

پاسخنامه تشریحی

۱ الف)

$$q = I \cdot t \Rightarrow q = 5 \times 4 \times 60 = 1200 C$$

ب)

$$q = \pm ne \Rightarrow 1200 = n \times 1.6 \times 10^{-19} \Rightarrow n = \frac{1200}{1.6 \times 10^{-19}} = 7.5 \times 10^{21} \text{ عدد الکترون}$$

۲ ابتدا جریان الکتریکی را محاسبه می‌کنیم:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{4}{5} = 0.8 A$$

اکنون می‌توان نوشت:

$$\begin{cases} q = ne \\ I = \frac{q}{t} \end{cases} \Rightarrow It = ne$$

$$0.8 \times 5 \times 60 = n \times 1.6 \times 10^{-19}$$

$$n = \frac{240}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.5 \times 10^{21} = 1.5 \times 10^{21} \text{ تعداد الکترون}$$

۳ کره بار مثبت دارد؛ بنابراین، پتانسیل الکتریکی بیشتری نسبت به زمین دارد. گفتیم جهت جریان از پتانسیل الکتریکی بیشتر به پتانسیل الکتریکی کمتر است؛ پس، جریان از طرف A به سمت B است.

$$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{0.5}{0.02} = 25 A$$

۴ می‌دانیم شیب نمودار I بر حسب V برابر $\frac{1}{R}$ است؛ پس، شیب را محاسبه می‌کنیم:

$$\frac{1}{R} = \text{شیب} = \frac{(I_1 + 5) - I_1}{(V_1 + 10) - V_1} = \frac{5}{10} = \frac{1}{2} \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{2} \Rightarrow R = 2 \Omega$$

۵ با توجه به مشابه بودن کره‌ها، پس از بسته شدن کلید، بار الکتریکی هر یک از دو کره برابر خواهد شد با:

$$q = \frac{q_1 + q_2}{2} = \frac{8 - 10}{2} = -1 \mu C$$

یعنی از کره با بار $-10 \mu C$ به مقدار $-9 \mu C$ $(-10 - (-1))$ بار به کره دیگر منتقل می‌شود:

$$|\Delta q| = 9 \mu C$$

$$|\bar{I}| = \frac{|\Delta q|}{\Delta t} = \frac{9 \times 10^{-6}}{0.001} = 9 \times 10^{-3} A$$

۶ گام اول: بار عبوری در لحظه‌های t_1 و t_2 را محاسبه می‌کنیم:

$$t_1 = 0 s \Rightarrow q_1 = 4(0)^2 + 1 = 1 C$$

$$t_2 = 2 s \Rightarrow q_2 = 4(2)^2 + 1 = 17 C$$

گام دوم: به کمک رابطه $\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ داریم:

$$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{17 C - 1 C}{2 s - 0 s} = \frac{16 C}{2 s} = 8 A$$

۷

$$I_1 = \frac{\Delta q}{\Delta t} \Rightarrow I = \frac{n_1 e}{t}$$

$$\Rightarrow I_1 = \frac{1.4 \times 10^{19} \times 1.6 \times 10^{-19} C}{1 s} \simeq 2.24 A$$

$$\frac{R_1}{R_r} = \frac{V_1}{V_r} \times \frac{I_r}{I_1} \Rightarrow \frac{R}{3R} = 1 \times \frac{I_r}{2.2A} \Rightarrow I_r \simeq 7.3 \times 10^{-1} A$$

$$I_r = \frac{n_r e}{t} \Rightarrow 7.3 \times 10^{-1} A = \frac{n_r \times 1.6 \times 10^{-19} C}{1s} \Rightarrow n_r \simeq 4.6 \times 10^{18}$$

$$\Delta q = I \cdot \Delta t \Rightarrow 60 = 5 \times \Delta t \Rightarrow \Delta t = 12h$$

هر Ah معادل C ۳۶۰۰ است بنابراین می توان نوشت:

$$q = 60 \times 3600 = 216000 C$$

۹ الف) بر اساس رابطه $\Delta q = I \cdot \Delta t$ ، Ah در واقع نشان دهنده مقدار باری است که باتری می تواند قبل از اتصال مجدد به شارژر، تحت ولتاژ ۱۲ ولت در مدار به گردش در بیاورد. به عبارت دیگر چنین باتری ای می تواند مقدار 75×3600 کولن بار را تحت ولتاژ ۱۲V در مدار به گردش درآورد و پس از آن لازم است دوباره شارژ شود.

ب) ظاهراً به کمک رابطه $q = It$ باید بتوان این زمان را محاسبه کرد.

$$q = It \Rightarrow 75 = 200 \cdot t \Rightarrow t = \frac{75}{200} = \frac{3}{8} = 0.375 h$$

$\frac{3}{8}$ ساعت یعنی $60 \times \frac{3}{8}$ دقیقه یعنی ۲۲/۵ دقیقه. ولی خوب است بدانید که باتری نمی تواند بطور مدام در مدت ۲۲/۵ دقیقه چنین جریانی را از خود بگذراند و قطعاً در صورت چنین کاری به شدت آسیب می بیند و در زمانی بسیار کمتر، کاملاً از کار می افتد.

۱۰ در مورد جریان الکتریکی متوسط داریم:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{250}{50} = 5A$$

جریان عبوری ۵A است.

۱۱ فقط در شکل (پ) لامپ روشن می شود. در حالت کلی، زمانی جریان الکتریکی از یک مقاومت عبور می کند که دو سر آن اختلاف پتانسیلی وجود داشته باشد. می دانیم که رساناهای به هم متصل هم پتانسیل اند؛ بنابراین در شکل های (الف) و (ب) لامپ به یک نقطه از مدار و در نتیجه به یک پتانسیل متصل است.

۱۲ الف) مستقیم و ثابت ب) مقاومت الکتریکی پ) نیروی محرکه ت) متوالی

۱۳ مقاومت الکتریکی ثابت می ماند و ولتاژ دو سر مقاومت دو برابر می شود چون مقاومت الکتریکی فقط به دما و ویژگی های ساخت مقاومت (یعنی جنس، طول و مساحت سطح مقطع) وابستگی دارد ولی طبق قانون اهم $V \propto I$ یعنی ولتاژ دو سر مقاومت با جریان عبوری از آن متناسب است.

۱۴ بلافاصله پس از بستن کلید لامپ روشن می شود و این موضوع ربطی به سرعت سوق ندارد (مانند شلنگی که پر از آب است و بلافاصله پس از باز کردن شیر آب، از سر دیگر آن آب خارج می شود). سرعت سوق نشان می دهد که الکترونی که با بستن کلید از پشت آن شروع به حرکت می کند چقدر طول می کشد تا به لامپ برسد که البته محاسبه آن بسیار ساده است.

$$\Delta x = vt \Rightarrow 2000 = 1 \Delta t \Rightarrow \Delta t = 2000 s \simeq 33 \text{ min}$$

که البته این موضوع ربطی به زمان روشن شدن لامپ ندارد.

۱۵ الف) بر اساس قانون اهم می دانیم $R = \frac{V}{I}$ است بنابراین در نمودار $I - V$ شیب خط یعنی $\frac{I}{V}$ نشان دهنده $\frac{1}{R}$ می باشد:

$$\frac{1}{R} = \frac{I}{V} = \text{شیب خط}$$

پس هر چه شیب خط بیشتر باشد مقاومت مربوط به آن کمتر است. یعنی:

$$\begin{cases} R_A < R_B \\ A_{\text{شیب}} > B_{\text{شیب}} \end{cases}$$

ب)

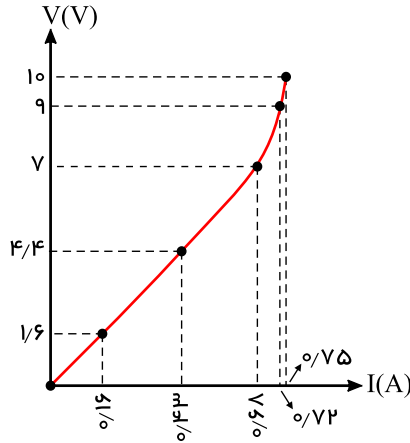
$$\frac{1}{R} = \frac{I}{V} = \text{شیب خط} \Rightarrow \frac{I}{V} = \tan 37^\circ \Rightarrow \frac{3}{V} = \frac{3}{4} \Rightarrow V = 4V$$

۱۶ باتری های قلمی آمپر ساعت پایینی دارند؛ یعنی مقدار بار الکتریکی که می توانند تحت ولتاژ ۱.۵V در مدار به گردش درآورند، معمولاً در حد میلی آمپر ساعت است. بنابراین اگرچه هشت باتری قلمی متوالی، ولتاژی معادل ۱۲V در اختیار ما قرار می دهند، ولی نمی توانند جریان مورد نیاز برای استارت اتومبیل (چیزی در حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ آمپر) را تأمین کنند.

۱۷ همان طور که می دانیم $R = \frac{V}{I}$ است. پس شیب نمودار $V - I$ نشان دهنده R می باشد. ولی در این حالت نمودار I بر حسب V رسم شده است؛ بنابراین شیب این نمودار برابر $\frac{I}{V}$ یعنی $\frac{1}{R}$ است. پس هر چه شیب خط کمتر باشد، اندازه مقاومت بیشتر است.

$$B \text{ شیب خط } A > \text{شیب خط } B \Rightarrow R_A > R_B$$

۱۸ ابتدا نمودار مورد نظر را رسم می کنیم:



در محدوده خطی یعنی در محدوده ای که نسبت $\frac{V}{I}$ برابر عدد ثابتی باشد، رفتار این مقاومت از قانون اهم پیروی می کند؛ بنابراین به طور تقریبی از صفر تا حدود $7V$ این مقاومت از قانون اهم پیروی می کند.

۱۹ در شکل (الف) پس از اتصال دریل معیوب به پریز برق، جریان الکتریکی از طریق بدنه دریل به دست شخص منتقل شده و مسیر خود را با عبور از بدن شخص و زمین می بندد و به این ترتیب شخص دچار برق گرفتگی می شود.

در شکل (ب) بدنه دریل با یک سیم جداگانه به زمین متصل شده است. در این وضعیت جریان الکتریکی از مسیر به وجود آمده با سیم سوم که اصطلاحاً سیم زمین نامیده می شود، بسته می شود و شخص استفاده کننده آسیبی نمی بیند.

۲۰ الف) خلاف جهت ب) بار الکتریکی پ) بیش ترین ت) کم تر

۲۱ در عدم حضور میدان الکتریکی شارش بار خالص از هر مقطع رسانا صفر است و با اعمال میدان الکتریکی شارش بار خالص از هر مقطع رسانا صفر نیست.

۲۲ الف) بار الکتریکی

۲۳ الف) از t_1 تا t_2 جریان متوسط برابر است با:

$$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{8C - 4C}{2s - 1s} = \frac{4C}{1s} = 4A$$

ب)

از $t_3 = 3s$ تا $t_4 = 5s$ مقدار بار کل عبوری از سطح مقطع سیم ثابت مانده است؛ پس، جریان عبوری از سیم صفر است:

$$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{10C - 10C}{5s - 3s} = \frac{0}{2s} = 0$$

پ) از $t_5 = 6s$ تا $t_6 = 8s$ مقدار بار کل عبوری از سطح مقطع رسانا کاهش یافته است؛ پس، جهت جریان الکتریکی تغییر کرده است:

$$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{6C - 2C}{8s - 6s} = \frac{4C}{2s} = 2A$$

۲۴ الف) بار الکتریکی

ب) خلاف جهت

۲۵ الف) نادرست

۲۶ برای به دست آوردن مقاومت در هر ولتاژ باید از رابطه $R = \frac{V}{I}$ استفاده کنیم:

$$\left. \begin{aligned} R = \frac{V}{I} \Rightarrow R_f &= \frac{4V}{4mA} = \frac{4V}{4 \times 10^{-3}A} = 1000\Omega \\ R = \frac{V}{I} \Rightarrow R_v &= \frac{2V}{1mA} = \frac{2V}{1 \times 10^{-3}A} = 2000\Omega \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{R_f}{R_v} = \frac{1000\Omega}{2000\Omega} = \frac{1}{2}$$

همان‌طور که می‌بینید، مقاومت برای یک دیود نوری ثابت نیست و با تغییر ولتاژ، تغییر کرده است.

۲۷ با توجه به اینکه نمودار یک خط راست است، جریان مستقیم است و در تمام بازه‌های زمانی جریان متوسط ثابت است:

$$\bar{I} = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{4C - 0}{2s - 0} = \frac{4C}{2s} = 2A$$

۲۸ هنگامی که اختلاف پتانسیل الکتریکی را در دو سر یک سیم رسانا اعمال می‌کنیم، درون آن میدان الکتریکی ایجاد می‌شود. به خاطر این میدان، الکترون‌ها حرکت کاتوره‌ای خود را قدری تغییر می‌دهند و با سرعتی موسوم به سرعت سوق برخلاف جهت میدان به‌طور آهسته سوق پیدا می‌کنند.

۲۹ ۲۰ ثانیه را برحسب ساعت به دست می‌آوریم:

$$20s = 20s \times \frac{1h}{3600s} = \frac{1}{180}h$$

$$\Delta q = \text{مساحت زیر نمودار} = \frac{1}{2} \times (20 + 16) \times \frac{1}{180} = 0.1Ah$$

۳۰ بار کل باتری برابر $400mAh$ است؛ پس داریم:

$$q = \bar{I} \times \Delta t \Rightarrow 400 \times 10^{-3}Ah = 2A \times \Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{400 \times 10^{-3}Ah}{2A} = 0.2h$$

اما زمان برحسب دقیقه خواسته شده است؛ پس، این زمان برحسب دقیقه برابر است با:

$$0.2h \times \frac{60min}{1h} = 12min$$

پس از این زمان چون باتری تخلیه می‌شود، لامپ خاموش می‌شود.

۳۱
(الف)

$$\Delta q = 50Ah, I = 5A, \Delta t = ?$$

$$\Delta q = I\Delta t \Rightarrow \Delta t = \frac{50}{5} \Rightarrow \Delta t = 10h$$

(ب)

$$\Delta q = 1000mAh = 1Ah, I = 100\mu A = 100 \times 10^{-6}A = 10^{-4}A, \Delta t = ?$$

$$\Delta t = \frac{\Delta q}{I} = \frac{1}{10^{-4}} \Rightarrow \Delta t = 10^4h$$

خوب است بدانید ۱۰۰۰۰ ساعت زمانی در حدود یک سال است. یعنی یک سال طول می‌کشد تا باتری خالی شود.

۳۲ وقتی کلید را می‌زنیم، با اعمال اختلاف پتانسیل به دو سر سیم، میدان الکتریکی با تندی بسیار زیاد (نزدیک به تندی نور) در سراسر سیم برقرار شده و همه الکترون‌ها در تمامی بخش‌های سیم و چراغ، در خلاف جهت میدان الکتریکی حرکت کرده و با ورود الکترون‌ها از یک سو، بقیه الکترون‌ها از سوی دیگر خارج می‌شوند، بنابراین جریان الکتریکی به‌سرعت ایجاد می‌شود.

۳۳

$$\frac{R_1}{R_v} = \frac{\frac{V_1}{I_1}}{\frac{V_v}{I_v}} \Rightarrow \frac{R_1}{R_v} = \frac{V_1}{V_v} \times \frac{I_v}{I_1} \Rightarrow \frac{R_1}{R_v} = 1 \times \frac{4}{2} = 2$$

$$\text{الف) } A = \pi r^2 = 4\pi mm^2 = 4\pi \times 10^{-6}m^2$$

$$R = \rho \frac{L}{A} \Rightarrow \rho = \frac{RA}{L} = \frac{2 \times 4\pi \times 10^{-6}}{2} = 4\pi \times 10^{-6} \approx 12 \times 10^{-6} \Omega \cdot m$$

$$\text{ب) } \frac{R_2}{R_1} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \Rightarrow \frac{1}{2} = \left(\frac{2}{r_2}\right)^2 \Rightarrow r_2 = 2\sqrt{2} \text{ mm}$$

۳۵

(الف)

$$R = \rho \frac{L}{A} = 1.7 \times 10^{-8} \times \frac{10}{1 \times (10^{-3})^2} \Rightarrow R = 0.17 \Omega$$

ب) با توجه به این که دو قطعه سیم کنار هم قرار دارند سطح مقطع نسبت به حالت اول دو برابر شده و طول سیم هم نصف می شود:

$$R = \rho \frac{L}{A} = 1.7 \times 10^{-8} \times \frac{5}{2 \times 1 \times (10^{-3})^2} = 0.425 \Omega$$

روش دیگر: با توجه به جواب قسمت الف و نصف شدن طول سیم و دو برابر شدن مساحت می توان گفت که مقاومت در حالت دوم $\frac{1}{4}$ حالت اول است:

$$R = \frac{0.17}{4} = 0.0425 \Omega$$

۳۶ (الف) مستقیم

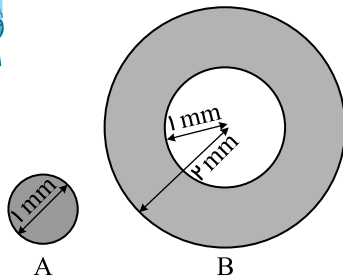
ب) مقاومت ویژه یا جنس رسانا

پ) وارون

۳۷ با فرض ثابت بودن دما، داریم:

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

بنابراین برای دو مقاومت A و B می توان نوشت:



$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{\cancel{\rho} \frac{L_A}{A_A}}{\cancel{\rho} \frac{L_B}{A_B}} = \frac{A_B}{A_A} \cdot \frac{\cancel{L_A}}{L_B} = \frac{\pi r_{\text{داخلی}}^2 - \pi r_{\text{خارجی}}^2}{\pi r_A^2}$$

$$\Rightarrow \frac{R_A}{R_B} = \frac{(2)^2 - (1)^2}{\left(\frac{1}{2}\right)^2} = \frac{4 - 1}{\frac{1}{4}} = 12$$

توجه: چون شعاعها همگی بر حسب میلی متر هستند و در صورت و مخرج قرار دارند، نیازی به تبدیل واحد نیست.

۳۸

(الف) کاهش

۳۹ میله نیم رسانا است، چون در نیم رساناها با افزایش دما، به دلیل افزایش حامل های بار، مقاومت الکتریکی کاهش می یابد؛ بنابراین جریان در مدار افزایش می یابد.

۴۰ (الف) در دماهای پایین تعداد حامل های بار ناچیز است و نیم رسانا مانند یک نارسانا رفتار می کند. با افزایش دما بر تعداد این حامل های بار افزوده می شود و به این ترتیب مقاومت ویژه نیم رساناها با افزایش دما کاهش می یابد.

ب) هنگام عبور جریان از یک نیم رسانا که سبب گرم شدن آن می شود، مقاومت الکتریکی آن کاهش می یابد.

کم شدن مقاومت (با توجه به ثابت ماندن ولتاژ) سبب افزایش جریان عبوری از نیم رسانا می شود که خود سبب گرم تر شدن نیم رسانا و در نتیجه کاهش بیشتر مقاومت می شود. این سیکل می تواند با ادامه یافتن سبب سوختن وسیله شود مگر آن که آن را با فن خنک کنیم.

۴۱ ابتدا مساحت سطح مقطع سیم را محاسبه می کنیم:

$$A = \pi r^2 = \pi (2 \times 10^{-3})^2 = 4\pi \times 10^{-6} m^2$$

$$R = \rho \frac{L}{A} \Rightarrow R = 2\pi \times 10^{-5} \times \frac{1}{4\pi \times 10^{-6}} \Rightarrow R = 5 \Omega$$

$$V = RI \Rightarrow I = \frac{V}{R} = \frac{20}{5} = 4 A$$

مقدار بار عبور کننده: $q = It = 4 \times 60 = 240 C$

$$q = \pm ne \Rightarrow 240 = n \times 1.6 \times 10^{-19} \Rightarrow n = \frac{240}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.5 \times 10^{21}$$

پس تعداد الکترون‌های عبور کننده 1.5×10^{21} عدد خواهد بود.

۴۲ الف) در این حالت که مسیر کوتاه‌تر است، از سیم نمره ۲۰ استفاده می‌شود؛ یعنی قطر سیم 0.8 cm است و داریم:

$$R = \rho \frac{L}{A} = 1.7 \times 10^{-8} \times \frac{30}{\pi (0.04 \times 10^{-2})^2} \simeq 1.01 \Omega$$

$$\rho_{\text{مس}} = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$$

ب) در این حالت که طول سیم 70 m است، از سیم ۱۶ با قطر 0.13 cm استفاده می‌شود:

$$R = \rho \frac{L}{A} = 1.7 \times 10^{-8} \times \frac{70}{\pi (0.065 \times 10^{-2})^2} \simeq 0.9 \Omega$$

۴۳ الف) سبز a زرد b

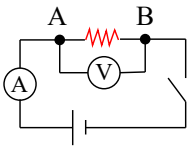
ب) سیم‌ها همجنس و هم‌دما هستند، پس مقاومت ویژه آنها یکسان است. بنابراین داریم:

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

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \times \frac{A_1}{A_2} \times \frac{L_2}{L_1} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{A}{\frac{A}{2}} \times \frac{2L}{L} \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 4$$

۴۴ نقره: $\frac{L_2}{L_1} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \leftarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{\rho_1}{\rho_2} \times \frac{L_1}{L_2} \times \frac{A_2}{A_1}$ بنابراین نقره که مقاومت ویژه‌ی کم‌تری دارد طول بیشتری دارد.

۴۵



در مدار مطابق شکل، قطعه‌ای از سیم تنگستن را بین نقاط A و B قرار داده با بستن کلید و با استفاده از عددی‌های ولت‌سنج و آمپرسنج، اختلاف پتانسیل دو سر سیم (برحسب ولت) و جریانی که از مدار می‌گذرد (برحسب آمپر) را اندازه می‌گیریم. سپس با استفاده از قانون اهم ($R = \frac{V}{I}$)، مقاومت قطعه سیم را (برحسب اهم) به دست می‌آوریم.

سپس همین کار را برای قطعه سیم نیکروم انجام می‌دهیم و مقاومت قطعه سیم را تعیین می‌کنیم با مقایسه دو مقاومت به دست آمده نتیجه می‌گیریم که مقاومت رسانا در دمای ثابت، به جنس رسانا بستگی دارد.

۴۶

الف) نادرست

۴۷

الف) نصف

۴۸

الف) نادرست

ب) درست

پ) نادرست

۴۹

الف) مستقیم

ب) کمتر

پ) زیاد

۵۰

الف) نادرست

ب) درست

پ درست

۵۱ شیب نمودار $V - I$ طبق رابطه $V = RI$ ، مقاومت سیم را نشان می‌دهد. چون شیب در حالت (۱) بیشتر است، مقاومت رسانا در دمای θ_1 بیشتر است. با توجه به این، هر چه دما بالاتر باشد، مقاومت بیشتر است. بنابراین θ_1 باید بیشتر از θ_2 باشد:

شیب نمودار (۲) $>$ شیب نمودار (۱): در نمودار V بر حسب I
 $\rightarrow R_1 > R_2 \Rightarrow \theta_1 > \theta_2$

۵۲ شیب نمودار جریان بر حسب ولتاژ $(I - V)$ برابر $\frac{1}{R}$ است؛ پس، رسانای A که نمودار آن شیب کمتری دارد، دارای مقاومت بیشتری است:

$$R_A > R_B$$

از طرفی طول و جنس دو رسانا یکسان است؛ پس:

$$R_A > R_B \Rightarrow \rho \frac{L}{A_A} > \rho \frac{L}{A_B} \Rightarrow \frac{1}{A_A} > \frac{1}{A_B} \Rightarrow A_A < A_B$$

پس سطح مقطع رسانای B بزرگ‌تر است.

۵۳ هر چقدر شیب نمودار $V - I$ بیشتر باشد، مقاومت بیشتر است؛ بنابراین، $R_A > R_B$ است و داریم:

$$R_A > R_B \Rightarrow \rho_A \frac{L_A}{A_A} > \rho_B \frac{L_B}{A_B}$$

۵۴ وقتی اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت‌ها یکسان باشد، هر چه مقاومت کمتر باشد، جریان بیشتری از رسانا می‌گذرد؛ پس باید به دنبال کوچک‌ترین مقاومت بگردیم. برای این کار به کمک رابطه $R = \rho \frac{L}{A}$ مقاومت این سه سیم را محاسبه می‌کنیم:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \frac{\rho_1 L_1}{A_1} = \frac{\rho_1 \frac{L}{2}}{\frac{A}{2}} = \frac{\rho L}{A} \\ R_2 &= \frac{\rho_2 L_2}{A_2} = \frac{\rho_2 \times (1.5L)}{\frac{A}{2}} = \frac{3\rho L}{A} \\ R_3 &= \frac{\rho_3 L_3}{A_3} = \frac{\rho L}{A} \end{aligned} \right\} \Rightarrow R_2 > R_1 = R_3$$

با توجه به رابطه $I = \frac{V}{R}$ داریم:

$$R_2 > R_1 = R_3 \Rightarrow I_2 < I_3 = I_1$$

۵۵ دو رسانا از یک ماده ساخته شده‌اند و طول یکسانی دارند؛ پس، $\rho_A = \rho_B$ و $L_A = L_B$ است. رسانای A یک استوانه توپر است، پس مساحت مقطع آن برابر πr_A^2 است. رسانای B لوله‌ای توخالی به شعاع خارجی r_{B1} و شعاع داخلی r_{B2} است؛ پس مساحت مقطع این سیم $\pi(r_{B1}^2 - r_{B2}^2)$ است و داریم:

$$\begin{aligned} \frac{R_A}{R_B} &= \frac{\rho_A}{\rho_B} \times \frac{L_A}{L_B} \times \frac{A_B}{A_A} = 1 \times 1 \times \frac{\pi(r_{B1}^2 - r_{B2}^2)}{\pi r_A^2} \\ &= \frac{(4)^2 - (2)^2}{10^2} = \frac{16 - 4}{100} = \frac{12}{100} = 0.12 \end{aligned}$$

پس مقاومت A ، ۱۲ برابر مقاومت B است. به این نکته دقت کنید که چون نسبت مقاومت‌ها را می‌خواستیم، لازم نبود تبدیل واحد را انجام دهیم.

۱- ۵۶

جنس سیم	طول سیم	قطر سیم	اختلاف پتانسیل (V)	جریان (I)	مقاومت ($R = \frac{V}{I}$)
نیکروم	۰٫۵m	۱٫۶mm	۵V	۲۰A	۰٫۲۵Ω
نیکروم	۱m	۱٫۶mm	۵V	۱۰A	۰٫۵Ω
نیکروم	۲m	۱٫۶mm	۵V	۵A	۱Ω

با افزایش طول سیم، مقاومت آن نیز به همان نسبت افزایش می‌یابد. بنابراین مقاومت سیم با طول آن رابطه مستقیم دارد.

جنس سیم	طول سیم	قطر سیم	اختلاف پتانسیل (V)	جریان (I)	مقاومت ($R = \frac{V}{I}$)
نیکروم	5m	3mm	5V	7A	0.7Ω
نیکروم	5m	2mm	5V	3A	1.6Ω
نیکروم	5m	1mm	5V	0.8A	6.25Ω

با کاهش سطح مقطع سیم، مقاومت آن افزایش می‌یابد. بنابراین مقاومت سیم با سطح مقطع آن رابطه وارون دارد.

۳-

جنس سیم	طول سیم	قطر سیم	اختلاف پتانسیل (V)	جریان (I)	مقاومت ($R = \frac{V}{I}$)
کنستانتان	2m	1.6mm	5V	11A	0.45Ω
نیکروم	2m	1.6mm	5V	5A	1Ω

مقاومت یک رسانا در دمای ثابت به طول، سطح مقطع و جنس رسانا بستگی دارد.

۵۷

$$R = \frac{\rho L}{A} \rightarrow R = 1.7 \times 10^{-8} \times \frac{100}{\pi \left(\frac{0.32}{2} \times 10^{-3} \right)^2} \simeq 0.52 \Omega$$

۵۸

$$\rho_A = \rho_B, L_A = 2L_B, r_A = \frac{\sqrt{2}}{2} r_B$$

چون هر دو سیم مسی و در دمای یکسان هستند، داریم:

$$\Rightarrow A_A = \left(\frac{\sqrt{2}}{2} \right)^2 A_B \Rightarrow A_A = \frac{1}{2} A_B$$

$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{\rho_A}{\rho_B} \times \frac{L_A}{L_B} \times \frac{A_B}{A_A} = 1 \times 2 \times 2 = 4$$

۵۹

$$\rho_A = \rho_B, L_A = 2L_B, A_A = 2A_B$$

$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{\rho_A}{\rho_B} \times \frac{L_A}{L_B} \times \frac{A_B}{A_A} \Rightarrow \frac{R_A}{R_B} = 1 \times 2 \times \frac{1}{2} = 1$$

۶۰ الف) برابر نیروی محرکه مولد است. ب) ظرفیت افزایش می‌یابد، میدان الکتریکی ثابت می‌ماند.

۶۱ الف) هنگامی که کلید باز است جریانی از مولد نمی‌گذرد بنابراین rI صفر است.

$$V = \varepsilon - rI \Rightarrow V = \varepsilon$$

بنابراین:

یعنی ولتاژ اندازه‌گیری شده از دو سر مولد همان نیروی محرکه مولد می‌باشد پس: $\varepsilon = 6V$

با بسته شدن کلید جریان مدار 2A خواهد شد و ولت‌سنج هم با مولد و هم با R موازی است پس ولتاژ دو سر مقاومت R را هم نشان می‌دهد:

$$V = \varepsilon - rI = RI \Rightarrow 6 - r \times 2 = 2 \times 2 \Rightarrow 2r = 2 \Rightarrow r = 1 \Omega$$

ب) همانطور که گفته شد با بستن کلید، ولت‌سنج RI را نشان می‌دهد:

$$V = RI = 2 \times 2 = 4V$$

۶۲ شیب نمودار برابر $-r$ است، چون خط‌ها موازی اند، مقاومت درونی مولد‌ها یکسان است.

$$r_A = r_B \quad \varepsilon_A < \varepsilon_B$$

۶۳

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} = \frac{12}{2 + 1} = \frac{12}{3} = 4A$$

الف)

$$V = \varepsilon - rI = 12 - 1 \times 4 = 12 - 4 = 8V$$

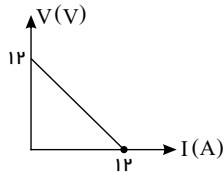
ب)

راه دیگر آن است که بدانیم ولتاژ دو سر مولد همان ولتاژ دو سر R است یعنی:

$$V = RI = 2 \times 4 = 8V$$

(ج) با توجه به آن که مقدارهای ε و r ثابت هستند می‌توان رابطهٔ مربوط به ولتاژ دو سر مولد را به صورت کلی روبرو نوشت:

$$V = \varepsilon - rI \Rightarrow V = 12 - I \Rightarrow V = -I + 12$$



این رابطه نشان می‌دهد که نمودار $V - I$ خطی با شیب (-1) و عرض از مبدأ ۱۲ است:

۶۴ الف) مطابق شکل، جریان از پایانهٔ b خارج شده و به پایانهٔ a وارد شده است، پس پایانهٔ b قطب مثبت و پایانهٔ a قطب منفی باتری است.

ب) بزرگی جریان در نقاط a ، b و c یکسان است.

پ) جهت جریان در مدار از پتانسیل الکتریکی بیشتر به کمتر است؛ بنابراین داریم:

$$V_b > V_c > V_a$$

ت) $U = q \cdot V$ است؛ بنابراین چون q مثبت است، علامت U هم‌علامت با V خواهد بود. یعنی:

$$U_b > U_c > U_a$$

۶۵ در این مشابهن سازی، دست شخص جایگزین منبع نیروی محرکهٔ الکتریکی شده است و انرژی پتانسیل لازم برای حرکت روبه پایین تپله‌ها را فراهم می‌کند.

میخ‌ها نیز جایگزین اتم‌ها و مولکول‌های قرار گرفته سر راه حرکت الکترون‌های آزاد شده‌اند.

به این ترتیب تپله‌ها با رها شدن از بالای سطح شیب‌دار، به‌خاطر وجود اختلاف ارتفاع رو به پایین حرکت می‌کنند، ولی در بین راه با برخورد به میخ‌ها بخشی از انرژی خود را از دست می‌دهند و این کاملاً مشابه وضعیت حرکت الکترون‌های آزاد درون یک سیم، تحت تأثیر اختلاف پتانسیل الکتریکی است.

۶۶

الف) درست

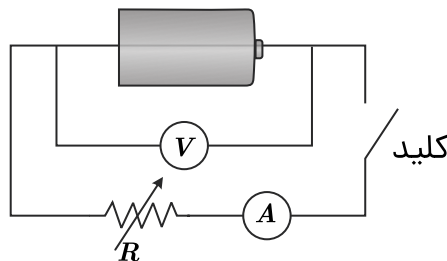
۶۷

الف) نادرست

ب) درست

۶۸ مداری مطابق شکل می‌سازیم. در حالتی که کلید باز است، عدد ولت‌سنج همان نیروی محرکهٔ مولد را نشان می‌دهد. وقتی کلید را می‌بندیم، عدد ولت‌سنج و

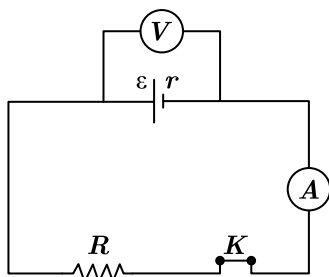
آمپرسنج را می‌خوانیم و در رابطهٔ $V = \varepsilon - Ir$ قرار می‌دهیم؛ با داشتن ε از مرحلهٔ اول، و مقدار مقاومت داخلی مولد را حساب می‌کنیم.



۶۹ الف) آمپرسنج A_1 ؛ زیرا هرچه طول رسانا کمتر باشد مقدار مقاومت آن کمتر و در نتیجه جریان بیشتر است (باتری‌ها مشابه هستند؛ در نتیجه جریان با مقاومت رابطهٔ عکس دارد).

ب) ارتباط مستقیم مقاومت الکتریکی با طول رسانا ($R \propto L$)

۷۰ باتری فرسوده است و B باتری نو؛ زیرا مقاومت درونی باتری A (که برابر با اندازهٔ شیب نمودار است) بزرگ‌تر است.



۷۱) مداری مطابق شکل می‌بندیم.

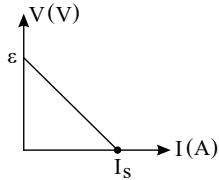
در حالتی که کلید باز است، عدد ولت‌سنج را می‌خوانیم که نشان‌دهنده نیروی محرکه باتری است. پس از بسته شدن کلید، اعداد آمپرسنج و ولت‌سنج به ترتیب I و V را نشان می‌دهند.

اعداد به‌دست آمده را در رابطه $V = \varepsilon - Ir$ قرار داده و مقدار r را محاسبه می‌کنیم.

۷۲) در حالت کلی برای ولتاژ دو سر مولد در چنین مداری می‌توان نوشت:

$$\begin{cases} V = \varepsilon - rI \\ V = RI \end{cases}$$

واضح است که ε و r ثابت هستند پس نمودار $V - I$ خطی با شیب $(-r)$ و عرض از مبدأ ε خواهد بود.



محل تقاطع این خط با محور I در واقع نشان‌دهنده جریان در حالتی است که ولتاژ دو سر مولد یا به عبارتی V_{ab} برابر با صفر شده است یعنی مقاومت متغیر مدار

دارای مقدار صفر بوده است: $V = \overset{\text{صفر}}{I} = 0$

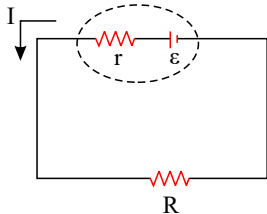
به عبارت دیگر این جریان که با I_s نشان داده شده است جریان اتصال کوتاه یا بیش‌ترین جریان عبوری از مولد است:

$$0 = \varepsilon - rI \Rightarrow I_s = \frac{\varepsilon}{r}$$

۷۳) چون آمپرسنج به صورت سری در مدار قرار می‌گیرد، باید در حالت ایده‌آل دارای مقاومت صفر باشد و در حالت واقعی، کمترین مقدار ممکن را داشته باشد.

زیرا اگر آمپرسنج دارای مقاومت زیاد باشد، چون به صورت سری در مدار قرار گرفته، مقاومت آن با سایر مقاومت‌ها جمع شده و سبب کاهش جریان عبوری از مدار می‌شود و خطا در اندازه‌گیری به شدت افزایش می‌یابد.

۷۴) اختلاف پتانسیل دو سر یک باتری وقتی به مدار بسته نیست، همان نیروی محرکه الکتریکی آن است. بنابراین: $\varepsilon = 12V$



اختلاف پتانسیل الکتریکی دو سر مقاومت و مولد یکسان هستند:

$$V = RI \Rightarrow 10.9 = 10 I \Rightarrow I = \frac{10.9}{10} = 1.09 A$$

اکنون می‌توان نوشت:

$$V = \varepsilon - rI$$

$$1.09 = 12 - r \times 1.09 \Rightarrow 1.09r = 1.1 = 1.09 \Rightarrow r \simeq 1 \Omega$$

۷۵) با افزایش مقاومت جریان کاهش می‌یابد. طبق رابطه $V = \varepsilon - Ir$ اختلاف پتانسیل دو سر مولد افزایش می‌یابد و ولت‌سنج عدد بیش‌تری را نشان می‌دهد.

۷۶)

الف) در مقدار مقاومت درونی باتری‌ها است؛ به گونه ای که مقاومت درونی باتری فرسوده، بیشتر از باتری نو است.

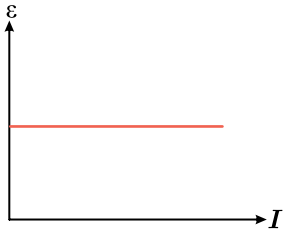
ب) نسبت بار الکتریکی خالص Δq به بازه‌ی زمانی Δt در یک رسانا را جریان الکتریکی متوسط گویند.

۷۷)

الف) درست

ب)

نادرست؛ نیروی محرکه الکتریکی با تغییر جریان تغییر نمی‌کند. نمودار ε بر حسب I به صورت روبه‌رو است:



پ نادرست؛ قاعده حلقه چیزی جز پایستگی انرژی نیست.

۷۸

الف $I = \frac{\varepsilon}{r} \rightarrow 12 = \frac{24}{r} \Rightarrow r = 2\Omega$

ب

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r} \rightarrow I = \frac{24}{10+2} = 2A \quad P = RI^2 \Rightarrow P = 10 \times 2^2 = 40W$$

۷۹ زمانی که $I = 0$ است، نمودار ε و وقتی $\Delta V = 0$ باشد، نمودار $\frac{\varepsilon}{r}$ را مشخص می‌کند؛ پس:

$$I = 0 \Rightarrow \Delta V = \varepsilon = 12V$$

$$\Delta V = 0 \Rightarrow r = \frac{\varepsilon}{I_{max}} = \frac{12V}{24A} = 0.5\Omega$$

۸۰ شباهت: $\varepsilon_A = \varepsilon_B$ (چون عرض از مبدأهای یکسان دارند)

تفاوت: $r_A \neq r_B$ (چون شیب دو نمودار با هم برابر نیست.)

۸۱ هنگامی که کلید باز است، اختلاف پتانسیل دو سر باتری برابر با نیروی محرکه الکتریکی است، پس:

$$\varepsilon = 9V$$

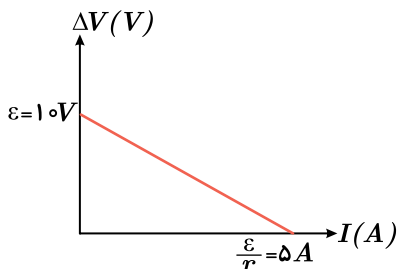
وقتی کلید بسته است، اختلاف پتانسیل دو سر باتری برابر با $\varepsilon - Ir$ می‌شود و داریم:

$$\Delta V = \varepsilon - Ir \Rightarrow 8V = 9V - (1A)r$$

$$\Rightarrow r = \frac{9V - 8V}{1A} = \frac{1V}{1A} = 1\Omega$$

۸۲ همان‌طور که خواندید، عرض از مبدأ در نمودار ΔV بر حسب I برابر با ε است؛ پس، $\varepsilon = 10V$ است. محل برخورد نمودار با محور I هم برابر $\frac{\varepsilon}{r}$ است؛

بنابراین، $\frac{\varepsilon}{r} = 5A$ است و مطابق شکل روبه‌رو برای مقاومت درونی داریم:



$$\left. \begin{array}{l} \varepsilon = 10V \\ \frac{\varepsilon}{r} = 5A \end{array} \right\} \Rightarrow r = \frac{\varepsilon}{\frac{\varepsilon}{r}} = \frac{10V}{5A} = 2\Omega$$

از طرفی می‌دانیم $\Delta V = \varepsilon - Ir$ است؛ پس، اختلاف پتانسیل دو سر باتری وقتی جریان $I = 2A$ از آن می‌گذرد، به صورت زیر است:

$$\Delta V = \varepsilon - Ir = 10V - (2A) \times (2\Omega) = 10V - 4V = 6V$$

۸۳ وقتی کلید قطع است، ولت‌سنج مقدار ε را نشان می‌دهد؛ پس:

$$\text{کلید قطع} \Rightarrow \Delta V = \varepsilon = 10V$$

وقتی کلید بسته است، ولت‌سنج مقدار $\varepsilon - Ir$ را نشان می‌دهد:

$$\text{کلید بسته} \Rightarrow \Delta V = \varepsilon - Ir \Rightarrow 8V = 10V - Ir \quad (I)$$

خب الان یک معادله داریم ۲ مجهول!!! به یک معادله دیگر نیاز داریم. این معادله همان رابطه محاسبه جریان در مدار تک‌حلقه است:

$$I = \frac{\varepsilon}{r+R} \Rightarrow I = \frac{10V}{r+4\Omega} \quad (II)$$

حالا دو معادله و دو مجهول داریم. به جای (I) در رابطه ال قرار می دهیم $\frac{10}{r+4}$ و مقدار درونی منبع را به دست می آوریم:

$$\left. \begin{aligned} \Delta V &= 10V - Ir \\ I &= \frac{10V}{r+4\Omega} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \Delta V = 10V - \left(\frac{10V}{r+4\Omega}\right)r \Rightarrow \left(\frac{10V}{r+4\Omega}\right)r = 2V \Rightarrow \frac{10V}{r+4\Omega} = 2 \Rightarrow \frac{5r}{r+4\Omega} = 1$$

$$\Rightarrow 5r = r + 4\Omega \Rightarrow 4r = 4\Omega \Rightarrow r = 1\Omega$$

۸۴ با توجه به تعریف نیروی محرکه الکتریکی داریم:

$$\varepsilon = \frac{\Delta W}{\Delta q} \Rightarrow 12V = \frac{\Delta W}{4\mu C}$$

$$\Rightarrow \Delta W = (12V)(4\mu C) = 48\mu J = 48 \times 10^{-6} J$$

۸۵ مقادیر به دست آمده برای باتری نو به صورت زیر است:

$$\varepsilon = 1.2V, V_b - V_a = 1V, I = 0.5A$$

مقاومت باتری نو:

$$V_b - V_a = \varepsilon - Ir \Rightarrow 1 = 1.2 - 0.5r \Rightarrow r = 0.4\Omega$$

مقادیر به دست آمده برای باتری فرسوده نیز برابر است با:

$$\varepsilon = 1.2V, V_b - V_a = 0.8V, I = 0.2A$$

مقاومت داخلی باتری فرسوده:

$$V_b - V_a = \varepsilon - Ir \Rightarrow 0.8 = 1.2 - 0.2r \Rightarrow 0.2r = 0.4 \Rightarrow r = 2\Omega$$

یعنی نیروی محرکه برای باتری نو و فرسوده، یکسان است. درحالی که باتری فرسوده، مقاومت داخلی بسیار بزرگتری نسبت به باتری نو دارد.

۸۶ زیرا با حرکت در جهت خطهای میدان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی کاهش و با حرکت در خلاف جهت میدان، پتانسیل الکتریکی افزایش می یابد.

۸۷ از رابطه $V = \varepsilon - rI$ کمک می گیریم. وقتی کلید باز است، یعنی $I = 0$ است و ولتسنج همان ε را نشان می دهد، ولی اگر کلید بسته شود و جریان برقرار شود، آنگاه به اندازه rl از مقدار ε کم می شود و ولتسنج مقدار V را که از ε کوچک تر است، نشان می دهد.

۸۸ ابتدا جریان مدار را به دست می آوریم:

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r} \Rightarrow I = \frac{6}{1.5 + 0.5} = 3A$$

بنابراین آمپرسنج $3A$ را نشان می دهد.

ولتسنج، اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت را نشان می دهد که برابر است با:

$$V = IR \Rightarrow V = 3 \times 1.5 = 4.5V$$

۸۹ باید توجه کرد که چون مقاومت لامپ ثابت فرض شده است می توان نوشت:

$$P_1 = \frac{V_1^2}{R} \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{\frac{V_1^2}{R}}{\frac{V_2^2}{R}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^2 \Rightarrow \frac{100}{P_2} = \left(\frac{220}{110}\right)^2 = 4 \Rightarrow P_2 = \frac{100}{4} = 25W$$

به عبارت دیگر با نصف کردن ولتاژ دو سر لامپ، نور آن $\frac{1}{4}$ خواهد شد.

۹۰ الف) با توجه به اطلاعات اسمی نوشته شده روی وسیله ها:

$$P_{\text{کتری}} = VI_{\text{کتری}} \Rightarrow I_{\text{کتری}} = \frac{2400}{220} = 10.91A$$

$$P_{\text{اتو}} = VI_{\text{اتو}} \Rightarrow I_{\text{اتو}} = \frac{850}{220} = 3.86A$$

ب) به کمک رابطه $P = \frac{V^2}{R}$ می توان مقاومت ها را در حالت روشن محاسبه کرد:

$$P_{\text{کتری}} = \frac{V^2}{R_{\text{کتری}}} \Rightarrow R_{\text{کتری}} = \frac{(220)^2}{2400} = 20.17\Omega$$

$$P_{\text{اتو}} = \frac{V^2}{R_{\text{اتو}}} \Rightarrow R_{\text{اتو}} = \frac{(220)^2}{850} = 56.94\Omega$$

۹۱

طبق رابطه $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$ ابتدا جریان مدار را محاسبه می‌کنیم، سپس توان تولیدی مولد را می‌یابیم:

$$I = \frac{\varepsilon}{R+r} = \frac{12}{5.6 + 0.4} = 2A$$

$$\text{توان تولیدی مولد} = P = \varepsilon I = 12 \times 2 = 24W$$

۹۲ از رابطه $U = RI^2t$ استفاده می‌کنیم:

$$U = RI^2t = (100\Omega) \times (12A)^2 \times \left(\frac{20}{60}h\right) \\ = 4800Wh = 4.8kWh$$

۹۳ الف

$$P = \frac{V^2}{R} \rightarrow 2200 = \frac{220^2}{R} \Rightarrow R = 22\Omega$$

ب

$$U = P \cdot t \Rightarrow U = 2.2 \times 1.5 = 3.3kWh \Rightarrow \text{تومان} = 3.3 \times 100 = 330$$

۹۴ الف) به یاد داریم که $Q = mc\Delta\theta$ و ضمناً داریم:

$$W = P \cdot t = Q \Rightarrow Pt = mc\Delta T \Rightarrow P \times 7 \times 60 = 1 \times 4200 \times (60 - 20) \Rightarrow P = 400W$$

$$P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow R = \frac{V^2}{P} = \frac{100^2}{400} = 25\Omega$$

$$R = \rho \frac{L}{A} \Rightarrow L = \frac{RA}{\rho} = \frac{25 \times 0.8 \times 10^{-6}}{10^{-7}} \Rightarrow L = 200m$$

$$q = It \Rightarrow q = \frac{V}{R}t = \frac{100}{25} \times 7 \times 60 = 1680C$$

ب

۹۵ الف) با فرض آنکه توان مصرفی تلویزیون $150W$ و توان مصرفی لامپ $20W$ باشد، داریم:

$$U_{\text{تلویزیون}} = P_{\text{تلویزیون}} t \Rightarrow U_{\text{تلویزیون}} = \frac{150}{1000} \times (30 \times 8) = 36kWh$$

$$U_{\text{لامپ}} = P_{\text{لامپ}} t \Rightarrow U_{\text{لامپ}} = \frac{20}{1000} \times (30 \times 8) = 4.8kWh$$

ب

$$\text{تومان} = 36 \times 50 = 1800$$

$$\text{تومان} = 4.8 \times 50 = 240$$

پ) برای یک خانه:

$$U = Pt \Rightarrow U = \frac{100}{1000} \times (3 \times 30) \Rightarrow U = 9kWh$$

فرض می‌کنیم در تهران حدود ۳ میلیون خانه وجود دارد:

$$U = 9 \times 3 \times 10^6 = 27 \times 10^6 kWh$$

۹۶ می‌دانیم که $R = \rho \frac{L}{A}$ است. چون طول و جنس رشته‌ها یکسان است، لامپی که رشته آن ضخیم‌تر باشد، سطح مقطع سیم آن بزرگ‌تر است و مقاومت

کمتری دارد. پس:

$$A_B > A_A \Rightarrow R_B < R_A$$

به‌ازای اختلاف پتانسیل یکسان، از مقاومت کوچک‌تر جریان بزرگ‌تری عبور می‌کند. جریان بزرگ‌تر به معنی توان بزرگ‌تر و در نتیجه نور بیشتر است (با توجه به رابطه $P = VI$):

$$\left. \begin{array}{l} V_A = V_B \\ R_B < R_A \\ V = RI \end{array} \right\} \Rightarrow I_B > I_A \Rightarrow P_B > P_A$$

از رابطه $P = \frac{V^2}{R}$ نیز می‌توان استفاده کرد. پس توان لامپی بیشتر است که مقاومت کمتری دارد. در نتیجه نور لامپ B بیشتر است. (الف) ۹۷

$$\Delta U = q \cdot \Delta V$$

$$1 \times 10^9 = q \times 5 \times 10^7 \Rightarrow q = \frac{10^9}{5 \times 10^7} = 20 \text{ C}$$

$$I = \frac{q}{t} = \frac{20}{0.2} = 100 \text{ A}$$

$$P = \frac{U}{t} = \frac{1 \times 10^9}{0.2} = 5 \times 10^9 \text{ W}$$

(ب)

(پ)

۹۸

(الف) اختلاف پتانسیل

(ب) معکوس مقاومت الکتریکی $(\frac{1}{R})$

(پ) اهم سنج

۹۹

(الف)

این اعداد به این معنا هستند که اگر لامپ به اختلاف پتانسیل 220 V وصل شود، توان مصرفی لامپ 100 W می‌شود؛ پس:

$$P = I \Delta V \Rightarrow I = \frac{P}{\Delta V} = \frac{100 \text{ W}}{220 \text{ V}} = \frac{5}{11} \text{ A}$$

(ب) برای به دست آوردن انرژی مصرفی هم از رابطه $U = P \Delta t$ استفاده می‌کنیم:

$$U = P \Delta t = (100 \text{ W})(1000 \text{ h}) = 10^5 \text{ Wh} = 10^2 \text{ kWh} = 100 \text{ kWh}$$

(پ) هزینه برق مصرفی برابر است با:

$$\text{هزینه برق مصرفی} = 1000 \times 100 = 100000 \text{ kWh}$$

پس بهای برق مصرفی این لامپ در 1000 ساعت 100000 تومان است.

(۱۰۰) گام اول: ابتدا مقاومت این قطعه سیم را با استفاده از رابطه $R = \rho \frac{L}{A}$ به دست می‌آوریم:

$$R = \rho \frac{L}{A} = 10^{-6} \Omega \cdot \text{m} \times \frac{2 \text{ m}}{0.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2} = 10 \Omega$$

گام دوم: حالا توان مصرفی را به دست می‌آوریم:

$$P = \frac{(\Delta V)^2}{R} = \frac{(200 \text{ V})^2}{10 \Omega} = 4000 \text{ W} = 4 \text{ kW}$$

گام سوم: توجه کنید که چون توان را بر حسب کیلووات داریم، اگر زمان را بر حسب ساعت به دست آوریم، به راحتی می‌توانیم انرژی مصرفی را بر حسب کیلووات ساعت حساب کنیم:

$$\Delta t = 20 \text{ min} = \frac{1}{3} \text{ h}$$

بنابراین انرژی مصرفی بر حسب کیلووات ساعت برابر است با:

$$U = P \Delta t = 4 \text{ kW} \times \frac{1}{3} \text{ h} = \frac{4}{3} \text{ kWh}$$

(۱۰۱) مقاومت لامپ خاموش 40Ω اندازه‌گیری می‌شود: $R_{\text{خاموش}} = 40 \Omega$

اگر توان لامپ $P = 100 \text{ W}$ و ولتاژ اعمال شده به آن $V = 220 \text{ V}$ باشد، مقاومت لامپ روشن به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow R = \frac{V^2}{P} = \frac{220^2 \times 220}{100} \Rightarrow R_{\text{روشن}} = 484 \Omega$$

از آنجایی که با افزایش دما، مقاومت رسانا افزایش می‌یابد، مقاومت لامپ روشن به دلیل دمای بالای آن بسیار بیشتر از مقاومت لامپ خاموش است.

(۱۰۲) مقداری آب به جرم m و دمای θ_1 را درون یک گرماسنج قرار می‌دهیم. مداری شامل یک گرمکن الکتریکی، آمپرسنج و منبع تغذیه با ولتاژ معین تشکیل

داده و گرمکن را داخل گرماسنج می‌گذاریم. گرمکن را برای مدت زمان مشخصی روشن و جریان عبوری و ولتاژ اعمال شده به مدار را اندازه‌گیری می‌کنیم. سپس با کمک دماسنج تغییر دمای آب را اندازه‌گیری می‌کنیم. مشاهده می‌شود که گرمای لازم برای تغییر دمای آب ($Q = mc\Delta\theta$) با انرژی مصرفی گرمکن ($t = Vit$) برابر است.

۱۰۳ کافی است که مقدارهای داده‌شده را در رابطه $r_1 I^2 = P_{\text{تلف شده}}$ قرار دهیم:

$$P_{\text{تلف شده}} = r_1 I^2 = 1\Omega \times (2A)^2 = 4W$$

۱۰۴ برای به دست آوردن توان خروجی اصلاً کار سختی نداریم:

$$P_{\text{خروجی باتری}} = \varepsilon I - r I^2 = (12V)(2A) - (2\Omega)(2A)^2 = 24W - 8W = 16W$$

برای به دست آوردن توان مصرفی در مقاومت هم کار سختی نداریم:

$$P_{\text{مصرفی مقاومت}} = R I^2 = (4\Omega)(2A)^2 = 16W$$

همان‌طور که براساس پایستگی انرژی انتظار داریم، توان مصرفی در مقاومت برابر توان خروجی در باتری است. این به معنای این است که انرژی تولیدشده در باتری در مقاومت مصرف می‌شود.

۱۰۵ توان تلف‌شده در باتری از رابطه $r I^2$ محاسبه می‌شود:

$$r I_1^2 - r I_2^2 = -14 \Rightarrow r(9 - 16) = -14 \Rightarrow r = 2\Omega$$

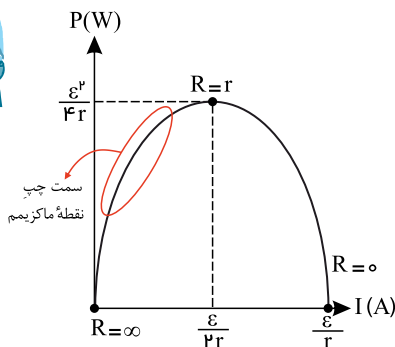
$$I_1 = 4A \rightarrow P_1 = \varepsilon I_1 - r I_1^2 = 4\varepsilon - 2 \times 16$$

$$I_2 = 3A \rightarrow P_2 = \varepsilon I_2 - r I_2^2 = 3\varepsilon - 2 \times 9$$

$$P_2 - P_1 = 2W \Rightarrow 3\varepsilon - 18 - (4\varepsilon - 32) = 2 \Rightarrow \varepsilon = 12V$$

۱۰۶ نمودار تابع $P = \varepsilon I - r I^2$ برحسب I مطابق شکل روبه‌رو است.

با توجه به نمودار درمی‌یابیم اگر $R > r$ باشد، در سمت چپ نقطهٔ ماکزیمم قرار داریم و با افزایش R و کاهش I واضح است توان خروجی کاهش می‌یابد.



۱۰۷ در هر مرحله، مقاومت معادل و جریان مدار و پس از آن توان را محاسبه می‌کنیم.

در ابتدا داریم:

$$R_{r_i} = 1\Omega \rightarrow R_{eq} = R_L + R_{r_i} = 1 + 1 = 2\Omega, I = \frac{\varepsilon}{R_{eq} + r} = \frac{12}{2 + 4} = \frac{12}{6} = 2A$$

$$P_{r_i} = R_{r_i} I^2 = 1 \times (2)^2 = 4W$$

$$P_{\text{خروجی مولد}} = R_{eq} I^2 = 2 \times (2)^2 = 8W$$

و در حالت دوم داریم:

$$R_{r_f} = 7\Omega \rightarrow R'_{eq} = 1 + 7 = 8\Omega, I' = \frac{\varepsilon}{R'_{eq} + r} = \frac{12}{8 + 4} = \frac{12}{12} = 1(A)$$

$$P'_{r_f} = R_{r_f} I'^2 = 7 \times (1)^2 = 7W$$

$$P'_{\text{خروجی مولد}} = R'_{eq} I'^2 = 8 \times 1^2 = 8W \rightarrow \Delta P_r = 7 - 4 = 3W$$

$$\Delta P_{\text{خروجی مولد}} = 0$$

(دقت کنید که در هر مرحله، توان خروجی مولد را با استفاده از توان مصرفی مقاومت خارجی مدار محاسبه کرده‌ایم!!)

۱۰۸ برای توان مولد داریم:

$$P = \varepsilon I - r I^2 = \varepsilon \left(\frac{\varepsilon}{R + r} \right) - r \left(\frac{\varepsilon}{R + r} \right)^2 = \frac{R \varepsilon^2}{(R + r)^2}$$

$$R = 0.5 \Rightarrow P = 32 \Rightarrow 32 = \frac{0.5 \times \varepsilon^2}{(0.5 + r)^2} \quad (I)$$

$$R = 3 \Rightarrow P = 27 \Rightarrow 27 = \frac{3 \times \varepsilon^2}{(3 + r)^2} \quad (II)$$

دو رابطه را بر هم تقسیم می‌کنیم

$$\frac{32}{27} = \frac{0.5 \times (3 + r)^2}{3 \times (0.5 + r)^2} \Rightarrow \frac{64}{9} = \frac{(3 + r)^2}{(0.5 + r)^2} \Rightarrow \frac{8}{3} = \frac{3 + r}{0.5 + r}$$

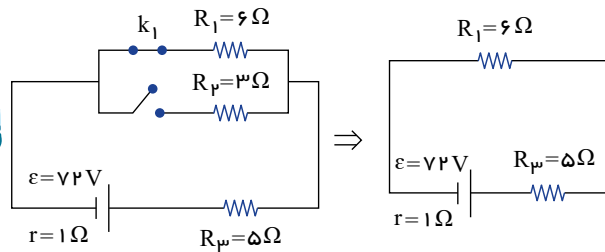
$$\Rightarrow 4 + 8r = 9 + 3r \Rightarrow 5r = 5 \Rightarrow r = 1 \Omega$$

$$II) \frac{27}{(3 + 1)^2} = \frac{3 \times \varepsilon^2}{(3 + 1)^2} \Rightarrow \varepsilon^2 = 9 \times 16 \Rightarrow \varepsilon = 3 \times 4 = 12V$$

می‌دانیم هنگامی که $R = r$ شود، توان خروجی مولد بیشینه می‌شود. بنابراین داریم:

$$P = \frac{R\varepsilon^2}{(R + r)^2} \xrightarrow{R=r} P_{max} = \frac{r\varepsilon^2}{(r + r)^2} = \frac{r\varepsilon^2}{(r + r)^2} \Rightarrow P_{max} = \frac{\varepsilon^2}{4r} = \frac{12^2}{4 \times 1} = 36W$$

۱۰۹ جهت جریان تولیدی منبع در مدار به گونه‌ای است که جریان احتمالی در شاخه‌های شامل دیود از راست به چپ است؛ ولی این احتمال فقط در شاخه بالایی مدار که دیود آن موافق جهت یادشده بسته شده و تقریباً مانند کلید بسته عمل می‌کند، اتفاق می‌افتد و عبور از شاخه پایینی جلوی جریان را تقریباً سد می‌کند (مانند کلید باز عمل می‌کند) بنابراین ابتدا مدار را ساده می‌کنیم.



روش اول:

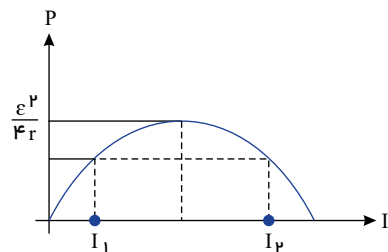
$$I = \frac{\varepsilon}{R_{eq} + r} = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_p + r} = \frac{12}{6 + 5 + 1} = \frac{12}{12} = 1A$$

$$V = \varepsilon - rI = 12 - 1 \times 1 = 11V \Rightarrow P_{خروجی} = VI = 11 \times 1 = 11W$$

روش دوم:

$$P_{خروجی} = R_{eq}I^2 \xrightarrow{R_{eq}=R_1+R_p=11\Omega} P = 11 \times 1^2 = 11W$$

۱۱۰



$$I = \frac{I_1 + I_2}{2} = \frac{\frac{\varepsilon}{r} + 0}{2} = \frac{\varepsilon}{2r}$$

$$I = 1A$$

شدت جریانی که توان مفید به‌ازای آن ماکزیمم است، برابر است با: $I = \frac{\varepsilon}{2r}$

$$P = \varepsilon I - rI^2 \xrightarrow{I = \frac{\varepsilon}{2r}} P_{max} = \frac{\varepsilon^2}{4r}$$

$$\begin{cases} \epsilon = \frac{\epsilon}{2r} \\ \frac{\epsilon^2}{4r} = 72 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} r = 2\Omega \\ \epsilon = 24 \text{ ولت} \end{cases}$$

نکته: وقتی توان خروجی بیشینه است که $R = r$ باشد. (۱۱۱)

در حالت اول که مقاومت رثوستا 4Ω است و توان خروجی بیشینه است می توان نتیجه گرفت:

$$P_O \Rightarrow R_1 = r = 4\Omega$$

با توجه به رابطه توان خروجی بیشینه و مقادیر داده شده خواهیم داشت:

(توان خروجی بیشینه از یکی از رابطه های rI^2 یا $\frac{\epsilon^2}{4R}$ یا $\frac{\epsilon^2}{4r}$ به دست می آید.)

$$P_{Omax} = \frac{\epsilon^2}{4r} = \frac{\epsilon^2}{4R} \Rightarrow 100 = \frac{\epsilon^2}{4 \times 4} \Rightarrow \epsilon^2 = 1600 \Rightarrow \epsilon = 40V$$

اگر مقاومت رثوستا به 6Ω برسد، شدت جریان عبوری در مدار برابر خواهد بود با:

$$I = \frac{\epsilon}{R+r} \Rightarrow I = \frac{40}{6+4} = \frac{40}{10} = 4A$$

و توان خروجی با تغییر مقاومت رثوستا برابر است با:

$$P_O = RI^2 = 6 \times 16 = 96W$$

درصد تغییرات توان خروجی را به صورت مقابل به دست می آوریم:

$$\frac{\Delta P_O}{P_{Omax}} \times 100 = \frac{(96 - 100)}{100} = -4\%$$

علامت منفی، کاهش تغییرات را نشان می دهد.

(۱۱۲) ابتدا با توجه به اختلاف پتانسیل دو سر باتری، مقاومت درونی را محاسبه می کنیم، سپس توان تلف شده توسط مقاومت درونی مولد را می یابیم:

$$V = \epsilon - rI \rightarrow 18 = 20 - rI \rightarrow rI = 2 \rightarrow \frac{20r}{36+r} = 2 \rightarrow r = 4\Omega$$

$$I = \frac{\epsilon}{R+r} \rightarrow I = \frac{20}{36+r} = \frac{20}{36+4} = 0.5A$$

$$P = rI^2 = 4 \times \left(\frac{1}{2}\right)^2 = 1W \text{ تلف شده}$$

(۱۱۳) نکته: توان مفید مولد برابر با توان مصرفی مقاومت خارجی است. ماکزیمم توان مفید مولد یعنی بیشترین توان مصرفی مقاومت خارجی و این در حالتی است که $R = r$ باشد.

$$I = \frac{\epsilon}{R+r} \Rightarrow I = \frac{12}{2+2} = 3A$$

$$U = RI^2 t \Rightarrow U = 2 \times (3)^2 \times 60 = 1080J$$

(۱۱۴)

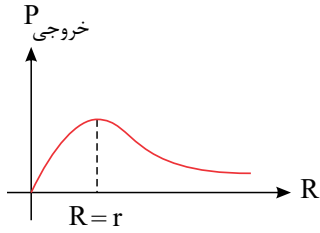
$$P = \epsilon I - rI^2 = \epsilon \left(\frac{\epsilon}{R+r}\right) - r \left(\frac{\epsilon}{R+r}\right)^2 = \frac{R\epsilon^2}{(R+r)^2}$$

$$\begin{cases} R=1 \Rightarrow P=4 \\ R=3 \Rightarrow P=3 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 4 = \frac{1 \times \epsilon^2}{(1+r)^2} \\ 3 = \frac{3\epsilon^2}{(3+r)^2} \end{cases} \Rightarrow \frac{4}{3} = \frac{(3+r)^2}{(1+r)^2 \times 3} \Rightarrow 2 = \frac{3+r}{1+r} \Rightarrow r = 1\Omega$$

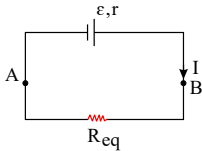
$$\Rightarrow 3 = \frac{3\epsilon^2}{(3+1)^2} \Rightarrow \epsilon = 4V$$

(۱۱۵) مطابق نمودار رسم شده توان مصرف شده در مقاومت R و یا توان مفید مولد زمانی بیشینه است که $R = r$ باشد، حال اگر با افزایش R اندازه آن به r نزدیک شود، توان مفید مولد هم افزایش می یابد. در غیر این صورت توان مفید کاهش می یابد. بنابراین در این شرایط، توان خروجی (مفید) ممکن است افزایش یا

کاهش بیابد و یا حتی ثابت بماند.



۱۱۶

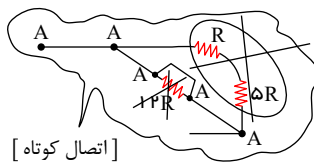
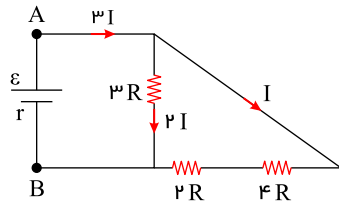


$$I = \frac{\varepsilon}{r + R_{eq}} \rightarrow \varepsilon = I(r + R_{eq})$$

$$\frac{P_{\text{خروجی}}}{P_{\text{تولیدی}}} = \frac{\varepsilon I - rI^2}{\varepsilon I} = \frac{\varepsilon - rI}{\varepsilon} = \frac{V_{AB}}{\varepsilon} = \frac{R_{eq}I}{I(r + R_{eq})}$$

$$= \frac{R_{eq}}{r + R_{eq}} = \frac{6}{4 + 6} = \frac{6}{10} = 60\%$$

۱۱۷



گام اول: مقاومت‌های $12R$ و R و $5R$ اتصال کوتاه شده، از مدار حذف می‌شوند:

گام دوم: فرض کنید جریان گذرنده از مقاومت $4R$ برابر I باشد. آن‌گاه:

$$4R \text{ مصرفی} \rightarrow P = (4R)I^2 = 18W \rightarrow \boxed{RI^2 = 2W}$$

گام سوم: مقاومت معادل مدار:

$$R_{eq} = \frac{3R \times 6R}{3R + 6R} = 2R$$

حال می‌دانیم که توان خروجی (مفید) مولد برابر با توان مصرفی کل مقاومت‌های خارجی مدار است، یعنی:

$$P_T = R_{eq}(3I)^2 = (2R)(9I^2) \rightarrow P_T = 18(RI^2) = 18 \times 2 = 36W \rightarrow P_T = 36W$$

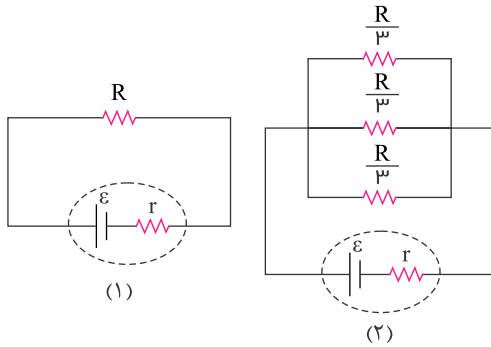
۱۱۸ ابتدا معادله را به صورت استاندارد $V = \varepsilon - rI$ در می‌آوریم:

$$I = \frac{-2}{3}V + \frac{1}{6} \Rightarrow \frac{2}{3}V = -I + \frac{1}{6} \Rightarrow V = \frac{1}{4} - \frac{3}{2}I \Rightarrow \varepsilon = \frac{1}{4}V, r = \frac{3}{2}\Omega$$

بیشترین توان مولد در حالتی است که $R = r$ باشد:

$$P_{max} = \frac{\varepsilon^2}{4r} = \frac{(\frac{1}{4})^2}{4 \times \frac{3}{2}} = \frac{1}{96}W$$

۱۱۹



$$R'_T = \frac{\frac{R}{3}}{3} = \frac{R}{9}$$

$$P = \varepsilon I \Rightarrow P' = \frac{9}{5} P \Rightarrow I' = \frac{9}{5} I$$

$$\Rightarrow \frac{\varepsilon}{\frac{R}{9} + r} = \frac{9}{5} \times \frac{\varepsilon}{R + r} \Rightarrow R + 9r = 5R + 5r \Rightarrow 4r = 4R \Rightarrow r = R$$

نکته: بیشینه توان مفید مولد (توان خروجی) در حالتی است که $R = r$ باشد. در این صورت به ازای جریان $I = \frac{\varepsilon}{2r}$ بیشترین توان خروجی برابر

$$P_{\max} = \frac{\varepsilon^2}{4r} \text{ خواهد شد.}$$

$$P = \varepsilon I - rI^2 \xrightarrow{I = \frac{\varepsilon}{2r}} P_{\max} = \frac{\varepsilon^2}{4r}$$

$$P_{\max} = \frac{\varepsilon^2}{4r} \Rightarrow 36 = \frac{24^2}{4r} \Rightarrow r = 4\Omega$$

حال اگر مقاومت $R = 8\Omega$ را به دو سر مولد ببندیم داریم:

$$V = IR \Rightarrow V = \frac{\varepsilon R}{R + r} = \frac{24 \times 8}{8 + 4} = 16 \text{ V}$$

۱۲۱ الف) در حالت کلی داریم:

$$P_{\text{خروجی}} = \varepsilon I - rI^2$$

برای دو حالت می توان نوشت:

$$\begin{cases} 9,5 = \varepsilon \times 5 - r \times (5)^2 \\ 12,6 = \varepsilon \times 7 - r(7)^2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 5\varepsilon - 25r = 9,5 \\ 7\varepsilon - 49r = 12,6 \end{cases}$$

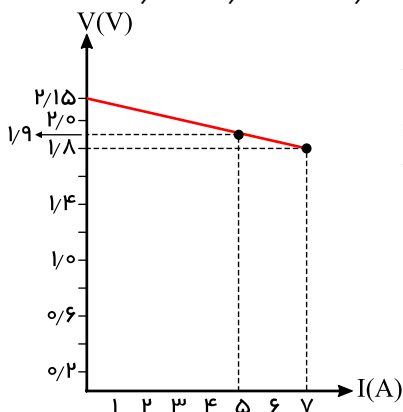
با حل دستگاه معادلات فوق داریم:

$$175r - 245r = -66,5 + 63 \Rightarrow 70r = 3,5 \Rightarrow r = 0,05\Omega$$

با جاگذاری $r = 0,05\Omega$ در یکی از معادلات:

$$5\varepsilon - 25 \times 0,05 = 9,5 \Rightarrow \varepsilon = 2,15 \text{ V}$$

ب) برای رسم نمودار، ابتدا اختلاف پتانسیل را در هر حالت محاسبه می کنیم:



$$V_1 = \varepsilon - rI_1 = 2,15 - 0,05 \times 5$$

$$\Rightarrow V_1 = 1,9 \text{ V}$$

$$V_2 = \varepsilon - rI_2 = 2,15 - 0,05 \times 7 = 1,8 \text{ V}$$

۱۲۲ دو معادله و دو مجهول داریم. مجهول های ما ε و r در رابطه های زیر هستند:

$$I_1 = 5A \Rightarrow P_1 = \varepsilon I_1 - r I_1^2 \Rightarrow 9,5W = \varepsilon(5) - r(5A)^2 \Rightarrow 9,5 = 5\varepsilon - 25r \quad (I)$$

$$I_2 = 7A \Rightarrow P_2 = \varepsilon I_2 - r I_2^2 \Rightarrow 12,6W = \varepsilon(7) - r(7)^2 \Rightarrow 12,6 = 7\varepsilon - 49r \quad (II)$$

به کمک روش حذفی، دستگاه معادله زیر را حل می‌کنیم و مقدار مقاومت درونی و نیروی محرکه را به دست می‌آوریم:

$$\begin{cases} 9,5 = 5\varepsilon - 25r \xrightarrow{\times 7} 66,5 = 35\varepsilon - 175r \\ 12,6 = 7\varepsilon - 49r \xrightarrow{\times 5} 63 = 35\varepsilon - 245r \end{cases} \quad \downarrow -$$

$$3,9 = 70r \Rightarrow r = 0,055\Omega$$

$$\xrightarrow{(I)} 9,5 = 5\varepsilon - 25 \times 0,055 \Rightarrow \varepsilon = 2,15V$$

۱۲۳ ابتدا محیط نیم‌حلقه‌ها را حساب می‌کنیم:

$$\text{محیط نیم‌حلقه بزرگ} = \pi r_1 = 3,14 \times (1,0m) \approx 3,1m$$

$$\text{محیط نیم‌حلقه کوچک} = \pi r_2 = 3,14 \times (0,5m) \approx 1,6m$$

سپس مقاومت هر نیم‌حلقه را حساب می‌کنیم:

$$R_1 = \text{محیط} \times \text{مقاومت هر متر} = (3,1m)(20 \frac{\Omega}{m}) = 62\Omega$$

$$R_2 = \text{محیط} \times \text{مقاومت هر متر} = (1,6m)(20 \frac{\Omega}{m}) = 36\Omega$$

$$R_3 = (2,0m)(20 \frac{\Omega}{m}) = 40\Omega$$

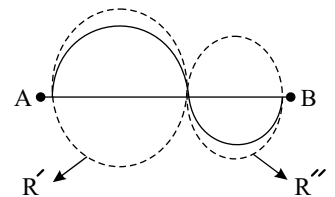
$$R_4 = (1,0m)(20 \frac{\Omega}{m}) = 20\Omega$$

$$R' = \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} = \frac{(62\Omega)(40\Omega)}{(62\Omega) + (40\Omega)} \approx 24\Omega$$

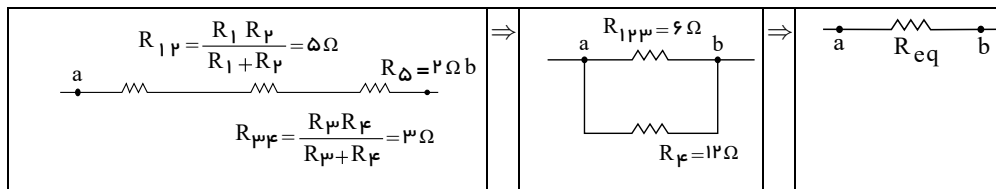
$$R'' = \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_4} = \frac{(36\Omega)(20\Omega)}{(36\Omega) + (20\Omega)} \approx 13\Omega$$

$$R_{eq} = R' + R'' = (24\Omega) + (13\Omega) = 37\Omega$$

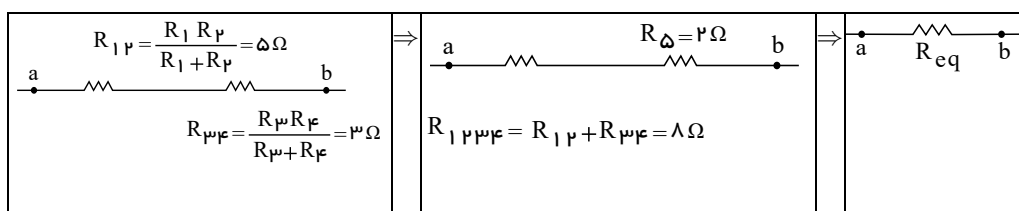
از سیم‌های راست غافل نشویم:



۱۲۴ الف



$$R_{eq} = \frac{R_{34} \times R_{12}}{R_{34} + R_{12}} = 4\Omega$$



$$R_{eq} = R_{1234} + R_5 = 10\Omega$$

ب

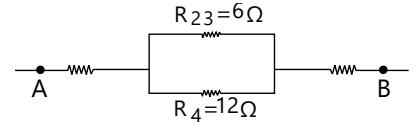
توضیح: برای دو مقاومت موازی:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \Rightarrow R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

۱۲۵ در چنین مسایلی از یک گوشه شکل که بتوانیم ۲ مقاومت سری یا موازی پیدا کنیم، شروع به ساده کردن شکل می‌کنیم تا آخر:

الف) مقاومت‌های R_3 و R_2 سری‌اند:

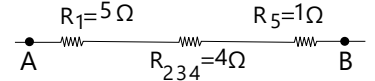
$$R_{23} = R_2 + R_3 = 6\Omega$$



$$R_{23} = R_2 + R_3 = 6\Omega$$

$$\frac{1}{R_{234}} = \frac{1}{R_{23}} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{6} + \frac{1}{12} = \frac{3}{12} \Rightarrow R_{234} = 4\Omega$$

$$R_{eq} = 5 + 4 + 1 = 10\Omega$$



ب) مقاومت‌های R_1 و R_2 با هم موازی‌اند و مقاومت‌های R_3 و R_4 هم با هم موازی‌اند:

$$\frac{1}{R_{12}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} \Rightarrow R_{12} = 2\Omega$$

$$\frac{1}{R_{34}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{24} + \frac{1}{12} \Rightarrow R_{34} = 8\Omega$$

$$R_{eq} = R_{12} + R_{34} = 2 + 8 = 10\Omega$$

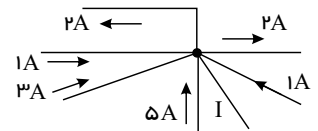
۱۲۶ باید به دو نکته توجه کرد. اول آن‌که رساناهای به هم متصل هم‌پتانسیل هستند یعنی تمام محل‌های اتصال نشان داده شده در شکل را می‌توان یک نقطه

فرض کرد و دوم آن‌که طبق قاعده انشعاب جمع جریان‌های وارد شده به یک گره یا انشعاب با جمع جریان‌های خارج شده از آن برابر است:

بدون توجه به I می‌توان نوشت:

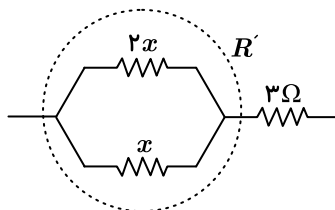
$$\text{جمع جریان‌های ورودی} = 1 + 3 + 5 + 1 = 10A$$

$$\text{جمع جریان‌های خروجی} = 2 + 2 = 4A$$



بنابراین جریان I باید برابر با $6A$ و به سمت خروج از گره باشد. $I = 6A$

۱۲۷ دو مقاومت $2x$ و x با هم موازی و مجموعه آنها با مقاومت ۳ اهمی متوالی است؛ بنابراین، با توجه به شکل زیر داریم:



$$R' = \frac{2x \times x}{2x + x} = \frac{2x^2}{3x} = \frac{2}{3}x \Rightarrow R_{eq} = R' + 3\Omega$$

$$\Rightarrow 7\Omega = R' + 3\Omega \Rightarrow R' = 7\Omega - 3\Omega = 4\Omega$$

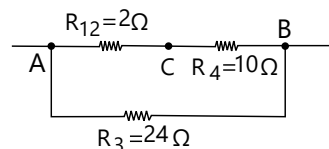
$$\Rightarrow \frac{2}{3}x = 4\Omega \Rightarrow x = \frac{4\Omega \times 3}{2} = 6\Omega$$

۱۲۸ با دقت در شکل متوجه می‌شویم که

دو سر مقاومت‌های R_1 و R_2 به هم وصل هستند پس این دو موازی‌اند:

و دو سر R_{12} همان نقاط A و C هستند.

دو سر مقاومت R_4 همان نقاط B و C هستند و دو سر مقاومت R_3 نقاط A و B هستند و شکل جدید بدست می‌آید.



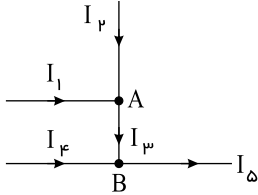
حالا مشاهده می‌شود که R_{12} با R_4 سری است و حاصل آنها با R_3 موازی است:

$$R_{123} = R_{12} + R_3 = 2 + 10 = 12\Omega \Rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_{123}} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{12} + \frac{1}{24} = \frac{3}{24} \Rightarrow R_{eq} = 8\Omega$$

تکنیک اسم گذاری دو سر مقاومت ها کمک می کند که بهتر بتوانیم شکل های جدید را رسم کنیم.

۱۲۹ گزینه ب درست است. بنابر قاعده گره، مجموع جریان هایی که به هر نقطه انشعاب (گره) در مدار وارد می شود برابر با مجموع جریان هایی است که از آن

نقطه انشعاب (گره) خارج می شود. بدیهی است که با توجه به شکل در گره A، جریان I_3 خروجی، یعنی $I_3 = I_1 + I_2$ است و در گره B: $I_3 = I_4 + I_5$



۱۳۰

الف

۱۳۱

موازی زیرا اگر یکی از مصرف کننده ها در مدار مشکلی پیدا کرد یا جریان عبوری از آن قطع شد بقیه قسمت های مدار (مصرف کننده ها) آسیب نبینند.

$$R_{12} = \frac{6 \times 12}{6 + 12} = 4\Omega \Rightarrow R_{eq} = 4 + 8 = 12\Omega$$

$$I = \frac{V}{R} \Rightarrow I = \frac{36}{12} = 3A \xrightarrow{I_1 = \text{جریان مقاومت ۶ اهمی}} I_1 + 2I_2 = 3A \Rightarrow I_2 = 1A, \quad I_1 = 2A$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{12}{6} = 2$$

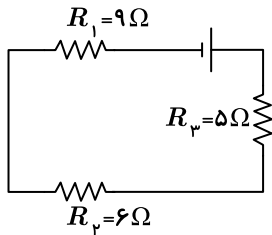
۱۳۲

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{R_C}{R_D} \xrightarrow{R = \frac{\rho L}{A}} \frac{R_C}{R_D} = \frac{L_C}{L_D} \times \left(\frac{r_D}{r_C}\right)^2 \xrightarrow{L_C = 2L_D, r_C = \frac{1}{2}r_D} \frac{I_2}{I_1} = 2 \times (2)^2 = 8$$

۱۳۳ شاید اول بگویم که این مدار اصلاً تک حلقه نیست. اگر این را با خودتان گفته اید، به این نکته توجه نکرده اید که سیمی که ولت سنج در آن قرار دارد، مثل

یک سیم قطع شده است و تأثیری در مدار ندارد؛ پس، مدار ما به شکل روبه رو است و ولت سنج، اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت معادل R_1 و R_2 را اندازه می گیرد.

با توجه به شکل بالا R_1 ، R_2 و R_3 با هم متوالی اند و اختلاف پتانسیل دو سر مولد هم، اختلاف پتانسیل دو سر مجموعه این مقاومت ها است؛ پس:



$$R_{12} = R_1 + R_2 = 9\Omega + 6\Omega = 15\Omega$$

$$R_{123} = R_1 + R_2 + R_3 = 9\Omega + 6\Omega + 5\Omega = 20\Omega$$

ولتاژ دو سر R_{12} طبق فرض مسئله $15V$ است؛ پس:

$$\frac{R_{12}}{R_{eq}} = \frac{15V}{\Delta V} \Rightarrow \frac{15\Omega}{20\Omega} = \frac{15V}{\Delta V} \Rightarrow \Delta V = 20V$$

۱۳۴ دو مقاومت R_1 و R_2 سری اند پس دارای یک جریان هستند:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 \Rightarrow V_{ab} = V = (R_1 + R_2)I \Rightarrow I = \frac{V}{R_1 + R_2}$$

اکنون می توان نوشت:

$$V_1 = R_1 I \Rightarrow V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V, \quad V_2 = R_2 I \Rightarrow V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V$$

در حالت کلی می توان برای تقسیم ولتاژ بین دو مقاومت سری ابتدا $\frac{V}{R_1 + R_2}$ را محاسبه کرد سپس برای محاسبه V_1 عدد فوق را در خود R_1 ضرب کرد و برای

محاسبه V_2 باید $\frac{V}{R_1 + R_2}$ را در خود مقاومت R_2 ضرب نمود.

۱۳۵ دو مقاومت R_1 و R_2 با هم موازی اند؛ پس:

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow V_{ab} = R_{eq} \cdot I = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} I$$

با داشتن V_{ab} که مربوط به دو سر هر یک از R_1 و R_2 است می توان جریان هر یک را محاسبه کرد:

$$V_{ab} = R_1 I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{V_{ab}}{R_1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

$$V_{ab} = R_2 I_2 \Rightarrow I_2 = \frac{V_{ab}}{R_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

(در حالت کلی برای دو مقاومت موازی ابتدا $\frac{I}{R_1 + R_2}$ را پیدا می کنیم سپس برای پیدا کردن جریان عبوری از R_1 عبارت $\frac{I}{R_1 + R_2}$ را در R_2 (دیگری)

ضرب می کنیم و برای پیدا کردن جریان عبوری از R_1 عبارت $\frac{I}{R_1 + R_2}$ را در R_1 (مقاومت دیگر) ضرب می کنیم.)

۱۳۶

$$R_1 = \frac{3}{4}R, \quad R_2 = \frac{1}{4}R$$

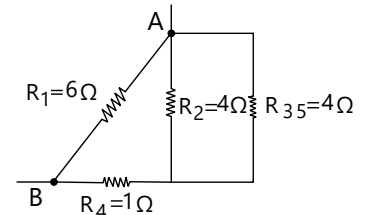
$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow \frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{\frac{3}{4}R} + \frac{1}{\frac{1}{4}R} = \frac{4}{3R} + \frac{4}{R}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_{AB}} = \frac{4 + 12}{3R} = \frac{16}{3R} \Rightarrow R_{AB} = \frac{3}{16}R$$

۱۳۷ با دقت در شکل می بینیم که مقاومت های R_3 و R_5 با هم سری هستند چون انشعابی بین آنها نیست:

$$R_{35} = R_3 + R_5 = 2 + 2 = 4\Omega$$

اکنون مشاهده می شود R_{35} با R_2 موازی هستند:

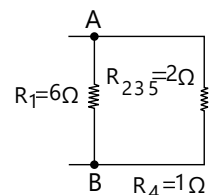


$$\frac{1}{R_{235}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{35}} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{2}{4} \Rightarrow R_{235} = 2\Omega$$

مقاومت های R_4 و R_{235} با هم سری هستند و حاصل در نهایت با R_1 موازی است:

$$R_{4235} = R_4 + R_{235} = 1 + 2 = 3\Omega$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_{4235}} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3} = \frac{3}{6} \Rightarrow R_{eq} = 2\Omega$$



۱۳۸ با کمی دقت در شکل و توجه به این نکته که «رساناهای به هم متصل، هم پتانسیل هستند» متوجه می شویم که یک سر هر سه مقاومت R_1 , R_2 , R_3 به

نقطه A متصل هستند (و هم پتانسیل با آن) و سر دیگر همه آنها به نقطه B متصل هستند (و هم پتانسیل با آن) و این تعریف موازی بودن مقاومت هاست. پس:

$$\text{سه مقاومت موازی: } \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{18}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{6 + 3 + 1}{18} = \frac{10}{18} \Rightarrow R_{eq} = 1.8\Omega$$

۱۳۹ باید توجه کرد که مقاومت الکتریکی یک سیم به طول آن وابسته است پس ابتدا محیط حلقه را پیدا می کنیم:

$$\text{محیط حلقه} = 2\pi r = 2 \times 3 \times 0.25 = 1.5m$$

در این شکل دو نیم دایره از سیم با هم موازی شده اند و چون محیط حلقه ۱.۵ متر شده است پس هر نیم حلقه دارای طول ۰.۷۵m است:

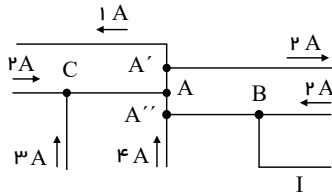
$$R = \left(\text{طول هر نیم حلقه} \right) \times \left(\text{مقاومت واحد طول} \right) = 2 \times 0.75 = 1.5\Omega$$

ضمناً دو نیم حلقه با هم موازی اند:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{2}{R} \Rightarrow R_{eq} = \frac{R}{2} = \frac{1,5}{2} = 0,75 \Omega$$

۱۴۰

از آنجا که رساناهای به هم متصل هم پتانسیل هستند، می توان نقطه های A ، B ، C و A' را یک نقطه در نظر گرفت و همگی را همان گره A فرض کرد.

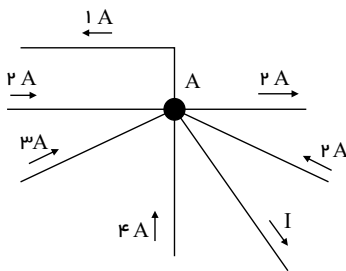


$$A \text{ به گره } A = 2 + 2 + 3 + 4 = 11A$$

$$A \text{ از گره } A = 2 + 1 = 3A$$

$$I + 3 = 11 \Rightarrow I = 8A$$

پس I هم باید از A خارج شده باشد:



۱۴۱

اگر یکی از لامپ های متوالی بسوزد، در واقع مسیر عبور جریان قطع می شود؛ یعنی دیگر جریان نمی تواند از بقیه لامپ ها عبور کند و همگی خاموش می شوند. به همین دلیل در خودروها وسایل به صورت موازی به منبع نیروی محرکه الکتریکی متصل می شوند، تا با از کار افتادن یکی، بقیه از کار نرفتند.

۱۴۲

الف اختلاف پتانسیل دو سر هر یک از لامپ ها در حالت موازی (مدار ۲) برابر V است؛ بنابراین، توان مصرفی این لامپ ها در این حالت $P_1 = \frac{V^2}{R_1}$ و

$P_2 = \frac{V^2}{R_2}$ است؛ اما، در حالت متوالی (مدار ۱) اختلاف پتانسیل دو سر لامپ L_1 برابر V_1 و اختلاف پتانسیل دو سر لامپ L_2 برابر V_2 است؛ پس، توان

لامپ های L_1 و L_2 به ترتیب $P'_1 = \frac{V_1^2}{R_1}$ و $P'_2 = \frac{V_2^2}{R_2}$ است. می دانیم V_1 و V_2 کوچک تر از V هستند؛ پس داریم:

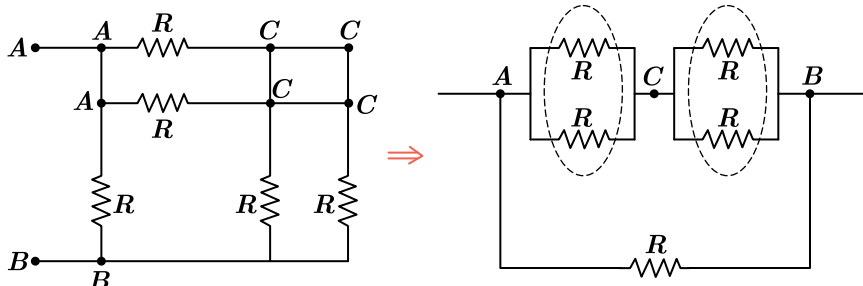
$$V_1 < V \Rightarrow \frac{V_1^2}{R_1} < \frac{V^2}{R_1} \Rightarrow P'_1 < P_1$$

بنابراین، نور لامپ L_1 در حالت موازی بیشتر از حالت سری است؛ چون، توان مصرفی لامپ در حالت موازی بیشتر است.

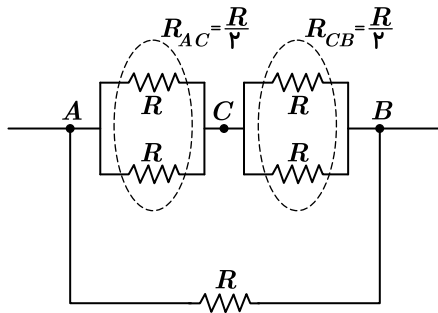
به همین ترتیب نور لامپ L_2 در حالت موازی بیشتر از حالت سری است؛ چون، توان مصرفی لامپ در حالت موازی بیشتر است.

ب سری؛ چون با سوختن یکی از لامپ ها، جریان در مدار قطع می شود و در نتیجه لامپ دیگر خاموش می شود.

گام اول: ابتدا باید با تاکتیک نام گذاری مدار را ساده تر کنیم.



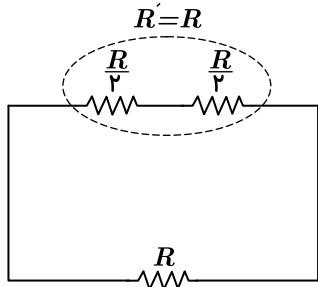
گام دوم: مقاومت معادل های بین AC و CB برابر است با:



$$R_{AC} = \frac{R}{n} \xrightarrow{n=2} \frac{R}{2}$$

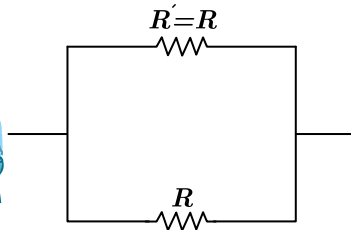
$$R_{CB} = \frac{R}{n} \xrightarrow{n=2} \frac{R}{2}$$

گام سوم: R_{AC} و R_{CB} با هم متوالی‌اند؛ پس، مقاومت معادل آنها برابر است با:



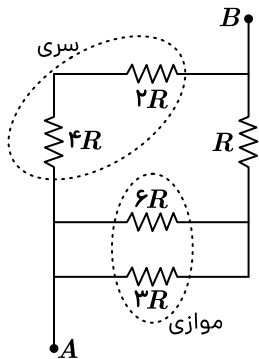
$$R' = R_{AC} + R_{CB} = \frac{R}{2} + \frac{R}{2} = R$$

گام آخر: R' و R با هم موازی‌اند و $R = 6\Omega$ ؛ بنابراین:



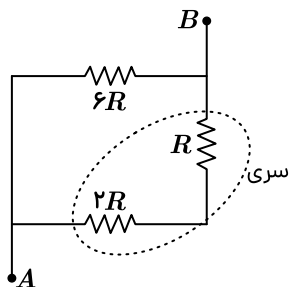
$$R_{eq} = \frac{R}{2} = \frac{6}{2} = 3\Omega$$

مدار داده شده در شکل را به صورت زیر در چند مرحله ساده می‌کنیم: **۱۴۴**



$2R : 2R + 4R = 6R$ سری هستند.

$3R : \frac{3R \times 6R}{3R + 6R} = 2R$ موازی هستند.

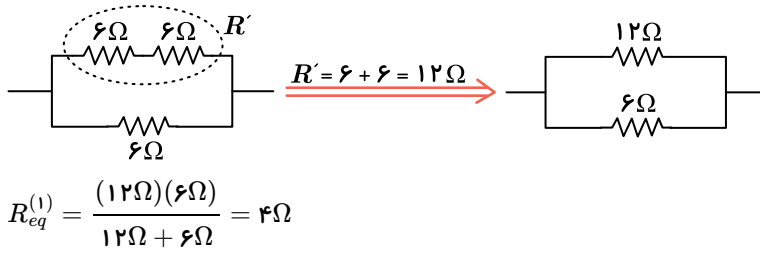


$2R : 2R + R = 3R$ سری هستند.

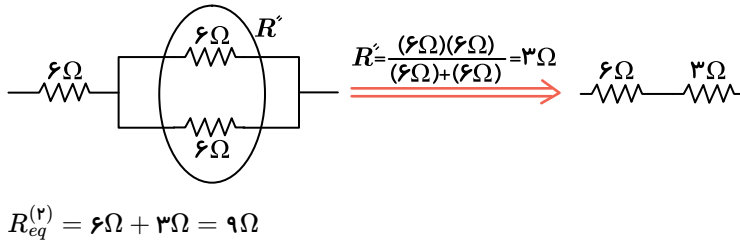
$6R : \frac{6R \times 3R}{6R + 3R} = 2R$ موازی هستند.

بنابراین $R_T = 2R = 6\Omega$ خواهد بود.

۱۴۵ در شکل (۱) دو مقاومت شاخه بالایی با هم متوالی و معادل آنها با مقاومت شاخه پایینی موازی است.



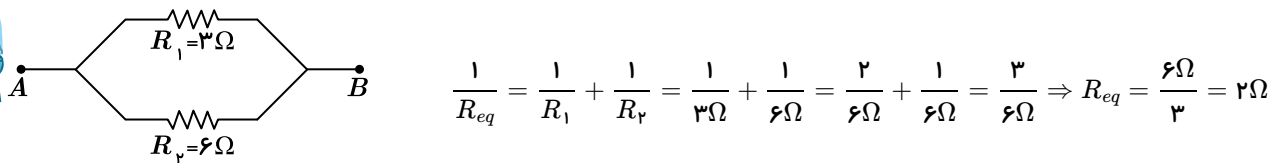
در شکل (۲) ابتدا دو مقاومت موازی را تبدیل به یک مقاومت می‌کنیم. با این کار، مقاومت معادل آنها با مقاومت سمت چپ متوالی می‌شود:



بنابراین $\frac{R_{eq}^{(1)}}{R_{eq}^{(2)}}$ برابر است با:

$$\frac{R_{eq}^{(1)}}{R_{eq}^{(2)}} = \frac{4\Omega}{9\Omega} = \frac{4}{9}$$

۱۴۶ دو سر مقاومت R_3 با یک سیم به هم وصل شده است؛ بنابراین، دو سر آن اتصال کوتاه شده و مطابق شکل روبه‌رو از مدار حذف می‌شود؛ به این ترتیب، فقط مقاومت‌های موازی R_1 و R_2 در مدار هستند و مقاومت معادل آنها برابر است با:



۱۴۷ سه مقاومتی که در شکل زیر مشخص کرده‌ایم، متوالی‌اند. مقاومت معادل این سه مقاومت را به دست می‌آوریم و مدار را دوباره با استفاده از این مقاومت معادل رسم می‌کنیم:

$$R_1 = 2\Omega + 2\Omega + 2\Omega = 6\Omega$$

۱۴۸ جریان به صورت $I = \frac{\varepsilon}{R_{eq} + r}$ به دست می‌آید؛ پس، ما تنها کافی است به دنبال مقاومت معادل در دو حالت متوالی و موازی بگردیم. مقاومت‌ها با هم مساوی‌اند؛ بنابراین داریم:

$$\begin{aligned} \text{متوالی: } R_{eq} &= nR \stackrel{n=3}{=} 3R \\ \text{موازی: } R'_{eq} &= \frac{R}{n} \stackrel{n=3}{=} \frac{R}{3} \end{aligned}$$

حالا برای حل سوال، همه چیز را داریم:

$$\frac{I_{\text{متوالی}}}{I_{\text{موازی}}} = \frac{\frac{\varepsilon}{R_{eq} + r}}{\frac{\varepsilon}{R'_{eq} + r}} = \frac{\frac{1}{3R + R}}{\frac{1}{\frac{R}{3} + R}} = \frac{\frac{1}{4R}}{\frac{1}{\frac{4}{3}R}} = \frac{\frac{1}{4R}}{\frac{3}{4R}} = \frac{1}{3}$$

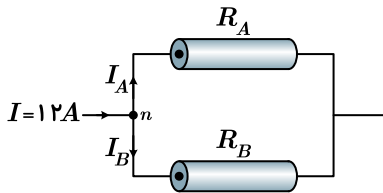
۱۴۹ در مقاومت‌های موازی، اختلاف پتانسیل دو سر هر مقاومت با اختلاف پتانسیل دو سر مجموعه یکسان است؛ پس، ابتدا مقاومت معادل دو سر مجموعه را به دست می‌آوریم:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{12\Omega} + \frac{1}{4\Omega} + \frac{1}{6\Omega} = \frac{1 + 3 + 2}{12\Omega} = \frac{6}{12\Omega} \Rightarrow R_{eq} = \frac{12\Omega}{6} = 2\Omega$$

حالا عددی را که آمپرسنج نشان می‌دهد، محاسبه می‌کنیم:

$$V_{\text{کل}} = R_{eq}I \Rightarrow (10V) = (2\Omega)I \Rightarrow I = 5A$$

۱۵۰ ابتدا شکل سوال را رسم می‌کنیم تا بفهمیم با چه مسئله‌ای سر و کار داریم:



جریان I وقتی به گره n می‌رسد، به نسبت عکس مقاومت‌ها بین آنها تقسیم می‌شود:

$$\frac{I_A}{I_B} = \frac{R_B}{R_A} = \frac{\rho_B \frac{l_B}{A_B}}{\rho_A \frac{l_A}{A_A}} \xrightarrow{l_A=l_B, A_A=A_B} \frac{I_A}{I_B} = \frac{\rho_B}{\rho_A} = \frac{4 \times 10^{-8} \Omega \cdot m}{2 \times 10^{-8} \Omega \cdot m} = 2$$

پس $\frac{I_A}{2} = I_B$ است. از طرفی می‌دانیم $I = I_A + I_B$ است؛ بنابراین:

$$I = I_A + I_B = I_A + \frac{1}{2}I_A = \frac{3}{2}I_A \Rightarrow 12A = \frac{3}{2}I_A \Rightarrow I_A = 8A$$

گام اول: ابتدا مقاومت R را به دست می‌آوریم: **۱۵۱**

$$R = \frac{V}{I} = \frac{24V}{12V} = 2\Omega$$

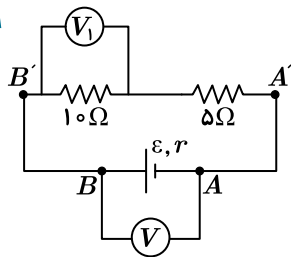
گام دوم: مقاومت معادل بین دو نقطه B و C را به دست می‌آوریم:

$$R_{eq}^{BC} = 4\Omega + 2\Omega + 10\Omega = 16\Omega$$

گام سوم: حالا اختلاف پتانسیل بین این دو نقطه را با استفاده از رابطه $V_{BC} = IR_{eq}^{BC}$ محاسبه می‌کنیم:

$$V_{BC} = IR_{eq}^{BC} = (12A)(16\Omega) = 192V$$

۱۵۲ با توجه به شکل روبه‌رو می‌بینید که ولت‌متر V ، اختلاف پتانسیل دو سر مجموعه مقاومت‌ها را نشان می‌دهد؛ چون، مطابق شکل، از نقطه A تا نقطه A' و از نقطه B تا نقطه B' هیچ مقاومت یا مولدی نیست و در بین این نقاط فقط سیم وجود دارد که اختلاف پتانسیلی ایجاد نمی‌کند:



$$\frac{V_1}{V} = \frac{R_1}{R_{eq}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} = \frac{10\Omega}{10\Omega + 5\Omega} = \frac{10\Omega}{15\Omega} = \frac{2}{3} \Rightarrow \frac{20}{V} = \frac{2}{3} \Rightarrow V = \frac{60}{2} = 30V$$

۱۵۳ الف) مقاومت‌های R_1 و R_2 متوالی و مقاومت معادل آنها با مقاومت موازی است. همچنین مقاومت‌های R_4 و R_5 متوالی و مقاومت معادل آنها با مقاومت معادل سه مقاومت بالا موازی است. بنابراین:

$$R_{12} = R_1 + R_2 = 8 + 8 = 16\Omega, \quad R_{45} = R_4 + R_5 = 8 + 8 = 16\Omega$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_{45}} = \frac{1}{16} + \frac{1}{8} + \frac{1}{16} = \frac{4}{16} \Rightarrow R_{eq} = \frac{16}{4} = 4\Omega$$

ب) مقاومت‌های R_1 و R_2 متوالی و مقاومت معادل آنها با R_3 موازی و همچنین مقاومت معادل این سه مقاومت با مقاومت R_5 متوالی و مقاومت معادل کل آنها، با مقاومت R_4 موازی است. بنابراین:

$$R_{12} = R_1 + R_2 = 8 + 8 = 16\Omega$$

$$\frac{1}{R_{123}} = \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{16} + \frac{1}{8} = \frac{3}{16} \Rightarrow R_{123} = \frac{16}{3}\Omega$$

$$R_{1235} = R_{123} + R_5 = \frac{16}{3} + 8 = \frac{40}{3}\Omega$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_{1235}} + \frac{1}{R_4} = \frac{3}{40} + \frac{1}{8} = \frac{8}{40} \Rightarrow R_{eq} = \frac{40}{8} \Rightarrow R_{eq} = 5\Omega$$

۱۵۴ جریان و مقاومت در هر شاخه نسبت وارون دارند ($\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$)، یعنی شاخه‌ای که مقاومت کمتری دارد، جریان بیشتری از خود عبور می‌دهد.

۱۵۵ در شکل (الف) مقاومت‌ها پشت سر هم و دارای یک جریان هستند. پس متوالی‌اند.

در شکل (ب) اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت‌ها یکسان است به عبارتی سر اول هر دو مقاومت به یک پتانسیل و سر دوم هر دو هم به یک پتانسیل متصل است، پس موازی‌اند.

در شکل (پ) نیز شبیه شکل (ب)، سرهای متناظر هم‌پتانسیل هستند. پس این دو مقاومت نیز موازی‌اند.

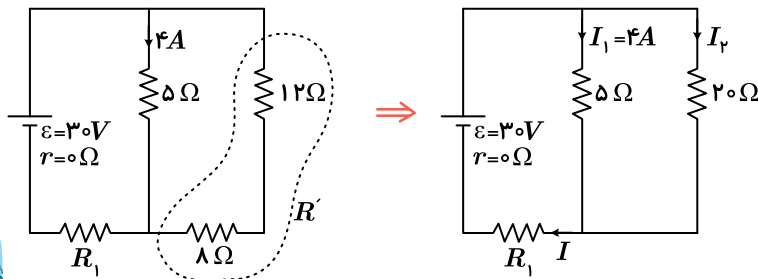
در شکل (ت) اگر مقاومت‌ها مشابه نباشند، نه حالت موازی داریم و نه حالت سری ولی اگر مشابه باشند، از مقاومت وسط جریانی عبور نمی‌کند و قابل حذف است (چون شکل کاملاً متقارن است و پتانسیل سر بالایی و پائینی آن حتماً یکسان خواهد شد). به این ترتیب دو مقاومت بالایی با هم و دو مقاومت پایینی هم با هم متوالی‌اند و مقاومت حاصل در شاخه بالایی و پایینی موازی خواهند بود. (یا دو مقاومت سمت چپ موازی، دو مقاومت سمت راست موازی و در نهایت معادل آنها با هم متوالی است).

۱۵۶ طول و جنس دو رسانا یکسان ولی سطح مقطع رسانای (۱) کم‌تر است بنابراین مقاومت آن بیش‌تر است و از طرفی دو رسانا به صورت متوالی قرار دارند. شدت جریان عبوری از آن‌ها برابر است. بنابر رابطه $U = RI^2t$ انرژی الکتریکی در رسانای (۱) بیش‌تر مصرف می‌شود.

۱۵۷ برای اینکه بتوان مصرفی در R_1 را به دست بیاوریم، باید R_1 و جریان عبوری از آن را داشته باشیم که هیچ‌کدام را نداریم. به همین خاطر اول به سراغ به دست آوردن این دو مقدار می‌رویم.

مقاومت‌های ۱۲ و ۸ اهمی با هم متوالی‌اند؛ پس، به جای آن‌ها مقاومت معادلشان را قرار می‌دهیم:

$$R' = 12\Omega + 8\Omega = 20\Omega$$



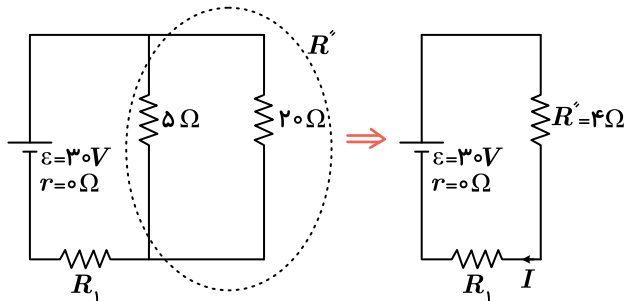
حالا جریان عبوری از مقاومت ۲۰ اهمی را به دست می‌آوریم:

$$\frac{20\Omega}{5\Omega} = \frac{I_1}{I_r} \Rightarrow 4 = \frac{4A}{I_r} \Rightarrow I_r = 1A$$

حالا جریان کل عبوری از مدار را به دست می‌آوریم که همان جریان عبوری از R_1 است:

$$I = I_1 + I_r = 4A + 1A = 5A$$

برای به دست آوردن مقدار R_1 ، از مقدار جریان عبوری از مدار تک‌حلقه یعنی $I = \frac{\varepsilon}{R_{eq} + r}$ کمک می‌گیریم. ε ، I و r را داریم، R_{eq} به دست می‌آید. با محاسبه R_{eq} به راحتی R_1 به دست می‌آید؛ چون، طبق شکل زیر R_1 با مجموعه مقاومت‌های ۲۰ و ۵ اهمی متوالی است. مقاومت‌های ۲۰ و ۵ اهمی با هم موازی هستند و معادل آن‌ها $R'' = \frac{20 \times 5}{20 + 5} = 4\Omega$ است:



$$I = \frac{\varepsilon}{R_{eq} + r} \Rightarrow 5A = \frac{30V}{(4\Omega + R_1) + 0} \Rightarrow 4\Omega + R_1 = 6\Omega \Rightarrow R_1 = 2\Omega$$

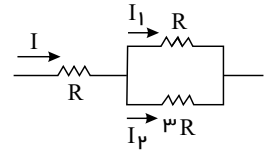
حالا می‌توانیم توان مصرفی R_1 را به دست آوریم:

$$P_1 = R_1 I^2 \Rightarrow P_1 = (2\Omega)(5A)^2 = 2 \times 25 = 50W$$

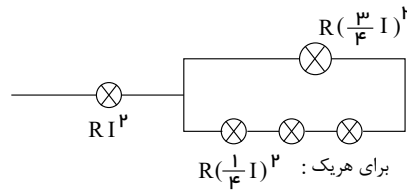
۱۵۸ با استفاده از روش تقسیم جریان، I_1 و I_r را محاسبه می‌کنیم.

$$I_1 = \frac{3R}{R + 3R} \times I = \frac{3}{4}I$$

$$I_2 = \frac{R}{R + 3R} \times I = \frac{1}{4}I$$



پس توان مصرفی هر یک از مجموعه‌ها:



بنابراین بیش‌ترین توان مصرفی متعلق به همان لامپ اول است یعنی $RI^2 = 80W$

پس:

$$R\left(\frac{3}{4}I\right)^2 = \frac{9}{16}RI^2 = \frac{9}{16} \times 80 = 45W$$

$$R\left(\frac{1}{4}I\right)^2 = \frac{1}{16}RI^2 = \frac{1}{16} \times 80 = 5W$$

$$P_{\text{کل}} = 80 + 45 + (5 + 5 + 5) = 140W$$

پس توان کل:

ابتدا مقاومت معادل مدار را محاسبه می‌کنیم: **۱۵۹**

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{4 \times 12}{4 + 12} = 3\Omega$$

$$R_{eq} = R_1 + R_{23} = 2 + 3 = 5\Omega$$

$$I_{\text{کل مدار}} = I_1 = \frac{\varepsilon}{r + R_{eq}} = \frac{12}{1 + 5} = 2A$$

این جریان R_1 هم هست.

برای محاسبهٔ جریان عبوری از R_2 و R_3 دو راه داریم:

$$\text{راه اول: } V_{ab} = R_{23}I = 3 \times 2 = 6V$$

$$V_{ab} = R_2 I_2 \Rightarrow I_2 = \frac{6}{4} = 1.5A$$

$$V_{ab} = R_3 I_3 \Rightarrow I_3 = \frac{6}{12} = 0.5A$$

راه دوم تقسیم جریان است:

$$I_2 = \frac{R_3}{R_2 + R_3} I = \frac{12}{4 + 12} \times 2 = 1.5A$$

$$I_3 = \frac{R_2}{R_2 + R_3} I = \frac{4}{4 + 12} \times 2 = 0.5A$$

۱۶۰ الف) مقاومت‌های R_2 , R_3 , R_4 با هم موازیند یعنی ولتاژ دو سر R_4 با ولتاژ دو سر R_2 و R_3 برابر است:

$$V_{R_4} = R_4 I_4 = 3 \times 0.5 = 1.5V$$

$$V_{R_2} = 1.5V \Rightarrow V_{R_2} = R_2 I_2 \Rightarrow 1.5 = 4I_2 \Rightarrow I_2 = 0.375A$$

$$V_{R_3} = 1.5 \Rightarrow V_{R_3} = R_3 I_3 \Rightarrow 1.5 = 12I_3 \Rightarrow I_3 = 0.125A$$

بر اساس قانون جریان گره، جریان عبوری از مقاومت R_1 برابر با مجموع جریان‌های عبوری از R_2 , R_3 , R_4 :

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4 \Rightarrow I_1 = 0.375 + 0.125 + 0.5 = 1.0A$$

ب) طبق دادهٔ مسأله:

$$rI_1 = 1.5V \Rightarrow r_1 \times 1.0 = 1.5 \Rightarrow r_1 = 1.5\Omega$$

ضمناً ولتاژ دو سر B و A برابر است با اختلاف پتانسیل دو سر R_3 , R_2 , R_1 :

$$V_{AB} = V_{R_1} = 1,5V$$

با چرخش از نقطه B به A در جهت جریان I_1 :

$$V_B - xI_1 - rI + \varepsilon - R_1I_1 = V_A \Rightarrow \varepsilon - I_1(x + r + R_1) = V_A - V_B$$

$$12 - 1,5(x + 1 + 4) = 1,5 \Rightarrow 1,5(5 + x) = 10,5 \Rightarrow 5 + x = 7 \Rightarrow x = 2\Omega$$

(الف) ۱۶۱

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \Rightarrow \frac{1}{1,6} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{R_3} \Rightarrow \frac{10}{16} = \frac{1}{2} + \frac{1}{R_3}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_3} = \frac{10}{16} - \frac{1}{2} = \frac{1}{8} \Rightarrow R_3 = 8\Omega$$

(ب) با نوشتن قاعده حلقه برای این مدار و با در نظر گرفتن مقاومت معادل R_{eq} داریم:

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{eq} + r} = \frac{3}{1,6 + 1} = \frac{3}{2,6} = \frac{30}{26} \Rightarrow I = \frac{15}{13}A$$

(پ)

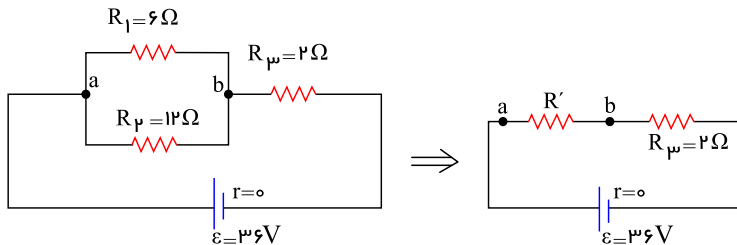
$$P_{\text{خروجی}} = \varepsilon I - rI^2 = 3 \times \frac{15}{13} - 1 \times \left(\frac{15}{13}\right)^2 \Rightarrow P_{\text{خروجی}} \simeq 2,13W$$

از آنجا که توان مصرفی مقاومت معادل با مجموع توان‌های مصرفی تک تک مقاومت‌ها برابر است می‌توان نوشت:

$$P_{\text{مصرفی}} = R_{eq}I^2 = 1,6 \times \left(\frac{15}{13}\right)^2 \Rightarrow P_{\text{مصرفی}} \simeq 2,13W$$

۱۶۲

ابتدا مدار را ساده می‌کنیم:



R_1 و R_2 موازی هستند:

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow \frac{1}{R'} = \frac{1}{6} + \frac{1}{12} = \frac{3}{12} \Rightarrow R' = 4\Omega$$

مقاومت کل مدار برابر است با:

$$R_{eq} = R' + R_3 = 4 + 2 = 6\Omega$$

$$I_{\text{مدار}} = \frac{\varepsilon}{R_{eq}} = \frac{36}{6} = 6A$$

مقاومت‌های R_3 و R' سری هستند و جریان عبوری از آن‌ها یکسان است. پس برای اختلاف پتانسیل دو سر R' داریم:

$$V_{ab} = V_{R'} = R'I \Rightarrow V_{R'} = 4 \times 6 = 24V$$

که این V_{ab} در واقع اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت ۶ اهمی نیز می‌باشد. پس داریم:

$$P = \frac{V^2}{R_1} \Rightarrow P = \frac{(24)^2}{6} = 96W$$

۱۶۳

(الف) مقاومت هر نیم حلقه برابر است با 10Ω و این دو نیم حلقه باهم موازی‌اند:

$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{10 \times 10}{10 + 10} = 5\Omega$$

پ

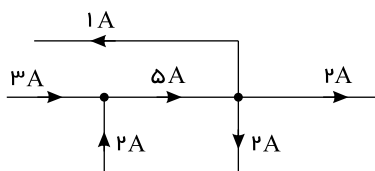
۱۶۴

الف

$$\left. \begin{array}{l} P = \frac{V^2}{R} \\ R_{T_1} \text{ سری} \\ R_{T_2} \text{ موازی} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{R_{T_2}}{R_{T_1}} \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{2R}{\frac{R}{2}} = 4$$

پ

جهت به سمت راست

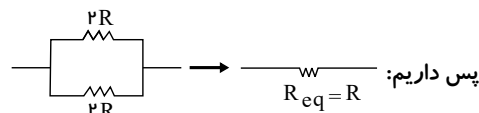
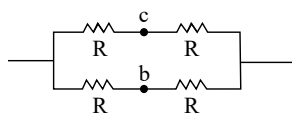


165

$$P = I^{\mathfrak{r}}R \rightarrow P = \mathfrak{r} \times (\mathfrak{r})^{\mathfrak{r}} = \mathfrak{r}\mathfrak{r}$$

$$V_c - V_a = V_b - V_a \Rightarrow V_b = V_c$$

(ب) با توجه به قسمت الف شکل مدار تبدیل می شود به:



یکسان هستند جریان آن‌ها یکسان و برابر $\frac{I}{2}$ خواهد بود.

$$P_1 = RI^r \quad , \quad P_r = P_{\text{r}} = R\left(\frac{I}{r}\right)^r = \frac{RI^r}{r}$$

بنابراین باید حداکثر توان قابل تحمل یعنی W_{60} را به لامپ (۱) نسبت دهیم به این ترتیب داریم:

$$P_1 = RI^2 = 60W$$

$$P_2 = P_3 = \frac{RI^2}{4} = \frac{60}{4} = 15W$$

$$P_{\text{کل}} = 60 + 15 + 15 = 90W$$

در نتیجه:

یعنی می توان $90W$ به دو سر b و a توان منتقل نمود.

۱۶۸ توجه کنید که اگر دو لامپ به ولتاژ اسمی که روی آن نوشته وصل شود، همان توان اسمی که رویش نوشته را ایجاد می کند. در حالت کلی آنچه ثابت می ماند مقاومت لامپ است (با فرض آنکه محاسبات مربوط به دما را دخالت ندهیم):

$$P_1 = \frac{V^2}{R_1} \Rightarrow R_1 = \frac{V^2}{P_1} = \frac{(220)^2}{60}, \quad P_2 = \frac{V^2}{R_2} \Rightarrow R_2 = \frac{V^2}{P_2} = \frac{(220)^2}{60}$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2 = \frac{(220)^2}{60} + \frac{(220)^2}{60} = \frac{(220)^2}{30}$$

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{220}{\frac{(220)^2}{30}} = \frac{30}{220} = \frac{3}{22}A$$

این جریان از هر دوی آنها می گذرد پس:

$$P_{1 \text{ جدید}} = R_1 I^2 = \frac{(220)^2}{60} \times \left(\frac{3}{22}\right)^2 = 14.4W, \quad P_{2 \text{ جدید}} = R_2 I^2 = \frac{(220)^2}{60} \times \left(\frac{3}{22}\right)^2 = 14.4W$$

$$P_t = P_{1 \text{ جدید}} + P_{2 \text{ جدید}} = 14.4 + 14.4 = 28.8W$$

تذکر: به طور کلی در این گونه سؤال ها که لامپ ها با برق شهر کار می کنند، آنها را به صورت متوالی به همان برق شهر متصل می کنیم، توان مصرفی کل آنها به صورت زیر محاسبه می شود:

$$P_t = \frac{P_1 P_2}{P_1 + P_2} \xrightarrow{\text{در اینجا}} P_t = \frac{60 \times 40}{100} = 24W$$

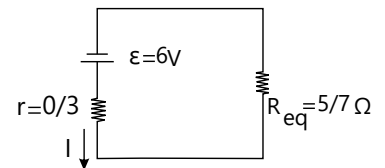
۱۶۹ ابتدا مقاومت معادل مدار را بدست می آوریم:

$$\frac{1}{R_{34}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{12} + \frac{1}{6} \Rightarrow R_{34} = 4\Omega$$

$$\frac{1}{R_{234}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{34}} = \frac{1}{6} + \frac{1}{4} \Rightarrow R_{234} = \frac{24}{10} = 2.4\Omega$$

$$R_{eq} = R_1 + R_{234} = 3.3 + 2.4 = 5.7\Omega$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{eq} + r} = \frac{6}{5.7 + 0.3} = 1A$$



چون R_1 یا مولد سری است جریان $I = 1A$ از R_1 هم می گذرد.

$$V_{\text{دو سر مولد}} = \varepsilon - rI = 6 - 0.3 \times 1 = 5.7V$$

$$\text{موازی } R_2, R_1 : R_{12} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{6}{5} = 1.2\Omega$$

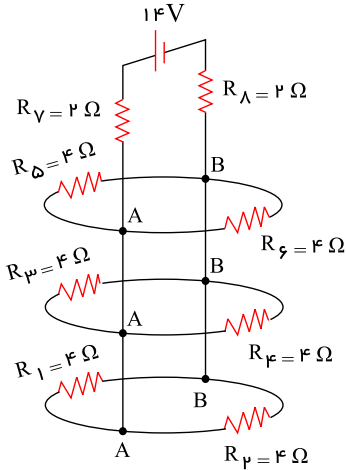
$$R_{eq} = R_{12} + R_3 = 1.2 + 4.8 = 6\Omega \Rightarrow I = \frac{V_{AB}}{R_{eq}} \Rightarrow I = \frac{12}{6} = 2A$$

اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت که بین دو نقطه A و C قرار دارد، همان اختلاف پتانسیل دو سر R_1 است:

$$V_{R_1} = V_{AC} = R_{12} I = 1.2 \times 2 = 2.4V \Rightarrow V_{R_1} = R_1 I_1 \Rightarrow 2.4 = 2 \times I_1 \Rightarrow I_1 = 1.2A$$

$$I_{\text{مدار}} = \frac{\varepsilon}{R_{eq} + r} \Rightarrow 2 = \frac{\varepsilon}{6 + 0.5} \Rightarrow \varepsilon = 13V \quad (ب)$$

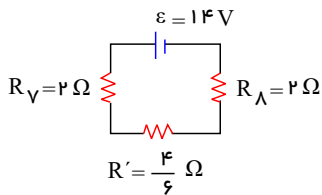
۱۷۱ با کمی دقت در شکل فضایی مسأله مشاهده می‌شود که مقاومت‌های R_1 تا R_6 همگی بین دو نقطه A و B بسته شده‌اند و با هم موازی‌اند:



$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_\psi} + \frac{1}{R_\phi} + \frac{1}{R_\delta} + \frac{1}{R_\Lambda} + \frac{1}{R_V}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R'} = \frac{6}{6} \Rightarrow R' = \frac{4}{6} \Omega$$

مدار ساده‌شده به شکل زیر خواهد بود:



$$R_{eq} = R_V + R_\Lambda + R'$$

$$R_{eq} = \frac{28}{6} \Omega = \frac{14}{3} \Omega$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{eq}} = \frac{14}{\frac{14}{3}} = 3A$$

این جریان $3A$ از R_V ، R_Λ و R' می‌گذرد. پس:

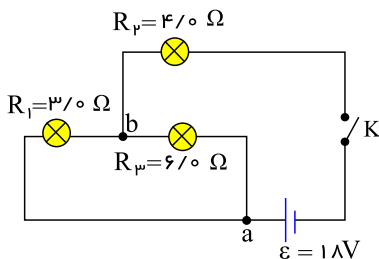
$$V_{AB} = V_{R'} = R'I = \frac{4}{6} \times 3 = 2V$$

چون همهٔ مقاومت‌های R_1 تا R_6 با هم موازی‌اند، ولتاژ همگی $2V$ است و جریان عبوری از هر یک از آنها برابر است با:

$$I = \frac{V_{AB}}{R} = \frac{2}{4} = 0.5A$$

۱۷۲

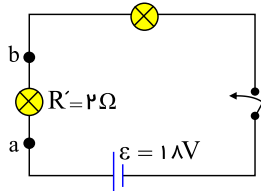
همانطور که از شکل پیداست، دو مقاومت R_1 و R_3 با هم موازی‌اند:



$$R' = \frac{R_1 R_\psi}{R_1 + R_\psi} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = 2 \Omega$$

$$R_\psi = 4 \Omega$$

و در شکل جدید مشاهده می‌کنیم که R' و R_ψ سری‌اند:



$$R_{eq} = R' + R_\psi = 2 + 4 = 6 \Omega$$

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{eq}} = \frac{18}{6} = 3A$$

حال جریان کل مدار را محاسبه می‌کنیم:

$$V_{ab} = V_{R'} = R'I = 2 \times 3 = 6V$$

که این جریان هم از R_ψ و هم از R' می‌گذرد. پس داریم:

چون R_1 و R_3 موازی هستند، V_{ab} هم اختلاف پتانسیل دو سر R_1 است و هم اختلاف پتانسیل دو سر R_3 :

$$I_1 = \frac{V_{ab}}{R_1} = \frac{6}{3} = 2A$$

$$I_3 = \frac{V_{ab}}{R_3} = \frac{6}{6} = 1A$$

۱۷۳ ابتدا حالت متوالی را بررسی می‌کنیم:

$$R_{eq} = R + R + R = 3R = 3 \times 12 = 36\Omega$$

$$V = R_{سری} I \Rightarrow 12 = 36I \Rightarrow I = \frac{1}{3}A = 0.33A$$

چون مقاومت‌ها با هم سری هستند، جریان عبوری از هر یک از آنها همان $\frac{1}{3}A$ است. اکنون حالت موازی را بررسی می‌کنیم:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{3}{R} = \frac{3}{12} \Rightarrow R_{eq} = 4\Omega$$

$$V = R_{موازی} I \Rightarrow 12 = 4I \Rightarrow I = 3A$$

این جریان کل مدار است و چون هر سه مقاومت هم‌اندازه‌اند، جریان عبوری از هر یک از آنها برابر $1A$ می‌باشد.

البته برای محاسبهٔ جریان هر یک از مقاومت‌های موازی، چون اختلاف پتانسیل دو سر همهٔ آنها یکسان است، می‌توان مستقیم برای هر مقاومت نوشت:

$$V = RI \Rightarrow 12 = 12 \times I \Rightarrow I = 1A$$

۱۷۴ حالت اول، موازی:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{2}{R} \Rightarrow R_{eq} = \frac{R}{2}$$

$$P = \frac{V^2}{R_{eq}} = \frac{V^2}{\frac{R}{2}} = 2 \frac{V^2}{R}$$

حالت دوم، سری:

$$R'_{eq} = R + R \Rightarrow R'_{eq} = 2R$$

$$P' = \frac{V^2}{R'_{eq}} = \frac{V^2}{2R}$$

اکنون نسبت توان‌ها را می‌نویسیم:

$$\frac{P_{موازی}}{P_{سری}} = \frac{P}{P'} = \frac{2 \frac{V^2}{R}}{\frac{1}{2} \frac{V^2}{R}} = 4$$

۱۷۵

الف درست

۱۷۶

الف ابتدا جریان عبوری از مقاومت R_3 را به دست می‌آوریم:

$$P_3 = R_3 I_3^2 \rightarrow 96 = 6 I_3^2 \rightarrow I_3 = 4A$$

با توجه به موازی بودن R_3 و R_4 ، جریان عبوری از R_3 و سپس جریان کل مدار را به دست می‌آوریم:

$$\frac{I_3}{I_2} = \frac{R_2}{R_3} \rightarrow \frac{I_3}{4} = \frac{6}{12} \rightarrow I_3 = 2A \rightarrow I_{eq} = 2 + 4 = 6A$$

اختلاف پتانسیل دو سر مولد با اختلاف پتانسیل دو سر مجموعهٔ مقاومت‌ها یکسان است.

$$R_{23} = 4\Omega \quad R_{eq} = 2 + 4 = 6\Omega$$

$$V = IR = 6 \times 6 = 36$$

ب لامپ (۱) اتصال کوتاه و خاموش می‌شود.

۱۷۷ گام اول: شکل سوال را به دقت ببینید. اگر کلید A را ببندیم، مقاومت R_A و اگر کلید B را ببندیم، مقاومت R_B و اگر هر دو کلید را ببندیم، هر دو

مقاومت به ولتاژ $220V$ وصل می‌شوند؛ پس، وقتی هر دو کلید بسته است، توان مصرفی لامپ، بیشینه خواهد شد:

$$P_{max} = P_A + P_B = 50W \quad (1)$$

گام دوم: طبق رابطهٔ $P_n = \frac{V_n^2}{R}$ ، P_n و R با هم رابطهٔ عکس دارند؛ پس، کمترین توان متعلق به بزرگ‌ترین مقاومت (یعنی R_A) است:

$$P_{min} = P_A = 10W \quad (2)$$

از رابطه‌های (۱) و (۲) نتیجه می‌گیریم:

$$P_B = P_{max} - P_A = 50 - 10 = 40W$$

گام سوم: باید نسبت $\frac{R_A}{R_B}$ را حساب کنیم:

$$\frac{R_A}{R_B} = \frac{P_B}{P_A} = \frac{40}{10} = 4$$

گام اول: در این گام، جریان عبوری از مقاومت ۱۲۰ اهمی را به دست می‌آوریم: (۱۷۸)

$$P = R_1 I_1^2 \Rightarrow 5W = (20\Omega) I_1^2 \Rightarrow I_1^2 = \frac{5}{20} = \frac{1}{4}$$

$$\Rightarrow I_1 = \frac{1}{2} A$$

گام دوم: حالا با توجه به رابطه $\frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1}{R_2}$ مقدار جریان عبوری از R_2 را حساب می‌کنیم:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1}{R_2} \Rightarrow \frac{I_2}{\frac{1}{2}A} = \frac{20\Omega}{40\Omega} \Rightarrow I_2 = 5 \times \left(\frac{1}{2}A\right) = \frac{5}{2}A$$

گام سوم: با جمع کردن I_1 و I_2 نسخه این سؤال را می‌پسچیم!

$$I = I_1 + I_2 \Rightarrow \bar{I} = \left(\frac{1}{2}A\right) + \left(\frac{5}{2}A\right) = \left(\frac{6}{2}A\right) = 3A$$

الف) با توجه به رابطه $\frac{P_2}{P_1} = \frac{R_1}{R_2}$ داریم: (۱۷۹)

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{R_1}{R_2} \xrightarrow{\text{صورت و مخرج طرف چپ ضرب در } t} \frac{P_2 t}{P_1 t} = \frac{E_2}{E_1} = \frac{R_1}{R_2} \Rightarrow \frac{32}{16} = \frac{R}{8\Omega} \Rightarrow 2 = \frac{R}{8\Omega} \Rightarrow R = 16\Omega$$

ب) جریان گذرنده از مقاومت ۸ اهمی را می‌توانیم از $U_2 = R_2 I_2^2$ به دست آوریم:

$$U_2 = R_2 I_2^2 \Rightarrow 32J = (8\Omega) \times I_2^2 \times (1s) \Rightarrow I_2^2 = \frac{32}{8} = 4 \Rightarrow I = 2A$$

ابتدا مقاومت لامپ‌ها را حساب می‌کنیم: (۱۸۰)

$$R = \frac{V^2}{P} = \frac{(220)^2}{100} = 484\Omega$$

وقتی دو لامپ مشابه را متوالی به هم وصل می‌کنیم، اختلاف پتانسیلی که دو سر هر کدام نشان می‌دهد، برابر است با نصف اختلاف پتانسیل کل؛ بنابراین اختلاف پتانسیل در دو سر هر کدام از لامپ‌ها، ۱۱۰ ولت است.

$$P_2 = \frac{V^2}{R} = \frac{(110)^2}{484} = 25W$$

ابتدا مقاومت معادل را به دست می‌آوریم: (۱۸۱)

$$R_{eq} = 1\Omega + 2\Omega + 3\Omega = 6\Omega$$

حالا توان مصرفی کل را محاسبه می‌کنیم:

$$P_T = \frac{\Delta V^2}{R_{eq}} = \frac{(6V)^2}{6\Omega} = 6W$$

در نهایت با استفاده از رابطه $\frac{P_1}{P_T} = \frac{R_1}{R_{eq}}$ توان مصرفی مقاومت ۱ اهمی را به دست می‌آوریم:

$$\frac{P_1}{P_T} = \frac{R_1}{R_{eq}} \Rightarrow \frac{P_1}{6W} = \frac{1\Omega}{6\Omega} \Rightarrow P_1 = \frac{6W}{6} = 1W$$

الف) (۱۸۲)

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 \Rightarrow 13 = 3 + 6 + R_3 \Rightarrow R_3 = 4\Omega$$

ب) با نوشتن قاعده حلقه برای این مدار داریم:

$$I = \frac{\varepsilon}{R_1 + R_2 + R_3 + r} = \frac{V}{14} \Rightarrow I = 0.5A$$

(پ)

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{خروجی}} &= \varepsilon I - rI^2 = 7 \times 0.5 - 1 \times 0.5^2 \Rightarrow P_{\text{خروجی}} = 3.25W \\ P_{\text{مصرفی}} &= R_1 I^2 + R_2 I^2 + R_3 I^2 = (R_1 + R_2 + R_3) I^2 \Rightarrow P_{\text{مصرفی}} = R_{eq} I^2 = 13 \times 0.5^2 \end{aligned} \right\} P_{\text{خروجی باتری}} = P_{\text{مصرفی مدار}}$$

ابتدا توان کل مصرف کننده های این خانه را به دست می آوریم: **۱۸۳**

$$P_{\text{کل}} = P_{\text{تو}} + P_{\text{نوسر}} + 5 \times P_{\text{لامپ}} + P_{\text{بخاری}} \Rightarrow P_{\text{کل}} = 1100 + 1800 + 500 + 1100 = 4500W$$

حالا جریان کل مدار را به دست می آوریم:

$$P_{\text{کل}} = VI_{\text{کل}} \Rightarrow I_{\text{کل}} = \frac{4500}{220} = 20.45A$$

چون جریان کل مدار از حداکثر جریان قابل تحمل فیوز بیشتر است، فیوز می پرد.

۱۸۴ الف) لامپ (۲) خاموش و لامپ (۱) پر نورتر می شود.

ب) با بستن کلید مقاومت مدار کاهش می یابد. بنا بر رابطه $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$ جریان مدار افزایش یافته و آمپرسنج عدد بیش تری را نشان می دهد. با توجه به رابطه $V = \varepsilon - Ir$ عددی که ولتسنج نشان می دهد در این حالت کاهش می یابد.

۱۸۵ با کاهش مقاومت رئوستا، نور لامپ رشته ای افزایش می یابد. در نتیجه مقاومت LDR کاهش می یابد. پس جریان در مدار سمت راست افزایش و نور لامپ LED نیز زیاد می شود.

۱۸۶ با بستن کلید K ، چون مقاومت R_1 به صورت موازی به مجموعه اضافه می شود، مقاومت معادل مجموعه کاهش می یابد. پس جریان کل مدار (عددی که آمپرسنج نشان می دهد) افزایش یافته و در نتیجه ولتاژ دو سر مولد واقعی، کاهش می یابد.

$$I = \frac{\varepsilon}{R_{eq} + r} \quad V = \varepsilon - rI \uparrow$$

$R_{eq} \downarrow \rightarrow I \uparrow \rightarrow V \downarrow$ بعد از بستن کلید K

۱۸۷ مقاومت R_2 به طور موازی به R_1 وصل است. اگر کلید K باز شود، مقاومت کل افزایش می یابد.

$$R_{eq} \uparrow \Rightarrow I_T = \frac{\varepsilon}{R_{eq} + r} \Rightarrow I_T \downarrow \Rightarrow V_T = \varepsilon - rI_T \Rightarrow V_T \uparrow$$

ولتسنج، ولتاژ دو سر باتری یا همان V_T را نمایش می دهد که افزایش می یابد.

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{V_1}{R_1} = \frac{V_T}{R_1} \\ V_T &\uparrow \end{aligned} \right\} \Rightarrow I_1 \uparrow$$

عدد آمپرسنج افزایش می یابد.

۱۸۸ با افزایش مقاومت R_1 ، مقاومت معادل در مدار افزایش می یابد. با افزایش مقاومت معادل طبق رابطه $I = \frac{\varepsilon}{R_{eq} + r}$ ، جریان کاهش می یابد.

طبق رابطه $V = \varepsilon - Ir$ ، با کاهش جریان اختلاف پتانسیل دو سر مولد و اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت معادل $R_{2,3}$ افزایش می یابد. پس با افزایش اختلاف پتانسیل جریان گذرنده از مقاومت $R_{2,3}$ نیز افزایش می یابد (طبق رابطه $V = RI$) پس A_2 عدد بیش تری را ثبت می کند.

جریان اصلی بین دو مقاومت R_1 و $R_{2,3}$ تقسیم می شود و بنابر قانون جریان $I = I_1 + I_2$ چون I کاهش یافته است و I_2 افزایش یافته است پس جریان I_1 کاهش می یابد و عددی که A_1 نشان می دهد کاهش می یابد.

۱۸۹

با کاهش مقاومت متغیر R ، مقاومت کل کاهش می یابد، از این رو جریان کل (که همان R_{eq} جریان عبوری از لامپ L_1 است) افزایش می یابد. یعنی:

$$R \downarrow \Rightarrow R_{eq} \downarrow \Rightarrow I_T \uparrow \Rightarrow I_1 = I_T \uparrow \Rightarrow V_1 = R_1 I_1 \uparrow$$

$$V_1 + V_2 = V_T \Rightarrow V_2 \downarrow$$

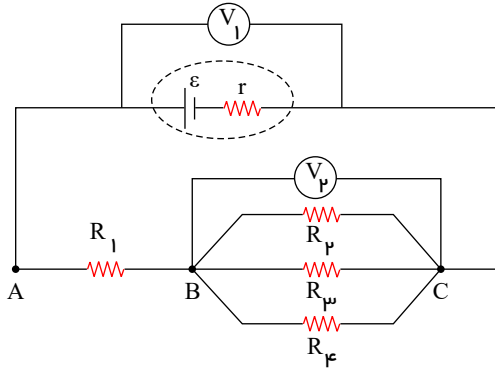
ثابت
افزایش

$$\left. \begin{aligned} I_2 &= I_{R'} + I_{L_2} \\ I_{R'} &= \frac{V_2}{R'} \xrightarrow{\text{کاهش } V_2'} I_{R'} \end{aligned} \right\} \xrightarrow{I_T \uparrow} I_{L_2} \uparrow$$

بنابراین نور لامپ L_2 زیاد می شود.

افزایش جریان I_1 یعنی افزایش جریان عبوری از لامپ L_1 ، در نتیجه افزایش نور لامپ L_1 .

۱۹۰ وقتی کلید K بسته می‌شود مقاومت R_f به صورت موازی به شاخه اضافه می‌شود. مقاومت معادل کاهش می‌یابد پس طبق رابطه $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$ چون مقاومت معادل کاهش می‌یابد پس شدت جریان در مدار افزایش می‌یابد. طبق رابطه $V_1 = \varepsilon - Ir$ چون افت پتانسیل افزایش می‌یابد، اختلاف پتانسیل مدار کاهش می‌یابد پس V_1 کم می‌شود.



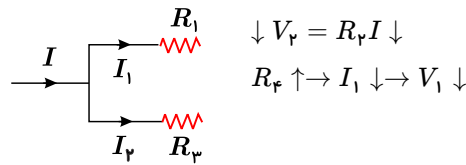
طبق رابطه $V_{AB} = R_1 \times I$ چون جریان در مدار افزایش یافته است پس V_{AB} نیز افزایش می‌یابد از طرفی می‌دانیم $V_T = V_{AB} + V_{BC}$ و با توجه به اینکه اختلاف پتانسیل مدار کاهش یافته است و V_{AB} افزایش یافته است پس V_{BC} نیز باید کاهش یابد تا تساوی برقرار شود.

پس V_1 و V_p هر دو کاهش می‌یابد.

۱۹۱

$$R_f \uparrow \rightarrow R_{eq} \uparrow \rightarrow I = \frac{\varepsilon}{R_{eq} + r} \rightarrow V_p = \varepsilon - rI \downarrow \rightarrow V_p \uparrow$$

عددی که ولت‌سنج V_p نشان می‌دهد افزایش می‌یابد. $\rightarrow$



$$\downarrow V_p = R_p I \downarrow$$

$$R_f \uparrow \rightarrow I_1 \downarrow \rightarrow V_1 \downarrow$$

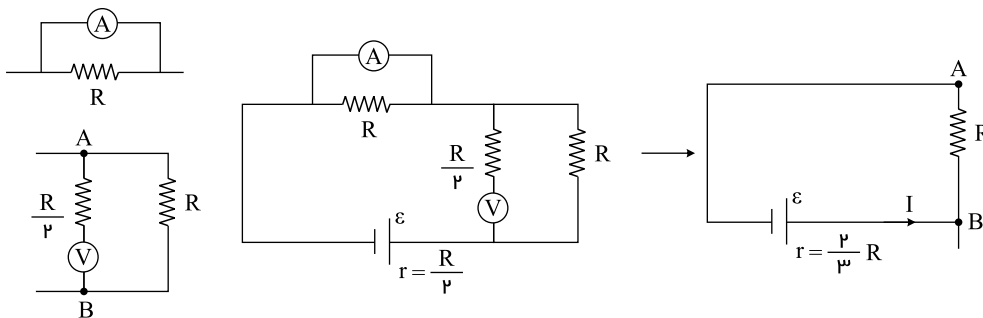
عددی که آمپرسنج نشان می‌دهد افزایش می‌یابد. $R_f \uparrow \rightarrow I_p \uparrow \rightarrow$

۱۹۲

$$\text{گام ۱: در حال اول} \Rightarrow \begin{cases} I = \frac{\varepsilon}{r + \frac{r}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R}}} \rightarrow I = \frac{\varepsilon}{\frac{r}{2} + \frac{r}{2}} = \frac{\varepsilon}{r} \\ R_{eq} = R + \frac{R \times \frac{R}{2}}{R + \frac{R}{2}} = R + \frac{\frac{R^2}{2}}{\frac{3R}{2}} = R + \frac{R}{3} = \frac{4}{3}R \end{cases}$$

$$\text{گام ۲:} \Rightarrow \begin{cases} \text{عدد آمپرسنج} = \left(\frac{R}{\frac{R}{2} + R}\right) \left(\frac{\varepsilon}{r}\right) = \frac{2}{3} \frac{\varepsilon}{r} = \frac{\varepsilon}{3r} \rightarrow I_1 = \frac{\varepsilon}{3r} \\ \text{عدد ولت‌سنج} = RI = R \left(\frac{\varepsilon}{3r}\right) = \frac{\varepsilon}{3} \rightarrow V_1 = \frac{\varepsilon}{3} \end{cases}$$

گام ۳: تعویض جای ولت‌سنج و آمپرسنج



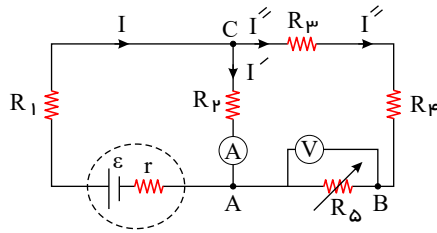
$$\Rightarrow \text{هم از مدار حذف می‌شود} \frac{R}{2} \quad I = \frac{\varepsilon}{R + \frac{r}{2}} = \frac{\varepsilon}{R + \frac{R}{4}} = \frac{4}{5} \frac{\varepsilon}{R}$$

$$\Rightarrow \text{عدد ولت سنج (از ولت سنج جریانی عبور نمی‌کند).} = V_{AB} = R \times I \Rightarrow V_r = R \left(\frac{3}{5} \frac{\varepsilon}{R} \right) = \frac{3}{5} \varepsilon$$

$$\text{گام ۴} \Rightarrow \begin{cases} V_1 = \frac{\varepsilon}{2} \\ V_r = \frac{3}{4} \varepsilon \end{cases} \Rightarrow V_r > V_1$$

$$\begin{cases} I_1 = \frac{\varepsilon}{3R} \\ I_r = \frac{3}{5} \frac{\varepsilon}{R} \end{cases} \Rightarrow I_r > I_1$$

گام اول: با افزایش مقاومت R_Δ ، مقاومت کل مدار افزایش می‌یابد. ۱۹۳



$$\uparrow R_\Delta \rightarrow R_{eq} \uparrow$$

گام دوم: با افزایش مقاومت کل مدار، جریان کل مدار کاهش می‌یابد.

$$I = \frac{\varepsilon}{r + R_{eq}} \rightarrow I \downarrow$$

گام سوم: برای تعیین تکلیف V_{AC} در حلقه چپ از A به طرف C حرکت می‌کنیم:

$$\rightarrow V_A + \varepsilon - rI - R_1 I = V_C \rightarrow V_C - V_A = V_{CA} = \varepsilon - (r + R_1) I \downarrow \rightarrow V_{AC} \uparrow$$

گام چهارم:

$$\uparrow V_{AC} = V_{R_r} \uparrow = \underbrace{R_r}_{\text{ثابت}} I' \rightarrow (I') \uparrow$$

گام پنجم:

$$I = I' + I'' \xrightarrow{I' \uparrow, I'' \downarrow} I'' \downarrow$$

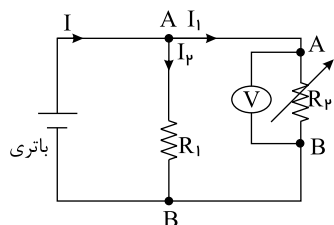
گام ششم:

$$R_3 : V_{CB} = (R_3 + R_4) I'' \downarrow \rightarrow V_{CB} \downarrow$$

گام هفتم:

$$\downarrow V_{CB} + V_{BA} = V_{CA} \uparrow \rightarrow (V_{BA}) \uparrow$$

گام اول: اختلاف پتانسیل دو سر باتری با اختلاف پتانسیل هریک از مقاومت‌های R_1 و R_r برابر است. ۱۹۴



گام دوم: با افزایش R_{eq} ، R_r هم افزایش می‌یابد پس I کل کاهش می‌یابد. اما عدد ولت سنج تغییری نکرده است از این موضوع نتیجه می‌گیریم:

$$\underbrace{V}_{\text{ثابت}} = \varepsilon - rI \downarrow \rightarrow r = 0$$

گام سوم:

$$P = V \cdot I = \varepsilon I - I^2 r = \varepsilon I \downarrow \Rightarrow P \downarrow$$

۱۹۵ اگر دو مقاومت ۲۰ اهمی موازی قرار گیرند مقاومت معادل برابر $R = \frac{20}{2} = 10$ اهم می‌شود یعنی با موازی بستن مقاومت جدید، مقاومت معادل کاهش یافته، بنابراین جریان کل مدار (که آمپرسنج نشان می‌دهد) افزایش یافته، از این رو ولتاژ دو سر مولد کاهش می‌یابد. در نتیجه:

$$R_{T1} = 20 \Rightarrow R_{T2} = 10 \Rightarrow R_T \downarrow$$

$$\uparrow I_T = \frac{\varepsilon}{R_T + r} \quad \text{عدد آمپرسنج افزایش}$$

$$\downarrow V = \varepsilon - r I_T \quad \text{عدد ولتسنج کاهش}$$

۱۹۶ با وصل کلید، به دلیل موازی شدن مقاومت R با لامپ L_2 ، مقاومت معادل کاهش یافته، پس جریان کل مدار زیاد می‌شود. از این رو اختلاف پتانسیل دو سر لامپ L_1 زیاد و اختلاف پتانسیل دو سر لامپ L_2 کم می‌شود.

$$R_{eq} \downarrow \Rightarrow I \uparrow = \frac{\varepsilon}{R_{eq} \downarrow + r} \Rightarrow \text{نور لامپ } L_1 \text{ افزایش می‌یابد}$$

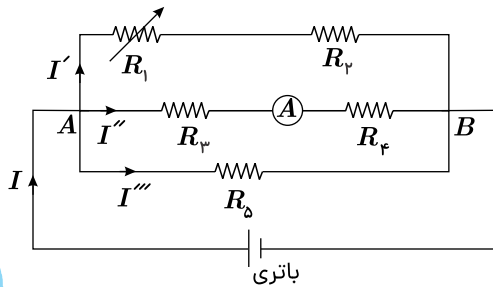
در ادامه داریم:

$$\downarrow V_{L2} = R_{L2} I_{L2} \downarrow$$

یعنی جریان عبوری از لامپ L_2 و بر همین اساس نور لامپ L_2 کم می‌شود.

۱۹۷

گام ۱: مدار را به این شکل در نظر می‌گیریم:



گام ۲: از این که عدد آمپرسنج (با توجه به ثابت ماندن اعداد R_2 و R_3) تغییر نکرده می‌توان فهمید که مقاومت درونی باتری صفر بوده است:

$$V_{AB} = V_{\text{باتری}} = \varepsilon - r I \quad \text{ثابت} \Rightarrow r = 0 \Rightarrow V_{AB} = \varepsilon \rightarrow I'' = \frac{V_{AB}}{R_{2,3}} = \text{ثابت} \Rightarrow I''' = \frac{V_{AB}}{R_4} = \text{ثابت}$$

$$R_1 \uparrow \Rightarrow R_{eq} \uparrow \Rightarrow I \downarrow \Rightarrow I = I' + I'' + I''' \Rightarrow I = I' + \text{عدد ثابت} \Rightarrow I' \downarrow \Rightarrow V_{R2} = R_2 I' \downarrow \Rightarrow V_{R2} \downarrow$$

$$\text{گام ۳} \rightarrow V_{AB} = V_{R1} + V_{R2} \Rightarrow V_{R1} \uparrow$$

۱۹۸ با بسته شدن کلید k_1 داریم:

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{r + R}$$

$$(1) \text{ برای هر دو سر لامپ } V_1 = R_1 I_1 = \varepsilon - r I_1$$

ولتاژ بالا برای هر دو لامپ است اما چون کلید k_2 بسته است، از لامپ (۲) جریانی نمی‌گذرد.

وقتی کلید k_2 را ببندیم دو لامپ با هم موازی می‌شوند.

$$\frac{1}{R_{eq \text{ کل}}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{2}{R} \Rightarrow R_{eq} = \frac{R}{2}$$

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{r + \frac{R}{2}} \rightarrow I = \frac{I_2}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{\varepsilon}{r + \frac{R}{2}} \right) = \frac{\varepsilon}{2r + R}$$

عبوری از هر لامپ لامپ‌ها یکسان هستند

همانطور که مشاهده می‌شود جریان عبوری از لامپ (۱) در حالت دوم، کوچک‌تر از آن در حالت اول است، بنابراین نور لامپ (۱) پس از بسته شدن هر دو کلید، کم‌تر از حالتی است که به تنهایی روشن است.

۱۹۹ با بستن K_1 :

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

$$V_1 = \varepsilon - rI_1 = RI$$

وقتی کلید K_2 هم بسته شود مقاومت های R_1 و R_2 با هم موازی می شوند:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \Rightarrow R_{eq} = \frac{R}{2}$$

$$I_2 = \frac{\varepsilon}{R_{eq} + r} \Rightarrow I_2 = \frac{\varepsilon}{\frac{R}{2} + r}$$

$$V_2 = \varepsilon - rI_2$$

در این حالت چون مخرج کسری که مقدار I_2 را تعیین می کند، کاهش یافته است، پس $I_1 < I_2$ خواهد بود و به همین دلیل $V_2 < V_1$ خواهد شد.
توجه: درست است که در این حالت جریان I_2 از حالت اول یعنی I_1 بزرگ تر است، ولی ۲ برابر نشده است. چون جریان عبوری از لامپ های L_1 و L_2 با هم برابر و معادل $\frac{I_2}{2}$ است، پس نور لامپ ها نسبت به حالتی که فقط یک لامپ روشن بود، کمتر شده است.

اکنون با بسته شدن کلید K_3 داریم:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \Rightarrow R_{eq} = \frac{R}{3}$$

$$I_3 = \frac{\varepsilon}{\frac{R}{3} + r}, \quad V_3 = \varepsilon - rI_3$$

در این حالت نیز $I_1 < I_2 < I_3$ و به همین ترتیب $V_1 > V_2 > V_3$ خواهد بود و به طریق مشابه می توان گفت که نور لامپ ها کمتر از حالتی است که فقط لامپ L_1 به تنهایی روشن بود. با بستن کلید K_4 داریم:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \Rightarrow R_{eq} = \frac{R}{4}$$

$$I_4 = \frac{\varepsilon}{\frac{R}{4} + r}, \quad V_4 = \varepsilon - rI_4$$

و می توان گفت $I_1 < I_2 < I_3 < I_4$ و همچنین به طریق مشابه $V_1 > V_2 > V_3 > V_4$ است. پس اگر بعد از بستن کلید K_1 ، کلیدها را یک به یک پشت سر هم ببندیم، عدد آمپرسنج افزایش و عدد ولتسنج و نور لامپ ها کاهش می یابد.

۲۰۰ با بستن کلید باتوجه به رابطه $(I = \frac{\varepsilon}{R+r})$ با کاهش مقاومت معادل مدار، عددی که آمپرسنج نشان می دهد افزایش می یابد و باتوجه به رابطه $V = \varepsilon - Ir$ ولتسنج عدد کمتری را نشان می دهد.

۲۰۱ با بستن کلید k ، دو سر لامپ (۱) اتصال کوتاه می شود و هیچ جریانی از آن عبور نمی کند. خب؛ اگر جریانی در کار نباشد، لامپ چطور روشن شود؟ پس لامپ (۱) خاموش می شود. اما با حذف لامپ (۱) از مدار، مقاومت معادل خارجی مدار کاهش و شدت جریان کلی مدار افزایش می یابد که این موضوع باعث افزایش شدت روشنایی لامپ (۲) می شود.

۲۰۲ همان طور که می دانید، اگر دو یا چند مقاومت به طور موازی با هم بسته شوند، جریان عبوری از کوچک ترین مقاومت بیشترین مقدار است. پس داریم:

$$R < R_2 \Rightarrow I_1 > I_2$$

در مورد ولتسنج ها هم باید بگوییم که هر سه ولتسنج، یک مقدار نشان می دهند. ولتسنج ۱ و ۲ اختلاف پتانسیل دو سر دو مقاومت موازی را نشان می دهند که می دانیم با هم برابر است. ولتسنج ۳ هم اختلاف پتانسیل دو سر مدار را نشان می دهد که در این سوال همان اختلاف پتانسیل دو سر R_1 و R_2 است.

۲۰۳ با کاهش مقاومت R_1 ، مقاومت معادل مدار کاهش می یابد؛ زیرا:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 = r$$

بنابراین با توجه به این که جریان مدار برابر است با $I = \frac{\varepsilon}{R_{eq}}$ ، جریان افزایش می یابد. با افزایش جریان، مقدار V_2 افزایش می یابد:

$$I \uparrow \Rightarrow V_2 = R_2 I \Rightarrow V_2 \uparrow$$

اما با افزایش جریان، ولتاژ دو سر مولد کاهش می یابد؛ چون:

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

از طرفی می دانیم:

$$V = V_1 + V_2 \Rightarrow V_1 = V - V_2$$

چون V_2 افزایش یافته و V کاهش یافته است، $V - V_2$ که همان V_1 است، کاهش می یابد.

۲۰۴ اول بگوییم که برخلاف ظاهر مدار، رئوسا و لامپ با هم به صورت متوالی بسته شده اند. این موضوع به این خاطر است که از ولتسنج ایده آل جریانی عبور

نمی‌کند و مدار به صورت روبه‌رو است:

با توجه به این موضوع، با افزایش مقاومت رئوستا، مقاومت معادل مدار افزایش می‌یابد و با توجه به رابطه $I = \frac{V}{R}$ ، جریان عبوری از مدار کاهش می‌یابد. با کاهش جریان عبوری از لامپ، توان مصرفی لامپ براساس رابطه $P = RI^2$ کاهش می‌یابد. لامپ انرژی الکتریکی را مصرف می‌کند تا نور تولید کند. در نتیجه با کاهش توان مصرفی، نور لامپ کاهش می‌یابد. عددی که ولت‌سنج نشان می‌دهد، ولتاژ دو سر لامپ است که با کاهش جریان و با توجه به رابطه $V_{\text{لامپ}} = R_{\text{لامپ}} I$ این مقدار کاهش می‌یابد.

۲۰۵ با افزایش دمای رساناهای فلزی، مقاومت آنها افزایش می‌یابد؛ در نتیجه، طبق رابطه $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$ ، با افزایش R ، جریان مدار یعنی عددی که آمپرسنج نشان می‌دهد، کاهش می‌یابد. از طرفی طبق رابطه $\Delta V = \varepsilon - Ir$ ، با کاهش جریان، ولتاژ دو سر مولد؛ یعنی، همان عددی که ولت‌سنج نشان می‌دهد، افزایش می‌یابد.

۲۰۶ با افزایش مقاومت رئوستا طبق رابطه $I = \frac{\varepsilon}{R+r}$ ، جریان کاهش می‌یابد؛ بنابراین با توجه به رابطه $\Delta V = \varepsilon - Ir$ اختلاف پتانسیل دو سر مولد افزایش می‌یابد و ولت‌سنج عدد بیشتری را نشان می‌دهد.

۲۰۷ آمپرسنج صفر را نشان می‌دهد؛ زیرا، مقاومت ولت‌سنج بسیار زیاد است و این‌گونه بسته شدن ولت‌سنج باعث می‌شود جریانی از مدار عبور نکند. ولت‌سنج نیروی محرکه (ε) را نشان می‌دهد، چون طبق رابطه $V = \varepsilon - Ir$ با صفر شدن جریان، افت پتانسیل در مولد برابر صفر است.

۲۰۸ قبل از بستن کلید، ولتاژ باتری به صورت برابر بین سه لامپ تقسیم می‌شود (چون لامپ‌ها مشابه هستند). با فرض اینکه مقاومت درونی باتری صفر است، داریم:

$$V_{\text{باتری}} = \varepsilon - \cancel{Ir} = \varepsilon$$

$$V_A = V_B = V_C = \frac{\varepsilon}{3}$$

بعد از بسته شدن کلید، دو سر لامپ C اتصال کوتاه شده و این لامپ از مدار حذف می‌شود. بنابراین ولتاژ باتری در این حالت بین لامپ‌های A و B به صورت برابر تقسیم می‌شود:

$$V'_C = 0, V'_A = V'_B = \frac{\varepsilon}{2}$$

بنابراین عبارت‌های (الف) و (ب) نادرست و عبارت‌های (پ) و (ت) درست هستند.

