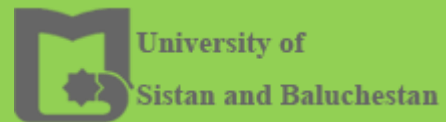


# Basic Electrical Engineering

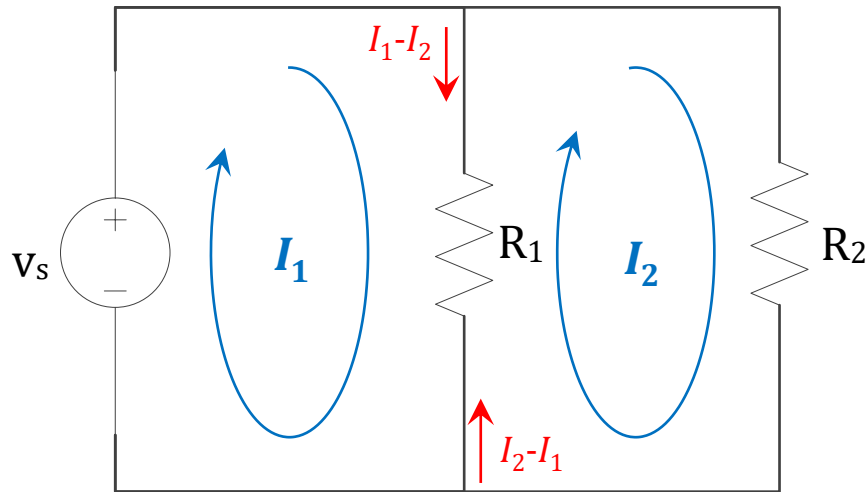
**By: M. Shahraki**



**University of Sistan & Baluchestan**  
**Faculty of Electrical and Computer Engineering**  
**Department of Electrical & Electronics Engineering**

# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی



$$I_1 = \frac{V_s}{R_1} + I_2$$

$$R_1 \left( I_2 - \frac{V_s}{R_1} + I_2 \right) + R_2 I_2 = 0 \quad -V_s + R_2 I_2 = 0$$

تحلیل های استاندارد مدارهای الکتریکی  
۱- تحلیل مش (حلقه)

فرضیات: مدار فقط شامل مقاومت و منبع ولتاژ است (تونن)

$$-V_s + R_1(I_1 - I_2) = 0$$

$$R_1(I_2 - I_1) + R_2 I_2 = 0$$

روش تحلیل:

(آ) برای هر مش یک جریان تعریف می کنیم.

(ب) جریان هر شاخه از مدار برابر با جمع جبری جریان مش ها است.

(ج) معادلات KVL مربوط به تمام مش ها را می نویسیم

$$I_2 = \frac{V_s}{R_2}$$

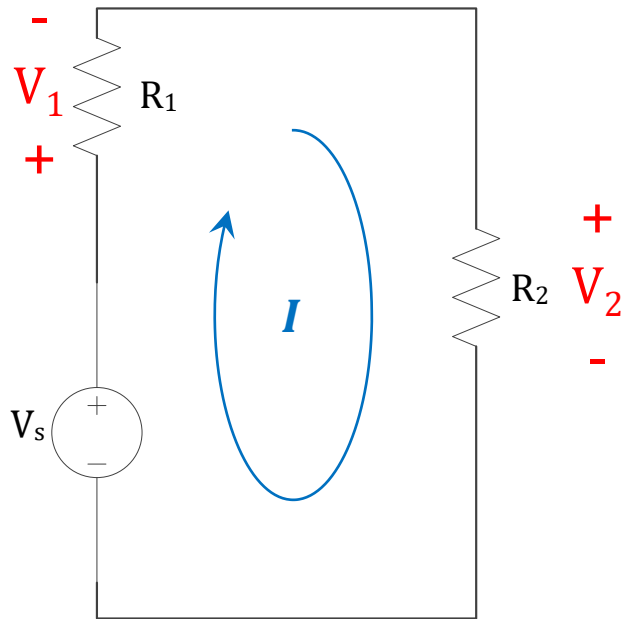
(د) معادلات را حل می کنیم.



# Electrical Circuits Analysis

تحليل مدارهای مقاومتی

تحليل مش (حلقه)  
قاعده تقسيم ولتاژ



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

$$I = \frac{V_s}{R_1 + R_2}$$

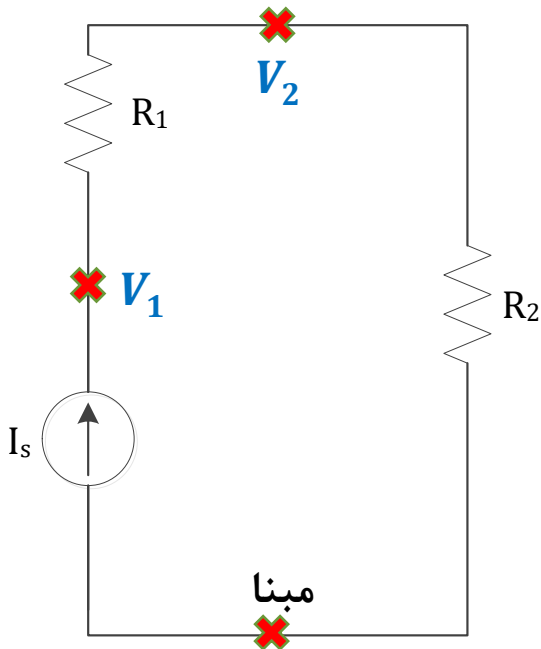
$$V_1 = IR_1 = V_s \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$V_2 = IR_2 = V_s \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی



$$-I_s + \left(\frac{V_1 - V_2}{R_1}\right) = 0$$

$$\left(\frac{V_2 - V_1}{R_1}\right) + \frac{V_2}{R_2} = 0$$

$$V_1 = I_s R_1 + V_2$$

$$\left(\frac{V_2 - I_s R_1 - V_2}{R_1}\right) + \frac{V_2}{R_2} = 0 \quad -I_s + \frac{V_2}{R_2} = 0$$

$$V_2 = R_2 I_s$$

## تحلیل های استاندارد مدارهای الکتریکی ۲- تحلیل گره

فرضیات: مدار فقط شامل مقاومت و منبع جریان است (نورتن)

روش تحلیل:

(آ) یک گره را به عنوان مبنا و ولتاژ آن را صفر در نظر می گیریم.

(ب) برای هر گره یک ولتاژ نسبت به مبنا تعریف می کنیم.

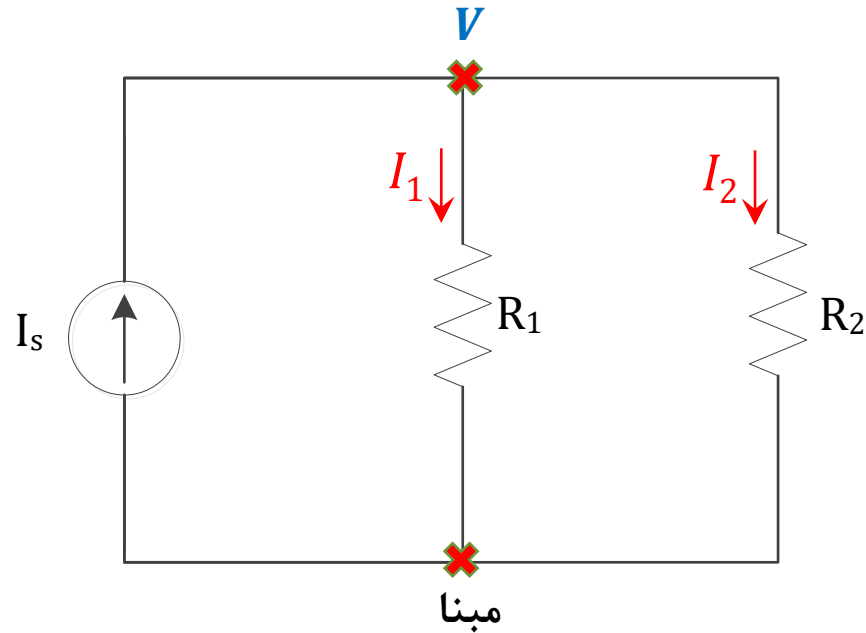
(ج) معادلات KCL مربوط به تمام گره ها را می نویسیم

(د) معادلات را حل می کنیم.



# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی



تحلیل گره  
قاعده تقسیم جریان

$$-I_s + \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} = 0 \quad V = I_s \left( \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = I_s \left( \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right) \frac{1}{R_1} = I_s \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = I_s \left( \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right) \frac{1}{R_2} = I_s \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی

دستور کرامر برای حل معادلات

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 = y_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 = y_2$$

$$a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 = y_3$$

$$x_1 = \frac{\begin{vmatrix} y_1 & a_{12} & a_{13} \\ y_2 & a_{22} & a_{23} \\ y_3 & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}},$$

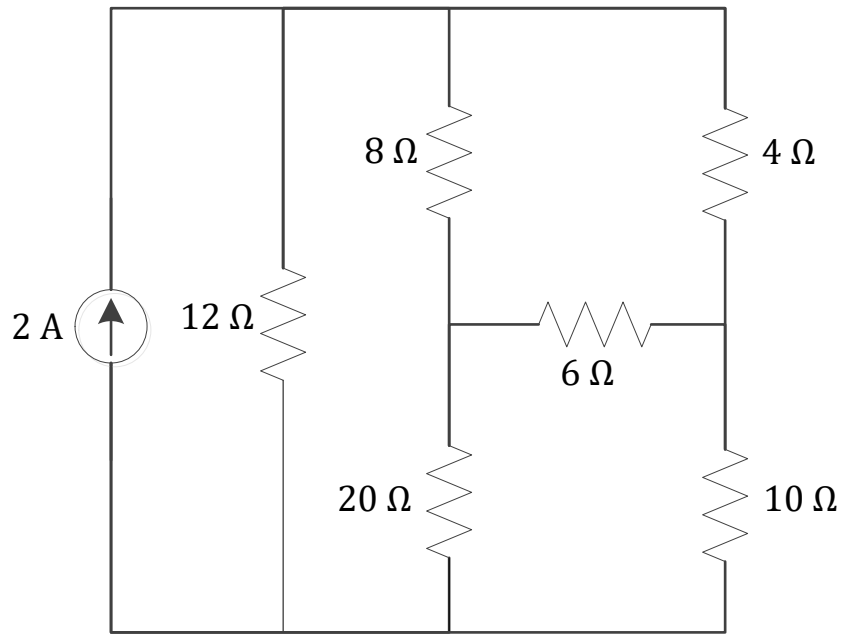
$$x_2 = \frac{\begin{vmatrix} a_{11} & y_1 & a_{13} \\ a_{21} & y_2 & a_{23} \\ a_{31} & y_3 & a_{33} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}},$$

$$x_3 = \frac{\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & y_1 \\ a_{21} & a_{22} & y_2 \\ a_{31} & a_{32} & y_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}},$$

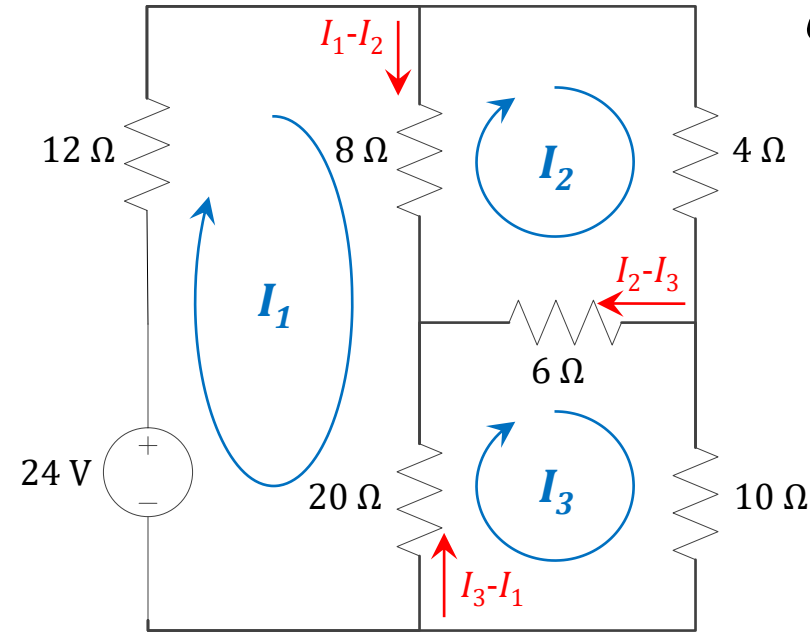


# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی



منابع هم ارز  
ولتاژ



مثال: تحلیل مش

$$-24 + 12I_1 + 8(I_1 - I_2) + 20(I_1 - I_3) = 0$$

$$4I_2 + 6(I_2 - I_3) + 8(I_2 - I_1) = 0$$

$$10I_3 + 20(I_3 - I_1) + 6(I_3 - I_2) = 0$$

$$(12 + 8 + 20)I_1 - 8I_2 - 20I_3 = 24$$

$$-8I_1 + (4 + 6 + 8)I_2 - 6I_3 = 0$$

$$-20I_1 - 6I_2 + (10 + 20 + 6)I_3 = 0$$



# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی

مثال: تحلیل مش

$$40I_1 - 8I_2 - 20I_3 = 24$$

$$-8I_1 + 18I_2 - 6I_3 = 0$$

$$-20I_1 - 6I_2 + 36I_3 = 0$$

$$I_1 = \frac{\begin{vmatrix} 24 & -8 & -20 \\ 0 & 18 & -6 \\ 0 & -6 & 36 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 40 & -8 & -20 \\ -8 & 18 & -6 \\ -20 & -6 & 36 \end{vmatrix}} = 1.125 \text{ A},$$

$$I_2 = \frac{\begin{vmatrix} 40 & 24 & -20 \\ -8 & 0 & -6 \\ -20 & 0 & 36 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 40 & -8 & -20 \\ -8 & 18 & -6 \\ -20 & -6 & 36 \end{vmatrix}} = 0.75 \text{ A},$$

$$I_3 = \frac{\begin{vmatrix} 40 & -8 & 24 \\ -8 & 18 & 0 \\ -20 & -6 & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 40 & -8 & -20 \\ -8 & 18 & -6 \\ -20 & -6 & 36 \end{vmatrix}} = 0.75 \text{ A},$$

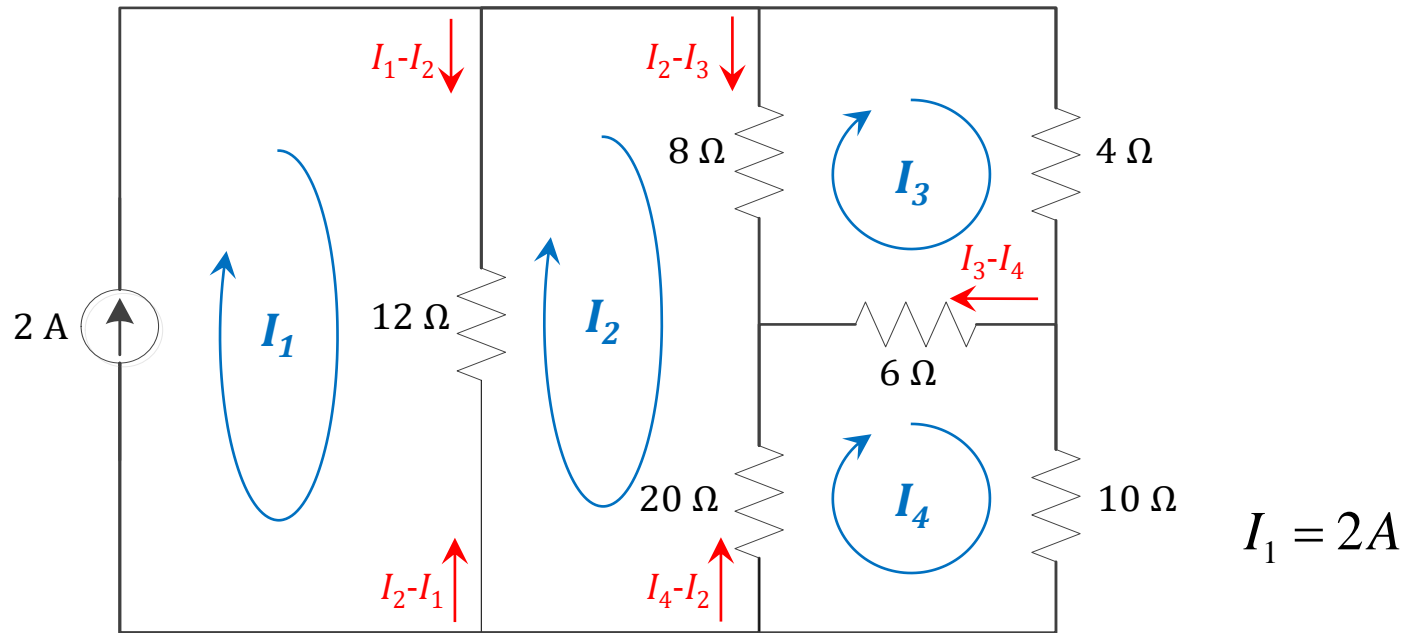




# Electrical Circuits Analysis

تحليل مدارهای مقاومتی

مثال: تحلیل مش



$$12(I_2 - I_1) + 8(I_2 - I_3) + 20(I_2 - I_4) = 0$$

$$(12 + 8 + 20)I_2 - 8I_3 - 20I_4 = 24$$

$$4I_3 + 6(I_3 - I_4) + 8(I_3 - I_2) = 0$$

$$-8I_2 + (4 + 6 + 8)I_3 - 6I_4 = 0$$

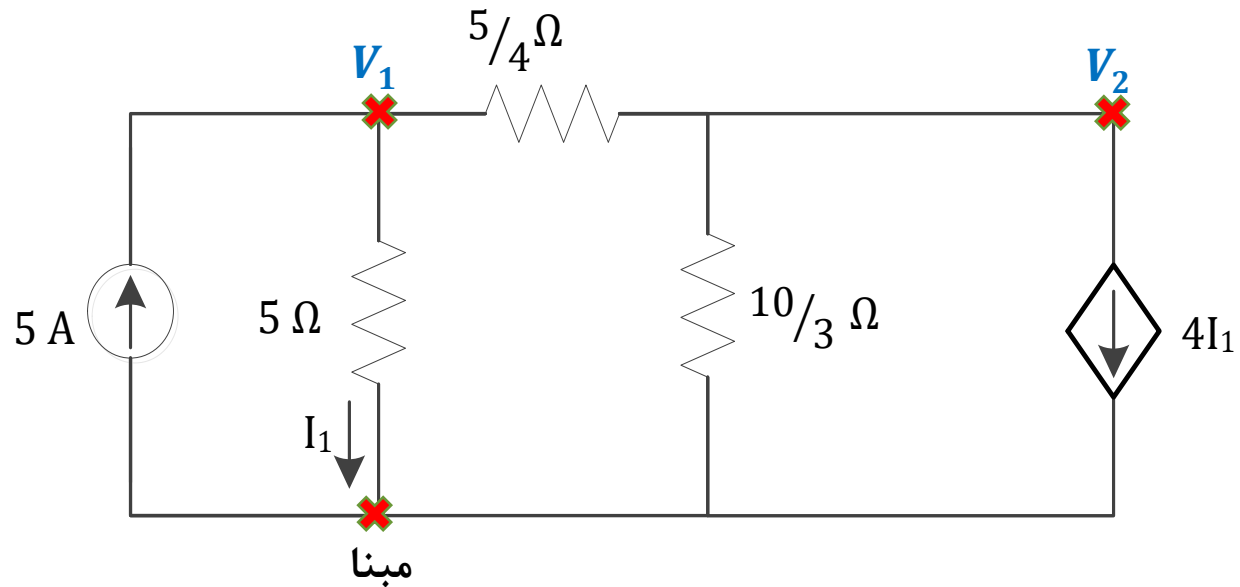
$$10I_4 + 20(I_4 - I_2) + 6(I_4 - I_3) = 0$$

$$-20I_2 - 6I_3 + (10 + 20 + 6)I_4 = 0$$



# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی



مثال: تحلیل گره (با منابع وابسته)

$$-5 + \frac{V_1}{5} + \frac{V_1 - V_2}{5/4} = 0$$

$$I_1 = \frac{V_1}{5}$$

$$\frac{V_2 - V_1}{5/4} + \frac{V_2}{10/3} + 4I_1 = 0$$

$$-25 + V_1 + 4(V_1 - V_2) = 0$$

$$5V_1 - 4V_2 = 25$$

$$V_1 = 5V$$

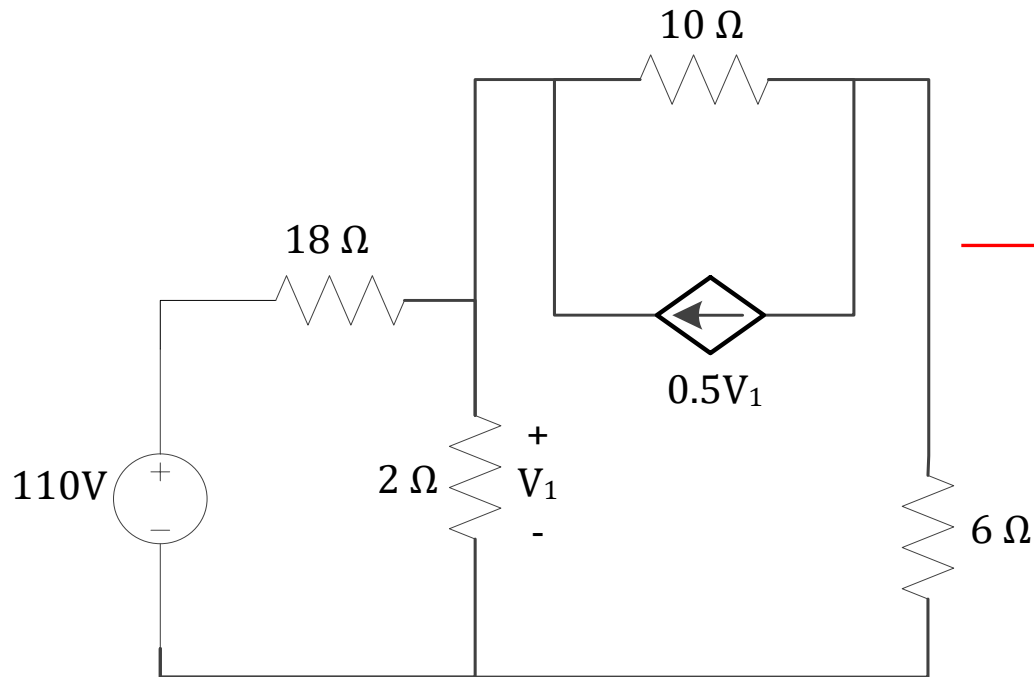
$$8(V_2 - V_1) + 3V_2 + 8V_1 = 0$$

$$V_2 = 0V$$

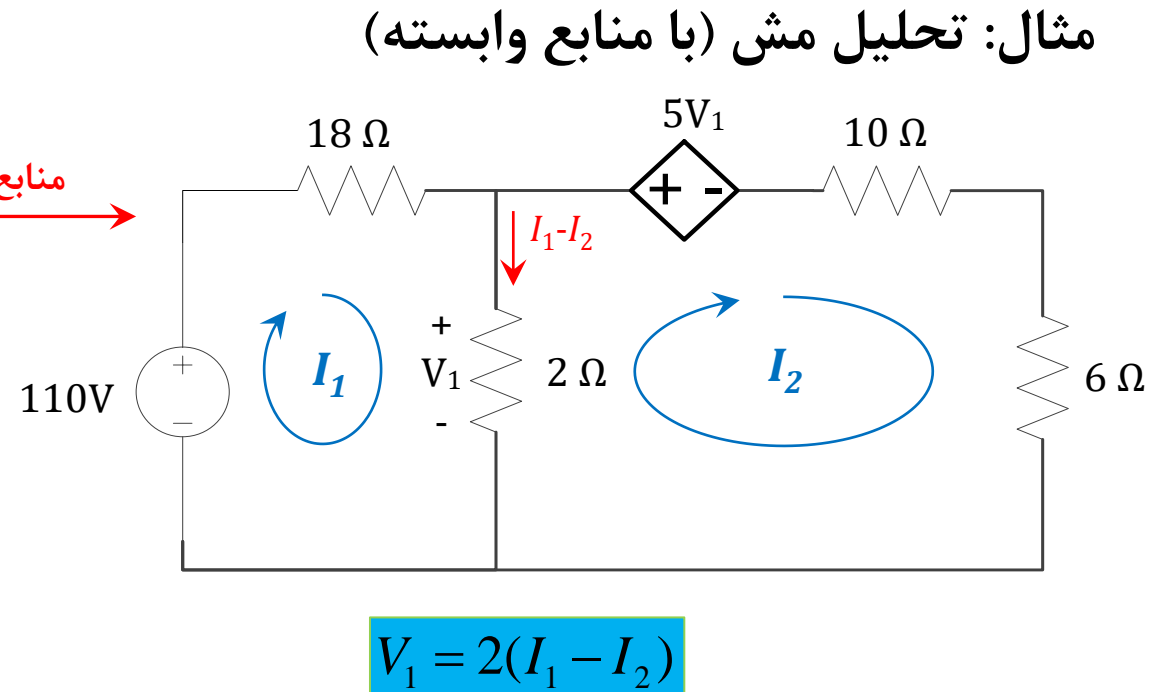


# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی



منابع هم ارز ولتاژ



$$-110 + 18I_1 + 2(I_1 - I_2) = 0$$

$$20I_1 - 2I_2 = 110$$

$$20I_1 - 2I_2 = 110$$

$$I_1 = -I_2 = 5A$$

$$16I_2 + 2(I_2 - I_1) + 5V_1 = 0$$

$$16I_2 + 2(I_2 - I_1) + 5 \times 2(I_1 - I_2) = 0$$

$$8I_1 + 8I_2 = 0$$

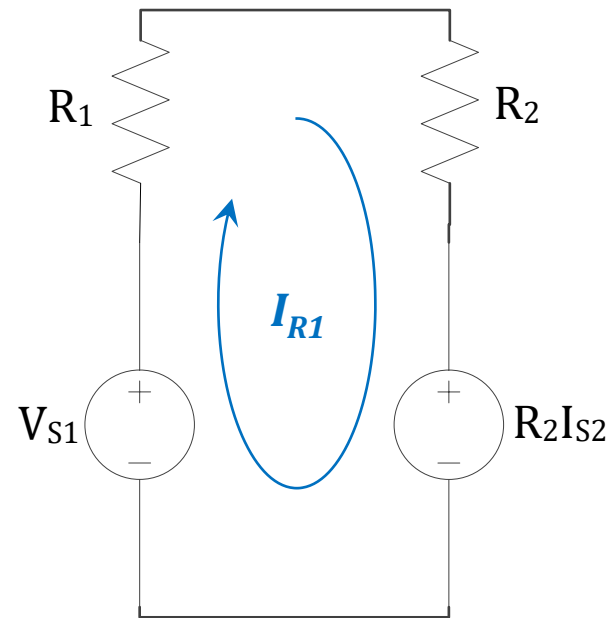


# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی

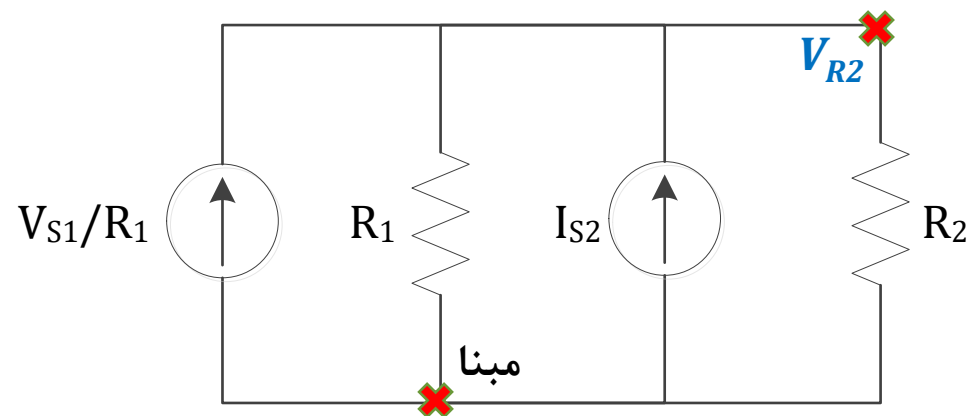
معادلات فقط برای  $R_1$  و  $V_{S1}$  صحیح هستند

$R_2$  و  $I_{S2}$  به معادل هم ارز تبدیل شدند



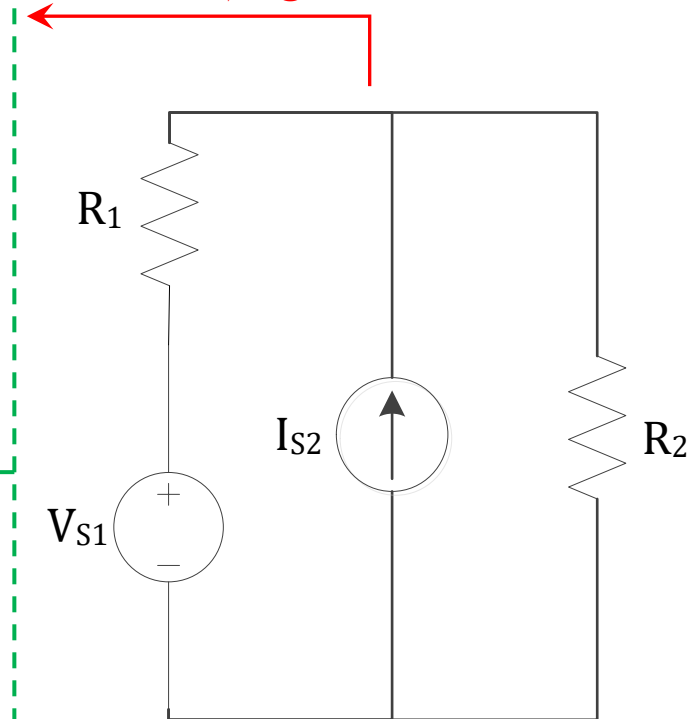
معادلات فقط برای  $R_2$  و  $I_{S2}$  صحیح هستند

$R_1$  و  $V_{S1}$  به معادل هم ارز تبدیل شدند



وجود چند منبع مستقل

منابع هم ارز ولتاژ



منابع هم ارز جریان



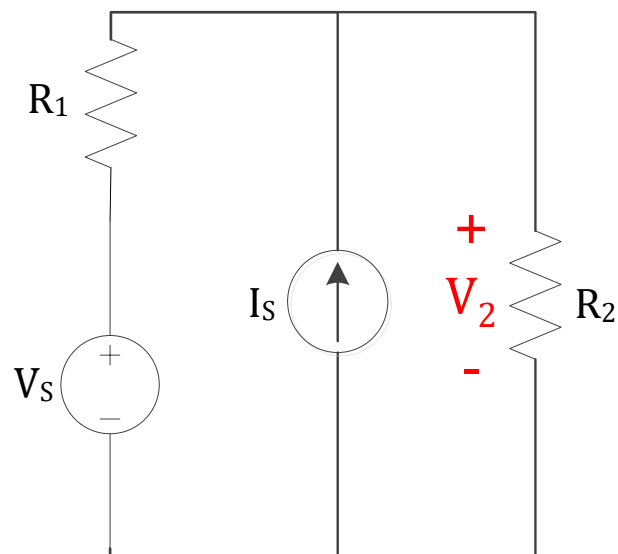
# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی

قانون جمع آثار: (برهم نهی)

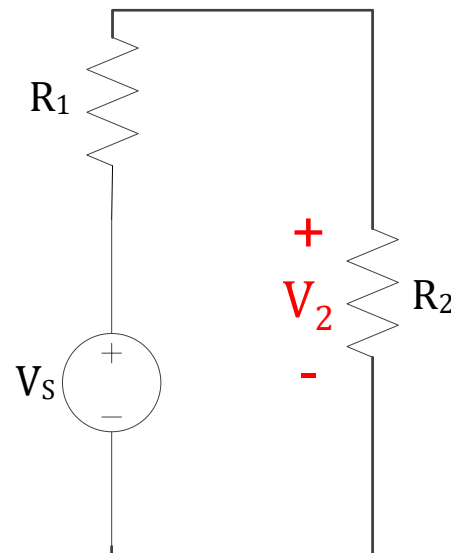
در شرایطی که چند منبع مستقل متفاوت در مدار وجود دارد، هر پاسخ مجموع چندین مولفه است، که هر مولفه پاسخ یک منبع به تنهایی است (بقیه منابع صفر هستند).

صفر کردن منبع جریان ← اتصال باز  
صفر کردن منبع ولتاژ ← اتصال کوتاه



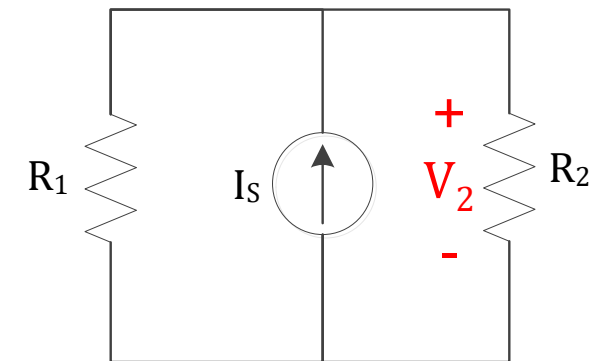
=

صفر کردن منبع جریان



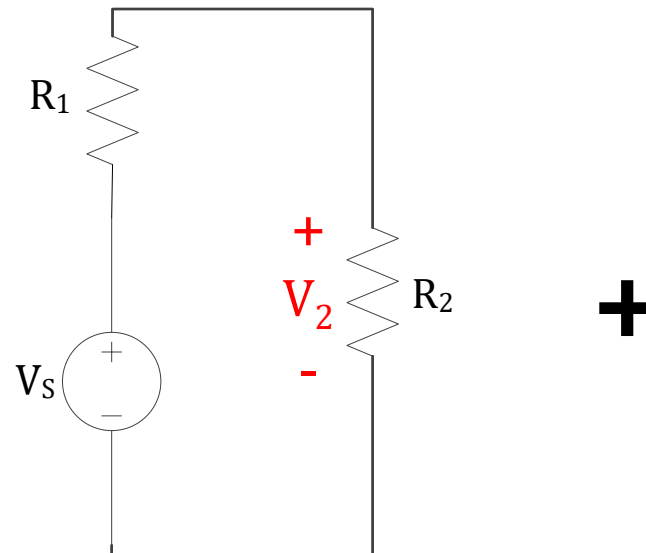
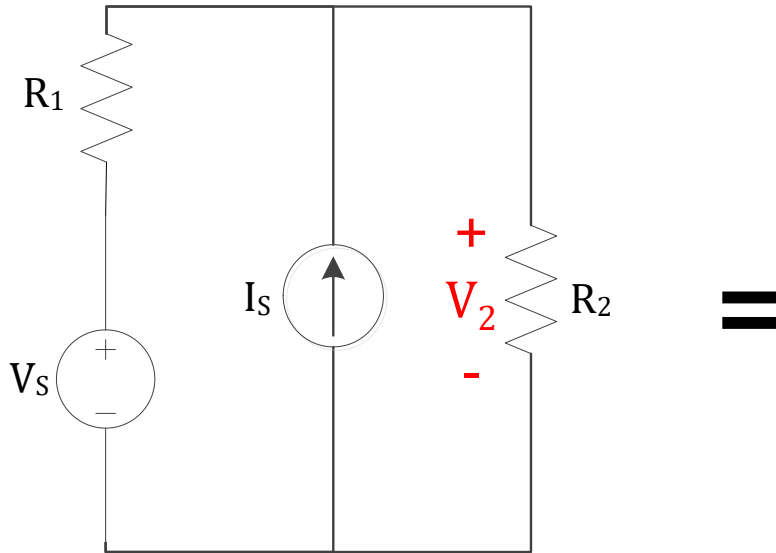
+

صفر کردن منبع ولتاژ



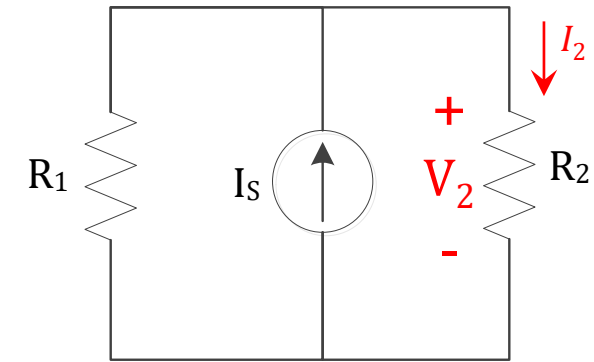
# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی



صفر کردن منبع جریان

قانون جمع آثار: (برهم نهی)



صفر کردن منبع ولتاژ

$$V_2 = V_s \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) + I_s \left( \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

$$V_2 = V_s \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

$$I_2 = I_s \left( \frac{R_1}{R_1 + R_2} \right)$$

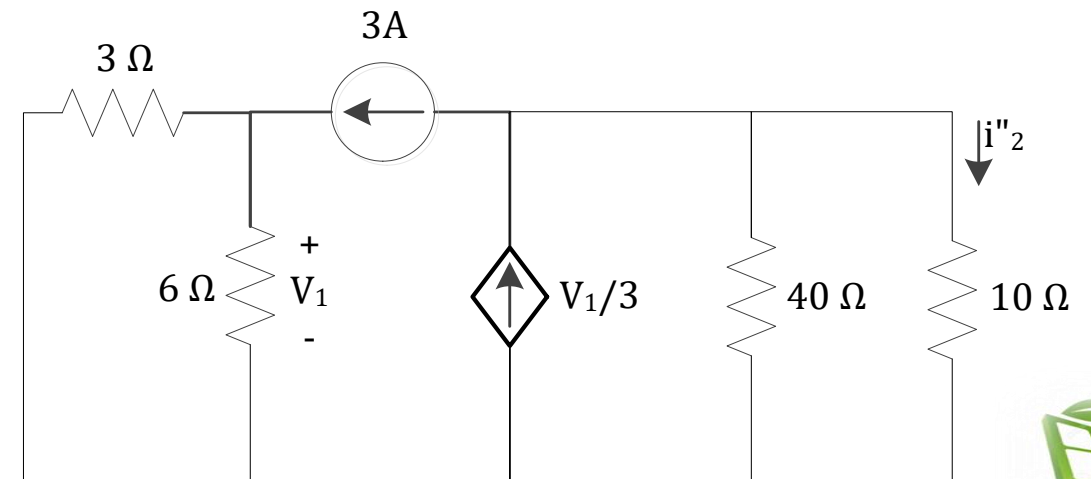
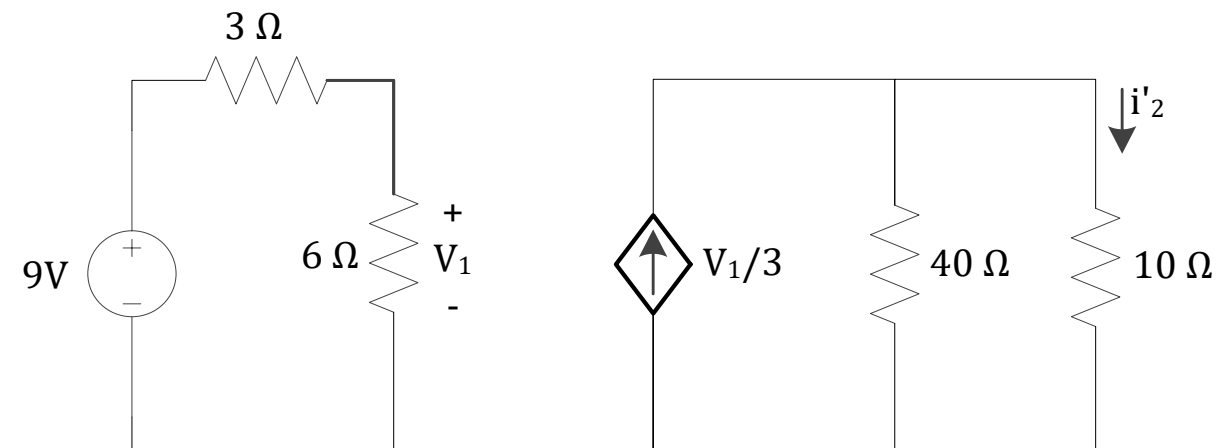
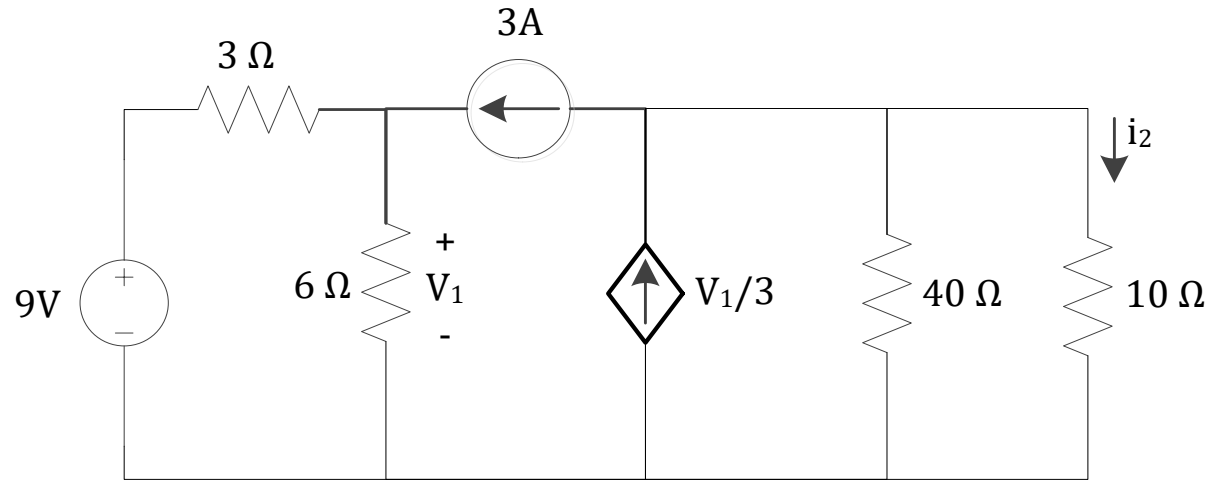
$$V_2 = R_2 I_2 = I_s \left( \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)$$



# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی

مثال: (قانون جمع آثار - برهم نهی)

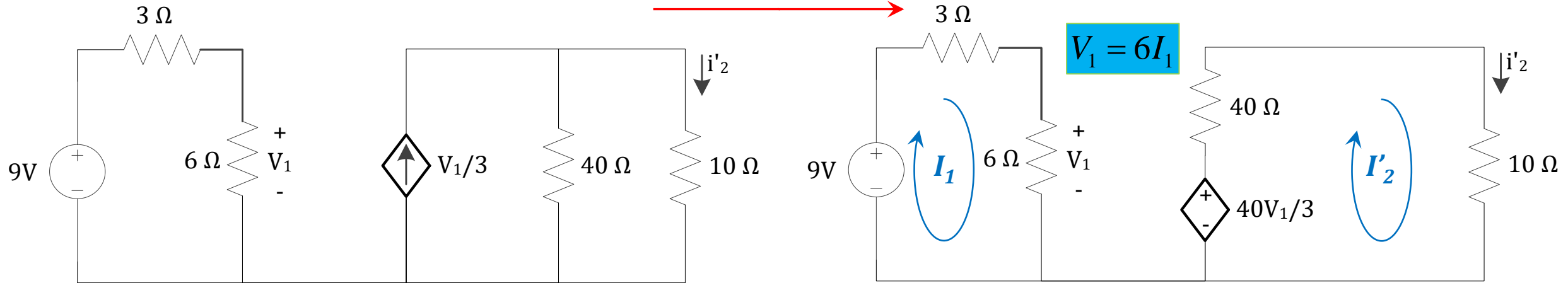


# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی

مثال: (قانون جمع آثار - برهم نهی)

منابع هم ارز ولتاژ



$$-9 + 3I_1 + 6I_1 = 0$$

$$-\frac{40}{3}V_1 + 40I'_2 + 10I'_2 = 0$$

$$I_1 = 1A \quad I'_2 = \frac{24}{15} = 1.6A$$

$$-40(6I_1) + 150I'_2 = 0$$

$$-9 + 9I_1 = 0$$

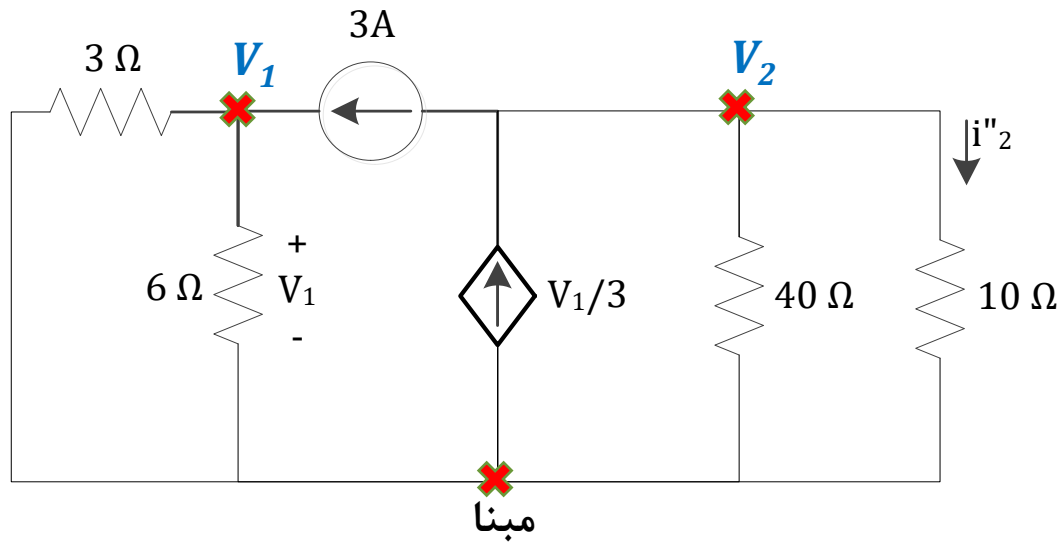
$$-240I_1 + 150I'_2 = 0$$





# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی



مثال: (قانون جمع آثار - برهم نهی)

$$\frac{V_1}{6} + \frac{V_1}{3} - 3 = 0$$

$$\frac{V_2}{40} + \frac{V_2}{10} + 3 - \frac{V_1}{3} = 0$$

$$V_1 + 2V_1 - 18 = 0$$

$$3V_1 = 18$$

$$3V_2 + 12V_2 + 360 - 40V_1 = 0$$

$$15V_2 + 360 - 240 = 0$$

$$V_2 = -8V$$

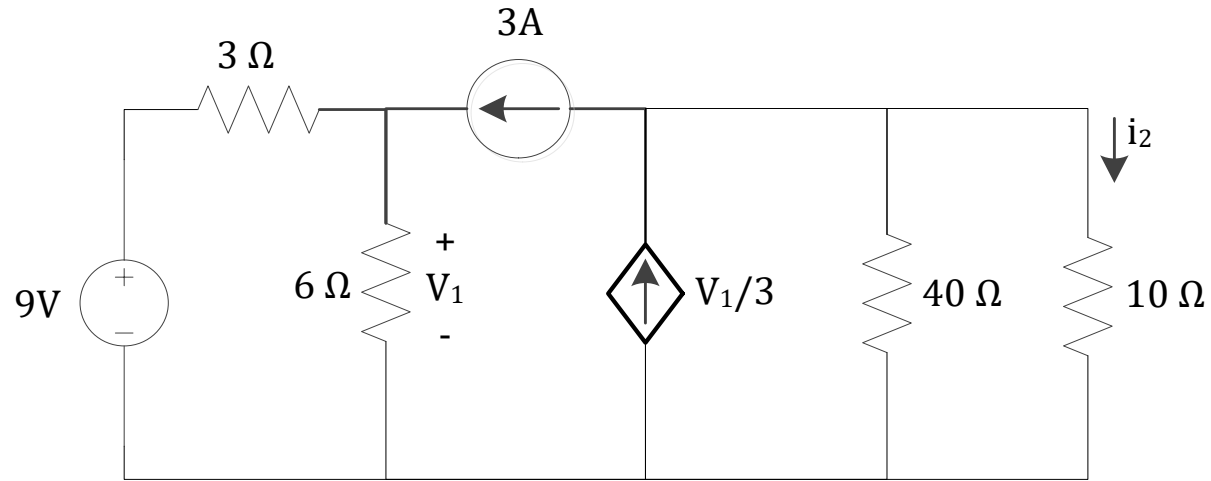
$$I_2'' = \frac{V_2}{10} = -0.8A$$



# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی

مثال: (قانون جمع آثار - برهم نهی)

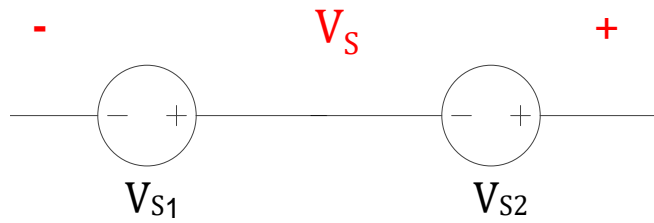


$$I_2 = I_2' + I_2'' = 1.6 - 0.8 = 0.8A$$



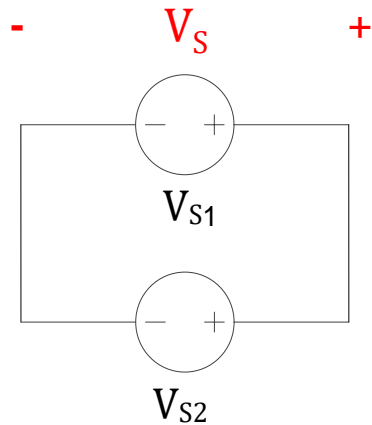
# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی



$$V_S = V_{S1} + V_{S2}$$

اتصال منابع به یکدیگر  
اتصال سری منابع ولتاژ ایده آل



$$V_S = V_{S1} = V_{S2}$$

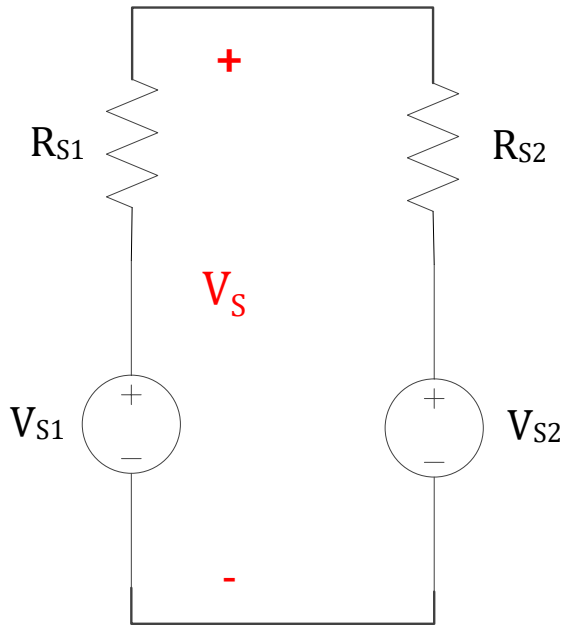
اتصال موازی منابع ولتاژ ایده آل

دو (یا چند منبع ولتاژ ایده آل تنها در صورتی می توانند با هم موازی شوند که ولتاژ یکسان داشته باشند



# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی



اتصال منابع به یکدیگر  
اتصال موازی منابع ولتاژ غیرایده آل

منابع ولتاژ در عمل مقاومت سری اندکی دارند.

موازی کردن دو منبع ولتاژ واقعی سبب عبور جریان بسیار بالا از این مقاومتها خواهد شد.

$$\text{if } V_{S1} > V_{S2} \longrightarrow V_S = V_{S1} - \frac{R_{S1}}{R_{S1} + R_{S2}} (V_{S1} - V_{S2})$$

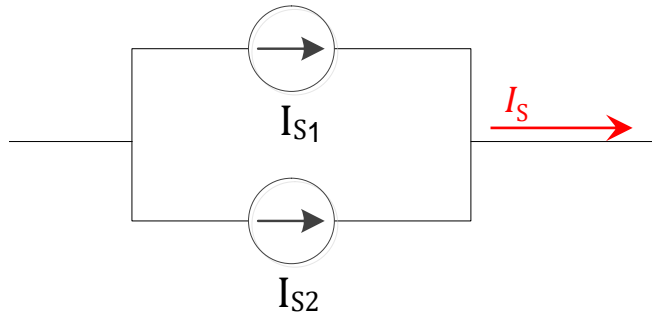
Exercise

$$\text{if } R_{S1} = R_{S2} \longrightarrow V_S = \left( \frac{V_{S1} + V_{S2}}{2} \right)$$



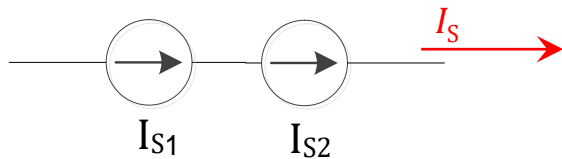
# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی



$$I_S = I_{S1} + I_{S2}$$

اتصال منابع به یکدیگر  
اتصال موازی منابع جریان ایده آل



$$I_S = I_{S1} = I_{S2}$$

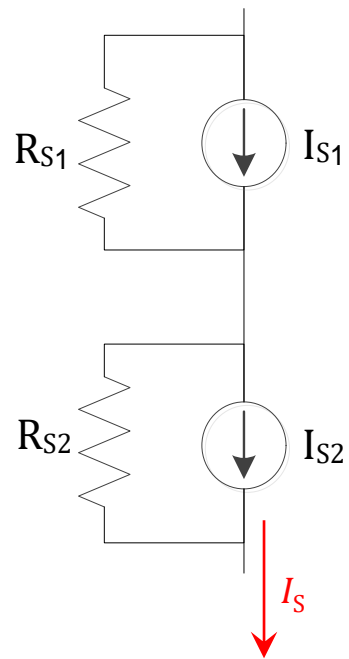
اتصال موازی منابع ولتاژ ایده آل

دو (یا چند) منبع جریان ایده آل تنها در صورتی می توانند با هم سری شوند که جریان یکسان داشته باشند



# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی



اتصال منابع به یکدیگر  
اتصال سری منابع جریان غیرایده آل

منابع جریان در عمل مقاومت موازی بالایی دارند.

سری کردن دو منبع جریان واقعی سبب عبور جریان بسیار بالا از این مقاومتها خواهد شد.

$$\text{if } V_{S1} + V_{S2} = 0 \longrightarrow I_S = \left( \frac{I_{S1}R_{S1} + I_{S2}R_{S2}}{R_{S1} + R_{S2}} \right)$$

$$\text{if } R_{S1} = R_{S2} \longrightarrow I_S = \left( \frac{I_{S1} + I_{S2}}{2} \right)$$

Exercise



# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی

قضیه تونن و نورتن

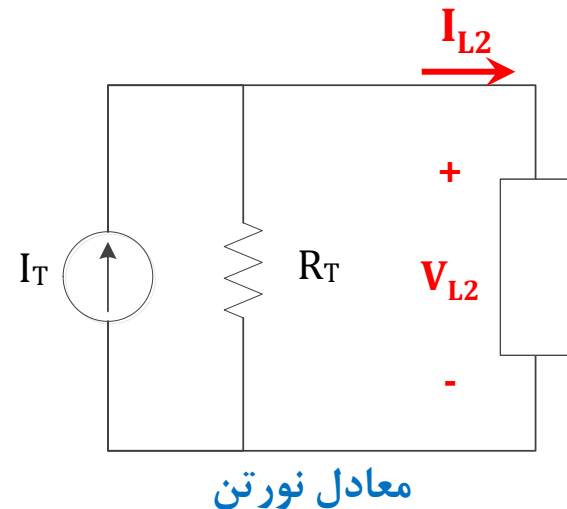
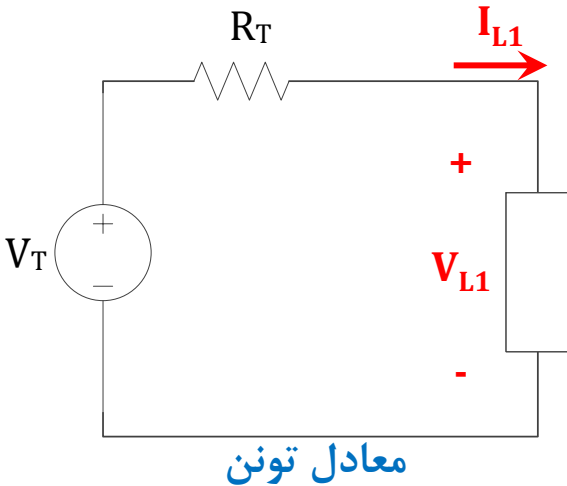
مدار هم ارز تونن

هر بخش از مدار، متشکل از منابع مستقل و وابسته و مقاومت های خطی را می توان با یک منبع ولتاژ و یک مقاومت سری با آن نمایش داد. این مدار را مدار هم ارز تونن آن می نامند.

مدار هم ارز نورتن

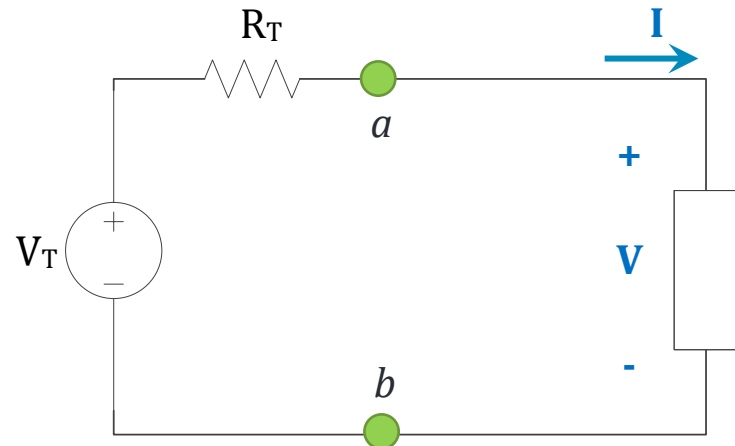
هر بخش از مدار، متشکل از منابع مستقل و وابسته و مقاومت های خطی را می توان با یک منبع جریان و یک مقاومت موازی با آن نمایش داد. این مدار را مدار هم ارز نورتن آن می نامند.

$$V_T = R_T I_T$$

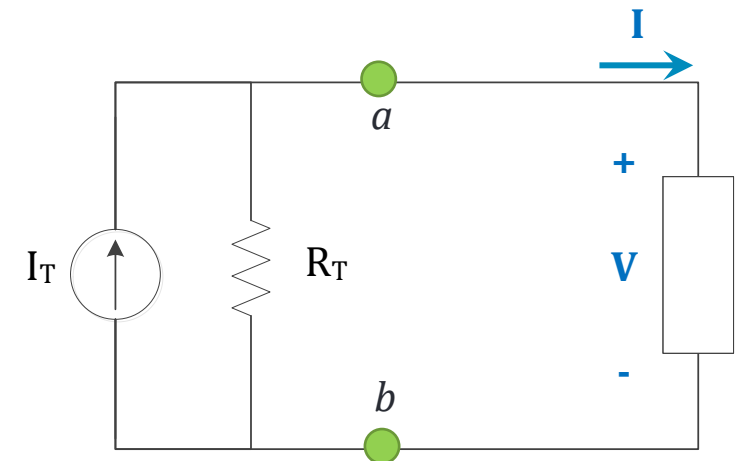


# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی



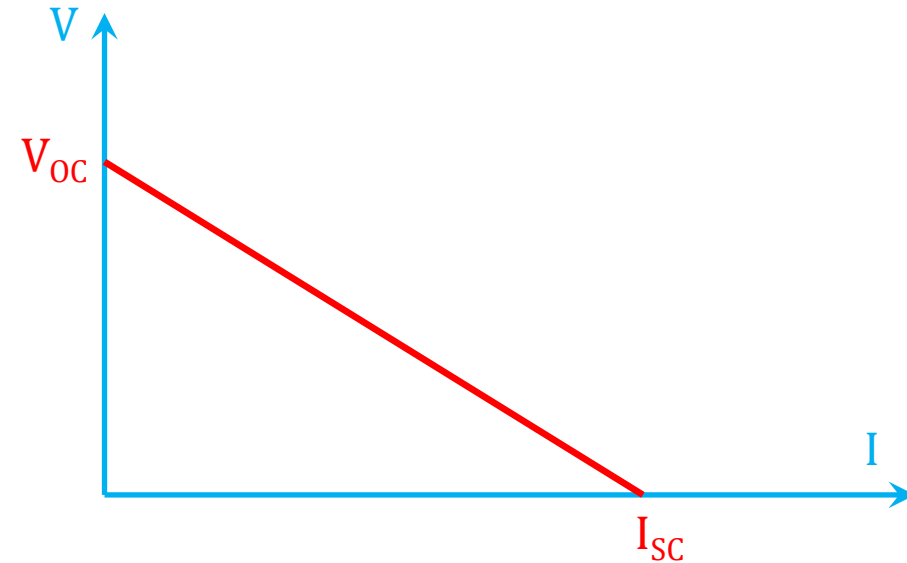
$$V_T = V_{OC}$$



$$I_T = I_{SC}$$

$$R_T = \frac{V_T}{I_T} = \frac{V_{OC}}{I_{SC}}$$

قضیه تونن و نورتن



$V_{OC}$  - Open Circuit Voltage: ولتاژ دو سر مدار وقتی خروجی اتصال باز است

$I_{SC}$  - Short Circuit Current: جریان خروجی مدار وقتی خروجی اتصال کوتاه است

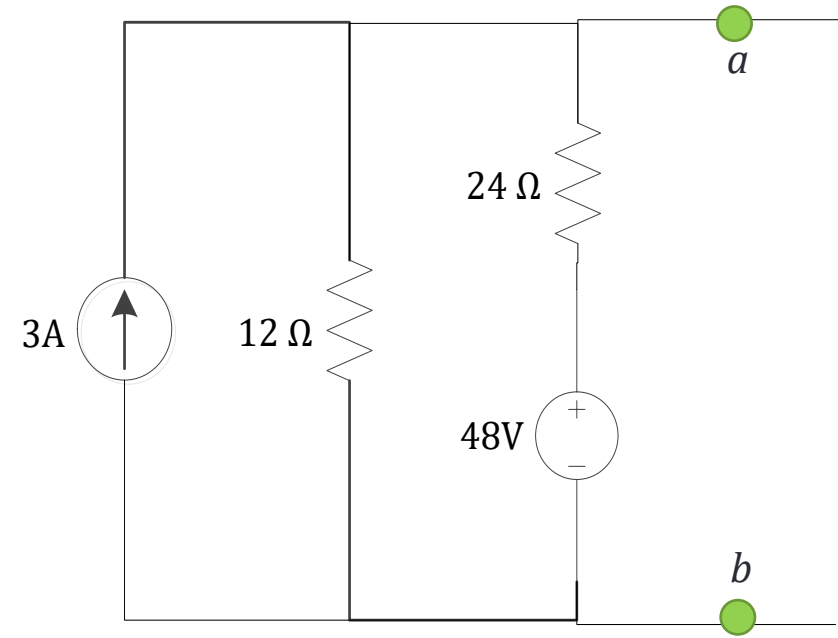
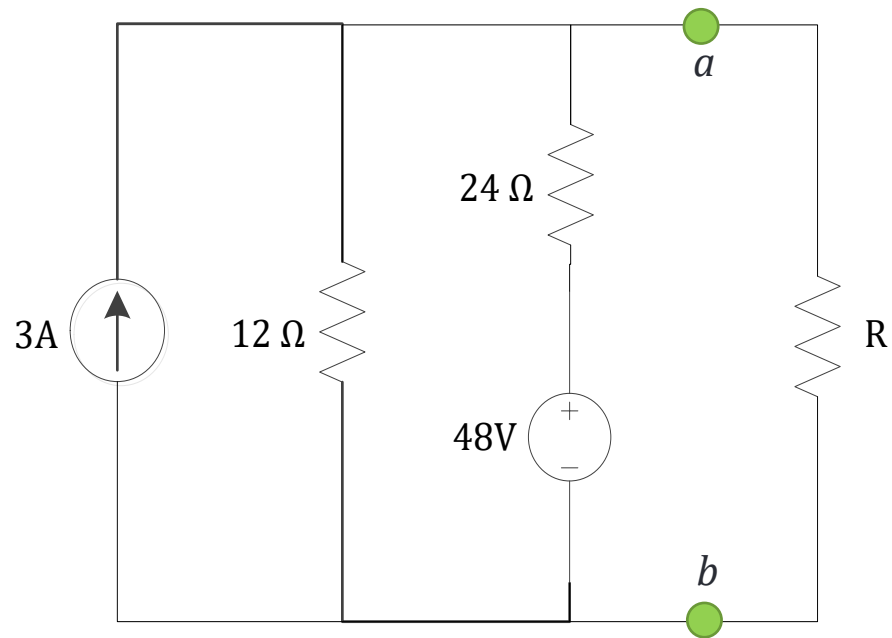




# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی

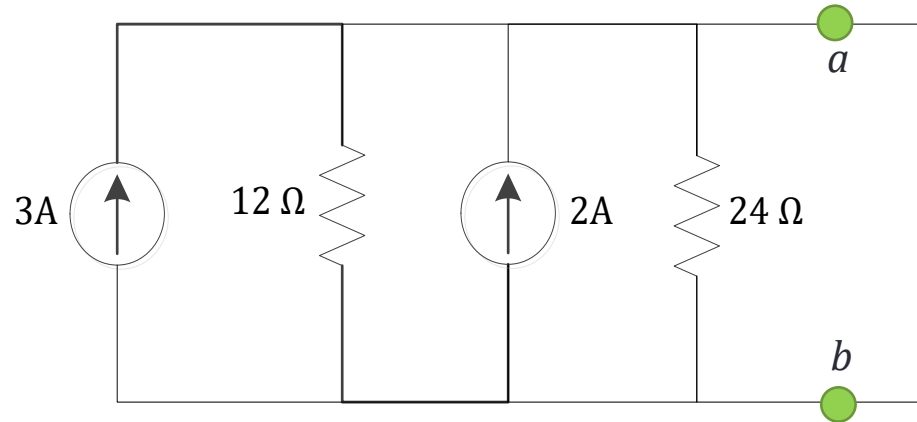
قضیه تونن و نورتن  
R چقدر باشد تا توان در مقاومت R بیشینه شود؟



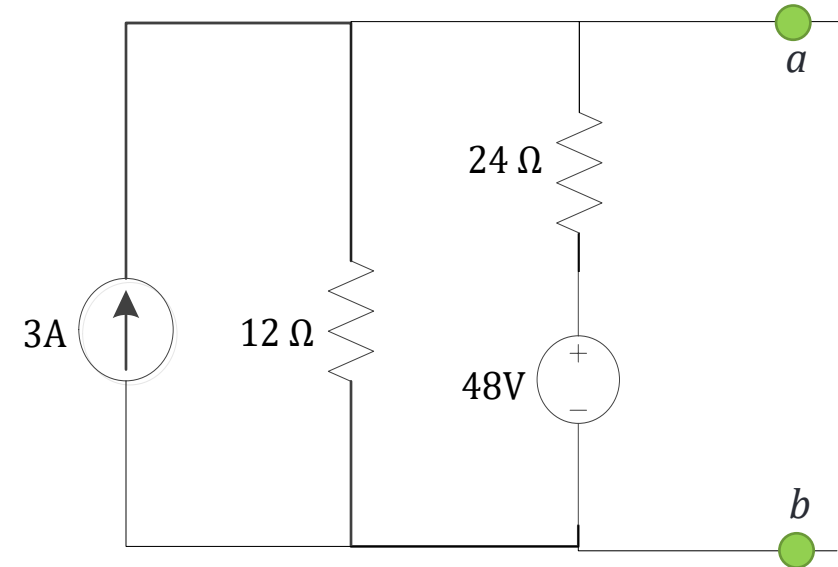
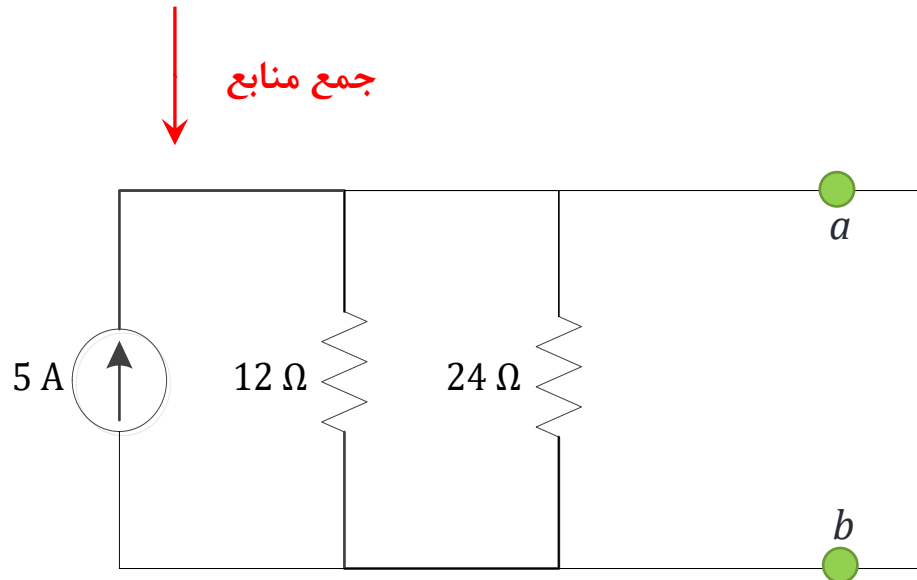
# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی

قضیه تونن و نورتن

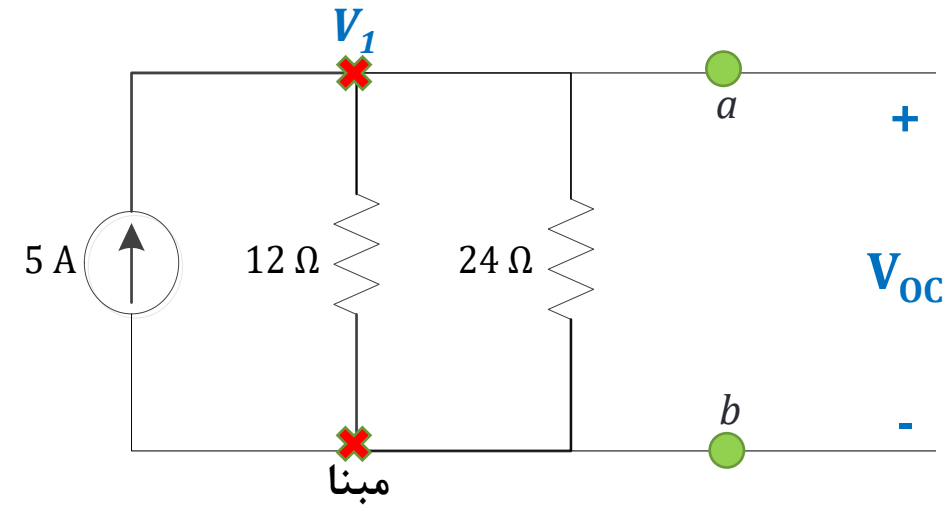


منابع هم ارز جریان



# Electrical Circuits Analysis

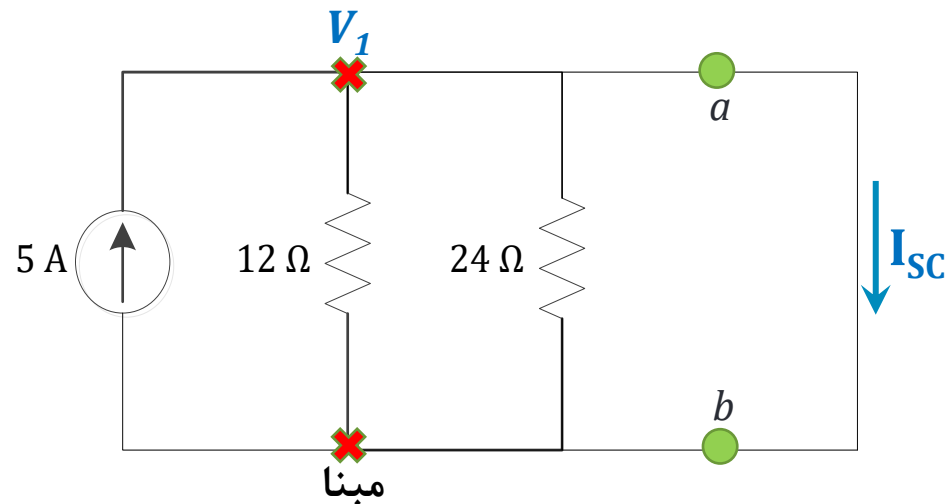
تحليل مدارهای مقاومتی



$$-5 + \frac{V_1}{12} + \frac{V_1}{24} = 0$$

$$V_1 = 40 \text{ v}$$

$$V_{OC} = V_1 = 40 \text{ v}$$

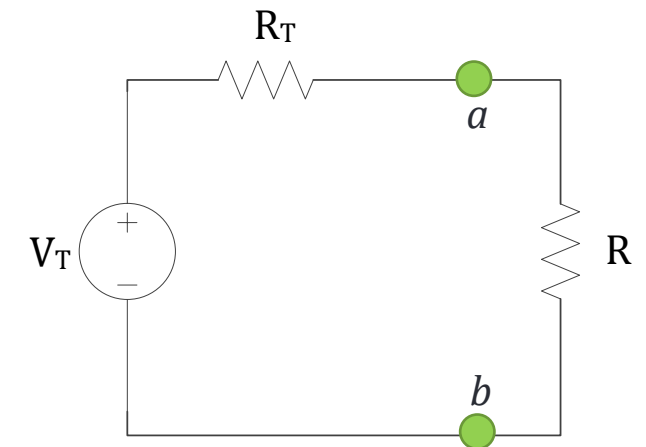


$$V_1 = 0 \text{ v}$$

$$-5 + \frac{0}{12} + \frac{0}{24} + I_{SC} = 0$$

$$I_{SC} = 5 \text{ A}$$

قضیه تونن و نورتن



$$V_T = V_{OC} = 40 \text{ v}$$

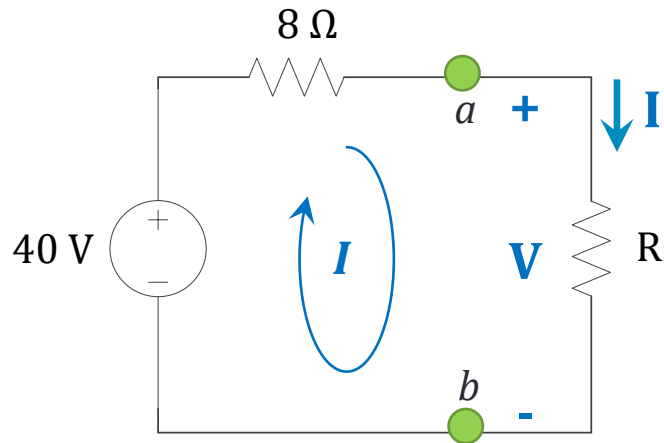
$$I_T = I_{SC} = 5 \text{ A}$$

$$R_T = \frac{V_T}{I_T} = \frac{V_{OC}}{I_{SC}} = \frac{40}{5} = 8 \Omega$$



# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی



قضیه تونن و نورتن  
R چقدر باشد تا توان در مقاومت R بیشینه شود؟  
حداکثر توان چقدر است؟

$$P = VI = RI \cdot I = RI^2$$

$$-40 + 8I + RI = 0$$

$$I = \frac{40}{8 + R}$$

$$P = RI^2 = R \left( \frac{40}{8 + R} \right)^2 = \frac{1600R}{(8 + R)^2}$$

$$\frac{dP}{dR} = 1600 \frac{(8 + R)^2 - 2(8 + R)R}{(8 + R)^4} = 0$$

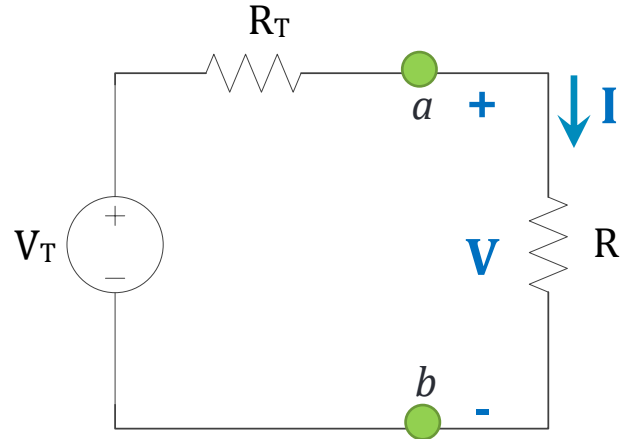
$$R = 8\Omega$$

قضیه انتقال توان ماکزیمم  $R = R_T$



# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی



قضیه تونن و نورتن  
 R چقدر باشد تا توان در مقاومت R بیشینه شود؟  
 حداکثر توان چقدر است؟

$$P = VI = RI \cdot I = RI^2$$

$$R = R_T$$

$$I = \frac{V_T}{2R_T}$$

$$P = RI^2 = R_T \left( \frac{V_T}{2R_T} \right)^2$$

$$R = R_T$$

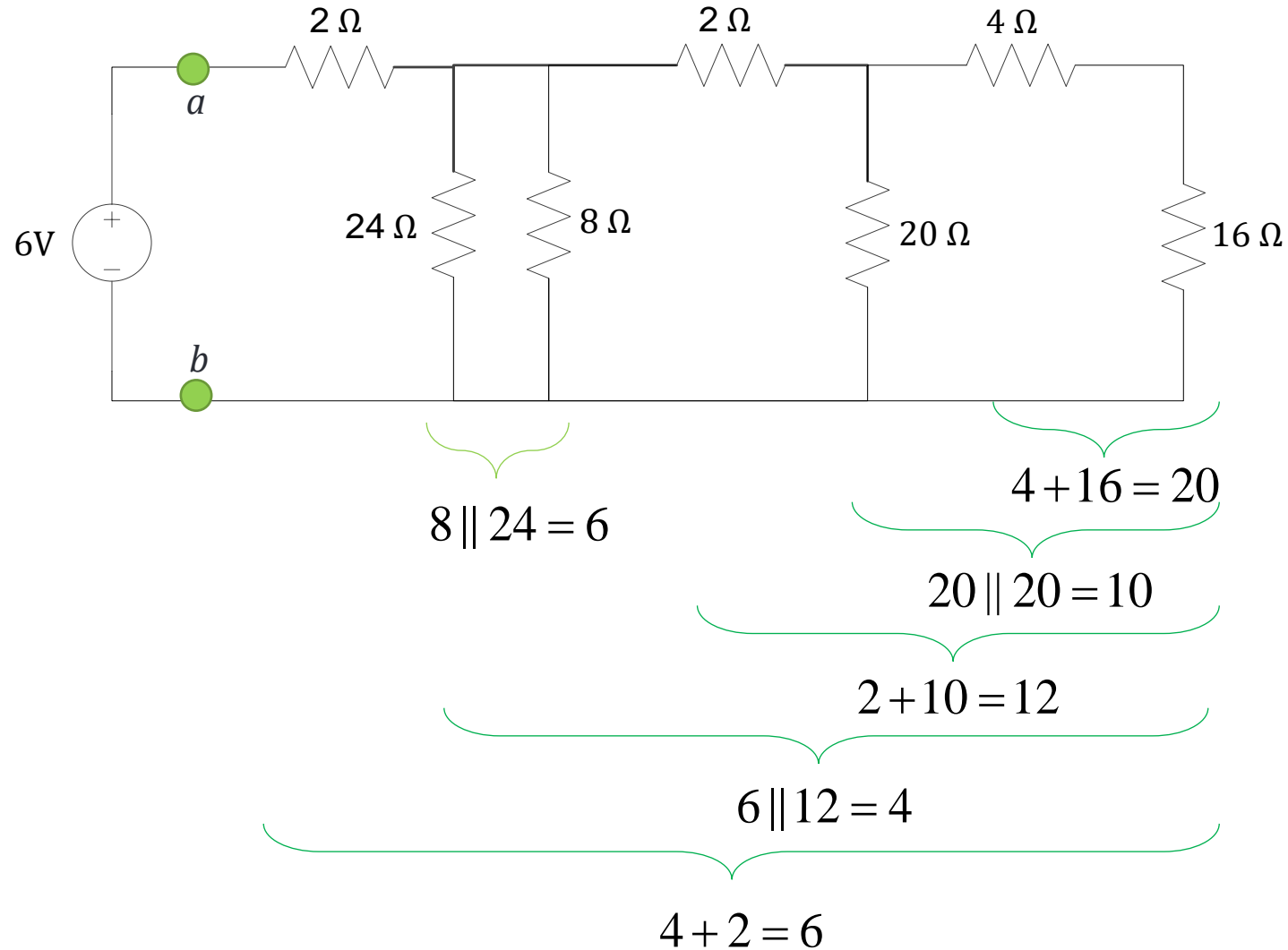
$$P_{\max} = \frac{V_T^2}{4R_T}$$

قضیه انتقال توان ماکزیمم

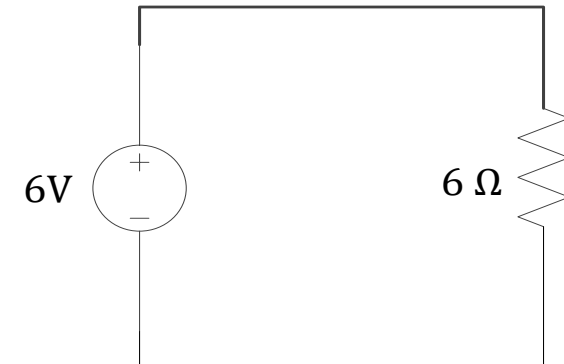


# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی



ساده سازی مدارها

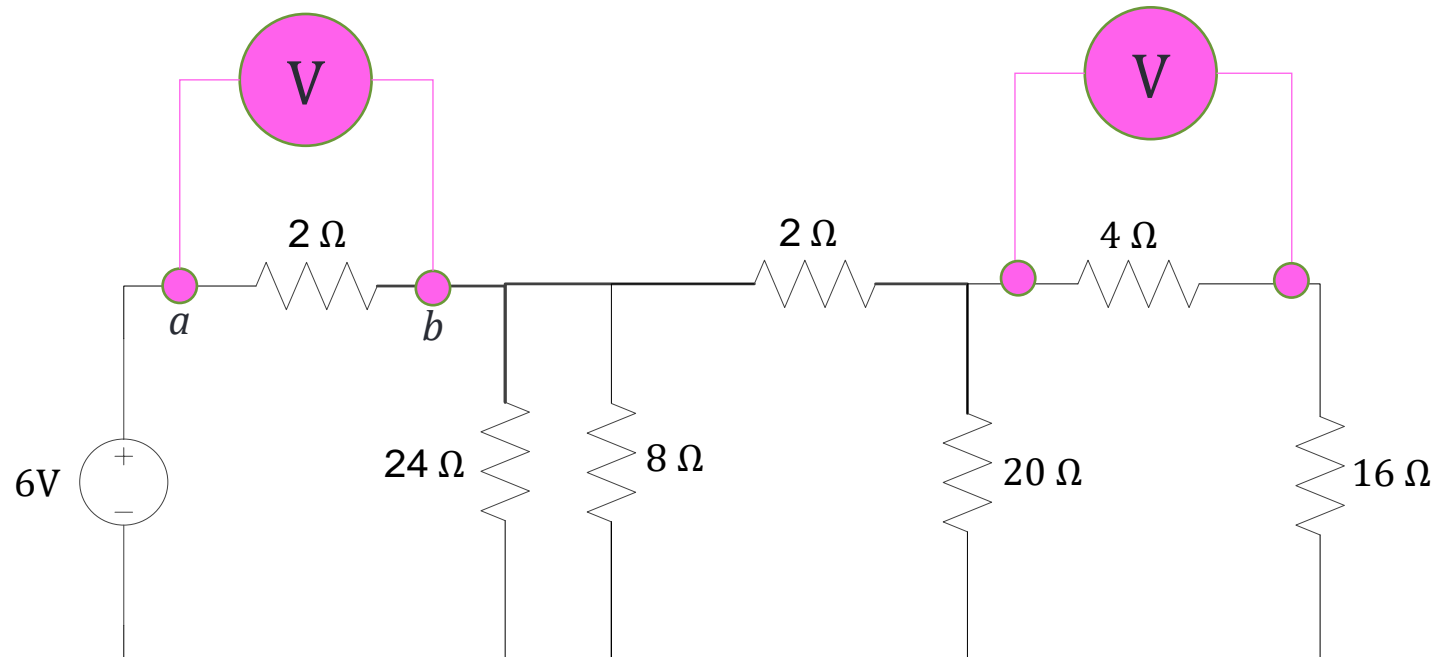


# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی

اندازه گیری ولتاژ در مدار

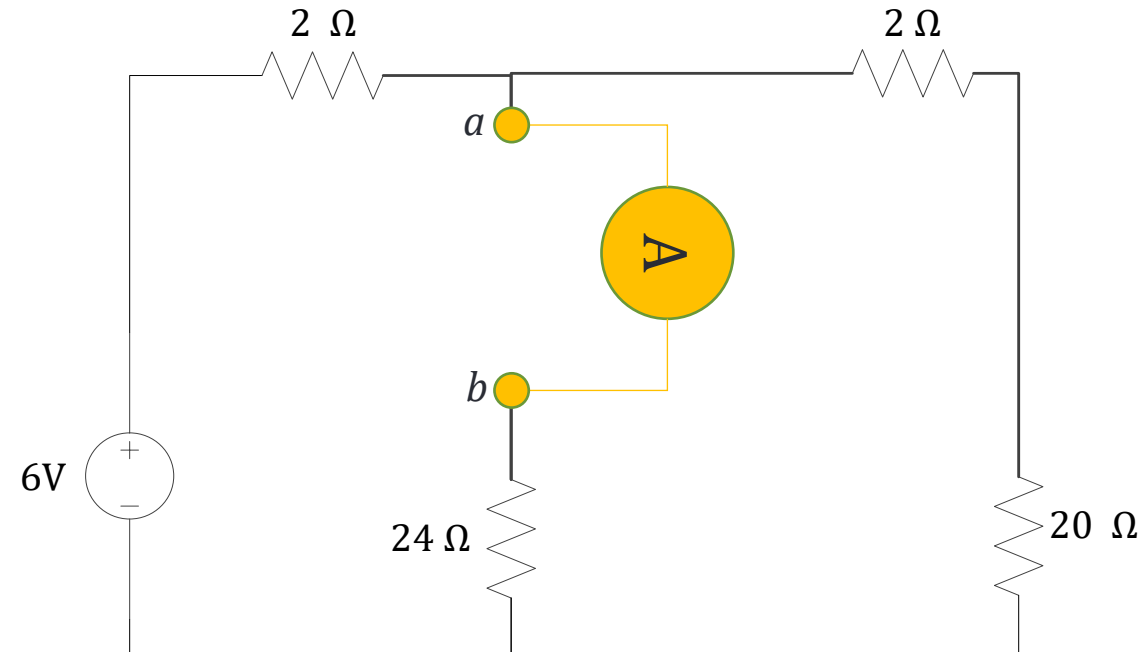
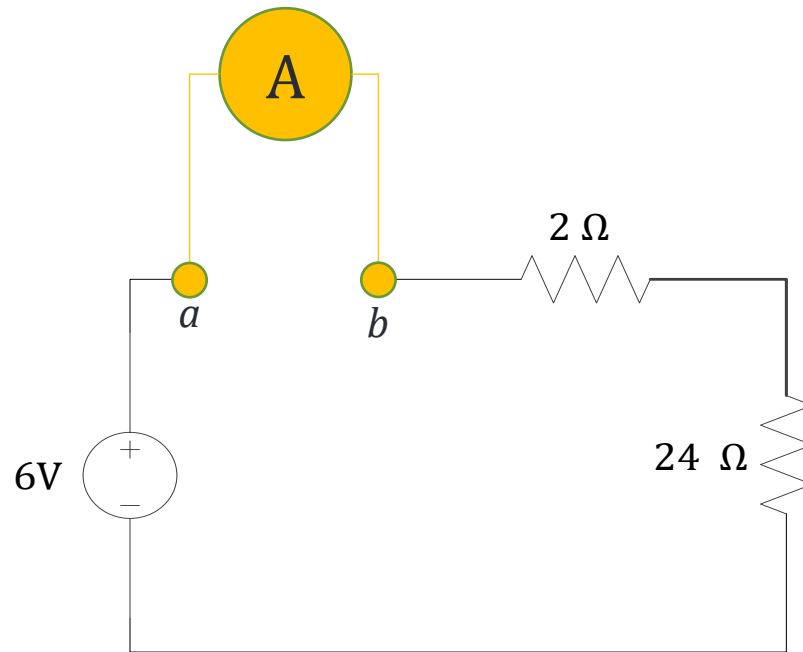
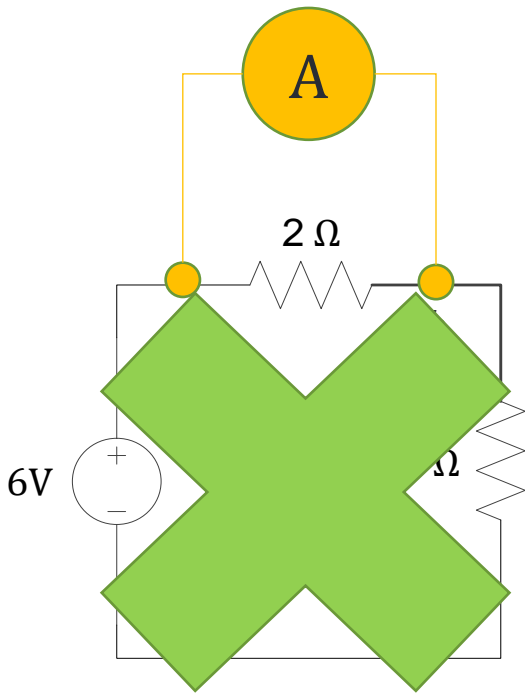
ولت‌متر همواره موازی در مدار قرار می‌گیرد (مقاومت ولت‌متر زیاد است. چرا؟)



# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی

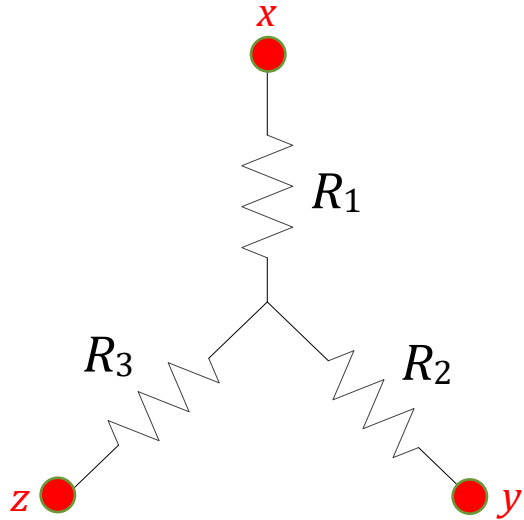
اندازه گیری جریان در مدار  
آمپر متر همواره سری در مدار قرار می گیرد (مقاومت آمپر متر اندک است. چرا؟)





# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی

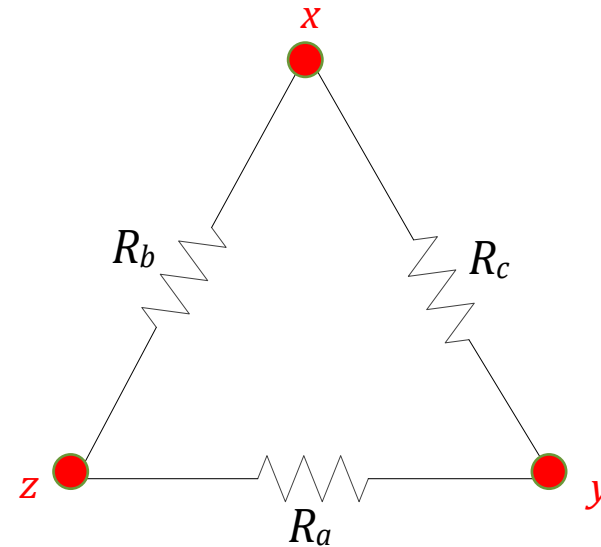


$$R_{xy} = R_1 + R_2$$

$$R_{xz} = R_1 + R_3$$

$$R_{yz} = R_2 + R_3$$

تبدیل مثلث و ستاره



$$R_{xy} = R_c \parallel (R_a + R_b) = \frac{R_c(R_a + R_b)}{R_c + (R_a + R_b)}$$

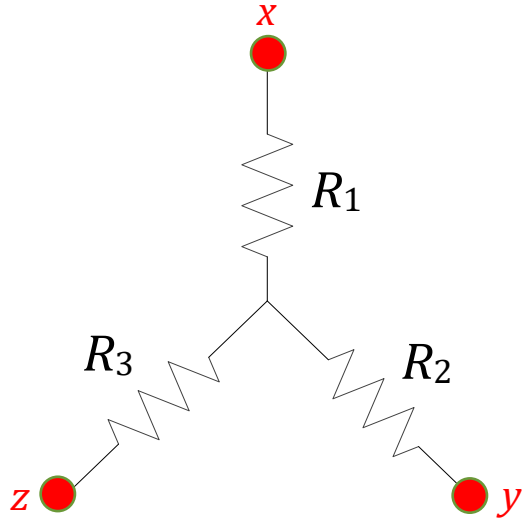
$$R_{xz} = R_b \parallel (R_a + R_c) = \frac{R_b(R_a + R_c)}{R_b + (R_a + R_c)}$$

$$R_{yz} = R_a \parallel (R_b + R_c) = \frac{R_a(R_b + R_c)}{R_a + (R_b + R_c)}$$



# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی

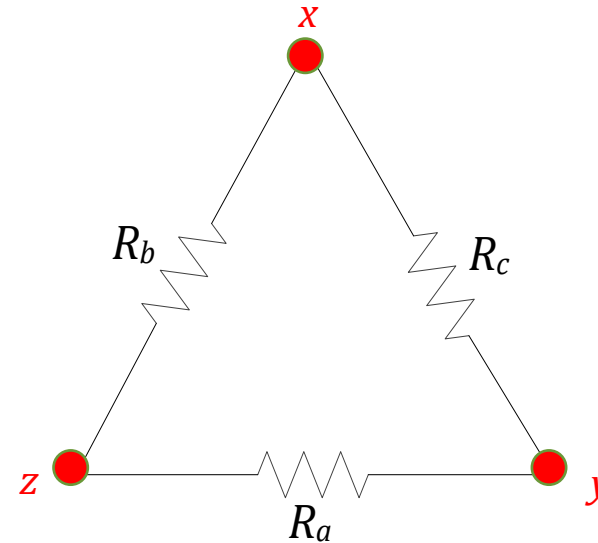


$$R_1 = \frac{R_b R_c}{R_a + R_b + R_c}$$

$$R_2 = \frac{R_a R_c}{R_a + R_b + R_c}$$

$$R_3 = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b + R_c}$$

تبدیل مثلث و ستاره



$$R_a = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_1}$$

$$R_b = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_2}$$

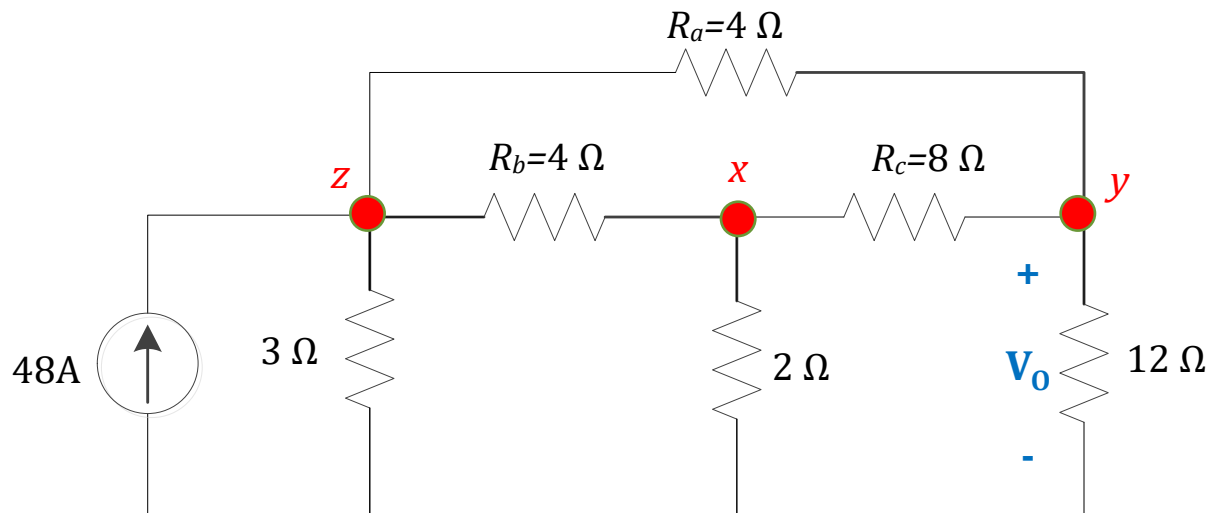
$$R_c = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_3}$$



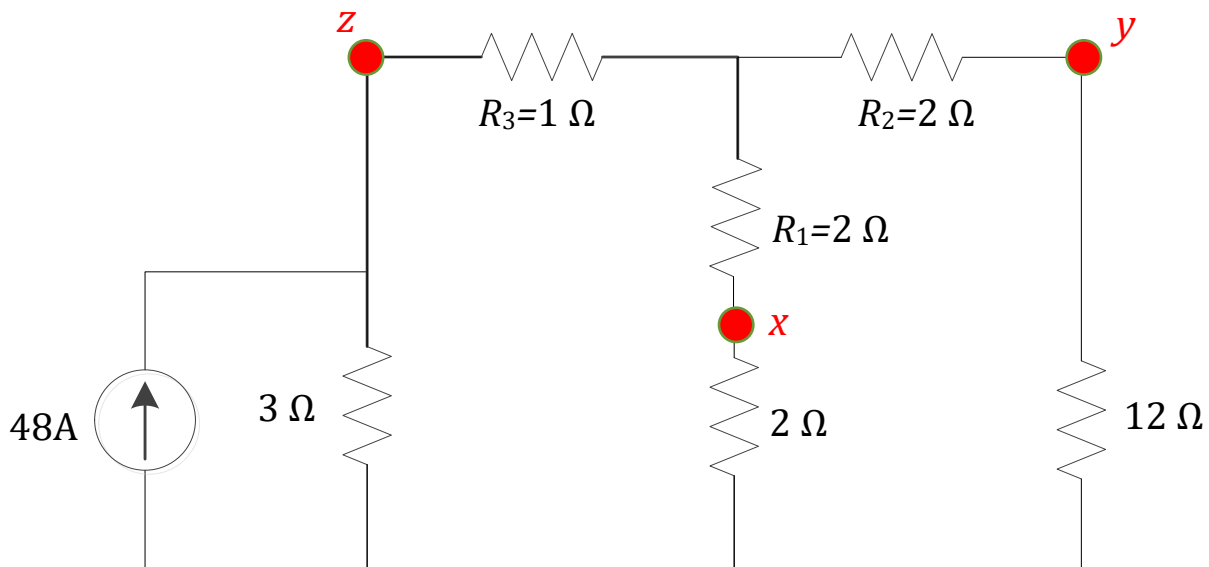
# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی

مثال تبدیل مثلث به ستاره



مثلث به ستاره



$$R_1 = \frac{R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} = \frac{4 \times 8}{4 + 8 + 4} = \frac{32}{16} = 2 \Omega$$

$$R_2 = \frac{R_a R_c}{R_a + R_b + R_c} = \frac{4 \times 8}{4 + 8 + 4} = \frac{32}{16} = 2 \Omega$$

$$R_3 = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b + R_c} = \frac{4 \times 4}{4 + 8 + 4} = \frac{16}{16} = 1 \Omega$$

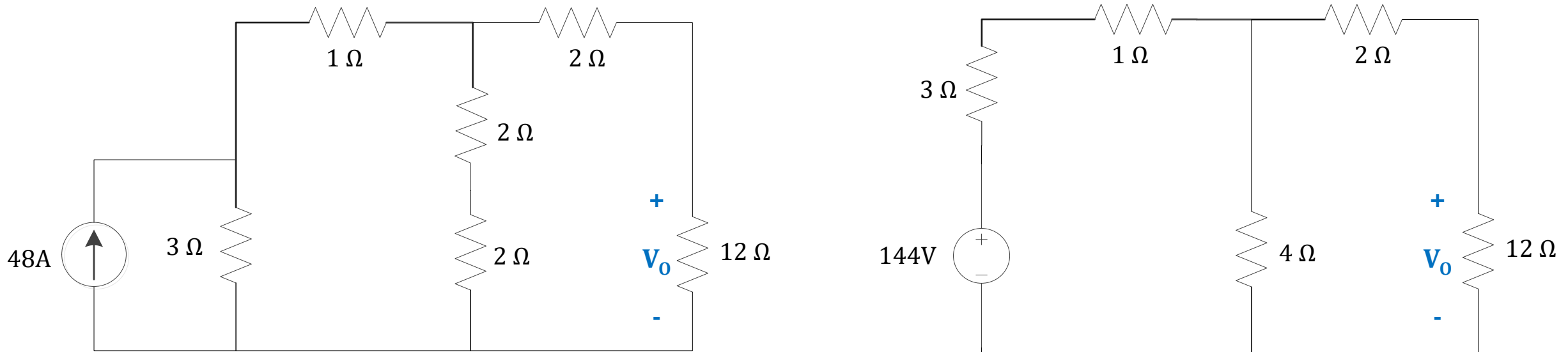


# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی

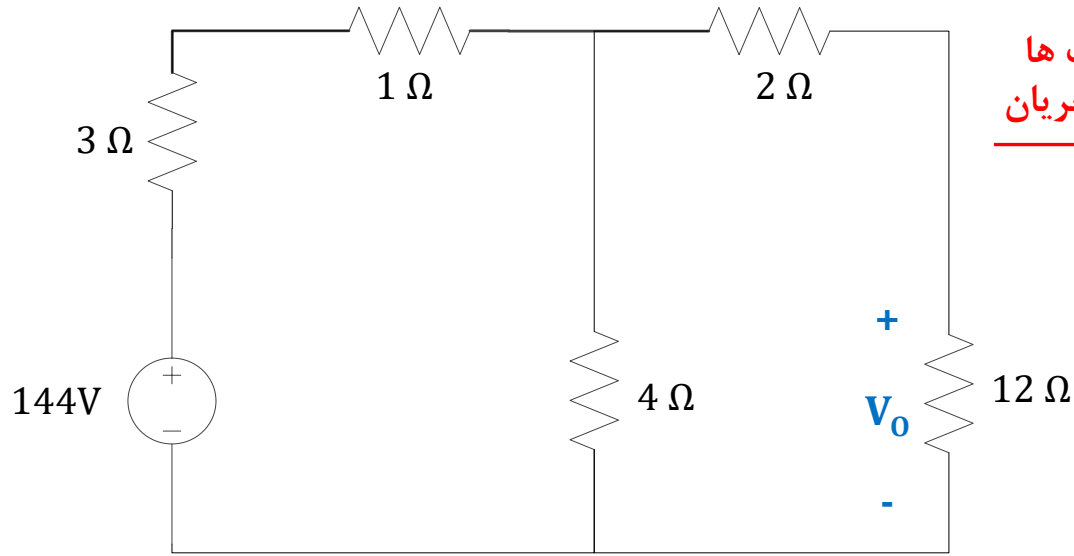
مثال تبدیل مثلث به ستاره

منابع هم ارز ولتاژ



# Electrical Circuits Analysis

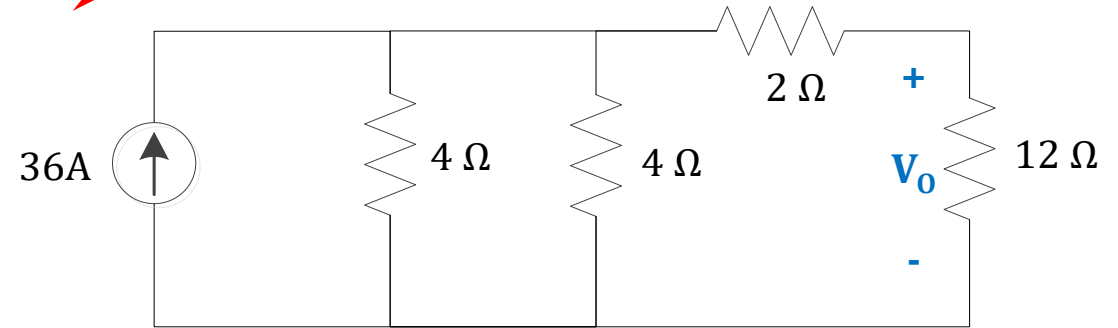
تحلیل مدارهای مقاومتی



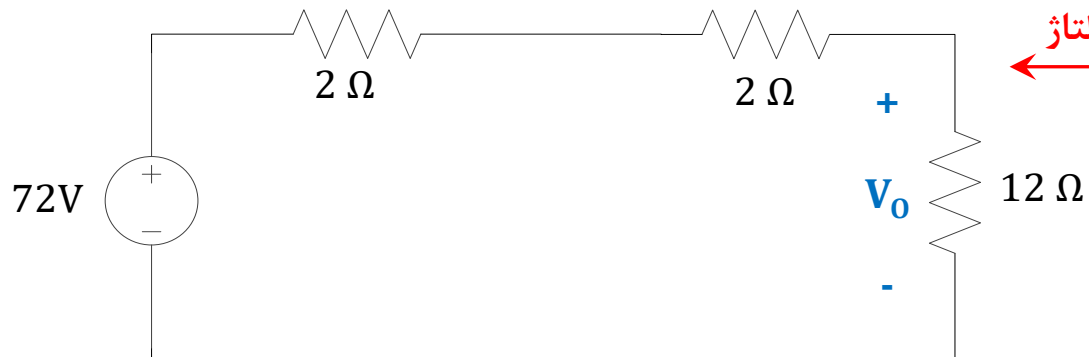
سری مقاومت ها  
منابع هم ارز جریان



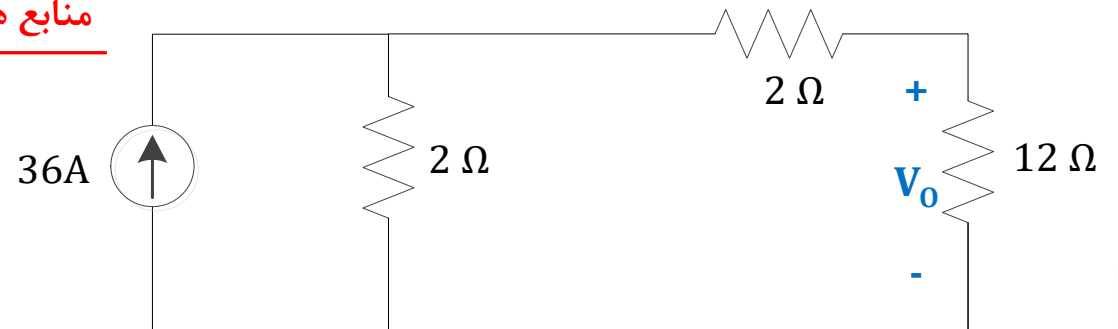
مثال تبدیل مثلث به ستاره



موازی مقاومت های ۴ اهم



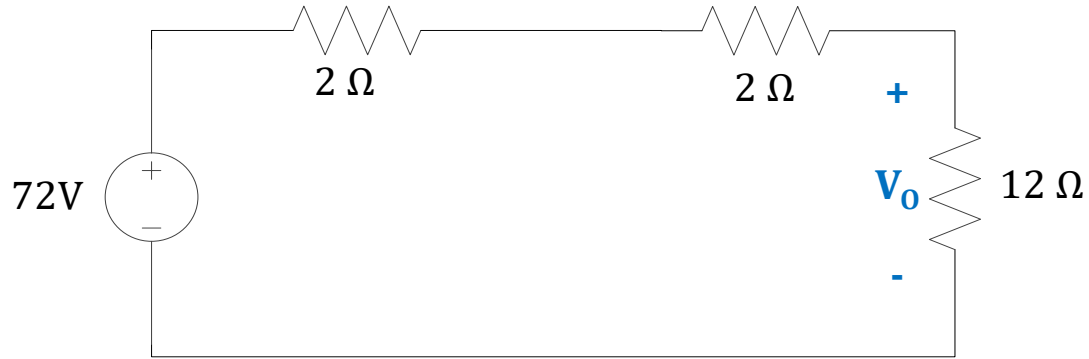
منابع هم ارز ولتاژ



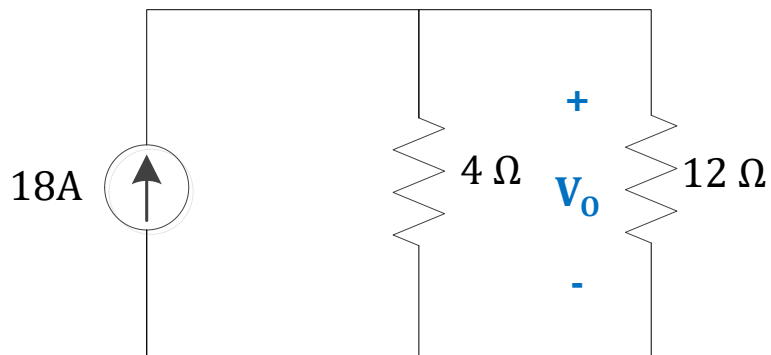
# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی

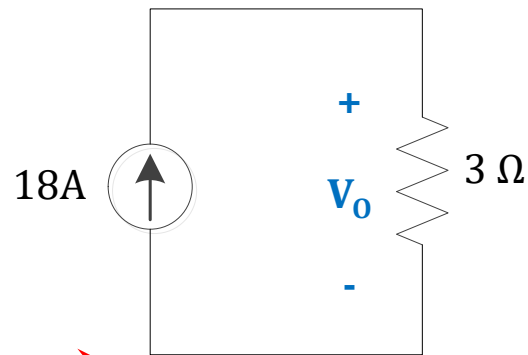
مثال تبدیل مثلث به ستاره



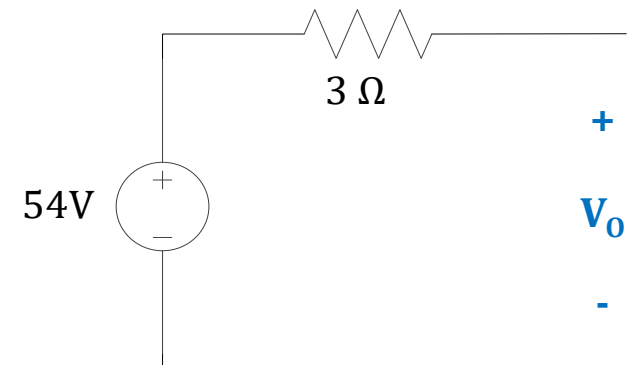
منابع هم ارز جریان  
سری مقاومت ها



موازی مقاومت ها



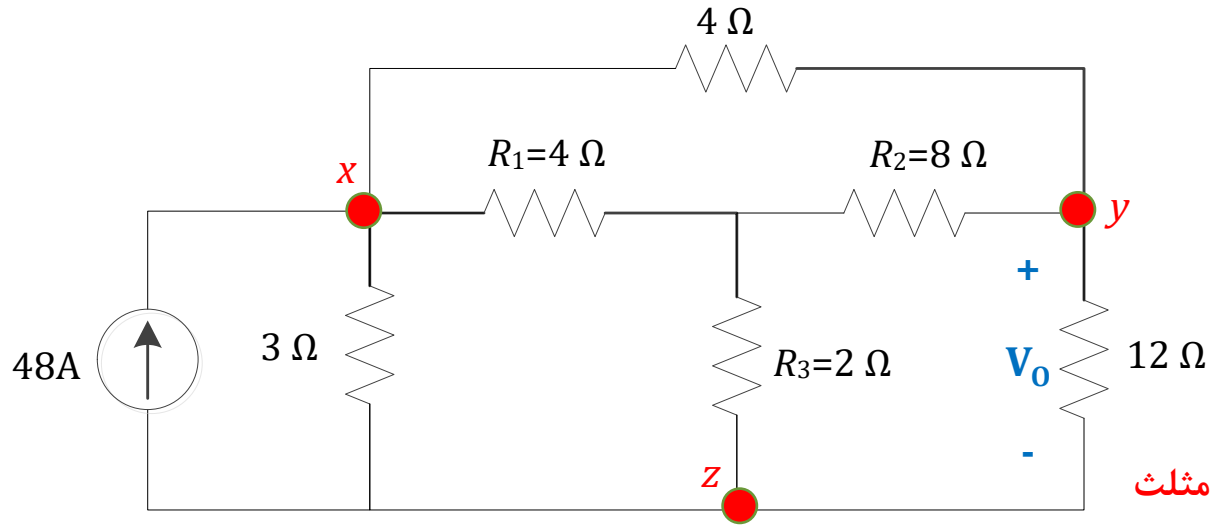
منابع هم ارز ولتاژ



# Electrical Circuits Analysis

تحليل مدارهای مقاومتی

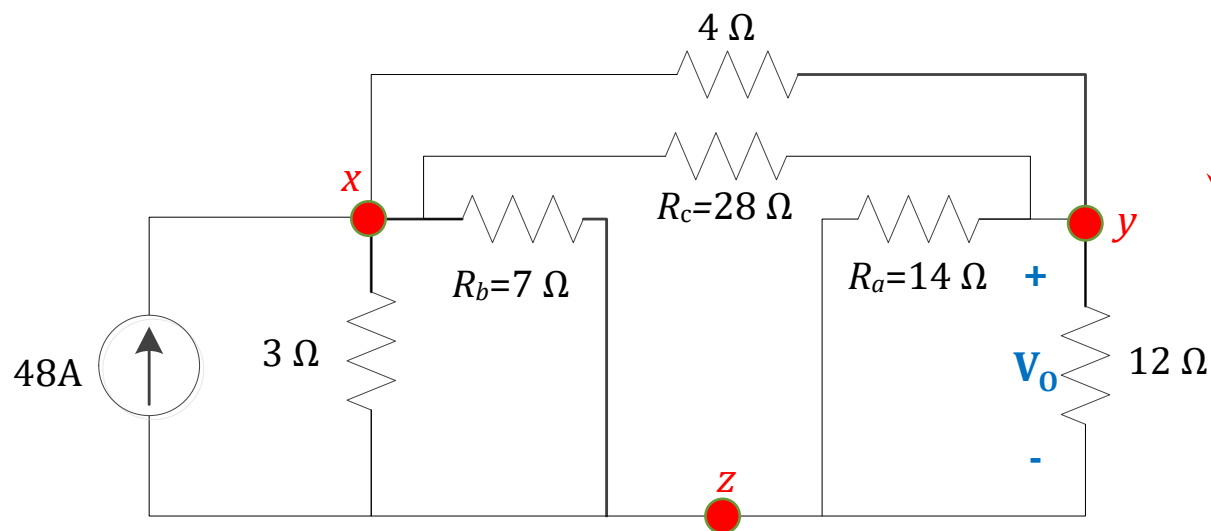
مثال تبدیل ستاره به مثلث



$$R_a = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_1} = \frac{32 + 8 + 16}{4} = 14$$

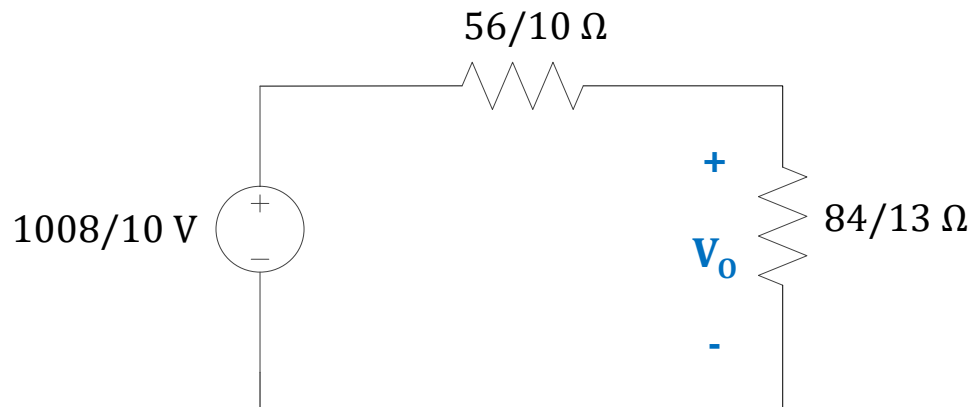
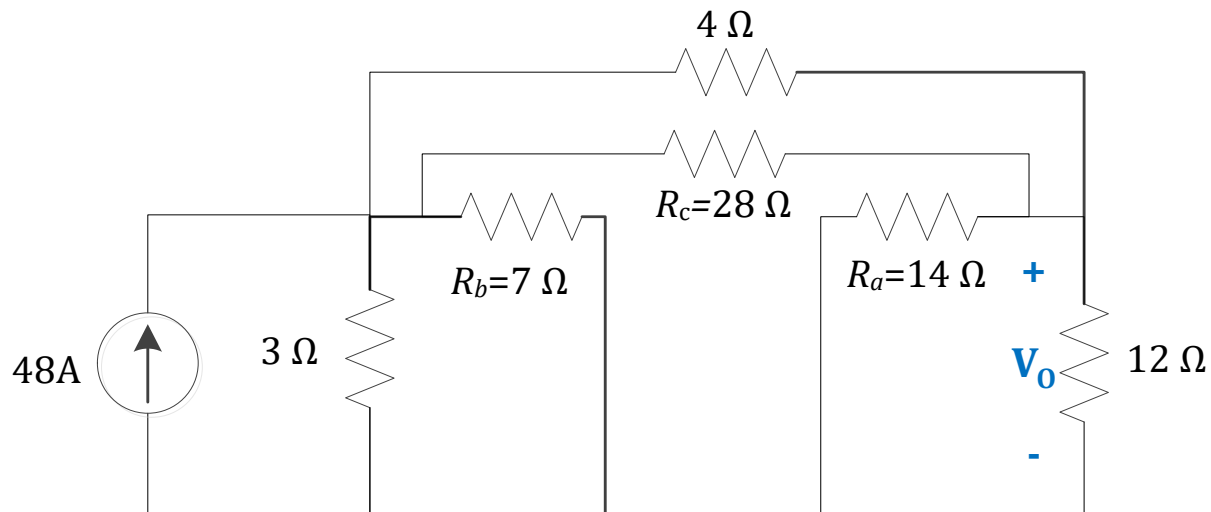
$$R_b = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_2} = \frac{32 + 8 + 16}{8} = 7$$

$$R_c = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_3} = \frac{32 + 8 + 16}{2} = 28$$



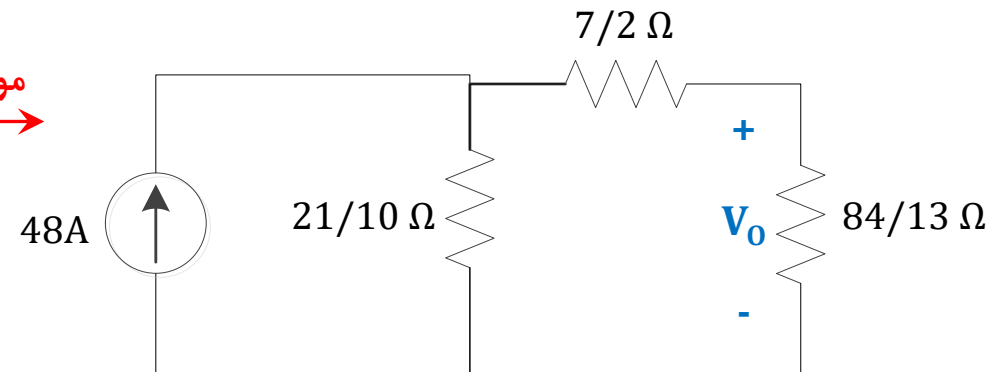
# Electrical Circuits Analysis

تحلیل مدارهای مقاومتی



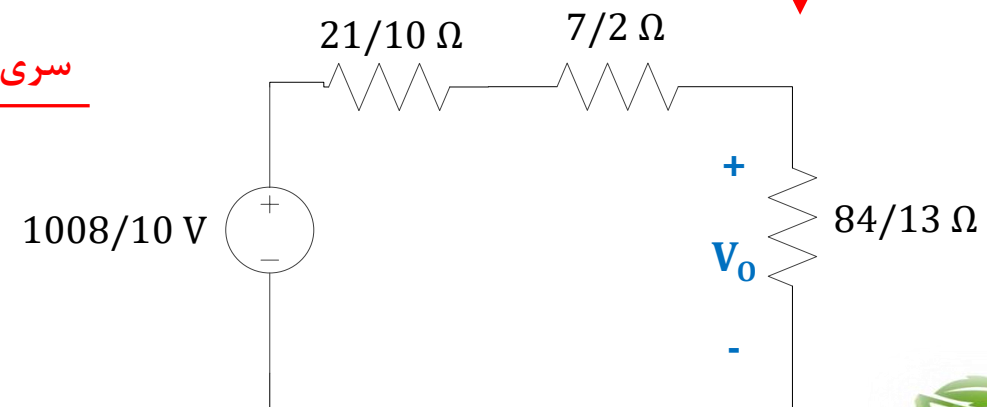
مثال تبدیل ستاره به مثلث

موازی مقاومتها



منابع هم ارز ولتاژ

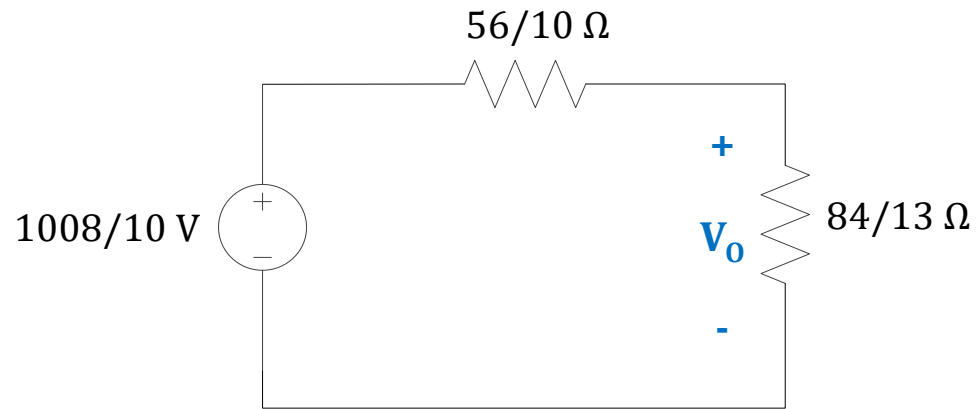
سری مقاومتها



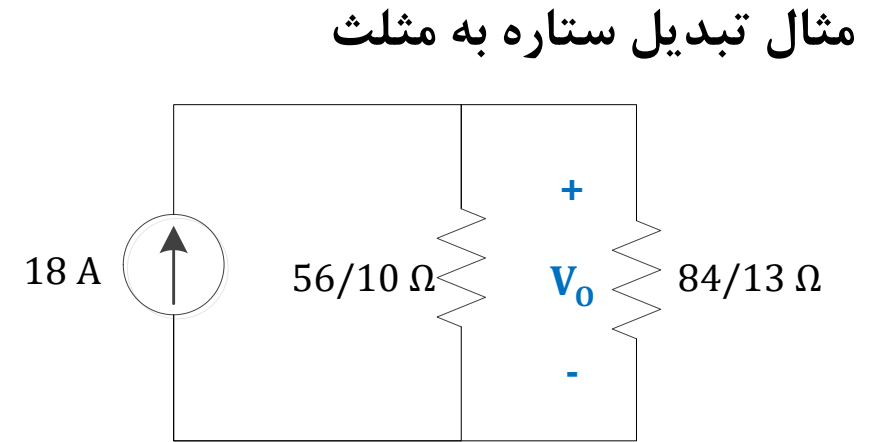


# Electrical Circuits Analysis

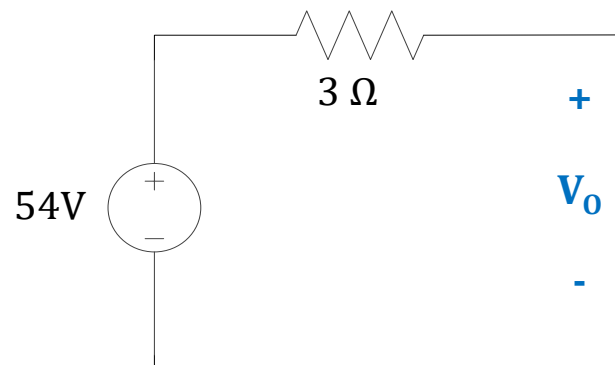
تحلیل مدارهای مقاومتی



منابع هم ارز جریان



موازی مقاومت ها



منابع هم ارز ولتاژ

