

فرادرس

فراتر از یک کلاس درس
www.faradars.org

آموزش مدارهای الکتریکی ۱

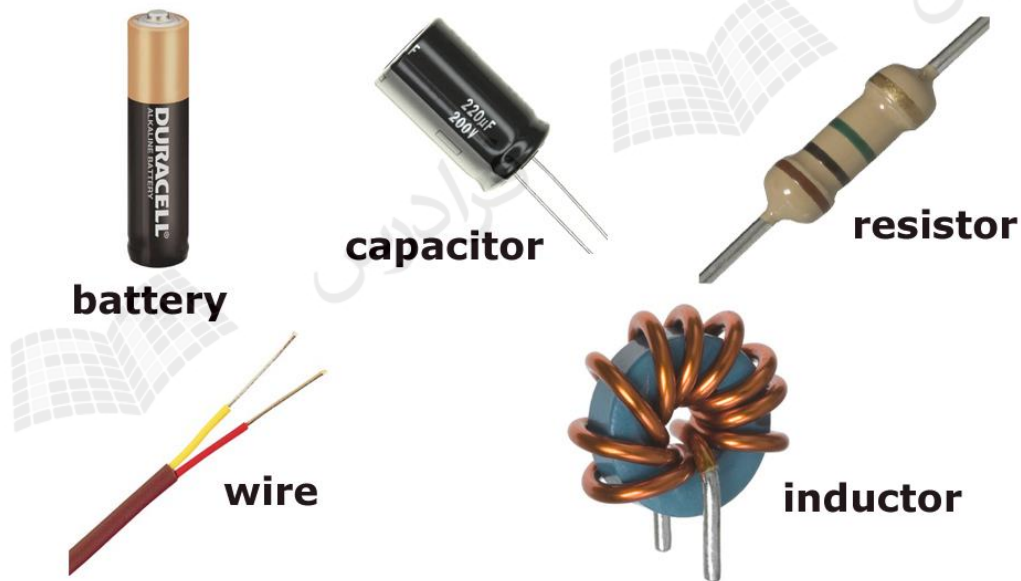
فصل دوم: قوانین پایه

مدرس:

امید زندگی

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی برق گرایش کنترل
دانشگاه علم و صنعت ایران

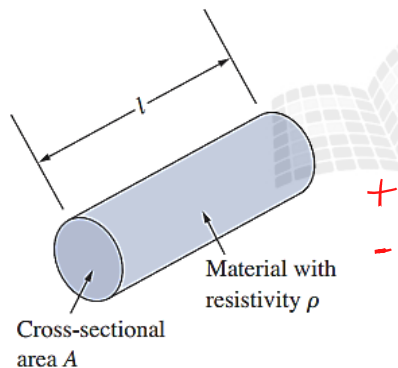
قوانین پایه



قوانین پایه

مقاومت

- تمام مواد در مقابل عبور بار الکتریکی مقاومت از خود نشان می‌دهند.
- میزان توانایی جسم در مقابله با عبور جریان را مقاومت جسم می‌گوییم.



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

R (Ω)
 ρ (Ω.m)
 l (m) طول استوانه
 A (m²) سطح مقطع استوانه
 مقاومت ویژه

قوانین پایه

Resistivities of common materials.

Material	Resistivity ($\Omega \cdot m$)	Usage
Silver	$\rightarrow 1.64 \times 10^{-8}$	Conductor $\leftarrow$
Copper	1.72×10^{-8}	Conductor $\leftarrow$
Aluminum	2.8×10^{-8}	Conductor
Gold	2.45×10^{-8}	Conductor
Carbon	4×10^{-5}	Semiconductor
Germanium	47×10^{-2}	Semiconductor
Silicon	6.4×10^2	Semiconductor
Paper	10^{10}	Insulator
Mica	5×10^{11}	Insulator
Glass	10^{12}	Insulator $\leftarrow$
Teflon	3×10^{12}	Insulator

مقاومت ویژه چند ماده

$$\rho = 1.72 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$$

$$\rho = 10^{12} \Omega \cdot m$$

$$l = 1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$$

$$A = 2 \text{ mm}^2 = 2 \text{ mm} \times \text{mm} = 2 \times (10^{-3})^2 \text{ m}^2$$

$$R = 1.72 \times 10^{-8} \times \frac{10^{-2}}{2 \times 10^{-6}} = \frac{1.72}{2} \times 10^{-4}$$

$$\rho_{Si} < \rho_{Cu}$$

$$R = 3.44 \times 10^{-4} \Omega$$

قوانین پایه

قانون اهم

• ولتاژ یک مقاومت متناسب با مقدار جریان عبوری از مقاومت است.

$$V \propto I \longrightarrow V = \alpha I$$

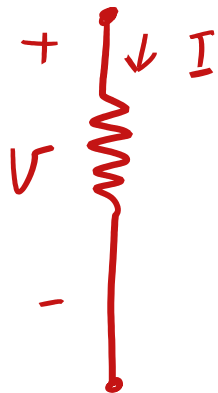
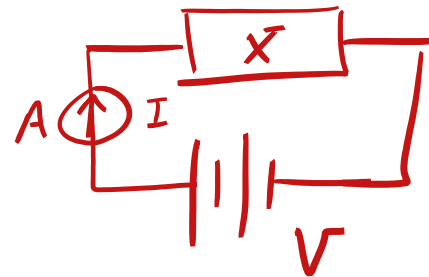
$$\alpha = R$$

$$\rightarrow R = \rho \frac{l}{A}$$

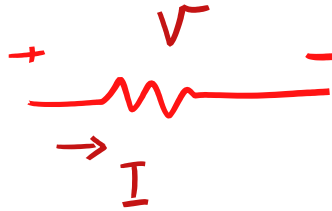
$$\downarrow$$

$$\rho = \frac{RA}{l}$$

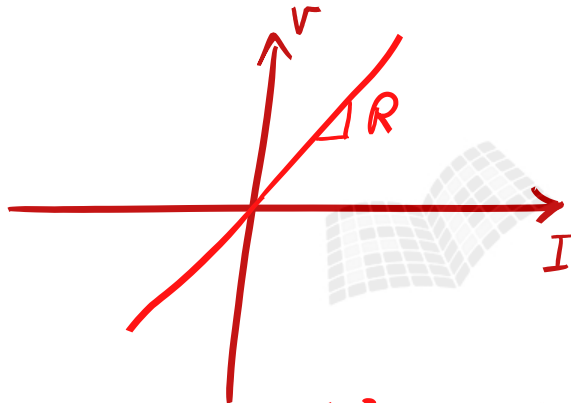
$$\rightarrow R = \frac{V}{I}$$



قوانین پایه



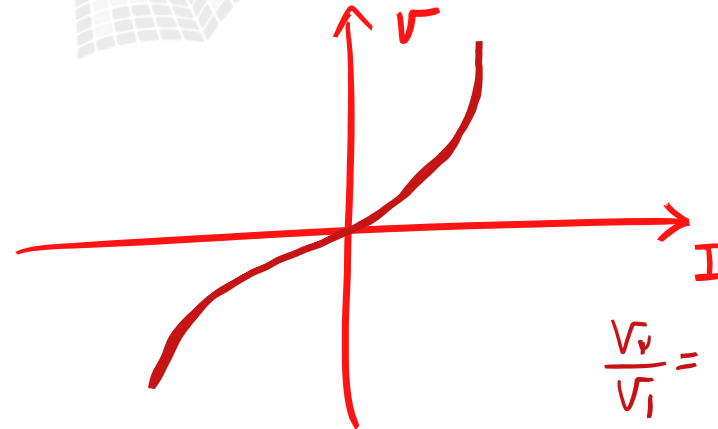
$$V = R I$$



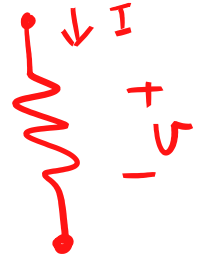
مقاومت خطی

* منحنی مشخصه $(V-I)$

$$V = \alpha I^{\alpha}, \alpha > 1$$



مقاومت غیر خطی



$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{I_2}{I_1} \right)^{\alpha} = 1$$

قوانین پایه

توان

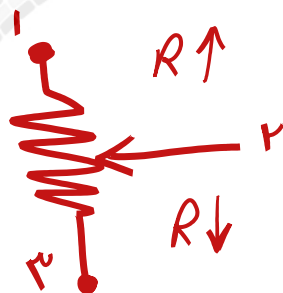
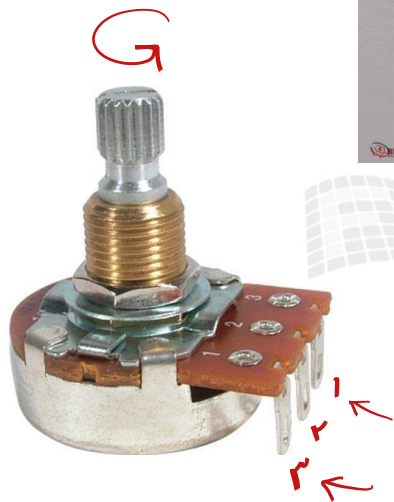
۴W

انواع مقاومت

* ثابت
* متغیر



۰.۲۵W



$$100\Omega < R < 10k\Omega$$

تولواش

قوانین پایه

$$20 \times 10^3 \Omega$$

$$20 \times 10^3 \Omega$$

عکس رنگی

نکته رنگی

عکس رنگی

نام گذاری مقاومت

(نام)

$$R = 20 \text{ k}\Omega$$

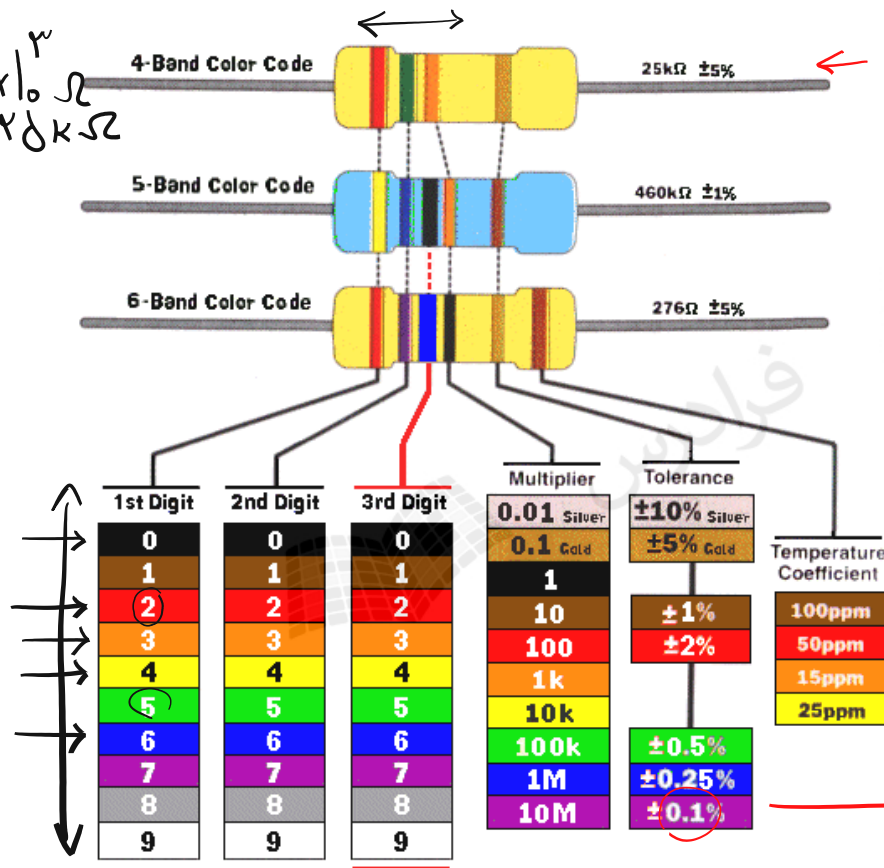
$$Tol = 10\%$$

$$\Delta R = 20 \times \frac{10}{100} = 2.0 \text{ k}\Omega$$

$$(20 - 2.0) \text{ k}\Omega < R < (20 + 2.0) \text{ k}\Omega$$

$$18.0 \text{ k}\Omega < R < 22.0 \text{ k}\Omega$$

$$(20 - 0.020) \text{ k}\Omega < R < (20 + 0.020) \text{ k}\Omega$$



قوانین پایه

نام گذاری مقاومت

$$R = d_0 d_1 d_2 \times 10^{d_3} \Omega$$

$$R = 440 \times 10^2 \Omega = 440 \text{ k}\Omega$$

$$(440 - 4.4) < R < (440 + 4.4)$$

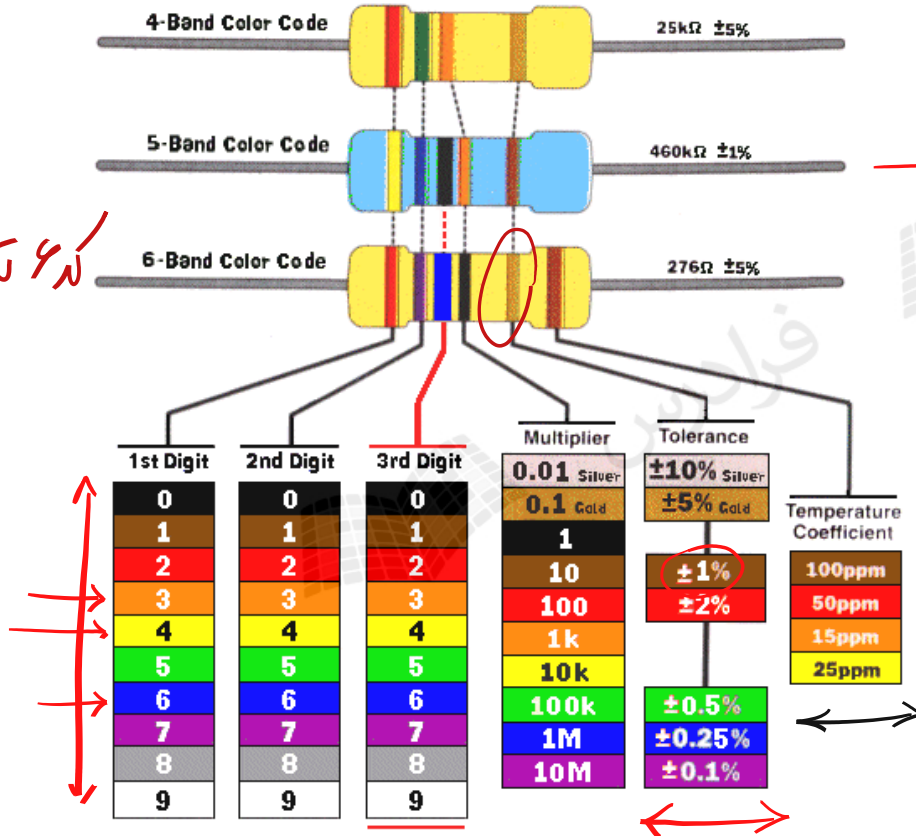
$$435.6 < R < 444.4$$

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

تابع دما

$$\rho(T_2) = \rho(T_1)(1 + \alpha \Delta T)$$

کد پایی



قوانین پایه

کُنداكتنس

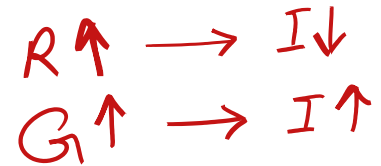
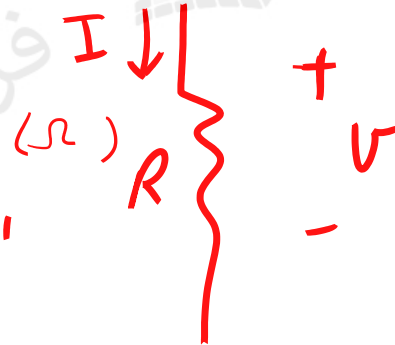
- میزان توانایی جسم در برای عبور جریان را کنداكتانس می‌گوییم.

$$G = \frac{1}{R} = \frac{i}{v}$$

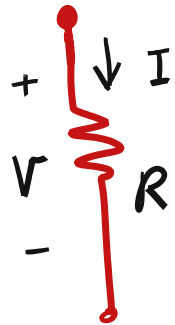
$$G = \frac{I}{V}$$

$$(\Omega)^{-1} = \Omega^{-1}$$

G : mho و S



قوانین پایه



$$P = V I \quad (W)$$

* توان در مقاومت

قانون اهم $V = R I \rightarrow I = \frac{V}{R}$

$$P = (R I) I = R I^2 \quad \leftarrow$$

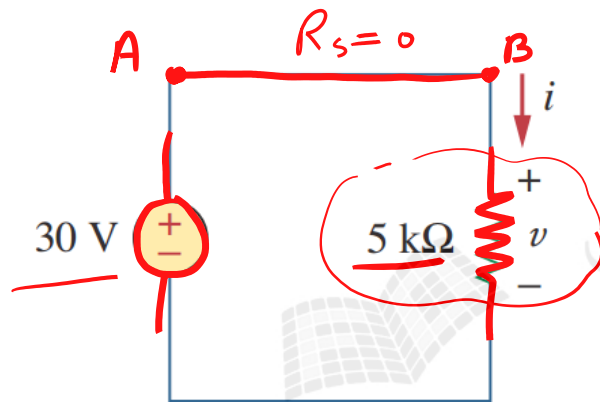
$$P = V \times \left(\frac{V}{R} \right) = \frac{V^2}{R} \quad \leftarrow$$

$$P = \frac{1}{R} V^2 = G V^2$$

* توان مقاومت یک تابع درجه ۲ از جریان یا ولتاژ مقاومت است.

قوانین پایه

مثال - در شکل زیر گنداکتنس، جریان و توان را محاسبه کنید.



$$v = 10 \text{ V}$$

$$R = 5 \text{ k}\Omega = 5000 \Omega$$

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{5000} \Omega^{-1} = \frac{1000}{5000} \text{ mS}$$

$$G = \frac{1}{5} \text{ mS} = 0.2 \text{ mS}$$

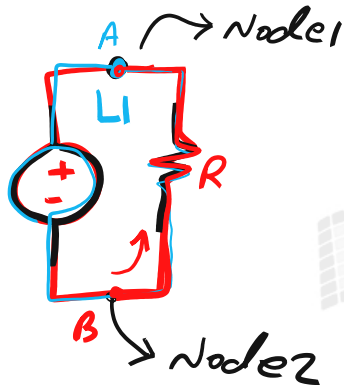
$$I = \frac{v}{R} = \frac{10 \text{ V}}{5 \text{ k}\Omega} = 2 \text{ mA} = 2 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$P = \frac{v^2}{R} = \frac{10^2}{5000} = \frac{100}{5000} = 100 \text{ mW} = 0.1 \text{ W}$$

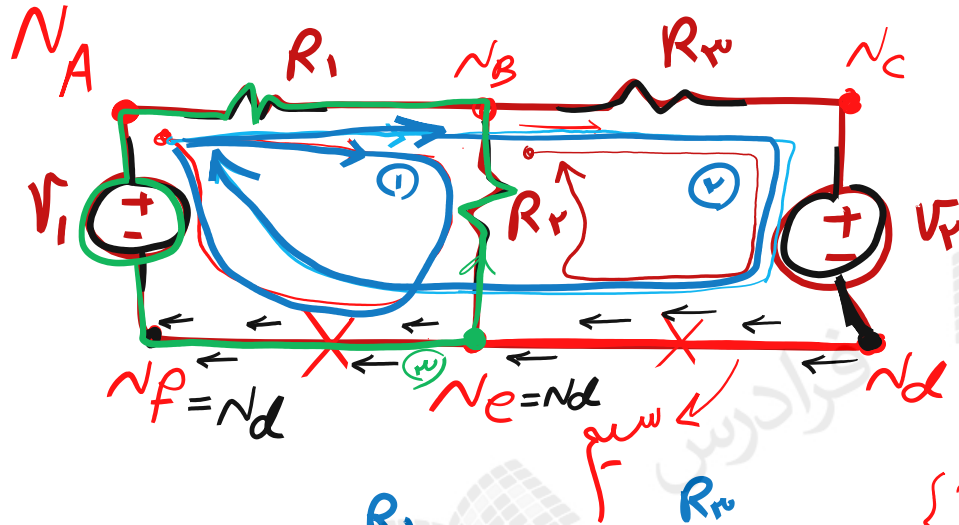
قوانین پایه

شاخه، گره و حلقه

- **شاخه** یک المان تکی در مدار است مانند یک منبع ولتاژ یا یک مقاومت **Branche**
- **گره** محل اتصال مشترک بین حداقل دو المان است. **Node**
- **حلقه (مش)** یک مسیر بسته در مدار است. **Loop (mesh)**

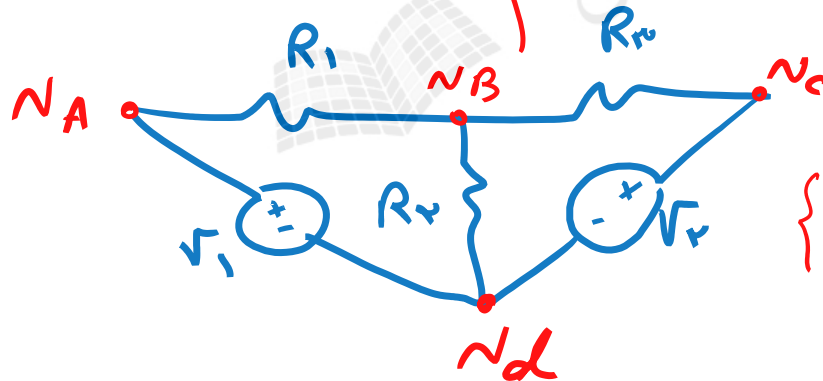


قوانین پایه



تعداد شاخه‌ها = b
تعداد گره‌ها = n

تعداد حلقه‌ها = $\begin{cases} N_A N_B N_C N_D N_A, \\ N_A N_B N_C N_D N_A, \\ N_B N_C N_D N_E N_B \end{cases}$



حلقه ۱، ۲ مستقل هستند
حلقه ۳، ۴ وابسته هستند

$\begin{cases} x_1 + x_2 = 2 \\ x_1 - x_2 = 0 \end{cases} \rightarrow x_1 = 1, x_2 = 1$

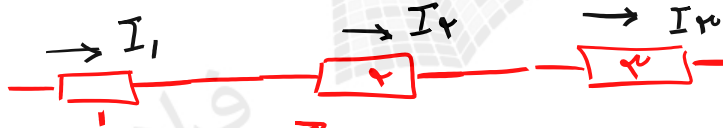
$\begin{cases} x_1 + x_2 = 1 \\ 2x_1 + 2x_2 = 2 \end{cases} \rightarrow x_1 + x_2 = 1$

قوانین پایه

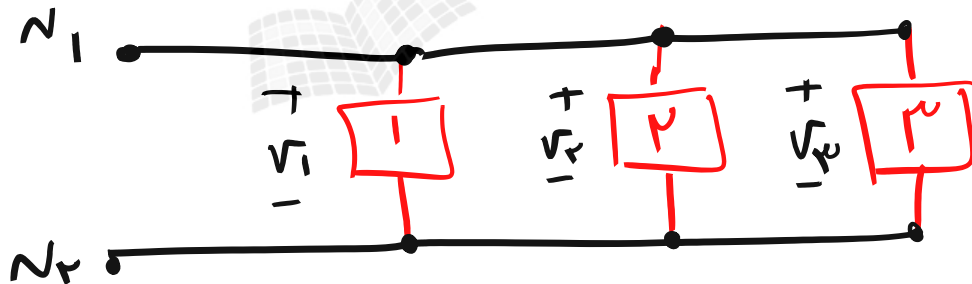
المان‌های سری و موازی

$$I_1 = I_2 = I_3$$

- چند المان با هم سری هستند اگر بصورت یک زنجیر بهم متصل شوند و جریان یکسان باشند.



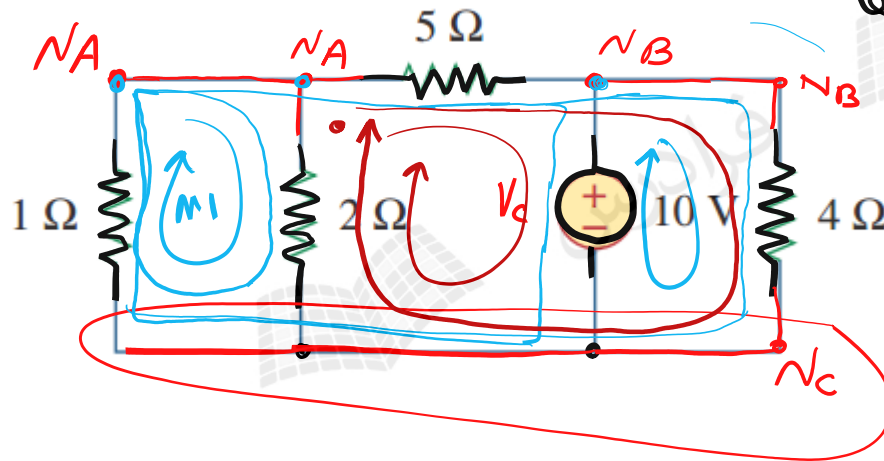
- چند المان با هم موازی هستند اگر همه آنها بین دو گره یکسان قرار گرفته باشند و ولتاژ آنها یکسان باشد.



$$V_1 = V_2 = V_3$$

قوانین پایه

مثال - در مدار زیر شاخه‌ها، گره‌ها و حلقه‌ها و ارتباط بین آنها را مشخص کنید.



$$N_b = 5 = \text{تعداد شاخه‌ها}$$

$$N_n = 3 = \text{تعداد گره‌ها}$$

$$\text{حلقه‌ها} = \{ N_A N_C N_A, (N_A N_B N_C N_A)^{(V_C)} \}$$

$$(N_A N_B N_C N_A)^{(4\Omega)}$$

$$N_A N_B N_C N_A^{(2\Omega)}$$

$$\rightarrow N_A N_B N_C N_A^{(10V)}$$

$$\{ N_B N_C N_B \}$$

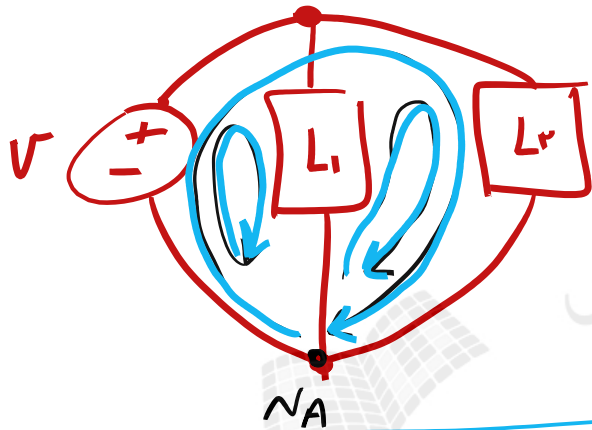
$$N_l = 4 = \text{تعداد حلقه‌های مستقل}$$

قاعده کلی

$$N_b = N_m + N_n - 1$$

قوانین پایه

مش - حلقه ای است که حلقه ی دیگری در داخل آن وجود نداشته باشد.



$$\text{حلقه ها} = \left\{ \frac{v}{L_1}, \frac{v}{L_2}, \frac{L_1 L_2}{v} \right\}$$

$$\text{مش ها} = \{ v, L_1, L_2 \}$$

$$\text{تعداد مش ها} = 2$$

$$\text{مش ها} = \{ N_A N_C N_A, N_A N_B N_C N_A, N_B N_C N_A \}$$

$$\text{تعداد مش ها} = 3 = n_m$$

$$\text{تعداد حلقه ها} = N_b = N_m + N_n - 1 = 3 + 3 - 1 = 5$$

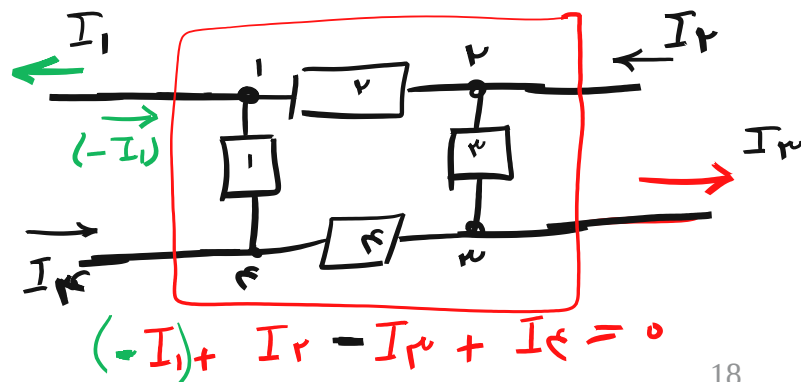
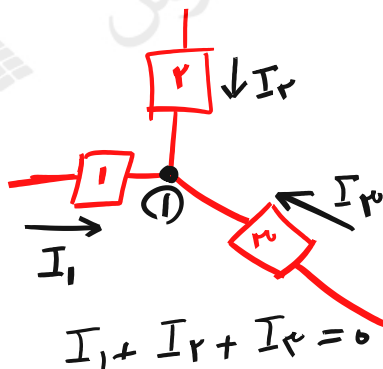
قوانین پایه

قوانین کِرچف (Kirchhoff's Laws)

• قانون جریان کِرچف – Kirchhoff's current law (KCL)

جمع جبری جریان های وارد شونده به یک گره یا مسیر بسته برابر صفر است.

$$\sum_{n=1}^N i_n = 0$$



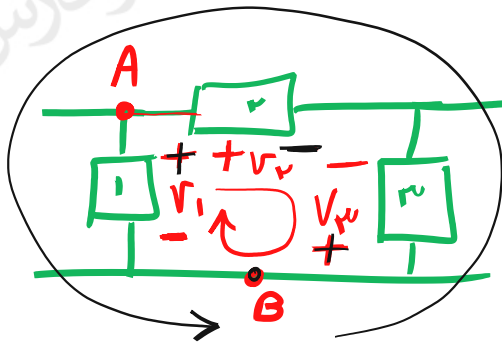
قوانین پایه

قوانین کِرچف (Kirchhoff's Laws)

• قانون ولتاژ کِرچف – Kirchhoff's voltage law (KVL)

جمع جبری ولتاژهای شاخه ها در یک حلقه برابر صفر است.

$$\sum_{m=1}^M v_m = 0$$



$$-v_1 + v_2 + v_3 = 0$$

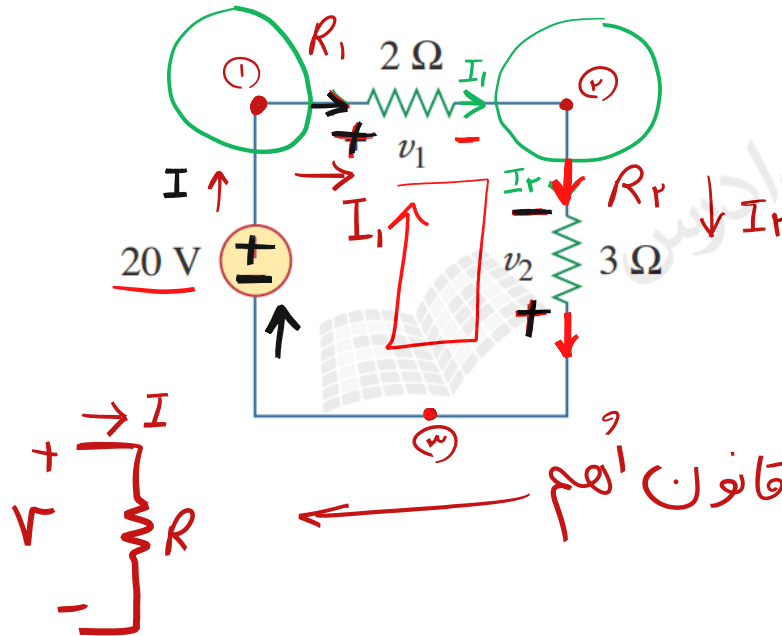
$$1: -v_1 + v_2 - v_3 = 0$$

$$2: +v_3 - v_2 + v_1 = 0$$

$$3: v_1 - v_2 + v_3 = 0$$

قوانین پایه

مثال - ولتاژ و جریان تمام المان‌ها در مدار زیر را محاسبه کنید.



$$\sum I = 0 \Rightarrow +I - I_1 = 0$$

$$\Rightarrow I = I_1$$

$$+I_1 - I_r = 0 \Rightarrow I_1 = I_r$$

$$(\underline{I = I_1 = I_r})$$

سیستم کلی (KCL)

$$KVL: \sum V = 0 \Rightarrow +v_1 - v_r - v_o = 0$$

طبق قانون اهم

$$\begin{cases} v = RI \\ v_1 = R_1 I_1 \\ v_r = -R_r I_r \end{cases} \rightarrow R_1 I_1 + R_r I_r - v_o = 0$$

قوانین پایه

$$R_1 I + R_2 I - V_0 = 0$$

$$2I + 3I = V_0 = 10 \text{ V} \Rightarrow I = \frac{V_0}{5\Omega} = 2 \text{ A}$$

$$V_1 = R_1 I_1 = 4 \text{ V}$$

$$V_2 = -R_2 I_2 = -3 \times 2 = -6 \text{ V}$$

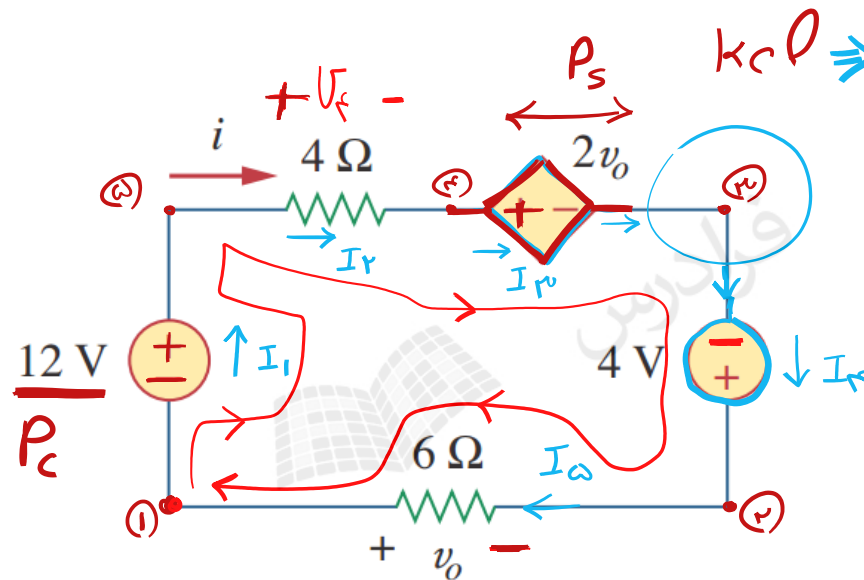
$$P = VI = \begin{cases} P_s = V_0 I = 10 \times 2 = 20 \text{ W} \\ P_1 = V_1 I_1 = 4 \times 2 = 8 \text{ W} \\ P_2 = V_2 I_2 = (-6)(-2) = 12 \text{ W} \end{cases}$$

قانون توان

$$\sum P_i = 0 \Rightarrow -20 + 8 + 12 = 0 \quad \checkmark$$

قوانین پایه

مثال - ولتاژ و جریان تمام المان‌ها در مدار زیر را محاسبه کنید.



$$KCL \Rightarrow I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = I_5$$

KCL:

$$I_2 - I_4 = 0 \Rightarrow I_2 = I_4$$

$$KVL: -12 + v_x + 2v_o - 4 - v_o = 0$$

$$\Rightarrow v_x + v_o = +16$$

$$\begin{cases} v_o = -4 I_5 = -4 I_1 \\ v_x = +4 I_2 = 4 I_1 \end{cases} \text{ قانون اهم}$$

$$\begin{cases} v_o = +4 I_5 \\ v_x = -4 I_2 \end{cases} \quad 4 I_1 - 4 I_1 = 16 = -2 I_1 \quad \Rightarrow \quad I_1 = -8 A$$

قوانین پایه

$$P_c = VI = (12)(-I_1) = 12 \times 8 = +96 \text{ W} > 0$$

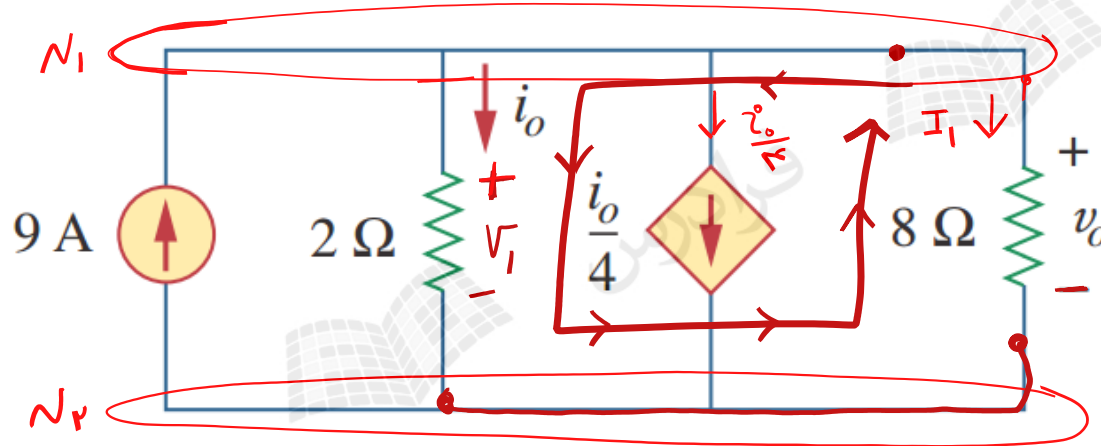
* منبع مستقل توان از مدار می‌گیرد.

$$P_s = (250)(+I_3) = 2 \times 48 \times (-8) = -768 < 0$$

* منبع وابسته به مدار توان می‌دهد.

قوانین پایه

مثال - ولتاژ و جریان تمام المان‌ها در مدار زیر را محاسبه کنید.



KCL:

$$9 - i_o - \frac{i_o}{4} - I_1 = 0$$

$$+ \frac{5}{4} i_o + I_1 = 9 \quad \text{(I)}$$

KVL:

$$\begin{cases} v_1 - v_o = 0 \\ v_1 = v_o \end{cases}$$

قانون اهم =

$$\begin{cases} v_1 = 2 i_o \\ v_o = 8 I_1 \end{cases}$$

$$\Rightarrow 2 i_o = 8 I_1 \Rightarrow i_o = 4 I_1 \quad \text{(II)}$$

قوانین پایه

$$\frac{5}{\pi} \mathcal{Z}_0 + I_1 = 9 \longrightarrow \frac{5}{\pi} \times 4 I_1 + I_1 = 9$$

$$\mathcal{Z}_0 = 4 I_1$$

$$\downarrow$$

$$5 I_1 + I_1 = 9 \Rightarrow 6 I_1 = 9$$

$$\downarrow$$

$$I_1 = \frac{9}{6} A$$

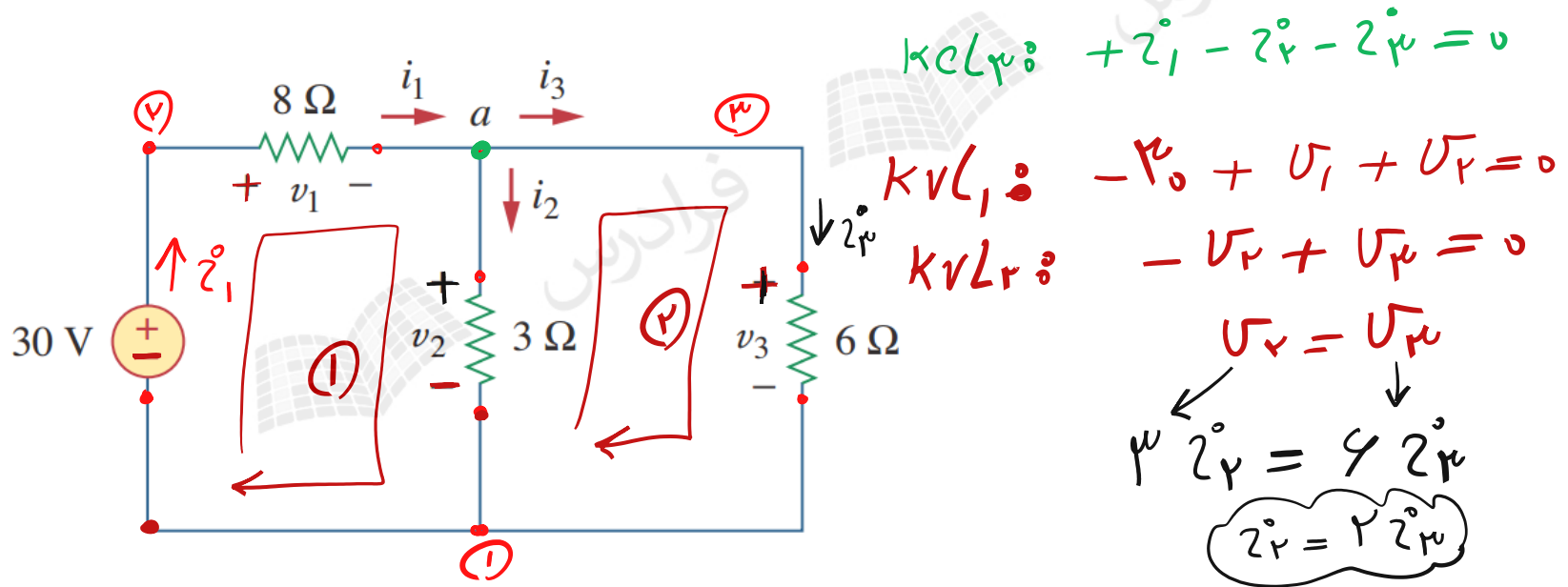
$$\begin{cases} I_1 = \frac{3}{2} A \\ \mathcal{Z}_0 = 4 I_1 = 4 \times \frac{3}{2} = 6 A \end{cases}$$

$$V_1 = 2 \mathcal{Z}_0 = 2 \times 6 = 12 V$$

$$V_0 = 8 I_1 = 8 \times \frac{3}{2} = 12 V$$

قوانین پایه

مثال - ولتاژ و جریان تمام المان‌ها در مدار زیر را محاسبه کنید.



قوانین پایه

$$I_1^\circ = I_2 + I_3 = 2I_3 + I_3 = 3I_3 \leftarrow$$

$$-V_0 + V_1 + V_2 = 0$$

$$-V_0 + 8I_1 + 3I_2 = 0 \Rightarrow$$

$$-V_0 + 8 \times 3I_3 + 3 \times 2I_3 = 0$$

$$V_0 = 30 \text{ V}$$

$$-V_0 + 4I_3 + 4I_3 = 0 \Rightarrow$$

$$I_3^\circ = \frac{V_0}{8} = 1 \text{ A}$$

$$I_1^\circ = 3 \text{ A}$$

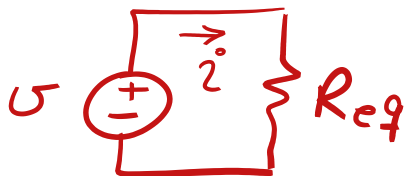
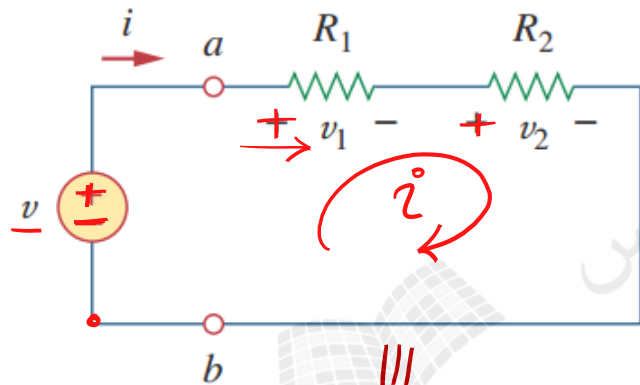
$$I_2^\circ = 2 \text{ A}$$

$$\begin{cases} V_1 = 8I_1 = 8 \times 3 = 24 \text{ V} \\ V_3 = 4I_3 = 4 \times 1 = 4 \text{ V} \end{cases}$$

$$V_2 = 3I_2^\circ = 4 \text{ V}$$

قوانین پایه

مقاومت‌های سری و تقسیم کننده ولتاژ



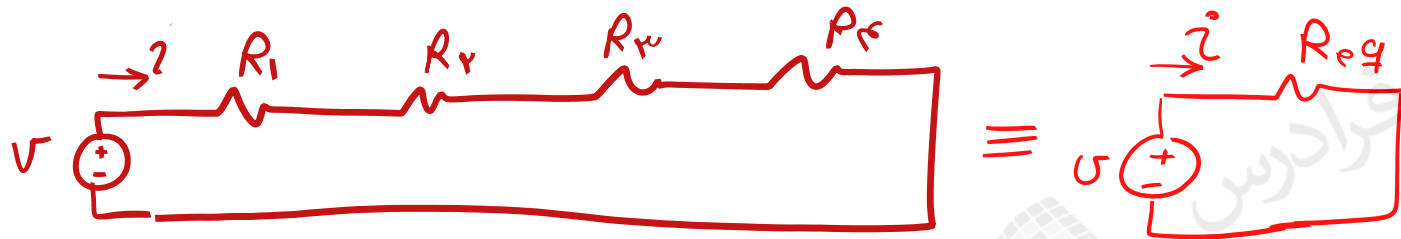
KVL: $-v + v_1 + v_2 = 0$

$$\begin{cases} v = v_1 + v_2 \\ = R_1 i + R_2 i = (R_1 + R_2) i \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{v}{i} = (R_1 + R_2) = R_{eq}$$

$$\rightarrow i = \frac{v}{R_1 + R_2}$$

قوانین پایه



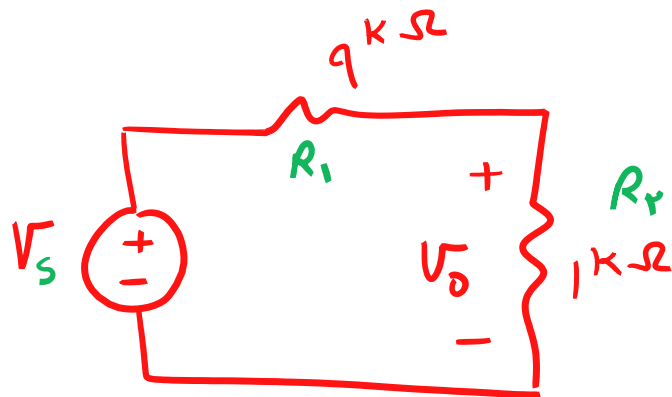
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^N R_i$$

$$0 < \uparrow < 1$$

$$\begin{cases} V_1 = R_1 i = R_1 \times \frac{V}{R_1 + R_2} = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) V \\ V_2 = R_2 i = R_2 \times \frac{V}{R_1 + R_2} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V \end{cases}$$

قوانین پایه



$$V_o = \frac{R_L}{R_1 + R_L} V_s = \frac{1}{1 + 9} V_s$$

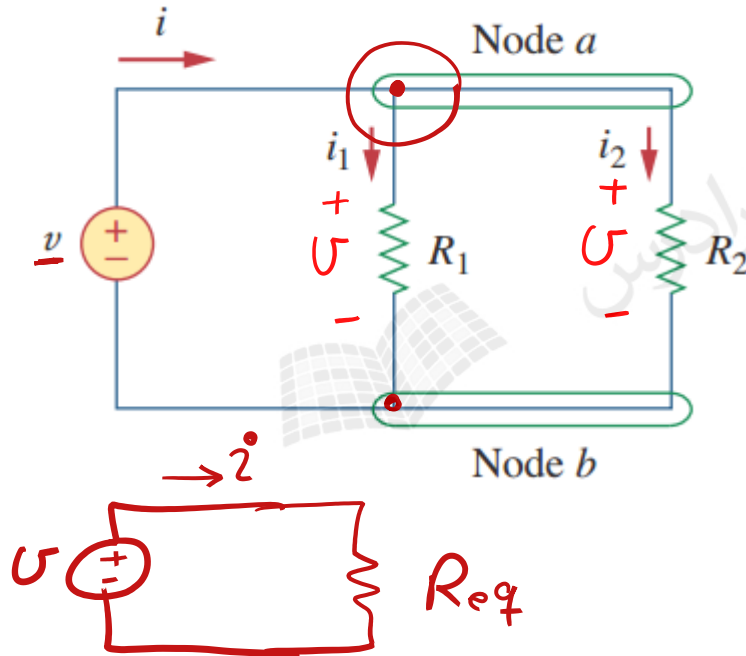
$$V_o = \frac{1}{10} V_s = 0.1 V_s$$

$$0 < V_s < 100\text{ V} \rightarrow 0 < V_o < 10\text{ V}$$

استیلوسکوپ

قوانین پایه

مقاومت‌های موازی و تقسیم کننده جریان



KCL: $i^\circ - i_1 - i_2 = 0$

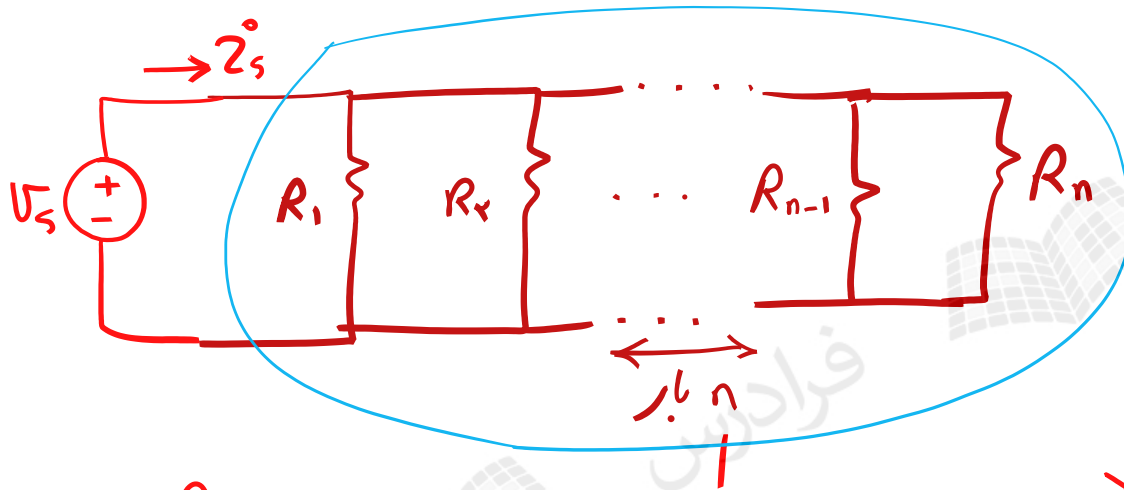
$$i^\circ - \frac{v}{R_1} - \frac{v}{R_2} = 0$$

$$\rightarrow i^\circ = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) v$$

$$\frac{i^\circ}{v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{v}{i^\circ} = \left(\frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} \right) = R_{eq}$$

قوانین پایه



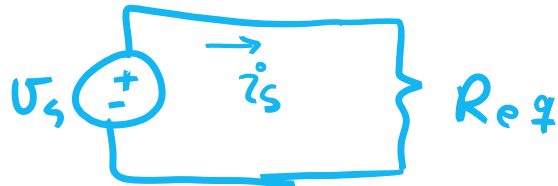
$$R_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

 $\Rightarrow$

$$G_{eq} = G_1 + G_2 + \dots + G_n$$

$$\uparrow$$

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

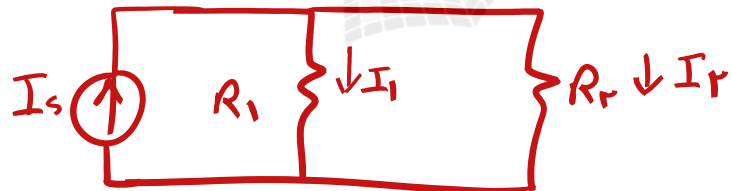


قوانین پایه

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{1}{R_1} \quad V = \frac{1}{R_1} \times \frac{Z^\circ}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

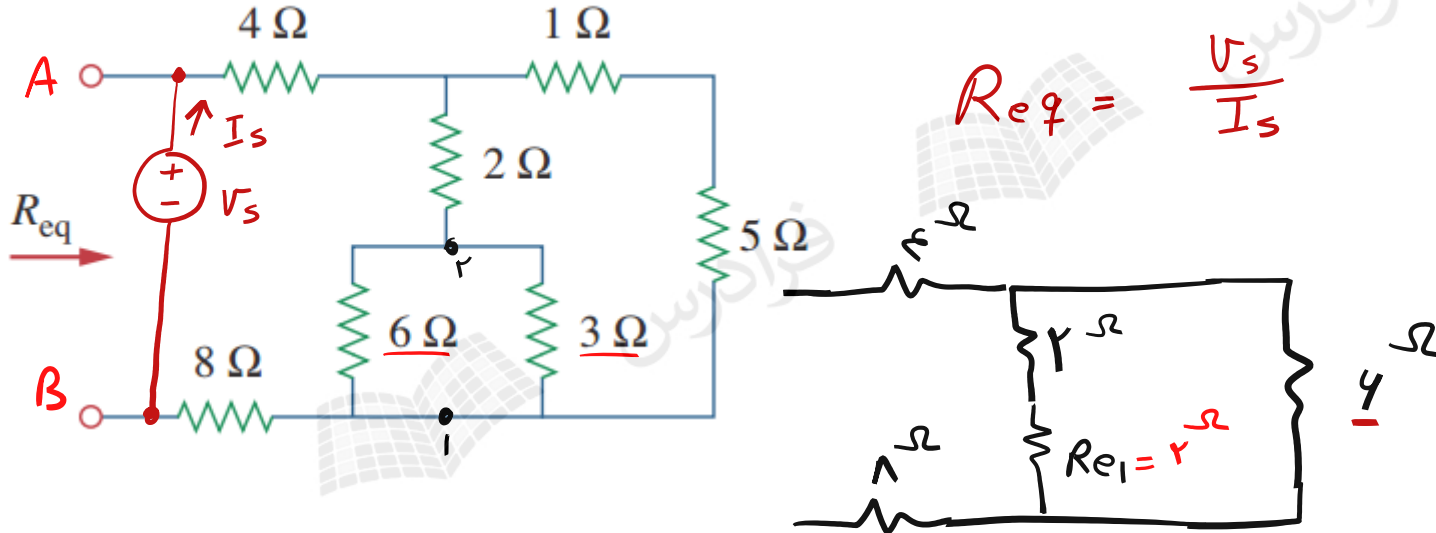
$$I_1 = \frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} Z^\circ = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) Z^\circ \rightarrow Z^\circ = I_s$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) Z^\circ$$



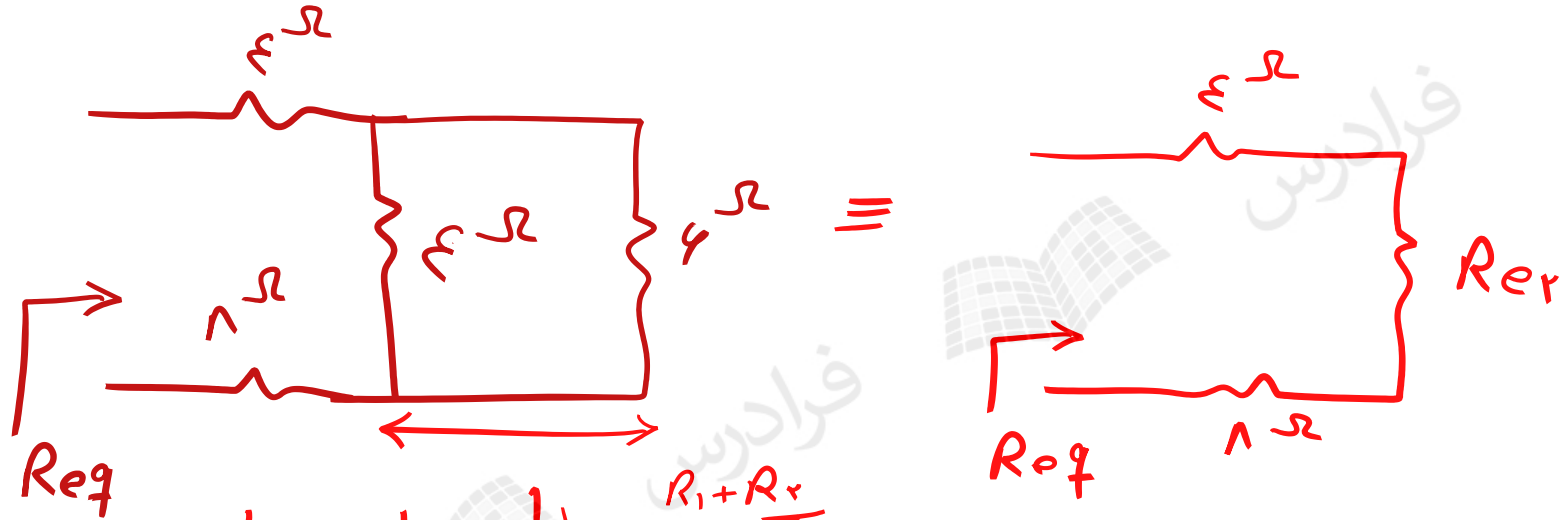
قوانین پایه

مثال - مقاومت معادل مدار زیر را بدست آورید.



$$\frac{1}{R_{e1}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{6} + \frac{1}{3} = \frac{1}{2} \Rightarrow R_{e1} = 2\ \Omega$$

قوانین پایه



$$\frac{1}{R_{eq}} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$$

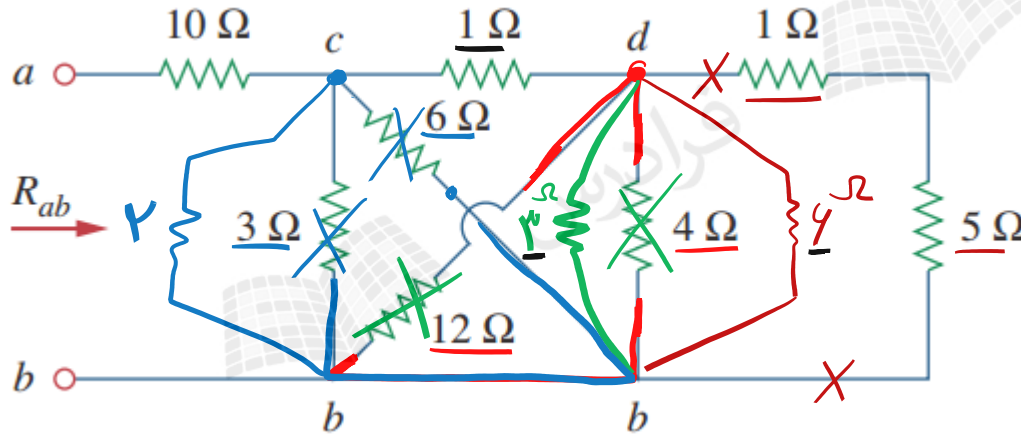
$$R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

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

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

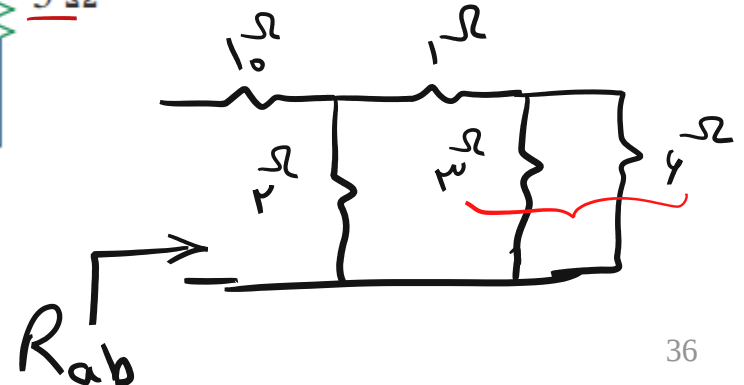
قوانین پایه

مثال - مقاومت معادل مدار زیر را بدست آورید.

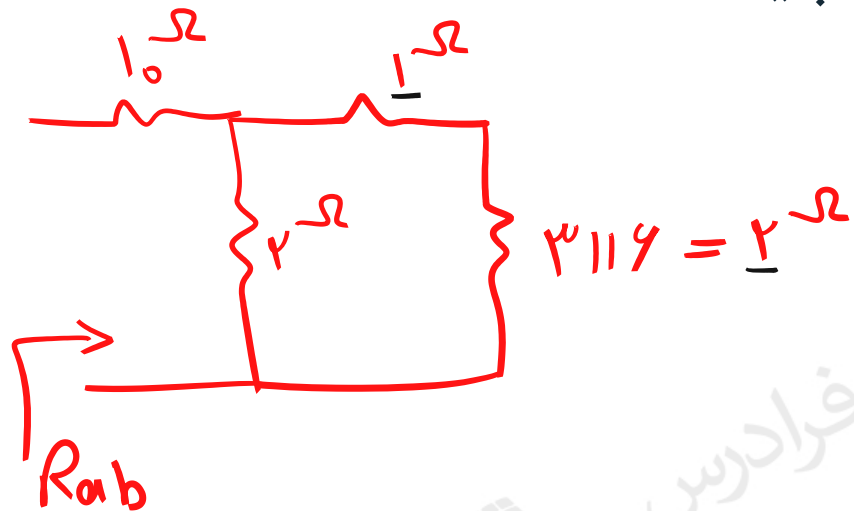


$$R_e = \frac{12 \times 4}{12 + 4} = \frac{12 \times 4}{16} = 3 \Omega$$

$$\rightarrow R_{er} = \frac{4 \times 3}{4 + 3} = \frac{12}{7} = 1.71 \Omega$$



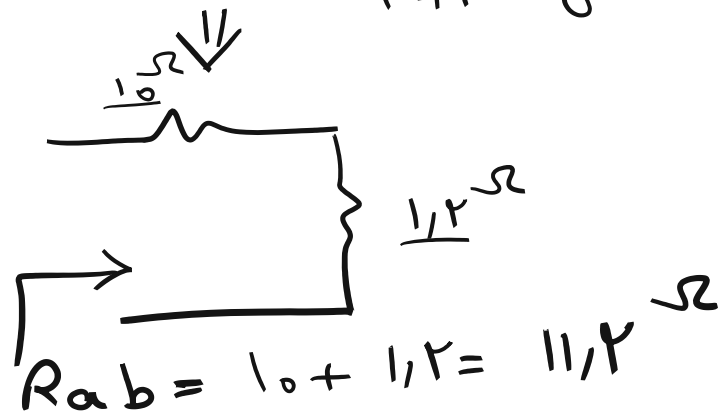
قوانین پایه



$$3 \parallel 2 = 1.2\ \Omega$$

 $\Rightarrow$


$$R_{eq} = \frac{3 \times 2}{3 + 2} = \frac{6}{5} = 1.2\ \Omega$$



$$R_{ab} = 10 + 1.2 = 11.2\ \Omega$$

قوانین پایه

$$V_2 = \frac{R_{e2}}{R_{e1} + R_{e2}} V = \frac{1}{1+2} \times 10$$

$$\Rightarrow V_2 = \frac{1}{3} \times 10 = \underline{3.33} V$$

$$V_1 = \frac{R_{e1}}{R_{e1} + R_{e2}} \times V = \frac{2}{1+2} \times 10 = 6.66 V$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2} = \frac{3.33}{1} = 3.33 A$$

$$I_2 = \frac{V_2}{1} = \frac{3.33}{1} = 3.33 A$$

$$I_1 = \frac{V_1}{1} = \frac{6.66}{1} A = 6.66 A$$

$$I_1 = \frac{V_1}{1} = \frac{6.66}{1} A$$

$$\text{KCL: } I = I_1 + I_2 = 6.66 + 3.33 = 10 = \underline{10} A = I_1 + I_2$$

قوانین پایه

$$P_{12} = U_1 I_1 = 10 \times \frac{d}{4} = \frac{d_0}{4} = \frac{2d}{3} \text{ W}$$

$$P_4 = U_1 I_4 = 10 \times \frac{d}{3} = \frac{d_0}{3} \text{ W}$$

$$P_{E_0} = U_2 I_2 = 20 \times \frac{1}{2} = 10 \text{ W}$$

$$P_{10} = U_2 I_3 = 20 \times 2 = 40 \text{ W}$$

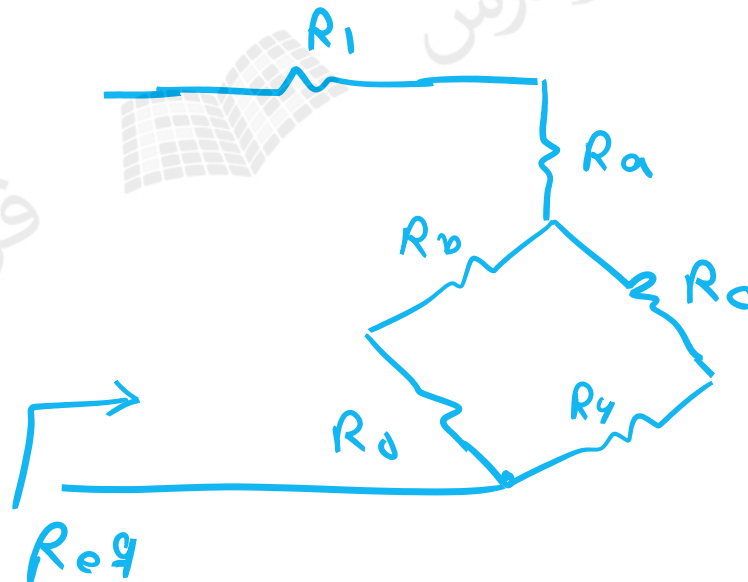
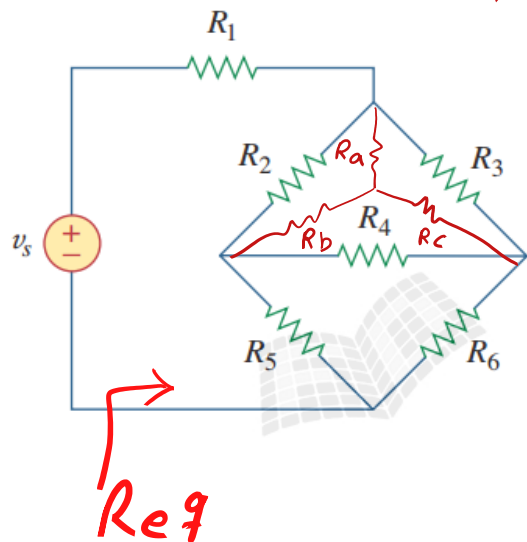
$$P_s = -20 \times I = -20 \times 2d = -40 \text{ W}$$

$$\text{توازن} \Rightarrow \sum P = 0 \Rightarrow \frac{2d}{3} + \frac{d_0}{3} + 10 + \underline{40} - \underline{40} = 0 \checkmark$$

قوانین پایه

تبدیلات ستاره - مثلث

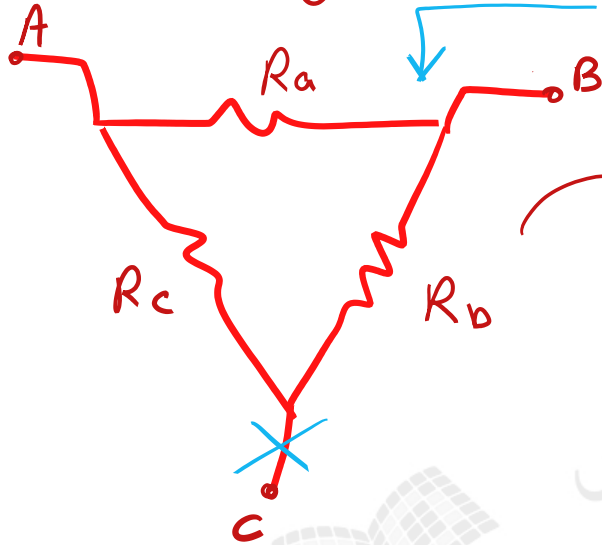
$$R_a = \frac{R_x R_y}{R_x + R_y + R_z}$$



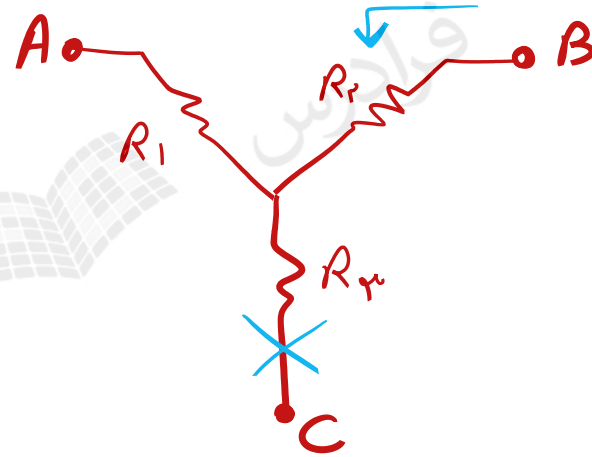
$$R_{eq} = (R_b + R_a) \parallel (R_c + R_4) + R_5 + R_1$$

قوانین پایه

ارتباط مثلث (Δ)



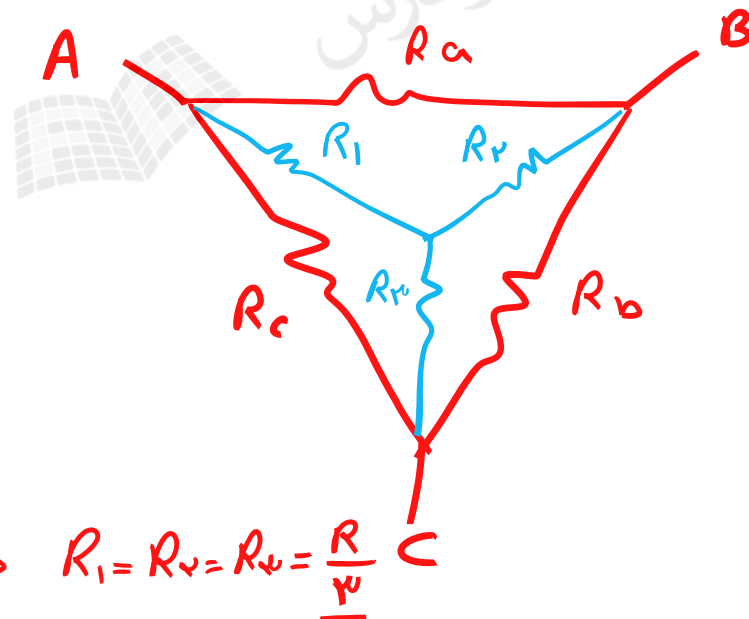
ارتباط ستاره (Y)



$$\begin{cases}
 R_{AC} = R_c \parallel (R_a + R_b) = R_1 + R_3 & \text{(I)} \\
 R_{BC} = (R_a + R_c) \parallel R_b = R_2 + R_3 & \text{(II)} \\
 R_{AB} = (R_c + R_b) \parallel R_a = R_1 + R_2 & \text{(III)}
 \end{cases}$$

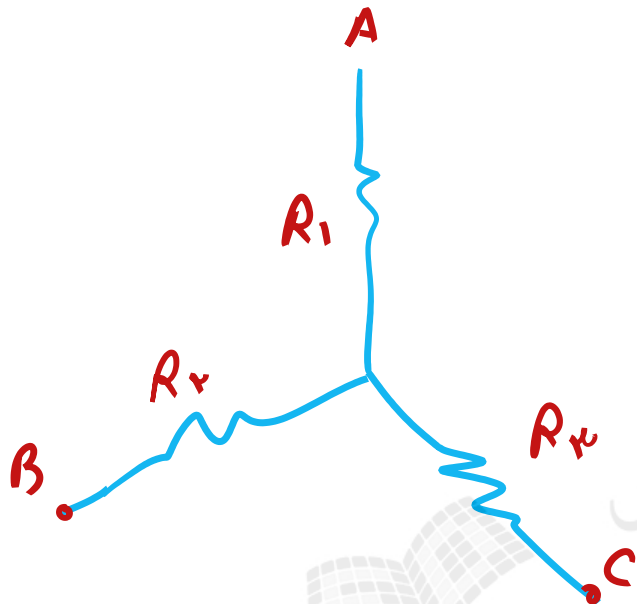
قوانین پایه

$$\begin{cases} R_1 = \frac{R_a R_c}{R_a + R_b + R_c} \\ R_2 = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b + R_c} \\ R_3 = \frac{R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} \end{cases}$$



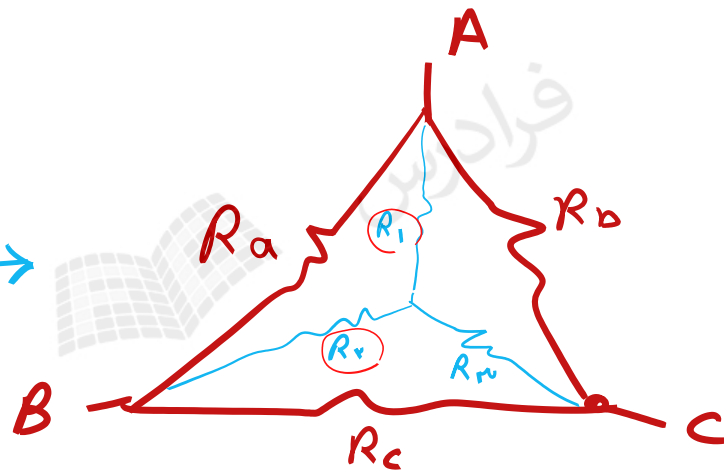
$$i \neq \quad R_a = R_b = R_c = R \Rightarrow R_1 = R_2 = R_3 = \underline{\underline{\frac{R}{3}}}$$

قوانین پایه



$$\text{if } R_1 = R_2 = R_3 = R$$

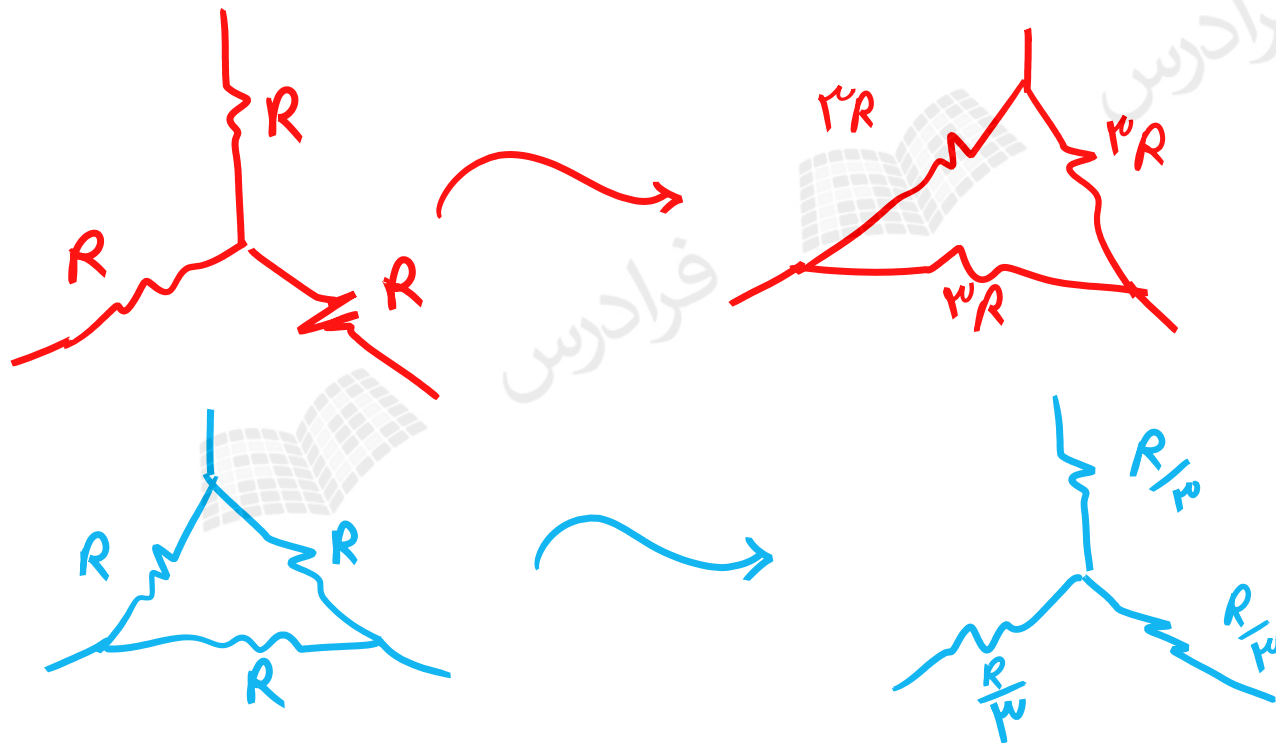
$$R_a = R_b = R_c = \underline{\underline{\frac{1}{3}R}}$$



$$\begin{cases} R_a = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_3} \\ R_b = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_2} \\ R_c = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_1} \end{cases}$$

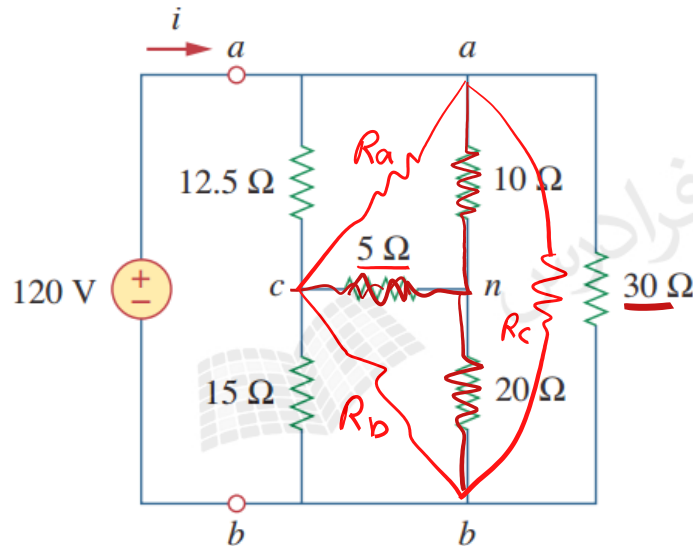
قوانین پایه

حالت خاص:



قوانین پایه

مثال - جریان i را بدست آورید.

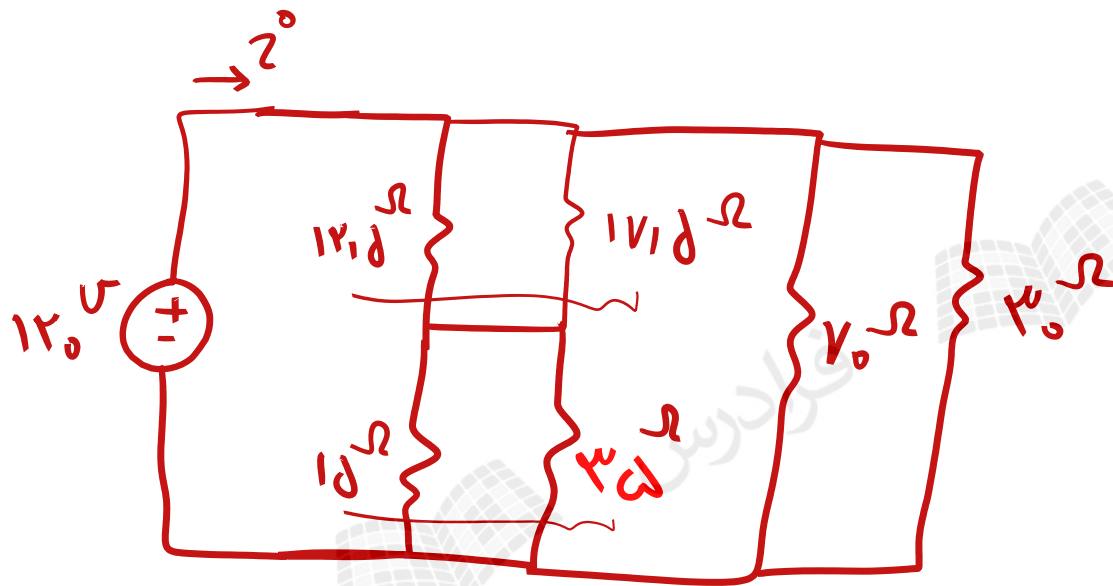


$$R_a = \frac{8 \times 10 + 8 \times 20 + 10 \times 20}{20} = \frac{340}{20} = 17 \Omega$$

$$R_b = \frac{4 \times 20}{20} = 4 \Omega$$

$$R_c = \frac{3 \times 10}{10} = 3 \Omega$$

قوانین پایه

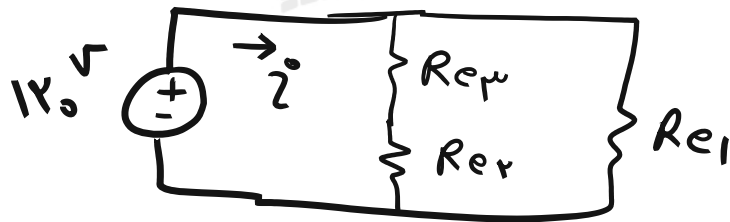


$$R_{e1} = \frac{V_o \times 30}{V_o + 30} = 21 \Omega$$

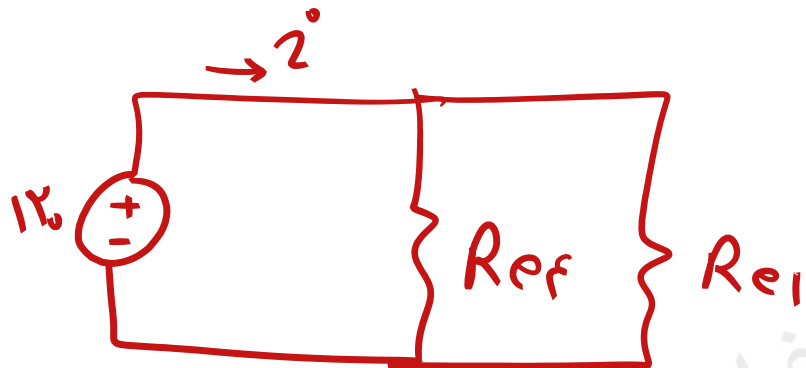
$$R_{e2} = \frac{10 \times 30}{10 + 30} = 10.1 \Omega$$

$$R_{e3} = \frac{12 \times 17}{30} = 7.12 \Omega$$

$$R_{eq} = R_{e3} + R_{e2} = 17.14 \Omega$$



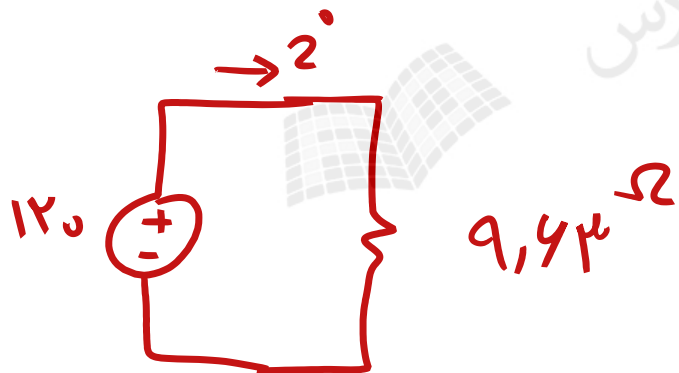
قوانین پایه



$$R_{eq} = R_{eq} \parallel R_L$$

$$= 17,79 \parallel 21$$

$$= \frac{17,79 \times 21}{17,79 + 21} = 9,4 \mu\Omega$$



$$i^\circ = \frac{12}{9,4 \mu} = 12,84 A$$

این اسلایدها بر مبنای نکات مطرح شده در فرادرس
«آموزش مدارهای الکتریکی ۱»
تهیه شده است.

برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد این آموزش به لینک زیر مراجعه نمایید.

faradars.org/fvee110