جامعة دمياط - كلية العلوم - قسم الفيزياء

Electric circuits course (103 Ph.)

Faculty of Science

Physics + Phys. & comp.

A course Presented by:

Dr./ Ahmed S. El-Tawargy

د./ أحمد صلاح الدين التوارجي

Lecturer of experimental physics

Lectures (3& 4)

الشغل الكهربي – القدرة الكهربية - الطاقة الكهربية

الشغل الكهربي electric work

كمية الشغل المبذول لاستمرار مرور تيار كهربى تُعطى بالعلاقة:

$$W = QV = I^2 R\, t = VIt \qquad \text{(J)}$$

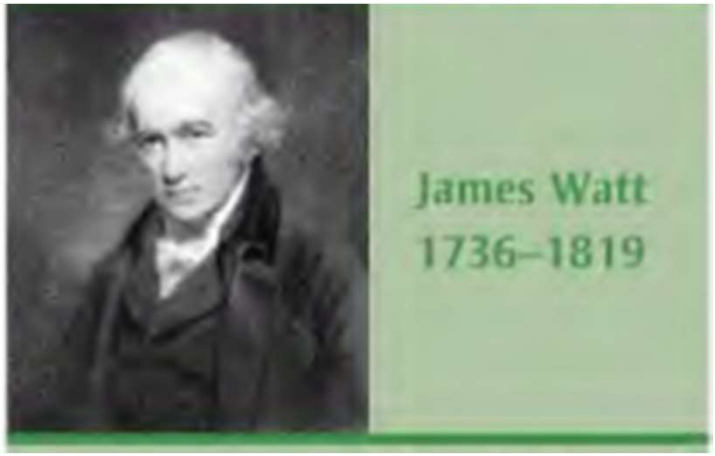
هذا الشغل المبذول يمكن أن يفقد على هيئة طاقة حرارية
أو يكون له تأثير مغناطيسى أو كيميائى أو غيره

و يُسمى ذلك بتأثيرات التيار الكهربي سواء كان التيار
يمر في موصل أو سائل كمحاليل الأحماض و الأملاح.

Electric power القدرة الكهربية

المعدل الزمنى لبذل الشغل الكهربي يُسمى بالقدرة الكهربية ويرمز لها بالرمز P وتقاس بوحدة الوات (Watt)

$$P = \frac{W}{t} = \frac{V\ It}{t} = VI \qquad \text{(Watt)}$$



One watt (W) is the amount of power when one joule of energy is used in one second.

والوحدات العملية المستخدمة هي الكيلووات.

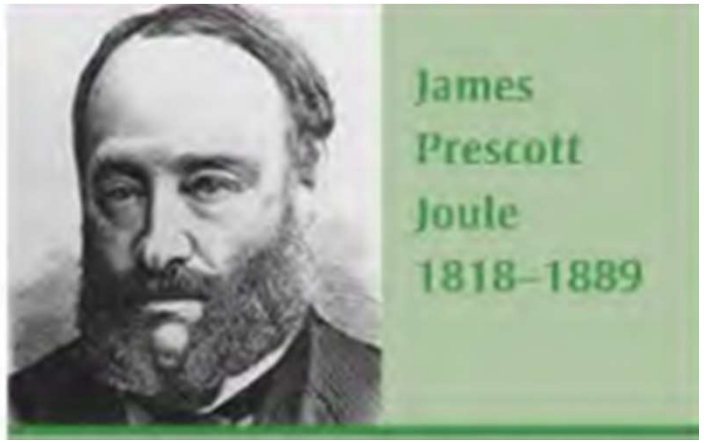
1 K.W = 1000 Watt.

Electric motors are commonly rated in horsepower (hp) where 1 hp = 746 W.

Electric Energy ***الطاقة الكهربية***

يوجد في كل منزل عداد كهربي يحسب مقدار الطاقة الكهربية المستخدمة والوحدة التجارية التي تقاس بها الطاقة الكهربية في مثل هذه الحالة هي كيلووات ساعة (K.W.h) والوات ساعة هي كمية الطاقة الكهربية المستخدمة من مرور تيار شدته واحد أمبير لمدة ساعة في سلك فرق الجهد بين طرفيه واحد فولت ومعنى ذلك أن ***الطاقة الكهربية تساوي الشغل الكهربى***، أي أن:

$$W = V\,It = Pt \quad \text{(W.s)}$$



1 W.sec. = 1 Joule.

1 W.h. = 3600 W.sec

1 K.W.h. $= 3600 \times 1000 = 36 \times 10^5$ Joule.

Determine the number of kilowatt-hours (kWh) for each of the following energy consumptions:

(a) 1400 W for 1 h **(b)** 2500 W for 2 h **(c)** 100,000 W for 5 h

Solution **(a)** $1400\,\text{W} = 1.4\,\text{kW}$

$$W = Pt = (1.4\,\text{kW})(1\,\text{h}) = \mathbf{1.4\,kWh}$$

(b) $2500\,\text{W} = 2.5\,\text{kW}$

$$W = (2.5\,\text{kW})(2\,\text{h}) = \mathbf{5\,kWh}$$

(c) $100{,}000\,\text{W} = 100\,\text{kW}$

$$W = (100\,\text{kW})(5\,\text{h}) = \mathbf{500\,kWh}$$

How many kilowatt-hours are used by a 250 W bulb burning for 8 h?

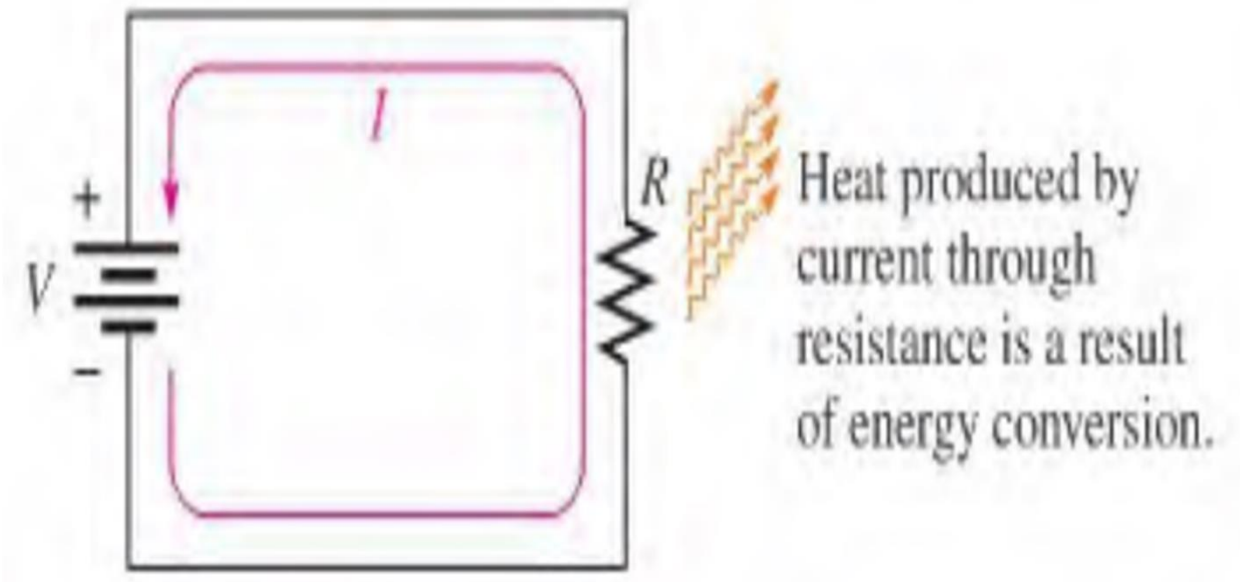
Power in an Electric Circuit

بمرور تيار كهربي خلال مقاومة كهربية فإن التصادمات بين الإلكترونات تعمل على تحويل جزء من الطاقة الكهربية لطاقة حرارية كما هو موضح بالشكل و تعتمد كمية الطاقة الحرارية على قيمة المقاومة طبقاً للعلاقات التالية.

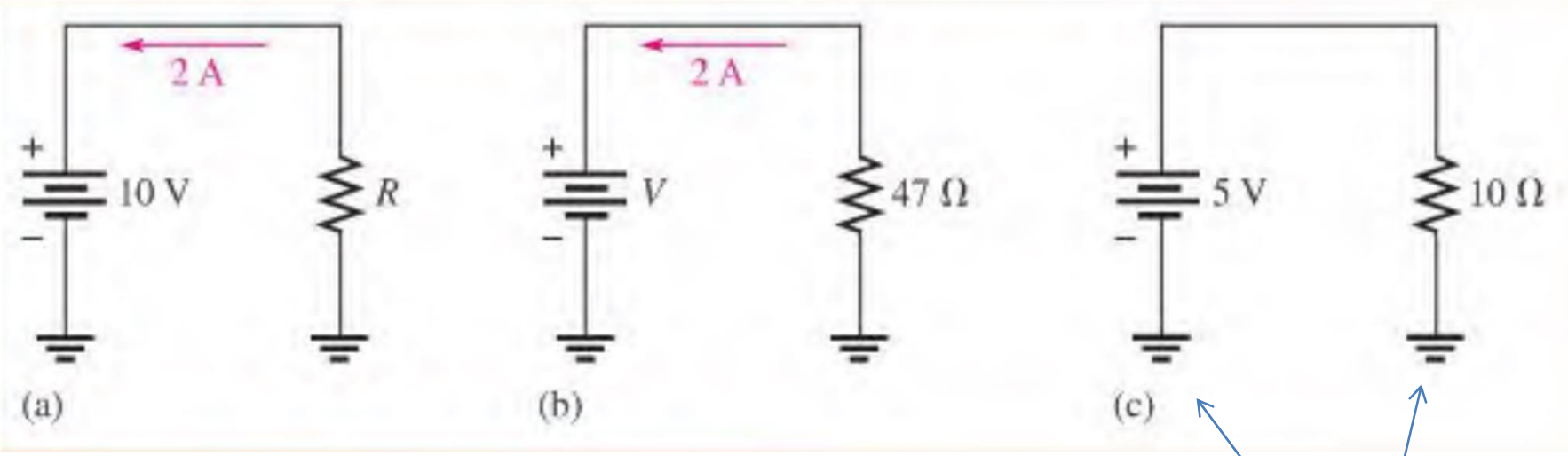
$$P = I^2 R$$

$$P = IV$$

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



Calculate the power in each of the three circuits:



(a) $P = IV = (2A)(10V) = 20\ W$

(b) $P = I^2R = (2A)^2(47\Omega) = 188\ W$

(c) $P = \dfrac{V^2}{R} = \dfrac{(5V)^2}{10\Omega} = 2.5\ W$

لاحظ هنا أن الطرفان موصلان بالطرف السالب أي أنها تكافئ لو أن الدائرة مرسومة بسلك متصل بين هاتين النقطتين

مثال:

سخان كهربى يعمل على فرق جهد 220 Volt مكون من سلك نيكل- كروم مقاومته 20 أوم. احسب قيمة شدة التيار المار فى سلك السخان و كذلك القدرة الكهربية.

إذا علمت أن سعر الكيلو واط ساعة 0.35 جنيه مصرى, احسب تكلفة تشغيل السخان لمدة ساعتين.

الحل:

$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{220\,\text{V}}{20\,\Omega} = 11\,\text{A}$$

$$P = I^2 R = (11\,\text{A})^2(20\,\Omega) = 2{,}420\,\text{W}$$

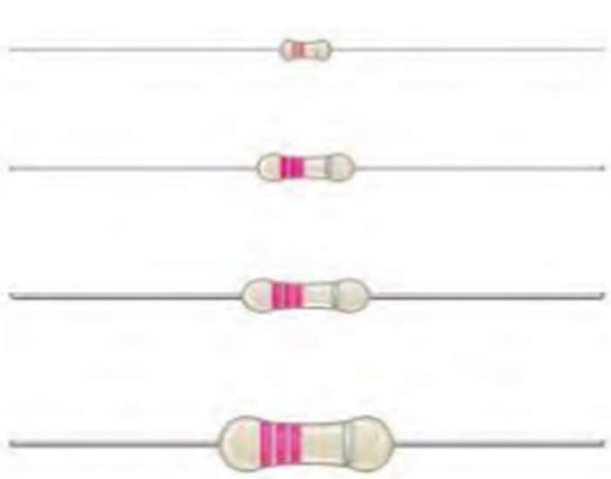
The amount of energy transferred in time Δt is $P\,\Delta t$. Thus:

$$P\,\Delta t = (2{,}420\,\text{W})(2\,\text{h}) = 4{,}840\,\text{Wh} = 4.84\,\text{kWh}$$

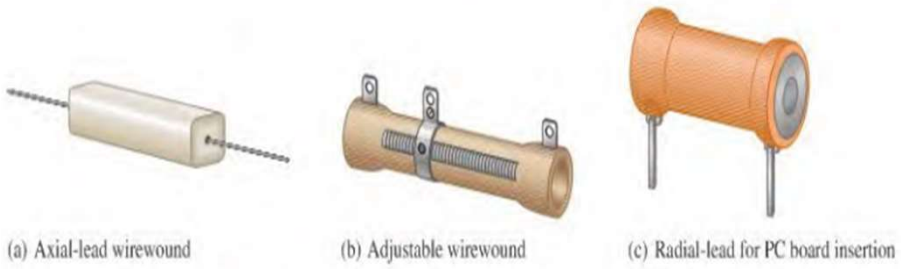
$$\text{Cost} = (4.84\,\text{kWh})(0.35\,\text{LE/kWh}) = 1.69\,\text{LE}$$

معدلات القدرة للعناصر المقاومة Resistor Power Ratings

معدل القدرة (power rating) لعنصر مقاوم يتحدد بكمية الحرارة التي تنبعث منها.
و هو أقصى قدرة يُمكن تبديدها (dissipation) من المقاوم بدون تلفه.
و تعتمد على الأبعاد الهندسية للمقاوم.



تُصنع معظم المقاومات بقيم معدل طاقة قياسية (standard) قصوى كما بالشكل.



و لكن هناك بعض المقاومات التي يتم تصنيعها بمواصفات مختلفة و لأغراض مختلفة بقيم معدلات طاقة كبيرة مثل المقاومات الحرارية و التي تصل ل 225 W or greater.

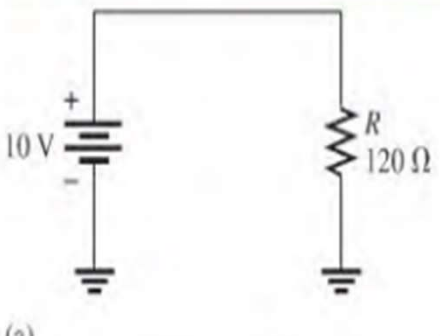
Rule: When a resistor is used in a circuit, its power rating must be greater than the maximum power .

المقاوم الذي يتعرض للتلف نتيجة ال overheating يكون متفحماً في الغالب و يُمكن قياس قيمته بالأوميتر للتأكد من سلامته أو تلفه.

Choose an adequate power rating for each of the metal-film resistors in Figure (⅛ W, ¼ W, ½ W, or 1 W).

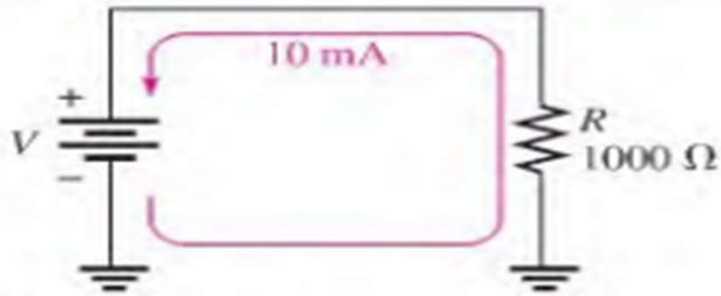
The actual power is:

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{(10\text{ V})^2}{120\ \Omega} = \frac{100\text{ V}^2}{120\ \Omega} = 0.833\text{ W}$$



(a)

In this case, a 1 W resistor should be used.



(b)

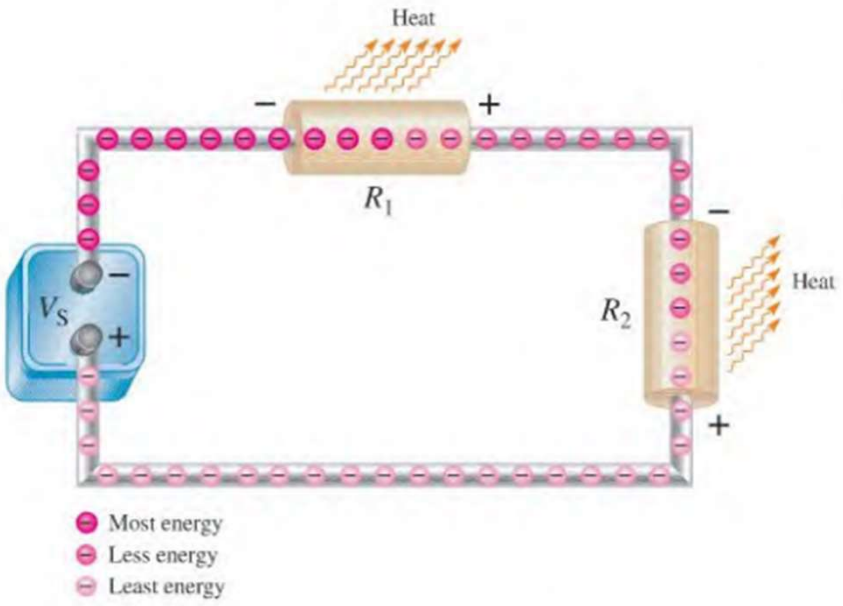
$$P = I^2R = (10\text{ mA})^2(1000\ \Omega) = (10 \times 10^{-3}\text{ A})^2(1000\ \Omega) = 0.1\text{ W}$$

At least a ⅛ **W (0.125 W) resistor** should be used in this case.

Energy Conversion and Voltage Drop in Resistance
تحول الطاقة و هبوط الجهد عبر عنصر مقاوم

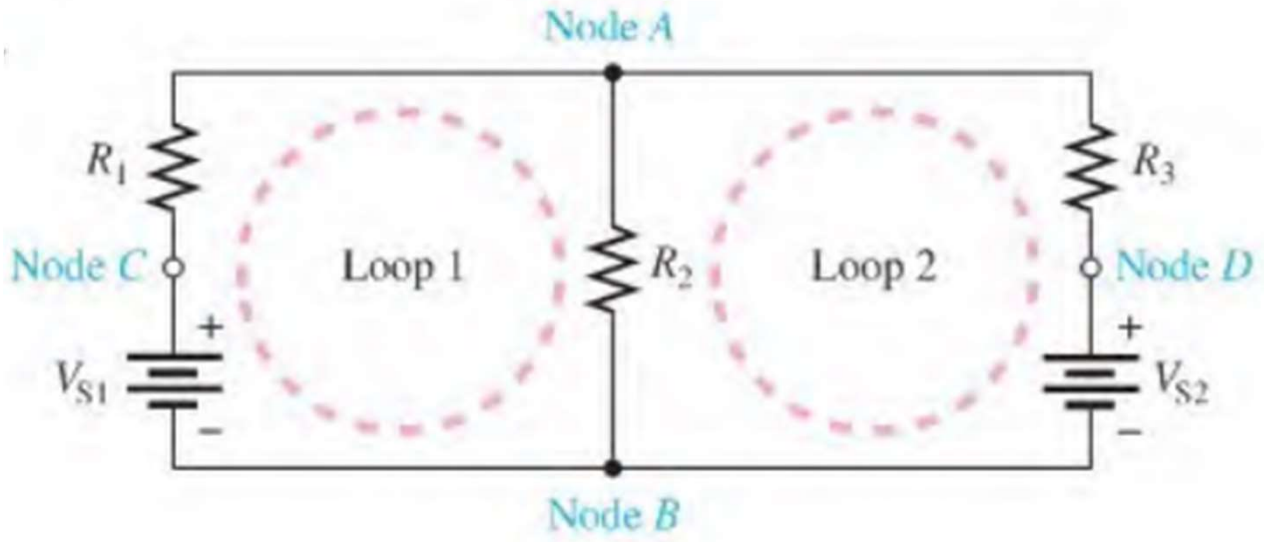
هبوط الجهد في الشبكات الكهربائية يقصد به انخفاض في الطاقة الكهربائية المحملة في الشحنة والتي اكتسبتها من مصدر الجهد الكهربي نتيجة قيامها بشغل لازم لمرورها في موصل كهربائي ما، تفقد الشحنة هذه الطاقة نتيجة لمقاومية المادة التي صنع منه الموصل والتي تقوم باستهلاك هذه الطاقة التي اكتسبتها الشحنة وبعثها على شكل حرارة

This decrease in voltage across the resistor due to a loss of energy is called a voltage drop.



تنطلق الإلكترونات من القطب السالب لتمر عبر المقاومة و يتم قد بعض من الطقة تبعاً لقيمة المقاومة و قدرتها على تعطيل مسيرة الإلكترونات و لذلك فإن هناك ما يًسمى هبوط الجهد بين طرفي المقاومة.

تحليل الدوائر الكهربية
Loop, Node and Branch Analyses



A circuit shows loops, nodes, and branches.

A loop (مسار مغلق) is a complete current path within a circuit.
There are 2 loops.

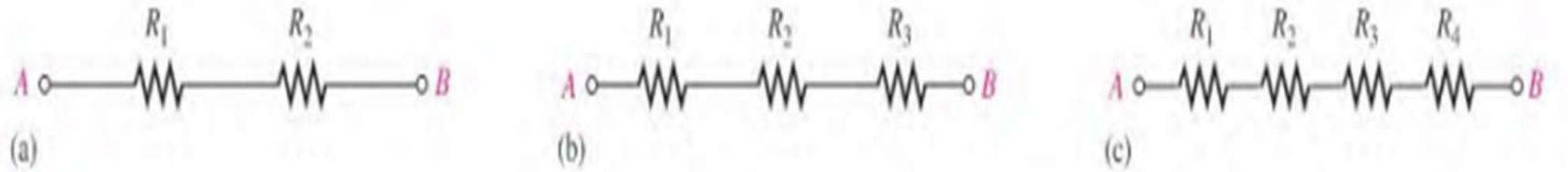
A node (عقدة) is a point where two or more components are connected.
There are 4 nodes.

A branch (فرع) is a path that connects two nodes.
There are 3 branches.

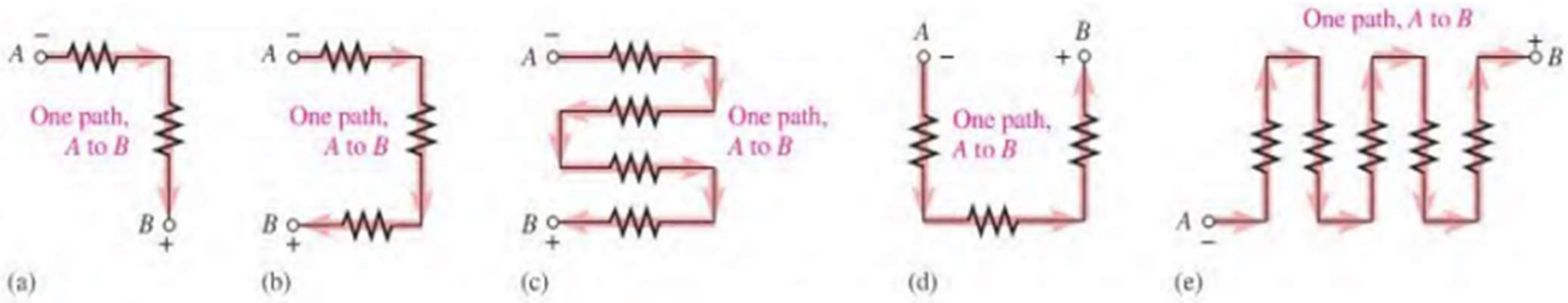
Series circuits دوئر التوالي

Resistors in series

A series circuit provides only one path for current between two points so that the current is the same through each series resistor.



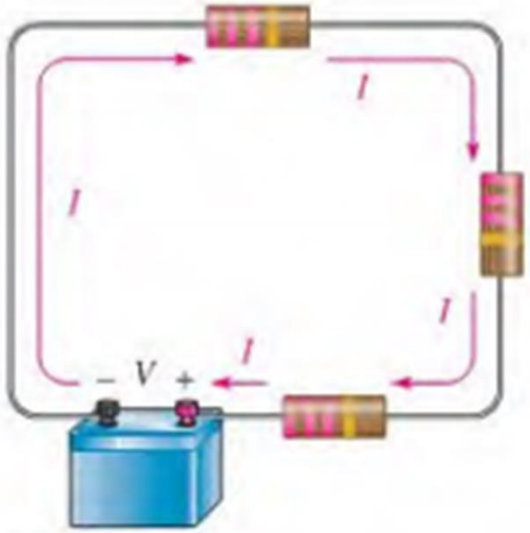
$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n$$



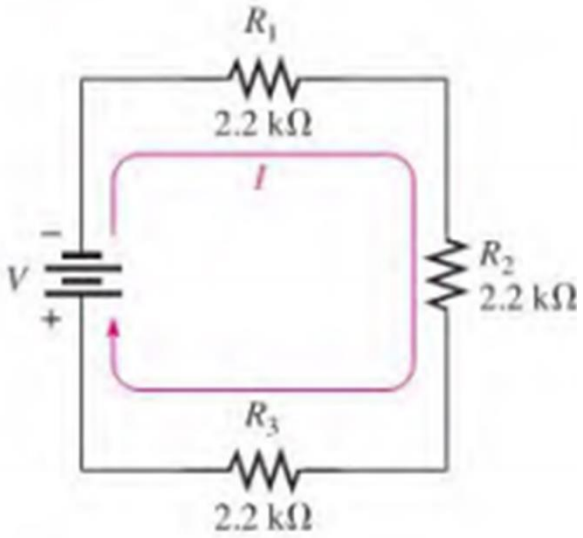
بغض النظر عن شكل المقاومات فى الدائرة. تعتبر المقاومات موصلة على التوالى طالما أنه هناك مسار واحد للتيار الكهربى بين نقطتين.

Current in a series circuit

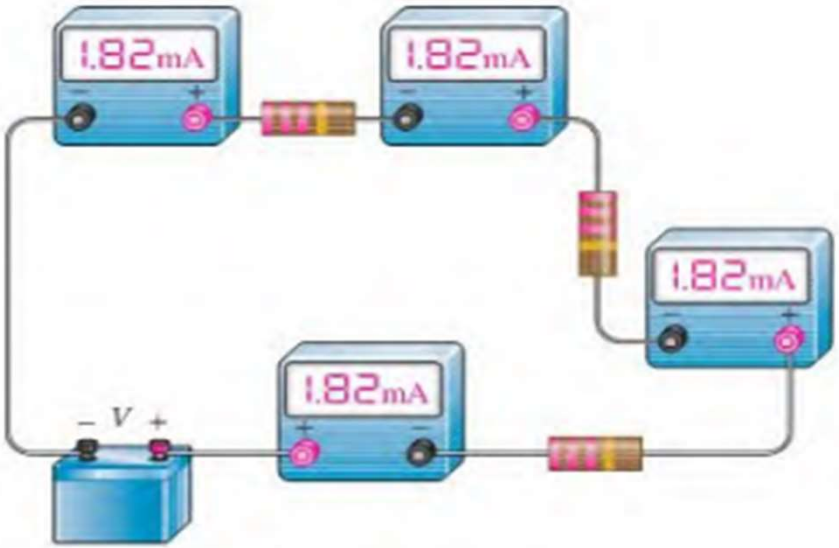
Current into any point in a series circuit is the same as the current out of that point.



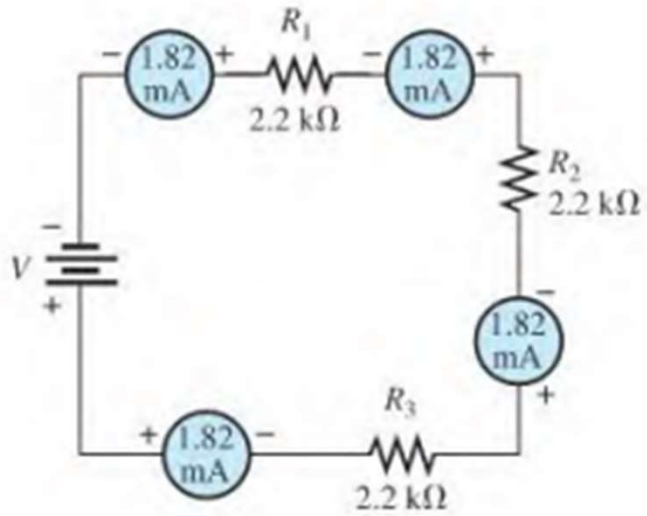
(a) Pictorial



(b) Schematic



(a) Pictorial

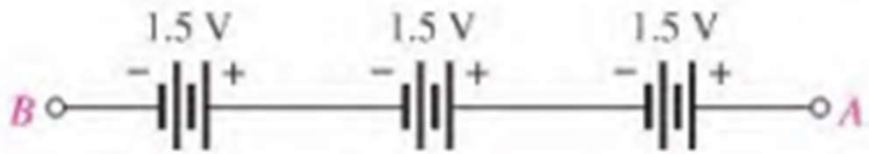


(b) Schematic

Voltage sources in series

$$V_{S(tot)} = V_{S1} + V_{S2} + \cdots + V_{Sn}$$

Algebraic sum. i.e. polarities should be considered.

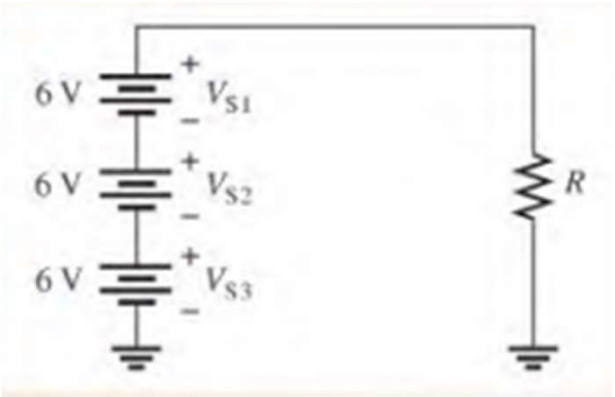


$$V_{AB} = 1.5\,\text{V} + 1.5\,\text{V} + 1.5\,\text{V} = +4.5\,\text{V}$$

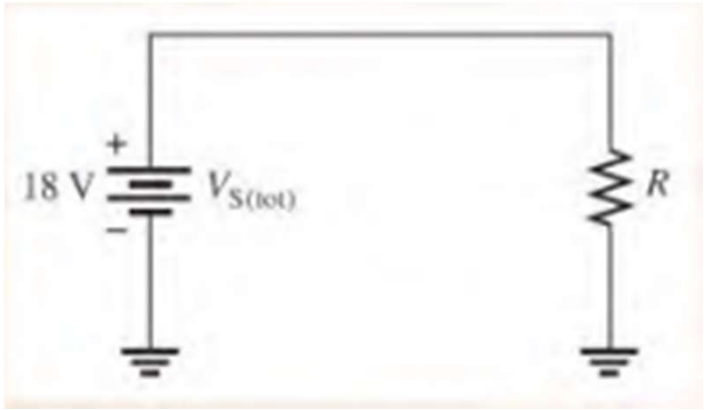
Total 4.5 V from terminal A to terminal B
A is more positive than B

$$V_{AB} = +1.5\,\text{V} - 1.5\,\text{V} + 1.5\,\text{V} = +1.5\,\text{V}$$

Total 1.5 V from terminal A to terminal B
A is more positive than B

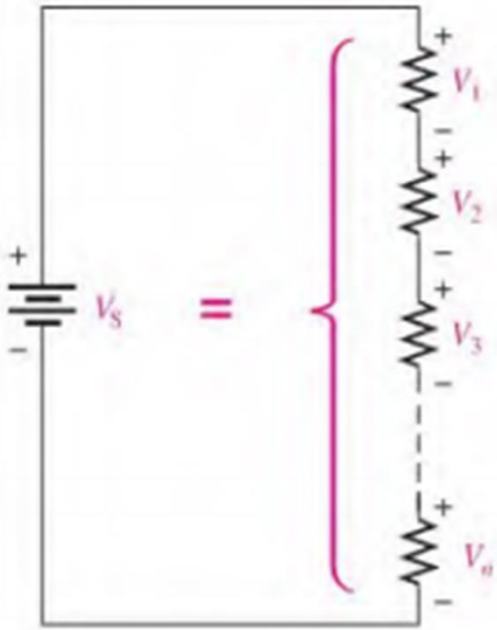


Replacing with a single equivalent battery



Kirchhoff's voltage law

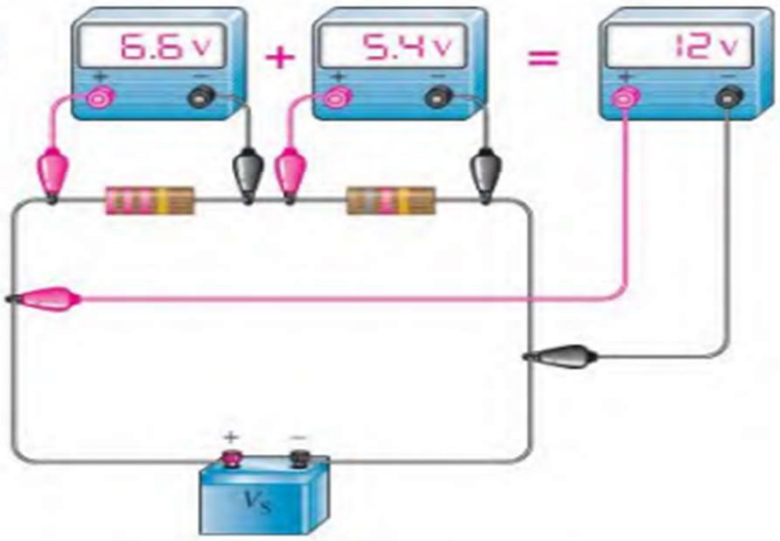
The sum of all the voltage drops around a single closed path in a circuit is equal to the total source voltage in that loop.



$$V_S = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots + V_n$$

or

$$V_S - V_1 - V_2 - V_3 - \cdots - V_n = 0$$



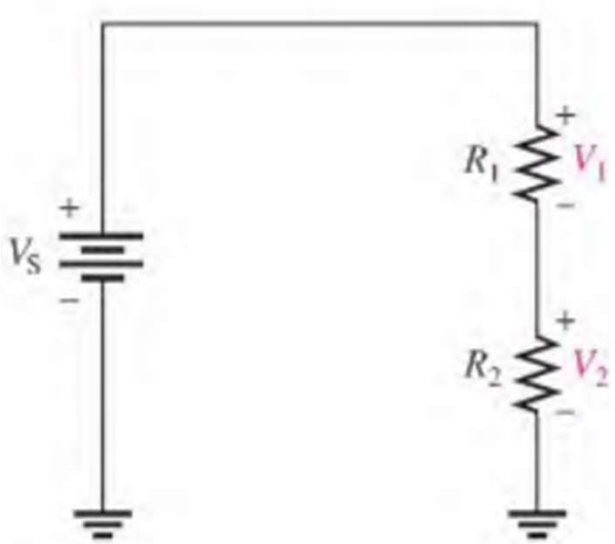
HISTORY NOTE

Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887)

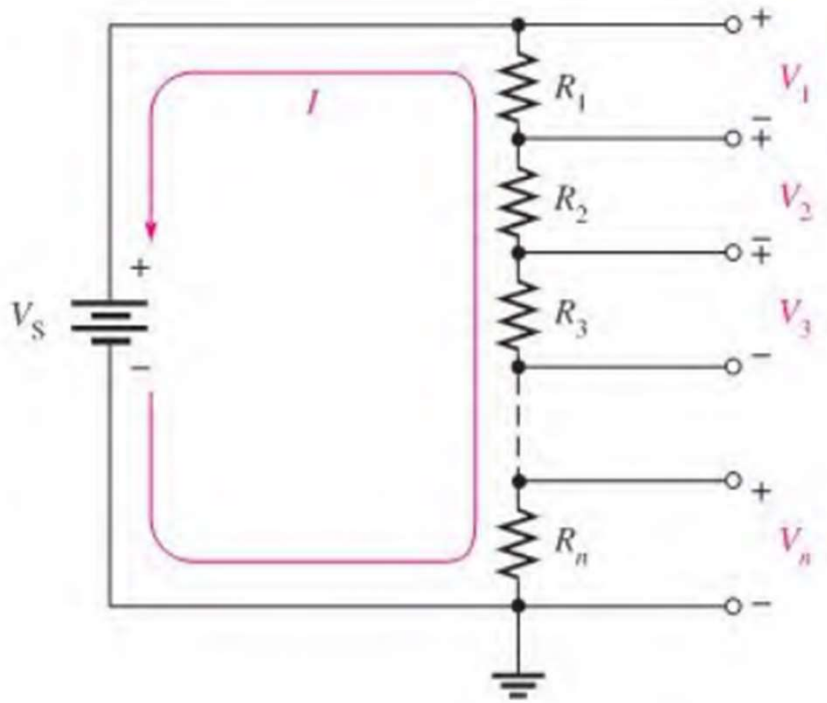
Kirchhoff was a German physicist who contributed to the fundamental understanding of electrical circuits, spectroscopy, and the emission of black-body radiation by heated objects.

Voltage divider مجزئ الجهد

A circuit consists of a series of resistors connected to a voltage source acts as a voltage divider.



Two-resistor voltage divider.



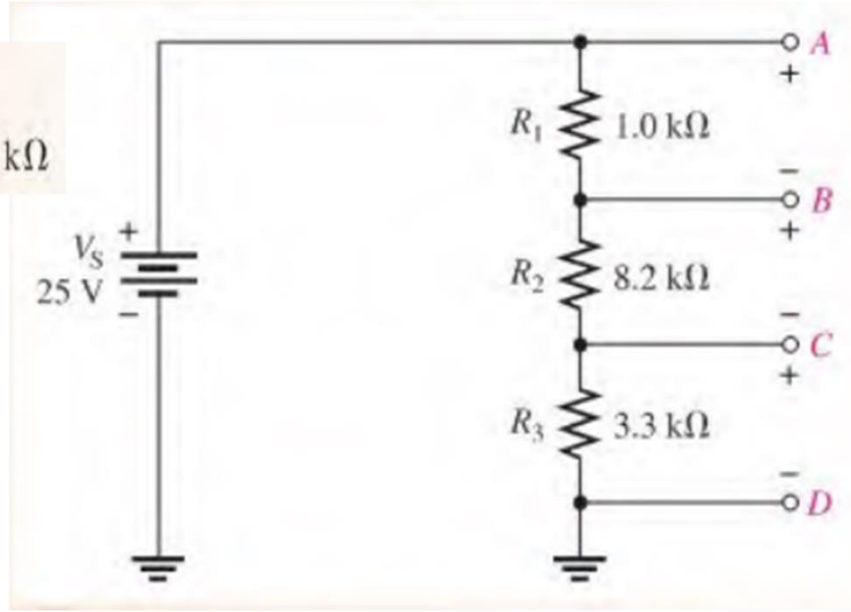
Generalized voltage divider with n resistors.

In general:

$$V_x = IR_x \Rightarrow V_x = \left(\frac{V_S}{R_T}\right)R_x \Rightarrow V_x = \left(\frac{R_x}{R_T}\right)V_S$$

Determine the voltages between the following points in the voltage divider of Figure 5–40:

(a) A to B **(b)** A to C **(c)** B to C **(d)** B to D **(e)** C to D



First, determine R_T.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 1.0\,\text{k}\Omega + 8.2\,\text{k}\Omega + 3.3\,\text{k}\Omega = 12.5\,\text{k}\Omega$$

$$V_{AB} = \left(\frac{R_1}{R_T}\right)V_S = \left(\frac{1.0\,\text{k}\Omega}{12.5\,\text{k}\Omega}\right)25\,\text{V} = \mathbf{2\,V}$$

$$V_{AC} = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_T}\right)V_S = \left(\frac{9.2\,\text{k}\Omega}{12.5\,\text{k}\Omega}\right)25\,\text{V} = \mathbf{18.4\,V}$$

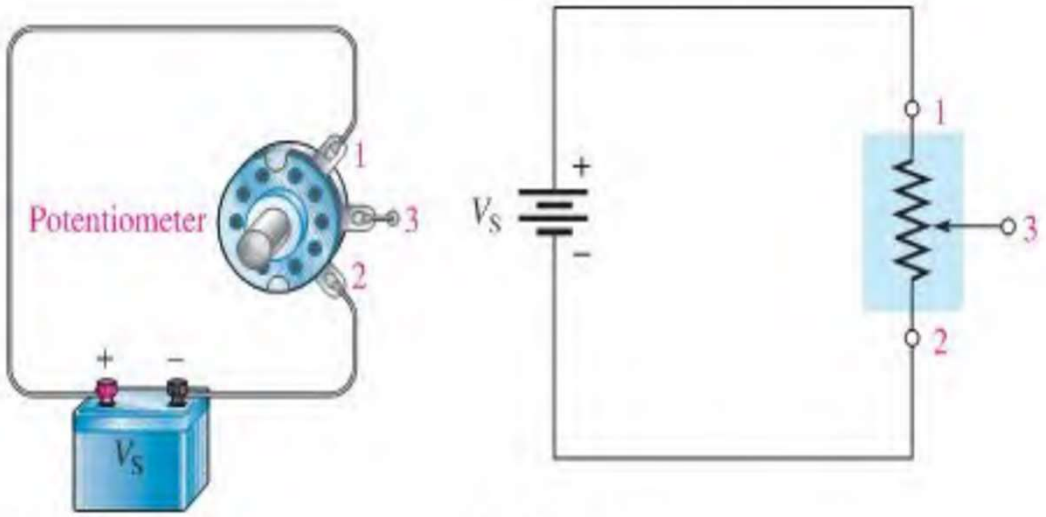
$$V_{BC} = \left(\frac{R_2}{R_T}\right)V_S = \left(\frac{8.2\,\text{k}\Omega}{12.5\,\text{k}\Omega}\right)25\,\text{V} = \mathbf{16.4\,V}$$

$$V_{BD} = \left(\frac{R_2 + R_3}{R_T}\right)V_S = \left(\frac{11.5\,\text{k}\Omega}{12.5\,\text{k}\Omega}\right)25\,\text{V} = \mathbf{23\,V}$$

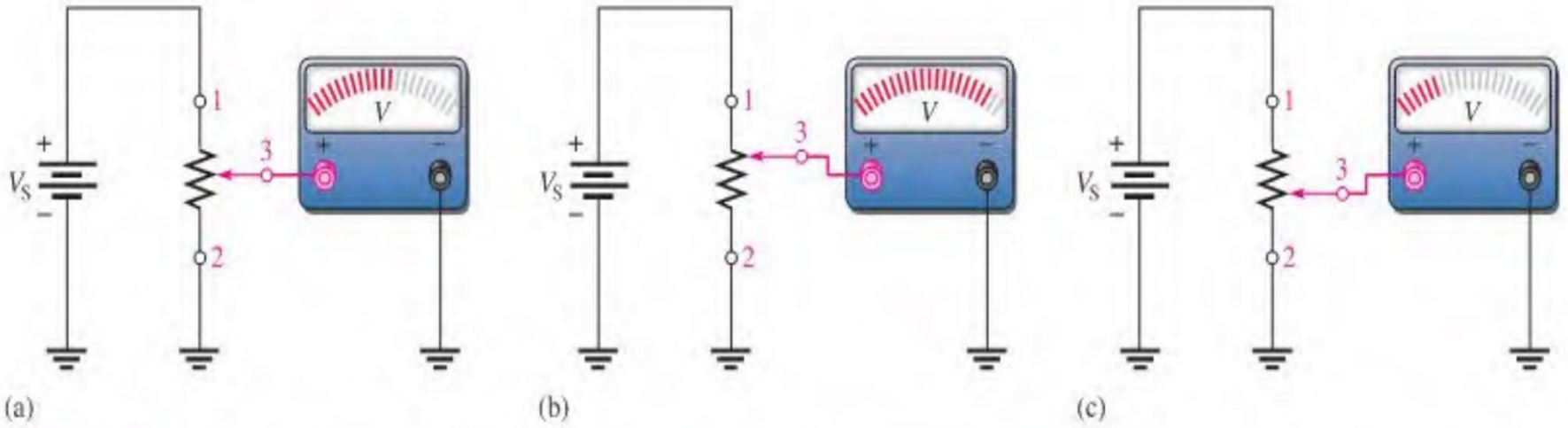
$$V_{CD} = \left(\frac{R_3}{R_T}\right)V_S = \left(\frac{3.3\,\text{k}\Omega}{12.5\,\text{k}\Omega}\right)25\,\text{V} = \mathbf{6.6\,V}$$

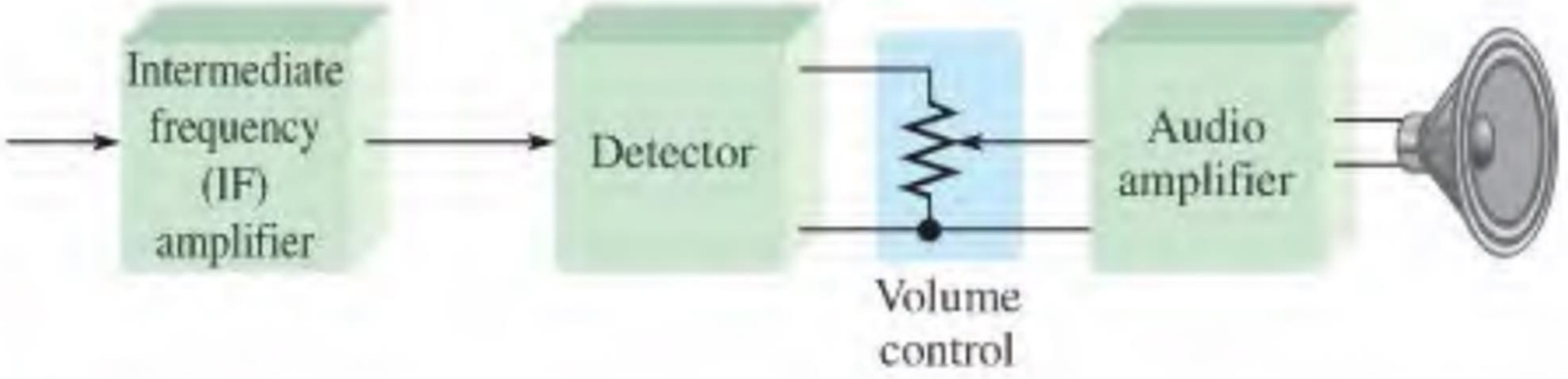
Determine each of the previously calculated voltages if V_S is doubled.

A Potentiometer as an Adjustable Voltage Divider



(a) Pictorial (b) Schematic



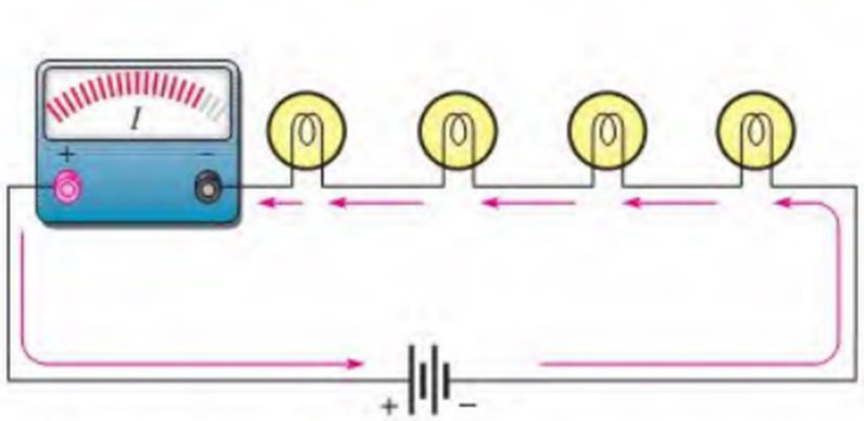


A variable voltage divider used for volume control in a radio receiver.

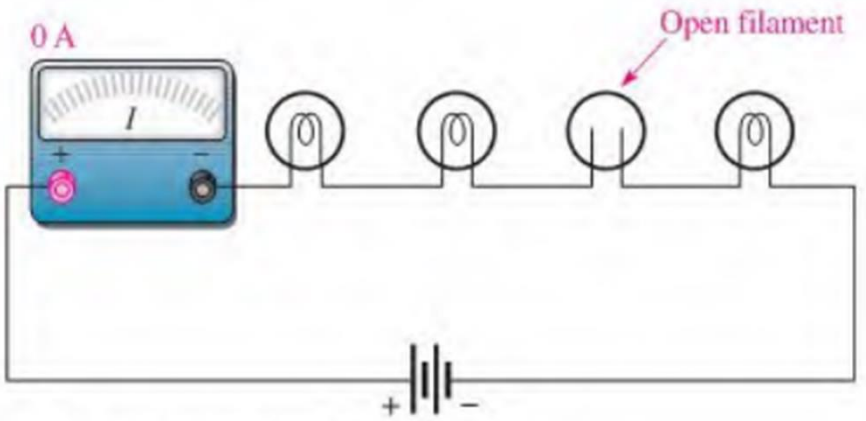
Troubleshooting in series circuits

Open circuit الدائرة المفتوحة

An open in a series circuit prevents current.

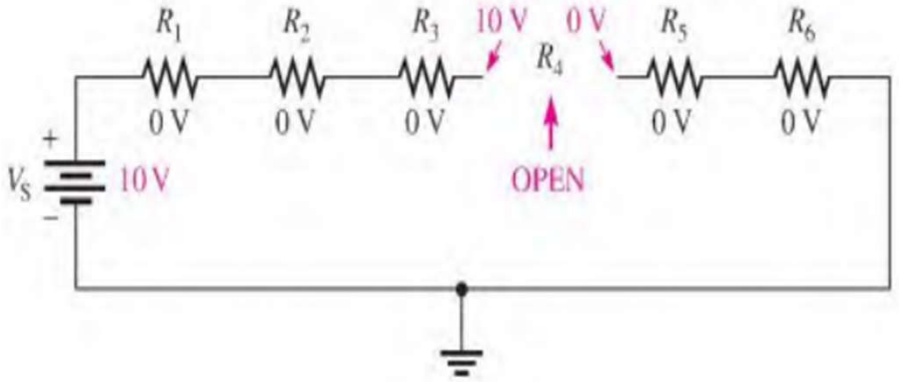


(a) A complete series circuit has current.



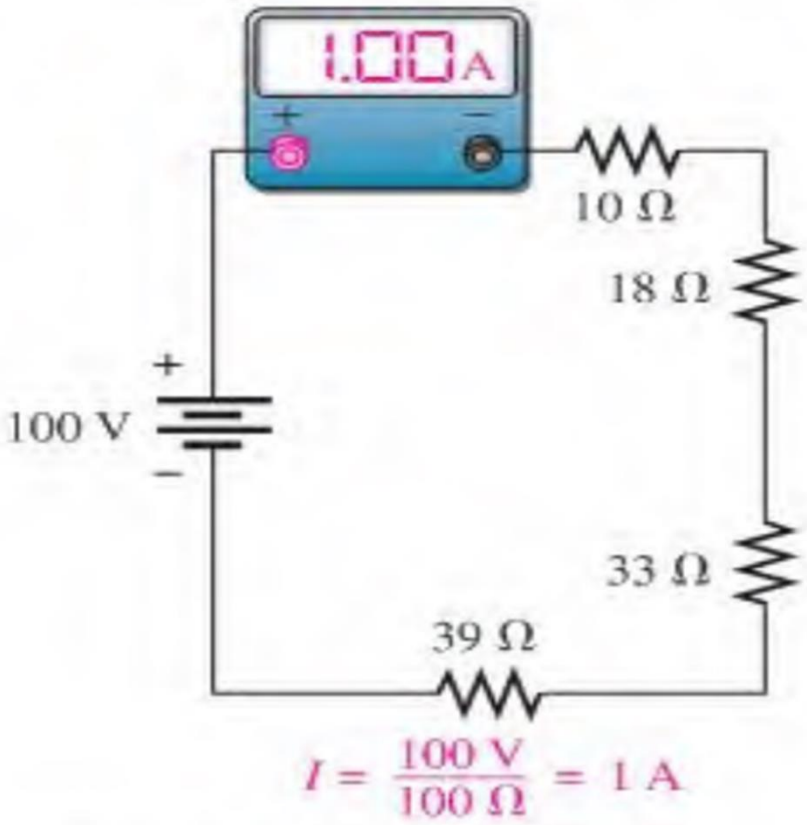
(b) An open series circuit has no current.

$$V_S = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6$$
$$V_4 = V_S - V_1 - V_2 - V_3 - V_5 - V_6$$
$$= 10\,\text{V} - 0\,\text{V} - 0\,\text{V} - 0\,\text{V} - 0\,\text{V} - 0\,\text{V}$$
$$V_4 = V_S = 10\,\text{V}$$

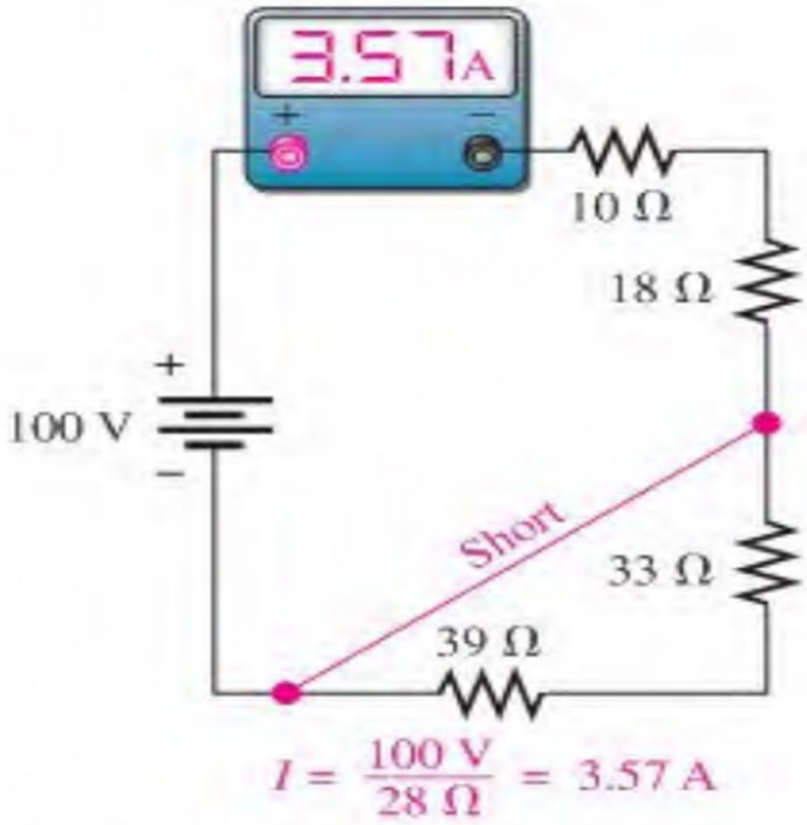


Short circuit دائرة القصر

A short in a series circuit causes more current than normal.



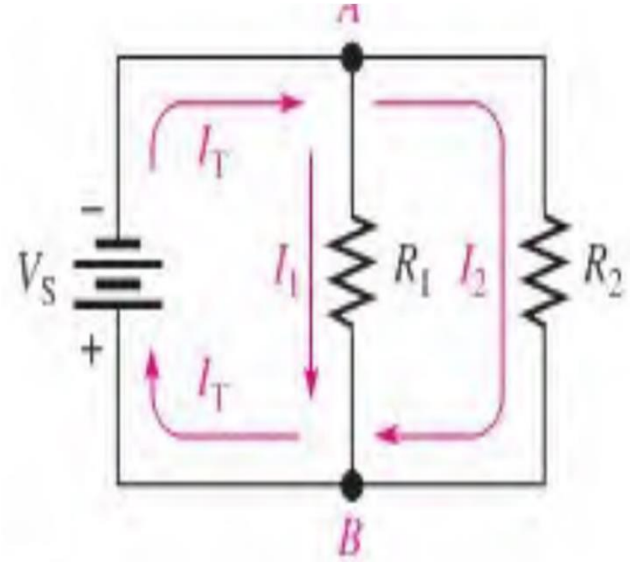
(a) Before short

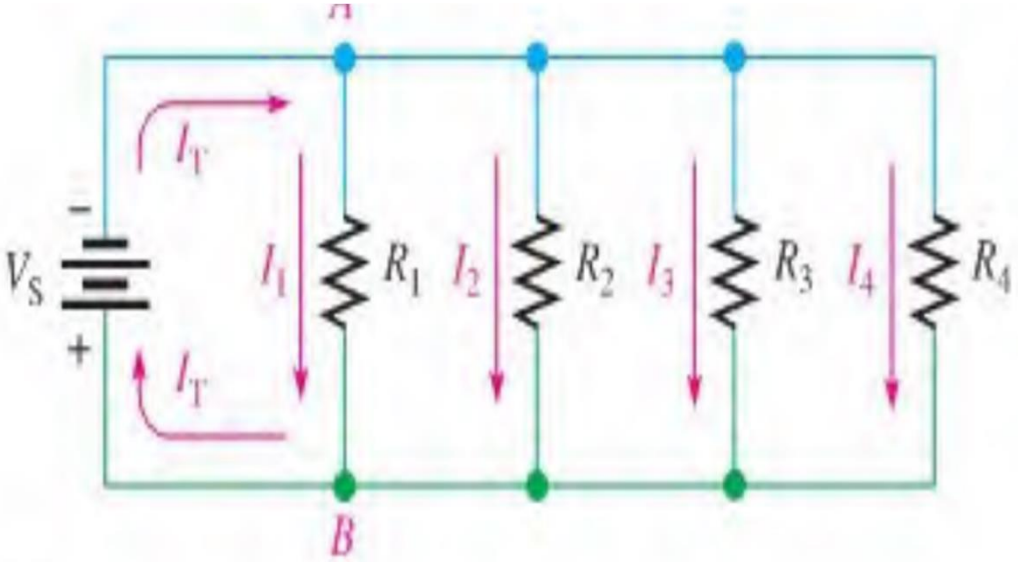


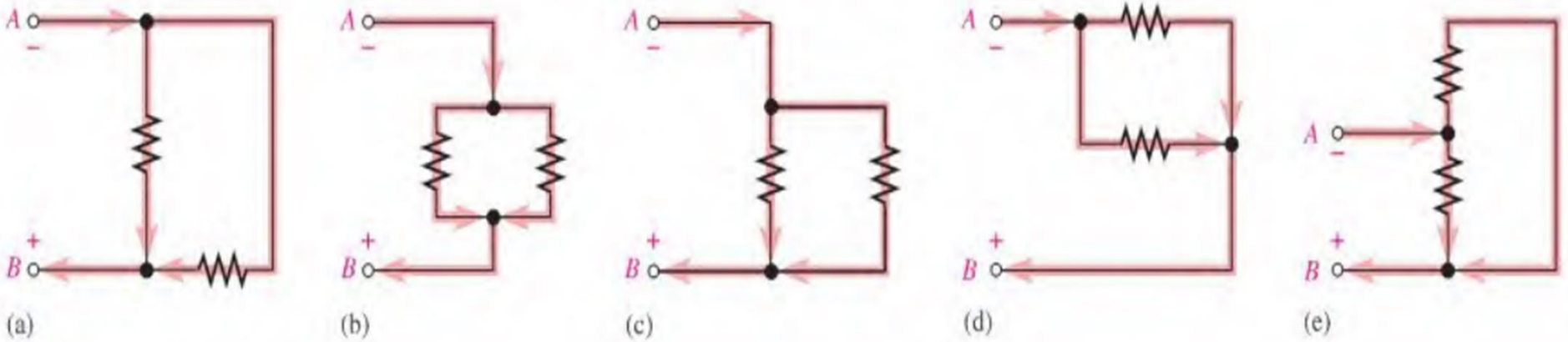
(b) After short

Parallel circuits دوائر التوصيل على التوازي

Resistors in parallel

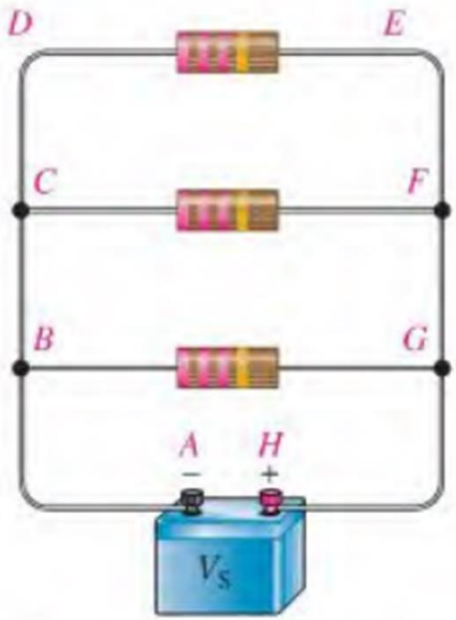




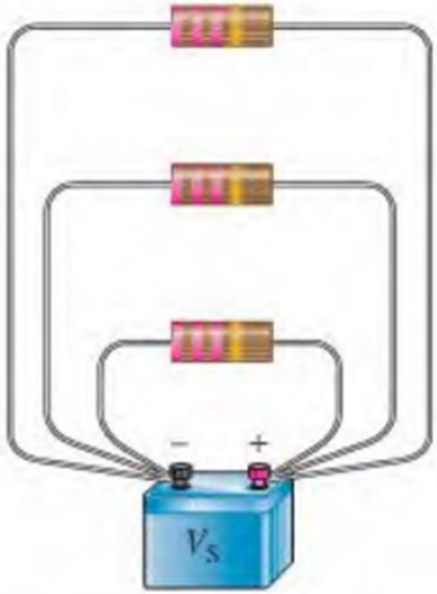


Examples of circuits with two parallel paths.

VOLTAGE IN A PARALLEL CIRCUIT

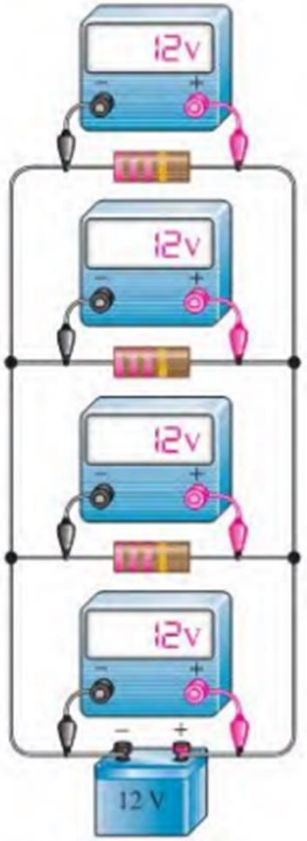


(a)

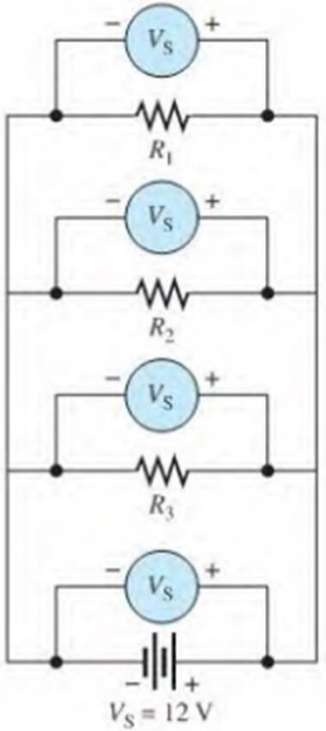


(b)

Voltage across parallel branches is the same.



(a) Pictorial



(b) Schematic

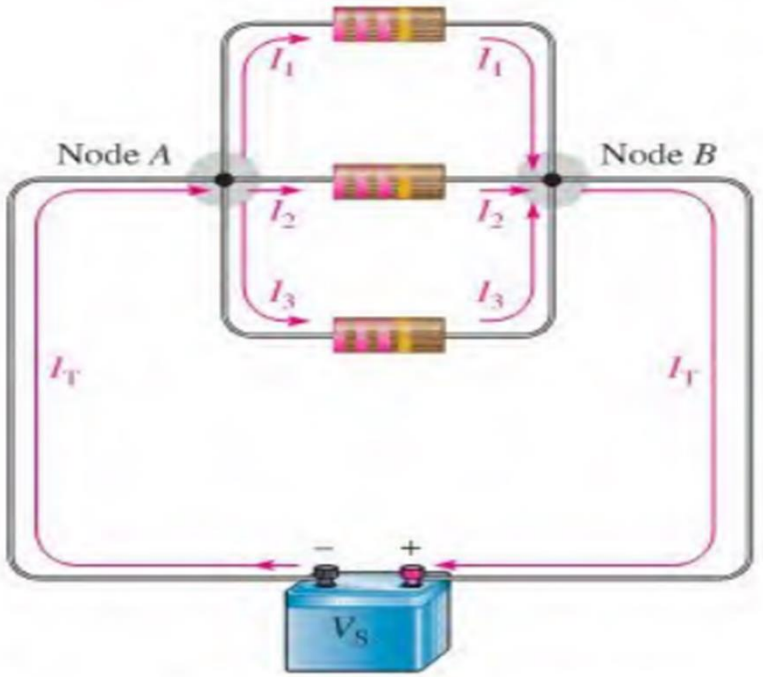
The same voltage appears across each resistor in parallel.

KIRCHHOFF'S CURRENT LAW

The sum of the currents into a node (total current in) is equal to the sum of the currents out of that node (total current out).

A **node** is any point or junction in a circuit where two or more components are connected. In a parallel circuit, a node or junction is a point where the parallel branches come together.

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

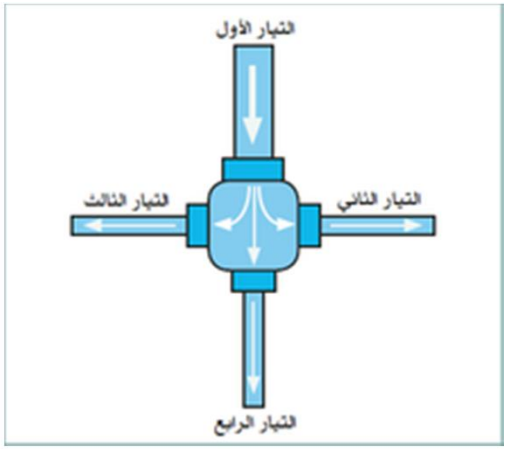


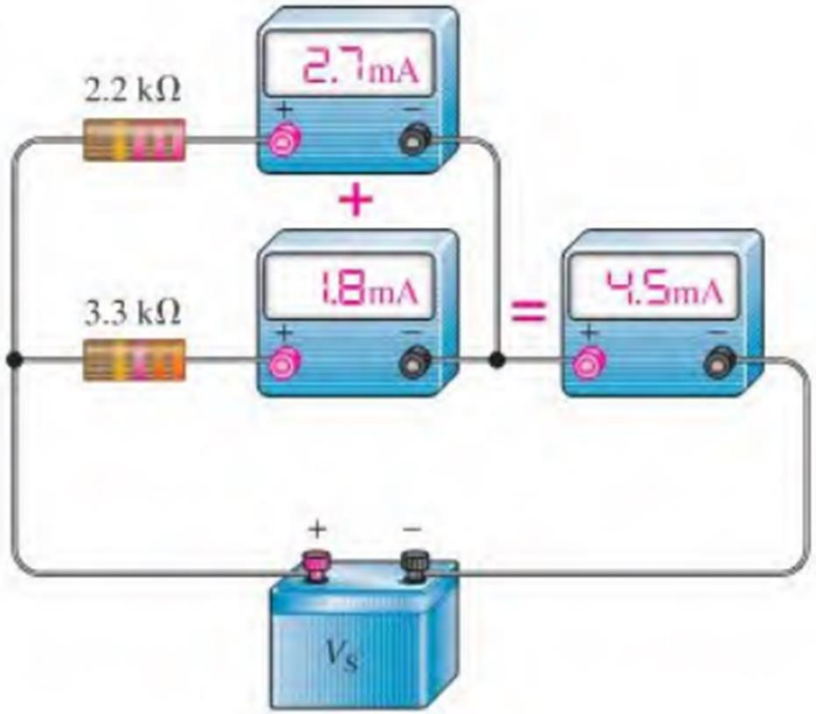
The algebraic sum of all of the currents entering and leaving a node is equal to zero.

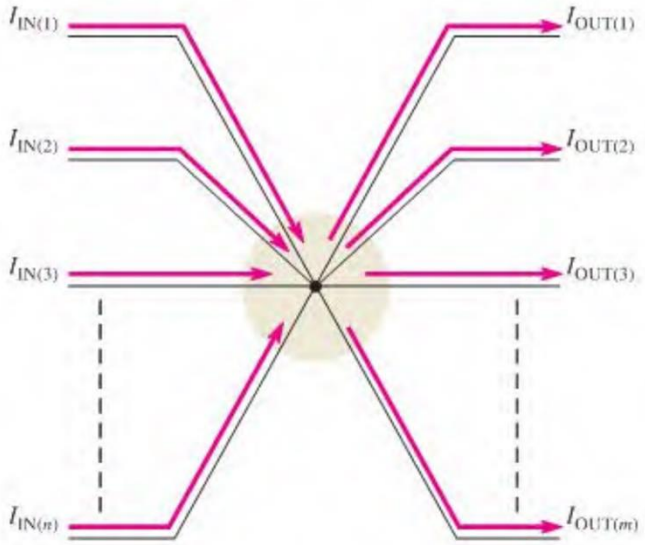
$$I_{IN(1)} + I_{IN(2)} + I_{IN(3)} + \cdots + I_{IN(n)} = I_{OUT(1)} + I_{OUT(2)} + I_{OUT(3)} + \cdots + I_{OUT(m)}$$

$$I_{IN(1)} + I_{IN(2)} + I_{IN(3)} + \cdots + I_{IN(n)} - I_{OUT(1)} - I_{OUT(2)} - I_{OUT(3)} - \cdots - I_{OUT(m)} = 0$$

$$\sum_{i=1}^{n} I_i = 0$$



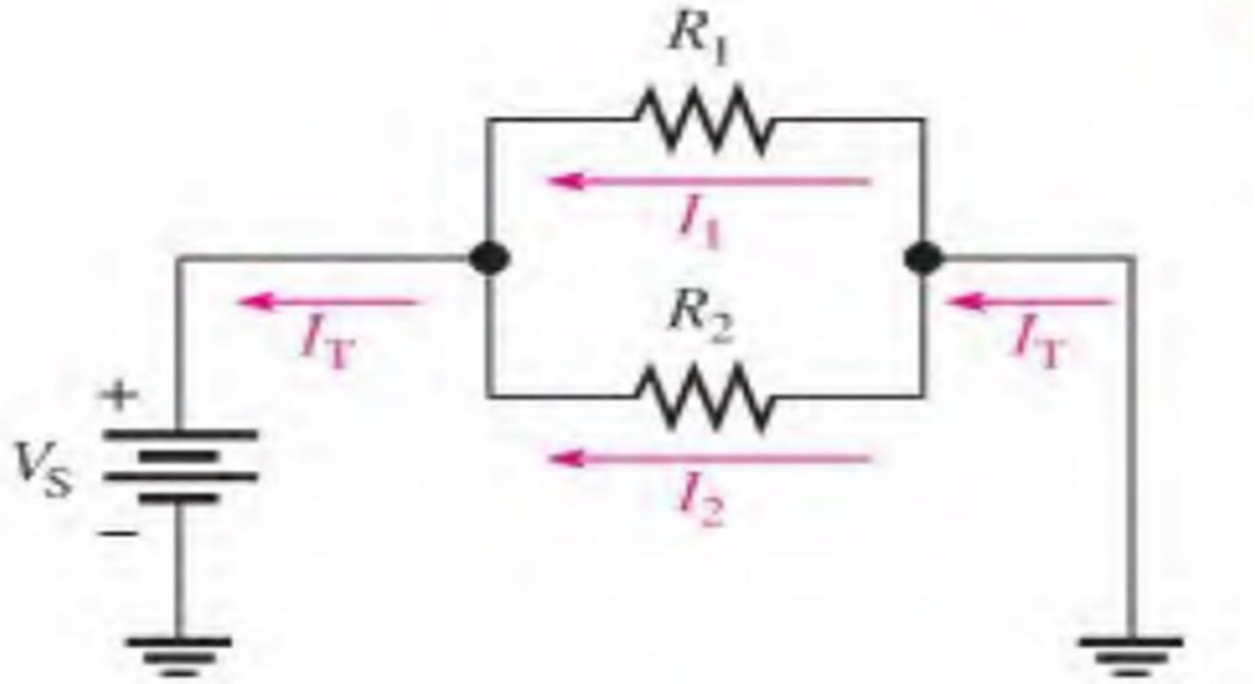




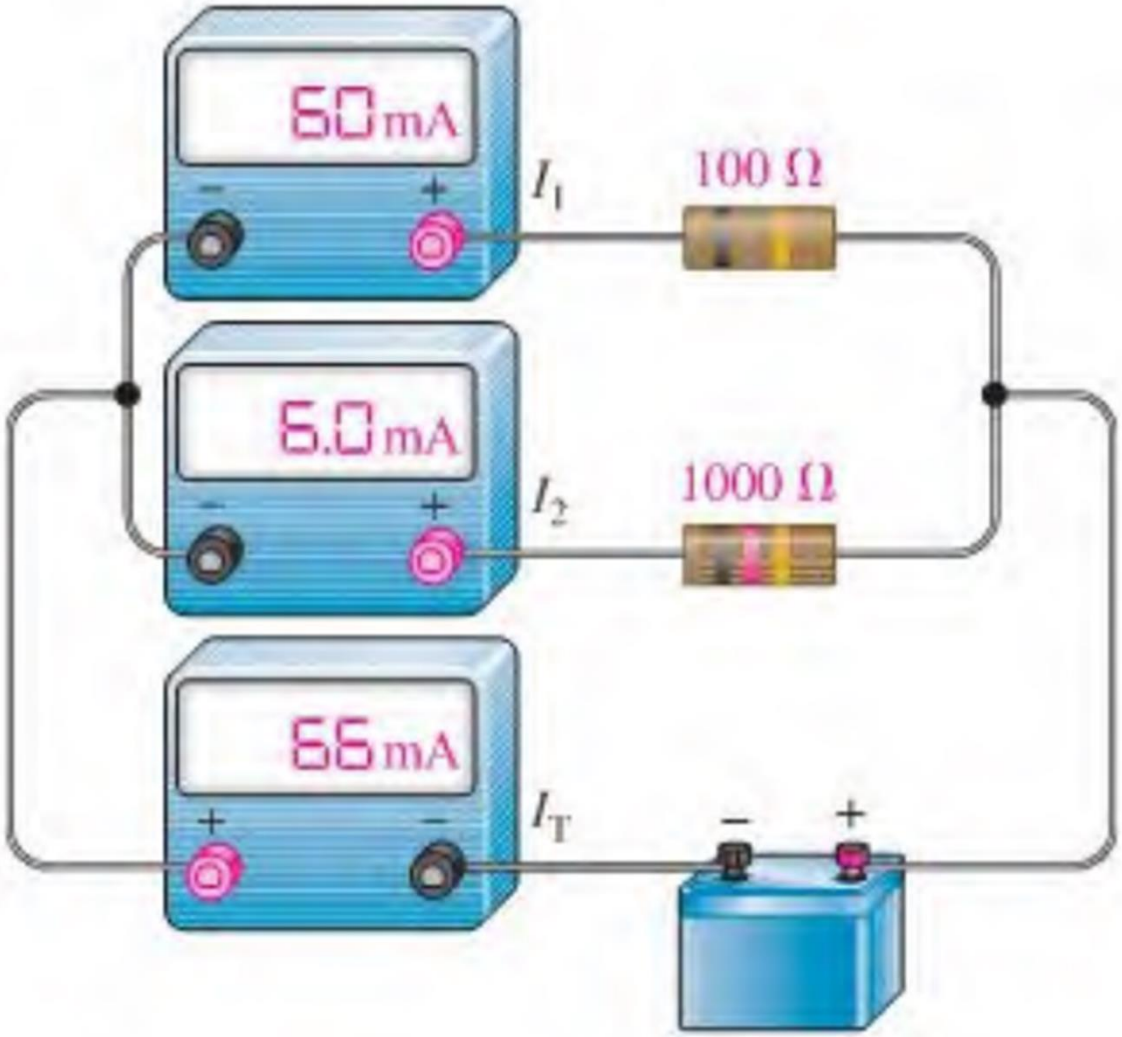
Current Dividers

In a parallel circuit, the total current into the junction of the parallel branches divides among the branches. Thus, **a parallel circuit acts as a current divider.**

The total current divides among parallel resistors into currents with values inversely proportional to the resistance values.

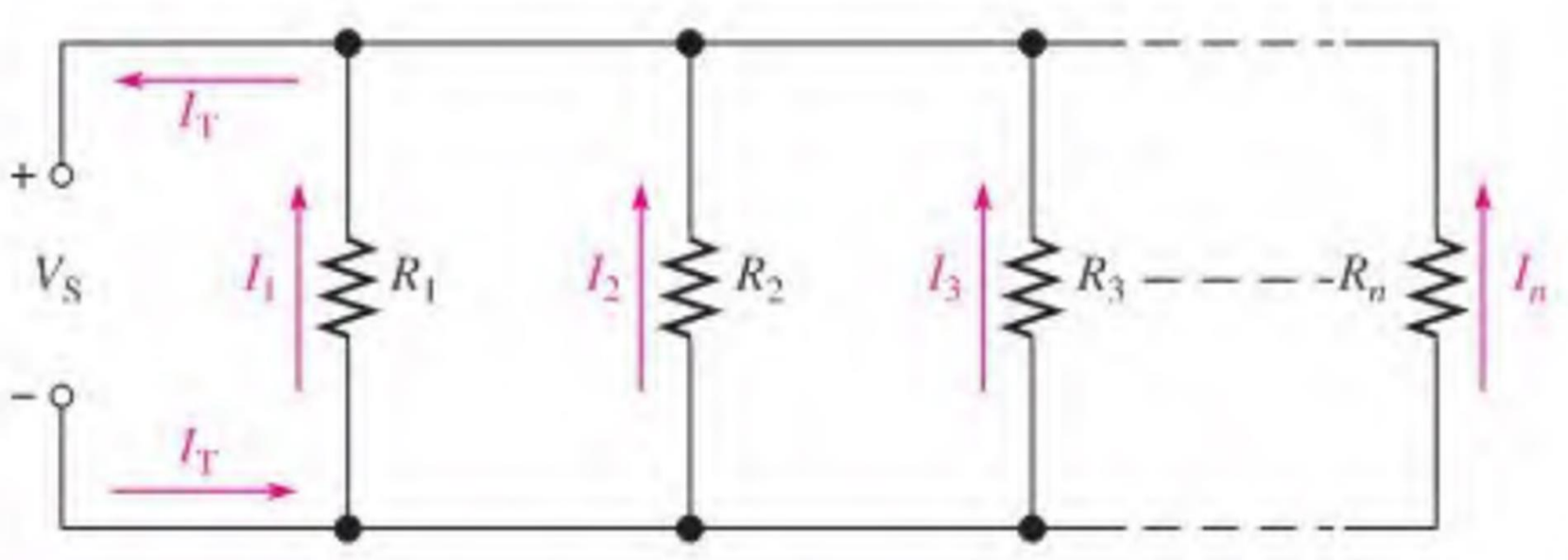


Total current divides between the two branches.



The branches with higher resistance have less current, and the branches with lower resistance have more current, in accordance with Ohm's law. If all the branches have the same resistance, the branch currents are all equal.

Current-Divider Formula



A parallel circuit with n branches.

$$I_x = \frac{V_S}{R_x} \qquad V_S = I_T R_T$$

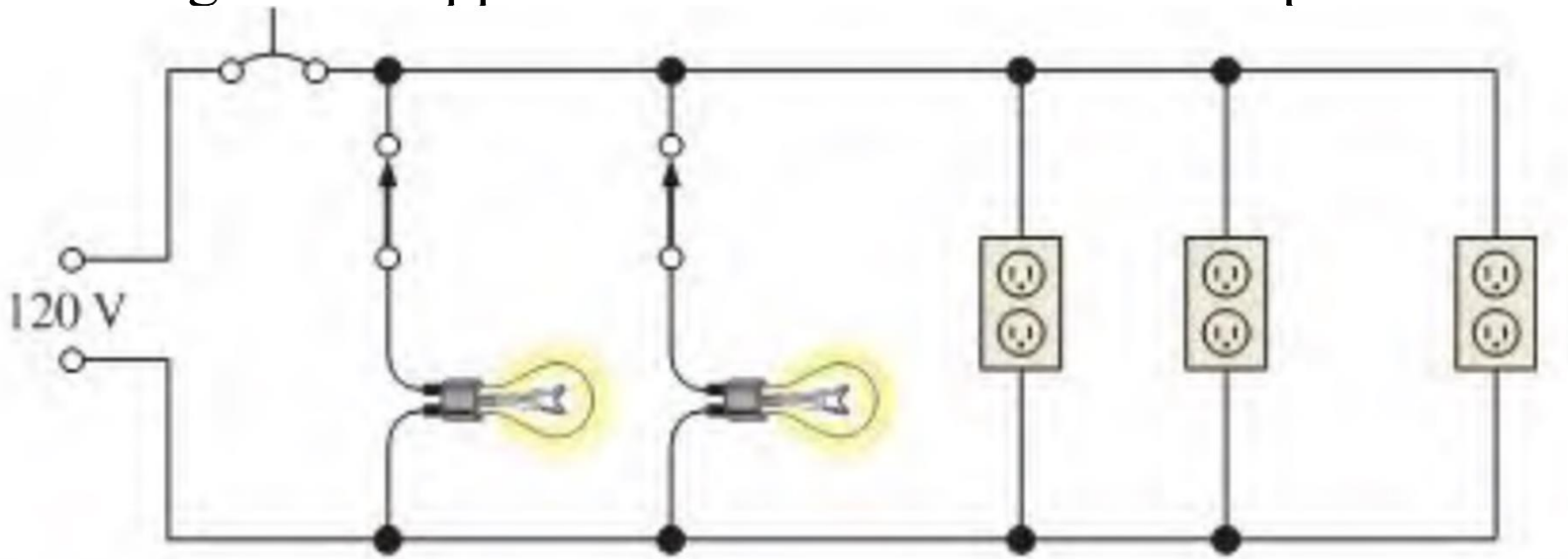
$$I_x = \frac{I_T R_T}{R_x} \qquad I_x = \left(\frac{R_T}{R_x}\right) I_T$$

where x = I, 2, 3, etc.

Residential

يتم توصيل الكهرباء في البيوت بحيث تكون على التوازي حتى إذا حدث فتح في أحد المسارات لا يتم التأثير على الباقي

A common use of parallel circuits is in residential electrical systems. All the lights and appliances in a home are wired in parallel.

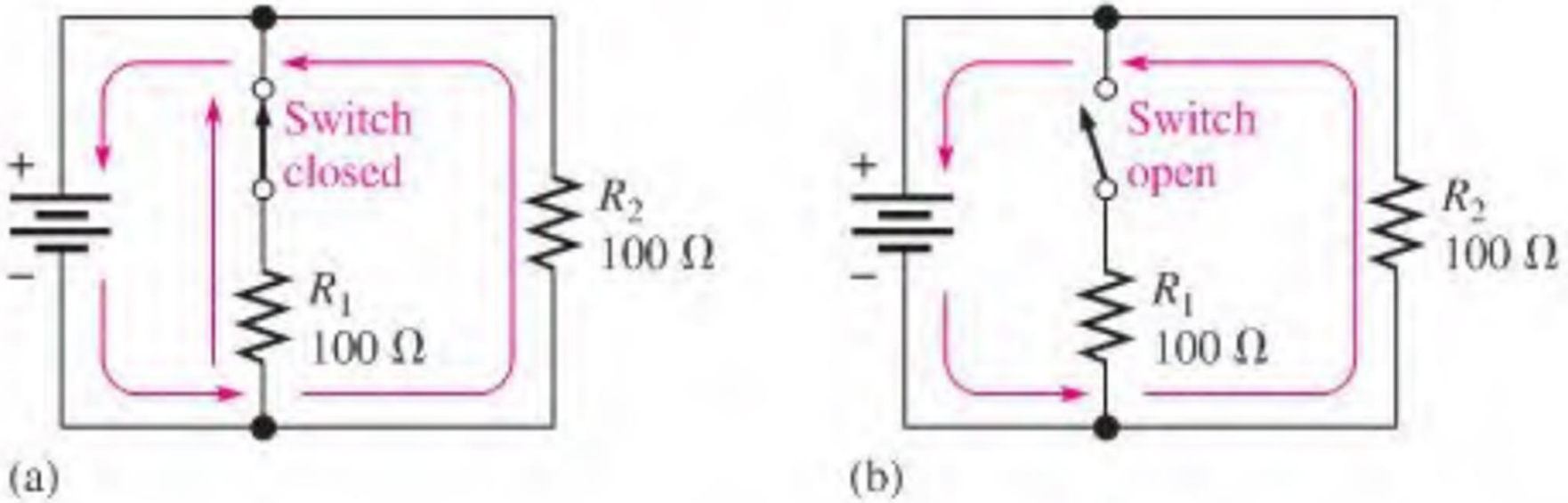


Example of a parallel circuit in residential wiring.

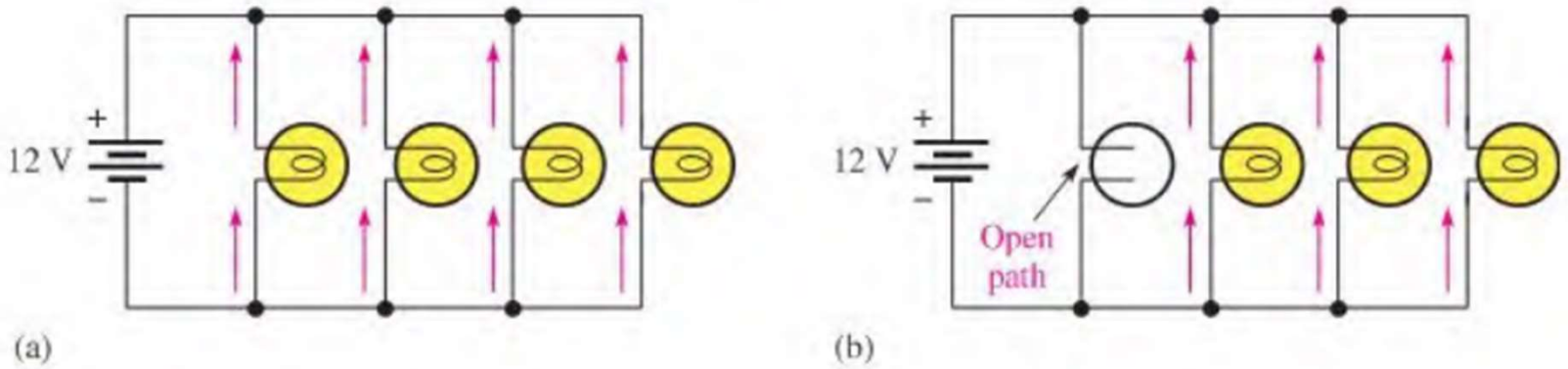
Troubleshooting in parallel circuits

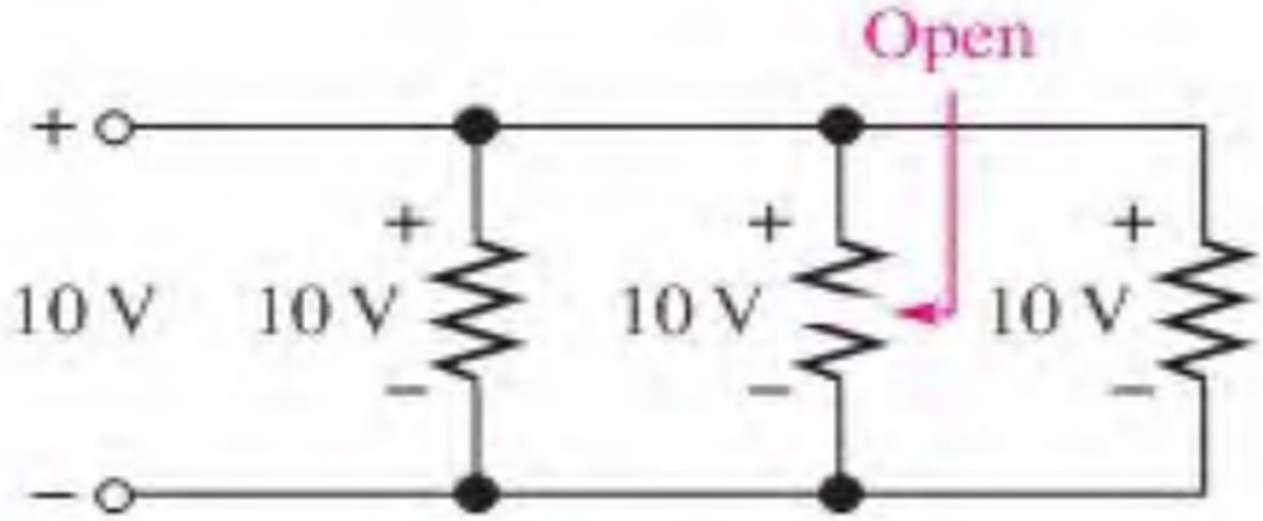
Open Branch الفرع المفتوح

When an open occurs in a parallel branch, the total resistance increases, the total current decreases.



Parallel branches (open or not) have the same voltage.


12 V
+
–
(a)
12 V
+
–
Open
path
(b)


Open
+
10 V
+
10 V
–
+
10 V
+
10 V
–
–

Shorted Branch الفرع الذي به قصر

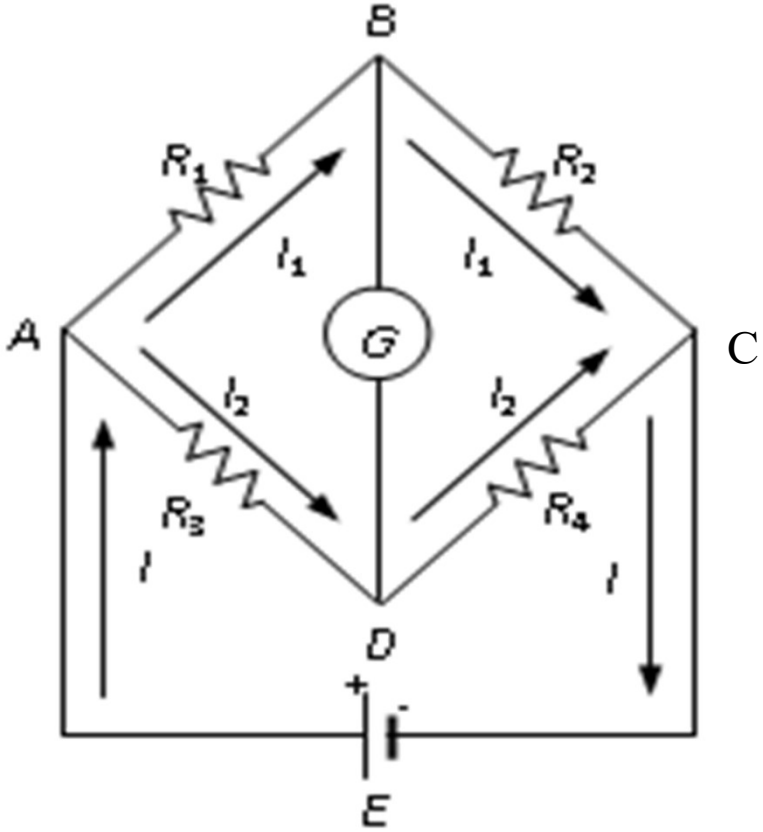
When a branch in a parallel circuit shorts, the current increases to an excessive value, causing a fuse or circuit breaker to blow.

Resistance in a wire simulator

https://phet.colorado.edu/sims/html/resistance-in-a-wire/latest/resistance-in-a-wire_en.html

Circuit Construction Kit- DC

https://phet.colorado.edu/sims/html/circuit-construction-kit-dc/latest/circuit-construction-kit-dc_en.html



قنطرة هويستون Wheatstone bridge

قنطرة هويستون تستخدم للمقارنة بين مقاومتين بدقة، وتستعمل كذلك لقياس مقدار مقاومة مجهولة بدقة عالية. تتكون هذه القنطرة من أربع مقاومات R_1, R_2, R_3, R_4 متصلة على التوالي كما هو مبين بالشكل.

يوصل جلفانومتر بين النقطتين B, D وتوصل بطارية بين الطرفين A, C تكون القنطرة متزنة حينما لا يمر تيار بالجلفانومتر ويكون اتجاهات التيار كما هو موضح بالشكل.

بما أنه لا يمر تيار بالجلفانومتر فيكون فرق الجهد بين طرفيه يساوي صفر، أي أن:

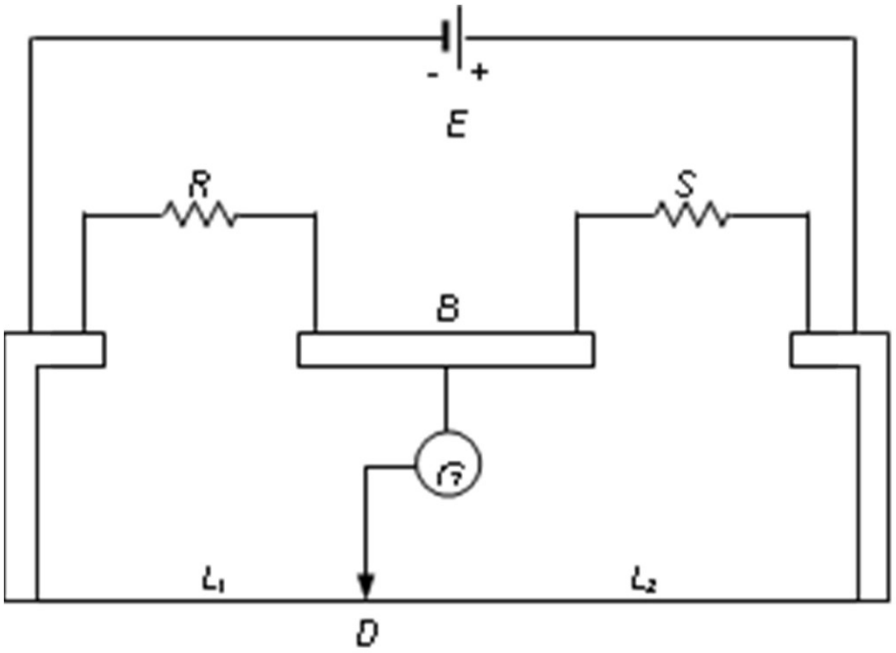
$$V_{BD} = 0$$

$$V_{AB} = V_{AD} \qquad I_1R_1 = I_2R_3$$

$$V_{CB} = V_{CD} \qquad I_1R_2 = I_2R_4$$

شرط عدم مرور تيار بالجلفانومتر هو:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$



القنطرة المترية Metric bridge

تعتبر القنطرة المترية التطبيق العملي لقنطرة هويستون وهي موضحة بالشكل المقابل.

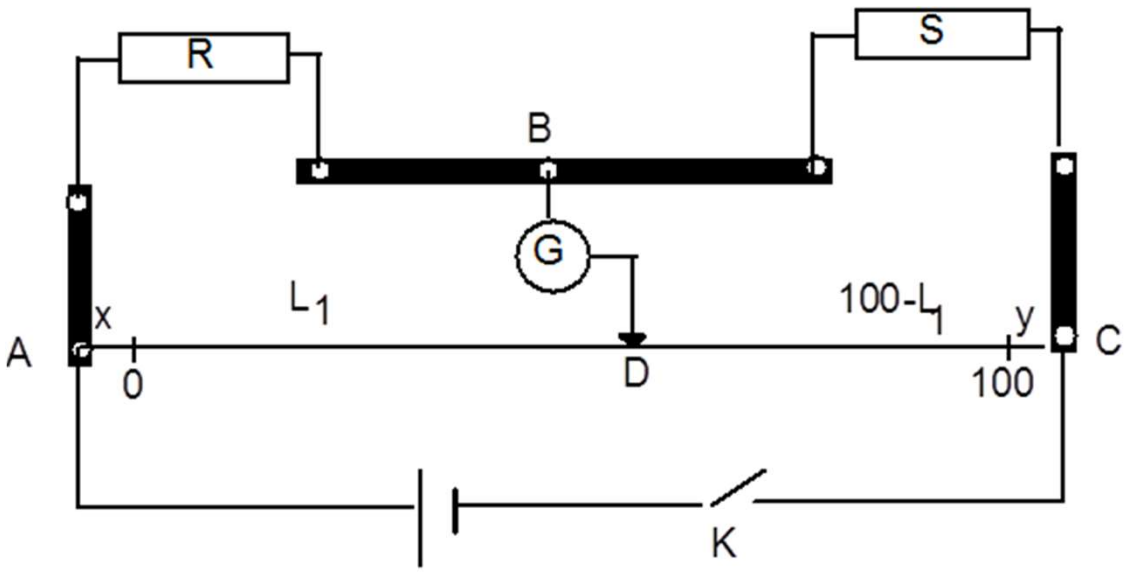
شرط اتزان القنطرة هو:

$$\frac{R}{S}=\frac{L_1}{L_2}$$

ومنها يمكن معرفة النسبة $\frac{R}{S}$

أو قيمة مقاومة مجهولة ويجب تعيين قيمتى الخطأ في تثبيت نهايتي السلك.

لتعيين الخطأ في طرفي القنطرة المترية



في الحقيقة هناك زيادة في طول السلك عند طرفيه نتيجة لوجود مقاومة طفيفة لشرائح النحاس المستخدمة وأيضا نتيجة لتثبيت السلك عند نهايتيه . ونفرض أن هذه الزيادة الحاصلة في الطول نتيجة المقاومة الأضافيه الناشئة عند نهايتي السلك هي X,Y كما هو مبين بالشكل.

عند نقطة الاتزان الأولى:(الحالة المطابقة للرسم تماما)

$$\frac{R}{S} = \frac{x + L_1}{y + (100 - L_1)} \quad \text{which gives}$$

$$y + 100 - L_1 = \frac{S\,x}{R} + \frac{S\,L_1}{R} \qquad \rightarrow (1)$$

عند نقطة الاتزان الثانية (عند تبديل R ب Sوفرض أن الاتزان حدث عند L_2)

$$\frac{S}{R} = \frac{x + L_2}{y + (100 - L_2)} \quad \text{which gives}$$

$$y + 100 - L_2 = \frac{R\,x}{S} + \frac{R\,L_2}{S} \qquad \rightarrow (2)$$

$$L_2 - L_1 = x\left(\frac{S}{R} - \frac{R}{S}\right) + \frac{S\,L_1}{R} - \frac{R\,L_2}{S}$$

from which

$$x = \frac{\left(1 + \frac{R}{S}\right) L_2 - \left(1 + \frac{S}{R}\right) L_1}{\frac{S}{R} - \frac{R}{S}} =$$

$$= \frac{R\,L_2 - S\,L_1}{S - R}$$

Similarly

$$y = \frac{S\,L_2 - R\,L_1}{S - R} - 100$$