www.maktabestan.ir

گزینه دو
مؤسسه آموزشی فرهنگی

فیزیک ۳

فصل سوم:
جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

www.maktabestan.ir

www.maktabestan.ir

فصل ۳: جریان الکتریکی و مدارهای جریان مستقیم

دیدیم که شارش بار الکتریکی مثبت در هنگام وجود اختلاف پتانسیل، از پتانسیل بالاتر به پتانسیل پایین‌تر صورت می‌گیرد که این شارش موجب انتقال انرژی می‌شود. اگر فلزات در دو سر خود به اختلاف پتانسیلی وصل نباشند، بار الکتریکی که از هر مقطع رسانا می‌گذرد صفر است.

۱- جریان الکتریکی:

هنگامی‌که به دو سر یک رسانا یک اختلاف پتانسیل اعمال می‌کنیم، الکترون‌ها به حرکت در می‌آیند و در این رسانا جریان الکتریکی ایجاد می‌شود.

بار شارش شده در واحد زمان را شدت جریان متوسط گویند. $\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t}$

اگر شدّت جریان متوسط در طول زمان ثابت باشد، جریان را مستقیم می‌نامیم. $(\bar{I} = I)$

به مقدار بار الکتریکی که در جریان به شدت ۱ A، در مدت یک ثانیه از سطح رسانا می‌گذرد، یک کولن گویند.

۲- قانون اهم:

طبق قانون اهم نسبت اختلاف پتانسیل دو سر رسانای فلزی به شدّت جریانی که از آن می‌گذرد، در دمای ثابت، مقدار ثابتی است. این نسبت را مقاومت الکتریکی رسانا می‌نامیم. واحد مقاومت اهم (Ω) است.

$$R = \frac{V}{I}$$

۳- عوامل مؤثر در مقاومت رساناهای فلزی:

مقاومت‌یک رسانای فلزی در دمای ثابت به طول، سطح مقطع و جنس آن بستگی دارد.

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

همان‌طور که ظرفیت خازن فقط بستگی به مشخصات ساختمانی آن دارد، مقاومت‌یک رسانای فلزی هم بستگی به مشخصات ساختمانی آن دارد.

۴- اثر دما بر مقاومت رساناهای فلزی:

مقاومت فلزات با افزایش دمای آن‌ها زیاد می‌شود. افزایش مقاومت به دلیل افزایش مقاومت ویژه‌ی فلزات است.

$$\rho_2 = \rho_1(1 + \alpha\Delta\theta)$$
$$R_2 = R_1(1 + \alpha\Delta\theta)$$

در فرمول‌های فوق α ضریب دمایی مقاومت ویژه است.

۵- انرژی الکتریکی مصرف شده در یک مقاومت:

اگر از مقاومتی جریان عبور کند، در اثر برخورد الکترون‌ها با اتم‌ها، مقداری از انرژی پتانسیل الکتریکی جریان تبدیل به انرژی گرمایی می‌شود و مقاومت گرم می‌شود.

اندازه‌ی انرژی الکتریکی مصرف شده (که به گرما تبدیل می‌شود) از رابطه‌ی $U = qV$ به‌دست می‌آید.

رابطه‌های معادل عبارتند از:

$$U = qV = (It)V \Rightarrow U = VIt$$
$$U = (It)V = (IR)\Rightarrow U = RI^2t$$
$$U = (It)V = (\frac{V}{R}t)V \Rightarrow U = \frac{V^2}{R}t$$

برای محاسبه‌ی توان الکتریکی مصرف شده در مقاومت کافی است t را از هریک از فرمول‌های بالا برداریم.

$$P = \frac{U}{t} \Rightarrow \begin{cases} P = VI \\ P = RI^2 \\ P = \frac{V^2}{R} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \text{انرژی تولیدی مولد} = \varepsilon I \\ Ra = \frac{\text{مدار } P}{\text{تولیدی مولد } P} = \frac{VI}{\varepsilon I} = \frac{V}{\varepsilon} \end{cases}$$

هر چند فرمول‌های $P = RI^2$ و $P = \frac{V^2}{R}$ معادل هستند، اما در مسأله، وقتی جریان ثابت است (مقاومت‌ها سری بسته شده‌اند) بهتر است از فرمول $P = RI^2$ و وقتی اختلاف پتانسیل ثابت است (مقاومت‌ها موازی بسته شده‌اند) بهتر است از فرمول $P = \frac{V^2}{R}$ استفاده کنیم.

www.maktabestan.ir

www.maktabestan.ir

مثال ۱: روی یک لامپ الکتریکی رقم‌های ۲۴۰ V و ۶۰ W ثبت شده است.

الف) مقاومت الکتریکی این لامپ را محاسبه کنید.

ب) اگر این لامپ به اختلاف پتانسیل ۱۲۰ ولت وصل شود، با فرض ثابت ماندن مقاومت توان مصرفی آن چه اندازه می‌شود؟

ج) توان اسمی و توان مصرفی لامپ چند وات است؟

پاسخ:

الف)

$$P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow R = \frac{۲۴۰^2}{۶۰} = ۹۶۰\Omega$$

ب)

$$P' = \frac{V'^2}{R} \Rightarrow P' = \frac{(۱۲۰)^2}{۹۶۰} = ۱۵W$$

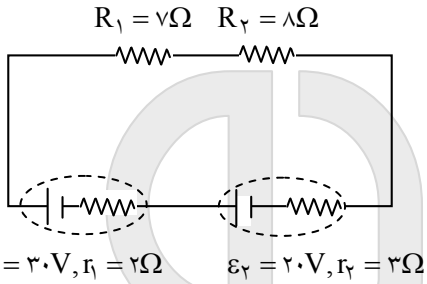
ج) توان اسمی لامپ برابر $P = ۶۰W$ و توان مصرفی آن برابر $P' = ۱۵W$ است.

۶- مدار تک حلقه، محاسبه‌ی جریان:

یک مدار الکتریکی ساده‌ی تک حلقه، از یک یا چند مولّد و یک یا چند مقاومت تشکیل شده است که به کمک سیم‌های رابط (که بدون مقاومت فرض می‌شوند) به هم وصل شده‌اند. شدّت جریان در همه‌ی مداریکسان است. هر مولّد ممکن است خود دارای مقاومت درونی باشد.

محاسبه‌ی جریان در مدارهای تک حلقه بسیار ساده است. جریان را می‌توان از تقسیم «مجموع نیروهای محرکه» بر «مجموع مقاومت‌ها» به دست آورد: $I = \frac{\Sigma\varepsilon}{\Sigma R + \Sigma r}$. طبق قرارداد جریان از پایانه‌ی مثبت خارج می‌شود.

مثال ۲: در شکل روبه‌رو شدت جریان مدار و جهت جریان را تعیین کنید.



پاسخ: در این شکل جریانی که هر دو باتری تولید می‌کنند ساعت‌گرد است، پس نیروی محرکه‌ی آن‌ها با هم جمع می‌شوند.

$$I = \frac{\sum\varepsilon}{\sum R} = \frac{\varepsilon_۱ + \varepsilon_۲}{R_۱ + R_۲ + r_۱ + r_۲} = \frac{۳۰ + ۲۰}{۷ + ۸ + ۳ + ۲} = \frac{۵۰}{۲۰} = ۲/۵A$$

مسلماً جهت جریان ساعت‌گرد است.

۷- مدار تک حلقه، محاسبه‌ی پتانسیل‌ها:

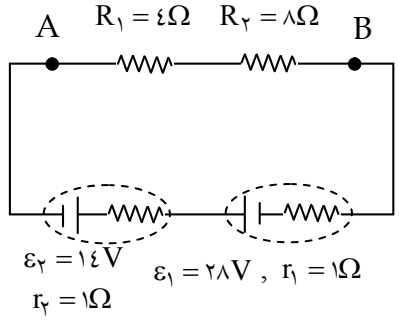
هرگاه در جهت جریان I از مقاومت R عبور کنیم، پتانسیل کاهش پیدا می‌کند.

در شکل روبه‌رو پتانسیل نقطه‌ی B از پتانسیل نقطه‌ی A کم‌تر است. اختلاف پتانسیل این دو نقطه IR است.

$$V_B - V_A = -IR$$

بر عکس هرگاه در خلاف جهت جریان از مقاومت عبور کنیم، پتانسیل به اندازه‌ی IR زیاد می‌شود.

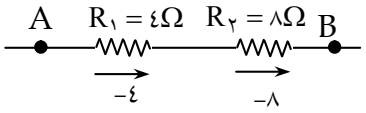
مثال ۳: در شکل روبه‌رو ابتدا جریان را تعیین کنید و سپس اختلاف پتانسیل دو نقطه‌ی A و B را به‌دست آورید.



www.maktabestan.ir

www.maktabestan.ir

پاسخ: در این شکل جریان ساعت‌گرد است $(\varepsilon_1 > \varepsilon_2)$ و به همین دلیل، جهت آن از **A** به **B** خواهد بود.



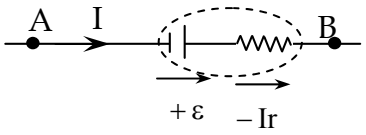
$$I = \frac{\sum \varepsilon}{\sum R} = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{R_1 + R_2 + r_1 + r_2} = \frac{28 - 14}{14} = 1A$$

وقتی از مقاومت R_1 عبور می‌کنیم پتانسیل به اندازه‌ی $IR_1 = 1 \times 4 = 4V$ و وقتی از مقاومت R_2 عبور می‌کنیم پتانسیل به اندازه‌ی $IR_2 = 8V$ کم می‌شود. پس در کل پتانسیل نقطه‌ی **B** به اندازه‌ی **۱۲ V** کم‌تر از پتانسیل نقطه‌ی **A** است.

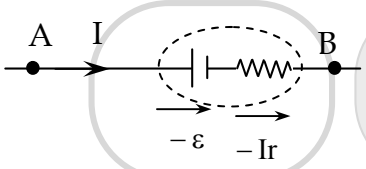
$$V_B - V_A = -12V$$

هر گاه از مولّد عبور کنیم، باید به دو نکته توجّه کنیم:

نیروی محرّکه و مقاومت درونی: مانند هر مقاومت دیگری، اگر در جهت جریان از مقاومت درونی رد شویم، پتانسیل به اندازه‌ی **Ir** کم می‌شود. اگر از قطب منفی مولد به قطب مثبت برویم پتانسیل به اندازه $+\varepsilon$ زیاد می‌شود. پس در شکل روبه‌رو به طور کلی وقتی از **A** به **B** می‌رویم پتانسیل به اندازه‌ی $\varepsilon - Ir$ تغییر می‌کند.



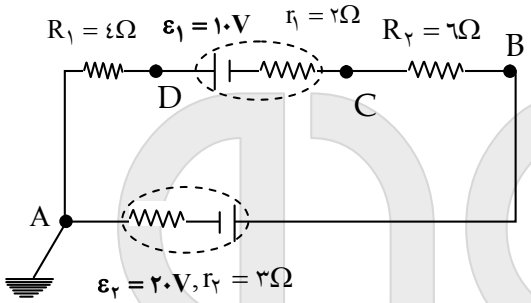
در شکل بعد وقتی در جهت جریان از مولد عبور می‌کنیم، به دلیل وجود مقاومت درونی، پتانسیل به اندازه‌ی **Ir** کم می‌شود. چون از قطب مثبت مولّد به قطب منفی می‌رویم پتانسیل به اندازه‌ی ε کم می‌شود. پس در کل در حرکت از **A** به **B** پتانسیل به اندازه‌ی $\varepsilon + Ir$ کاهش می‌یابد.



مثال ۴: در شکل زیر مقاومت‌ها بر حسب اهم و نیروهای محرکه بر حسب ولت هستند.

الف- شدت جریان مدار را به دست آورید و جهت آن را تعیین کنید.

ب- پتانسیل الکتریکی هریک از نقاط **A** و **B** و **C** و **D** را تعیین کنید.



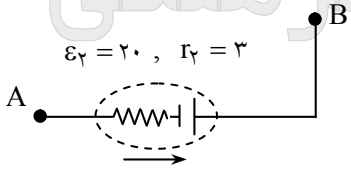
پاسخ: الف)

$$I = \frac{\sum \varepsilon}{\sum R} = \frac{20 + 10}{15} = 2A$$

چون جریان هر دو مولّد پادساعت‌گرد است، جریان کل پاد ساعت‌گرد خواهد بود.

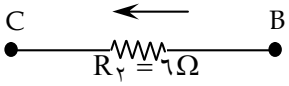
ب)

پتانسیل نقطه‌ی **A** صفر است، چون به زمین وصل است. اگر در جهت جریان (پادساعت‌گرد) از مولد ε_2 عبور کنیم، از **A** به **B** می‌رسیم.



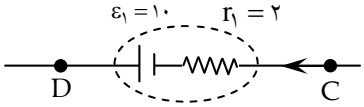
$$V_B - V_A = +\varepsilon_2 - Ir_2 \Rightarrow V_B - 0 = 20 - 3 \times 2 \Rightarrow V_B = 14V$$

سپس باید از مقاومت R_2 عبور کنیم تا به **C** برسیم.



$$V_C - V_B = -IR_2 \Rightarrow V_C - 14 = -2 \times 6 \Rightarrow V_C = 2V$$

با عبور از مولد ε_1، از **C** به **D** می‌رسیم. توجه کنید که از پایانه‌ی منفی به پایانه‌ی مثبت می‌رویم.



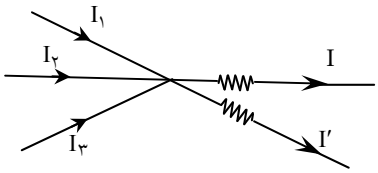
$$V_D - V_C = +\varepsilon_1 - Ir_1 \Rightarrow V_D - 2 = 10 - 2 \times 2 \Rightarrow V_D = 8V$$

www.maktabestan.ir

www.maktabestan.ir

۸- قوانین کیرشهف، مدارهای چندحلقه‌ای:

الف- قانون شدّت جریان‌ها: طبق این قانون مجموع جریان‌هایی که به یک گره می‌رسند برابر مجموع جریان‌هایی است که از آن خارج می‌شوند. در شکل روبه‌رو:

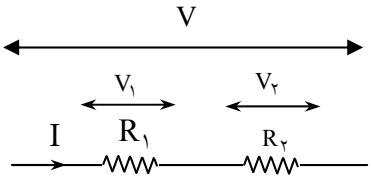


$$I_1 + I_2 + I_3 = I + I'$$

ب- قانون اختلاف پتانسیل‌ها: طبق این قانون در هر حلقه یا مدار بسته مجموع جبری اختلاف پتانسیل‌ها صفر است. به عبارت دیگر پس از طی یک حلقه به پتانسیل اوّلیه بازمی‌گردیم.

۹- مقاومت‌های موازی و متوالی:

در مقاومت‌های متوالی جریان‌ها برابر هستند. امّا پتانسیل‌ها چه طور؟



و نسبت اختلاف پتانسیل‌ها برابر است با:

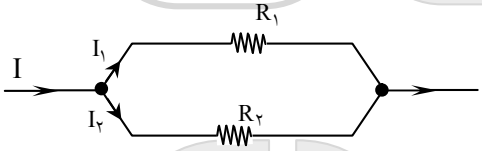
$$V = V_1 + V_2 = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2)$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{IR_1}{IR_2} \Rightarrow \frac{V_1}{V_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

بنابراین در مقاومت‌های متوالی آن که مقاومت بزرگ‌تری دارد، اختلاف پتانسیل دو سرش بزرگ‌تر است.

در مقاومت‌های موازی اختلاف پتانسیل‌ها برابر هستند. اما جریان‌ها چطور؟

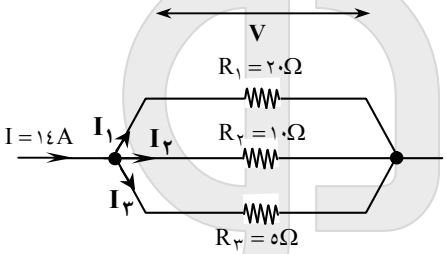
جریان‌ها به نسبت عکس اندازه‌ی مقاومت‌ها توزیع می‌شوند. یعنی مقاومت بزرگ‌تر جریان کوچک‌تری دارد.



$$V_1 = V_2 \Rightarrow I_1R_1 = I_2R_2 \Rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

$$I = I_1 + I_2$$

مثال ۵: جریان در هر شاخه را تعیین کنید.



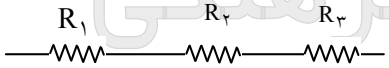
پاسخ:

$$I_1R_1 = I_2R_2 = I_3R_3 \Rightarrow ۲۰I_1 = ۱۰I_2 = ۵I_3 \Rightarrow I_3 = ٤I_1, I_2 = ۲I_1$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \Rightarrow ۱٤ = I_1 + ۲I_1 + ٤I_1 \Rightarrow I_1 = ۲A \Rightarrow I_2 = ٤(A)\ ,\ I_3 = ۸(A)$$

توجه:

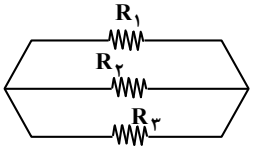
در مقاومت‌های متوالی، مقاومت معادل جمع مقاومت‌ها است.



$$\boxed{R = R_1 + R_2 + R_3}$$

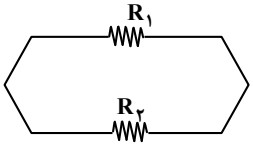
مسلّماً اگر **n** مقاومت مشابه R_1 با هم به طور متوالی بسته شوند مقاومت معادل $R = nR_1$ می‌شود.

در مقاومت‌های موازی، عکس مقاومت معادل برابر جمع معکوس‌های مقاومت‌ها است.



$$\boxed{\frac{۱}{R} = \frac{۱}{R_1} + \frac{۱}{R_2} + \frac{۱}{R_3}}$$

نکته: اگر فقط دو مقاومت موازی داشته باشیم، مقاومت معادل را می‌توان از فرمول زیر به‌دست آورد:



$$R = \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2}$$

نکته: اگر مقاومت بزرگ‌تر در دو مقاومت موازی **n** برابر مقاومت کوچک‌تر باشد، مقاومت معادل برابر است با:

$$R_{\text{معادل}} = \frac{\text{مقاومت بزرگ}}{n+۱}$$

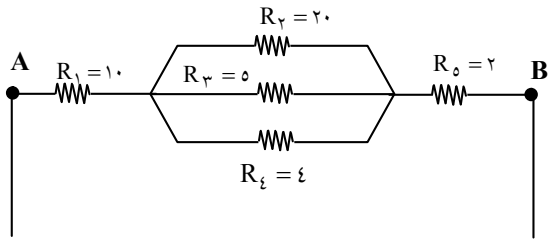
www.maktabestan.ir

www.maktabestan.ir

مثال ۶: اگر در شکل روبه‌رو تمام مقاومت‌ها برحسب اهم داده شده باشند، مقاومت معادل را به‌دست آورید.

پاسخ:

راه اول:



R_2 و R_3 معادل: $R'=\frac{20}{4+1}=4\Omega$

R' و R_4 معادل: $R''=\frac{4}{1+1}=2\Omega$

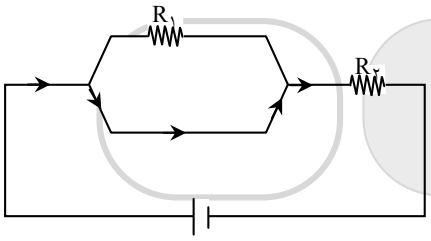
معادل کل: $R=10+2+2=14\Omega$

راه دوم:

R_2 و R_3 و R_4 معادل: $\frac{1}{R''}=\frac{1}{20}+\frac{1}{5}+\frac{1}{4}=\frac{1+4+5}{20}\Rightarrow R'=\frac{20}{10}=2\Omega$

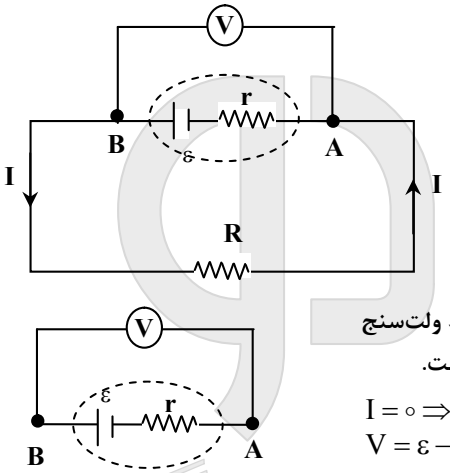
معادل کل: $R=10+2+2=14\Omega$

۱۰- اتصال کوتاه:



هرگاه یک سیم بدون مقاومت به دو سر دستگاهی به‌طور موازی بسته شود، عملاً کل جریان از سیم بدون مقاومت می‌گذرد و آن دستگاه از مدار حذف می‌شود. در شکل روبه‌رو سیم بدون مقاومت به‌طور موازی به دو سر R_1 بسته شده است. پس R_1 عملاً از مدار حذف شده است و مثل این است که فقط R_2 در مدار حضور دارد.

۱۱- افت پتانسیل در مولد:



هنگامی‌که جریان **I** از مولدی که مقاومت درونی آن **r** است می‌گذرد، در این مولد افت پتانسیلی به اندازه‌ی **Ir** داریم.

در شکل روبه‌رو با رفتن از نقطه‌ی **A** به نقطه‌ی **B** پتانسیل به اندازه‌ی $+\varepsilon-Ir$ تغییر می‌کند.

بنابراین:

$V_B-V_A=\varepsilon-Ir$ و این عددی است که ولت‌سنج نشان می‌دهد. در شکل بعد فقط ولت‌سنج به دو سر مولد وصل است چون مقاومت ولت‌سنج خیلی بزرگ است، عملاً جریان صفر است.

$I=0\Rightarrow Ir=0$

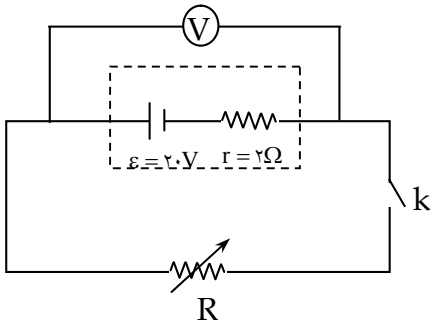
$V=\varepsilon-Ir=\varepsilon-0\Rightarrow V=\varepsilon$

بنابراین وقتی ولت‌سنج به دو سر مولد وصل است و جریانی برقرار نیست، عددی که ولت‌سنج نشان می‌دهد برابر ε است.

مثال ۷: در شکل روبه‌رو یک مولّد را به دو سر یک مقاومت متغیّر بسته‌ایم. جریان مدار و اختلاف پتانسیل دو سر موّلد را در هریک از سه حالت زیر به‌دست آورید و نتیجه‌گیری کنید.

الف) وقتی کلید بسته است و $R=3\Omega$.

پاسخ:



$I=\frac{\sum\varepsilon}{\sum R}=\frac{20}{3+2}=4A$

$V=\varepsilon-Ir=20-4\times2=12V$

ب) وقتی کلید بسته است و $R=8\Omega$.

پاسخ:

$I=\frac{\sum\varepsilon}{\sum R}=\frac{20}{8+2}=2A$

$V=\varepsilon-Ir=20-2\times2=16V$

www.maktabestan.ir

www.maktabestan.ir

ج) وقتی کلید باز است.

پاسخ:

$I = ۰$

$V = \varepsilon = ۲۰V$

با مقایسه‌ی این سه حالت درمی‌یابیم که هر چه مقاومت بیرونی مدار **(R)** زیاد شود، جریان کم می‌شود و در نتیجه اختلاف پتانسیل دو سر مولّد زیاد می‌شود.

$$R\uparrow \Rightarrow I\downarrow \Rightarrow Ir\downarrow \Rightarrow (\varepsilon - Ir)\uparrow \Rightarrow V\uparrow$$

به‌طور خلاصه:

$$R\uparrow \Rightarrow V\uparrow$$

۱۲- توان مولد:

توان مفید مولّد به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P = VI = (\varepsilon - Ir)I \Rightarrow \boxed{P = \varepsilon I - rI^{۲}}$$

در واقع توان کلّ مولّد $P = \varepsilon I$ است و قسمتی از آن که برابر $rI^{۲}$ است در مولّد تلف می‌شود. پس توان مفید $P = \varepsilon I - rI^{۲}$ می‌شود.

۱۳- ترکیب خازن و مقاومت:

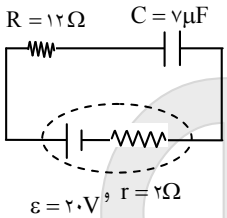
در مورد ترکیب خازن و مقاومت باید دو نکته‌ی اساسی را بدانیم:

۱) وقتی خازن با مقاومت متوالی می‌شود، مقاومت هیچ‌کاره است. کلّ اختلاف پتانسیل به خازن می‌رسد و می‌توانیم مقاومت را نادیده فرض کنیم.

۲) وقتی خازن با مقاومت موازی می‌شود، اختلاف پتانسیل دو سر خازن و مقاومت با هم برابر است.

به مثال‌های زیر توجه کنید.

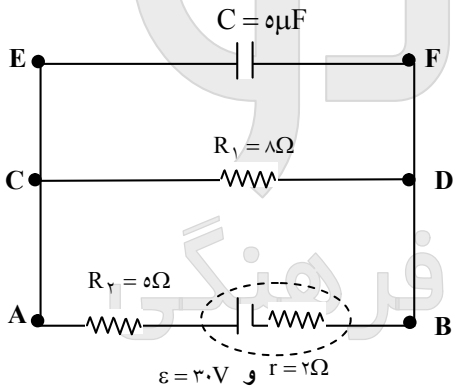
مثال ۸: در شکل روبه‌رو بار خازن چند میکروکولن است؟



پاسخ: در این شکل مقاومت‌های **R** و **r** با خازن متوالی هستند. پس می‌توانیم به کل از آن‌ها صرف‌نظر کنیم و فکر کنیم خازن را به اختلاف پتانسیل ۲۰ ولتی بسته‌ایم.

$$q = CV = ۷ \times ۲۰ = ۱۴۰\mu C$$

مثال ۹: در شکل روبه‌رو بار خازن چند میکروکولن است؟



پاسخ: در این شکل خازن با مقاومت ۸ اهمی موازی است. پس اختلاف پتانسیل دو سر آن‌هایکسان است.

چون جریانی از خازن نمی‌گذرد، جریان فقط در مدار **ACDB** گردش می‌کند و وارد شاخه‌ی **EF** نمی‌شود.

$$I = \frac{\sum \varepsilon}{\sum R} = \frac{۳۰}{۸ + ۵ + ۲} = ۲A$$

$$V_{CD} = IR_{۱} = ۲ \times ۸ = ۱۶V$$

$$V_{EF} = V_{CD} \Rightarrow V_{EF} = ۱۶V$$

$$q = CV_{EF} = ۵ \times ۱۶ = ۸۰\mu C$$

www.maktabestan.ir