Eğer bir alternatör, birbirinin aynısı ancak aralarında 120 derece faz farkı olan sinüs şekline sahip üç farklı sinyal üretiyorsa buna üç fazlı sistem denir.

Şekil 2.48'de görüldüğü gibi bir alternatörün sargıları 120'şer derece aralıklarla yerleştirilmiştir. Bu yapıdan dolayı elde edilen gerilimler sinüsoidaldir ve aralarında 120 derece faz farkı vardır.



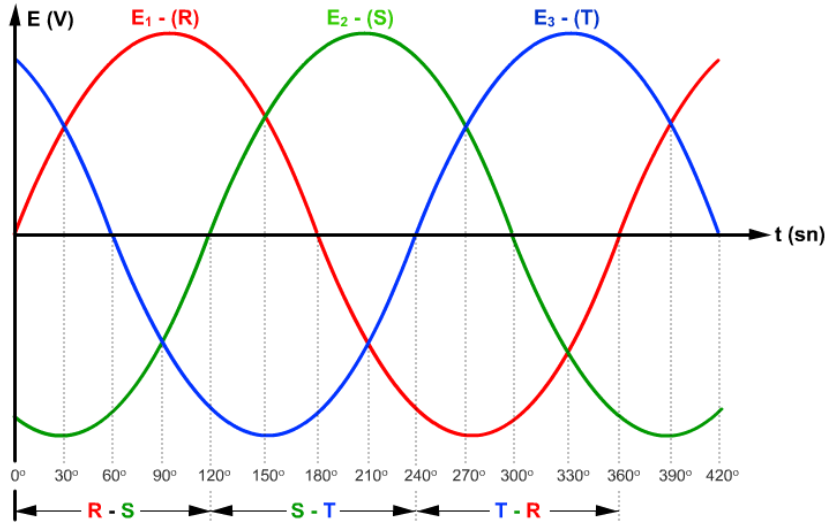
Şekil 2.48: Üç fazlı alternatör modeli

Elektrik enerjisinin iletimi ve üretimi bakımından çok fazlı sistemlerin bir fazlı sistemlere üstünlükleri vardır. Bunlar:

- Aynı boyuta sahip iki veya üç fazlı alternatörler bir fazlı olanlardan daha fazla güç verir.
- Çok fazlı alternatörlerde kilowatt-saat başına enerjinin maliyeti bir fazlı olanlardan daha düşüktür.
- Çok fazlı enerji iletim hatları bir fazlı hatlardan daha ucuzdur. Örneğin üç fazlı enerji iletim hattının bakır ağırlığı eş değer bir fazlı hattın ağırlığının 3/4'ü kadardır.

➤ **Faz farkları**

Bir alternatör düzeneğinde N-S kutupları arasındaki sabit manyetik alana üç sargı bobini 120°şerderece faz farklı olarak yerleştirilerek döndürülürse aralarında 120 derece faz farkı olan üç sinüsoidal sinyal elde edilir. Şekil 2.49'te A, B ve C bobinlerinde indüklenen 120°şer derece faz farklı sinüs eğrileri görülmektedir.



Şekil 2.49: Üç faz sinüs sinyalleri

Not: İç tesisler yönetmeliğinde ve teknik resim çizimlerinde üç fazın isimleri L1, L2 ve L3 olarak kullanılmaktadır. L1 griyle, L2 siyahla ve L3 de kahverengiyle gösterilir.

### ➤ Faz gerilimi

Şekil 2.48’de R, S ve T bobinlerinin sarım sayıları birbirine eşit olursa indüklenen gerilimlerin maksimum değerleri, dolayısıyla bu gerilimlerin etkin değerleri de birbirine eşit olur. 120 derece faz farklı ve maksimum değeri aynı olan üç eğri matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$e_R = E_m \cdot \sin \omega t$$

$$e_S = E_m \cdot \sin(\omega t - \pi/3)$$

$$e_T = E_m \cdot \sin(\omega t - 2\pi/3)$$

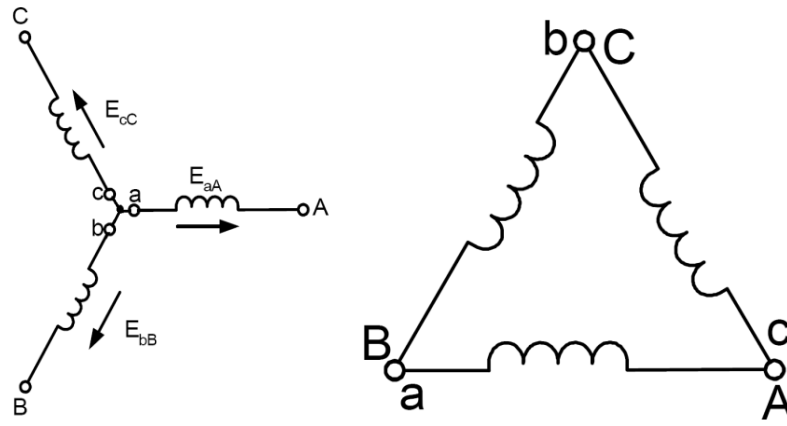
Şekil 2.48’de görüldüğü gibi R bobininde indüklenen gerilim maksimum değerini aldıktan 120° sonra S bobininde indüklenen gerilim maksimum değerini alır. S bobininden 120° sonra T bobininde indüklenen gerilim maksimum değerine ulaşır. T bobinindeki gerilim R bobinindeki gerilimden 240° geri veya 120° ileri fazdadır.

Alternatörlerde gerilim indüklenmesini sağlamak için kullanılan bobinler birbirlerine iki farklı şekilde bağlanır. Bunlar yıldız (Y) ve üçgen ( $\Delta$ ) bağlantıdır. Her bir bobinde indüklenen gerilim faz gerilimi, fazlar arasındaki gerilim ise hat gerilimi olarak isimlendirilir. (Şekil 2.50)



Yıldız bağlantıda hat gerilimi faz geriliminin  $\sqrt{3}$  katına eşittir ( $V = \sqrt{3}.V_f$ ) ve hat akımı faz akımına eşittir ( $I_H = I_F$ ). Üçgen bağlantıda ise hat gerilimi faz gerilimine eşittir ( $V = V_f$ ) ve hat akımı faz akımının  $\sqrt{3}$  katına eşittir ( $I_H = \sqrt{3}.I_F$ ).

Örneğin yıldız bağlı üç fazlı bir sistemde faz gerilimi  $V_f = 220\text{ V}$  ise hat gerilimi  $V = \sqrt{3}.V_f = 1,73.220 = 381,05\text{ V}$  olarak bulunur.



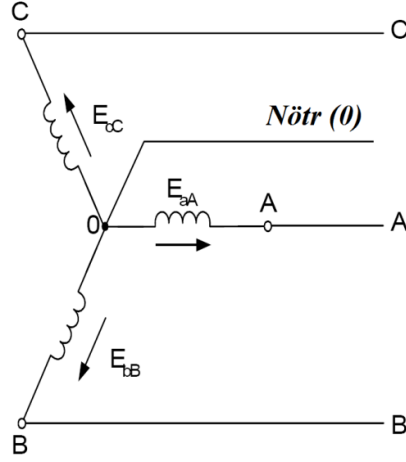
Şekil 2.50: Yıldız ve üçgen bağlantı

**Örnek:** Hat gerilimi 190 V olan bir sisteme yıldız bağlı bir motorun faz gerilimi bulunmak istenirse;

$$V_H = \sqrt{3}.V_F \Rightarrow V_F = V_H / \sqrt{3} = 190/1,73 = 110\text{ V olur.}$$

#### ➤ Sıfır noktası

Yıldız bağlı üç fazlı sistemlerde her faz sargısının birer ucu bir noktada birleştirilir.(Şekil 2.51) Bu noktaya sıfır noktası ya da nötr denir. Yıldız bağlantıda yükler sıfır noktası ile bir faz ucuna bağlanır. Üçgen bağlantıda ise sıfır noktası yoktur, yükler faz uçları arasına bağlanır.



Şekil 2.51: Yıldız bağlantıda sıfır noktası

### ➤ Üç fazlı sistemlerde güç

Üç fazlı sistemlerde yıldız ve üçgen bağlantılarda eğer dengeli yük (eşit empedanslarda yükler) varsa güç aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$P = \sqrt{3}.V.I.\cos\varphi$$

$P$  :Dengeli yüklü sistemde güç (watt, W)

$V$  :Fazlar arası gerilim (hat gerilimi) (volt, V)

$I$  :Hat akımı (amper, A)

$\varphi$  :Hat gerilimi ve hat akımı arasındaki açı

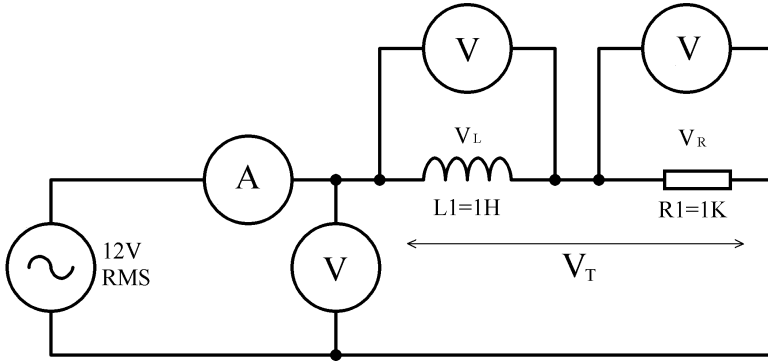
### ➤ Dengeli üç fazlı sistemler

Üç fazlı olarak gerçekleştirilen elektrik enerjinin üretimi, iletimi ve dağıtım sırasında faz gerilimi ve akımlarının olabildiğince dengede tutulmasına çalışılır. Jeneratörler uygun yapılarıdolayısıyla dengeli gerilim üretir. Ancak bazı tür tüketiciler karakteristikleri gereğifazlardan dengesiz akımlar çekebilir. Demiryolu tesisleri, ark fırınları, alçak gerilim enerji dağıtım şebekelerindeki bu tür yüklerle birer örnektir. Bu durumda her fazın akımının genliği birbirinden farklı ve akım fazörleri arasındaki açı da  $120^\circ$ den farklıdır.

Dengeli üç fazlı güç sistemlerinde yük akımları, sistemin besleme ve uç gerilimleri dengelidir. Akımlar ve gerilimler sinüsoidaldir. Fazların empedansları ( $Z_R = Z_S = Z_T$ ) ve admitansları ( $Y_R = Y_S = Y_T$ ) eş değerdir. Kaçak kapasitelerin belirli noktalarda toplandığı kabul edilir ya da uzun iletim hatları hariç ihmal edilir.

## UYGULAMA FAALİYETİ

Atölyenizde bulunan deney malzemelerini kullanarak aşağıda verilen devreyi oluşturarak istenen hesaplamaları ve ölçmeleri yapınız.



Seri R-L devresi

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Seri R-L devresini breadboard üzerine kurunuz.</li><li>➤ Devreye enerji veriniz.</li><li>➤ Voltmetre ve ampermetre üzerinde okunan değerleri not alınız.</li></ul> <p><b>I</b> :.....</p> <p><b>V<sub>T</sub></b>:.....</p> <p><b>V<sub>R</sub></b>:.....</p> <p><b>V<sub>L</sub></b>:.....</p> <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Devrenin enerjisini kesiniz.</li><li>➤ Direnç değerini Ohm Kanunu'na göre hesaplayınız.</li><li>➤ Direncin değeriyle bulduğunuz değeri karşılaştırınız.</li><li>➤ Bobinin endüktifreaktans değerini <math>V_L/I</math> Ohm Kanunu'na göre hesaplayınız.</li><li>➤ Bobinin endüktifreaktansını <math>X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L</math> formülüne göre hesaplayınız.</li><li>➤ Bulduğunuz değerleri karşılaştırınız.</li><li>➤ Devrenin empedansını <math>V/I</math> formülü ile hesaplayınız.</li><li>➤ Devre empedansını <math>Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}</math> formülüne göre hesaplayınız.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ İş güvenliği tedbirlerini alınız.</li><li>➤ Devreyi kurmadan önce devre elemanlarının sağlamlık kontrolünü ölçerek yapınız.</li><li>➤ Hesaplama yaparken hesap makinesi kullanınız ve hata yapmamaya dikkat ediniz.</li><li>➤ Ölçüm cihazlarınızın A.C kademesinde olduğundan emin olunuz.</li></ul>

- 
- |  |  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Bulduğunuz değerleri karşılaştırınız.</li><li>➤ Devrenin akımını faz açısını hesaplayınız.</li><li>➤ Devreden çekilen toplam gücü, direnç ve bobin üzerinde harcanan güçleri hesaplayınız.</li><li>➤ Hesapladığınız güçleri karşılaştırınız.</li></ul> |  |
|--|--|

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Bir bobinin alternatif akıma gösterdiği zorluk aşağıdakilerden hangisidir?  
A) Kapasitifreaktans  
B) Endüktifreaktans  
C) Direnç  
D) Frekans  
E) Empedans
2. Sadece bobinli A.C devresinde akımı ve bobin gerilimi için aşağıdakilerden hangisi söylenebilir?  
A) Akım ve gerilim aynı fazdadır.  
B) Akım  $90^\circ$ geri fazdadır.  
C) Akım  $90^\circ$ ileri fazdadır.  
D) İkisini faz farkı  $180^\circ$ 'dir.  
E) Gerilim $90^\circ$  ileri fazdadır
3. 3 mH ve 6 mHendüktansı olan iki bobin seri bağlanırsa eş değereendüktans ne olur?  
A) 2 Mh  
B) 6 mH  
C) 9 mH  
D) 18 mH  
E) 12mH
4. Kapasitörlü bir A.C devresinde devre akımı ve kapasitör gerilimi için aşağıdakilerden hangisi söylenebilir?  
A) Akım ve gerilim aynı fazdadır.  
B) Akım  $90^\circ$ ileri fazdadır.  
C) Akım  $90^\circ$  geri fazdadır.  
D) İkisini faz farkı  $180^\circ$ 'dir.  
E) Gerilim $90^\circ$  ileri fazdadır
5.  $10\mu\text{F}$ 'luk iki kondansatör birbirine seri bağlanırsa eş değer kapasite ne olur?  
A)  $1\mu\text{F}$   
B)  $2\mu\text{F}$   
C)  $4\mu\text{F}$   
D)  $5\mu\text{F}$   
E)  $20\mu\text{F}$
6. Seri R-L devresi için aşağıdakilerden hangisi söylenemez?  
A) Omikdirençdeki gerilim düşümü akımla aynı fazdadır.  
B) Endüktifreaktansda düşen gerilim akımdan  $90^\circ$  geri fazdadır.  
C) Devre akımı  $I = V/Z$ fomülüyle bulunur.  
D) Devreden geçen akım, gerilimden  $\phi$  kadar geri kalır.  
E) Endüktifreaktanstan geçen akım düşen gerilimden  $90^\circ$  geri fazdadır.

7. Seri R-C devresi için aşağıdakilerden hangisi söylenebilir?
- A) Devre akımı, devre geriliminden  $\phi$  faz açısı kadar ileri fazdadır.  
 B) Devrenin empedansı  $Z$ ,  $R$ , ve  $X_C$  dirençlerinin toplamına eşittir.  
 C) Devre akımı  $I = Z/V$  formülüyle bulunur.  
 D) Kondansatörün uçlarındaki kapasitif reaktans gerilim düşümü akım  $180^\circ$  geri fazdadır.  
 E) Devre gerilimi devre akımından  $180^\circ$  geri fazdadır.
8. Maksimum gerilimi 100V olan bir A.C kaynak direnci  $10\Omega$  olan bir devreye akım vermektedir. A.C kaynağın frekansı 40Hz olduğuna göre akımın denklemini aşağıdakilerden hangisidir?
- A)  $i = 10 \sin 80\pi t$   
 B)  $i = 5 \sin 80\pi t$   
 C)  $i = 5 \sin 40\pi t$   
 D)  $i = 4 \sin 80\pi t$   
 E)  $i = 10 \sin 25\pi t$
9. Seri R-L-C devresinde  $R = 15\Omega$ ,  $X_L = 24\Omega$ ,  $X_C = 4\Omega$  ve alternatif gerilim kaynağının etkin değeri 100V ise devreden geçen akımın etkin değeri kaç amperdir?
- A) 2  
 B) 3  
 C) 4  
 D) 8  
 E) 6
10. Seri R-L devresinde direnç üzerindeki gerilimin bobin üzerindeki gerilime oranı  $V_R/V_{X_C} = 3/4$  ise bu devrede faz açısının kosinüsü ( $\cos \phi$ ) aşağıdakilerden hangisidir?
- A) 3/5  
 B) 3/4  
 C) 1  
 D) 4/3  
 E) 4
11. Seri R-C devresinde  $R = 4\Omega$ ,  $X_C = 3\Omega$ , A.C kaynak geriliminin etkin değeri 100V ve akımın etkin değeri  $I_1$ , seri bir R-L-C devresinde  $R = 3\Omega$ ,  $X_L = 7\Omega$ ,  $X_C = 3\Omega$ , A.C kaynak geriliminin etkin değeri 100V ve akımın etkin değeri  $I_2$  ise  $I_1/I_2$  oranını aşağıdakilerden hangisidir?
- A) 4  
 B) 3  
 C) 2  
 D) 5  
 E) 1

12. Seri R-L-C devresinde  $R = 15\Omega$ ,  $X_L = 10\Omega$  ve  $X_C = 10\Omega$  ise aşağıdaki yargılardan hangisi ya da hangileri doğrudur?
- Devre rezonanstadır.
  - Bobin gerilimi kondansatör gerilimine eşittir.
  - Devrenin empedansı direnç değeri kadardır.
- A) i  
B) i ve ii  
C) i ve iii  
D) i,ii ve iii  
E) ii
13. Reaktif bileşenlere (bobin ve kapasitör) sahip bir devrede rezistif eleman (direnç) üzerinde harcanan güç aşağıdakilerden hangisidir?
- A) Aktif güç  
B) Pasif güç  
C) Görünür güç  
D) Reaktif güç  
E) Etkin güç
14. Rezonans devrelerinde kalite faktörü aşağıdakilerden hangisi ile gösterilir?
- A) K  
B) G  
C) BW  
D) Q  
E) C
15. Alt kesim frekansı 60Hz üst kesim frekansı 150Hz olan bir rezonans devresinde bant genişliği aşağıdakilerden hangisidir?
- A) 80Hz  
B) 70Hz  
C) 100Hz  
D) 210Hz  
E) 90
16. Üst kesim frekansı 1,5KHz ve bant genişliği 500Hz olan bir rezonans devresinin rezonans frekansı aşağıdakilerden hangisidir?
- A) 2KHz  
B) 750Hz  
C) 1,25KHz  
D) 1,75KHz  
E) 1KHz

17. Yıldız bağlantıda hat gerilimi faz geriliminin kaç katına eşittir?
- A)  $\sqrt{3}$
  - B)  $\sqrt{2}$
  - C) 1,5
  - D) 10
  - E)  $\sqrt{4}$
18. Alternatif akım devresinde iş yapan güç hangisidir?
- A) Reaktif güç
  - B) Görünür güç
  - C) **C)Aktif güç**
  - D) **D)İş güç**
  - E) **E)Kapasitif güç**
19. Aşağıdakilerden hangisi kompanzasyonun faydalarından değildir?
- A) Alternatörden veya trafodan çekilen görünür güç artar.
  - B) Aynı besleme hatlarından daha fazla aktif enerji iletilir.
  - C) Enerji iletim hatlarındaki kayıplar azalır.
  - D) Reaktif güç için ödenmesi gereken para tasarruf edilir.
  - E) Trafodan çekilen görünür güç artar

## DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.



# ÖĞRENME FAALİYETİ-3

## ÖĞRENME KAZANIMI

Bu öğrenme faaliyeti sonunda elektromanyetizmanın temellerini öğrenecek ve etkilerini hayatımızda nerelerde kullandığımızı farkedeceksiniz.

## ARAŞTIRMA

Elektromanyetizmanın keşfedilişi ile ilgili araştırmalar yaparak sınıfa gelip arkadaşlarınızla öğrendiklerinizi karşılaştırınız.

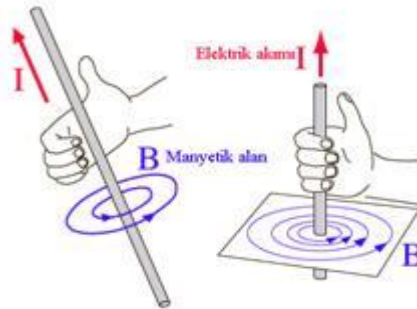
## 3. ELEKTROMANYETİZMA

Elektrik akımı ile elde edilen manyetik alana genel olarak elektromanyetizma denir. Elektrik akımı geçirilen iletkenlerin etrafında meydana gelen manyetik alan özelliklerini birçok alanda kullanılmaktadır. Haberleşmede göndermek istediğimiz bilgileri ortama manyetik alan titreşimleri olarak antenler yardımıyla yayıyoruz. Alternatörler içerisinde Rotor diye isimlendirdiğimiz dönen parçanın mıknatıs özelliği kazanması için de yine Elektromanyetizmadan yararlanıyoruz. Şimdi elektrik akımı ile nasıl manyetik alan elde edebileceğimize bakalım.

### 3.1. Akım Geçen İletken Etrafındaki Manyetik Alan

Elektrik akımı, elektrik yüklerinin hareketinden meydana gelmektedir. Manyetik alanlar genel olarak iki türlü elde edilir. Bunlardan biri bildiğimiz doğal mıknatıslar yardımı ile diğeri ise bir iletken akım geçirilerek elde edilir.

Aşağıdaki şekilde içerisinden akım geçirilen tellerin etrafında meydana gelen manyetik alan "sağ el kuralı" olarak isimlendirilen yöntemle gösterilmiştir. Başparmağımız akım yönünü gösterecek şekilde tutulduğunda diğer dört parmağımız manyetik alanın yönünü gösterir.



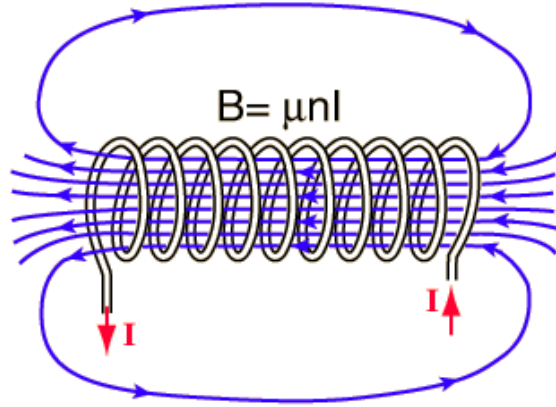
Şekil 3.1: Sağ el kuralı

Şekil 3.1' de uzunca bir tel parçasından I akımı geçtiğini düşünelim. Bu telin etrafında manyetik bir alan oluşur. Manyetik alan telden uzaklaşınca  $r^2$  ile orantılı azalır; ama telden herhangi bir r uzaklığı için tel boyunca büyüklüğü sabittir. Bu büyüklük telin içinden geçen akımla doğru orantılıdır.

Akım taşıyan telin etrafında oluşturduğu manyetik alanın yönünü bulmak için sağ el kuralını kullanırız. Sağ el kuralı oldukça pratik bir yöntemdir. Akım taşıyan bir tel parçasının etrafında oluşturduğu manyetik alan için Sağ El Kuralı'nda; akım yönü sağ elin başparmağının gösterdiği yön olarak seçilir. Sağ elin kıvrılmış dört parmağı ise manyetik alanın yönünü göstermiş olur.

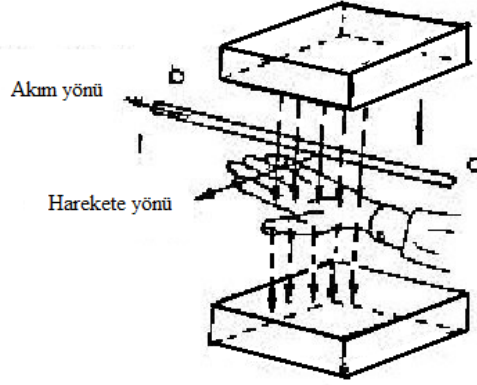
### 3.2. Akım Geçen Bobinin Çevresindeki Manyetik Alan

Bir kasnak üzerine yan yana sarılan iletkenlerin oluşturduğu sarmala bobin denir. Bu iletkenden; yani bobinden akım geçirildiğinde bobin içinde bir manyetik alan meydana gelir. Bu manyetik alanın büyüklüğü de akım şiddetine "I" bobinin boyuna "L" sarım sayısına "N" ve ortama " $\mu$ " bağlıdır.



Şekil 3.2.: Akım geçirilen bobin etrafındaki manyetik alan

Sabit bir manyetik alan içerisinde kalan iletken akım geçirildiğinde, iletken içinden geçen akımın oluşturduğu manyetik alanın, etrafındaki manyetik alan ile etkileşimi sonucunda iletken manyetik alan dışına doğru itilir. Manyetik alanın dışında bu hareket durur.



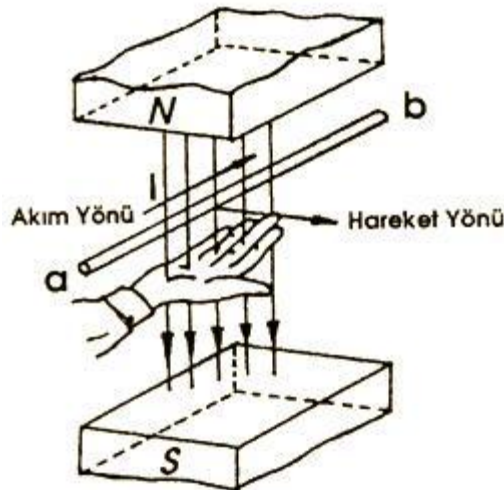
Şekil 3.3.: Sol el kuralı

İletkenin itilme yönü iletkenden geçen akım ve manyetik alanın yönüne bağlıdır. Bu hareketin yönü sol el kuralı ile bulunur.

**Sol El Kuralı:** Sol el dört parmağı birleştirilerek açılır. Kuvvet çizgileri avuç içine girecek şekilde alan içine sokulan sol el dört parmağı akım yönünü gösterecek şekilde tutulursa yana açılan başparmak hareketin yönünü gösterir.

### 3.3. Manyetik Alan İçinde Bulunan İletkenin Hareketi

İndüksiyon prensibi: Dinamoların çalışma prensibi; kısaca, sabit manyetik alan içerisinde bulunan iletken manyetik alan kuvvet çizgileri tarafından kesilecek şekilde hareket ettirilirse o iletkende gerilim indüklenir. Bu olaya indüklenme denir.



Şekil 3.4.: Sağ el kuralı

İletkende indüklenen gerilimin miktarı iletkenin hareket hızı ve manyetik alanın büyüklüğü ile doğru orantılıdır. İndüklenen akımın yönü de iletkenin hareket yönüne ve manyetik alanın yönüne bağlıdır ve akımın yönü sağ el kuralı ile bulunur.

**Sağ El Kuralı:** Sağ elin avuç içi N kutbuna bakacak şekilde tutulduğunda, alan içindeki iletkenin hareket yönünü yana açılan baş parmak gösteriyorsa iletkende indüklenen gerilimin yönünü bitişik dört parmak gösterir.

### 3.4. Elektromanyetizma Kullanım Örnekleri

#### 3.4.1. DC Motorlar

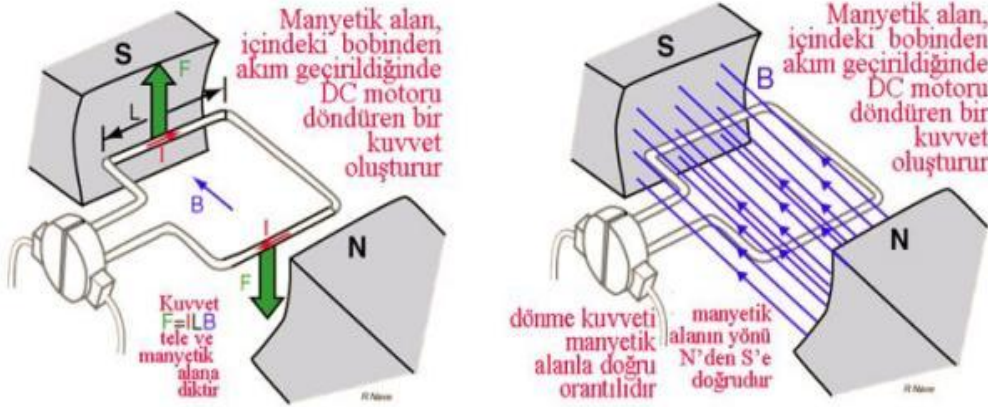
Doğru akım elektrik enerjisini hareket enerjisine dönüştüren makinelere doğru akım motoru denir.

Doğru akım motorları çalışma prensibi olarak aynıdır. Tek farklılık güçleridir. Küçük güçlü motorlara doğal ya da yapay olan sabit mıknatıslar yeterli iken büyük güçlü motorlarda gerekli manyetik alan elektromıknatısla oluşturulur.

##### ➤ Temel Çalışma Prensibi

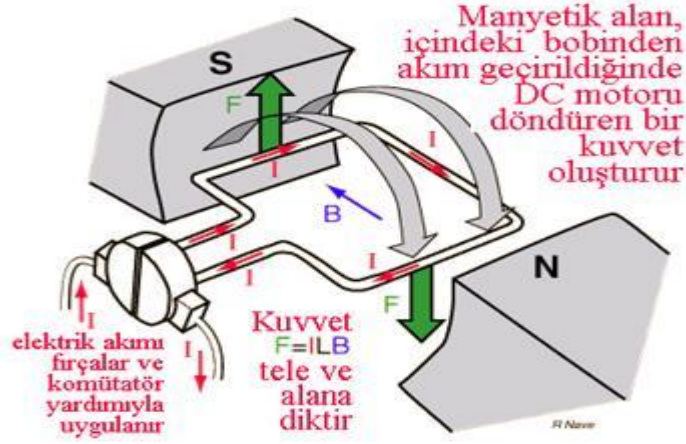
Telin itilme kuvveti telden geçen akıma, telin boyuna ve telin içinde bulunduğu ortama bağlıdır.  $F=I.L.B$  formülü ile bulunur.

Kuvvetin yönü sol el kuralı ile bulunur.



Şekil 3.5. :Doğru Akım motorlarının çalışma prensibi

Sabit manyetik alan içinde kalan bobinin dönme kuvveti manyetik alan ile doğru orantılıdır.

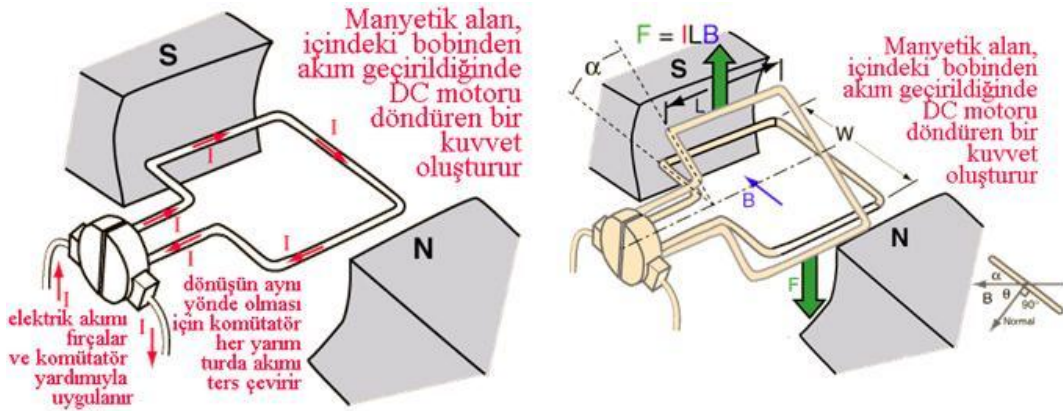


Şekil 3.6.: Fırçaların işlevi ve Manyetik Alanın oluşturduğu kuvvet

Bobin bir eksen etrafında dönecek şekilde manyetik alan içine yerleştirilir. Elektrik akımı fırça ve kolektör (komütatör) yardımıyla bobine iletilir (Şekil 3.6).

Dönüşün aynı yönde ve sürekli olması için aynı kutbun altından sürekli aynı yönde akımın geçmesi gerekir.

Akımın her yarım turda yön değiştirmesi yan yana konulan kolektör dilimleri ve kutup ekseninde sabit tutulan fırçalar ile sağlanır.



Şekil 3.7.: Doğru Akım motorları içerisinde hareketin meydana gelişi

Bobin döndükçe manyetik alan ile bobin arasında bir  $\alpha$  açısı oluşur. Aradaki açının kosinüsü ile doğru orantılı olarak döndürme kuvveti de azalır. Bu durumda kuvvet  $F = I.L.B.\cos\alpha$  formülü ile hesaplanır.

### ➤ **Dönüş Yönü Değişirme**

Doğru akım motorunun dönüş yönünü değiştirmek için uygulanan akım yönünü değiştirmek yeterlidir. Bobine etkiyen kuvvetin yönü dolayısıyla motorun dönüş yönü, manyetik alanın ve iletkeniden geçen akımın yönüne bağlıdır. Alan yönünü değiştirmenin mümkün olduğu harici uyarımlı DC motorlarda, alan yönü değiştirilerek veya uygulanan gerilimin yönü değiştirilerek motorun dönüş yönü değiştirilebilir. Sabit mıknatıslı DC motorlarda alan yönünü değiştirmek mümkün olmadığından akım yönünü değiştirmek yeterli olacaktır.

### ➤ **Gerilimle Hız Ayarı**

Doğru akım motorlarında dönüş hızı manyetik alan kuvveti ve iletkeniden geçen akımla doğru orantılıdır. Sabit mıknatıslı DC motora uygulanan gerilim değiştirilerek iletkeniden geçen akım, dolayısıyla hız değiştirilebilir. Harici uyarımlı DC motorlarda ise uyarım akımı dolayısıyla manyetik alan ayarlanarak hız ayarı yapmak mümkündür.

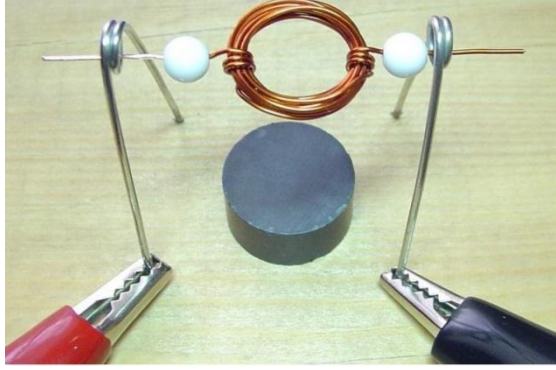
## **3.4.2. Alternatörler**

Alternatörler, dairesel hareketi elektrik enerjisine çeviren dönüştürücülerdir. Alternatörler iki parçadan oluşur: Rotor ve Stator.

Rotor, alternatörler içerisinde dönen parçaya verilen isimdir. İletken sarımlarından oluşan rotor, içerisinden akım geçirilerek elektromıknatısa dönüştürülür.

Stator ise alternatörün sabit parçasıdır. Elektrik potansiyeli Stator sarımlarında meydana gelir. Rotor diye isimlendirdiğimiz dönen elektromıknatısın meydana getirdiği değişken manyetik alan, Statorun uçlarında zamana bağlı yönü ve şiddeti değişen "alternatif gerilim" meydana getirir. Herhangi bir yüke bağlayarak alternatif akım elde etmiş oluruz.


Uygulama 3.1: Aşağıda bitirilmiş şekli görülen basit elektrik motorunu işlem basamaklarında anlatılan sıraya göre yapınız.



**Basit elektrik motoru**

Aşağıdaki malzemeleri hazırlayınız

- Bir adet mıknatıs
- 1,5m 0,65mm çaplı (daha kalın da olabilir) emaye kaplı bakır tel
- 1 adet 1.5V'luk kalem pil (AA,C,veya D türünde)
- 2 Adet çengelli iğne veya ataş
- 2 adet boncuk veya tespih tanesi
- Tahta plaka
- Maket bıçağı
- Pense
- Krokodil bağlı kablo

<b>İşlem Basamakları</b>	<b>Öneriler</b>
<p>➤ 0,65 mm çapındaki bakır teli kalem pil üzerine 10 tur sarınız</p>  <p>➤ Sarımları pilin üzerinden dikkatlice çıkartarak aşağıdaki şekle getiriniz</p>	<p>➤ Ş güvenliği tedbirlerini alınız.</p> <p>➤ Deney düzeneğini kurmak için gerekli malzemeleri önceden hazırlayınız.</p> <p>➤ Pili alkaline türünde iyi kalite alınız.</p>





- Sarımların her iki tarafında yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi 2-3 cm'lik düz iletken parçası olmalıdır.

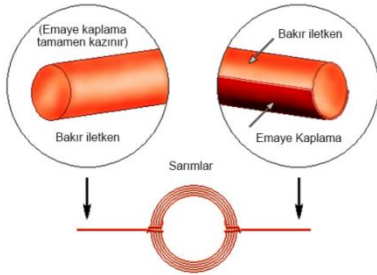


Şekil 12: 0.80 mm çaplı telden sarımlar



Şekil 13: 1mm çaplı telden sarımlar

- Yukarıda farklı çaplarda tellerden sarılmış sarımlar görülmektedir.
- 3-4 cm'lik düz telin üzerindeki emaye kaplanmış kısımlar maket bıçağı veya ince zımpara ile temizlenmelidir.



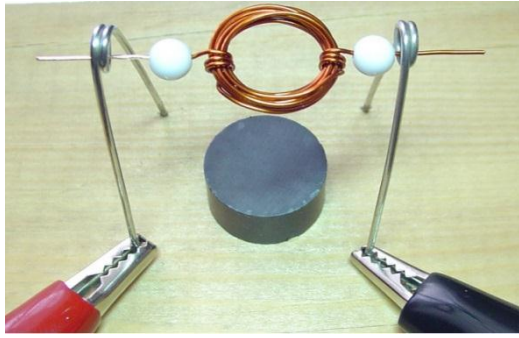
- Bir tahta plaka üzedrine çengelli iğneler aşağıda görüldüğü şekilde sabitlenir.

- Sarımın kenarına bağladığımız iletken parçasının bağlantısını sıkı yaparak iletkenin düz hale gelmesine dikkat ediniz. İletkeni 0,65mm yerine 1 mm'likten yapabilirsiniz.

- Bakır iletkenin uç kısımlarında yalıtkan emaye kaplama iyice temizlenmelidir.

- Besleme olarak atölyedeki güç kaynağını kullanarak gerilim değerini 0-5 V aralığında değiştirerek gözleminizi yapabilirsiniz.

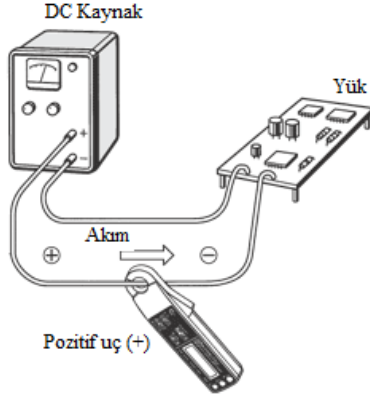




- Oluşturduğunuz düzene krokodil yardımıyla pil enerjisini uyguladığınızda basit motorun döndüğünü izleyeceksiniz.
- Yaptığımız basit motor deneyinin raporunu elektromanyetizma prensibini açıklayarak hazırlayınız

### Uygulama 3.2 : Pens ampermetre kullanarak akım ölçme uygulaması

Atölyenizde bulunan deney malzemelerini kullanarak aşağıda verilen devreyi oluşturarak istenen ölçmeleri yapınız



Pens ampermetre ile akım ölçme

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Atölyenizde daha önceden yapılmış çalışan devrelerden birini kullanarak soldaki düzeneği kurunuz.</li><li>➤ Devreye enerji veriniz.</li><li>➤ Ampermetre üzerinde okunan değeri not alınız. <b>I</b> :.....</li><li>➤ Sağdaki resimde görüldüğü şekilde kullandığınız güç kaynağının şebeke geriliminden çektiği akım değerini ölçünüz.</li><li>➤ Pens ampermetre ile akım ölçmede elektromanyetizma prensibinden nasıl faydalandığını açıklayan raporunuzu hazırlayınız.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ İş güvenliği tedbirlerini alınız.</li><li>➤ Ölçmelerinizde DC/AC kademesinin doğru kademe seçilmiş olmasına dikkat ediniz.</li></ul>

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Elektrik akımı ile elde edilen manyetik alana ne isim verilir?  
A) Elektromanyetizma  
B) Rotor  
C) Sağ el Kuralı  
D) Manyetik Akı  
E) Stator
2. Alternatörler içerisinde dönen elektromıknatısa ne isim verilir?  
A) Rotor  
B) Stator  
C) Yüzük  
D) Fırça  
E) Kollektör
3. Alternatörler içerisinde sabit iletken sarımlarına ne isim verilir?  
A) Rotor  
B) Stator  
C) Yüzük  
D) Fırça  
E) Sargı
4. Sağ el kuralı neyi bulmamızı sağlar?  
A) Akımın yönünü  
B) Elektronların yönünü  
C) Manyetik alanın yönünü  
D) Akıyı  
E) Akımın miktarını
5. Doğru akım motorlarının gerilimi arttırılırsa hangi olay meydana gelir?  
A) Dönüş yönü değişir  
B) Akım azalır  
C) Torqu artar  
D) Hızı artar.  
E) Hızı azalır

6. Doğru akım motorlarında elektrik akımı bobine hangi parça ile iletilir?  
A) Rotor  
B) Stator  
C) Yüzük  
D) Halka  
E) Fırça
7. Doğru akım motorlarından bobinin itilme kuvveti hangisine bağlı **değildir**?  
A) Akıma  
B) Komutatöre  
C) Tel boyuna  
D) Tel ortamına  
E) Telin kesitine
8. Bir manyetik alan içerisinde akım yönünü istediğimiz gibi ayarlamak için iletkenin hareketini belirleyebildiğimiz kurala ne isim verilir?  
A) Sol El Kuralı  
B) Sağ El Kuralı  
C) Elektromanyetizma  
D) Faraday Kanunu  
E) Lenz Kanunu
9. Doğru akımı hareket enerjisine çeviren makinalara ne isim verilir?  
A) Adım Motoru  
B) AC motor  
C) Senkron Motor  
D) Asenkron Motor  
E) DC Motor
10. Aşağıdakilerden hangisi Doğru Akım motorları ile ilgili **değildir**?  
A) Komutatör  
B) Fırça  
C) Kolektör  
D) Rezonans  
E) Rotor

## DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

# MODÜL DEĞERLENDİRME

## KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için Evet, kazanamadığınız beceriler için Hayır kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri		Evet	Hayır
1.	Alternatif akımda temel değerlerin ölçümünü ve hesaplamalarını yapabildiniz mi?		
2.	Alternatif akımı vektörel olarak gösterebildiniz mi?		
3.	Alternatif akımda bobin bağlantılarını yapabildiniz mi?		
4.	Alternatif akımda kondansatör bağlantılarını yapabildiniz mi?		
5.	Alternatif akımda seri devre çözümlerini yapabildiniz mi?		
6.	Alternatif akımda paralel devre çözümlerini yapabildiniz mi?		
7.	Üç fazlı alternatif akım sistemlerinde çözümleri yapabildiniz mi?		
8.	Doğru akım motorlarında hareketin oluşumunu deneysel olarak gözlemlediniz mi?		

## DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “Hayır” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız, öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “Evet” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

# CEVAP ANAHTARLARI

## ÖĞRENME FAALİYETİ-1'İN CEVAP ANAHTARI

1	A
2	B
3	B
4	D
5	C
6	A
7	A
8	E
9	C
10	D

## ÖĞRENME FAALİYETİ-2'NİN CEVAP ANAHTARI

1	B
2	E
3	C
4	E
5	D
6	B
7	A
8	A
9	C
10	A
11	E
12	D
13	A
14	D
15	E
16	C
17	A
18	C
19	A

## ÖĞRENME FAALİYETİ-3'ÜN CEVAP ANAHTARI

1	A
2	A
3	B
4	C
5	D
6	E
7	B
8	A
9	E
10	D

## KAYNAKÇA

- AKAR Feyzi, Mustafa YAĞIMLI, **Alternatif Akım Devreleri ve Problem Çözümleri**, Beta Basım Yayım Dağıtım AŞ, İstanbul, 2008.
- Alternatif Akım Esasları Modülü, Elektrik Elektronik Teknolojisi, MEGEP
- ALTINSAÇLI Adem, **Elektrik Makineleri**, Halim Yayınları, Kahramanmaraş, 1998.
- ARİFOĞLU Uğur, **Elektrik-Elektronik Mühendisliğinin Temelleri Alternatif Akım Devreleri Cilt: 2**, Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, 2007.
- BADUR Özdemir, **Elektrik Kumanda Devreleri**, Millî Eğitim Gençlik ve Spor Bakanlığı Yayınları, Ankara, 1978.
- BAYRAK Mehmet, **Temel Elektrik ve Mağnetizma**, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 2002.
- CEYLAN Murat, **Alternatif Akım Devre Analizi**, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2010.
- Doğru Akım Esasları Modülü, Elektrik Elektronik Teknolojisi, MEGEP
- GÜVEN M. Emin, ÇOŞKUN İ., **Elektroteknik ve Laboratuvarı II**, MEB Yayınları, Ankara, 2003.
- GÜVEN M. Emin, İ. Baha MARTI, İsmail COŞKUN, **Elektroteknik Cilt-1**, MEB Yayınları, İstanbul, 1997.
- GÜVEN M. Emin, MARTI İ. Baha, **Elektroteknik Cilt II**, MEB Yayınları, İstanbul, 1984.
- IRWIN J. David, **Basic Engineering Circuit Analysis 8th Edition**, John Wiley & Sons Inc., West Sussex, UK, 2001.
- KARA Sadık, **Elektrik Elektronik Rehberi**, Ufuk Kitap, Kırtasiye, Yayıncılık, Kayseri, 2004.
- OĞUZ Necati, Muhittin GÖKKAYA, **Elektrik Makineleri I**, Millî Eğitim Basımevi, İstanbul, 1991.
- PEŞİNT M. Adnan, Abdullah ÜRKMEZ, **Elektrik Makineleri II Transformatörler**, Millî Eğitim Basımevi, İstanbul, 1992.



- 
- PEŞİNT M. Adnan, **Senkron Makineler**, Yüksek Teknik Öğretmen Matbaası, Ankara, 1975.
  - RICHARDS, SEARS, WEHR, ZEMANSKY, **Modern Üniversite Fiziği**, Çağlayan Basımevi, İstanbul, 1982.
  - ŞAÇKAN Ahmet Hamdi, **Doğru ve Alternatif Akım Devreleri**, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.