

به نام پروردگار مهربان



# فیزیک

ریاضی تجربی

# پازدهم

نصراله افاضل، حمیدرضا عارف پور

مدیر و ناظر علمی گروه: نصراله افاضل



مهروماه

## مقدمه

خیلی وقتا بچه‌ها از من می‌پرسن «فلان کتاب خوبه، بخرم؟» پاسخ من معمولاً به این عزیزان اینه که «هیچ کتاب آموزشی بد نیست و هر کتابی ویژگی‌های خودش رو داره، باید ببینین نیاز شما چیه. کتابی رو بخرین و بخونین که نیازتون رو برطرف کنه» کتاب لقمه فیزیک، هم کتاب خوبییه و هم اینکه می‌تونه بعضی نیازهای خیلی مهم شما عزیزان رو برطرف کنه.

مثلا وقتی می‌خوانین واسه امتحان آماده بشین یا برای مرور سریع مبحثی که هفته پیش یاد گرفتین یا فقط سوال‌ها و تمرین‌ها و فعالیت‌های کتاب رو مرور کنین، یا تصویرهای کتاب را همراه با زیرنویس آن‌ها دوره کنین و ... خلاصه هر جور که بخواین، می‌تونین کتاب درسی رو، لقمه لقمه کنین! نمیدونم میدونین یا نه که این کتاب در سه لقمه برای شما آماده شده.

لقمه اول: تعریف‌ها، مفاهیم و نکته‌ها که همراه با مثال‌های متنوع در هر بخش اومده.

لقمه دوم: پاسخ پرسش‌ها، فعالیت‌ها و تمرین‌های متن درس کتاب.

لقمه سوم: که همان لقمه آخره، در پایان کتاب تمامی تعریف‌ها و فرمول‌ها و آزمایش‌های کتاب رو یکجا براتون ارائه میده که خیالتون راحت باشه.

حالا شاید پرسین چه وقت و چه طوری باید از این کتاب استفاده کرد؟

- قطع کتاب طوری ریزه میزه‌ست که همه جا می‌تونین با خودتون داشته باشین و ازش لذت ببرین.
- برای هر مبحث که دوست داشتین بخونین، دو لقمه اول و دوم رو بزنین.
- نکته‌های هر مبحث رو بیش‌تر مزه مزه کنین.
- لقمه آخر وقتی بهتون بیش‌تر می‌چسبه که لقمه‌های اول و دوم هر فصل رو نوش‌جون کرده باشین.

## قدردانی

هرچند لقمه کتاب کوچیکه اما تایپ و صفحه‌بندی و تولیدش دشواری‌های خودش رو داره. همه همکاران مهر و ماهی عزیزم زحمت بسیار کشیدن تا لقمه‌های این کتاب براتون خوشمزه باشه.

از جناب آقای احمد اختیاری مدیر محترم و فرهیخته انتشارات مهر و ماه و استاد محمدحسین انوشه، مدیر شورای تألیف که راهنمایی‌های ارزشمندی برای این کتاب داشتن و همه همکارانی که زحمت تولید کتاب رو کشیدن، صمیمانه سپاسگزاری می‌کنم.

**مدیر و ناظر علمی گروه فیزیک**  
**نصراله افاضل**

# فهرست

## فصل ۱ الکتریسیته ساکن

۷

لقمه اول ..... ۸  
لقمه دوم ..... ۷۳

## فصل ۲ جریان الكتریکی و مدارهای جریان مستقیم

۹۳

لقمه اول ..... ۹۴  
لقمه دوم ..... ۱۴۷

## فصل ۳ مغناطیس

۱۶۱

لقمه اول ..... ۱۶۲  
لقمه دوم ..... ۱۹۳

## فصل ۴ القای الكتر ومغناطیسی و جریان متناوب (ادامه فصل ۳ تجربی)

۲۰۷

لقمه اول ..... ۲۰۸  
لقمه دوم ..... ۲۳۵

## فصل ۵ ضمیمه

۲۴۳

تعاریف ..... ۲۴۴  
روابط و فرمولها ..... ۲۵۲  
آزمایشها ..... ۲۶۴  
کمیتها، ثابتها ..... ۲۷۱

## فصل ۱

# الکتریسیته ساکن

### نمای کلی فصل

- بار الکتریکی
- پایستگی و کوانتیده بودن بار الکتریکی
- قانون کولن
- میدان الکتریکی
- میدان الکتریکی حاصل از یک ذره باردار
- خطوط میدان الکتریکی
- انرژی پتانسیل الکتریکی
- پتانسیل الکتریکی
- میدان الکتریکی در داخل رسانا
- خازن
- خازن با دی الکتریک
- انرژی خازن

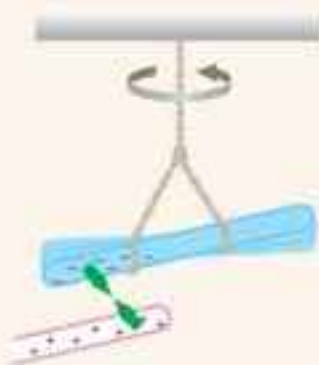
## لقمه اول مفاهیم، تعاریف، نکته‌ها و روابط

### ۱-۱ بار الکتریکی

بار الکتریکی مفهومی بنیادی از ماده است و در دو نوع مثبت و منفی وجود دارد. الکتروسیته ساکن (الکتروستاتیک)، شاخه‌ای از فیزیک است که به مطالعه بارهای ساکن می‌پردازد.

#### نکاتی درباره بار الکتریکی:

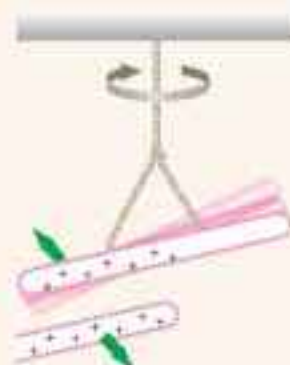
- ۱ واژه الکتروسیته از الکترون (به معنی کهربا) گرفته شده است.
- ۲ بار منفی مربوط به الکترون و بار مثبت مربوط به پروتون است.
- ۳ نام‌گذاری مثبت و منفی برای بارهای الکتریکی توسط بنیامین فرانکلین دانشمند آمریکایی صورت گرفت.
- ۴ مالش دو جسم (غیر هم‌جنس) به یکدیگر سبب ایجاد بار الکتریکی در آنها می‌شود.
- ۵ بارهای الکتریکی بر یکدیگر نیرو وارد می‌کنند.
- ۶ بارهای هم‌نام یکدیگر را دفع و بارهای ناهم‌نام یکدیگر را جذب می‌کنند.



الف) وقتی دو میله شیشه‌ای را با پارچه ابریشمی مالش دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.

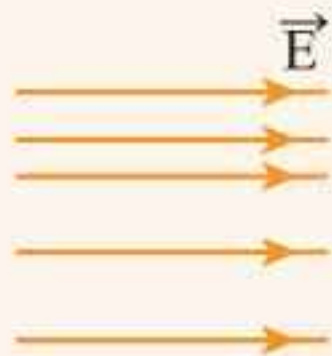
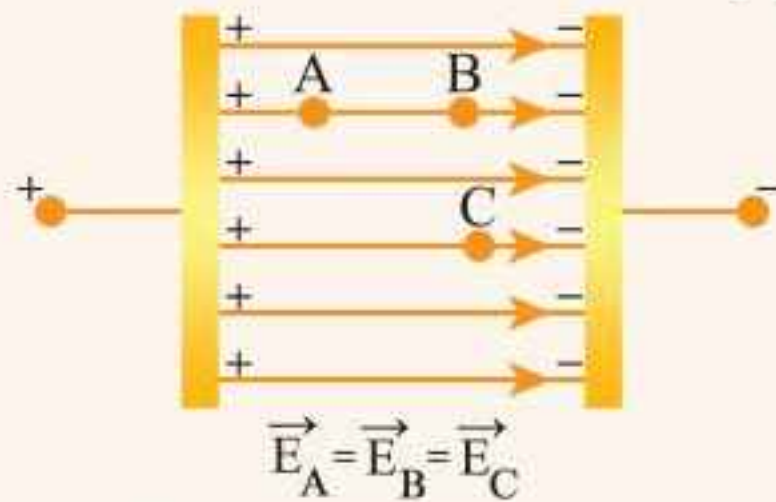


ب) وقتی دو میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.

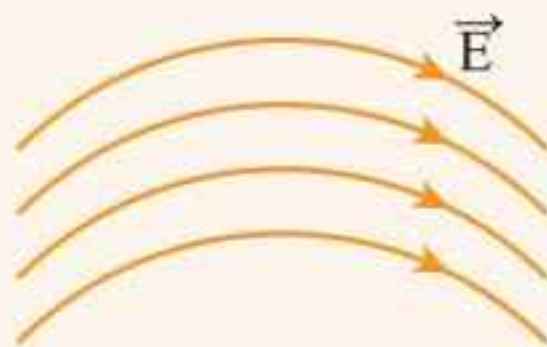


ب) وقتی دو میله پلاستیکی را با پارچه پشمی مالش دهیم، همدیگر را دفع می‌کنند.

۵ بردار میدان الکتریکی در همه نقاط میدان الکتریکی یکنواخت هم‌اندازه و هم‌جهت است.



میدان الکتریکی غیریکنواخت: تراکم یکسان نیست، هر چند جهت میدان در همه نقاط یکسان است.



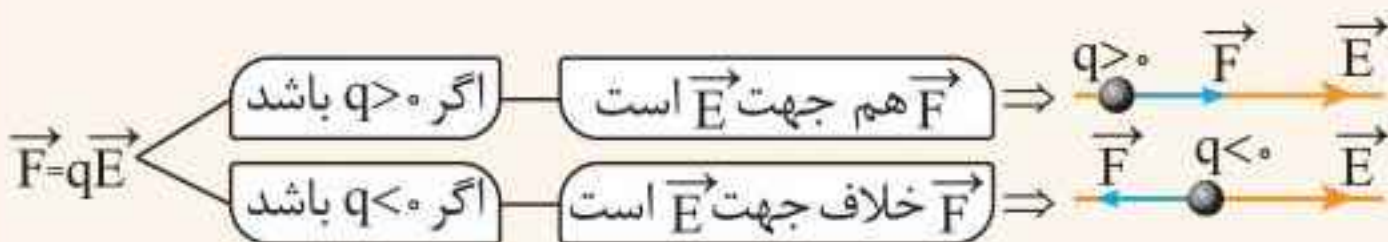
میدان الکتریکی غیریکنواخت: تراکم یکسان است، اما جهت میدان در همه نقاط یکسان نیست.

نیروی الکتریکی وارد بر بار الکتریکی در یک میدان الکتریکی: اگر بار  $q$  در میدان  $\vec{E}$  قرار گیرد، نیروی  $\vec{F}$  طبق رابطه زیر بر آن اعمال می‌شود:

$$\vec{F} = q \vec{E} \quad \left( \frac{N}{C} \right)$$

$\vec{E}$  طرف میدان (N)       $q$  (C)

نکته:



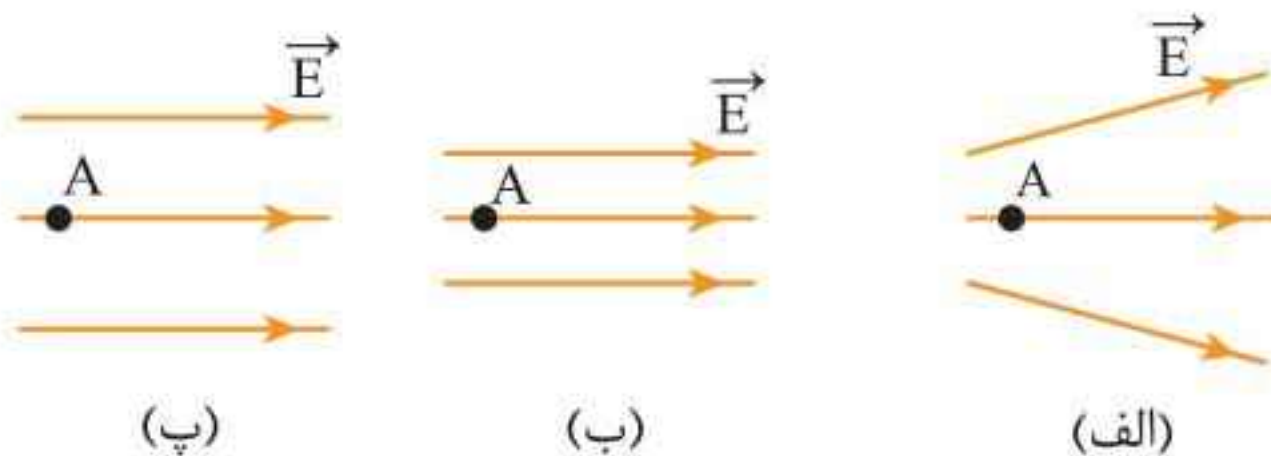
شتاب بار  $q$  در حضور میدان  $\vec{E}$ : اگر بار  $q$  در میدان  $\vec{E}$  قرار گیرد و رها شود، شتابی که بار در اثر میدان الکتریکی می‌گیرد برابر است با:

$$\vec{F} = m\vec{a} \xrightarrow{\vec{F}=q\vec{E}} q\vec{E} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{a} = \frac{q}{m} \vec{E}$$

**نکات:**

- ۱ بزرگی شتاب بار  $q$  که در میدان الکتریکی  $\vec{E}$  قرار دارد، متناسب با اندازه بار، متناسب با وارون جرم ذره باردار و متناسب با بزرگی میدان الکتریکی است.
- ۲ اگر بار  $q$  مثبت باشد، شتاب آن، هم‌جهت با میدان  $\vec{E}$  است.
- ۳ اگر بار  $q$  منفی باشد، شتاب آن، خلاف جهت میدان  $\vec{E}$  است.

**مثال ۱۴** به ذره‌ای به جرم  $m$  بار مثبت  $q$  می‌دهیم و آن را در هریک از شکل‌های زیر از نقطه  $A$  بدون تندی اولیه رها می‌کنیم. شتاب ذره در نقطه  $A$  را با یکدیگر مقایسه کنید.



**پاسخ** بزرگی میدان در نقطه  $A$  در شکل (ب) بیش‌تر از (الف) و (پ) است، از این رو بنابر  $\vec{a} = \frac{q\vec{E}}{m}$  شتاب ذره در (ب) بیش‌تر از (الف) و در (الف) بیش‌تر از (پ) است.

$$a_{(ب)} > a_{(الف)} > a_{(پ)}$$

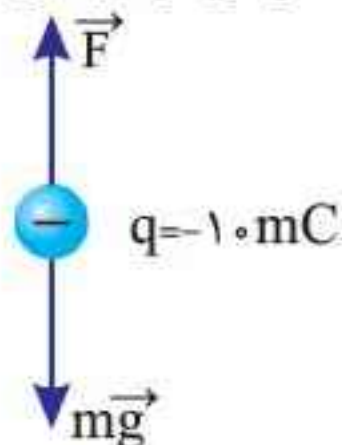


بار در حال تعادل: اگر ذره‌ای با بار  $q$  و جرم  $m$  فقط تحت تأثیر میدان الکتریکی و گرانشی بوده و در حال تعادل (معلق) باشد، داریم:

$$\left. \begin{array}{l} \vec{F} = q\vec{E} \\ W = mg \end{array} \right\} \xrightarrow{F=W} |q|E = mg$$

**مثال ۱۷** ذره‌ای به جرم  $20 \text{ g}$  بار الکتریکی  $-10 \text{ mC}$  دارد و در میدان

الکتریکی یکنواخت، معلق و ساکن است. اگر  $g = 10 \text{ m/s}^2$  باشد:



**الف** بزرگی و جهت میدان را به دست آورید.

**ب** اگر جهت میدان الکتریکی وارون شود، بزرگی

شتاب ذره را حساب کنید.

**پاسخ الف** بر ذره دو نیروی وزن و  $F_E$  از سوی میدان (میدان الکتریکی)

وارد می‌شود:

چون  $mg$  رو به پایین است، پس  $F_E$  رو به بالا می‌باشد تا برآیند دو نیرو صفر شود و می‌توان نوشت:

$$F_E = mg \Rightarrow |q|E = mg \Rightarrow E = \frac{20 \times 10^{-3} \times 10}{10 \times 10^{-3}} \Rightarrow E = 20 \text{ N/C}$$

چون بار منفی است، نیروی  $F$  خلاف جهت میدان است. پس میدان رو به پایین است.

**ب** با وارون شدن جهت میدان، نیروی  $F_E$  به طرف پایین و هم‌جهت با

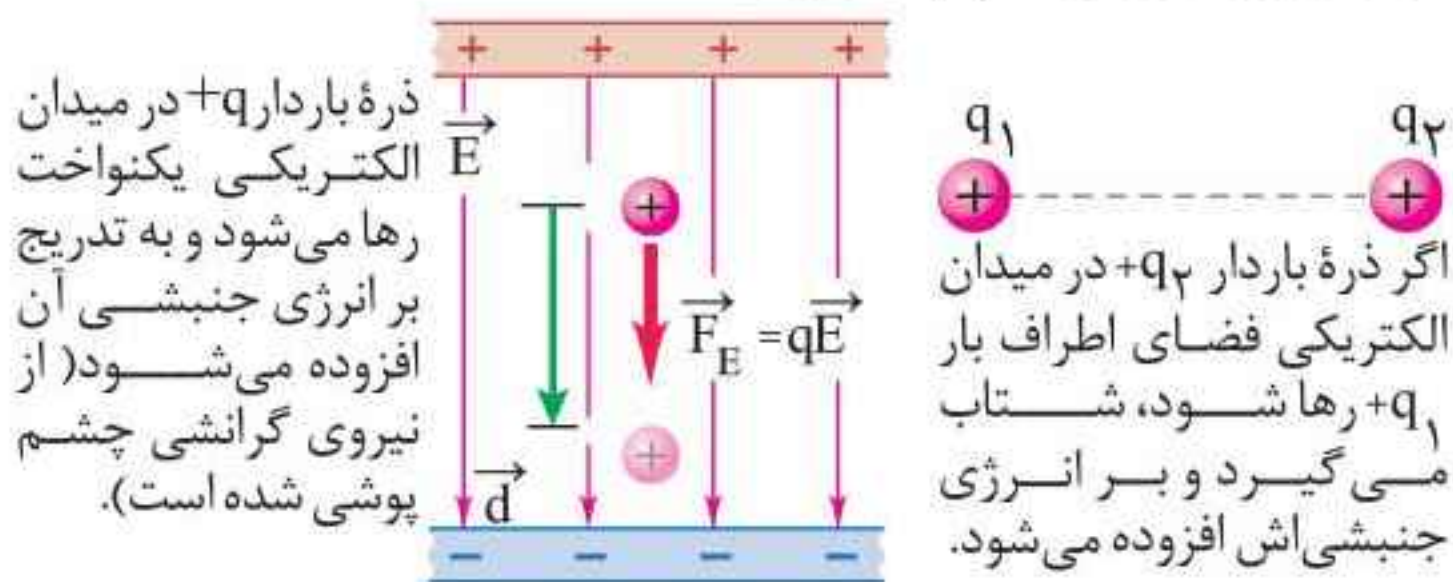
$mg$  می‌شود:

$$F + mg = ma \Rightarrow \underbrace{10 \times 10^{-3}}_{|q|} \times \underbrace{20}_{E} + \underbrace{20 \times 10^{-3}}_m \times \underbrace{10}_g$$

$$= 20 \times 10^{-3} a \Rightarrow 0.4 = 0.2 a \Rightarrow a = 20 \text{ m/s}^2$$

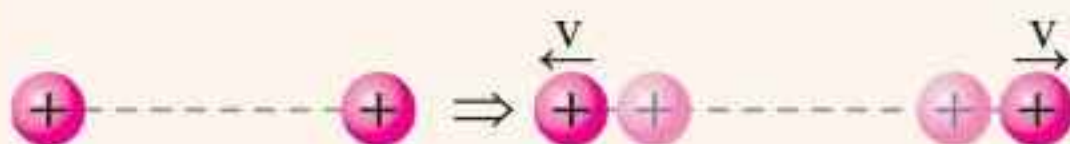
## ۷-۱ انرژی پتانسیل الکتریکی

نوعی از انرژی ذخیره شده است که بین دو یا چند ذره باردار و به سبب وجود بار ذرات پدید می آید.



### نکات:

۱ اگر دو ذره باردار در فاصله معینی رها شوند و به طرف یکدیگر نزدیک و یا از هم دور شوند، انرژی پتانسیل الکتریکی آنها کاهش و انرژی جنبشی آنها افزایش می یابد.



ذره ها تحت اثر نیروی جاذبه قرار دارند، ثابت نگه داشته شده اند و انرژی پتانسیل الکتریکی دارند.

ذره ها به طرف یکدیگر حرکت می کنند (انرژی جنبشی یافته اند)، زیرا انرژی پتانسیل الکتریکی آنها کاهش یافته است.

۲ انرژی پتانسیل الکتریکی را با  $U_E$  و تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی را با  $\Delta U_E$  نشان می دهیم.

## رابطه کار نیروی الکتریکی با تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی

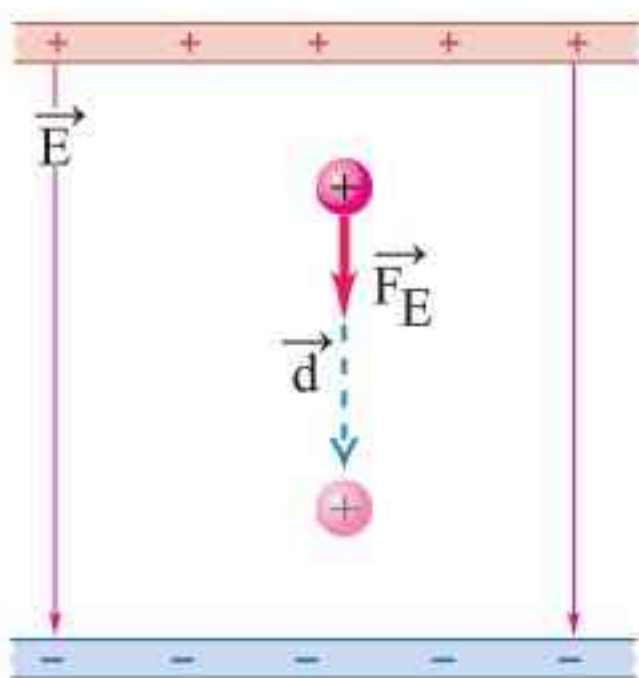
برای هر میدان الکتریکی داریم:

$$W_E = -\Delta U_E$$

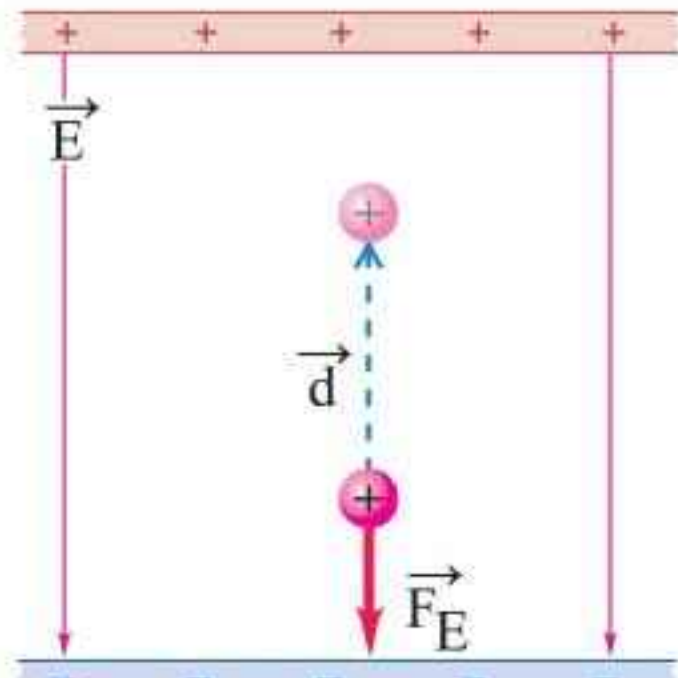
↑  
کار نیروی الکتریکی

### نکات:

- اگر بار الکتریکی (مثبت یا منفی) هم‌جهت با نیروی الکتریکی جابه‌جا شود، کار ( $W_E$ ) مثبت و تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی ( $\Delta U_E$ ) منفی است.
- اگر بار الکتریکی  $q$  (مثبت و منفی) را در یک میدان الکتریکی رها کنیم تا بار آزادانه و فقط تحت اثر نیروی میدان حرکت کند، انرژی پتانسیل الکتریکی اش کاهش می‌یابد.



الف) بار مثبت را در جهت میدان الکتریکی  $\vec{E}$  جابه‌جا می‌کنیم: میدان الکتریکی کار مثبت  $W_E$  را روی بار انجام می‌دهد. انرژی پتانسیل الکتریکی  $U_E$  کاهش می‌یابد.



ب) بار مثبت را در خلاف جهت میدان الکتریکی  $\vec{E}$  جابه‌جا می‌کنیم: میدان الکتریکی کار منفی  $W_E$  را روی بار انجام می‌دهد. انرژی پتانسیل الکتریکی  $U_E$  افزایش می‌یابد.

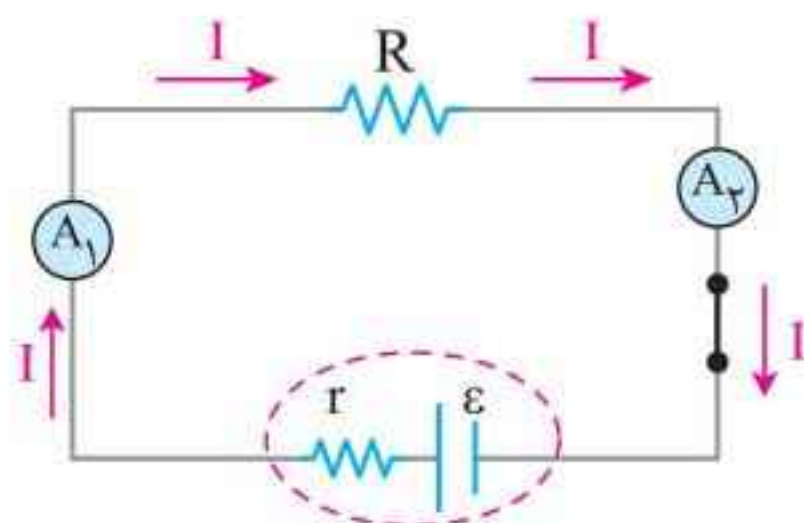
### ◀ مدار تک حلقه‌ای

مدار تک حلقه: مداری است که هیچ‌گونه انشعابی نداشته باشد.

**نکته:** در مدار تک حلقه در همه قسمت‌ها، جریان الکتریکی یکسان است.

### 1 مدار تک حلقه ساده

مداری شامل یک باتری، یک مقاومت، کلید و سیم‌های رابط است.



در مدار تک حلقه جریان الکتریکی در همه نقاط یکسان است و آمپرسنج‌ها عدد یکسانی می‌دهند.

#### ویژه رشته ریاضی

قرارداد (دستورالعمل) تعیین اختلاف پتانسیل:

می‌دانیم هرگاه هم جهت میدان الکتریکی حرکت کنیم، پتانسیل الکتریکی کاهش می‌یابد و اگر از یک باتری یا مقاومت بگذریم برای تعیین تغییر پتانسیل الکتریکی دو دستورالعمل زیر را در نظر می‌گیریم:

**الف** هرگاه در مدار در جهت جریان از مقاومت  $R$  (یا  $r$ ) عبور کنیم، پتانسیل الکتریکی به اندازه  $IR$  (یا  $Ir$ ) کاهش می‌یابد و اگر در خلاف جهت جریان حرکت کنیم، پتانسیل الکتریکی افزایش می‌یابد.

**ب** هرگاه از پایانه منفی به طرف پایانه مثبت یک باتری (آرمانی و یا واقعی) حرکت کنیم پتانسیل الکتریکی به اندازه  $\mathcal{E}$  افزایش می‌یابد و اگر از پایانه مثبت به پایانه منفی باتری عبور کنیم، پتانسیل الکتریکی به اندازه  $\mathcal{E}$  کاهش می‌یابد.

جدول قرارداد تعیین علامت اختلاف پتانسیل‌ها در یک مدار تک حلقه‌ای، شامل مقاومت و منبع نیروی محرکه الکتریکی ویژه رشته ریاضی

عنصر مدار	جهت حرکت	تغییر پتانسیل
مقاومت	در جهت جریان	$-IR$
مقاومت	در خلاف جهت جریان	$+IR$
منبع نیروی محرکه	از پایانه منفی به پایانه مثبت	$+\mathcal{E}$
منبع نیروی محرکه	از پایانه مثبت به پایانه منفی	$-\mathcal{E}$

## ۵-۲ توان در مدارهای الکتریکی

توان آهنگ مصرف یا تولید انرژی یا انجام کار است.

$$(W) \leftarrow P = \frac{W}{t} = \frac{\Delta U}{t} = \frac{q\Delta V}{t} = I\Delta V$$

نکته: یکای توان ژول بر ثانیه است و به آن وات می‌گویند.

### نکاتی دربارهٔ توان الکتریکی:

- ۱ **توان مصرفی:** توان مصرفی مربوط به آهنگ مصرف انرژی در اجزایی است که از مدار انرژی می‌گیرند. مانند مقاومت.
- ۲ **توان خروجی (مفید) مولد:** توان خروجی مربوط به آهنگ تولید انرژی در اجزایی است که به مدار انرژی می‌دهند. مانند باتری

نکته: در یک جزء مدار (مانند مقاومت و باتری) می‌توان نمودار نقشهٔ مفهومی زیر را در نظر گرفت:


$$P = \frac{\Delta U}{t} = \frac{q\Delta V}{t} \Rightarrow (توان الکتریکی) P = I\Delta V$$

$$\Rightarrow P = I(V_b - V_a) \quad \text{با حرکت از هر جزء مدار در جهت جریان}$$

این جزء از مدار انرژی می‌گیرد.  $\rightarrow P < 0 \rightarrow$  اگر  $V_b < V_a$  باشد  
 این جزء به مدار انرژی می‌دهد.  $\rightarrow P > 0 \rightarrow$  اگر  $V_b > V_a$  باشد

از رابطهٔ  $P = I\Delta V$  می‌توان برای منبع نیروی محرکه (مانند باتری) یا جزء مصرف کننده (مانند مقاومت الکتریکی دستگاه الکتریکی) و ... استفاده کرد.

توان الکتریکی مصرفی در یک مقاومت

$$P_{\text{مصرفی}} = |P| = |IV| \xrightarrow{V=IR} P_{\text{(مصرفی)}} = RI^2$$


$$P_{\text{مصرفی}} = |IV| \xrightarrow{I=V/R} P_{\text{(مصرفی)}} = \frac{V^2}{R}$$

**نکته:** انرژی مصرفی در یک جزء مصرف کننده با توان مصرفی  $P$

در مدت  $t$  برابر است با:  $U = Pt$

**نکاتی درباره توان مصرفی:**

روی همه وسایل الکتریکی دو ویژگی درج می شود که مربوط به کارکرد وسیله است:

۱ ولتاژی که وسیله با آن کار می کند.

۲ توان مصرفی وسیله هنگامی که به ولتاژ مورد نظر وصل است.

**مثال ۱۲** در اتوی برقی  $220V - 2200W$ ، هنگامی که روشن است:

**الف** چه جریانی از آن عبور می کند؟

**ب** مقاومت اتو در حالت روشن چند اهم است؟

$$P = IV \Rightarrow I = \frac{P}{V} \Rightarrow I = \frac{2200}{220} = 10 \text{ A} \quad \text{پاسخ الف}$$

$$P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow R = \frac{V^2}{P} \Rightarrow R = \frac{(220)^2}{2200} \Rightarrow R = 22 \Omega \quad \text{ب}$$

**نکته:** در لامپها، هر قدر توان مصرفی لامپ بیش تر باشد،

روشنایی وسیله نیز بیش تر است.

### بهای برق مصرفی

برای محاسبه بهای برق مصرفی می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$\text{بهای برق مصرفی} = \frac{P(\text{توان مصرفی}) \times h(\text{ساعت‌های یک روز})}{1000} \times$$

$$\frac{d(\text{تعداد روزهای ماه}) \times m(\text{تعداد ماه‌های مصرف})}{1000} \times \text{بهای یک کیلووات ساعت}$$

**مثال ۱۳** اگر یک اتوی برقی ۱۵۰۰ وات و ۵ لامپ ۲۰ وات هر روز به مدت ۵ ساعت روشن باشند و بهای هر کیلووات ساعت انرژی برق برابر ۵۰ تومان باشد، بهای برق مصرفی این وسیله‌ها در مدت سه ماه چند تومان خواهد شد؟

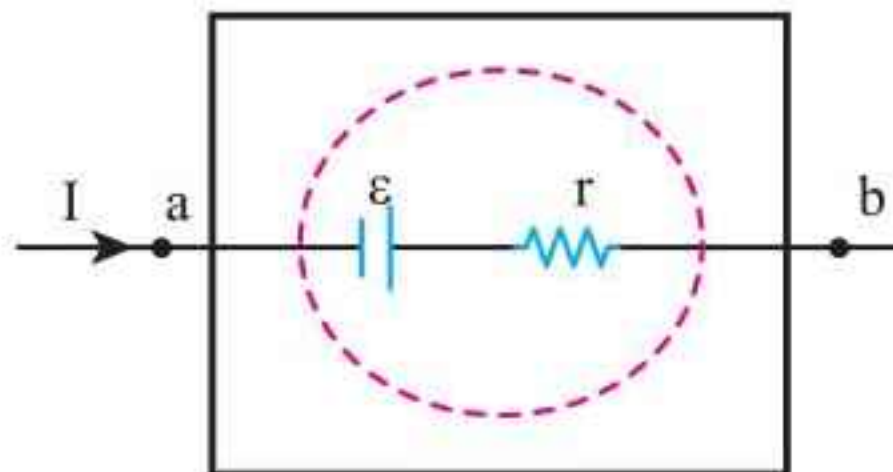
**پاسخ**

$$\text{بهای برق مصرفی} = \frac{[1500 + (5 \times 20)] \times 5(h) \times 30(d) \times 3(m)}{1000} \times 50$$

$$= 36000 \text{ تومان}$$

### توان خروجی یک منبع نیروی محرکه واقعی

مطابق شکل اگر در جهت جریان از مولد عبور کنیم داریم:



توان خروجی از باتری شکل، از رابطه  $P = (V_b - V_a)I$  به دست می‌آید.



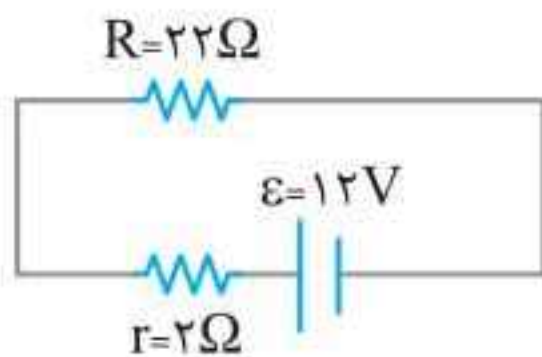
اختلاف پتانسیل دو سر باتری:  $V_{\text{باتری}} = \mathcal{E} - Ir$

توان خروجی باتری:  $P = IV \Rightarrow P_{\text{(خروجی)}} = \mathcal{E}I - I^2r$

**نکاتی درباره توان باتری واقعی:**

- ۱ (خروجی)  $P$  مقداری مثبت است و این باتری به مدار انرژی می‌دهد.
- ۲ به مقدار  $\mathcal{E}I$ ، توان تولیدی مولد می‌گویند.
- ۳ به مقدار  $rI^2$ ، توان مصرفی در مقاومت داخلی باتری می‌گویند.
- ۴ برای باتری آرمانی داریم:  $r = 0 \Rightarrow P_{\text{(خروجی آرمانی)}} = \mathcal{E}I$

**مثال ۱۴** در شکل زیر توان مصرفی مقاومت  $R$  و توان خروجی باتری را حساب کنید.



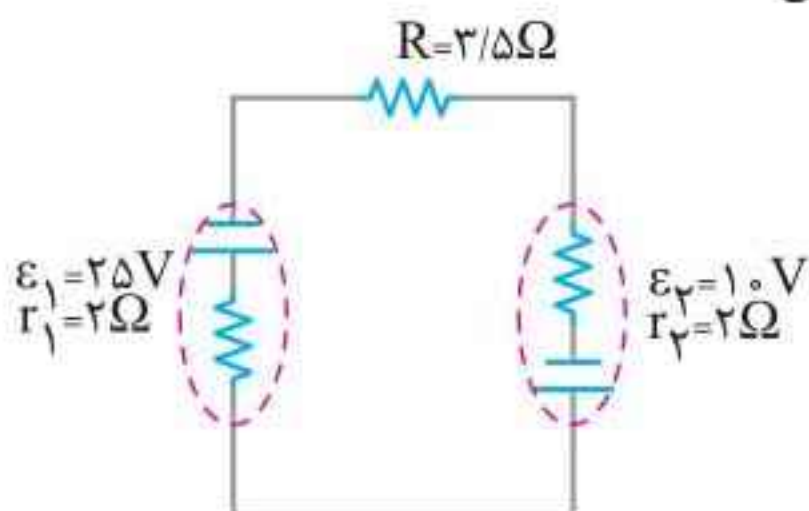
**پاسخ** جریان مدار را حساب می‌کنیم:

$$\mathcal{E} = 12V, r = 2\Omega \quad I = \frac{\mathcal{E}}{R+r} = \frac{12}{22+2} = 0.5A$$

توان مصرفی  $R$  برابر است با:  $P = RI^2 = 22 \times 0.5^2 = 5.5W$   
 اکنون توان خروجی باتری را به دست می‌آوریم:

$$P = \mathcal{E}I - I^2r = 12 \times 0.5 - 2 \times 0.5^2 \Rightarrow P = 5.5W$$

**مثال ۱۵** در مدار شکل مقابل



**الف** کدام باتری به مدار انرژی

می دهد؟ توان خروجی آن را به

دست آورید. ویژه رشته ریاضی

**ب** توان مصرفی و انرژی

مصرفی در مقاومت R را در

مدت ۱ دقیقه به دست آورید.

**پ** توان باتری ε₂ را حساب کنید.

**پاسخ الف** چون  $\epsilon_1 > \epsilon_2$  است، جریان پادساعتگرد (در جهت  $\epsilon_1$ )

است و این باتری به مدار انرژی می دهد و اگر جریان را به دست آوریم

سپس از مولد عبور کنیم، داریم:

$$I = \frac{25 - 10}{3/5 + 2 + 2} = 2 \text{ A (پادساعتگرد)}$$

$$P_{\text{خروجی } 1} = I\Delta V \Rightarrow P_1 = 2 \times (+25 - (2 \times 2)) \Rightarrow P_{\text{خروجی } 1} = +42 \text{ W}$$

$$P_{\text{مصرفی}} = RI^2 = 3/5 \times 2^2 = 14 \text{ W}$$

$$U_{\text{مصرفی}} = P_{\text{مصرفی}} \times t = 14 \times 60 = 840 \text{ J}$$

**پ** در جهت جریان از  $\epsilon_2$  عبور می کنیم و توان آن را از رابطه

$$P = I\Delta V \text{ به دست می آوریم:}$$

$$P_2 = I(-\epsilon_2 - Ir_2) \Rightarrow P = -2(10 + 2 \times 2) = -28 \text{ W}$$

ملاحظه می شود که باتری  $\epsilon_2$ ، ضد محرکه است و از مدار انرژی

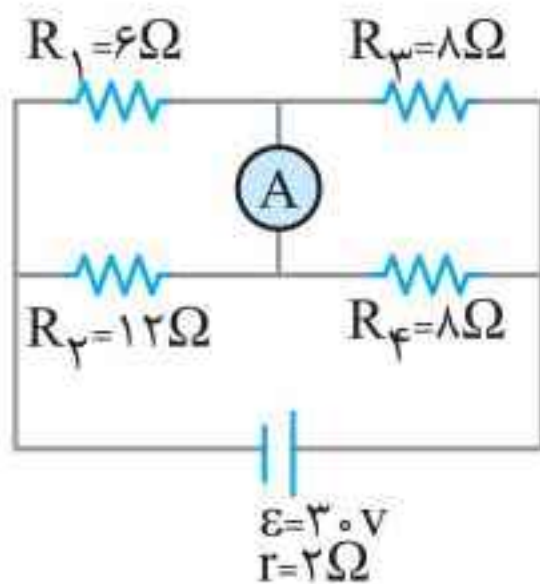
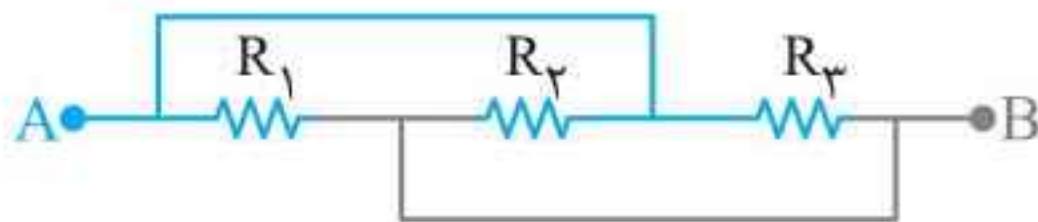
می گیرد (مصرف می کند) زیرا  $P_2 < 0$  است.

**تذکر:** در مثال فوق باتری  $\epsilon_1$  علاوه بر مقاومت R به باتری  $\epsilon_2$  نیز

انرژی می دهد. گویی  $\epsilon_1$  باتری  $\epsilon_2$  را شارژ می کند و بنابراین پایستگی

$$P_{\text{خروجی } 1} = P_{\text{مصرفی } R} + P_{\text{مصرفی } 2} \text{ در این مثال داریم:}$$

فصل دوم □ جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم **مهروماه**



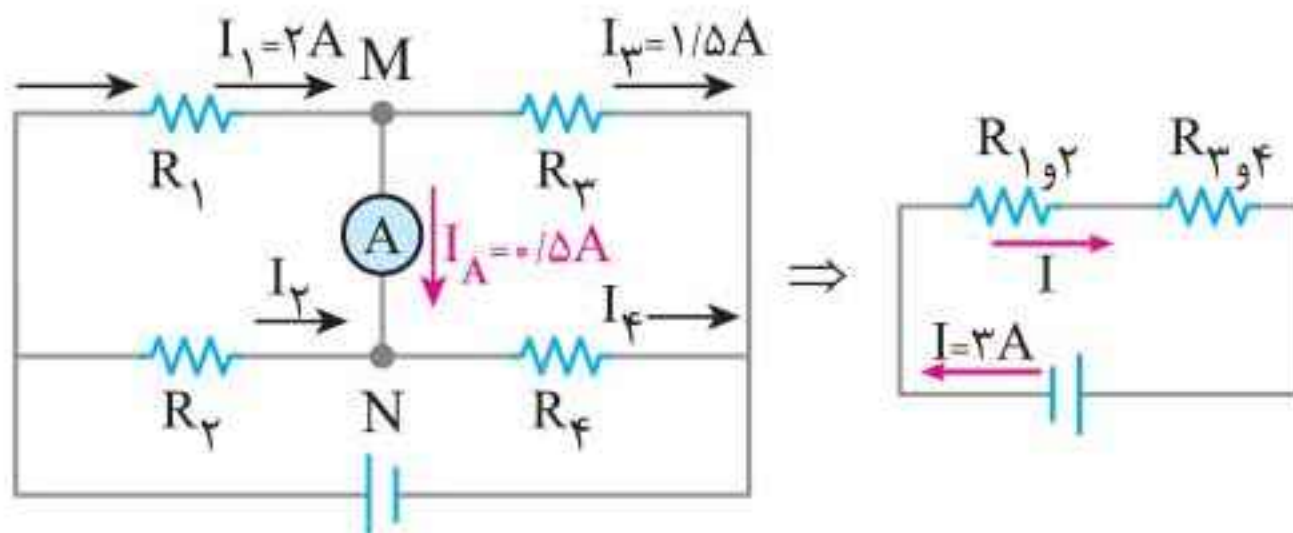
**مثال ۲۵** در شکل مقابل آمپرسنج چند آمپر را نشان می‌دهد؟

**پاسخ** چون مقاومت آمپرسنج تقریباً صفر است مانند یک سیم رسانا عمل می‌کند و می‌توان دریافت  $R_1$  با  $R_2$  موازی است و  $R_3$  با  $R_4$  موازی و  $R_{1,2}$  با  $R_{3,4}$  متوالی است.

$$R_{1,2} = \frac{6 \times 12}{6 + 12} = 4 \Omega, \quad R_{3,4} = \frac{8 \times 8}{8 + 8} = 4 \Omega$$

$$R_{eq} = 4 + 4 = 8 \Omega$$

$$I_{1,2} = I_{3,4} = I = \frac{3.0}{8 + 2} = 3 \text{ A} \quad \text{جریان کل مدار برابر است با:}$$



اکنون ولتاژ دو سر  $R_{1,2}$  و  $R_{3,4}$  و جریان گذرنده از  $R_1$  و  $R_3$  را به دست می‌آوریم.

باتری، یک کلید قطع و وصل، و یک مقاومت یا لامپ کوچک را سوار کنید. نخست در حالی که کلید قطع است، ولتاژ دو سر باتری را با یک ولتسنج اندازه بگیرید و آن گاه پس از بستن کلید، دوباره ولتاژ دو سر باتری را اندازه بگیرید. همچنین در این حالت، جریان عبوری از مدار را نیز باید به کمک یک آمپرسنج اندازه بگیرید. اکنون چگونه می‌توانید مقاومت داخلی باتری را حساب کنید؟

**پاسخ** وقتی کلید باز است، ولتسنج نیروی محرکه مولد را نشان می‌دهد ( $V = \mathcal{E}$ ). وقتی کلید بسته می‌شود، ولتسنج اختلاف پتانسیل دو سر باتری که برابر  $V = \mathcal{E} - rI$  است را نشان می‌دهد. با خواندن عدد آمپرسنج ( $I$ ) و مشخص بودن  $\mathcal{E}$  از مرحله قبل، می‌توان  $r$  را محاسبه کرد.

### فعالیت ۲-۷ ریاضی و ۲-۴ تجربی



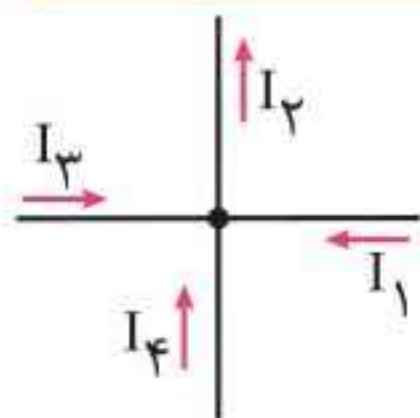
قانون ژول بیان می‌دارد که گرمای تولید شده توسط جریان  $I$  عبوری از یک مقاومت  $R$  در مدت زمان  $t$  برابر  $RI^2t$  است. این قانون را می‌توان به روش گرماسنجی با یک گرماسنج تحقیق کرد که اسباب آن در شکل

نشان داده شده است. درباره چگونگی این آزمایش تحقیق کنید.

**پاسخ** با برقراری جریان الکتریکی و گرم شدن مقاومت، گرمای  $Q$  از مقاومت به آب و ظرف گرماسنج، منتقل می‌شود و سبب افزایش دما به اندازه  $\Delta T$  می‌شود. این گرما از رابطه  $Q = (m_{\text{آب}} c_{\text{آب}} + C_{\text{گرمکن}}) \Delta T$  به دست می‌آید. پس از آن که سیم گرمکن گرماسنج به حد کافی گرم شد و به دمای تقریباً ثابتی رسید، انرژی الکتریکی مصرفی در این مقاومت کاملاً به گرما تبدیل می‌شود. با خواندن عددهای ولتسنج و آمپرسنج و داشتن مدت زمان این فرآیند با استفاده از رابطه  $U = VI t$

پرسش ۲-۳ ویژه رشته ریاضی

برای نقطه انشعاب نشان داده شده در شکل: رابطه بین جریان‌ها را بنویسید.

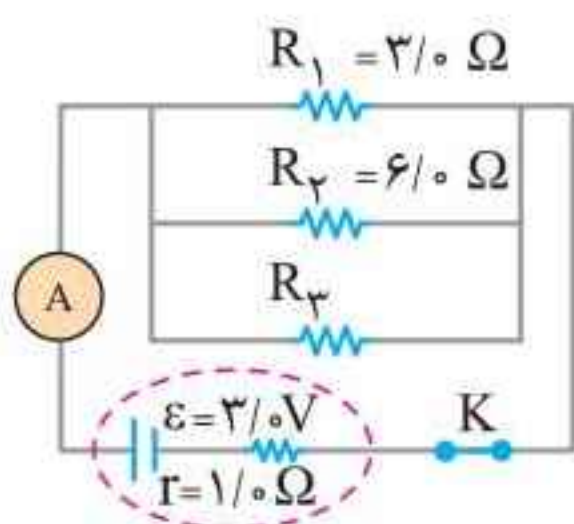


پاسخ

جمع جریان‌های خروجی از گره = جمع جریان‌های ورودی به گره

$$\Rightarrow I_1 + I_3 + I_4 = I_2$$

تمرین ۲-۶ ریاضی و ۲-۴ تجربی



در شکل روبه‌رو سه مقاومت موازی به همراه یک آمپرسنج آرمانی به دو سر باتری وصل شده‌اند. اگر مقاومت معادل این ترکیب،  $1/6 \Omega$  باشد،

**الف** مقاومت  $R_3$  چقدر است؟

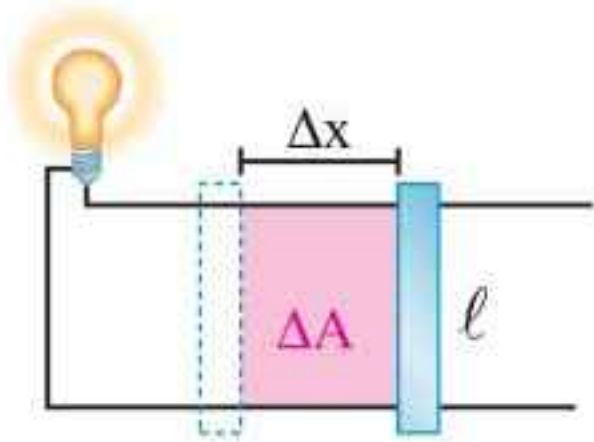
**ب** جریانی که آمپرسنج نشان می‌دهد را به دست آورید.

**پ** نشان دهید توان خروجی باتری با مجموع توان‌های مصرفی مقاومت‌های  $R_1$ ،  $R_2$  و  $R_3$  برابر است.

پاسخ الف

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \Rightarrow \frac{1}{1/6} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{R_3}$$

$$R_3 = 8 \Omega$$



$$t = 2\text{s} \rightarrow \Delta x = 1 \times 2 = 2\text{m}$$

$$\Delta\Phi = B \ell \Delta x \xrightarrow[\begin{smallmatrix} B=0.1\text{T} \\ \ell=0.2\text{m} \end{smallmatrix}]{}$$

$$\Delta\Phi = 0.1 \times 0.2 \times 2 = 0.04\text{Wb}$$

### رابطه قانون القای فاراده

اگر تغییر شار مغناطیسی با آهنگ بیش تری صورت گیرد یا تعداد حلقه‌های پیچه (N) بیش تر باشد، نیروی محرکه القایی و در نتیجه جریان القایی بیش تری پدید می‌آید. نیروی محرکه القایی متوسط ( $\bar{\varepsilon}$ ) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\bar{\varepsilon} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \text{ Wb/s}$$

↓  
V

اگر مقاومت پیچه یا مدار برابر R باشد، با استفاده از قانون اهم ( $I = \frac{V}{R}$ ).

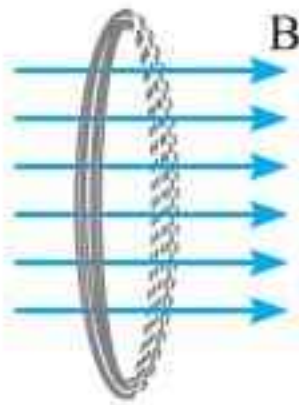
$$\bar{I} = \frac{\bar{\varepsilon}}{R} \Rightarrow \bar{I} = -\frac{N \Delta\Phi}{R \Delta t}$$

جریان القایی متوسط به صورت مقابل است:

### نکته‌ها:

- ۱ هر قدر تغییر شار مغناطیسی (تغییر میدان مغناطیسی، دوران پیچه یا تغییر سطح پیچه) سریع تر انجام شود (یعنی تغییرات در زمان کوتاه تری انجام شود)، نیروی محرکه القایی یا جریان القایی بیش تری تولید می‌شود.
- ۲ هر قدر مقاومت مدار بیش تر باشد، جریان القایی کم تری ایجاد می‌شود.

**مثال ۳** پیچهای با مساحت  $20 \text{ cm}^2$ ، عمود بر میدان مغناطیسی



$B = 0.5 \text{ T}$  است. اگر در مدت  $1/10$  ثانیه میدان مغناطیسی به تدریج کاهش و در جهت مخالف تا  $0.2 \text{ T}$  افزایش یابد، به طوری که مقاومت پیچه  $0.5 \Omega$  اهم و تعداد حلقه‌های آن  $100$  باشد، موارد زیر را به دست آورید.

**الف** تغییر شار مغناطیسی

**ب** نیروی محرکه القایی متوسط

**پ** جریان القایی متوسط

**پاسخ الف** در این سؤال میدان مغناطیسی تغییر کرده است و چون جهت میدان هم تغییر کرده است می‌توان نوشت:

$$\theta_1 = 0^\circ \rightarrow \Phi_1 = B_1 A \cos \theta_1 = 0.5 \times 20 \times 10^{-4} \times 1 = 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$\theta_2 = 180^\circ \rightarrow \Phi_2 = B_2 A \cos \theta_2 = 0.2 \times 20 \times 10^{-4} \times (-1) = -0.4 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

$$\Delta \Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = -0.4 \times 10^{-3} - 10^{-3} = -1.4 \times 10^{-3} \text{ Wb}$$

**ب** برای محاسبه نیروی محرکه القایی متوسط داریم:

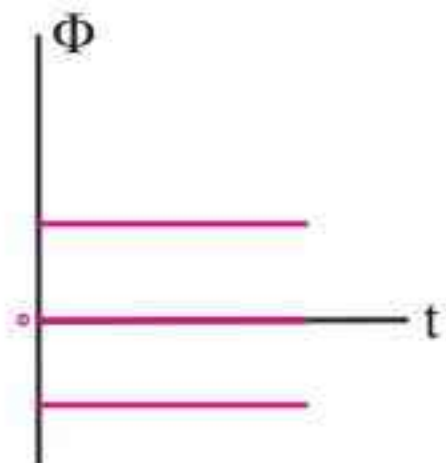
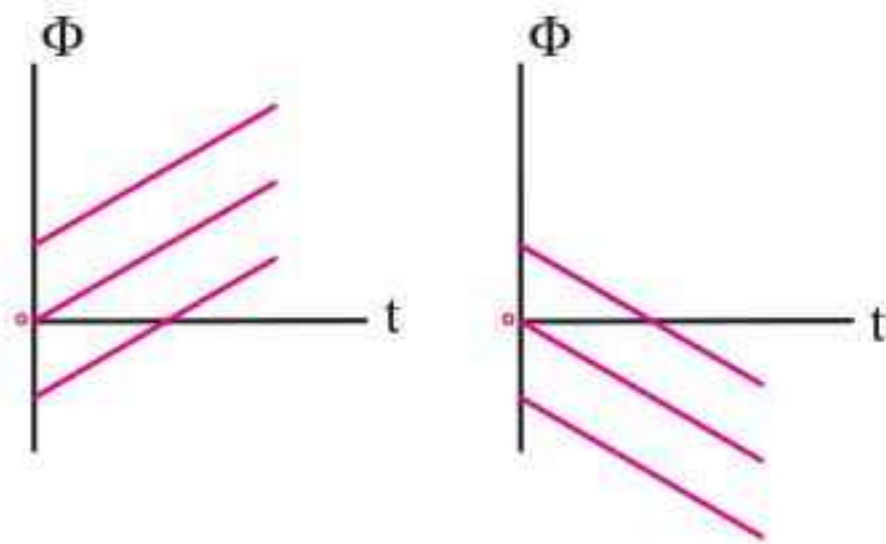
$$\bar{\varepsilon} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -100 \times \frac{-1.4 \times 10^{-3}}{0.1} = 1.4 \text{ V}$$

**پ** جریان القایی متوسط برابر است با:

$$\bar{I} = \frac{\bar{\varepsilon}}{R} = \frac{1.4}{0.5} = 2.8 \text{ A}$$

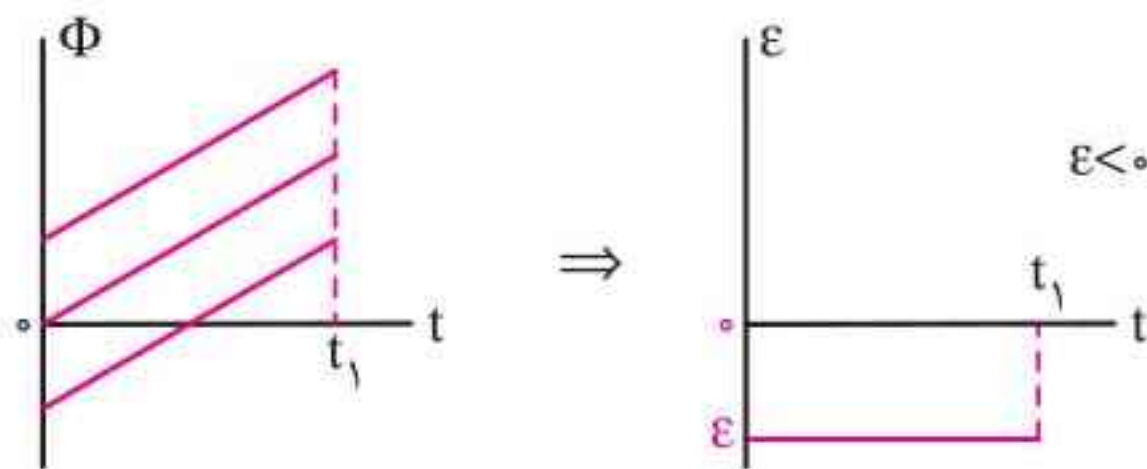
## نمودار $\Phi - t$ و نمودار $\varepsilon - t$ :

۱ اگر آهنگ تغییر شارمغناطیسی یعنی  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ، ثابت باشد، آن گاه نمودار شار بر حسب زمان به صورت خط راست و به صورت یکی از دو نمودار زیر است:

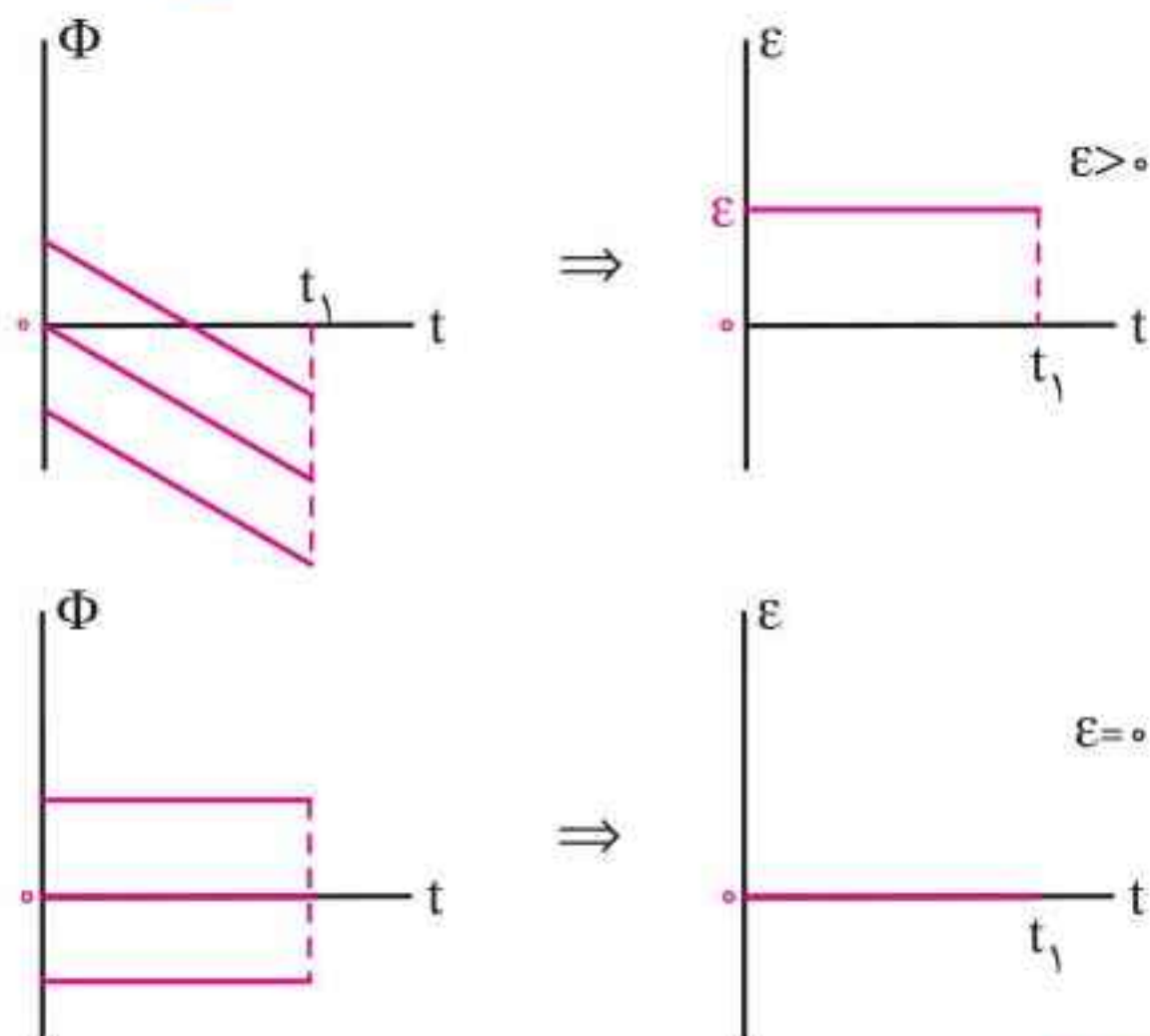


۲ اگر شارمغناطیسی گذرنده از یک پیچه تغییر نکند (ثابت باشد)، نمودار  $\Phi - t$  آن می تواند به صورت یکی از خطوط زیر باشد:

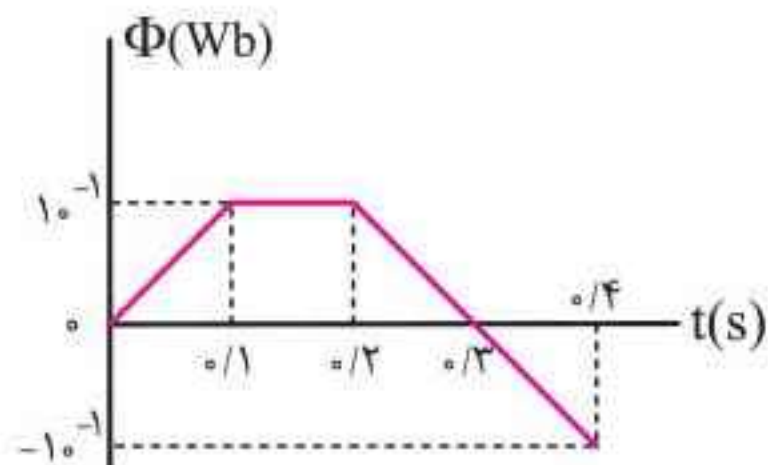
۳ اگر نمودار  $\Phi - t$ ، به شکل خط (با شیب مثبت یا منفی) باشد، نمودار  $\varepsilon - t$  آن به صورت خط افقی (با شیب صفر) است.







**مثال ۴** در شکل زیر نمودار تغییرات شار مغناطیسی که از یک پیچه با ۱۰ حلقه و مقاومت ۲ اهم می‌گذرد، بر حسب زمان رسم شده است. نمودار نیروی محرکه القایی و جریان القایی بر حسب زمان آن را رسم کنید.



پاسخ

$$\bar{\epsilon} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$\bar{\epsilon} = -10 \times \frac{10^{-1} - 0}{0.1} = -10 \text{ V}$$

در قسمت اول نمودار:

در قسمت دوم نمودار:

$$\bar{\varepsilon}_2 = -1.0 \times \frac{1.0^{-1} - 1.0^{-1}}{0.1} = 0$$

در قسمت سوم نمودار:

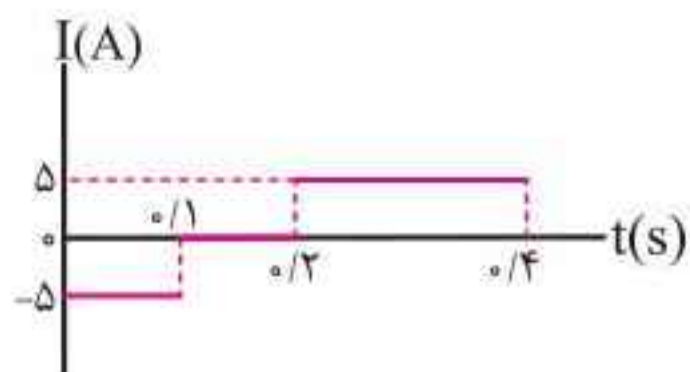
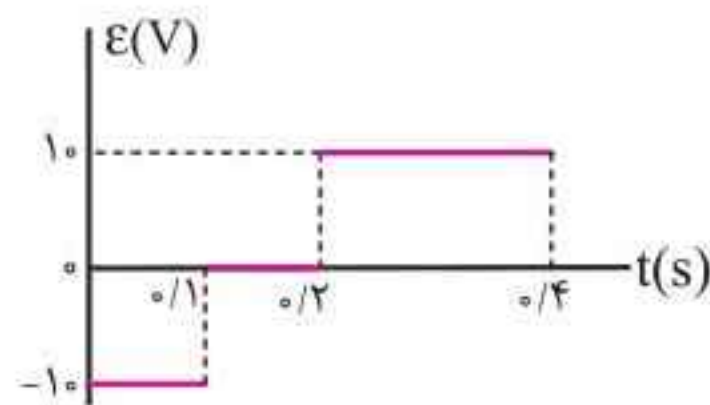
$$\bar{\varepsilon}_3 = -1.0 \times \frac{-1.0^{-1} - 1.0^{-1}}{0.2} = 1.0 \text{ V}$$

جریان القایی در هر قسمت برابر است با:

$$\bar{I}_1 = \frac{\varepsilon_1}{R} = \frac{-1.0}{2} = -0.5 \text{ A}$$

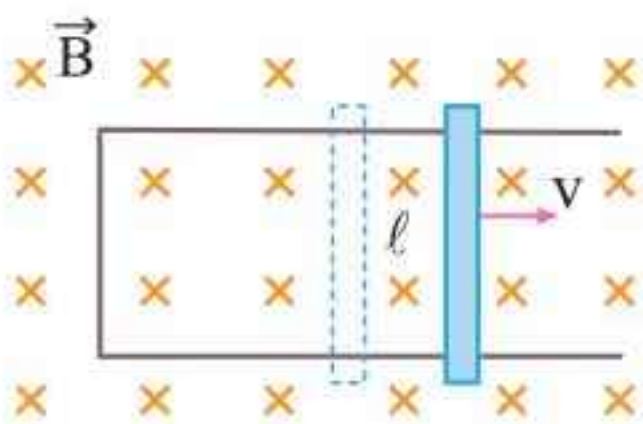
$$\bar{I}_2 = 0$$

$$\bar{I}_3 = \frac{1.0}{2} = 0.5 \text{ A}$$



### نیروی محرکه دو سر میله رسانای متحرک در میدان مغناطیسی:

اگر میله رسانایی به طول  $\ell$  با تندی ثابت  $v$  روی قاب رسانای U شکل عمود بر میدان مغناطیسی حرکت کند، در دو سر میله نیروی محرکه القایی متوسط  $\bar{\varepsilon}$  به وجود می آید و مقدار آن برابر است با:



$$\bar{\varepsilon} = -B v \ell$$

$\begin{matrix} \text{(m/s)} \\ | \\ \text{(V)} & \text{(T)} & \text{(m)} \end{matrix}$

نکته‌ها:

- ۱ میلۀ رسانا هنگام حرکت، مانند یک باتری مولد جریان مستقیم عمل می‌کند.
- ۲ چون تندی میلۀ ثابت است، نیروی محرکه‌ای که تولید می‌شود، نیز ثابت است.
- ۳ اگر حرکت میلۀ شتابدار باشد، نیروی محرکه‌ی القایی ثابت نخواهد بود.

۳-۴ قانون لنز ریاضی ۹-۳ تجربی

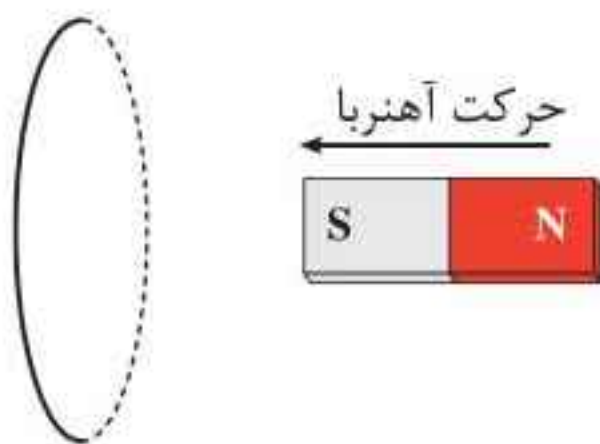
از قانون لنز برای تعیین جهت جریان القایی استفاده می‌شود و این قانون به صورت زیر بیان می‌شود: «جریان حاصل از نیروی محرکه‌ی القایی در یک مدار یا پیچۀ در جهتی است که آثار مغناطیسی ناشی از آن، با عامل به‌وجود آورنده‌ی جریان القایی، یعنی تغییر شار مغناطیسی مخالفت می‌کند.»

نکته: در رابطه  $\bar{\varepsilon} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ، علامت منفی بیان‌گر قانون لنز است.

چگونگی استفاده از قانون لنز در تعیین جهت جریان القایی

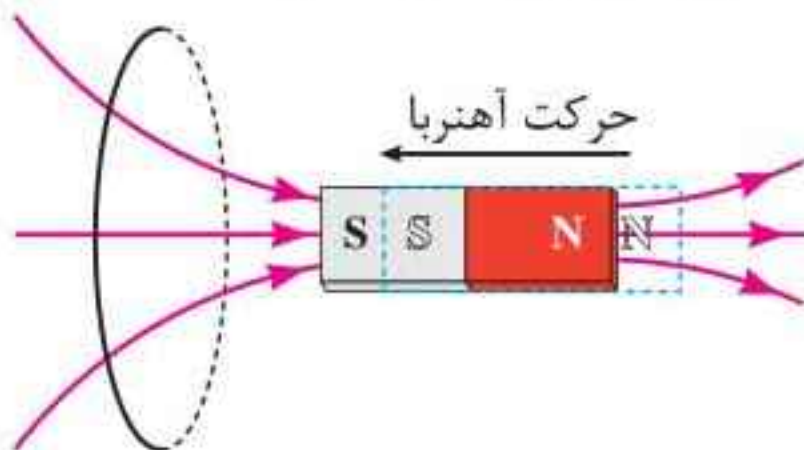
- ۱ ابتدا جهت میدان مغناطیسی خارجی را که در مدار بسته (حلقه) وجود دارد، تعیین می‌کنیم.
- ۲ چگونگی کم یا زیاد شدن شار مغناطیسی را با توجه به رابطه  $\Phi = BA \cos\theta$ ، تعیین می‌کنیم.
- ۳ اگر شار مغناطیسی کاهش یابد، میدان مغناطیسی القایی (که در اثر جریان القایی پدید می‌آید) هم‌جهت میدان خارجی است. اگر شار مغناطیسی افزایش یابد، میدان مغناطیسی القایی، خلاف جهت میدان خارجی است.

۴ با استفاده از قاعده دست راست (مشابه تعیین میدان مغناطیسی سیم حامل جریان)، چهار انگشت را در جهت میدان مغناطیسی القایی که درون حلقه پدید می‌آید قرار می‌دهیم و در این حالت شست جهت جریان حلقه را نشان می‌دهد.

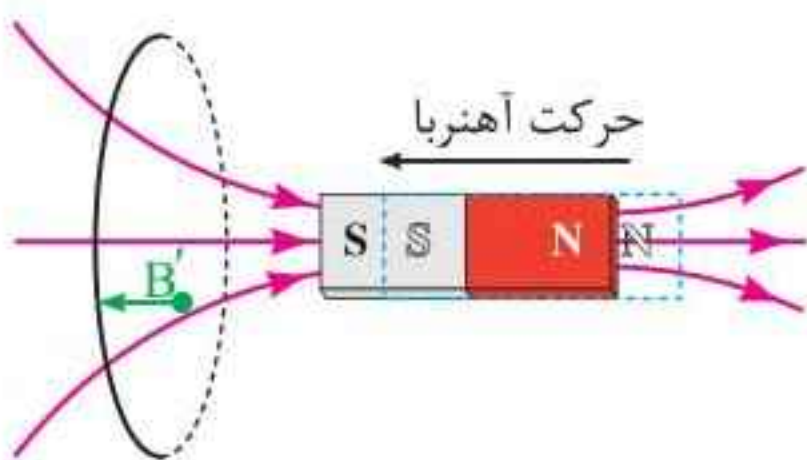


مثال ۵ در شکل روبه‌رو اگر آهنربا به طرف حلقه حرکت کند، جهت جریان القایی را تعیین کنید.

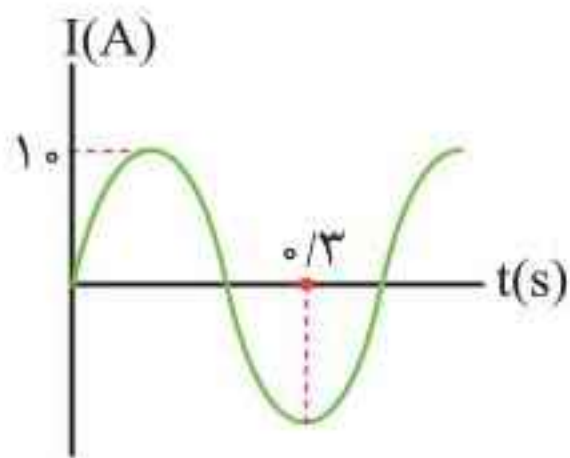
پاسخ طی ۴ مرحله که پیش از این ذکر کردیم پاسخ را دنبال می‌کنیم.  
۱ میدان مغناطیسی خارجی گذرنده از حلقه به طرف راست است.



۲ چون آهنربا به سمت حلقه حرکت می‌کند، میدان مغناطیسی و در نتیجه شار مغناطیسی گذرنده از حلقه زیاد می‌شود.



۳ میدان مغناطیسی القایی ( $B'$ ) که در اثر جریان القایی، در حلقه پدید می‌آید مخالف میدان مغناطیسی خارجی گذرنده از حلقه است.



**مثال ۱۲** نمودار یک جریان متناوب

بر حسب زمان مطابق شکل مقابل است.

**الف** دوره جریان و بسامد جریان چقدر است.

**ب** معادله جریان، بر حسب زمان را

بنویسید.

**پ** در لحظه  $t = \frac{1}{10}$  ثانیه، جریان چند آمپر است؟

**ت** اگر این جریان از یک سیملوله با ضریب القاوری  $0.2 \text{ H}$  عبور کند،

بیشترین انرژی مغناطیسی که در سیملوله ذخیره می شود، چند ژول است؟

**پاسخ الف** با توجه به نمودار و مقایسه آن با نمودار کلی جریان متناوب داریم:

$$3 \frac{T}{4} = 0.3 \Rightarrow T = 0.4 \text{ s} , \quad f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.4} = 2.5 \text{ Hz}$$

**ب** با استفاده از معادله کلی جریان یعنی  $I = I_m \sin \frac{2\pi}{T} t$  و نمودار داده شده، می توان نوشت:

$$\left. \begin{array}{l} I_m = 1.0 \text{ A} \\ T = 0.4 \text{ s} \end{array} \right\} \Rightarrow I = 1.0 \sin \frac{2\pi}{0.4} t \Rightarrow I = 1.0 \sin 5\pi t$$

$$t = \frac{1}{10} \text{ s} \rightarrow I = 1.0 \sin 5\pi \times 0.1 \Rightarrow I = 1.0 \sin \frac{\pi}{2} = 1.0 \text{ A} \quad \text{پ}$$

**ت** از رابطه  $U = \frac{1}{2} L I_m^2$  استفاده می کنیم.

$$I_m = 1.0 \text{ A} , \quad L = 0.2 \text{ H}$$

$$U_m = \frac{1}{2} \times 0.2 \times 1.0^2 = 0.1 \text{ J}$$

**نکته:** برای یکسو کردن جریان متناوب می توان از دیود استفاده کرد.

### مبدل‌ها

دستگاه‌هایی هستند که ولتاژ جریان متناوب را کاهش یا افزایش می‌دهند.

#### نکاتی دربارهٔ مبدل‌ها:

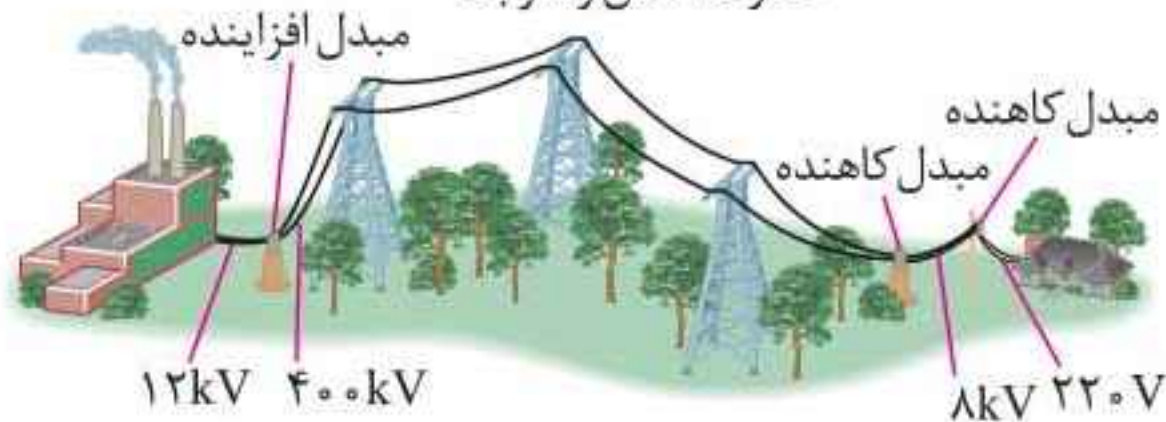
۱ با توجه به این که در انتقال توان الکتریکی در مسافت‌های زیاد مقاومت کابل‌های خطوط انتقال قابل صرف‌نظر نیست و بنابر رابطه  $P = RI^2$ ، اگر جریان زیاد باشد، افت و اتلاف توان در خطوط انتقال زیاد می‌شود، از مبدل‌ها استفاده می‌کنند و ولتاژ برق را با آن‌ها افزایش می‌دهند تا جریان کاهش یابد و سپس با خطوط انتقال، انرژی الکتریکی را به شهرهای مصرف‌کننده می‌فرستند. در نزدیک مصرف‌کننده از مبدل کاهنده استفاده می‌کنند و ولتاژ برق را به ۲۲۰ ولت می‌رسانند.

۲ افزایش و کاهش ولتاژ ac، بسیار آسان‌تر از dc است.

۳ برای انتقال توان الکتریکی در فاصله‌های دور تا حد امکان باید از ولتاژهای بالا و جریان‌های کم استفاده کنیم.

۴ کاهش جریان سبب استفاده از سیم‌های نازک‌تر و هزینه کم‌تری می‌شود.

خطوط انتقال ولتاژ بالا



قبل از انتقال توان الکتریکی از نیروگاه‌ها، مبدل‌های افزایشنده، ولتاژ را تا حدود ۴۰۰kV افزایش می‌دهند. در انتهای مسیر، مبدل‌های کاهنده، ولتاژ را کاهش می‌دهند تا توان الکتریکی با امنیت بیش‌تر به محل مصرف برسد.

### رابطهٔ مبدل

هر مبدل از دو سیم‌پیچ با دوره‌هایی مختلف تشکیل می‌شود که دور یک هستهٔ آهنی پیچیده شده است. برای یک مبدل آرمانی (مقاومت ناچیز)

## ۴ القای الکترومغناطیسی و جریان متناوب

### القای الکترومغناطیسی

ایجاد جریان الکتریکی در یک رسانا به کمک پدیده القا را القای الکترومغناطیسی می‌گویند.

### قانون القای الکترومغناطیسی فارادی

هرگاه شار مغناطیسی گذرنده از یک پیچه تغییر کند، نیروی محرکه‌ای در آن القا می‌شود که بزرگی آن با آهنگ تغییر شار مغناطیسی متناسب است.

### قانون لنز

جهت جریان القایی در یک پیچه به صورتی است که آثار مغناطیسی ناشی از آن، با عامل به وجود آورنده جریان القایی (تغییر شار) مخالفت می‌کند.

### القاگر

وسایله‌ای برای ذخیره کردن میدان مغناطیسی و انرژی مغناطیسی است. همچنین القاگر به پایا نگه داشتن جریان، در برابر افت و خیزهای emf کمک می‌کند.

### خودالقاوری

هرگاه جریان مدار تغییر کند، شار عبوری گذرنده از القاگر هم تغییر می‌کند و طبق قانون لنز، القاگر با القای نیروی محرکه‌ای با تغییر شار مخالفت می‌کند. به این پدیده اثر خودالقاوری گفته می‌شود.

ویژه رشته ریاضی

### القای متقابل

تغییر شار عبوری از یک القاگر، باعث ایجاد نیروی محرکه و جریانی در القاگر دیگر می‌شود. این پدیده را القای متقابل می‌نامند.

### دوره یا زمان تناوب (T)

مدت زمان یک دور کامل چرخش پیچه در جریان متناوب است.

### مبدل

ابزاری برای افزایش یا کاهش ولتاژ است.

روابط و فرمول‌ها



۱ الکتریسته ساکن

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$$

۱ قانون کولن:

◀ دو بار الکتریکی  $q_1$  و  $q_2$  که در فاصله  $r$  از یکدیگر قرار دارند به یکدیگر نیروهای هم‌اندازه  $F$  را وارد می‌کنند.  
◀ در این رابطه  $k$  به ثابت کولن معروف است:

$$(k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2})$$

◀ در تساوی بالا،  $\epsilon_0$ ، ضریب گذردهی الکتریکی خلأ نام دارد.

$$(\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m})$$

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

۲ میدان الکتریکی:

◀ مقدار نیرویی که بار الکتریکی مفروض بر بار آزمون ( $q_0$ ) وارد می‌آورد را میدان الکتریکی آن بار فرض می‌کنیم.

$$E = k \frac{|q|}{r^2}$$

۳ میدان بار الکتریکی نقطه‌ای: