

# الدارات الكهربائية 1

الدكتور المهندس  
علاء الدين أحمد حسام الدين

2

# القوانين الأساسية في الدارات الكهربائية

# BASIC LAWS ELECTRICAL CIRCUITS



جامعة  
المنارة  
MANARA UNIVERSITY

## الدارة الكهربائية وعناصرها :

### :Electric circuit and its elements

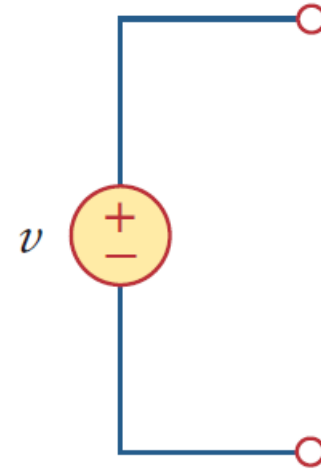
تُعرّف الدارة الكهربائية بأنها ارتباط مجموعة من الأجهزة والعناصر التي تشكّل مساراً للتيار الكهربائي وللظواهر الكهربائية. وتتكوّن الدارة من عناصر فعّالة (Active elements) (مصادر تغذية)، وعناصر غير فعّالة (Passive elements) (مستهلكو القدرة الكهربائية)، بالإضافة إلى عناصر التوصيل التي تربط المصادر مع المستهلكين.

# عناصر الدارة Circuit Elements

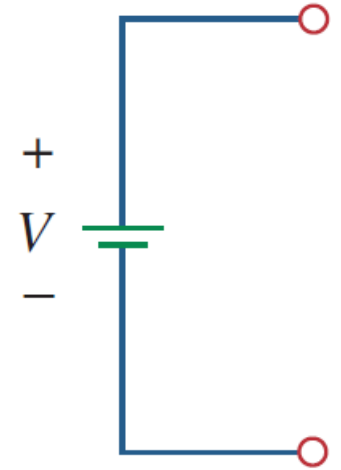
العناصر الفعّالة (مصادر التغذية): هي مصادر الجهد أو التيار التي تجري فيها عملية تحويل أي شكل من أشكال الطاقة (حرارية، كيميائية، ميكانيكية، ...) إلى طاقة كهربائية. وهي تقسم إلى مصادر مثالية، ومصادر غير مثالية (عملية):

المنبع المستقل المثالي هو عنصر فعال يوفر جهداً أو تياراً محدداً مستقلاً تماماً عن عناصر الدارة الأخرى.

بمعنى آخر، يعطي منبع الجهد المستقل للدارة أي تيار ضروري للحفاظ على جهدها الطرفي. يمكن اعتبار المصادر المادية مثل البطاريات والمولدات بمثابة تمثيل تقريبي لمصادر الجهد المثالية. يوضح الشكل رموز منابع الجهد المستقلة.

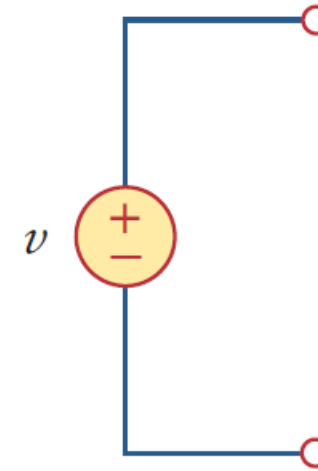


(a)

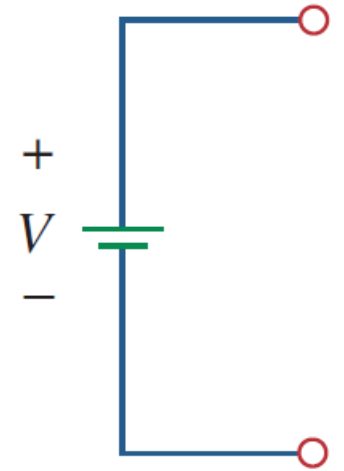


(b)

يمكن استخدام كلا الرمزين في الشكل (a) و (b) لتمثيل منبع جهد أو تيار مستمر، ولكن يمكن استخدام الرمز في الشكل (a) فقط لمنبع جهد متغير بمرور الزمن.



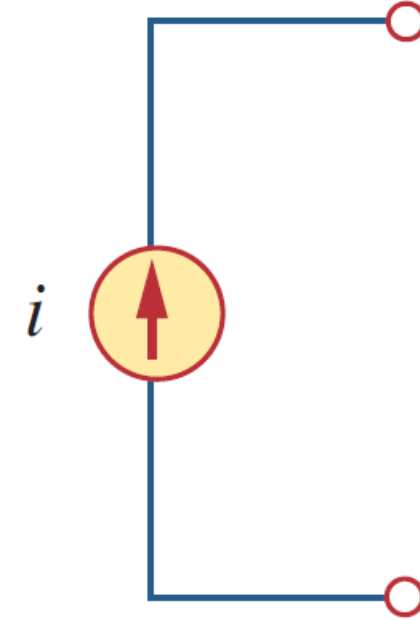
(a)



(b)

وبالمثل، فإن منبع التيار المستقل المثالي هو عنصر فعال يوفر تياراً محدداً مستقلاً تماماً عن الجهد عبر المنبع.

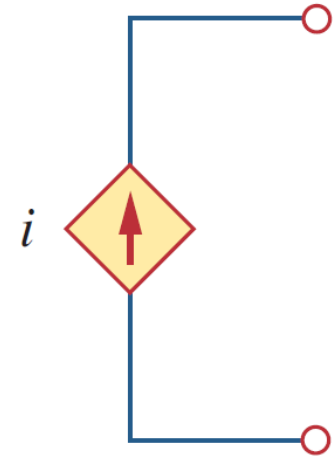
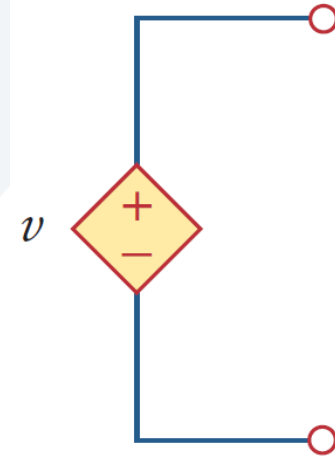
أي أن منبع التيار يعطي للدائرة أي جهد ضروري للحفاظ على التيار المحدد. يبين الشكل رمز منبع التيار المستقل، حيث يشير السهم إلى اتجاه التيار  $i$ .





المنبع المثالي غير المستقل (المتحكم به) هو  
عنصر فعال يتم فيه التحكم بقيمة المنبع  
عن طريق جهد أو تيار آخر.

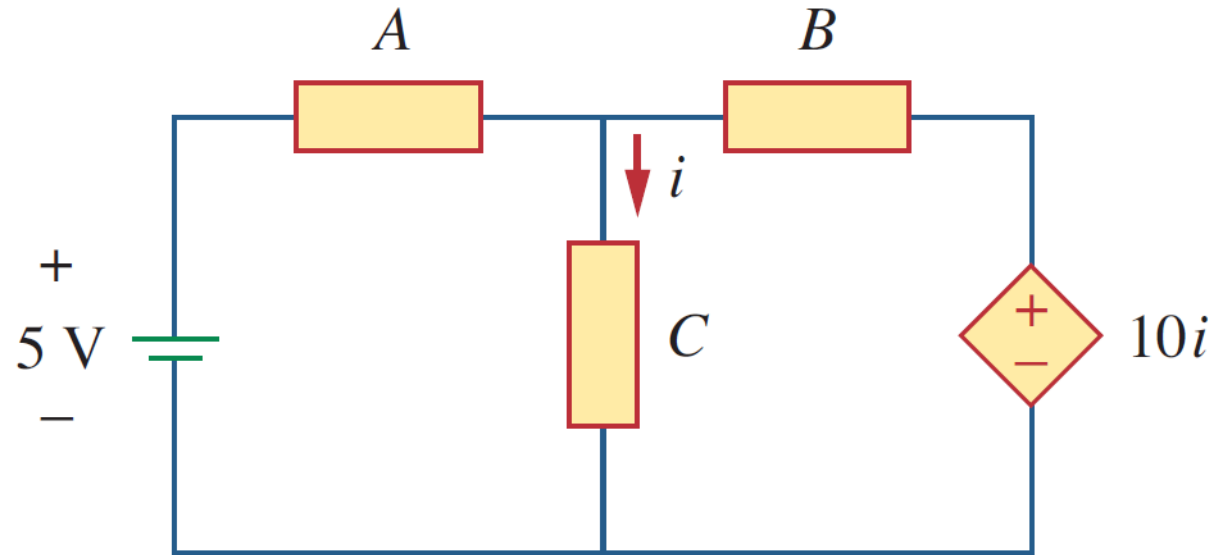
يتم عادة تحديد المنابع غير المستقلة  
(التابعة) برمز على شكل (معين)، كما هو  
مبين بالشكل.



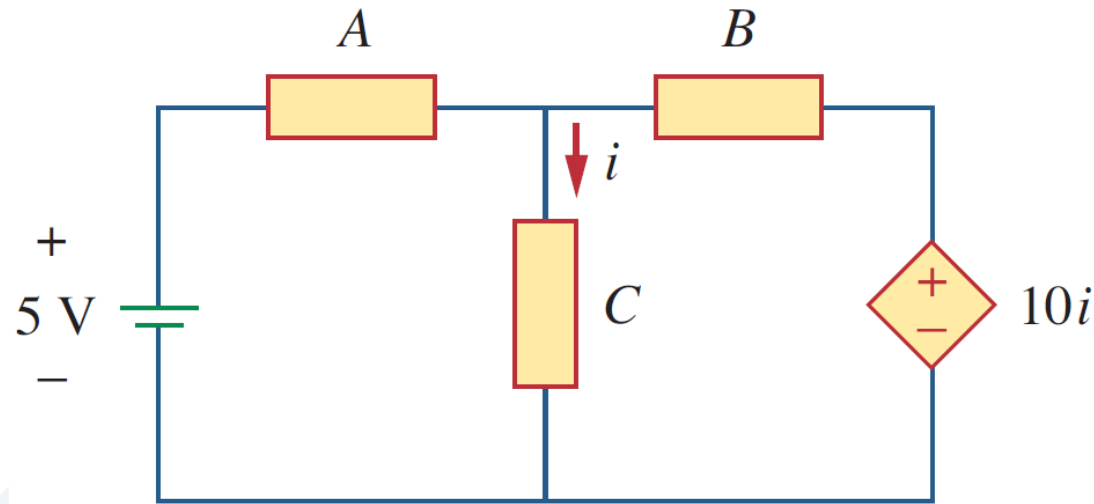
نظراً لأن التحكم في المصدر غير المستقل يتحقق عن طريق جهد أو تيار لعنصر آخر في الدارة، ويمكن أن يكون المصدر هو مصدر جهد أو مصدر تيار، فإن هناك أربعة أنواع محتملة من المصادر، وهي:

1. A voltage-controlled voltage source (VCVS). منبع جهد متحكم به عن طريق الجهد
2. A current-controlled voltage source (CCVS). منبع جهد متحكم به عن طريق التيار
3. A voltage-controlled current source (VCCS). منبع تيار متحكم به عن طريق الجهد
4. A current-controlled current source (CCCS). منبع تيار متحكم به عن طريق التيار

تستخدم المصادر غير المستقلة (التابعة) كعناصر نمذجة كالترانزستورات ومضخمات العمليات والدارات المتكاملة. يبين الشكل مثلاً لمربع جهد يتم التحكم فيه عن طريق التيار المبين بالشكل، حيث يتعلق الجهد  $10i$  لمربع الجهد بالتيار  $i$  المار عبر العنصر  $C$ .



المفاجئ بالأمر أن قيمة منبع الجهد غير المستقل (التابع) هي  $10i$  [V] وليس  $10i$  [A]، لأنه منبع جهد. الفكرة الأساسية التي يجب وضعها بالحسبان هي أن منبع الجهد يوجد ضمن رمزه القطبية (+ -)، بينما يوجد سهم في رمز منبع التيار، بغض النظر عما يعتمد عليه.



تجدر الإشارة إلى أن منبع الجهد المثالي (سواء أكان مستقل أم غير مستقل) سيعطي أي تيار مطلوب لضمان أن يكون الجهد الطرفي كما هو مذكور، في حين أن منبع التيار المثالي سيعطي الجهد اللازم لضمان سريان التيار المذكور، وبالتالي يمكن أن يوفر المنبع المثالي (نظرياً) كمية لا حصر لها من الطاقة.

وتجدر الإشارة أيضاً إلى أن المنابع لا تزود الدارة بالطاقة فحسب، وإنما يمكنها أيضاً امتصاص الطاقة من الدارة.

بالنسبة لمنبع الجهد، نحن نعرف الجهد وليس التيار الذي يتم توفيره بواسطته، وكذلك فإننا نعرف التيار الذي يوفره منبع التيار، ولكن لا نعرف الجهد عبره.

**العناصر غير الفعّالة:** تمثل مستهلك الطاقة، أي ما يسمّى الحمل الكهربائي أو الحمولة الكهربائية (**Electric Load**)، وهي تمثّل العناصر التي تحدث فيها عملية تحويل الطاقة الكهربائية إلى ضوء، حرارة، حركة ميكانيكية (المصابيح، السخانات، المحركات...)، (مقاومات، وشائع، مكثفات).

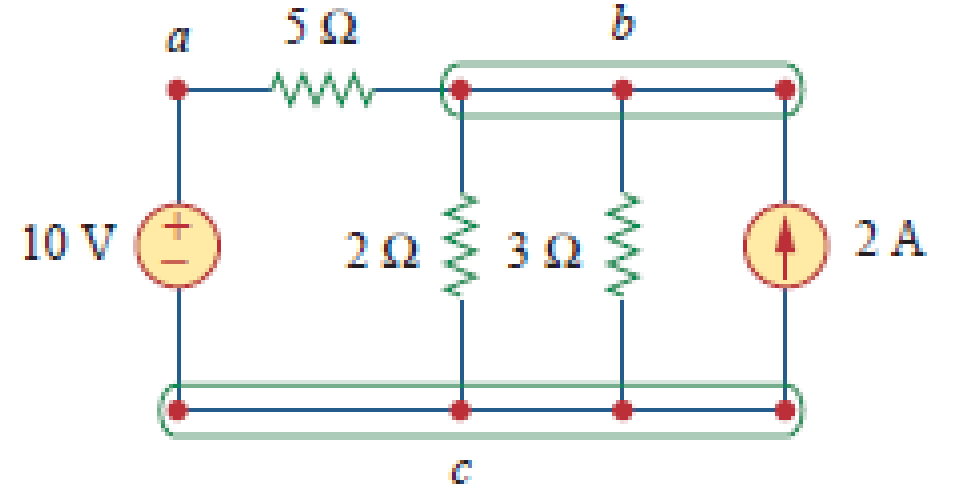
## العقد، الفروع، الحلقات:

نظراً لأن عناصر الدارة الكهربائية يمكن أن تكون مترابطة بعدة طرق، فنحن بحاجة إلى فهم بعض المفاهيم الأساسية لبنية الشبكة (**Network Topology**).

**العقدة Node:** وهي عبارة عن نقطة اتصال كهربائية بين فرعين أو أكثر، أي هي ملتقى التيارات الداخلة والخارجة.

**A node is the point of connection between two or more branches.**

يتم تمثيل العقدة في الدارة بشكل دائرة مملوءة، وإذا كان هناك أسلاك بين عقدتين (حالة قصر) عندها تكون العقدتان كأنهما عقدة واحدة. في الدارة المبينة نلاحظ أن وجود ثلاث عقد  $a$  و  $b$  و  $c$ . العقد الثلاث التي تشكل العقدة  $b$  متصلة بأسلاك (عديمة المقاومة)، وبالتالي تشكل نقطة واحدة، وينطبق نفس الأمر على العقد الأربع التي تشكل العقد  $c$ . يمكن إعادة رسم الدارة للتوضيح، حيث يتم نشر العقدتين  $b$  و  $c$ .

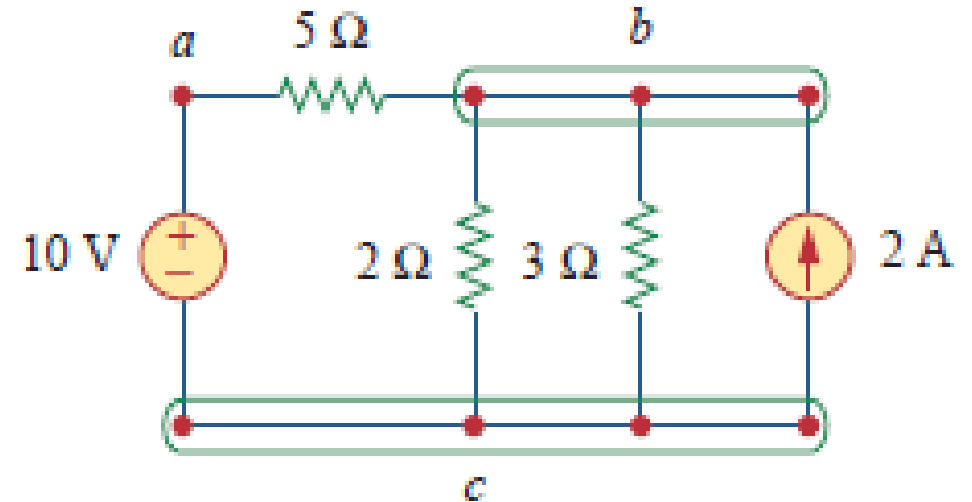




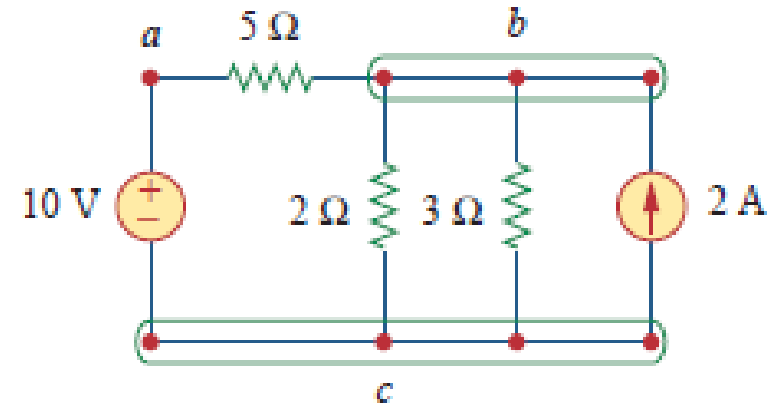
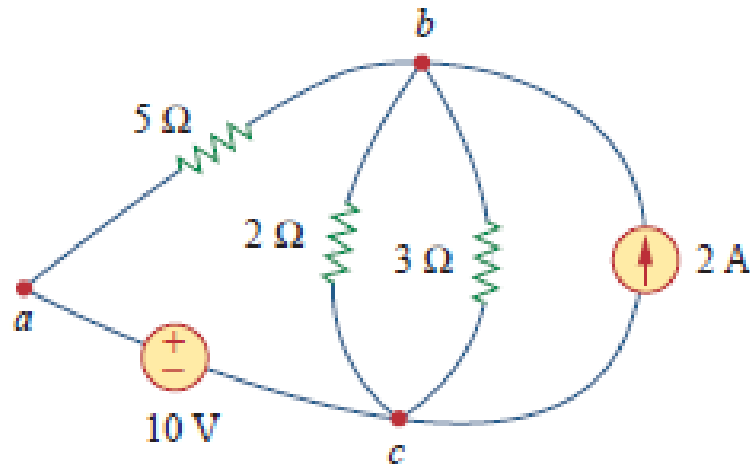
فرع الدارة **Branch**: يمثل عنصراً واحداً مثل منبع الجهد أو المقاومة. الفروع الموصولة مع زوج من العقد تسمى فروعاً تفرعية (وصل تفرعي).

A **branch** represents a single element such as a voltage source or a resistor.

بمعنى آخر، يمثل الفرع أي عنصر بطرفين. تحتوي الدارة في الشكل على خمسة فروع، وهي منبع الجهد  $10V$ ، ومنبع التيار  $2A$  والمقاومات الثلاثة.



يمكن إعادة رسم الدارة للتوضيح، حيث يتم تجميع عقد  $b$  و  $c$  بعقدة واحدة.



**الحلقة Loop:** هي أي مسار مغلق في الدارة الكهربائية.

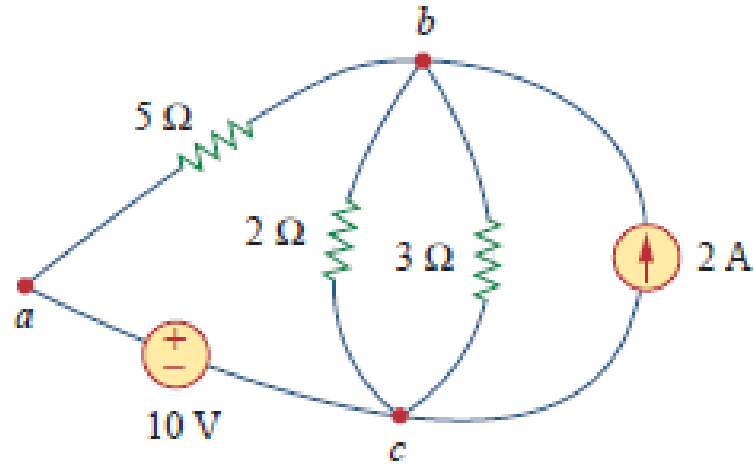
تتشكل الحلقة ببدء الحركة من عقدة، مروراً بمجموعة من العقد والفروع والعودة إلى عقدة البداية دون المرور عبر أية عقدة أكثر من مرة.

يُقال عن الحلقة أنها مستقلة إذا كانت تحتوي على فرع واحد على الأقل لا يشكل جزءاً من أية حلقة مستقلة أخرى.

ينتج عن الحلقات أو المسارات المستقلة مجموعات مستقلة من المعادلات.

يمكن تشكيل مجموعة مستقلة من الحلقات، بحيث تحتوي كل حلقة فرع واحد جديد على الأقل.

في الشكل المبين تكون الحلقة  $abca$  مع المقاومة  $2\Omega$  مستقلة. أيضاً الحلقة  $bc$  المقاومة  $3\Omega$  هي مستقلة. الحلقة الثالثة المستقلة هي  $bc$  مروراً بالمقاومتين  $2\Omega$  و  $3\Omega$ .

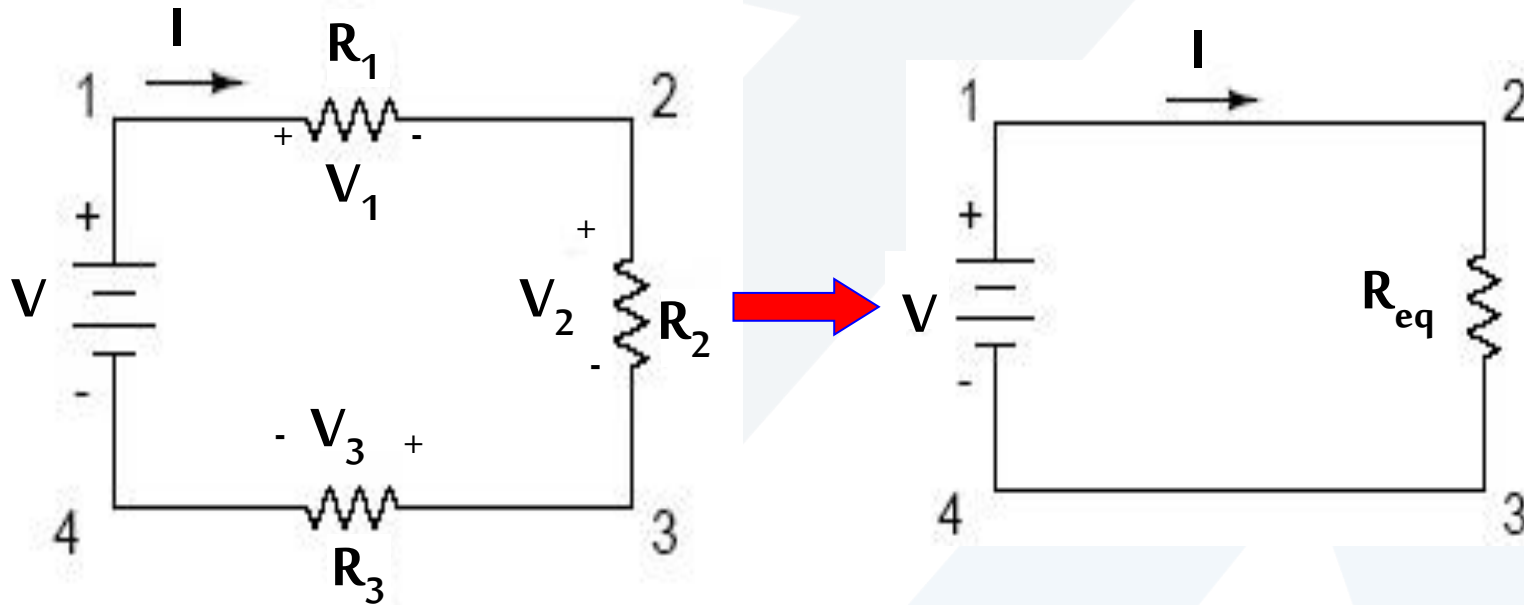


فإذا رمزنا لعدد فروع الدارة بالرمز **b** ولعدد العقد بالرمز **N** ولعدد الحلقات المستقلة بالرمز **L** فستكون العلاقة التالية محققة:

$$b = L + N - 1$$

# طرق وصل المقاومات:

## وصل تسلسلي Serial Connection:



الوصل التسلسلي للمقاومات.

تسمى المقاومة  $R_{eq}$  المقاومة المكافئة لمقاومات الدارة، وهي قيمة المقاومة التي لو استعويض بها عن مقاومات الدارة كلها عند ثبات قيمة الجهد لما تسبب ذلك تغييراً في قيمة التيار المار عبر الدارة، وتحسب في الدارة التسلسلية كما يلي:

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

**ملاحظة 1:** إذا كانت المقاومات متساوية  $R_1 = R_2 = R_3 = R$  تصبح العلاقة السابقة كما يأتي:

$$R_{eq} = 3 \cdot R$$

**وفي الحالة العامة:** إذا كانت الدارة مكوّنة من  $n$  فرع موصولين تسلسلياً، وكانت مقاومات هذه الفروع متساوية  $R$  فإن المقاومة المكافئة تساوي:

$$R_{eq} = n \cdot R$$

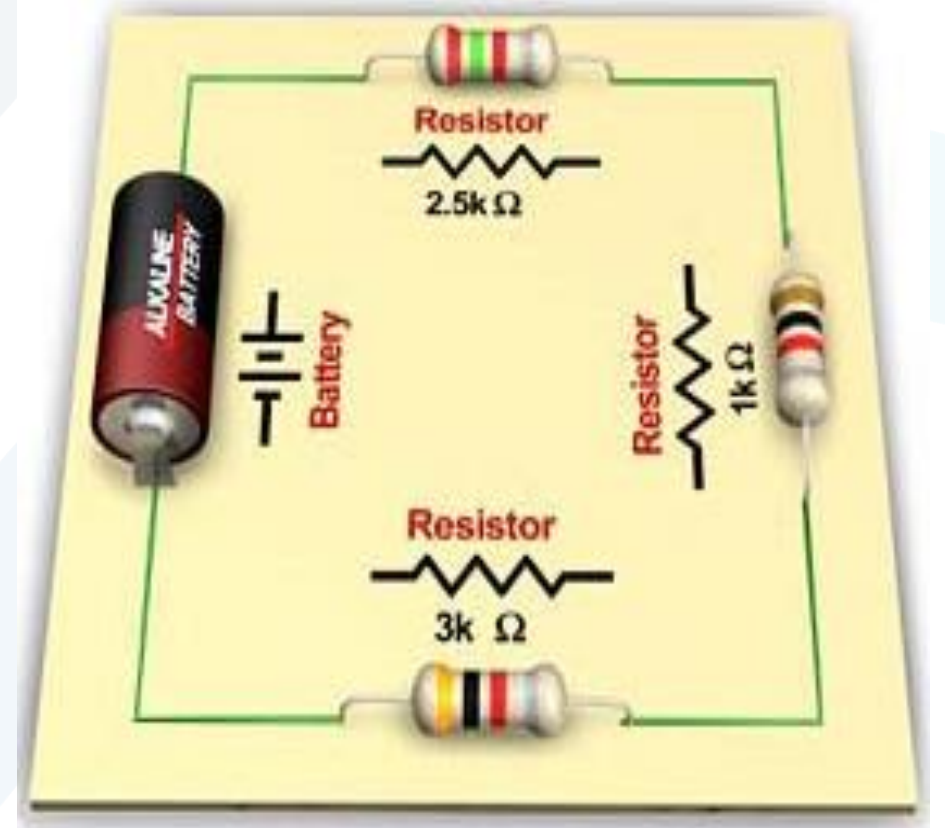
**ملاحظة 2:** تكون قيمة المقاومة المكافئة في حالة الوصل التسلسلي أكبر من أي من المقاومات التسلسلية.



تطبيق: احسب المقاومة المكافئة للدارة التطبيقية المبينة بالشكل:

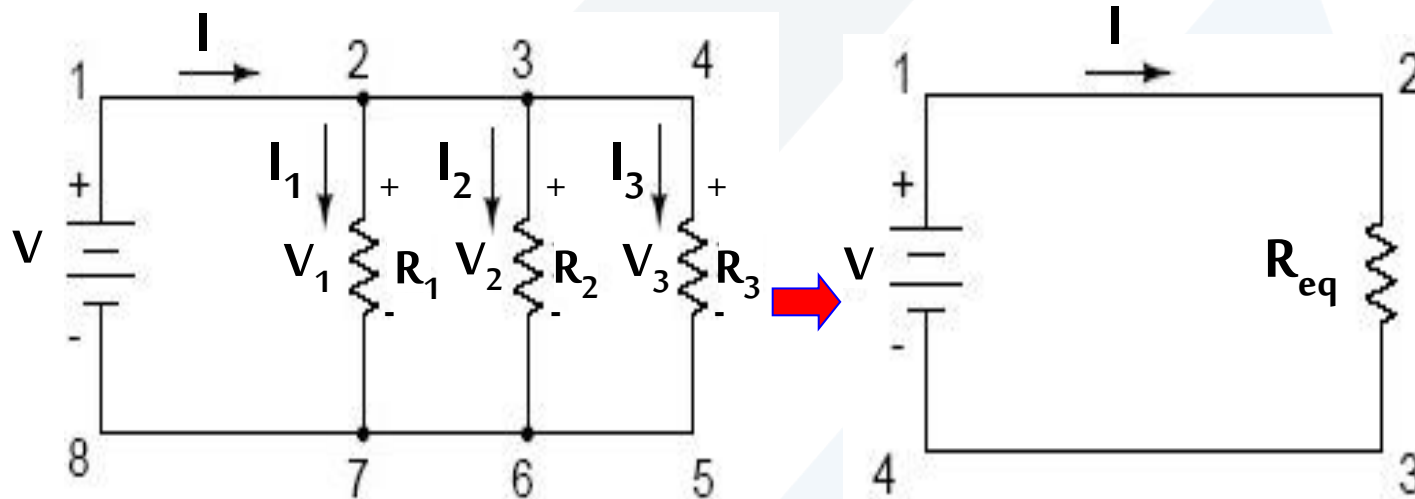
Find  $R_{eq}$  for the circuit shown in fig.

$$R_{eq} = 2.5 + 1 + 3 = 6.5 [k\Omega]$$



## وصل تفرعي Parallel Connection:

تبين الدارة المبينة في الشكل حالة وصل ثلاث مقاومات  $R_1$  ,  $R_2$  ,  $R_3$  بشكل تفرعي، ويتم ذلك بربط بدايات المقاومات إلى عقدة من عقد الدارة، ونهايات المقاومات إلى عقدة أخرى.



الوصل التفرعي للمقاومات.

يتم حساب المقاومة المكافئة للمقاومات الموصولة على التفرع كما يأتي:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}$$
$$\Rightarrow R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$$

**ملاحظة 1:** إذا كانت المقاومات متساوية  $R_1 = R_2 = R_3 = R$  تصبح العلاقة السابقة كما يأتي:

$$R_{eq} = \frac{R^3}{3 \cdot R^2} = \frac{R}{3}$$

وفي الحالة العامة: إذا كانت الدارة مكوّنة من  $n$  فرع موصولين تفرعياً، وكانت مقاومات هذه الفروع متساوية  $R$  فإن المقاومة المكافئة تساوي:

$$R_{eq} = \frac{R}{n}$$

**ملاحظة 2:** المقاومة المكافئة لفرعين موصولين على التفرع، مقاومة الأول  $R_1$  والثاني  $R_2$  هي:

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

**ملاحظة 3:** نلاحظ أن قيمة المقاومة المكافئة في حالة الوصل التفرعي تكون أصغر من أي من المقاومات التفرعية.

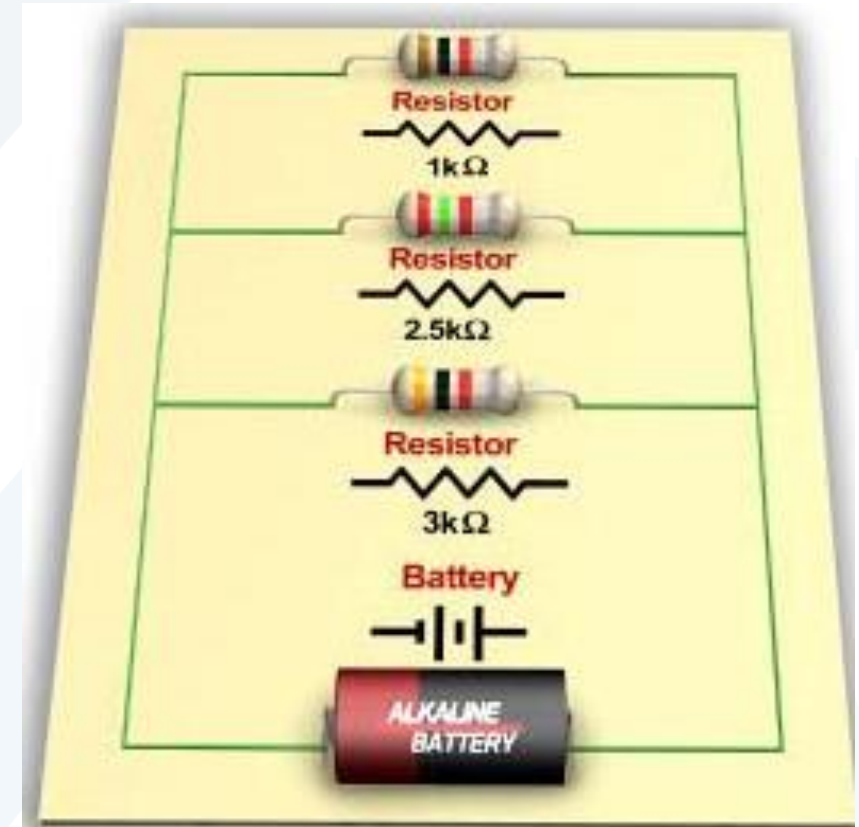
تطبيق: احسب المقاومة المكافئة للدارة التطبيقية المبينة بالشكل:

Find  $R_{eq}$  for the circuit shown in fig.

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{1} + \frac{1}{2.5} + \frac{1}{3}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{13}{7.5} = 1.73 \text{ [kS]}$$

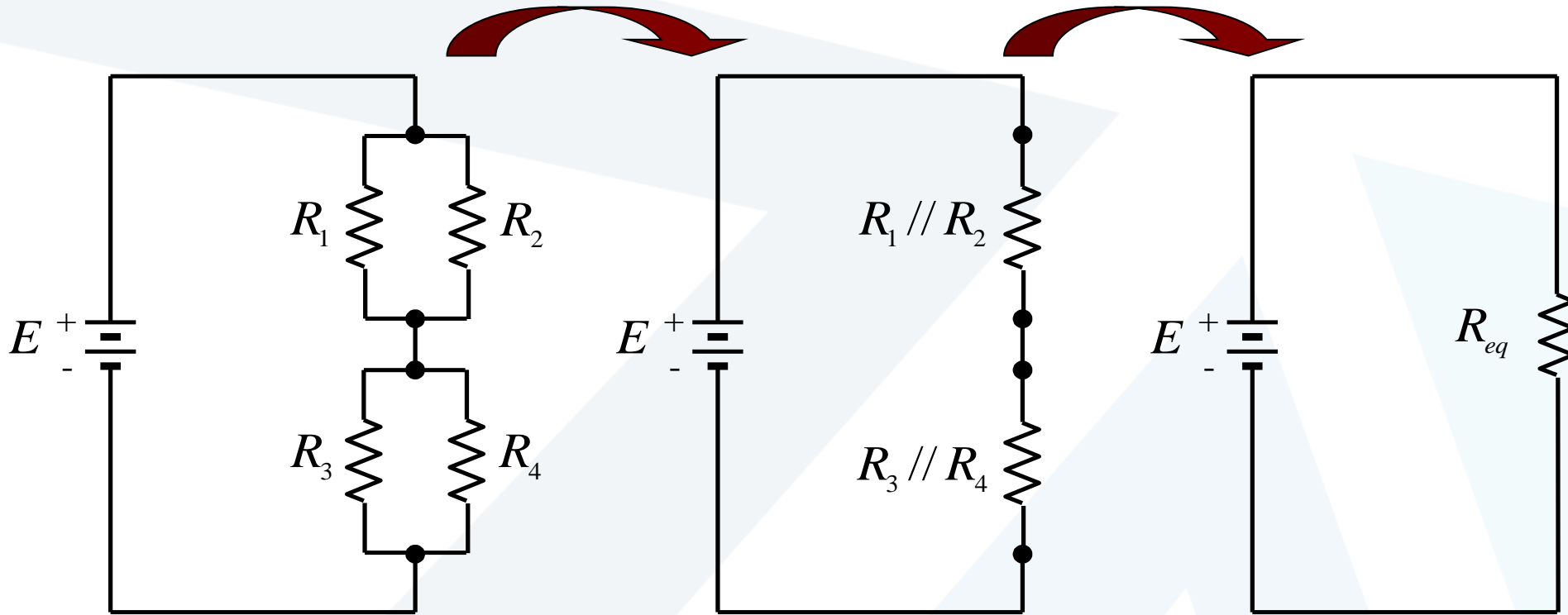
$$\Rightarrow R_{eq} = 0.578 \text{ [k}\Omega\text{]}$$



## وصل مختلط تسلسلي- تفرعي

### :Series-Parallel Connection

عندما تحتوي الدارة على مجموعة مقاومات موصولة تسلسلياً ومجموعة أخرى موصولة تفرعياً عندها لا بد من التعامل مع قوانين الوصلين التفرعي والتسلسلي معاً. تبين الدارة المبينة في الشكل التالي حالة الوصل المختلط للمقاومات، حيث نلاحظ وجود مجموعتين تفرعيتين، الأولى مكونة من المقاومتين  $R_1, R_2$  والثانية مكون من المقاومتين  $R_3, R_4$ . هاتين المجموعتين موصولتين تسلسلياً. وبالتالي لحساب المقاومة المكافئة نقوم بحساب المقاومة المكافئة لكل مجموعة تفرعية اعتماداً على قانون الوصل التفرعي، ومن ثم نجمع المقاومتين الناتجتين وفق قانون الجمع التسلسلي، فنحصل على قيمة المقاومة الكلية المكافئة، وهي تساوي بالنسبة لدارة الشكل التالي:



الوصل المختلط وكيفية الحصول على المقاومة المكافئة.

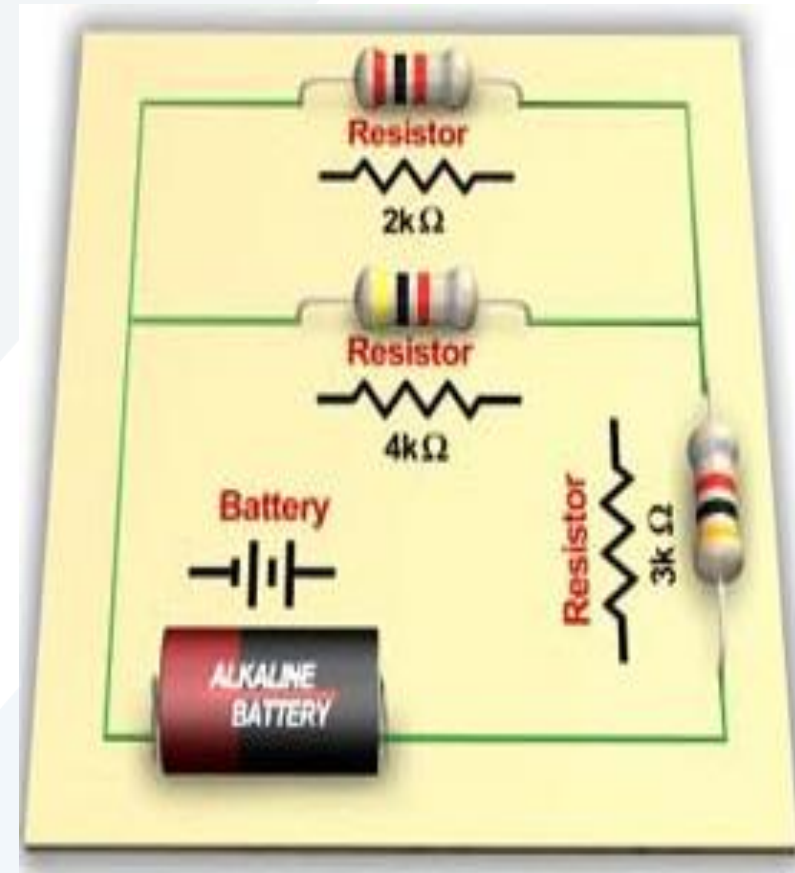
تطبيق: احسب المقاومة المكافئة للدارة التطبيقية المبينة بالشكل:

Find  $R_{eq}$  for the circuit shown in fig.

$$R_{eq} = 3 + \left( \frac{2 \times 4}{2 + 4} \right)$$

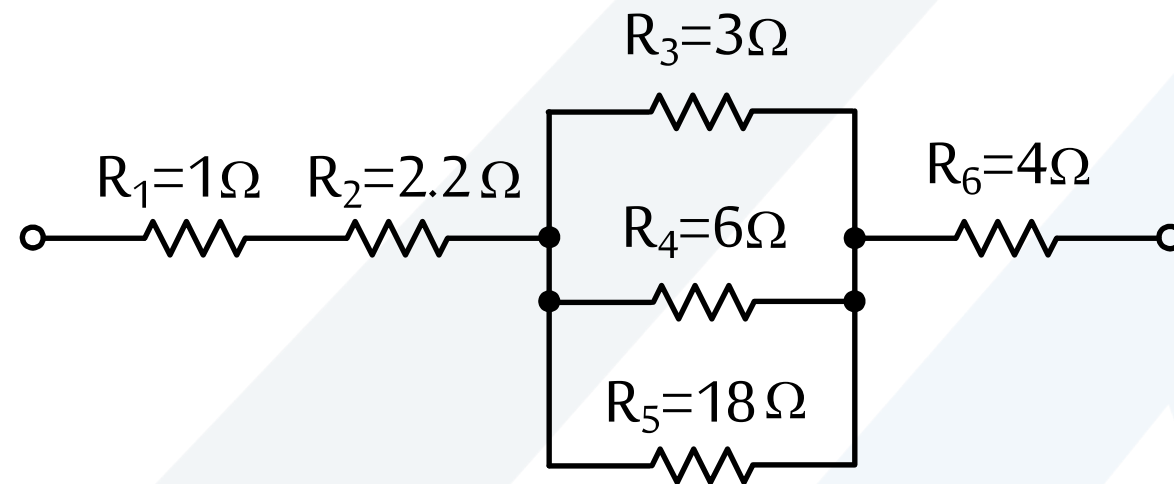
$$R_{eq} = 3 + \frac{8}{6} = \frac{26}{6}$$

$$\Rightarrow R_{eq} = 4.33 [\text{k}\Omega]$$





**Problem. Find the equivalent resistance for the circuit shown in Fig.**



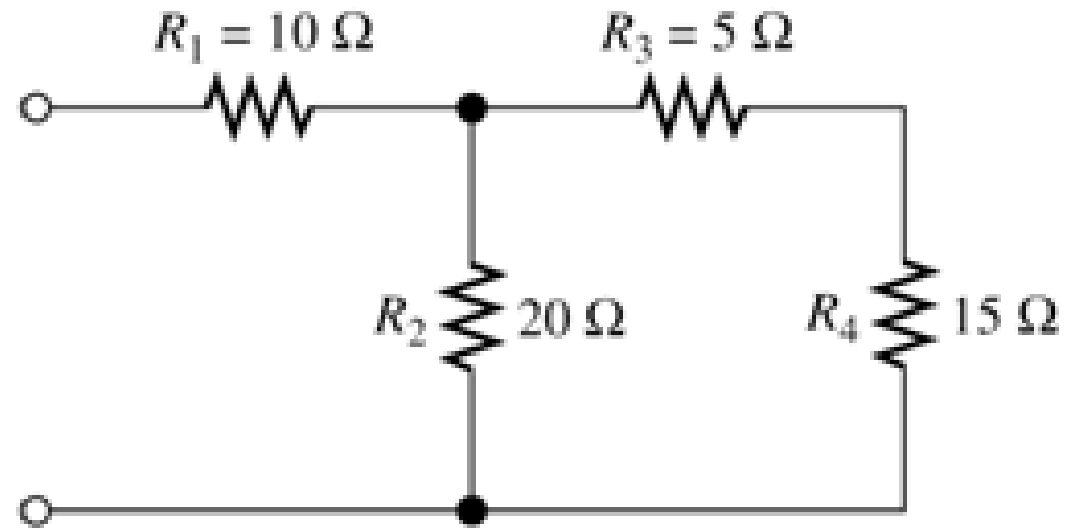
$R_3$ ,  $R_4$  and  $R_5$  are connected in parallel and their equivalent resistance  $R_{eq1}$  is given by:

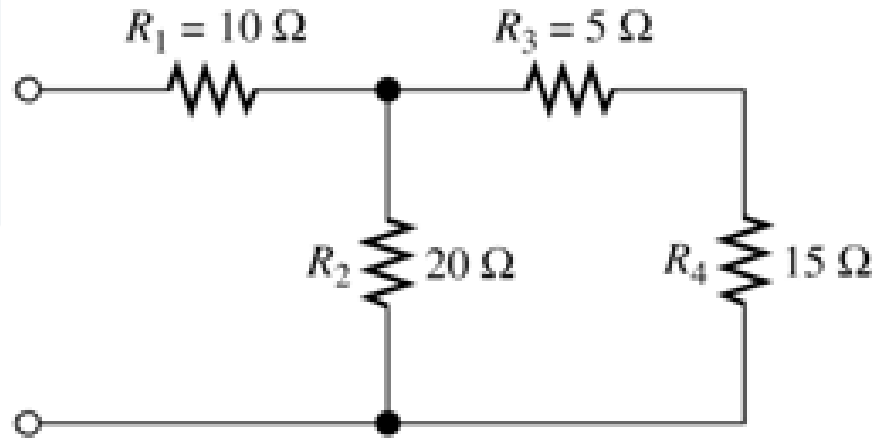
$$\frac{1}{R_{eq1}} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{18} = \frac{6 + 3 + 1}{18} = \frac{10}{18}$$
$$\Rightarrow R_{eq1} = \frac{18}{10} = 1.8[\Omega]$$

The circuit is now equivalent to four resistors in series and the equivalent circuit resistance  $R_{eq}$  is given by:

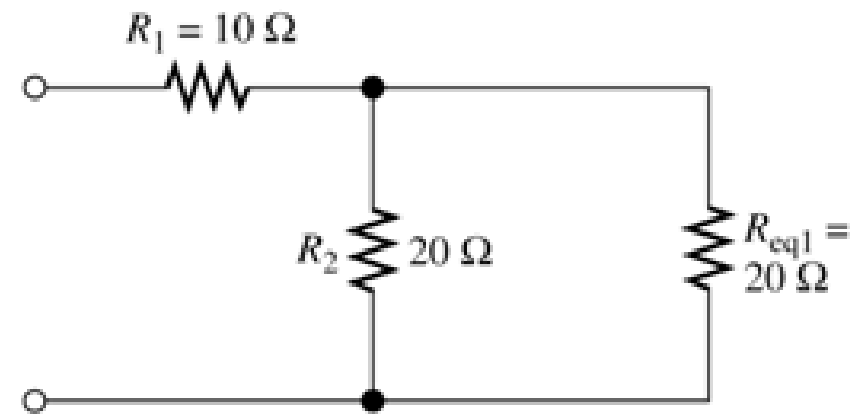
$$R_{eq} = 1 + 2.2 + 1.8 + 4 = 9[\Omega]$$

Find  $R_{eq}$  for the circuit shown in fig.

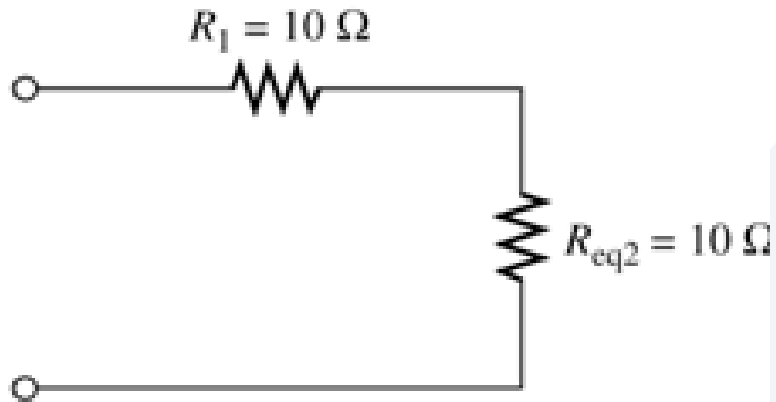




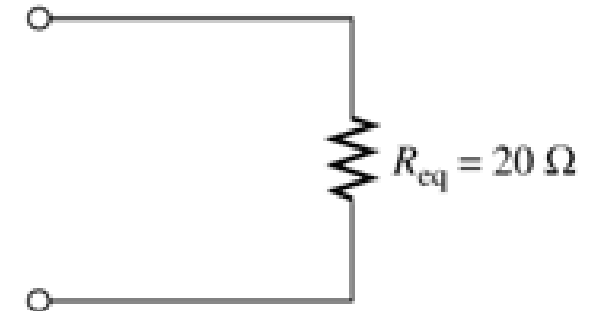
**a) Original network**



**b) Network after replacing  $R_3$  and  $R_4$  by their equivalent resistance**

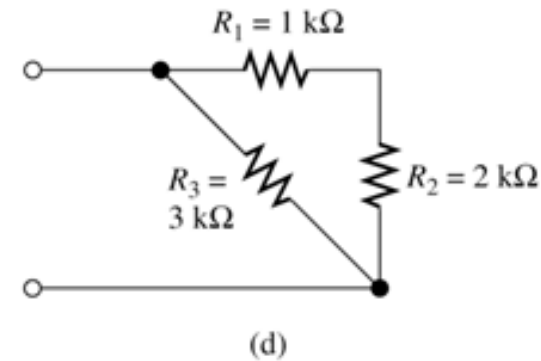
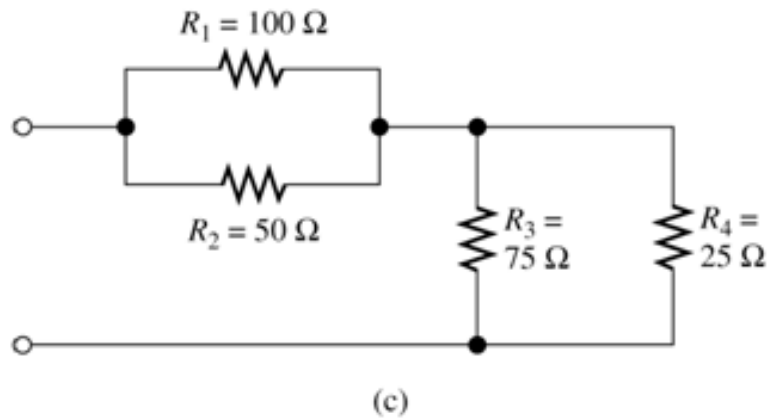
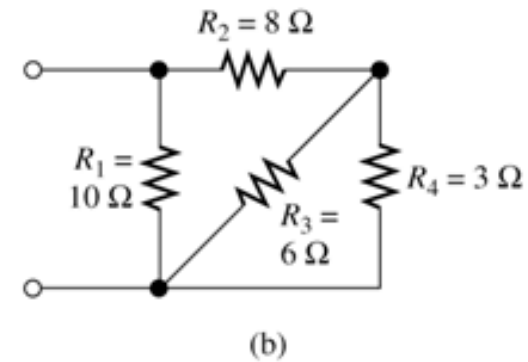
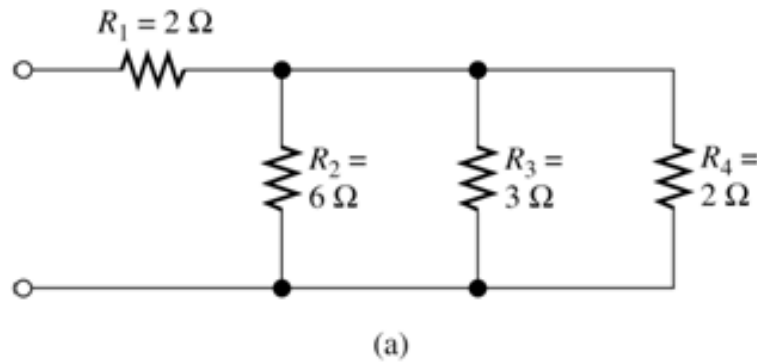


**c) Network after replacing  $R_2$  and  $R_{eq1}$  by their equivalent**



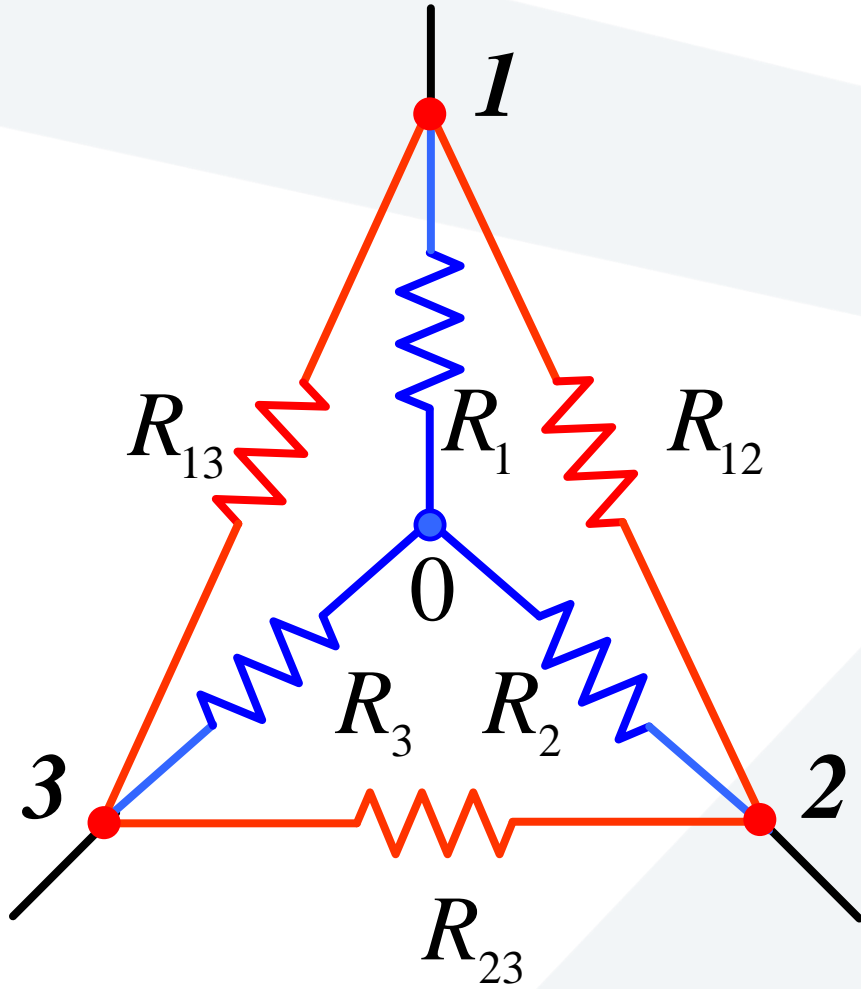
**d) Combining  $R_1$  and  $R_{eq2}$  in series yields the equivalent resistance of the entire network**

Find  $R_{eq}$  for the circuits shown in figs.



التحويل من الوصل المثلثي  $\Delta$  إلى النجمي  $Y$  وبالعكس:  
Delta  $\rightarrow$  Star & Star  $\rightarrow$  Delta Conversion

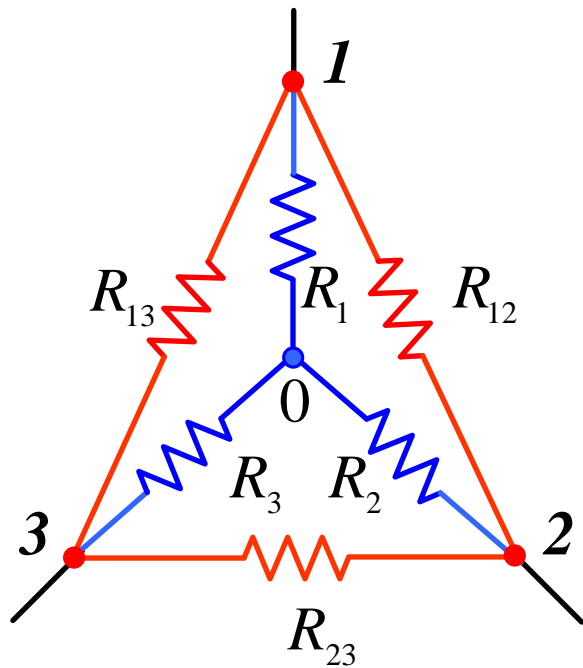
قد يصعب تبسيط الدارة الكهربائية من خلال إيجاد المقاومة المكافئة للعناصر الموصولة تسلسلياً أو تفرعياً، عندها قد يكون من المناسب استخدام قواعد التحويل من الوصل المثلثي إلى النجمي أو بالعكس.



دائرة التحويل من  $Y$  إلى  $\Delta$  وبالعكس.

لتكن لدينا الدارة المبينة بالشكل التالي المكونة من ثلاث عقد  $1, 2, 3$  تحصر ثلاث مقاومات  $R_1, R_2, R_3$  موصولة بشكل نجمي  $Y$  وسيتم تحديد العلاقات التي يمكن من خلالها تحويل هذا الوصل إلى وصل مثلثي، أي الحصول على المقاومات  $R_{12}, R_{13}, R_{23}$  وبالعكس.

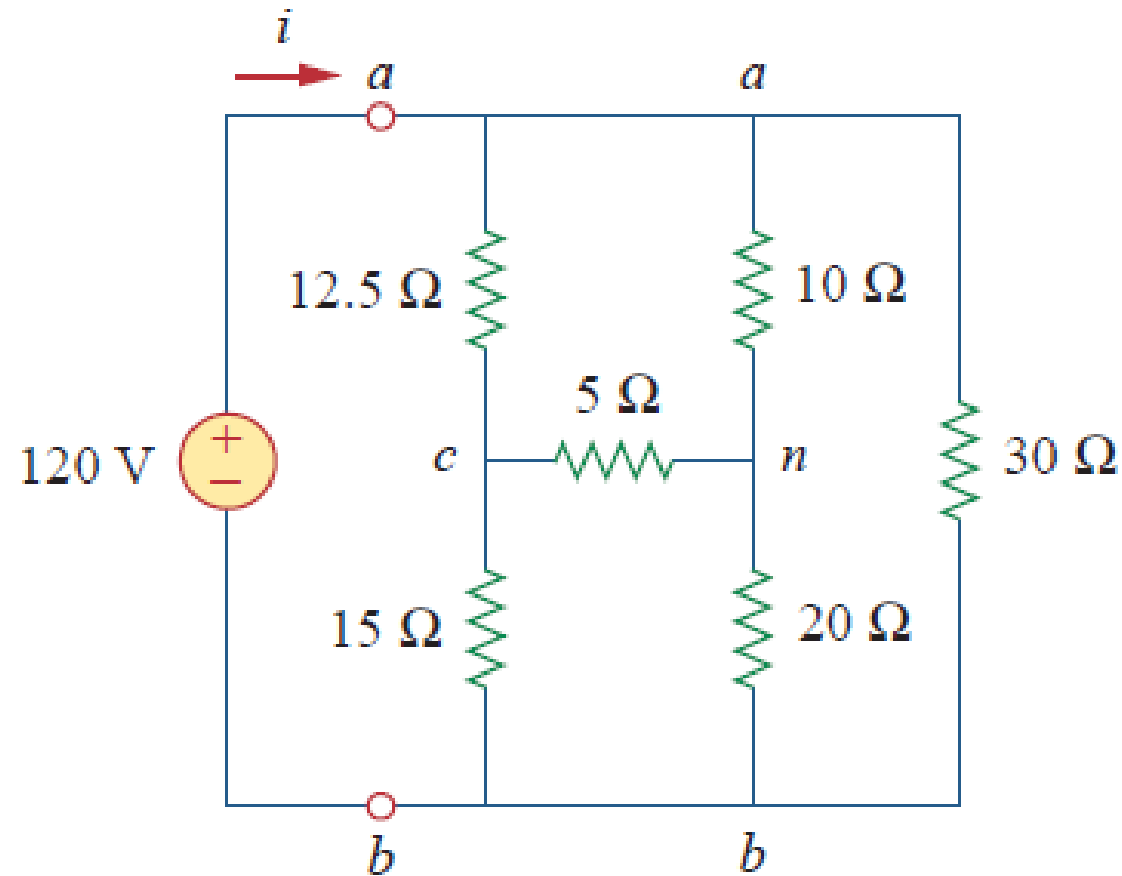
وفقاً لما سبق نضع المعادلات اللازمة للتحويل في الجدول الآتي:



ب. معادلات التحويل من $\Delta$ إلى $Y$	أ. معادلات التحويل من $Y$ إلى $\Delta$
$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3}$	$R_1 = \frac{R_{12} \cdot R_{13}}{R_{12} + R_{13} + R_{23}}$
$R_{13} = R_1 + R_3 + \frac{R_1 \cdot R_3}{R_2}$	$R_2 = \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{13} + R_{23}}$
$R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1}$	$R_3 = \frac{R_{13} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{13} + R_{23}}$



Obtain the equivalent resistance  $R_{eq}$  for the circuits shown in fig. and use it to find current  $i$



Calculate the power supplied or absorbed by each element in Fig.

