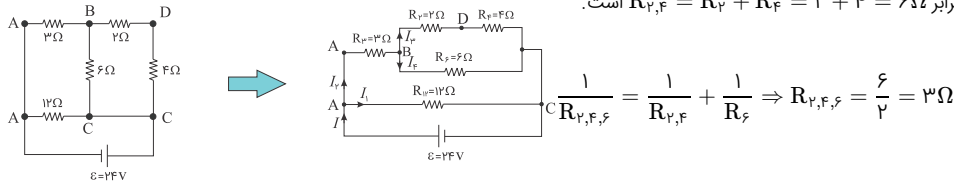




باتوجه به نقاط هم‌پتانسیل می‌توانیم مدار را به شکل ساده‌تر درآوریم و مقاومت کل را محاسبه کنیم:

مقاومت‌های R_2 و R_4 با هم سری هستند و مقاومت معادل آن‌ها برابر $R_{2,4} = R_2 + R_4 = 2 + 4 = 6\Omega$ است.

مقاومت معادل $R_{2,4}$ با مقاومت R_6 موازی هستند، بنابراین:



مقاومت $R_{2,4,6}$ و R_3 با هم سری هستند:

$$R_{2,4,6,3} = R_{2,4,6} + R_3 = 3 + 3 = 6\Omega$$

مقاومت معادل R_{12} و $R_{2,4,6,3}$ با هم موازی‌اند:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_{2,4,6,3}} \Rightarrow R_{12} = \frac{12 \times 6}{18} = 4\Omega$$

بنابراین جریان کل برابر است با:

$$\varepsilon - IR_1 - Ir = 0 \Rightarrow I = \frac{\varepsilon}{R_T + r} = \frac{24}{4 + 2} = 4A$$

باتوجه به اینکه R_{12} و $R_{2,4,6,3}$ با هم موازی هستند، داریم:

$$V_{2,4,6,3} = V_{12} \Rightarrow I_2 R_{2,4,6,3} = I_1 R_{12} \Rightarrow I_2 \times 6 = I_1 \times 4 \Rightarrow I_2 = \frac{2}{3} I_1$$

باتوجه به قانون گره در نقطه A داریم:

$$I = I_1 + I_2 \xrightarrow{I_2 = \frac{2}{3} I_1} 4 = \frac{I_1}{3} + I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{12}{4} = 3A$$

از آنجایی که مقاومت‌های R_2 و R_4 با هم برابر هستند، جریان I_2 به‌طور مساوی بین شاخه‌ها تقسیم می‌شود. با استفاده از گره در نقطه B داریم:

$$I_2 = I_3 + I_4 \xrightarrow{I_4 = \frac{2}{3} I_3} \frac{12}{4} = 2I_3 \Rightarrow I_3 = \frac{3}{2} A$$

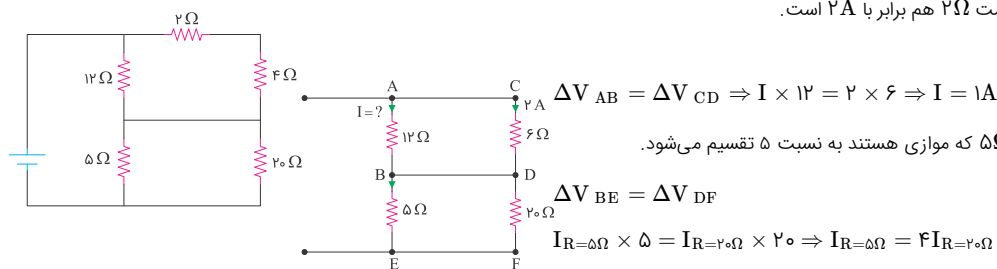
مقاومت ولت‌سنج ایده‌آل بی‌نهایت است و از آن مدار جریانی عبور نمی‌کند. (مقاومت 2Ω که سری با ولت‌سنج است جریانی عبور نمی‌کند)

مقاومت آمپر‌سنج ایده‌آل صفر است و می‌توان سیم بدون مقاومت در نظر گرفت.

ساده‌شده مدار به‌صورت زیر است. ولت‌سنج اختلاف‌پتانسیل دو سر مقاومت 4Ω را نشان می‌دهد و برابر با ۸ ولت است. در نتیجه جریان عبوری از مقاومت 4Ω برابر با ۲A است. ($V = RI$)

مقاومت 4Ω و 2Ω سری هستند؛ پس جریان عبوری از مقاومت 2Ω هم برابر با ۲A است.

مقاومت 12Ω و مقاومت معادل 4Ω و 2Ω موازی هستند.



$$\Delta V_{AB} = \Delta V_{CD} \Rightarrow I \times 12 = 2 \times 6 \Rightarrow I = 1A$$

در نتیجه جریان کل ۳A است. جریان بین مقاومت 2Ω و 5Ω که موازی هستند به نسبت ۵ تقسیم می‌شود.

$$\Delta V_{BE} = \Delta V_{DF}$$

$$I_{R=5\Omega} \times 5 = I_{R=2\Omega} \times 2 \Rightarrow I_{R=5\Omega} = \frac{2}{5} I_{R=2\Omega}$$

$$\Rightarrow I_{R=5} + I_{R=2} = 3 \Rightarrow I_{R=5} = \frac{2}{4} A, \quad \frac{2}{4} - 1 = \frac{1}{4} A = \text{آمپر سنج}$$

اگر کلید بالایی بسته شود:

$$P_1 = \frac{V^2}{R_1} = \frac{V^2}{222} \quad (1)$$

اگر فقط کلید پایینی بسته شود:

$$P_2 = \frac{V^2}{R_2} = \frac{V^2}{144} \quad (2)$$

اگر هر دو کلید بسته شوند:

$$\begin{cases} P_3 = \frac{V^2}{R_{eq}} = \frac{V^2}{96} \quad (3) \\ R_{eq} = \frac{222 \times 144}{222 + 144} = \frac{2 \times 144 \times 144}{2 \times 144 + 144} \\ = \frac{2 \times 144 \times \cancel{144}}{3 \times \cancel{144}} = 96 \Omega \end{cases}$$

$$(1) , (2) , (3) \Rightarrow P_1 < P_2 < P_3 \Rightarrow \frac{P_3}{P_1} = \frac{\frac{V^2}{96}}{\frac{V^2}{222}} = \frac{222}{96} = 3$$

گام اول

الف) در حالتی که کلید باز است ← یعنی مقاومت ۳Ω از مدار کنار گذاشته می شود و ولت سنج فقط اختلاف پتانسیل مقاومت $۱/\Omega$ را نشان می دهد.

ب) اگر کلید را ببندیم ← مقاومت ها باهم موازی خواهند بود و اختلاف پتانسیل شان باهم برابر می شود.

$$\text{ج) اگر } \frac{V_2}{V_1} \text{ برابر با } \frac{\lambda}{q} \text{ باشد} \leftarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{\lambda}{q}$$

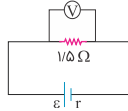
د) مقاومت درونی باتری چند اهم است؟ ← $r = ?$

گام دوم

باید اختلاف پتانسیل ها را در هر دو حالت محاسبه کرده تا با استفاده از نسبت $\frac{V_2}{V_1} = \frac{\lambda}{q}$ را به دست بیاوریم:

حالت اول) کلید باز:

با استفاده از قاعده حلقه، جریان را به دست آورده و اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت را محاسبه می کنیم:

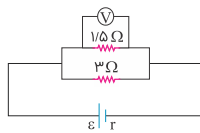


$$\varepsilon - Ir - I(1/\Omega) = 0 \Rightarrow I = \frac{\varepsilon}{1/\Omega + r}$$

$$\begin{cases} V_1 = RI \\ R = 1/\Omega \\ I = \frac{\varepsilon}{1/\Omega + r} \end{cases} \Rightarrow V_1 = \frac{1/\Omega \varepsilon}{1/\Omega + r}$$

حالت دوم) کلید بسته:

مقاومت ها به صورت موازی هستند، بنابراین مقاومت معادل آن ها برابر است با:



$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{1/\Omega} + \frac{1}{3} \Rightarrow R_T = 1\Omega$$

حال با استفاده از قاعده حلقه می توانیم جریان کل را به دست بیاوریم:

$$\varepsilon - Ir - IR_T = 0 \Rightarrow I = \frac{\varepsilon}{r + R_T} \Rightarrow I = \frac{\varepsilon}{r + 1}$$

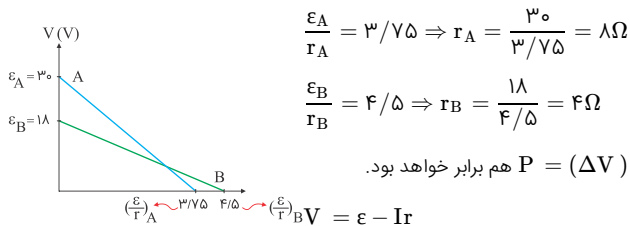
در نتیجه اختلاف پتانسیل در حالت دوم را به دست آورده و در نهایت r را محاسبه می کنیم:

$$\begin{cases} V_2 = R_T I \\ R_T = 1\Omega \\ I = \frac{\varepsilon}{r + 1} \end{cases} \Rightarrow V_2 = \frac{\varepsilon}{r + 1}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\lambda}{q} \Rightarrow \frac{\frac{\varepsilon}{r+1}}{\frac{1/\Omega \varepsilon}{1/\Omega + r}} = \frac{\lambda}{q} \Rightarrow \frac{1/\Omega + r}{1/\Omega + 1/\Omega r} = \frac{\lambda}{q} \Rightarrow 12 + 12r = 9r + 13/\Omega \Rightarrow r = 0/\Omega$$

در نمودار اختلاف پتانسیل دو سر مولد برحسب جریان، قدر مطلق شیب، برابر با مقاومت درونی است.

$$r_A = 2r_B \Rightarrow \frac{30}{I} = 2 \left(\frac{1\lambda}{I + 0/7\Omega} \right) \Rightarrow 30I + 22/\Omega = 36I \Rightarrow I = 3/7\Omega$$



$$V_A = V_B \Rightarrow 30 - 14I = 1\lambda - 4I \Rightarrow 12 = 10I \Rightarrow I = 3(A)$$

با افزایش مقاومت رئوستا، جریان عبوری مدار کاهش می‌یابد. در این صورت عددی که ولت‌سنج نشان می‌دهد نیز کم می‌شود. باتوجه‌به قانون اهم می‌توان نوشت:

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= rI_1 = \varphi I_1 \\ V_{\varphi} &= rI_{\varphi} = \varphi I_{\varphi} \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_1 - V_{\varphi} = \varphi(I_1 - I_{\varphi})$$

$$\Rightarrow \varphi = \varphi(I_1 - I_{\varphi}) \Rightarrow I_1 - I_{\varphi} = 1$$

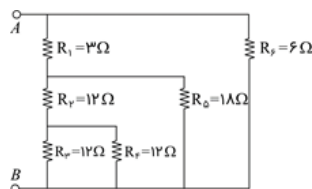
اکنون با استفاده از رابطهٔ محاسبهٔ جریان عبوری از مدار ($I = \frac{\varepsilon}{R + r}$) داریم:

$$\frac{1_0}{\varphi + R_1} = \frac{1_0}{\varphi + R_{\varphi}} + 1 \xrightarrow{R_{\varphi} = \lambda \Omega} \frac{1_0}{\varphi + R_1} = \varphi \Rightarrow R_1 + \varphi = \omega \Rightarrow R_1 = \varphi \Omega$$

برای محاسبهٔ اختلاف‌پتانسیل دو سر باتری داریم:

$$\left. \begin{aligned} V &= \varepsilon - rI_1 \\ I_1 &= \frac{\varepsilon}{R_1 + r} = \frac{1_0}{\varphi + \varphi} = \varphi A \end{aligned} \right\} \Rightarrow V = 1_0 - \varphi \times \varphi = \epsilon V$$

حالت اول) کلید باز است در این حالت مدار به شکل زیر خواهد بود:



$$\begin{cases} \frac{1}{R_{3,F}} = \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_F} \\ R_3 = R_F = 12\Omega \end{cases} \Rightarrow R_{3,F} = \frac{12}{2} = 6\Omega$$

مقاومت‌های R_F, R_3 باهم موازی هستند بنابراین:

مقاومت‌های R_2 و $R_{3,F}$ باهم سری هستند؛ بنابراین:

$$\begin{cases} R_{2,3,F} = R_2 + R_{3,F} \\ R_2 = 12\Omega \\ R_{3,F} = 6\Omega \end{cases} \Rightarrow R_{2,3,F} = 12 + 6 = 18\Omega$$

R_5 با $R_{2,3,F}$ موازی هستند بنابراین:

$$\begin{cases} \frac{1}{R_{2,3,F,5}} = \frac{1}{R_{2,3,F}} + \frac{1}{R_5} \\ R_{2,3,F} = R_5 = 18\Omega \end{cases} \Rightarrow R_{2,3,F,5} = \frac{18}{2} = 9\Omega$$

مقاومت معادل $R_{2,3,F,5}$ و مقاومت R_1 باهم سری هستند.

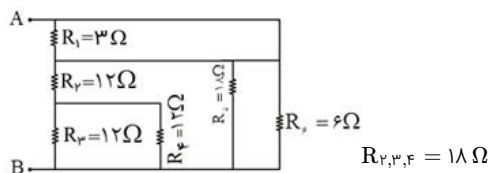
$$\begin{cases} R_{1,2,3,F,5} = R_1 + R_{2,3,F,5} \\ R_1 = 3\Omega, R_{2,3,F,5} = 9\Omega \end{cases} \Rightarrow R_{1,2,3,F,5} = 3 + 9 = 12\Omega$$

مقاومت معادل $R_{1,2,3,F,5}$ و مقاومت R_6 باهم موازی هستند؛ بنابراین:

$$\begin{cases} \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_{1,2,3,F,5}} \\ R_6 = 6\Omega, R_{1,2,3,F,5} = 12\Omega \end{cases} \Rightarrow R_{T_1} = \frac{6 \times 12}{6 + 12} = 4\Omega$$

حالت دوم) کلید بسته است:

در این حالت شکل مدار به صورت زیر خواهد بود:



مقاومت R_1 اتصال کوتاه می‌شود و از مدار حذف می‌شود.

مقاومت معادل، مقاومت‌های R_F, R_3, R_2 مانند حالت اول است و برابر است با:

و مقاومت معادل $R_{2,3,F}$ با مقاومت‌های R_5 و R_6 باهم موازی هستند؛ بنابراین:

$$\begin{cases} \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{2,3,F}} + \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_6} \\ R_{2,3,F} = R_5 = 18\Omega \\ R_6 = 6\Omega \end{cases} \Rightarrow \frac{1}{R_{T_2}} = \frac{1}{18} + \frac{1}{18} + \frac{1}{6} \Rightarrow R_{T_2} = \frac{18}{3} = 6\Omega$$

بنابراین اختلاف مقاومت معادل بین دو حالت برابر است با:

$$R_{T_1} - R_{T_2} = 4\Omega - 6\Omega = -2\Omega$$

گام اول: ابتدا جریان عبوری از مقاومت‌های R_1 و R_5 را به دست می‌آوریم. مقاومت‌های R_1 ، R_4 و R_5 باهم موازی‌اند. نسبت جریان عبوری در مقاومت‌های موازی به نسبت وارون مقاومت‌ها است. پس:

$$\begin{cases} \frac{I_1}{I_F} = \frac{R_F}{R_1} \Rightarrow \frac{I_1}{3} = \frac{1}{4} \Rightarrow I_1 = \frac{3}{4} A \\ \frac{I_5}{I_F} = \frac{R_F}{R_5} \Rightarrow \frac{I_5}{3} = \frac{1}{1} \Rightarrow I_5 = 1 A \end{cases}$$

گام دوم: باتوجه‌به اینکه مجموع جریان‌های عبوری از R_1 ، R_4 و R_5 به قطب منفی باتری وارد می‌شوند، پس مجموع جریان‌های عبوری از دو مقاومت R_2 و R_3 که باهم موازی‌اند برابر $5/5 A$ است. بنابراین:

$$\begin{cases} I_2 + I_3 = 5/5 \\ \frac{I_2}{I_3} = \frac{R_3}{R_2} = \frac{3}{9} = \frac{1}{3} \Rightarrow \begin{cases} I_2 = 1/3 \times 5 A \\ I_3 = 4/12 \times 5 A \end{cases} \end{cases}$$

الف) اگر توان مصرفی مجموعه در شکل (۲)، $4/5$ برابر توان مصرفی شکل (۱) باشد: $\frac{P_2}{P_1} = 4/5 \leftarrow$
ب) اندازه $R_2 = ? \Omega \leftarrow$ می‌تواند باشد:

باتوجه‌به ثابت بودن V در هر دو شکل، با محاسبهٔ مقاومت معادل هرکدام از آن‌ها و استفاده از رابطهٔ $P = \frac{V^2}{R}$ می‌توانیم R_2 را به دست بیاوریم.
در شکل (۱) مقاومت‌ها به‌صورت سری هستند و مقاومت معادل آن‌ها برابر است با:

$$R_{T_1} = R_1 + R_2 \quad (I)$$

در شکل (۲) مقاومت‌ها به‌صورت موازی هستند و مقاومت معادل آن‌ها برابر است با:

$$\frac{1}{R_{T_2}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow R_{T_2} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (II)$$

حال از نسبت $\frac{P_2}{P_1} = 4/5$ استفاده می‌کنیم:

$$P = \frac{V^2}{R_T} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \frac{\frac{V^2}{R_{T_2}}}{\frac{V^2}{R_{T_1}}} \Rightarrow 4/5 = \frac{R_{T_1}}{R_{T_2}} \xrightarrow{(I)} \frac{(R_1 + R_2)}{\frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)}} = 4/5$$

$$\xrightarrow{R_1=6\Omega} (6 + R_2)^2 = 6R_2 \times 4/5 \Rightarrow R_2^2 - 15R_2 + 36 = 0 \Rightarrow R_2 = \frac{15 \pm \sqrt{225 - 144}}{2} \Rightarrow \begin{cases} R_2 = 3\Omega \\ R_2 = 12\Omega \end{cases}$$

در دو حالت، مقدار معادل را به دست آورده و درنهایت با استفاده از نسبت $\frac{I'}{I} = \frac{16}{15}$ ، n را به دست می‌آوریم:

$$\text{حالت اول: } R_{eq} = \frac{R}{n} + R$$

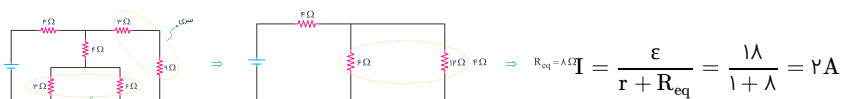
$$\text{حالت دوم: } R'_{eq} = \frac{R}{n+1} + R$$

$$\frac{I'}{I} = \frac{16}{15} \Rightarrow \frac{\frac{\frac{R}{n+1} + R}{\frac{R}{n} + R}}{\frac{R}{n} + R} = \frac{16}{15} \Rightarrow \frac{\frac{R}{n} + R}{\frac{R}{n+1} + R} = \frac{16}{15}$$

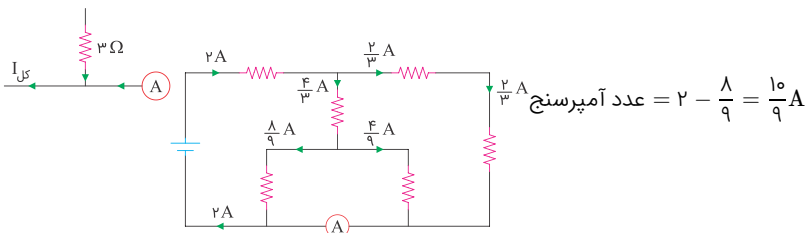
$$\Rightarrow \frac{\frac{1}{n} + 1}{\frac{1}{n+1} + 1} = \frac{16}{15} \Rightarrow \frac{(n+1)^2}{n(n+2)} = \frac{16}{15}$$

در اینجا با جایگذاری اعداد گزینه در رابطهٔ فوق، سریع‌تر به جواب خواهیم رسید.
در رابطهٔ فوق $3 = n$ صدق می‌کند.

آمپرسنج ایده‌آل بدون مقاومت الکتریکی است و می‌توان مانند سیم بدون مقاومت در نظر گرفت:

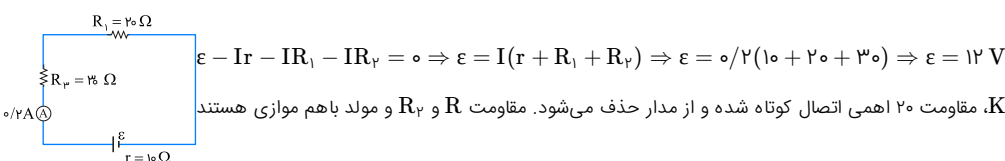


آمپرسنج، اختلاف جریان کل و جریانی که از مقاومت ۳ اهمی عبور می‌کند را نشان می‌دهد.



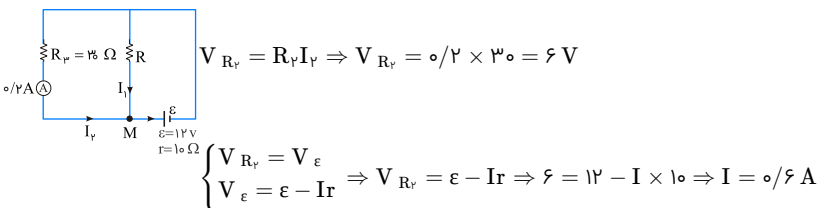
حالت اول) K_1 و K_2 باز هستند:

طبق قاعده حلقه (قانون ولتاژ کیرشهف) داریم:



$$V_{R_2} = V_R = V_\varepsilon$$

با استفاده از قانون اهم V_{R_2} برابر است با:



جریان کل برابر است با:

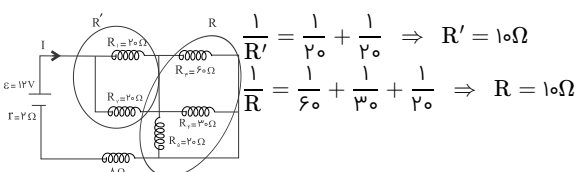
با استفاده از قانون گره در نقطه M داریم:

$$\begin{cases} I = I_1 + I_2 \\ I = 0.6A \Rightarrow 0.6 = I_1 + 0.2 \Rightarrow I_1 = 0.4A \\ I_2 = 0.2A \end{cases}$$

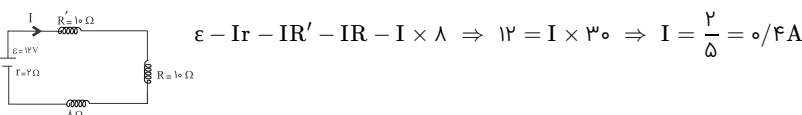
بنابراین R برابر است با:

$$\begin{cases} V_R = V_{R_2} \\ V_R = I_1 R \Rightarrow I_1 R = V_{R_2} \Rightarrow 0.4 \times R = 6 \Rightarrow R = 15\Omega \end{cases}$$

برای محاسبه جریان I باید مقاومت معادل را به دست بیاوریم. مقاومت‌های R_1 ، R_2 و همچنین R_3 ، R_4 ، R_5 باهم موازی هستند بنابراین مقاومت‌های معادل هرکدام برابر است با:

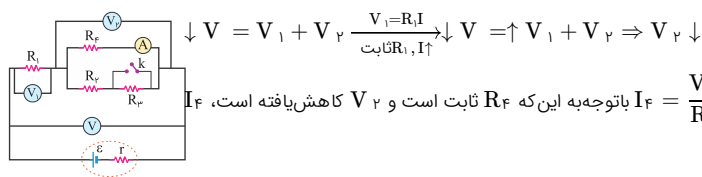


بنابراین مدارمان به صورت زیر درمی‌آید. با استفاده از قانون حلقه می‌توانیم I را محاسبه کنیم:



گام اول: با وصل کردن کلید k ، مقاومت R_3 اتصال کوتاه شده و از مدار حذف می‌شود. بنابراین مقاومت معادل مدار کم می‌شود. طبق رابطه $I = \frac{\varepsilon}{R_{eq} + r}$ ، با کاهش R_{eq} ، جریان عبوری از باتری زیاد می‌شود. عدد ولت‌سنج که همان اختلاف پتانسیل دو سر باتری است از رابطه $V = \varepsilon - Ir$ به دست می‌آید. با افزایش I ، عدد V کاهش می‌یابد.

گام دوم: باتوجه به شکل زیر و نتیجه گام اول، داریم:



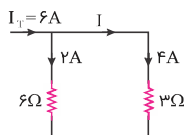
بنابراین عدد ولت‌سنج (۲) که همان اختلاف پتانسیل دو سر R_F است، کاهش می‌یابد. طبق رابطه $I_F = \frac{V_2}{R_F}$ ، باتوجه به این که R_F ثابت است و V_2 کاهش یافته است، I_F که همان عدد آمپرسنج است کاهش یافته است.

هنگامی توان خروجی مولد در یک مدار بیشینه می‌شود که: $R_T = r$

$$R_{\frac{\varepsilon}{6\Omega}, 12\Omega} = \frac{\varepsilon \times 12}{\varepsilon + 12} = 4 \Rightarrow \frac{4R}{4 + R} = r \Rightarrow R_T = \frac{4R}{4 + R} = 2 \Rightarrow R = 4\Omega$$

$$I_T = \frac{\varepsilon}{R_T + r} = \frac{12}{2 + 2} = 6A$$

جریان مقاومت ۳ اهمی دو برابر جریان مقاومت ۶ اهمی است:



طبق رابطه $V = \varepsilon - Ir$ چون مقاومت درونی صفر است، اختلاف پتانسیل دو سر منبع ولتاژ ثابت بوده و برابر با ε است. لامپ L_1 با باتری موازی است؛ بنابراین اختلاف پتانسیل دو سر آن همواره ثابت بوده و نور آن تغییر نمی‌کند. با بسته شدن کلید k و حذف لامپ L_3 ، لامپ L_2 با باتری موازی می‌شود و اختلاف پتانسیل آن افزایش می‌یابد (قبل از بسته شدن ولتاژ باتری بین L_2 و L_3 تقسیم می‌شود). در نتیجه لامپ L_2 پرنورتر می‌شود.

باتوجه به رابطه $P = \frac{Q}{t}$ ، در مدت زمان ثابت هنگامی گرما بیشترین مقدار خود را دارد که توان مفید باتری دارای بیشترین مقدار خود باشد؛ بنابراین ابتدا بیشترین توان مفید مولد را حساب می‌کنیم. برای محاسبه این کمیت ابتدا نیروی محرکه باتری را حساب می‌کنیم. باتوجه به نمودار می‌توان جریانی که به ازای آن توان دارای بیشترین مقدار می‌شود را حساب کرد.

$$I = \frac{I_1 + I_2}{2} = \frac{2 + 4}{2} = 3A$$

$$I = \frac{\varepsilon}{2r} \Rightarrow 3 = \frac{\varepsilon}{4} \Rightarrow \varepsilon = 12V$$

اکنون برای محاسبه بیشترین توان مفید داریم:

$$P = \varepsilon I - rI^2 = 12(3) - 2(3)^2 = 18W$$

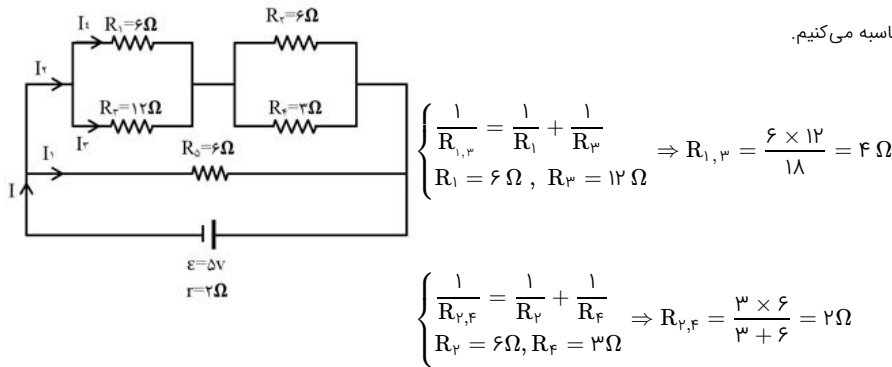
در این صورت خواهیم داشت:

$$P = \frac{Q}{t} \Rightarrow 18 = \frac{mc\Delta T}{t} \Rightarrow 18 \times 70 = m \times 4200 \times 10 \Rightarrow m = 30g$$

گام اول

توان مصرفی مقاومت R_1 چند وات است؟ $\leftarrow P_1 = ? W$

گام دوم



باید جریان عبوری از مقاومت R_1 را به دست بیاوریم. ابتدا جریان کل را محاسبه می‌کنیم.
مقاومت‌های R_3, R_1 باهم موازی‌اند بنابراین:

مقاومت‌های R_v, R_φ باهم موازی‌اند:

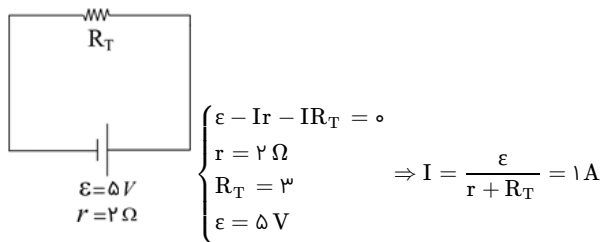
مقاومت معادل $R_{1,3}, R_{2,4}, R_5$ باهم سری‌اند:

$$\begin{cases} R_{1,\varphi,\phi,\varphi} = R_{v,\phi} + R_{1,\varphi} \\ R_{v,\phi} = 2\Omega, R_{1,\varphi} = 4\Omega \end{cases} \Rightarrow R_{1,\varphi,\phi,\varphi} = 2 + 4 = 6\Omega$$

مقاومت‌های $R_\delta, R_{1,2,3,4}, R_5$ باهم موازی‌اند:

$$\begin{cases} \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_\delta} + \frac{1}{R_{1,\varphi,\phi,\varphi}} \\ R_{1,\varphi,\phi,\varphi} = 6\Omega, R_\delta = 6\Omega \end{cases} \Rightarrow R_T = \frac{6}{2} = 3\Omega$$

حالا می‌توانیم جریان کل را محاسبه کنیم.

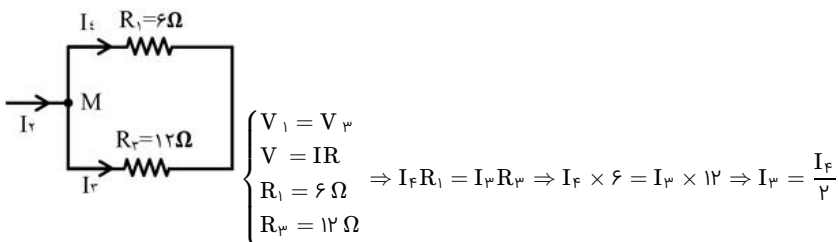


حال باید جریان عبوری از R_1 را به دست بیاوریم.

مقاومت معادل $R_\delta, R_{1,2,3,4}, R_5$ باهم موازی و برابرند؛ بنابراین جریان I به‌طور مساوی بین آن‌ها تقسیم می‌شود؛ بنابراین:

$$\begin{cases} I_1 = I_v = \frac{I}{2} \\ I = 1A \end{cases} \Rightarrow I_1 = I_v = \frac{1}{2} A$$

مقاومت‌های R_1, R_3 باهم موازی هستند ($V_1 = V_3$) بنابراین:



باتوجه به پایستگی بار در نقطه M داریم:

$$\begin{cases} I_v = I_\varphi + I_\varphi \\ I_\varphi = \frac{I_\varphi}{2} \\ I_v = \frac{1}{2} A \end{cases} \Rightarrow \frac{1}{2} = \frac{I_\varphi}{2} + I_\varphi \Rightarrow I_\varphi = \frac{1}{3} A$$

بنابراین توان مصرفی مقاومت R_1 برابر است با:

الف) همهٔ مقاومت‌های مدار مشابه‌اند $\leftarrow R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R$

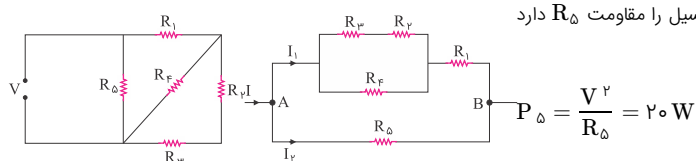
ب) هر مقاومت حداکثر توان ۲۰ W وات را می‌تواند تحمل کند $\leftarrow P_{\max} = ۲۰\text{ W}$

ج) حداکثر توان الکتریکی ممکن در این مدار چند وات است؟ $\leftarrow P_T = ?\text{ W}$

شکل مدار را می‌توانیم ساده‌تر رسم کنیم.

توان مقاومت برابر است با $\frac{V^2}{R}$ ، باتوجه به شکل مدار می‌توان به راحتی دریافت که بالاترین اختلاف پتانسیل را مقاومت R_5 دارد

که برابر است با اختلاف پتانسیل کل مدار:



از آنجاکه $V_T = V_5$ است می‌توانیم از نسبت $\frac{P}{P_5}$ ، را محاسبه کنیم. ابتدا باید مقاومت معادل کل مدار را محاسبه کنیم.

مقاومت‌های R_3, R_4 باهم متوالی هستند بنابراین:

$$R_{۳,۴} = R_3 + R_4 = R + R = ۲R$$

مقاومت معادل $R_{۲,۳}$ با مقاومت R_4 موازی است بنابراین:

$$\frac{1}{R_{۲,۳,۴}} = \frac{1}{R_{۲,۳}} + \frac{1}{R_4} = \frac{1}{۲R} + \frac{1}{R} \Rightarrow R_{۲,۳,۴} = \frac{۲R^2}{۳R} = \frac{۲}{۳}R$$

مقاومت معادل $R_{۱,۲,۳,۴}$ با مقاومت R_1 سری است؛ بنابراین:

$$R_{۱,۲,۳,۴} = R_1 + R_{۲,۳,۴} = R + \frac{۲}{۳}R = \frac{۵}{۳}R$$

مقاومت معادل $R_{۱,۲,۳,۴}$ با مقاومت R_5 موازی است؛ بنابراین:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_{۱,۲,۳,۴}} \Rightarrow R_T = \frac{R \times \frac{۵}{۳}R}{\frac{۵}{۳}R} = \frac{۵}{۸}R$$

حال با استفاده از نسبت $\frac{P_T}{P_5}$ می‌توانیم P_T را محاسبه کنیم:

$$P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow \frac{P_T}{P_5} = \frac{\frac{V_T^2}{R_T}}{\frac{V_5^2}{R_5}} \xrightarrow{V_T = V_5} \frac{P_T}{P_5} = \frac{R_5}{R_T} \Rightarrow \frac{P_T}{۲۰} = \frac{R}{\frac{۵}{۸}R} \Rightarrow P_T = ۳۲\text{ W}$$

با کاهش مقاومت متغیر R_1 ، مقاومت کل کاهش و شدت جریان مدار افزایش می‌یابد $(I = \frac{\mathcal{E}}{R_T + r})$.

حال به بررسی ولت‌سنج‌ها می‌پردازیم:

ولت‌سنج V : اختلاف پتانسیل دو سر مولد برابر $V = \mathcal{E} - Ir$ است؛ بنابراین با افزایش جریان مدار، اختلاف پتانسیل کاهش می‌یابد و ولت‌سنج V عدد کمتری را نشان می‌دهد.

ولت‌سنج V_2 : اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت R_2 برابر $V_2 = IR_2$ است؛ بنابراین با افزایش I ، V_2 نیز افزایش می‌یابد و ولت‌سنج عدد بیشتری را نشان می‌دهد.

ولت‌سنج V_1 : به کمک اختلاف پتانسیل دو سر مولد داریم:

$$V = V_1 + V_2 + ۲V_R$$

در این رابطه V کاهش یافته و V_2 و V_R افزایش یافته‌اند، بنابراین V_1 باید کاهش یابد.

$$\frac{U_1 t}{U_2 t} = \mathfrak{P} \xrightarrow{P=\frac{U}{t}} \frac{P R_1}{P R_2} = \mathfrak{P} \xrightarrow{P=RI^2} \frac{R_1 I_1^2}{R_2 I_2^2} = \mathfrak{P} \quad (۱)$$

$$\begin{cases} I_2 + I_3 = I_1 \\ I_2 R_2 = I_3 R_3 \end{cases} \Rightarrow I_2 + \frac{I_2 R_2}{R_3} = I_1 \Rightarrow I_2 = \frac{I_1}{\left(1 + \frac{R_2}{R_3}\right)} \quad (۲)$$

$$(۱), (۲) \Rightarrow \frac{(۱۲ + R_2)^2}{\mathfrak{P} \times ۱۸ R_2} = ۱ \quad (*)$$

تمام گزینه ها را در رابطه * امتحان می کنیم:

$$\text{گزینه ۱: } \frac{(۱۲ + ۹)^2}{\mathfrak{P} \times ۱۸ \times ۹} \neq ۱$$

$$\text{گزینه ۲: } \frac{(۱۲ + ۱۲)^2}{\mathfrak{P} \times ۱۸ \times ۱۲} \neq ۱$$

$$\text{گزینه ۳: } \frac{(۱۲ + ۱۵)^2}{\mathfrak{P} \times ۱۸ \times ۱۵} \neq ۱$$

$$\text{گزینه ۴: } \frac{(۱۲ + ۲۴)^2}{\mathfrak{P} \times ۱۸ \times ۲۴} = ۱$$

پس گزینه "۴" صحیح است.

هنگامی که لغزنده رؤستا از نقطه A به نقطه B برده می شود، مقاومت کل مدار افزایش می یابد؛ بنابراین جریان شاخه اصلی کاهش می یابد بنابراین:

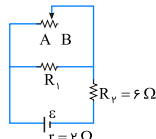
جریان عبوری از مقاومت R_2 و در نتیجه ولتاژ دو سر این مقاومت کاهش می یابد: $I_{R_2} \downarrow \Rightarrow V_{R_2} \downarrow$

همچنین جریان عبوری از مقاومت درونی (مولد) نیز کاهش می یابد؛ بنابراین ولتاژ خروجی مولد افزایش می یابد: $I_r \downarrow \Rightarrow V \uparrow$ خروجی مولد

در نتیجه ولتاژ دو سر مقاومت R_1 و شاخه بالایی افزایش می یابد؛ که در نتیجه جریان عبوری از مقاومت R_1 و به تبع آن توان مصرفی این مقاومت افزایش می یابد:

$$V_{R_1} \uparrow \Rightarrow I_{R_1} \uparrow \xrightarrow{P_{R_1}=R_1 I_1} P_{R_1} \uparrow$$

باتوجه به اینکه بیشترین توان خروجی مولد وقتی رخ می دهد که $r = R_T$ باشد (که با توجه به شکل $r = ۲$ است یعنی بیشینه توان خروجی مولد به ازای $R_T = ۲$ رخ می دهد) و هر چه مقدار R_T از مقدار r فاصله بگیرد، توان خروجی مولد کمتر است. با این توضیح و با توجه به اینکه با انتقال لغزنده از نقطه A به نقطه B، R_T زیاد می شود (از $R_2 = ۶ \Omega$ هم که قطعاً بیشتر است) و فاصله آن از r بیشتر شده، توان خروجی مولد کاهش می یابد.



با افزایش مقاومت R_2 ، مقاومت معادل کل مدار افزایش می یابد. از طرفی نیروی محرکه مولد ثابت است؛ پس جریان الکتریکی کل مدار (I) کاهش می یابد.

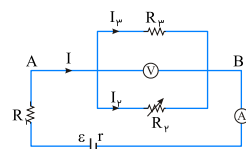
باتوجه به شکل، R_3 و R_2 و ولت سنج با یکدیگر موازی هستند؛ لذا اختلاف پتانسیل دو سر آنها با هم برابر است:

$$V_3 = V_2 = V_{\text{ولت سنج}} \quad (۱)$$

اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت R_3 را محاسبه می کنیم:

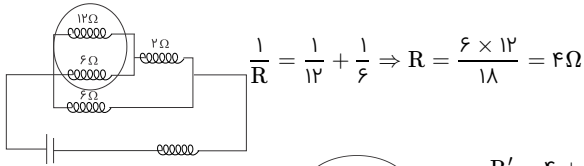
$$V_3 = \varepsilon - rI - R_1 I \quad (۲)$$

از رابطه (۲) داریم: جریان الکتریکی کل I کاهش می یابد و مقادیر ε و r و R_1 ثابت هستند، لذا V_3 افزایش می یابد؛ و در نتیجه طبق رابطه (۱) اختلاف پتانسیلی که ولت سنج نشان می دهد نیز افزایش می یابد.



شکل مدار را می توانیم ساده کنیم:

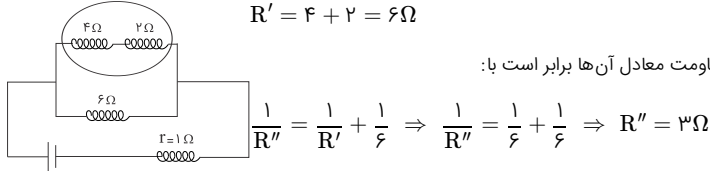
مقاومت های نشان داده شده در شکل باهم موازی می باشند و مقاومت معادل آن ها برابر است با:



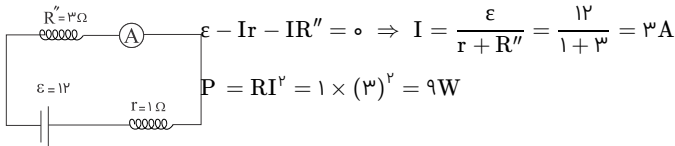
مقاومت های ۲ و ۴ اهمی باهم متوالی اند، بنابراین مقاومت معادل آن ها می شود:

$$R' = 4 + 2 = 6\Omega$$

و در نهایت مقاومت R' با مقاومت 6Ω باهم موازی می باشند و مقاومت معادل آن ها برابر است با:



حال با استفاده از قاعده حلقه می توانیم جریان را محاسبه کرده و در نهایت توان تلف شده در باتری را به دست آوریم:



گام اول

الف) کلید K باز است ← پس مقاومت $2R$ (مقاومت پایینی) در مدار نادیده گرفته می شود.

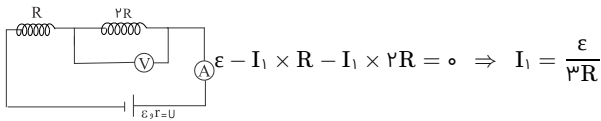
ب) اگر کلید را ببندیم ← مقاومت $2R$ وارد مدار شده و با مقاومت بالای خود موازی می شود.

ج) اعدادی که ولت سنج و آمپرسنج نشان می دهند چندبرابر می شوند؟ ← $\frac{I_2}{I_1} = ?$ $\frac{V_2}{V_1} = ?$

گام دوم

حالت اول) کلید باز است:

قاعده حلقه را می نویسیم تا I_1 را به دست بیاوریم:



اختلاف پتانسیل مقاومت $2R$ برابر است با:

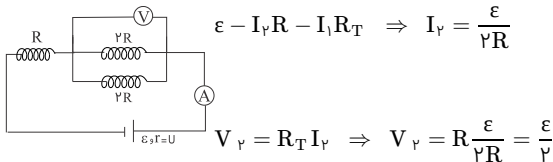
$$V_1 = 2RI_1 \Rightarrow V_1 = 2R \times \frac{\varepsilon}{3R} \Rightarrow V_1 = \frac{2}{3}\varepsilon$$

حالت دوم) کلید بسته است:

مقاومت های $2R$ به صورت موازی بسته شده اند؛ بنابراین مقاومت معادل آن ها برابر است با:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{2R} + \frac{1}{2R} \Rightarrow R_T = R$$

حال با استفاده از قاعده حلقه جریان I_2 را به دست می آوریم:



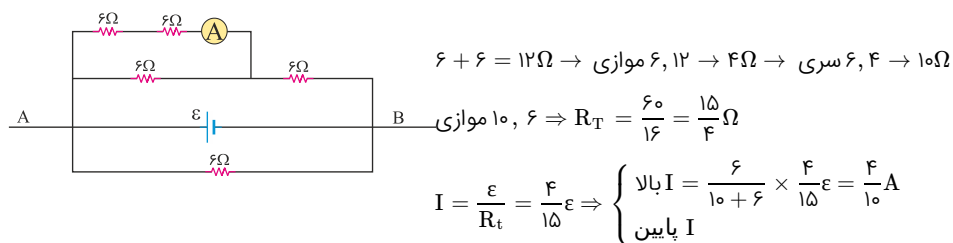
و همچنین اختلاف پتانسیلی که ولت سنج نشان می دهد برابر است با:

بنابراین نسبت $\frac{I_2}{I_1}$, $\frac{V_2}{V_1}$ برابر است با:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{\frac{\varepsilon}{2}}{\frac{2\varepsilon}{3}} = \frac{3}{4}$$

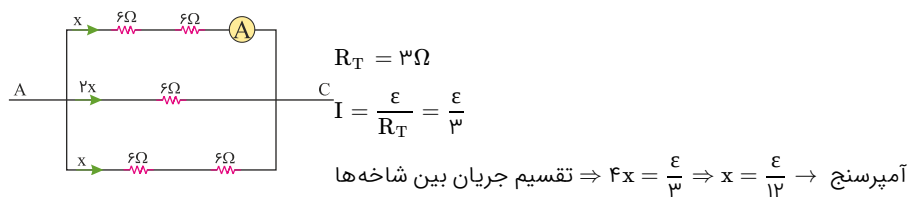
$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{\frac{\varepsilon}{2R}}{\frac{\varepsilon}{3R}} = \frac{3}{2}$$

وقتی مولد بین A و B بسته می‌شود:



$I \text{ بالا} \left\{ \begin{array}{l} \text{آمپرسنج} \rightarrow \frac{6}{6 + 12} \times \frac{\varepsilon}{10} = \frac{\varepsilon}{30} \\ \text{جریان شاخه آمپرسنج} \\ \text{جریان اهمی} \end{array} \right.$

وقتی مولد بین A و C بسته می‌شود:



$\frac{I_{AC}}{I_{AB}} = \frac{\frac{\varepsilon}{12}}{\frac{\varepsilon}{30}} = \frac{30}{12} = \frac{5}{2}$

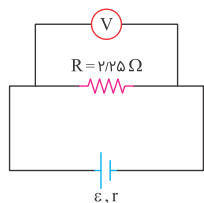
با افزایش مقدار یک مقاومت جریان کلی مدار (جریان عبوری از باتری) کاهش می‌یابد.

$V = \varepsilon - rI \xrightarrow{I \downarrow} V \uparrow$

همچنین ولتاژ دو سر آن مقاومتی که افزایش یافته نیز افزایش می‌یابد.

$I \downarrow \Rightarrow R \uparrow \Rightarrow \text{عدد آمپرسنج} \downarrow$

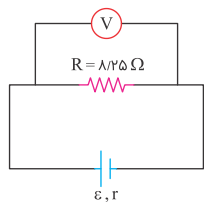
(حالت اول)



$$V = \mathcal{E}/\delta(V)$$

$$I = \frac{\mathcal{E}}{r + R} \Rightarrow \frac{V}{R} = \frac{\mathcal{E}}{r + R} \Rightarrow \gamma = \frac{\mathcal{E}}{r + \gamma/2\delta} \Rightarrow \mathcal{E} = \gamma r + \mathcal{E}/\delta \quad (1)$$

(حالت دوم)



$$V = \lambda/2\delta(V)$$

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

$$\Rightarrow \frac{V}{R} = \frac{\mathcal{E}}{r + R} \Rightarrow \lambda = \frac{\mathcal{E}}{r + \lambda/2\delta} \Rightarrow \mathcal{E} = r + \lambda/2\delta \quad (2)$$

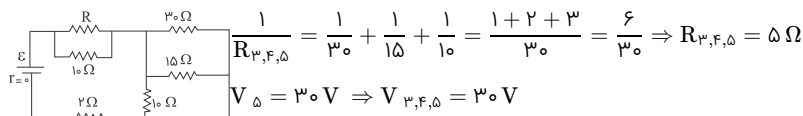
$$(1), (2) \Rightarrow \gamma r + \mathcal{E}/\delta = r + \lambda/2\delta \Rightarrow r = 3/7\delta\Omega$$

با استفاده از معادله $\mathcal{E} = \gamma r + \mathcal{E}/\delta$ و $r = 3/7\delta\Omega$ نتیجه می‌گیریم:

$$\mathcal{E} = 12(V)$$

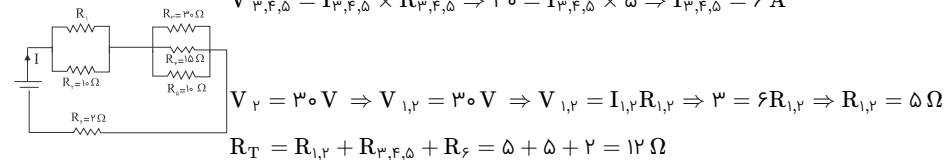
$$P_{\max} = \frac{\mathcal{E}^2}{4r} = \frac{(12)^2}{4(3/7\delta)} = \frac{144}{1\delta} = 9/6W$$

مقاومت R با مقاومت 10Ω موازی است و سمت راست مقاومت‌های 30Ω و 15Ω و 10Ω نیز باهم موازی‌اند و کل آن‌ها با 2Ω متوالی هستند.



$$V_{۳,۴,۵} = I_{۳,۴,۵} \times R_{۳,۴,۵} \Rightarrow 30 = I_{۳,۴,۵} \times 5 \Rightarrow I_{۳,۴,۵} = 6A$$

بنابراین $I_{1,2}$ نیز ۶ A است.



گام اول

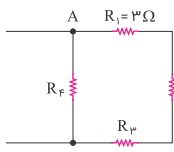
الف) توان مصرفی هریک از مقاومت‌ها باهم برابر است $\leftarrow P_1 = P_2 = P_3 = P_4$
 ب) مقاومت معادل مدار چند اهم است $\leftarrow R_T = ? \Omega$

گام دوم

مقاومت‌های R_1, R_2, R_3 باهم سری هستند؛ بنابراین:

$$\begin{cases} P_1 = P_2 = P_3 \\ I_1 = I_2 = I_3 = I \\ P_3 = R_3 I^2 \\ R_3 = 3 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} R_1 I^2 = R_2 I^2 = R_3 I^2 \\ R_1 = R_2 = R_3 = 3 \Omega \end{cases}$$

از آنجاکه مقاومت‌ها باهم برابر هستند و جریان عبوری از آن‌ها یکسان است، اختلاف پتانسیل تمامی آن‌ها یکسان است.



$$\begin{cases} V = RI \\ R_1 = R_2 = R_3 \Rightarrow V_1 = V_2 = V_3 = V \\ I_1 = I_2 = I_3 = I \end{cases}$$

$$\begin{cases} V_{AB} = V_3 + V_2 + V_1 \\ V_3 = V_2 = V_1 = V \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V_{AB} = 3V \\ V_F = 3V \end{cases}$$

اختلاف پتانسیل دو سر مقاومت R_4 برابر است:

باتوجه به اینکه توان مقاومت R_4 با مقاومت R_1 برابر است می‌توانیم مقاومت R_4 را محاسبه کنیم.

$$\begin{cases} P_F = P_1 \\ P = \frac{V^2}{R} \\ V_1 = V, V_F = 3V, R_1 = 3 \Omega \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{V_F^2}{R_F} = \frac{V_1^2}{R_1} \\ \frac{9V^2}{R_F} = \frac{V^2}{3} \\ R_F = 27 \Omega \end{cases}$$

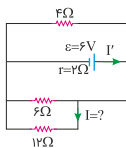
حالا می‌توانیم مقاومت معادل را محاسبه کنیم. مقاومت‌های R_3, R_2, R_1 باهم سری و برابر ۳ اهم هستند.

$$\begin{cases} R_{1,2,3} = R_1 + R_2 + R_3 \\ R_1 = R_2 = R_3 \end{cases} \Rightarrow R_{1,2,3} = 9 \Omega$$

مقاومت معادل $R_{1,2,3}$ با مقاومت R_4 باهم موازی هستند؛ بنابراین:

$$\begin{cases} \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{1,2,3}} + \frac{1}{R_F} \\ R_{1,2,3} = 9 \Omega \\ R_F = 27 \Omega \end{cases} \Rightarrow R_T = \frac{9 \times 27}{9 + 27} = \frac{27}{4} \Omega$$

مقاومت 12Ω سمت راست مدار اتصال کوتاه شده است.



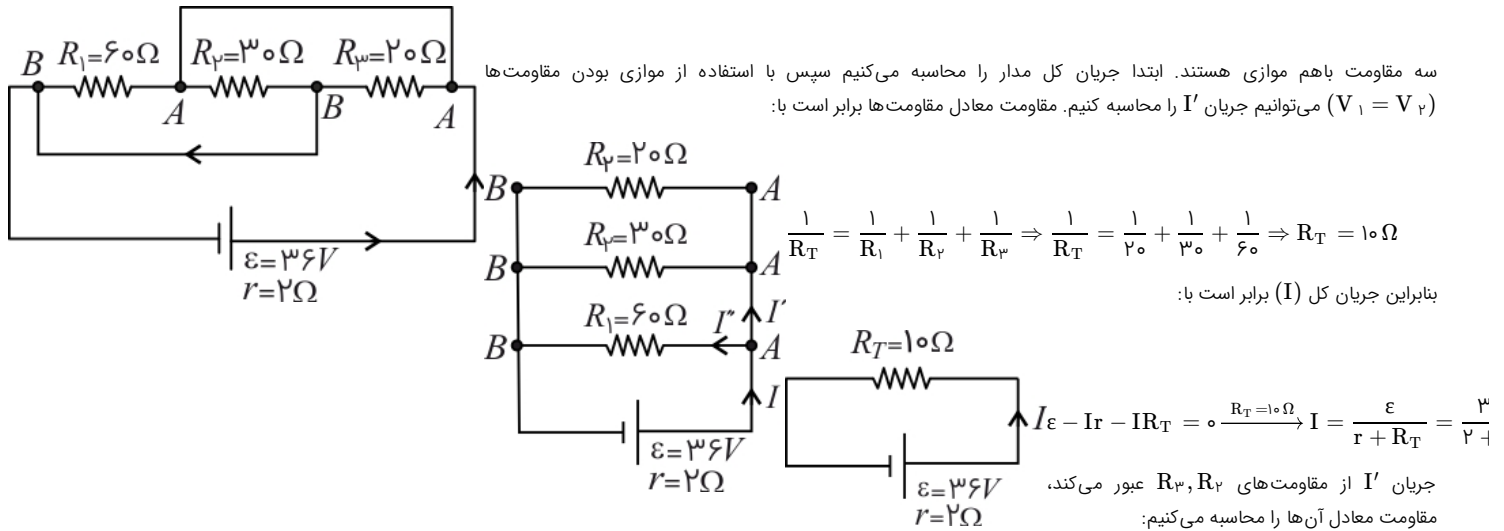
$$R_{eq} = ((12 \parallel 6) \parallel 4) = 2 \Omega$$

$$I' = \frac{\varepsilon}{R_{eq} + r} = \frac{6}{2 + 2} = 1/2 \Omega$$

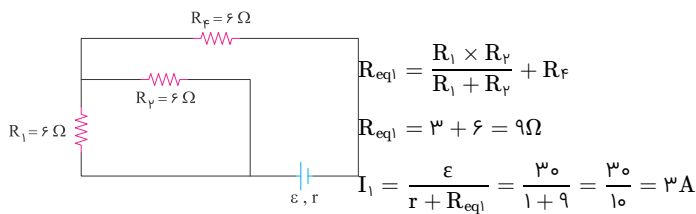
$$V_{12 \Omega} = \varepsilon - rI' = 6 - 2 \times 1/2 = 3 V$$

$$I = \frac{V}{R} = \frac{3}{12} = 0.25 A$$

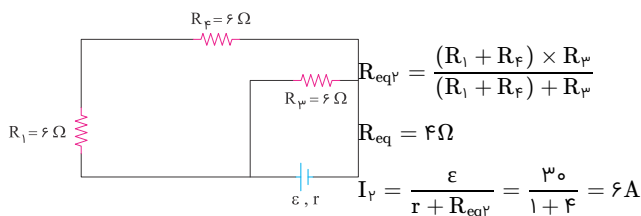
باتوجه به نقاط هم‌پتانسیل می‌توانیم مدار را به شکل ساده‌تری رسم کنیم.



حالت اول:



حالت دوم:



اگر جریان عبوری از مقاومت R_Δ را I در نظر بگیریم، داریم:

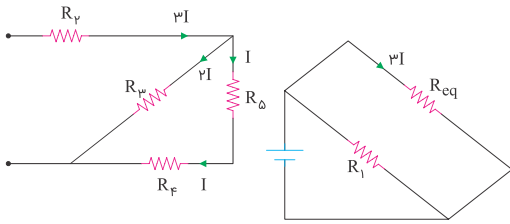
R_Δ و R_F سری هستند، پس جریان هر دو (I) هست.

مقاومت معادل R_F و R_Δ با مقاومت R_3 موازی هستند؛ پس اختلاف پتانسیل دو سر آن‌ها برابر هستند.

$$R_3 I_3 = R_{eq(F, \Delta)} \times I \Rightarrow 6 \times I_3 = 12I \Rightarrow I_3 = 2I$$

مقاومت معادل R_3 و R_F و R_Δ با R_2 سری هستند؛ پس جریان عبوری از مقاومت R_2 هم برابر با $3I$ است.

مقاومت معادل R_2 و R_3 و R_F و R_Δ با R_1 موازی است.



$$R_{eq} = R_2 + \frac{(R_F + R_\Delta)R_3}{(R_F + R_\Delta) + R_3} = 6\Omega$$

$$(3I)R_{eq} = R_1 \times I_1$$

$$(3I)(6) = 24I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{3}{4}I$$

$$\frac{P_1}{P_\Delta} = \frac{R_1 I_1^2}{R_\Delta I_\Delta^2} = \frac{(24)(\frac{3}{4}I)^2}{1(I)^2} = \frac{27}{16}, \quad P_1 = \frac{27}{16}P_\Delta = \frac{27}{16} \times 16 \Rightarrow P_1 = 27W$$

باید جریان‌های مقاومت R_3, R_1 را به دست بیاوریم و با استفاده از قانون گره، I' را محاسبه کنیم.

ابتدا باید جریان کل مدار را به دست بیاوریم.

مقاومت‌های R_1, R_2 با هم موازی هستند، بنابراین:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{R_{1,2}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \\ R_1 = ۳, R_2 = ۶ \end{array} \right. \Rightarrow R_{1,2} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{۳ \times ۶}{۳ + ۶} = ۲ \Omega$$

از آنجایی که مقاومت R_3, R_4 همان مقادیر مقاومت‌های R_2, R_1 را دارند و موازی نیز بسته شده‌اند می‌توان نتیجه گرفت: $R_{1,2} = R_{3,4} = ۲ \Omega$

مقاومت‌های $R_{3,4}, R_{1,2}$ با هم متوالی هستند و مقاومت معادل مدار برابر است با:

$$R_T = R_{3,4} + R_{1,2} = ۲ + ۲ = ۴ \Omega$$

$$\varepsilon - I r - I R_T = 0$$

$$I = \frac{\varepsilon}{r + R_T}$$

بنابراین جریان کل مدار برابر است با:

$$\left\{ \begin{array}{l} I = \frac{\varepsilon}{r + R_T} \\ R_T = ۴ \Omega \\ r = ۱ \Omega \\ \varepsilon = ۳۰ V \end{array} \right. \Rightarrow I = \frac{۳۰}{۱ + ۴} = ۶ A$$

مقاومت‌های R_1, R_2 با هم موازی هستند ($V_1 = V_2$) بنابراین:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_1 = V_2 \\ V = I R \\ R_1 = ۳ \Omega, R_2 = ۶ \Omega \end{array} \right. \Rightarrow I_1 R_1 = I_2 R_2 \Rightarrow I_1 \times ۳ = I_2 \times ۶ \Rightarrow I_1 = ۲ I_2$$

باتوجه به قانون گره در نقطه M داریم:

$$\left\{ \begin{array}{l} I = I_2 + I_1 \\ I = ۶ A \\ I_1 = ۲ I_2 \end{array} \right. \Rightarrow ۶ = I_2 + ۲ I_2 \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} I_2 = ۲ A \\ I_1 = ۴ A \end{array} \right.$$

باتوجه به تقارن مقاومت‌های R_3 و R_4 ، با مقاومت‌های R_2 و R_1 می‌توان نتیجه گرفت که $I_2 = I_4$ و $I_1 = I_3$. با استفاده از پایداری بار در نقطه N داریم:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_1 = I_3 + I' \\ I_1 = ۴ A \\ I_3 = I_4 = ۲ A \end{array} \right. \Rightarrow ۴ = ۲ + I' \Rightarrow I' = ۲$$

گام اول: ابتدا مقاومت معادل مدار و سپس با استفاده از رابطه جریان مدار تک حلقه، جریان عبوری از باتری را به دست می‌آوریم:

$$R_1 = ۱/۵ \Omega + ۶/۵ \Omega = ۸ \Omega$$

$$R_2 = \frac{R_1 \times ۸}{R_1 + ۸} = \frac{۸ \times ۸}{۸ + ۸} = \frac{۶۴}{۱۶} = ۴ \Omega$$

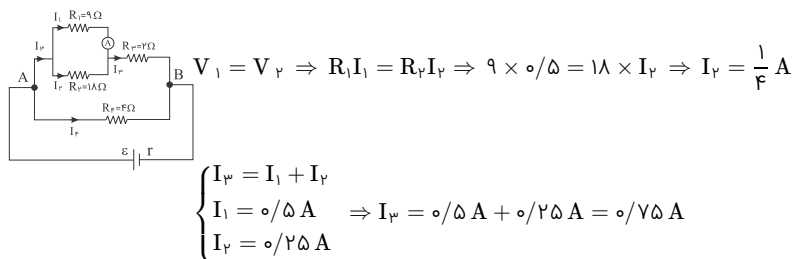
$$R_e = ۳ + ۴ = ۷ \Omega \Rightarrow I = \frac{\varepsilon}{R_e + r} = \frac{۲۴}{۷ + ۱} = ۳ A$$

گام دوم: جریان $۳ A$ بین مقاومت‌های ۸Ω و R_1 تقسیم می‌شود. جریان عبوری از مقاومت R_1 همان جریان عبوری از مقاومت $۱/۵$ اهمی است. بنابراین:

$$\left\{ \begin{array}{l} I_1 + I_2 = ۳ A \\ \frac{I_1}{I_2} = \frac{۸ \Omega}{۱/۵ \Omega} = ۱ \end{array} \right. \Rightarrow I_1 = ۱/۵ A$$

پس جریان عبوری از مقاومت $۱/۵ \Omega$ نیز برابر $۱/۵ A$ است.

برای محاسبه P_F باید جریان I_F را به دست بیاوریم. مقاومت‌های R_1 و R_2 با هم موازی‌اند، بنابراین:



قاعده گره را برای نقطه C می‌نویسیم:

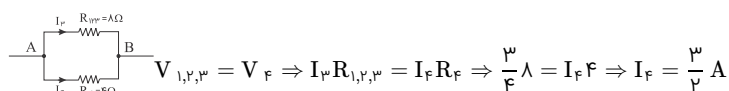
باید مقاومت معادل شاخه بالا را محاسبه کنیم تا جریان I_F به دست آید. R_1 و R_2 با هم موازی‌اند، پس:

$$\frac{1}{R_{1,2}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow R_{1,2} = \frac{9 \times 18}{9 + 18} = 6 \Omega$$

مقاومت $R_{1,2}$ با مقاومت R_3 با هم سری هستند، بنابراین مقاومت معادل آن‌ها برابر است با:

$$R_{1,2,3} = R_{1,2} + R_3 = 6 + 2 = 8 \Omega$$

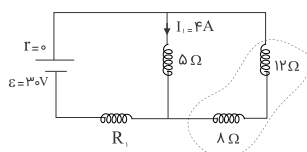
مقاومت $R_{1,2,3}$ با مقاومت R_F موازی است، بنابراین:



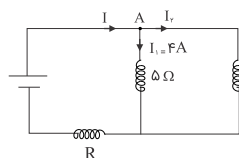
در نهایت توان مصرفی R_F برابر است با:

$$P_F = R_F I_F^2 = 4 \times \left(\frac{3}{2}\right)^2 = 9 W$$

ابتدا جریان عبوری از مقاومت R_1 را به دست می‌آوریم:



مقاومت‌های ۱۲ و ۸ اهمی با هم سری می‌باشند و مقاومت معادل آن‌ها برابر است با: $R_T = 8 + 12 = 20 \Omega$
مقاومت‌های R_T و 5Ω با هم موازی‌اند ($V_5 = V_{R_T}$) بنابراین:



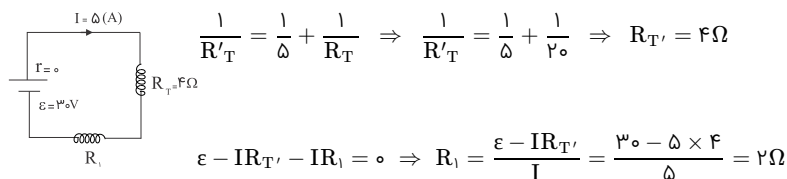
با استفاده از قانون گره در نقطه A می‌توانیم ا را به دست بیاوریم:

$$I = I_1 + I_2 \Rightarrow I = 1 + 4 = 5 A$$

حال باید مقدار R_1 را به دست بیاوریم. مقاومت‌های R_T و 5Ω با هم موازی می‌باشند و مقاومت معادل آن‌ها برابر است با:

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{1}{5} + \frac{1}{R_T} \Rightarrow \frac{1}{R'_T} = \frac{1}{5} + \frac{1}{20} \Rightarrow R'_T = 4 \Omega$$

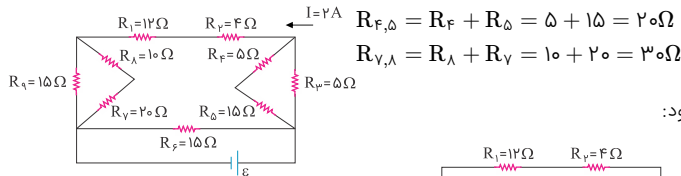
با استفاده از قاعده حلقه، مقدار مقاومت R_1 را به دست می‌آوریم:



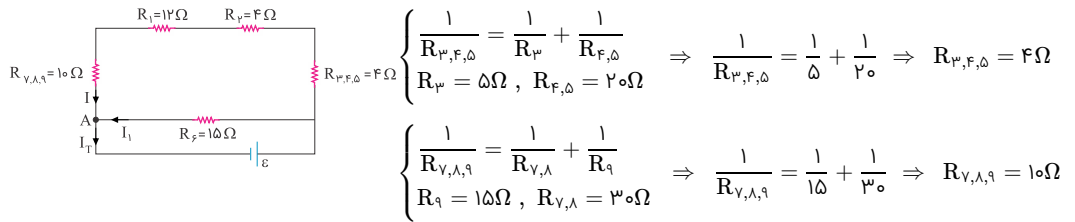
در نتیجه توان مصرفی مقاومت R_1 برابر است با:

$$P_1 = R_1 I^2 = 2(5)^2 = 50 W$$

باید جریان کل را محاسبه کنیم. مقاومت‌های R_δ , R_F و همچنین مقاومت‌های R_λ , R_V باهم سری هستند، بنابراین مقاومت معادل آن‌ها برابر است با:



حال مقاومت معادل $R_{F,\delta}$, $R_{V,\lambda}$ و همچنین R_3 , R_1 باهم موازی‌اند و مقاومت معادل آن‌ها می‌شود:



مقاومت‌های $R_{3,F,\delta}$, R_1 , R_2 , $R_{V,\lambda,1}$ باهم سری می‌باشند و مقاومت معادل آن‌ها برابر است با:

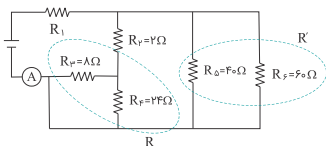
$$R_T = 4 + 4 + 12 + 10 = 30\Omega$$

$$\begin{cases} V_T = V_\epsilon \\ V = RI \\ I = 2A \end{cases} \Rightarrow I \times 30 = 15 \times I_1 \Rightarrow 2 \times 30 = 15 \times I_1 \Rightarrow I_1 = 4A$$

حالا برای نقطه A قانون گره را می‌نویسیم تا جریانی که از مدار می‌گذرد را به دست بیاوریم:

$$\begin{cases} I_T = I_1 + I \\ I = 2A \\ I_1 = 4A \end{cases} \Rightarrow I_T = 2 + 4 = 6A$$

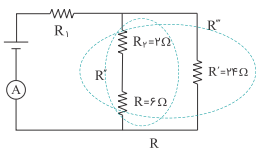
آمپرسنج جریان عبوری کل را به ما می‌دهد. بنابراین باید مقاومت معادل کل مدار را به دست بیاوریم و از قانون حلقه استفاده کنیم. مقاومت‌های R_F , R_δ و همچنین مقاومت‌های R_F , R_3 باهم موازی‌اند بنابراین:



$$\frac{1}{R} = \frac{1}{8} + \frac{1}{24} \Rightarrow R = 6\Omega$$

$$\frac{1}{R'} = \frac{1}{60} + \frac{1}{60} \Rightarrow R' = 30\Omega$$

بنابراین مدارمان به صورت زیر درمی‌آید:



$$\begin{cases} R'' = R_2 + R \\ R_2 = 2\Omega \\ R = 6\Omega \end{cases} \Rightarrow R'' = 8\Omega$$

مقاومت R'' با R' نیز باهم موازی می‌باشند و مقاومت معادل آن‌ها برابر است با:

$$\frac{1}{R'''} = \frac{1}{R''} + \frac{1}{R'} \Rightarrow \frac{1}{R'''} = \frac{1}{8} + \frac{1}{30} \Rightarrow R''' = 6\Omega$$

حال یک مدار ساده داریم و با نوشتن قانون حلقه می‌توانیم R_1 را به دست بیاوریم:

$$\epsilon - IR_1 - IR''' - Ir = 0 \Rightarrow 20 - 2 \times R_1 - 2 \times 6 - 3 \times 1 = 0 \Rightarrow R_1 = 3\Omega$$

