

## 1 18. AKIM, DİRENÇ ve DEVRELER

- 18.1 Elektrik Akımı
- 18.2 Ohm Yasası ve Direnç
- 18.3 Doğru Akım Devreleri
- 18.4 Dirençlerin Bağlanması
- 18.5 Elektrik Ölçü Aletleri



Daha iyi sonuç almak için, Adobe Reader programını **Tam Ekran** modunda çalıştırınız.

**Sayfa çevirmek/Aşağısını görmek** için, farenin sol/sağ tuşlarını veya PageUp/PageDown tuşlarını kullanınız.

## 18.1 ELEKTRİK AKIMI



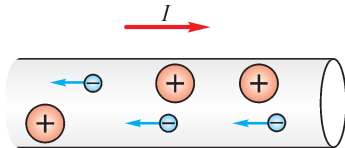
İletken maddenin herhangi bir kesitinden birim zamanda geçen yük miktarına **akım** denir. ▼

Küçük bir  $dt$  zaman aralığında iletken kesitinden belli bir yönde geçen net yük miktarı  $dq$  ise,

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (\text{Akım}) \quad \blacktriangledown$$

- Akım birimi **ampere** (A):  $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$  ▼
- İletken içindeki her zaman elektronlar devinim halindedirler. Ama, bir kesitten geçen ortalama net yük sıfır olur.

Ancak potansiyel farkına bağlanırsa bir yönde net yük akışı olur.



**Akım Yönü:** Tarihsel olarak, elektrik akımının yönü pozitif yüklerin yönü olarak kabul edildi.

Sonra sadece negatif elektronların hareket ettiği anlaşıldı.

Pozitif yüklü iyonlar birbirine kuvvetli bağlı ve ağır olduklarından, bulundukları yeri terketmezler (Titreşim hareketi yaparlar). ▼

Buna rağmen, akım yönü kabulü değiştirilmedi.

Makroskopik olarak bu bir sorun yaratmaz.

## Sürüklenme Hızı:

Akım, iletken tel içindeki elektronların hızı cinsinden hesaplanabilir. ▼



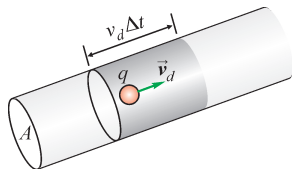
Elektronlar  $F = qE$  kuvveti etkisi altındaki ivmelenmek ister. Fakat, ortamda bulunan iyonlarla çarpışarak enerji kaybeder ve yavaşlarlar. (Kırmızı ışıklar bulunan bir yolda hızlanmaya çalışan otomobil gibi.) ▼

Böylece elektronlar **sürüklenme hızı** denilen ortalama bir hızla hareket ederler.

Şimdi, sürüklenme hızı ile akım arasındaki ilişkiyi görelim.

İletkenin  $A$  kesitinden  $dt$  zaman aralığında geçen yük miktarı  $dq$  olsun. Bu sürede  $v_d$  sürüklenme hızıyla kesiti geçen yükler, uzunluğu  $L = v_d dt$  ve tabanı  $A$  olan bir silindir içinde kalırlar.

İletkende birim hacimdeki yük sayısı  $n = N/V$  ve silindir içindeki  $q$  yükü sayısı  $dN$  ise,



$$dN = n \times \text{hacim} = n A v_d dt$$

ve kesiti geçen yük miktarı,

$$dq = q dN = q n A v_d dt$$

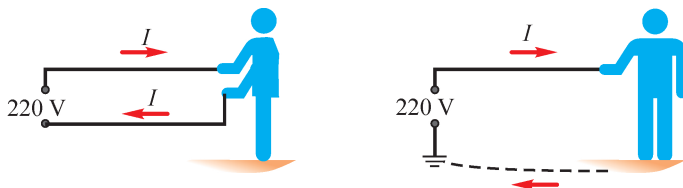
Akım tanımı ve  $q = e$  elektron yükü kullanılırsa:

$$I = \frac{dq}{dt} = enAv_d \quad \longrightarrow \quad v_d = \frac{I}{enA} \quad (\text{sürüklenme hızı})$$

Basit bir hesap: Kesiti  $1 \text{ mm}^2$  olan bakır telden  $I = 20 \text{ A}$  akımı geçiyor. Bakırda yaklaşık  $10^{29} / \text{m}^3$  serbest elektron olsun ( $q = e$ ):

$$v_d = I/(enA) = 20/(1.6 \times 10^{-19} \times 10^{29} \times 10^{-6}) \approx 0.001 \text{ m/s} !$$

## Elektrik Akımının Biyolojik Etkileri



- Elektrik akımı vücuttan iki türlü geçebilir: Devreyi vücut üzerinden tamamlayarak (a), veya vücut üzerinden toprağa ulaşarak (b). ▼
- Elektrik çarpmasında önemli olan voltaj değil akımdır.  
0.3 – 0.5 A DC veya 60 mA AC den fazlası zarar verebilir. ▼
- Elektrik akımı vücuda iki türlü zarar verebilir:
  - **Deride ve iç organlarda yanıklar.**
  - **Kalp ve sinir sisteminde felç.**

Ölümlerin % 80 si yanıklardan, gerisi kalp ve sinir felcinden oluşur.

- Geçen akım, vücudun elektrik direncine bağlı olur.

Vücut direnci derinin sıcaklığı veya terli oluşuna göre değişebilir.

Kuru derinin direnci  $5\,000 - 10\,000 \, \Omega$ , ama nemli derinin direnci  $1\,000 \, \Omega$  değerine kadar düşebilir. ▼

- Bu akım ve direnç limitleri gözönüne alındığında,  $10\,V$  kadar düşük voltajlar dahi zararlı olabilmektedir. ▼

- **Korunma.**

- 1. kural, voltaj kaynağıyla teması kesmektir.

Bunu yaparken kendinizin yalıtılmış olmanıza dikkat etmeniz gerekir.

- Elektrik aletlerinde kaçak tehlikesine karşı, topraklı üçlü fişler kullanmak gerekir.
  - Diğer bir koruma yolu, yalıtkan tabanlı (lastik, mantar) ayakkabılar giyerek vücut üzerinden toprağa akım geçmesini önlemektir.

## 18.2 OHM YASASI VE DİRENÇ

Bir iletkenin birim kesitinden geçen akıma **akım yoğunluğu** ( $\mathcal{J}$ ) denir:

$$\mathcal{J} = \frac{I}{A} \quad (\text{Akım yoğunluğu})$$

Metallerde ve diğer iletken malzemede  $\mathcal{J}$  akım yoğunluğu ile ortamdaki  $E$  elektrik alanı arasında lineer bir ilişki vardır: ▼

$$E = \rho \mathcal{J} \quad (\text{mikroskopik Ohm yasası})$$

$\rho$  orantı katsayısına **özdirenç** denir.

Özdirenç maddenin cinsine ve sıcaklığa bağlıdır.

Madde	Özdirenç $\rho$ ( $\Omega \cdot \text{m}$ )
Gümüş	$1.5 \times 10^{-8}$
Bakır	$1.7 \times 10^{-8}$
Altın	$2.4 \times 10^{-8}$
Aluminyum	$2.8 \times 10^{-8}$
Tungsten	$5.3 \times 10^{-8}$
Karbon	$3.5 \times 10^{-5}$



Kesiti  $A$  ve uzunluğu  $L$  olan iletkeni uygulanan potansiyel farkı  $V$  olsun.

İletken içindeki düzgün elektrik alan:  $E = \frac{V}{L}$

Akım yoğunluğu için de  $\vec{j} = I/A$  tanımını kullanırsa:

$$\frac{V}{L} = \rho \frac{I}{A} \quad \rightarrow \quad V = \underbrace{\left( \rho \frac{L}{A} \right)}_R I$$

Buradan Ohm yasasının makroskopik ifadesi elde edilir:

$V = RI$ (makroskopik Ohm yasası)
-----------------------------------

Bu yasadaki  $R$  katsayısı **direnç** adını alır:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (\text{direnç})$$

- Direnç birimi **ohm** olup kısaca  $\Omega$  (omega) sembolüyle gösterilir:

$$1 \Omega = 1 \frac{V}{A}$$

Devre elemanı olarak  veya  ile gösterilir. ▼

- Direnç maddenin cinsine, boyutlarına ve sıcaklığa bağlıdır.  
İletkenin uzunluğu arttıkça direnç artar, kesiti arttıkça direnç azalır. ▼

- Öz direnç ve direnç sıcaklıkla artar.

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha (T - T_0)]$$

$R$  direncinin sıcaklığa bağımlı da aynı yapıda olur:

$$R = R_0 [1 + \alpha (T - T_0)]$$

Madde	$\alpha$ (1/C°)
Gümüş	0.004
Bakır	0.004
Altın	0.003
Aluminyum	0.004
Tungsten	0.005
Karbon	-0.001

## 18.3 DOĞRU AKIM DEVRELERİ

### Elektromotor Kuvveti (EMK)

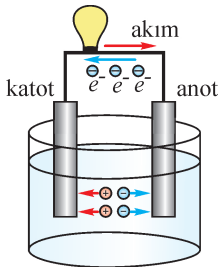
Başka enerji türlerinden (kimyasal, mekanik, manyetik, ısı, vb.) elde edilen elektrik potansiyel farkına **elektromotor kuvveti** denir.



- Kısaca **emk** denir ve  $\mathcal{E}$  ile gösterilir.  
(Aslında kuvvet değil, bir potansiyel farkıdır.) ▼
- Devre elemanı olarak emk  $\begin{array}{c} + \\ | \\ - \end{array}$  sembolüyle gösterilir.

- **Kimyasal EMK kaynağı:** Batarya ve aküler.

Galvanik pilde elektrolit sıvı içine gömülü farklı iki metal elektrot (çinko ve bakır) arasında bir potansiyel farkı oluşur.



Daha yüksek potansiyelde olan (pozitif) uca *katot*, diğer negatif uca *anot* denir.

Akım katottan anoda, yani pozitif uçtan negatife doğru olur.

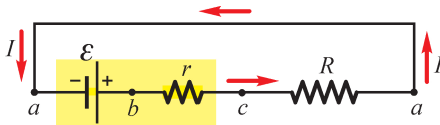
Pilin içinde akım buna ters yönde giderek çevrimi tamamlar. ▼

- Bataryanın emk değeri ( $\mathcal{E}$ ) sabittir, bataryanın boyutlarını artırırsanız da değişmez.

Ancak birkaç bataryayı seri bağlayarak artırılabilir.  
(Örneğin, 6 hücreli bir otomobil aküsünde 12 V.)

## İç Direnç ve Uç Voltajı:

Bir emk kaynağı  $R$  direncine bağlandığında, batarya içinde de bir  $r$  **iç direnci** oluşur. (Çünkü, batarya içindeki elektrolit sıvıda elektronların hareketliliği sınırlıdır.) ▼

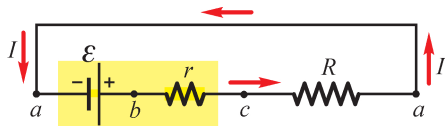


**Basit bir devre:** İç direnci  $r$  olan bir  $\mathcal{E}$  emk kaynağına bağlı  $R$  direnci. ▼

Bataryanın  $(-)$  ucunun potansiyeli  $V_a$  olsun.

$a$  ucundan başlayarak devreyi dolanıp tekrar aynı yere geldiğinde potansiyel yine  $V_a$  olmalıdır.

$$V_{aa} = V_{ab} + V_{bc} + V_{ca} = 0$$



$$V_{ab} + V_{bc} + V_{ca} = 0 \quad \blacktriangledown$$

$V_{ab} = +\mathcal{E}$  : Çünkü,  $b$  ucu daha yüksek potansiyelde.  $\blacktriangledown$

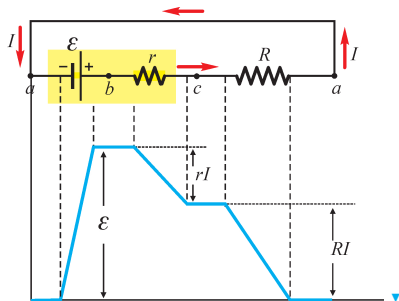
$V_{bc} = -rI$  Çünkü,  $c$  ucu  $b$  den düşük potansiyelde.

*Direnç üzerinden akım yönünde geçerken potansiyel  $-RI$  kadar azalır.*  $\blacktriangledown$

$V_{ca} = -rI$  Çünkü,  $a$  ucu  $c$  den düşük potansiyelde.

$$\text{Sonuç: } \mathcal{E} - rI - RI = 0 \quad \longrightarrow \quad \mathcal{E} = (R + r)I$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$$



Potansiyelin değişim grafiği →

### Uç voltajı:

Devre çalışırken, bağlanan  $R$  direncinin gördüğü  $V_{ac}$  potansiyel farkı.

$$V_{ac} = \mathcal{E} - rI \quad (\text{Uç voltajı})$$

Uç voltajı daima  $\mathcal{E}$  değerinden az olur, çünkü  $r$  iç direnci üzerindeki potansiyel düşüşünü de hesaba katmak gerekir.

## Elektrik Devrelerinde Güç ve Enerji

Uçları arasında  $V$  potansiyel farkı olan bir devre elemanı üzerinden,  $dt$  zaman aralığında  $dq$  yükü geçiyor olsun. ▼

Yükün potansiyel enerjisindeki değişme = Yapılan iş:  $dU = dq V = dW$ . ▼

Güç = Birim zamanda yapılan iş:

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{V dq}{dt} = V \frac{dq}{dt} \quad \longrightarrow \quad P = V I \quad (\text{Güç})$$

Belli bir zaman aralığında harcanan enerji:  $dW = P dt$  ▼

Direnç üzerinde harcanan güç (Ohm yasası  $V = RI$ ):

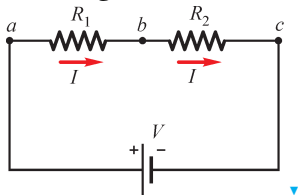
$$P = V I = R I^2 \quad (\text{Dirençte ısıya dönüşen güç})$$

Ve  $dt$  zaman aralığında harcanan enerji:  $dW = P dt = R I^2 dt$



## 18.4 DİRENÇLERİN BAĞLANMASI

### Seri Bağlama



$R_1$  ve  $R_2$  dirençleri başka kola ayrılmadan peşpeşe bağlanmışsa, **seri bağlama**.

Dirençler üzerinden aynı  $I$  akımı geçer.

Potansiyel farkları ve Ohm yasası yazılır:

$$V_{ac} = V_{ab} + V_{bc}$$

$$V = R_1 I + R_2 I \quad \blacktriangledown$$

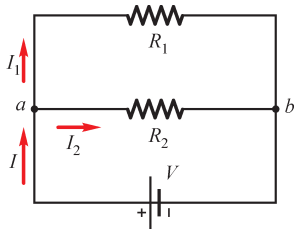
$R_{eş}$  direnci aynı  $V$  potansiyel farkı altında aynı  $I$  akımını çekmelidir:

$$V = R_{eş} I \quad \longrightarrow \quad R_{eş} = R_1 + R_2 \quad \blacktriangledown$$

Bu sonuç ikiden fazla direnç için de geçerlidir:

$$R_{eş} = R_1 + R_2 + \cdots + R_N \quad (\text{Seri bağlama})$$

## Paralel Bağlama



$R_1$  ve  $R_2$  dirençleri aynı bir  $V$  potansiyel farkına

bağlı ise **paralel bağlama**.

Dirençler üzerindeki akımlar farklı olacaktır:

$$I_1 = \frac{V}{R_1} \quad I_2 = \frac{V}{R_2}$$

Bataryadan çekilen toplam akım  $I = I_1 + I_2$  olur. ▼

Aynı uçlar arasına konulan eşdeğer direnç aynı toplam akımı çekmelidir:

$$I = I_1 + I_2$$
$$\frac{V}{R_{\text{eş}}} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} \quad \longrightarrow \quad \frac{1}{R_{\text{eş}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \blacktriangledown$$

Bu ispat ikiden fazla direnç için de geçerlidir:

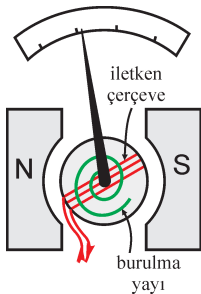
$$\frac{1}{R_{\text{eş}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_N} \quad (\text{Paralel bağlama})$$

## 18.5 ELEKTRİK ÖLÇÜ ALETLERİ

Akım ölçen alete **ampermetre**, potansiyel farkı ölçen alete **voltmetre** ve emk ölçen alete **potansiyometre** denir.

Tüm bu ölçü aletlerinin ortak yapısı → galvanometre. ▼

### Galvanometre



Bir mıknatısın kutupları arasına konulan tel çerçeveden akım geçtiğinde, tel üzerinde akımla orantılı manyetik bir kuvvet oluşur (bkz. Bölüm 20).

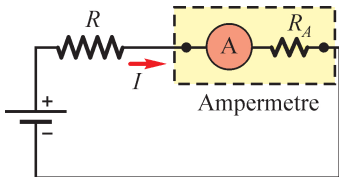
Kuvvetin dönme momenti çerçeveyi saptırır. ▼

Burulma miktarı da geçen akımla orantılıdır.

Burulma açısı ölçülerek akım tayin edilebilir. ▼

Fakat, galvanometreyi oluşturan telin direnci devreden geçen akımı değiştirebilir. O halde, *galvanometrenin direncinin çok küçük olması gerekir.*

## Ampermetre



Akım ölçmekte kullanılır.

Direnci çok küçük olan bir galvanometre.

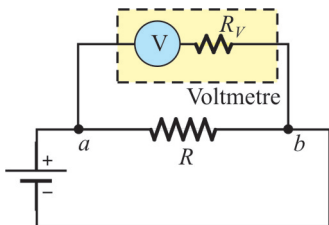
Ampermetre, akım ölçülecek yere seri bağlanır. ▼

Fakat, geçen akımı etkilememesi için ampermetrenin direnci çok küçük, neredeyse sıfır olmalıdır.

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + R_A}$$

Ampermetrenin direnci  $R_A \ll R$  olursa, akım fazla değişmez.

## Voltmetre



İki nokta arasındaki potansiyel farkını (voltajı) ölçmekte kullanılır.

Direnci çok büyük olan bir galvanometredir.

Voltmetre devrenin  $a, b$  noktalarına paralel bağlanır. ▼

$R$  direnci üzerindeki potansiyel farkı hesaplanır:

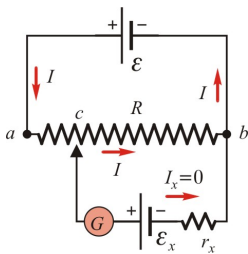
$$V = \frac{RI}{1 + R/R_V}$$

O halde, potansiyel farkının  $RI$  değerinden fazla uzaklaşmaması için voltmetrorenin  $R_V$  direnci çok büyük ( $R_V \gg R$ ) olmalıdır.

**Potansiyometre:** Bataryaların emk voltajını ölçmekte kullanılır.

Sorun: Batarya devreye akım vermeye başladığında, uç potansiyeli

$V_{ab} = \mathcal{E} - rI$ , yani  $< \mathcal{E}$  den küçük olur. ▼



Sıfır akımda ölçme yapabilir miyiz? Evet. ▼

Değerleri bilinen  $\mathcal{E}$  bataryası ve  $R$  direnci.

$b$  ucu ile, değişken bir  $c$  noktası arasında  $\mathcal{E}_x$  değeri ölçülmek istenen emk kaynağı bağlanır.

$c$  noktası değiştirilerek, öyle bir nokta bulunur ki orada  $\mathcal{E}_x$  üzerinden geçen  $I_x$  akımı sıfır olur. ▼

Bu sıfır durumunda, aynı  $V_{cb}$  potansiyel farkını iki kolda hesaplarsak,

$$\left. \begin{array}{ll} V_{cb} = R_{bc} I & (R \text{ direncinin } R_{bc} \text{ kadarı}) \\ V_{cb} = \mathcal{E}_x & (\text{çünkü, } I_x = 0) \end{array} \right\} \rightarrow \mathcal{E}_x = R_{bc} I$$

$I$  akımı ve  $R_{bc}$  direnci ölçülerek  $\mathcal{E}_x$  hesaplanabilir.

\* \* \* **18. Bölümün Sonu** \* \* \*