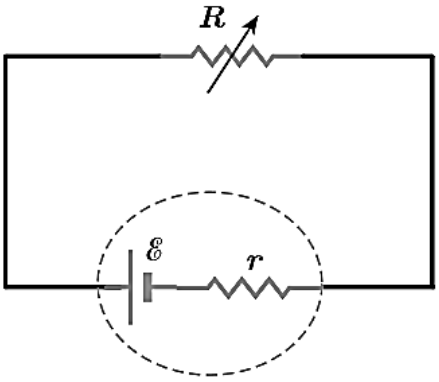
مثال ۳۴ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۲۰): در شکل زیر: **الف)** نیروی محرکهٔ الکتریکی و مقاومت داخلی منبع را که توان خروجی آن به ازای $I_1=5A$ برابر $9/5W$ و به ازای $I_2=7A$ برابر $12/6W$ است محاسبه کنید.

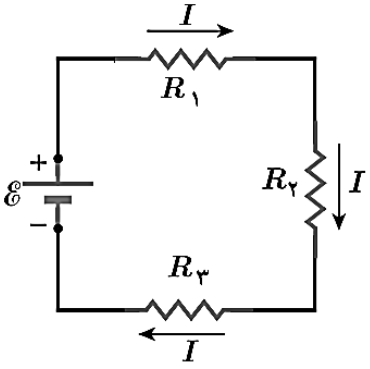


ب) نمودار اختلاف پتانسیل دو سر باتری برحسب جریان گذرنده از آن را رسم کنید.

☑ بخش۶: ترکیب مقاومت‌ها

مدارهایی که در این فصل با آن‌ها سروکار داریم سه نوع هستند: ۱- مقاومت‌های متوالی ۲- مقاومت‌های موازی ۳- مقاومت‌های ترکیبی

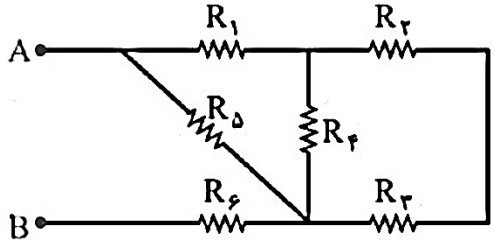
* مقاومت‌های متوالی (سِری)



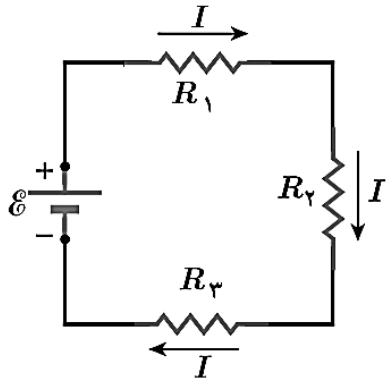
به مقاومت‌هایی در مدار، که یکی پس از دیگری بسته شده باشند به طوری که هیچ انشعابی بین آن‌ها وجود نداشته باشد، مقاومت‌های **متوالی** یا **سِری** گفته می‌شود.

روش تشخیص: اگر یک سر دو مقاومت با سیمی که دارای انشعاب نیست به هم وصل باشد، دو مقاومت متوالی هستند.

تمرین: در شکل مقابل، مقاومت‌های متوالی را پیدا کنید.

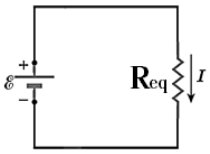


❋ ویژگی‌های مدار متوالی:



❖ **مقاومت معادل متوالی:** می‌توان به جای تمام مقاومت‌های متوالی، یک مقاومت معادل ($\mathbf{R_{eq}}$) را در مدار قرار داد که از جمع تمام مقاومت‌های متوالی به دست می‌آید.

(حفظ کنید!)
$$R_{eq} = R_۱ + R_۲ + R_۳ + \cdots + R_n$$



نکته: مقاومت معادلِ مقاومت‌های متوالی، از تک‌تک مقاومت‌ها بزرگتر است.

❖ **جریان در مدار متوالی:** جریان در تمام مقاومت‌های متوالی‌شده با هم، برابر است.

(حفظ کنید!)
$$I_۱ = I_۲ = I_۳ = \cdots$$

❖ **اختلاف پتانسیل در مدار متوالی:** اختلاف پتانسیل دو سر مجموعهٔ مقاومت‌های متوالی، برابر است با مجموع اختلاف پتانسیل‌های تک‌تک مقاومت‌های متوالی.

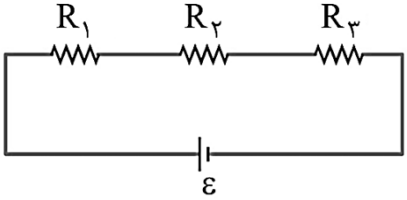
$$V = V_۱ + V_۲ + V_۳ + \cdots$$
(حفظ کنید!)

$$V_۱ = IR_۱ \quad , \quad V_۲ = IR_۲ \quad , \quad \ldots$$

❖ **توان‌مصرفی در مدار متوالی:** توان‌مصرفی کل مدار متوالی، برابر است با مجموع توان‌مصرفی تک‌تک مقاومت‌های متوالی مدار، و یا توان مصرفی مقاومت معادل مدار. (به‌علت یکسان بودن I در مدار متوالی، بهتر است توان مقاومت‌ها را از رابطهٔ $P = RI^۲$ به‌دست آورید).

$$P_T = R_{eq}I^۲ = R_۱ I^۲ + R_۲ I^۲ + R_۳ I^۲ + \cdots$$ (حفظ کنید!)

نکاتی از مدار متوالی:



➧ رابطهٔ $V=V_۱+V_۲+\ldots$ نشان می‌دهد که ولتاژ کل مدار متوالی، بین مقاومت‌ها تقسیم می‌شود.

اما این **تقسیم ولتاژ میان مقاومت‌ها به چه نسبتی صورت می‌گیرد؟**

با توجه به یکسان بودن جریان($I=V/R$) در مقاومت‌های متوالی، اگر مقاومت‌ها مشابه هم باشند، اختلاف پتانسیل مجموعهٔ آن‌ها، به‌طور مساوی میان مقاومت‌ها تقسیم می‌شود؛ و اگر مقاومت‌ها مشابه نباشند هر مقاومتی که بیشتر باشد اختلاف پتانسیل بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد.

● پس R و V در مدار متوالی، **رابطهٔ مستقیم دارند** و می‌توان نوشت:

$$\frac{V_۱}{V_{کل}} = \frac{R_۱}{R_{eq}} \qquad \frac{V_۲}{V_۱} = \frac{R_۲}{R_۱}$$

➧ می‌دانیم که توان مصرفی مقاومت از سه رابطه قابل محاسبه است: $P=VI=V^۲/R=RI^۲$. اما در مدار متوالی، چون مقدار I در همهٔ مقاومت‌ها یکسان است، **برای مقایسهٔ توان مقاومت‌ها بهتر است از رابطهٔ $P=RI^۲$ استفاده کنیم**. بدین صورت، $I^۲$ نیازی به محاسبه ندارد و حذف می‌شود. لذا خواهیم داشت:

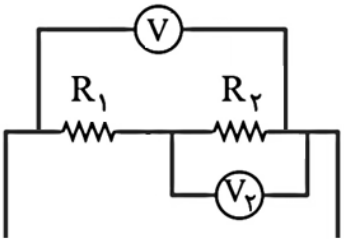
● می‌بینید که R و P نیز در مدار متوالی، **رابطهٔ مستقیم دارند.**

$$\frac{P_۱}{P_T} = \frac{R_۱}{R_{eq}} \qquad \frac{P_۲}{P_۱} = \frac{R_۲}{R_۱}$$

● **تذکر:** توجه کنید که الزامی به حفظ‌کردن روابط بالا نیست، زیرا فقط با دانستن این‌نکته که: «**جریان(I) در تمام نقاط مدار متوالی برابر است**»، این روابط تولید می‌شوند. اما برای حفظ کردن این روابط کافیست بدانیم که R با V و P رابطهٔ مستقیم دارد.

$$\frac{R_۲}{R_۱} = \frac{V_۲}{V_۱} = \frac{P_۲}{P_۱}$$

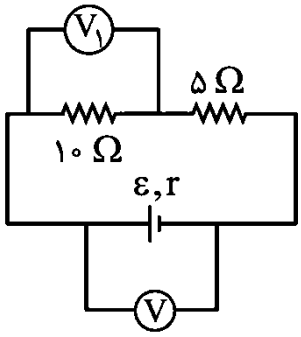
** جهت مشاوره تحصیلی رایگان و پرسیدن سوالات خود با مشاوران سایت ارتباط بگیرید **



نکتهٔ بسیار مهم: در مدار شکل مقابل، ولت‌سنج $V_۲$، فقط اختلاف پتانسیل دو سرمقاومت $R_۲$ را اندازه می‌گیرد، پس $V_۲ = IR_۲$. اما ولت‌سنج V اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت‌های $R_۱$ و $R_۲$ را اندازه‌گیری می‌کند، پس: $\mathbf{V = IR_{eq} = \boxed{I(R_۱ + R_۲)} = IR_۱ + IR_۲ = \boxed{V_۱ + V_۲}}$

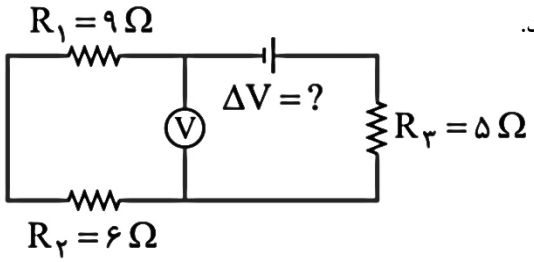
کتاب درسی ○ تمرین ۲-۵ ○ مثال ۲-۱۱ ← در این مثال، آمپرسنج دارای مقاومت است و به عنوان یک مقاومت نیز در نظر گرفته می‌شود.

مثال ۳۵ (کتاب ماجرای ۲۰ فیزیک): در شکل زیر اگر $\mathbf{V_۱ = ۲۰V}$ باشد، ولت‌سنج V چند ولت را نشان می‌دهد؟



راهنمایی: در این مسئله، نمی‌توان از روش حل ۳ مرحله‌ای مدار استفاده کرد، چون جریان (I) قابل محاسبه نیست. پس ابتدا باید از ترفند دیگری استفاده کنیم که جریان به دست آید. در چنین مواردی، چون با مدار **متوالی** طرف هستیم، اولین چیزی که به ذهن ما می‌رسد یکسان بودن جریان (I) در تمام نقاط است. اگر در نقطه‌ای V و R مقاومت مشخص باشند، جریان آن مقاومت و تمام نقاط مدار هم مشخص می‌شود. همچنین می‌دانیم که در این مدار، ولت‌سنج V، هم اختلاف پتانسیل دو سر باتری را اندازه می‌گیرد و هم اختلاف پتانسیل دو سر دو مقاومت خارجی را و چون مشخصات باتری کاملاً مجهول است، باید به طرف دیگر مدار (مقاومت‌های خارجی) برویم تا به کمک آن مسئلهٔ خود را حل کنیم. (البته این مسائل را می‌توان از چند روش حل کرد)

مثال ۳۶ (کتاب ماجرای ۲۰ فیزیک): در مدار روبه‌رو، ولت‌سنج ۱۵V را نشان می‌دهد.



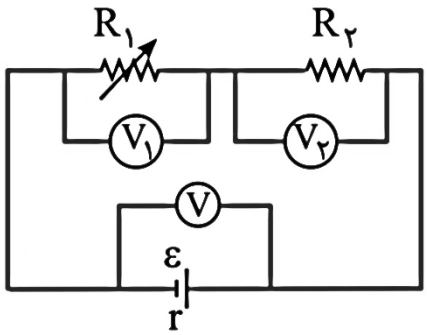
اختلاف پتانسیل دو سر مولد چند ولت است؟

راهنمایی: در این مسئله نیز نمی‌توان از روش حل ۳ مرحله‌ای مدار استفاده کرد، چون جریان (I) قابل محاسبه نیست. پس چون با مدار **متوالی** طرف هستیم، اولین چیزی که به ذهن ما می‌رسد یکسان بودن جریان (I) در تمام نقاط است. می‌بینیم که ولت‌سنج V، اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت‌های $R_۱$ و $R_۲$ را اندازه‌گیری می‌کند، پس: $V = I(R_۱ + R_۲)$ و بدین صورت I محاسبه می‌شود و می‌توانیم بقیهٔ مجهولات را به‌دست آوریم.

** جهت مشاوره تحصیلی رایگان و پرسیدن سوالات خود با مشاوران سایت ارتباط بگیرید **

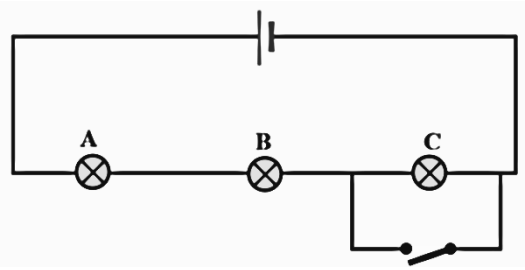
نکتهٔ بسیار مهم: همیشه در هر نوع مداری، با کاهش حتی یکی از مقاومت‌ها، مقاومت معادل مدار کاهش می‌یابد (و بالعکس).

مثال ۳۷: در شکل مقابل، مقاومت متغیر R_1 را به تدریج کاهش می‌دهیم. مقادیری که V، V_1 و V_2 نشان می‌دهند چگونه تغییر می‌کنند؟ (افزایش یا کاهش)



راهنمایی: می‌دانیم که اختلاف پتانسیل دو سر مجموعهٔ مقاومت‌های متوالی، برابر است با مجموع اختلاف پتانسیل‌های تک‌تک مقاومت‌های متوالی. و از طرفی می‌دانیم که اختلاف پتانسیل دو سر باتری در مدار بالا، برابر است با اختلاف پتانسیل دو سر مجموعهٔ مقاومت‌ها. پس: $V=V_1+V_2$

مثال ۳۸ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۲۰): لامپ‌های A، B و C در شکل مقابل، همگی یکسان‌اند. با بستن کلید، کدام‌یک از تغییرات زیر در اختلاف پتانسیل رخ می‌دهد؟ (ممکن است بیش از یک پاسخ درست باشد)



الف) اختلاف پتانسیل دو سر A و B تغییر نمی‌کند.

ب) اختلاف پتانسیل دو سر C به اندازهٔ ۵۰٪ کاهش می‌یابد.

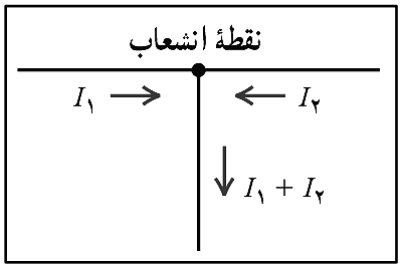
پ) هر یک از اختلاف پتانسیل‌های دو سر A و B به اندازهٔ ۵۰٪ افزایش می‌یابد.

ت) اختلاف پتانسیل دو سر C به صفر کاهش می‌یابد.

** جهت مشاوره تحصیلی رایگان و پرسیدن سوالات خود با مشاوران سایت ارتباط بگیرید **

❋ قاعدهٔ انشعاب

یک نقطهٔ انشعاب (گره) در مدار، نقطه‌ای است که در آن سه یا چند سیم به یکدیگر متصل شده‌اند. برای جریان‌هایی که از این نقطه می‌گذرند قاعده‌ای به نام قاعدهٔ انشعاب وجود دارد.



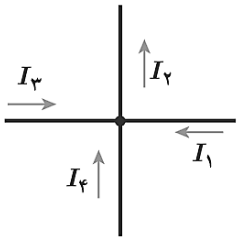
قاعدهٔ انشعاب: **مجموع جریان‌هایی که به یک نقطهٔ انشعاب وارد می‌شوند، برابر با مجموع جریان‌هایی است که از آن نقطه خارج می‌شوند.**

قاعدهٔ انشعاب در واقع مبتنی بر **پایستگی بار الکتریکی** است. (بارهای ورودی در واحد زمان = بارهای خروجی در واحد زمان)

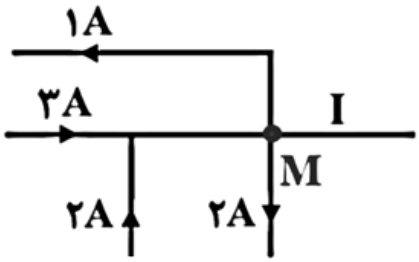
این قاعده، مقدمه‌ای برای ورود به مقاومت‌های موازی است. زیرا بر خلاف مدار مقاومت‌های متوالی که جریان از یک مسیر عبور می‌کرد، در مقاومت‌های موازی، جریان بین دو یا چند مسیر مختلف تقسیم می‌شود.

کتاب درسی ○ مثال ۲-۱۲

پرسش ۲- ۳ کتاب درسی برای نقطهٔ انشعاب نشان داده شده در شکل، رابطهٔ بین جریان‌ها را بنویسید.

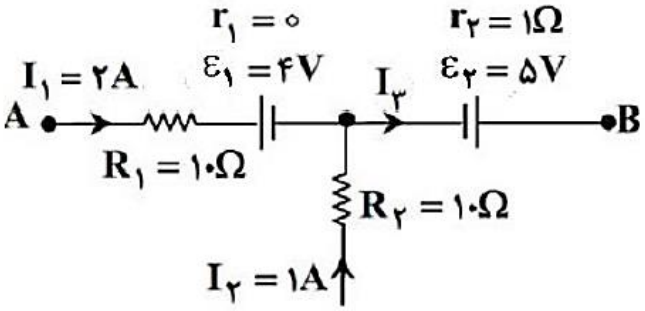


مثال ۳۹ (نهایی تجربی ـ خرداد ۹۵): شکل مقابل، بخشی از یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد.



اندازه و جهت جریان **I** را تعیین کنید.

مثال ۴۰ (نهایی ریاضی ـ دی ۹۸): شکل روبه‌رو قسمتی از یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد.



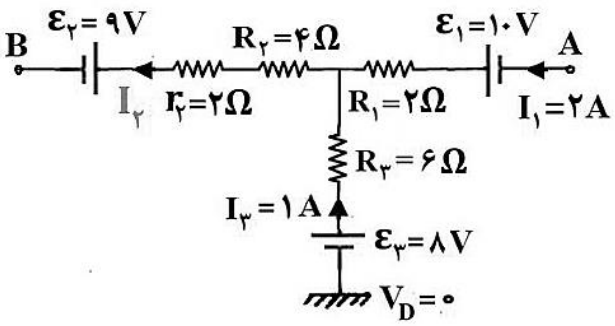
الف) جریان I_3 چند آمپر است؟

ب) اختلاف پتانسیل $V_B - V_A$ چند ولت است؟

پ) توان ورودی به مولد ε_1 چند وات است؟

** جهت مشاوره تحصیلی رایگان و پرسیدن سوالات خود با مشاوران سایت ارتباط بگیرید **

مثال ۴۱ (نهایی تجربی ـ خرداد ۸۷): شکل روبه‌رو، قسمتی از یک مدار الکتریکی را نشان می‌دهد. حساب کنید:



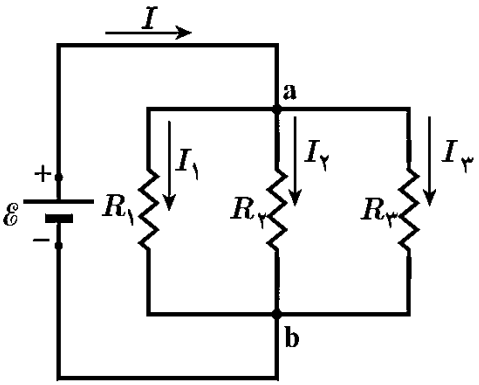
الف) پتانسیل الکتریکی نقطهٔ **B**

ب) انرژی الکتریکی مصرف شده در مقاومت **R۳** در مدت **۱۰۰s**

پ) توان تولیدی باتری ε_1

* مقاومت‌های موازی

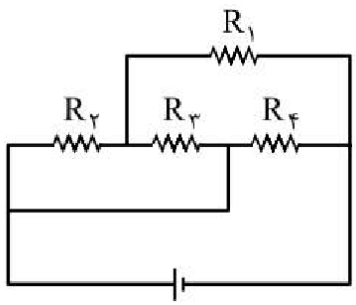
روش تشخیص: اگر سیم‌های دو سرِ دو یا چند مقاومت به نقاط یکسان متصل باشد، آن مقاومت‌ها موازی هستند.



در مدار مقابل، بین نقاط انشعاب a و b سه مسیر وجود دارد که به هر یک از آن‌ها **شاخه** گفته می‌شود. هر شاخه می‌تواند شامل هر تعداد از اجزاء مختلف مدار و سیم‌های بین آن‌ها باشد و همچنین از هر شاخه یک جریان مجزا عبور می‌کند. در مدار مقابل، در هر شاخه فقط یک مقاومت قرار دارد که سیم‌های دو سر این مقاومت‌ها از هر دو طرف به نقاط یکسان a و b می‌رسد، لذا این سه مقاومت با هم موازی هستند.

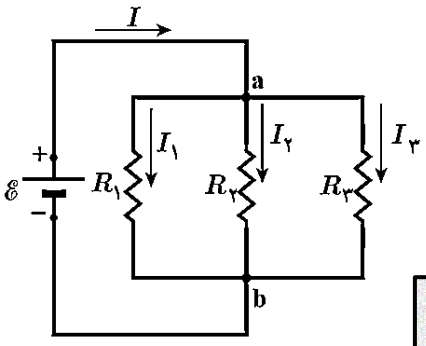
اگر بخواهیم تعریف دقیقتری از مقاومت‌های موازی ارائه دهیم، باید بگوییم که باید دست کم دو انشعاب نیز از دو طرف آن‌ها گرفته شده باشد و اگر تعداد انشعاب‌ها بیشتر هم شود، ایرادی ندارد.

تمرین: در شکل مقابل، مقاومت‌های موازی را پیدا کنید.



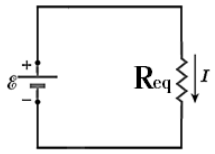
** جهت مشاوره تحصیلی رایگان و پرسیدن سوالات خود با مشاوران سایت ارتباط بگیرید **

❋ ویژگی‌های مدار موازی:



❖ **مقاومت معادل موازی:** می‌توان به جای تمام مقاومت‌های موازی، یک مقاومت معادل ($\mathbf{R_{eq}}$) را در مدار قرار داد که از رابطهٔ زیر به دست می‌آید.

$$\frac{۱}{R_{eq}} = \frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} + \frac{۱}{R_۳} + \cdots$$



○ نکته: مقاومت معادلِ مقاومت‌های موازی، از تک‌تک مقاومت‌ها کوچکتر است.

❖ **اختلاف پتانسیل در مدار موازی:** با توجه به این‌که دو سر شاخه‌های موازی به نقاط مشابه متصل است، اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت‌های موازی با هم برابر می‌باشد.

$$V_۱ = V_۲ = V_۳ = \cdots \qquad V_۱ = I_۱R_۱ \ , \ V_۲ = I_۲R_۲ \ , \ \ldots$$

❖ **جریان در مدار موازی:** وقتی جریان اصلی به ابتدای شاخه‌های موازی می‌رسد، بین شاخه‌ها تقسیم می‌شود، لذا مجموع اندازهٔ جریان‌ها در شاخه‌های موازی برابر است با اندازهٔ جریان اصلی.

$$I = I_۱ + I_۲ + I_۳ + \cdots$$

❖ **توان مصرفی در مدار موازی:** توان مصرفی مقاومت معادل در مقاومت‌های موازی، همانند مدار متوالی، برابر است با مجموع توان مصرفی تک‌تک مقاومت‌ها و یا توان مصرفی مقاومت معادل مدار موازی.

← به علت یکسان بودن V در مدار موازی، بهتر است توان مقاومت‌ها را از رابطهٔ $P = V^۲/R$ به دست آورید:

$$P_T = V^۲/R_{eq} = V^۲/R_۱ + V^۲/R_۲ + V^۲/R_۳ + \cdots$$

نکاتی از مدار موازی:

← رابطهٔ مقابل را برای محاسبهٔ مقاومت معادل دو مقاومت موازی حفظ نمایید:

$$\frac{۱}{R_{eq}} = \frac{۱}{R_۱} + \frac{۱}{R_۲} \Rightarrow R_{eq} = \frac{R_۱R_۲}{R_۱ + R_۲}$$

یعنی: وقتی دو مقاومت موازی داشته باشیم، مقاومت معادل آن‌ها می‌شود: **ضرب دو مقاومت**، تقسیم بر **جمع دو مقاومت**.

← مقاومت معادلِ n مقاومت **مشابه** موازی می‌شود: $R_{eq} = \frac{R}{n}$

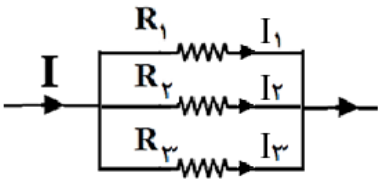
← **نکتهٔ بسیار مهم:** با افزایش **تعداد** شاخه‌های مقاومت‌های موازی، مقاومت کل(معادل) مدار **کمتر** می‌شود (بر خلاف مدار متوالی).

اما اگر **مقدار مقاومت** هرکدام از مقاومت‌های موازی (حتی یکی از آن‌ها) بیشتر شود، مقاومت کل **افزایش** می‌یابد.

پس اگر تعداد مقاومت در یک شاخه اضافه شود، مقاومت معادل مدار هم زیاد می‌شود، چون شاخه اضافه نشده اما مقاومت شاخه بیشتر شده است.

یادآوری: در مقاومت‌های **متوالی**، هم افزایش تعداد و هم افزایش مقدار مقاومت‌ها، باعث افزایش مقاومت کل (معادل) می‌شود.

** جهت مشاوره تحصیلی رایگان و پرسیدن سوالات خود با مشاوران سایت ارتباط بگیرید **



وقتی جریان اصلی به ابتدای شاخه‌های موازی می‌رسد، بین شاخه‌ها تقسیم می‌شود. اگر مقاومت همهٔ شاخه‌ها مساوی هم باشد، جریان اصلی نیز به‌طور مساوی میان شاخه‌ها تقسیم می‌شود و اگر مقاومت شاخه‌ها متفاوت باشد، جریان به نسبت مقاومت هر شاخه در شاخه‌ها تقسیم می‌شود. یعنی هرچه مقاومت یک شاخه بیشتر باشد، جریان آن به همان نسبت کمتر می‌شود (و بالعکس).

پس R و I در مقاومت‌های موازی، **رابطهٔ عکس دارند**. با توجه به یکسان بودن اختلاف پتانسیل دو سر شاخه‌های موازی نیز می‌توان این نتیجه را اثبات کرد و برای مقایسهٔ جریان شاخه‌ها نوشت:

$$V_۱ = V_۲ \Rightarrow R_۱I_۱ = R_۲I_۲ \Rightarrow \boxed{\frac{I_۲}{I_۱} = \frac{R_۱}{R_۲}}$$

می‌دانیم که توان مصرفی مقاومت از سه رابطه قابل محاسبه است: $P=VI=RI^۲=V^۲/R$. اما در مدار موازی، چون مقدار V در همهٔ مقاومت‌ها یکسان است، **برای مقایسهٔ توان مقاومت‌ها بهتر است از رابطهٔ $P = V^۲/R$ استفاده کنیم**. بدین صورت، $V^۲$ نیازی به محاسبه ندارد و حذف می‌شود. لذا خواهیم داشت:

- می‌بینید که R و P نیز در مدار موازی، **رابطهٔ عکس دارند**.

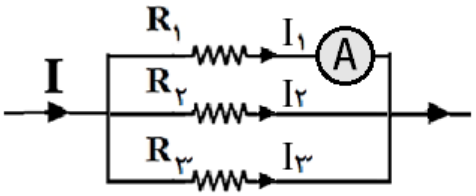
$$\frac{P_۲}{P_۱} = \frac{\frac{V_۲^۲}{R_۲}}{\frac{V_۱^۲}{R_۱}} \xrightarrow{V_۱=V_۲} \boxed{\frac{P_۲}{P_۱} = \frac{R_۱}{R_۲}} \xrightarrow{\frac{R_۱}{R_۲} = \frac{I_۲}{I_۱}} \boxed{\frac{P_۲}{P_۱} = \frac{I_۲}{I_۱}}$$

- **تذکر:** توجه کنید که الزامی به حفظ کردن روابط بالا نیست، زیرا فقط با دانستن این نکته که: « **اختلاف پتانسیل(V) دو سر مقاومت‌های موازی با هم برابر است**»، این روابط تولید می‌شوند.

اما برای حفظ کردن این روابط کافیست بدانیم که R با I و P رابطهٔ عکس دارد: $\frac{R_۱}{R_۲} = \frac{I_۲}{I_۱} = \frac{P_۲}{P_۱}$

تکنیک مهم در حل مسائل مدار موازی:

در روش تحلیل مدار تک‌حلقه دانستیم که، ابتدا باید جهت جریان مدار را تشخیص دهیم و سپس اندازهٔ آن را به‌دست آوریم. در مدارهای موازی نیز، می‌توانیم از رابطهٔ $I = \frac{\mathscr{E}_{\text{ضد محرک}} - \mathscr{E}_{\text{محرک}}}{R_{eq} + r_{eq}}$ برای محاسبهٔ I کلی مدار استفاده کنیم. با این تفاوت که در اینجا Req ، از رابطهٔ مخصوص مدارهای موازی به‌دست می‌آید.



اما در برخی تیپ مسائل، برای محاسبهٔ جریان کل، باید روش دیگری به‌کار برد. چنانکه در شکل مقابل مشاهده می‌کنید، جریان یک شاخه از مدار (I۱) را با آمپرسنج اندازه‌گیری و مشخص کرده‌اند. در چنین مسائلی باید با استفاده از روابط مدار موازی، جریان سایر شاخه‌های موازی را نیز بیابیم و در آخر، همه را با هم جمع کنیم تا اندازهٔ جریان کل را به دست آوریم.

برای این منظور، کافی است **ولتاژ(اختلاف پتانسیل) همهٔ شاخه‌ها را برابر قرار دهیم** و رابطهٔ زیر را به‌دست آوریم:

$$V۱=V۲=V۳ \Rightarrow \boxed{I۱R۱= I۲R۲=I۳R۳}$$

حال با مشخص بودن $I_۱$ و معلوم بودن مقدار مقاومت‌ها، جریان سایر شاخه‌ها ($I_۲$ و $I_۳$) نیز به‌راحتی به دست می‌آید. در نتیجه، جریان کلی مدار می‌شود: $I= I۱+ I۲+ I۳$

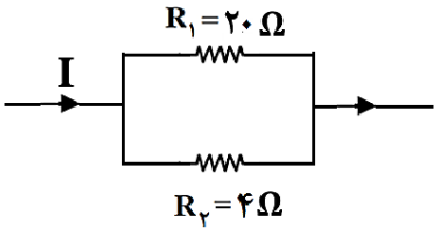
** جهت مشاوره تحصیلی رایگان و پرسیدن سوالات خود با مشاوران سایت ارتباط بگیرید **

کتاب درسی ○ **مثال‌های ۲-۱۳ تا ۲-۱۶** ← مثال‌های ۲-۱۴و۲-۱۵ از مثال‌های مهم امتحانی، و مثال ۲-۱۶ آشنایی با کلید الکترونیک(مهم).

مثال ۴۲ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۲۸): سه مقاومت مشابه ۱۲ اُهمی را یکبار به طور متوالی و بار دیگر به طور موازی به یکدیگر می‌بندیم و به اختلاف پتانسیل ۱۲ ولت وصل می‌کنیم. در هر بار، چه جریانی از هر مقاومت می‌گذرد؟

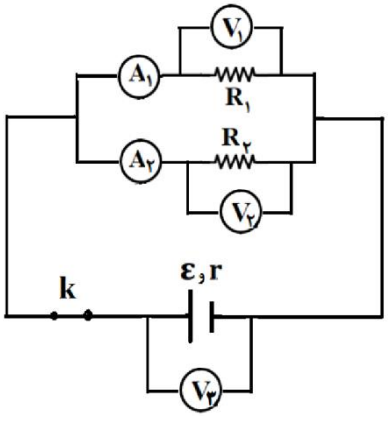
مثال ۴۳ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۲۵): دو لامپ با مقاومت‌های مساوی R را یکبار به طور متوالی و بار دیگر به طور موازی به یکدیگر می‌بندیم و آن‌ها را هر بار به ولتاژ V وصل می‌کنیم. نسبت توان مصرف شده در حالت موازی به توان مصرف شده در حالت متوالی چقدر است؟

مثال ۴۴ (نهایی تجربی ـ دی ۸۹): در شکل مقابل، قسمتی از یک مدار را مشاهده می‌کنید.

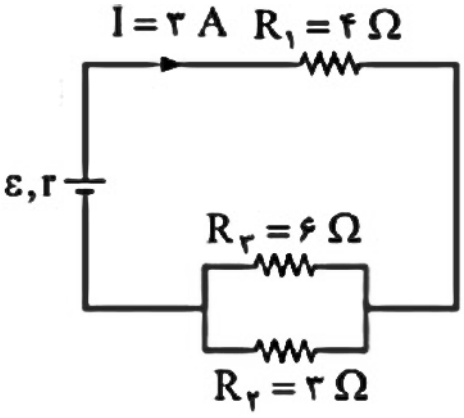


اگر توان مصرفی در مقاومت R_1 برابر $5W$ باشد، شدت جریان کل مدار(I) را به‌دست آورید.

مثال ۴۵ (نهایی تجربی ـ دی ۸۷): در مدار شکل مقابل، $R_2 > R_1$ است و آمپرسنج‌ها و ولت‌سنج‌ها مشابه‌اند. با توضیح کامل، تعیین کنید کدام آمپرسنج و کدام ولت‌سنج به ترتیب جریان و اختلاف پتانسیل بیشتری را نشان می‌دهند؟



* مقاومت‌های ترکیبی



در مدارهای ترکیبی، مقاومت‌ها به صورت ترکیبی از مقاومت‌های متوالی و موازی به هم بسته شده‌اند. مثلاً در مدار روبه‌رو، مقاومت‌های R۲ و R۳ موازی هستند و مقاومت معادل آن‌ها با مقاومت R۱ متوالی است. در این گونه مدارها، هر قسمت از مدار را مطابق قواعد همان قسمت (متوالی یا موازی) تحلیل می‌کنیم.

← برای به دست آوردن مقاومت معادل کل مدار روبه‌رو، ابتدا مقاومت معادل R۲ و R۳ را با استفاده از قاعدهٔ مقاومت‌های موازی به دست می‌آوریم و سپس بر اساس قاعدهٔ مقاومت‌های متوالی، آن را با R۱ جمع می‌کنیم.

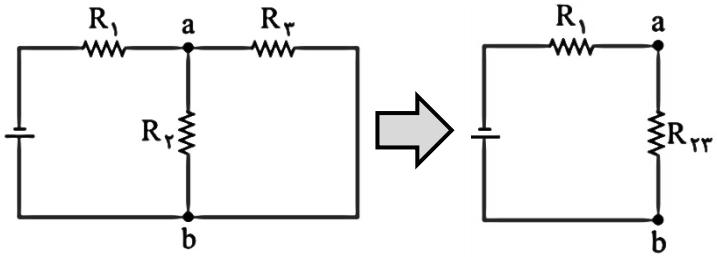
$$R_{eq} = R_{۲۳} + R_۱ = [(۶ \times ۳) / (۶ + ۳)] + ۴ = ۶\ \Omega$$

* ساده‌سازی مدارهای پیچیده

برای ساده‌تر کردن یک مدار یا بخش‌هایی از یک مدار می‌توان از روش‌های زیر استفاده کرد:

۱– ابتدا تمام مقاومت‌هایی که با هم متوالی یا موازی هستند را مشخص می‌کنیم و سپس مقاومت معادلشان را به جای آن‌ها قرار می‌دهیم. این کار را می‌توان تا جایی ادامه داد که یک مدار تک حلقه باقی بماند.

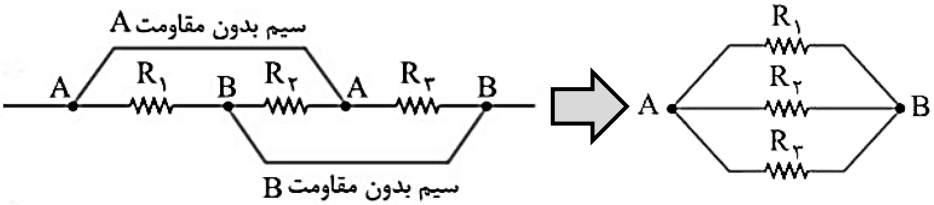
مثلاً: در مدار مقابل، مقاومت‌های R۲ و R۳ موازی هستند.



لذا می‌توان به جای آن‌ها مقاومت معادلشان (R۲۳) را بین دو گره مشترکشان (a و b) قرار داد. در این صورت، مدار به یک مدار تک حلقه و متوالی تبدیل خواهد شد.

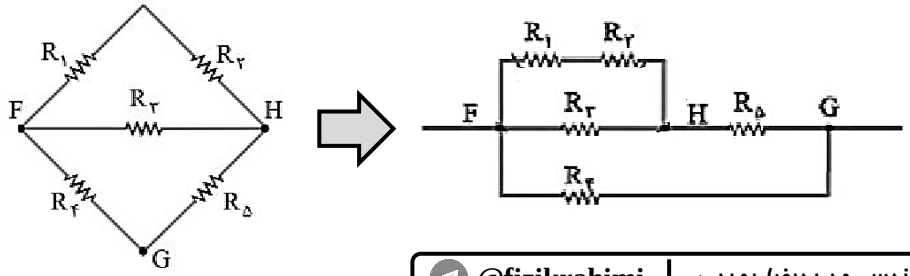
۲– اگر در مدار، سیم‌های بدون مقاومت (اتصال کوتاه) وجود داشت، چون پتانسیل در تمام طول این سیم‌ها یکسان است، دو سر آن را با یک حرف یکسان نام‌گذاری می‌کنیم وپس از نام‌گذاری سایر گره‌ها، از ابتدا مقاومت‌ها را بین گره‌های ابتدایی و انتهاییِ خود قرار می‌دهیم و مدار را بازسازی می‌کنیم.

مثلاً: در مدار مقابل، پس از نام‌گذاریِ گره‌های مدار، می‌بینیم که همهٔ مقاومت‌ها بین دو گره A و B قرار دارند.



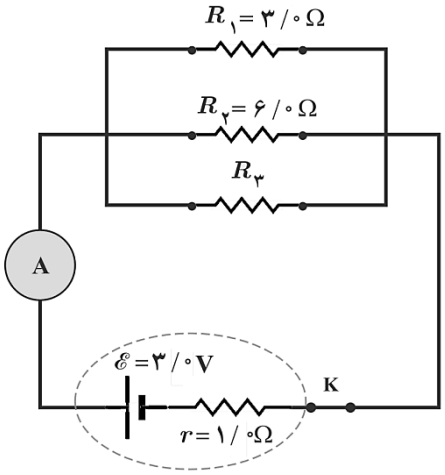
۳– برای به‌دست آوردن مقاومت معادل بین دو نقطه از مدار، یکی از نقاط را به عنوان ورودی و دیگری را به عنوان خروجی مدار فرض می‌کنیم. در این حالت، گره‌های دیگر مدار باید بین این دو گره قرار بگیرند. سپس با استفاده از نکات بالا، مدار را بین این دو نقطه چینش می‌کنیم.

مثلاً: در مدار مقابل، جهت به‌دست آوردن مقاومت معادل بین نقاط F و G مدار را به این شکل ساده کرده‌ایم.



** جهت مشاوره تحصیلی رایگان و پرسیدن سوالات خود با مشاوران سایت ارتباط بگیرید **

تمرین ۲–۶ کتاب درسی در شکل روبه‌رو سه مقاومت موازی به همراه یک آمپرسنج آرمانی به دو سر یک باتری وصل شده‌اند. اگر مقاومت معادل این ترکیب ۱/۶ Ω باشد:

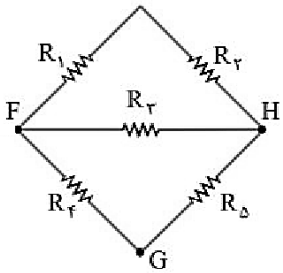


الف) مقاومت R۳ چقدر است؟

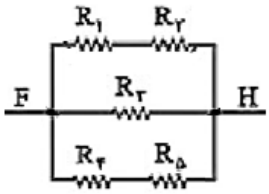
ب) جریانی که آمپرسنج نشان می‌دهد را به‌دست آورید.

پ) نشان دهید توان خروجی باتری با مجموع توان های مصرفی مقاومت‌های R۱ ، R۲ و R۳ برابر است.

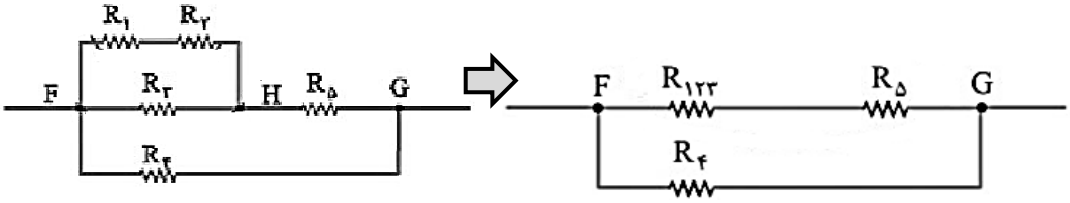
تمرین ۲–۷ کتاب درسی شکل روبه‌رو پنج مقاومت ۸ اهمی را نشان می‌دهد.



الف) مقاومت معادل بین نقطه‌های F و H چقدر است؟

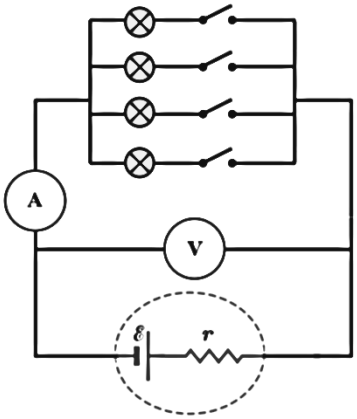


الف) مقاومت معادل بین نقطه‌های F و G چقدر است؟

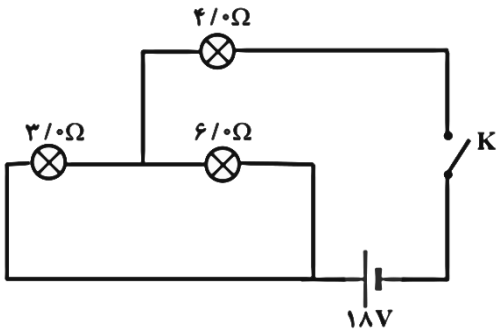


مثال ۴۶ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۲۹): دو مقاومت موازی ۶ اُهمی و ۱۲ اُهمی به‌طور متوالی به یک مقاومت ۲ اُهمی وصل شده است. اکنون، مجموعهٔ مقاومت‌ها را به دو سر یک باتری آرمانی ۳۶ ولتی می‌بندیم. توان مصرفی در مقاومت ۶ اُهمی را محاسبه کنید.

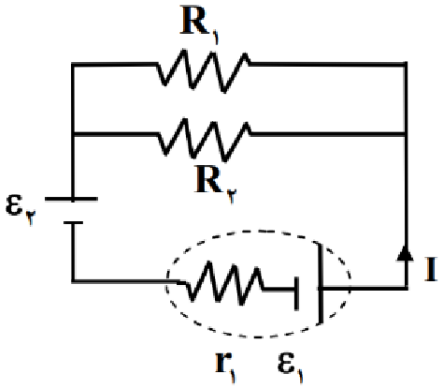
مثال ۴۷ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۲۴): در شکل زیر، تعدادی لامپِ مشابه به طور موازی به هم متصل شده‌اند و هر لامپ با کلیدی همراه است. بررسی کنید که با بستن کلیدها یکی پس از دیگری، عددهایی که آمپرسنج و ولت‌سنج نشان می‌دهند، چه تغییری می‌کند؟



مثال ۴۸ (مسائل پایانی فصل ـ مسئلهٔ ۳۰): در شکل زیر، وقتی کلید بسته شود چه جریانی از هر لامپ رشته‌ای می‌گذرد؟



** جهت مشاوره تحصیلی رایگان و پرسیدن سوالات خود با مشاوران سایت ارتباط بگیرید **



مثال ۴۹ (نهایی تجربی ـ شهریور ۹۸): در مدار شکل روبه‌رو، مقاومت معادل برابر ۲Ω و جریان در جهت نشان داده شده، ۱A است.

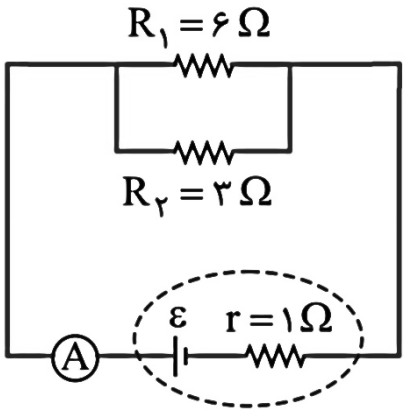
$\varepsilon_1 = 6v \quad r_1 = 1\Omega \quad \varepsilon_2 = ?$

$R_1 = ? \quad R_2 = 3\Omega$

الف) نیروی محرکهٔ مولد ε_2 چند ولت است؟

ب) مقاومت R۱ چند اهم است؟

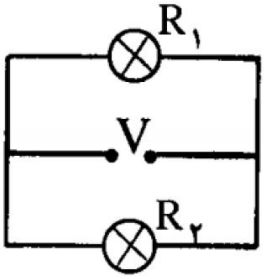
پ) توان خروجی مولد ε_1 چند وات است؟



مثال ۵۰ (نهایی ریاضی ـ خرداد ۸۴): در مدار شکل روبه‌رو، مقاومت درونی باتری ۱Ω و آمپرسنج ایده‌آل جریان ۳A را نشان می‌دهد. در این صورت:

الف) شدت جریان در هر مقاومت را حساب کنید.

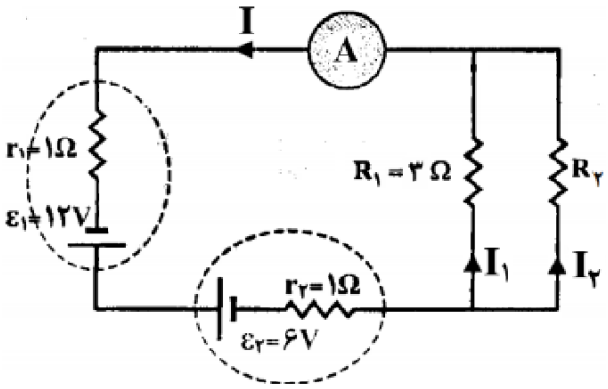
ب) نیروی محرکهٔ مولد چند ولت است؟



مثال ۵۱ (نهایی تجربی ـ دی ۹۵): مطابق شکل، دو لامپ در یک مدار به اختلاف پتانسیل V وصل هستند و $R_1 > R_2$ است. با دلیل مشخص کنید در یک زمان معین، کدام‌یک انرژی الکتریکی بیشتری مصرف می‌کند

** جهت مشاوره تحصیلی رایگان و پرسیدن سوالات خود با مشاوران سایت ارتباط بگیرید **

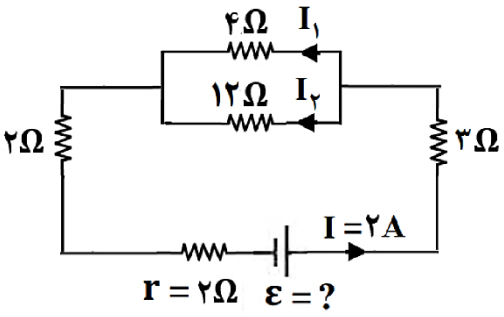
مثال ۵۲ (نهایی ریاضی ـ خرداد ۹۶): جریان آمپرسنج در شکل روبه‌رو، برابر ۲A است.



الف) مقاومت R۲ چند اهم است؟

ب) توان ورودی به باتری $\mathcal{E}_2$ چند وات است؟

مثال ۵۳ (نهایی تجربی ـ خرداد ۹۱): در مدار روبه‌رو:

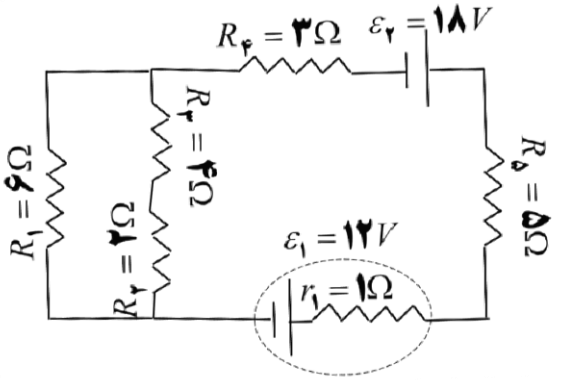


الف) نیروی محرکهٔ مولد چند ولت است؟

ب) شدت جریان I_2 چند آمپر است؟

پ) انرژی الکتریکی مصرفی در مقاومت ۳Ω در مدت ۱۰s چند ژول است؟

مثال ۵۴ (شبه نهایی ریاضی ـ اردیبهشت ۱۴۰۴): در مدارشکل روبرو:



الف-توان ورودی مولد (۱) چند وات است؟

ب-اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت R۲ چند ولت است؟

** جهت مشاوره تحصیلی رایگان و پرسیدن سوالات خود با مشاوران سایت ارتباط بگیرید **