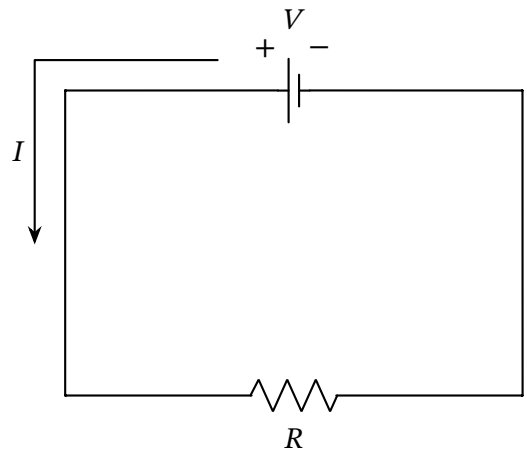
شارح: دوائر التوالي الكهربية

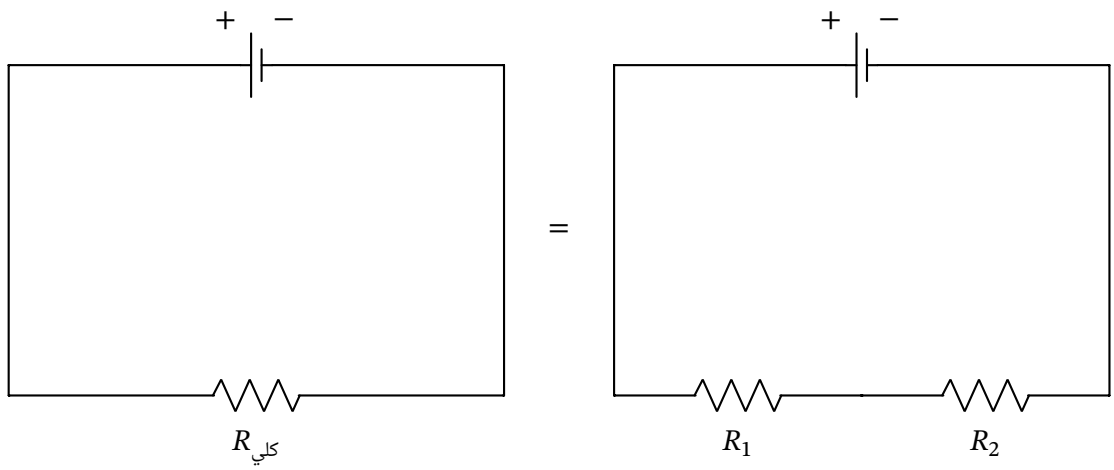
في هذا الشارح، سوف نتعلَّم كيف نحسُب فرق الجهد وشدَّة التيار والمقاومة عند نقاط مختلفة في دوائر كهربية بسيطة موصَّلة على التوالي.

يوضِّح الشكل الآتي دائرة كهربية تتكون من بطارية ومقاومة. فرق الجهد الذي توفره البطارية V، وشدة التيار في الدائرة I، وقيمة المقاومة R.



لا تتكوَّن الدائرة دائمًا من مكون واحد كما في الشكل السابق. وعندما تُوصَّل عدة مكونات معًا في مسار مغلق؛ بحيث يوضع بعضها تلو الآخر في نفس الخط، نقول إنها موصَّلة على التوالي.

عندما توصل المكونات على التوالي، يمكن التعامل مع مقاوماتها كما لو كانت مكوِّنًا واحدًا، كما هو موضح في الشكل الآتي.



ونقوم بذلك عن طريق حساب مجموع مقاومات جميع مكونات الدائرة.

قاعدة: المقاومة الكلية للمقاومات الموصلة على التوالي

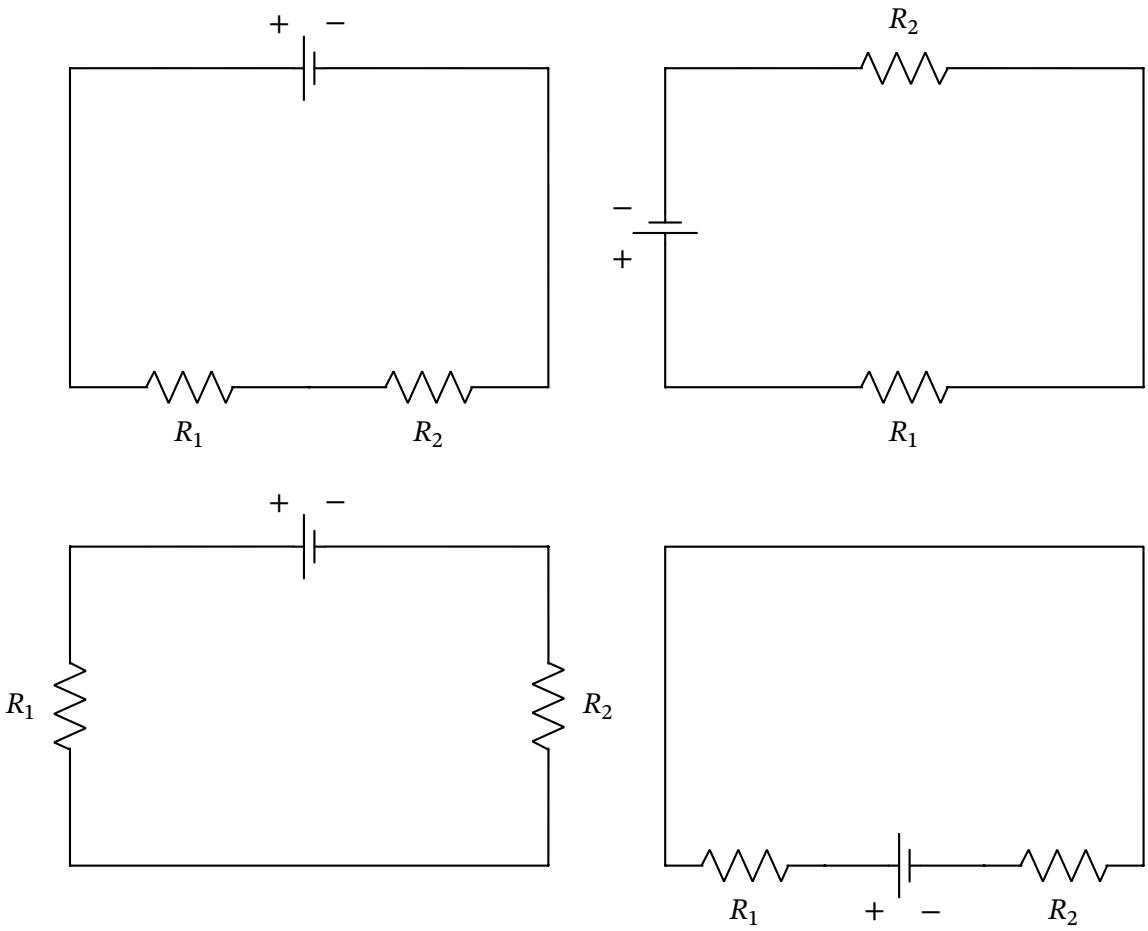
تُعطى المقاومة الكلية في دائرة كهربية $R_{\text{كلي}}$ بالمعادلة:

$$R_{\text{كلي}} = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots ,$$

حيث R_1 مقاومة المكون الأول، R_2 مقاومة المكون الثاني، وهكذا.

تنطبق هذه القاعدة بغض النظر عن عدد المكونات في الدائرة، ما دامت موصلة على التوالي.

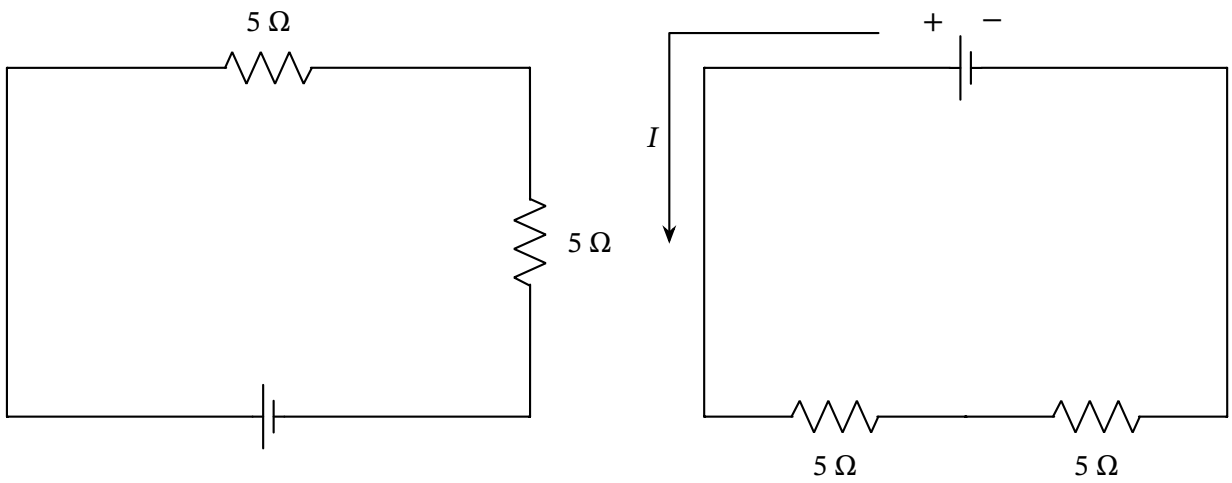
كما أن طريقة وضع المكونات في الدائرة لا تؤثر على المقاومة الكلية ما دامت المكونات موصلة معًا على التوالي. توضح مخططات الدوائر الآتية بطارية متصلة بمقاومتين، مع اختلاف أوضاعها.



هذه الدوائر كلها متكافئة. ويمكن وصفها جميعًا بأنها عبارة عن بطارية، يليها المقاومة R_1، ثم المقاومة R_2.

مثال ١: تحديد مخططات الدوائر الكهربية المتكافئة

يوضح الشكل دائرتين. هل الدائرتان متكافئتان؟ إن لم تكونا كذلك، فلماذا؟



أ. لا؛ لأن التيار يمر في اتجاه مختلف عبر الدائرة الثانية.

ب. لا؛ لأن المقاومات في مواضع مختلفة.

جـ. لا؛ لأن أقطاب البطارية معكوسة في الدائرة الثانية.

د. لا؛ لأن الدائرة الأولى توضِّح أيُّ قطب للبطارية موجب وأي قطب سالب، لكن الدائرة الثانية لا توضِّح ذلك.

هـ. نعم، الدائرتان متكافئتان.

الحل

يمكن توصيل المكونات بأي من الطريقتين في الدائرة، وسنحصل على المقاومة الكلية نفسها. فالمقاومات تسلك السلوك نفسه بغض النظر عن كيفية توصيلها في الدائرة؛ ومن ثَمَّ فإن اتجاه التيار لا يهم. إذن فالإجابة ليست الخيار (أ) أو الخيار (ج)؛ لأن عكس اتجاه البطارية يعني تبديل اتجاه التيار.

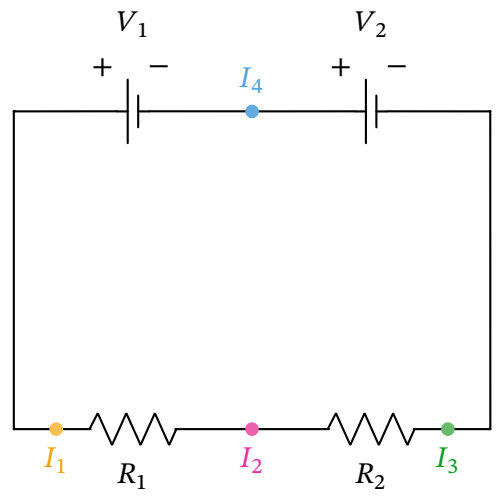
إن وجود المقاومات في مواضع مختلفة لا يؤثر على تكافؤها، طالما أنها موصلة على المسار نفسه في الدائرة؛ أي على التوالي. إذن، فالإجابة ليست (ب).

توضح الدائرة الأولى اتجاه التيار I والطرفين الموجب والسالب للبطارية. لا توضح الدائرة الثانية اتجاه التيار أو طرفي البطارية، لكننا ما زلنا نعلم أنها تحتوي على بطارية ويمر بها تيار. ولا يؤثر توضيح الرموز على الدائرة على تكافؤها من عدمه. إذن، فالإجابة ليست (د).

توجد بطارية يتبعها مقاومتان قيمة كل منهما 5 Ω. وهذه العبارة تصف كلتا الدائرتين. إذن، فالإجابة الصحيحة هي (هـ): الدائرتان متكافئتان.

يمكن إيجاد المقاومة الكلية في دائرة التوالي بجمع مقاومات المكونات الموصلة على التوالي معًا.

وعلى النقيض من ذلك، لا يتطلب قياس شدة التيار في دائرة التوالي إجراء أي عمليات جمع على الإطلاق. ويرجع ذلك لكونها متساوية عند كل نقطة في الدائرة. بالنظر إلى الشكل التالي، نلاحظ عدة نقاط محددة.



شدة التيار هي نفسها عند كل من هذه النقاط. فعدد الإلكترونات التي تمر بهذه النقاط هو نفسه؛ إذ أنها جميعًا تسلك مسارًا واحدًا فقط. ولا تزيد البطارية والمقاومات عدد الإلكترونات الموجودة عند نقاط محددة في الدائرة أو تُنقِصها.

قاعدة: شدة التيار في دوائر التوالي

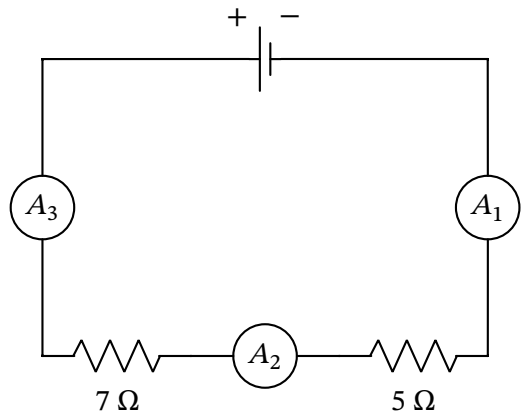
في دائرة موصلة على التوالي، شدة التيار عند النقطة 1، I_1، تساوي شدة التيار عند النقطة 2، I_2، وهكذا لأي نقطة مقيسة:

$$I_1 = I_2 = I_3 = \cdots .$$

لنُلقِ نظرة على مثال.

مثال ٢: إيجاد شدة التيار المار عبر مكونات موصَّلة على التوالي

تتكوَّن الدائرة الموضَّحة في الشكل من مقاومتين موصَّلتين على التوالي، مع وجود الأميترات، A_1، A_2، A_3 موضوعة عند نقاط مختلفة في الدائرة. يقرأ الأميتر A_1 شدة تيار تساوي 4 A.



١. ما شدة التيار التي يقرؤها الأميتر الثاني، A_2؟

٢. ما شدة التيار التي يقرؤها الأميتر الثالث، A_3؟

الحل

الجزء الأول

الأميتر جهاز يقيس شدة التيار عند نقاط محددة في الدائرة.

أعطانا السؤال قيم المقاومات، لكننا في الواقع لسنا بحاجة إليها؛ لأن لدينا قراءة الأميتر A_1 مباشرة. هذه دائرة توالي؛ ومن ثَمَّ فإن شدة التيار متساوية عند جميع نقاطها. هذا يعني أن:

$$A_1 = A_2 = A_3.$$

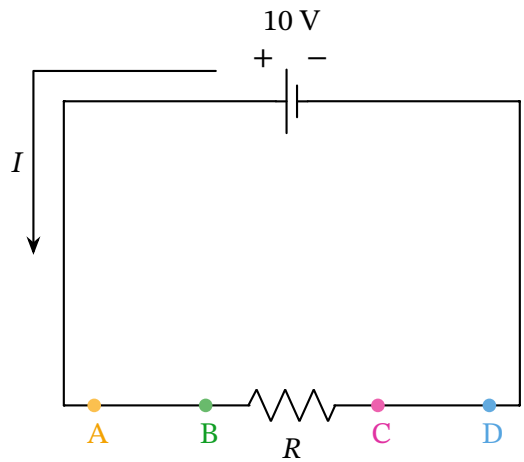
ومن ثَمَّ نجد أن شدة التيار التي يقرأها الأميتر الثاني، A_2، تساوي قراءة الأميتر A_1 أي 4 A.

الجزء الثاني

بالطريقة نفسها التي اتبعناها في الجزء 1، فالأميتر الثالث، A_3، يكافئ كلًّا من: A_1 وA_2. إذن ستكون قراءته أيضًا 4 A.

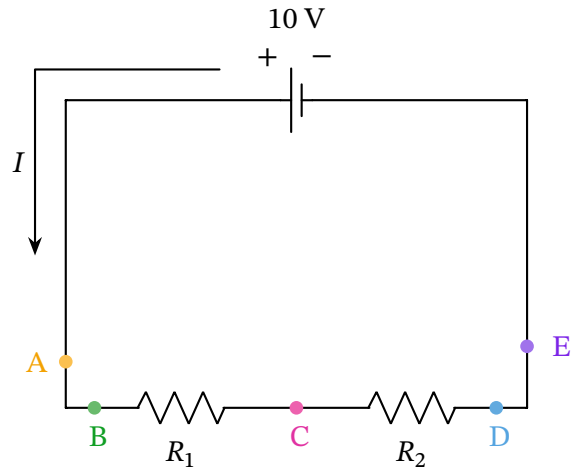
حتى الآن، تناولنا المقاومة والتيار في دوائر التوالي، لكن كيف يمكننا إيجاد فرق الجهد عبر مكوِّن في دائرة توالٍ؟

في دائرة التوالي، مجموع فروق الجهد عبر كل مكون يساوي فرق الجهد الذي توفِّره البطارية. في الدائرة الموضحة في الشكل الآتي، يوجد مكون واحد فقط، وهو المقاومة. فرق الجهد الذي توفره البطارية 10 V؛ وبذلك، يكون فرق الجهد عبر المقاومة، وهي المكون الوحيد في الدائرة، أيضًا 10 V.



يمكننا قياس فرق الجهد بين أي نقطتين في الدائرة، لكن لاحظ أننا إذا أردنا قياس فرق الجهد بين نقطتين لا توجد مكونات بينهما، مثل: A وB، أو C وD، نجد أنه يساوي 0 V.

عند وجود عدة مكونات في دائرة التوالي نفسها، يتوزع فرق الجهد بينها. لنستعرض ذلك من خلال الشكل التالي.



في الشكل السابق، توفِّر البطارية فرق جهد كلي قيمته 10 V. عند قياس فرق الجهد بين النقطتين A وE، نحصل على فرق الجهد الكامل10 V.

يُمكن كتابة فرق الجهد الكلي $V_{\text{كلي}}$ على النحو الآتي:

$$V_{\text{كلي}} = V_1 + V_2,$$

حيث يمثل V_1 وV_2 فروق الجهد عبر المقاوماتR_1 وR_2 على الترتيب.

تنطبق هذه العلاقة بغض النظر عن عدد المكوِّنات الموجودة في الدائرة، ما دامت موصَّلة على التوالي، كما هو موضح في المعادلة التالية.

قاعدة: فرق الجهد الكلي في دوائر التوالي

فرق الجهد الكلي في دائرة كهربية، $V_{\text{كلي}}$، يُعطى بالمعادلة:

$$V_{\text{كلي}} = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots,$$

حيث V_1 فرق الجهد عبر المكون الأول، V_2 فرق الجهد عبر المكون الثاني، وهكذا.

إذا افترضنا أن المقاومتين R_1 وR_2 لهما قيمة المقاومة نفسها، فإن نصيب كل مقاومة من فرق الجهد يكون النصف:

$$R_1 = R_2.$$

هذا يعني أن فرق الجهد عبر المقاومة الأولى، V_1، يساوي فرق الجهد عبر المقاومة الثانية، V_2. ومن ثَمَّ فإن فرق الجهد عبر المقاومتين، من النقطة B إلى C ومن C إلى D هو نفسه:

$$V_1 = V_2.$$

وهذا يُعطينا فرق الجهد الكلي في الدائرة على النحو الآتي:

$$V_{\text{كلي}} = V_1 + (V_1)$$
$$V_{\text{كلي}} = 2V_1.$$

بالنسبة إلى الدائرة السابقة، $V_{\text{كلي}}$ يساوي 10 V. إذا عوضنا بهذه القيمة، يمكننا إيجاد فرق الجهد عبر R_1 وR_2 بقسمة الطرفين على اثنين:

$$(10\ \text{V}) = 2V_1$$
$$\frac{10\ \text{V}}{2} = \frac{2V_1}{2}.$$

تُحذف الاثنان من الطرف الأيمن، لنحصل على:

$$5\ \text{V} = V_1.$$

لكن ليست كل الدوائر مكوَّنة من مقاومات متطابقة.

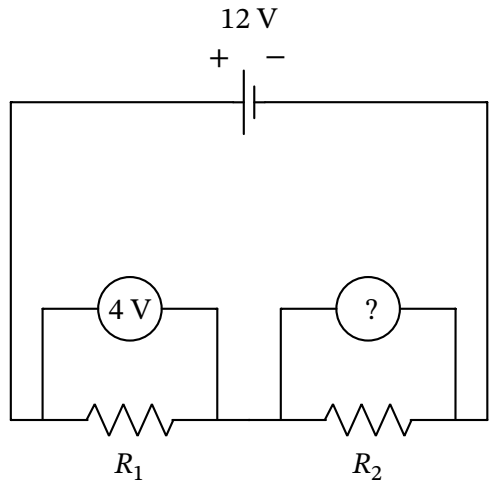
لنُلْقِ نظرة على مثال.

مثال ٣: إيجاد فرق الجهد بين مكونات موصلة على التوالي

وُصِّلت بطارية جهدها 12 V على التوالي بمقاومتين. فرق الجهد عبر المقاومة الأولى يساوي: 4 V. ما مقدار فرق الجهد عبر المقاومة الثانية؟

الحل

لنبدأ برسم مخطط للدائرة يوضح فرق الجهد عبر كل مقاومة.



فرق الجهد الكلي في الدائرة، $V_{\text{كلي}}$، تولده البطارية ذات فرق الجهد 12 V. المعادلة التي توضح العلاقة بين فرق الجهد الكلي وفرق الجهد عبر كل مقاومة هي:

$$V_{\text{كلي}} = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots.$$

في حالة وجود مقاومتين، تصبح المعادلة على النحو الآتي:

$$V_{\text{كلي}} = V_1 + V_2.$$

قيمتا المقاومتين مختلفتان؛ نظرًا لاختلاف فرق الجهد عَبْر كل منهما. فرق الجهد عبر المقاومة الأولى، V_1، يساوي 4 V.

نريد إيجاد V_2؛ لذا علينا أن نجعله في طرف بمفرده. يمكننا القيام بذلك من خلال طرح V_1 من طرفي المعادلة:

$$V_{\text{كلي}} - V_1 = V_1 + V_2 - V_1,$$

وبحذفه من الطرف الأيمن، نحصل على:

$$V_{\text{كلي}} - V_1 = V_2.$$

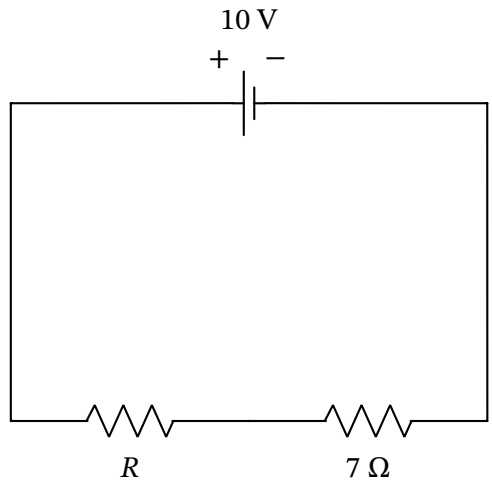
نعلم أن فرق الجهد الكلي الذي تولده البطارية يساوي 12 V وV_1 يساوي 4 V. بالتعويض بهذه القيم في المعادلة، نحصل على:

$$(12\ \text{V}) - (4\ \text{V}) = V_2$$
$$12\ \text{V} - 4\ \text{V} = 8\ \text{V}.$$

إذن، فرق الجهد عبر المقاومة الثانية يساوي 8 V.

مثال ٤: إيجاد المقاومة الكلية لمكونات موصَّلة على التوالي

يُكوِّن طالب الدائرة الموضَّحة في الشكل. إذا كانت قيمة R تساوي 3 Ω، فما شدة التيار المار عَبْرَ الدائرة؟



الحل

نريد إيجاد شدة التيار في هذه الدائرة. ومُعطى لنا فرق جهد البطارية وقيم المقاومات. لكي نوجد شدة التيار الكلية في الدائرة، علينا استخدام قانون أوم.

تذكر معادلة قانون أوم:

$$V = IR_{\text{كلي}},$$

حيث V فرق الجهد الكلي، I شدة التيار الكلية، $R_{\text{كلي}}$ المقاومة الكلية للدائرة.

نريد إيجاد شدة التيار الكلية؛ إذن سنجعل I في طرف بمفرده. يمكننا قسمة الطرفين على $R_{\text{كلي}}$ لحذف $R_{\text{كلي}}$ في الطرف الأيمن:

$$\frac{V}{R_{\text{كلي}}} = \frac{IR_{\text{كلي}}}{R_{\text{كلي}}}$$
$$\frac{V}{R_{\text{كلي}}} = I.$$

لدينا القيمة التي نحتاج إليها لفرق الجهد، وهي 10 V، لكننا نحتاج إلى المقاومة الكلية للدائرة، وليس فقط قيم المقاومات المنفردة. وبما أن المقاومات موصلة على التوالي، يمكننا استخدام المعادلة:

$$R_{\text{كلي}} = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots.$$

لجمع قيم المقاومات معًا. R تساوي 3 Ω والمقاومة المعطاة تساوي 7 Ω، مما يعني أن المقاومة الكلية ستكون كالآتي:

$$R_{\text{كلي}} = 3\ \Omega + 7\ \Omega$$
$$R_{\text{كلي}} = 10\ \Omega.$$

والآن نعوض بقيم فرق الجهد 10 V، والمقاومة الكلية، 10 Ω لإيجاد شدة التيار:

$$\frac{10\ \text{V}}{10\ \Omega} = I.$$

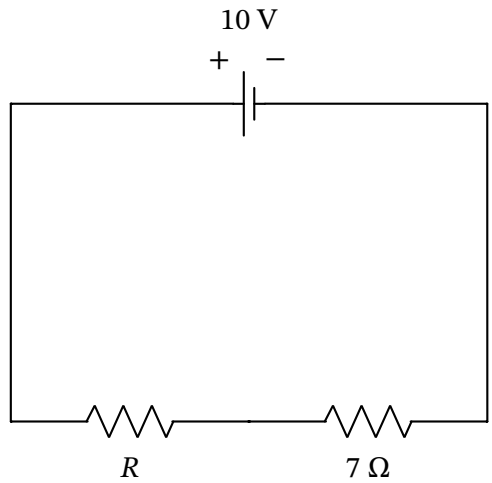
فولت على أوم يساوي أمبير، إذن فالإجابة هي:

$$\frac{10\ \text{V}}{10\ \Omega} = 1\ \text{A}.$$

شدة التيار المار عَبْر الدائرة تساوي أمبير واحد.

مثال ٥: إيجاد مقاومة مكونات موصلة على التوالي

يوضح الشكل دائرة يمر بها تيار شدته 0.5 A. ما قيمة R؟



الحل

قيمة شدة التيار
معطاة، لكن قيمة إحدى المقاومات مجهولة. لنُلقِ نظرة على معادلة قانون أوم، بما أننا نحتاج إلى إيجاد المقاومة الكلية، $R_{\text{كلي}}$

:

$$V = IR_{\text{كلي}}.$$

تحتوي دائرة التوالي هذه على مقاومتين سنطلق عليهما R_1 (القيمة المجهولة) وR_2 (القيمة المعطاة 7 Ω). في هذه الحالة، تُعطى المقاومة الكلية بالعلاقة:

$$R_{\text{كلي}} = R_1 + R_2.$$

يمكننا التعويض بهذه المعادلة عن المقاومة الكلية في قانون أوم لنحصل على:

$$V = I\left(R_1 + R_2\right).$$

القيمة المجهولة هي R_1؛ لذلك سنجعله في طرف بمفرده. نبدأ بقسمة الطرفين على I:

$$\frac{V}{I} = \frac{I\left(R_1 + R_2\right)}{I},$$

وهو ما يحذف I من الطرف الأيمن ليعطينا:

$$\frac{V}{I} = \left(R_1 + R_2\right).$$

والآن كل ما علينا فعله هو طرح R_2 من كلا الطرفين:

$$\frac{V}{I} - R_2 = \left(R_1 + R_2\right) - R_2,$$

وهو ما يحذف R_2 من الطرف الأيمن:

$$\frac{V}{I} - R_2 = R_1.$$

فرق الجهد يساوي 10 V وشدة التيار تساوي 0.5 A وR_2 تساوي 7 Ω. بالتعويض بهذه القيم، نحصل على:

$$\frac{10\ \text{V}}{0.5\ \text{A}} - 7\ \Omega = R_1.$$

فولت على أمبير يُعطينا أوم، وبذلك تصبح المعادلة على النحو الآتي:

$$\begin{aligned} 20\ \Omega - 7\ \Omega &= R_1 \\ 20\ \Omega - 7\ \Omega &= 13\ \Omega, \end{aligned}$$

وهو ما يعني أن المقاومة المجهولة، R_1 تساوي 13 Ω.

لنلخص ما تعلمناه في هذا الشارح.

النقاط الرئيسية

- تكون المكونات في الدائرة الكهربية موصلة على التوالي إذا كانت موضوعة واحدة تلو الأخرى في المسار نفسه.
- عند توصيل المكونات على التوالي، يمكن إيجاد المقاومة الكلية باستخدام المعادلة التالية:

$$R_{\text{كلي}} = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots,$$

حيث $R_{\text{كلي}}$ المقاومة الكلية للدائرة.

- عند توصيل المكونات على التوالي، يمكن إيجاد فرق الجهد الكلي باستخدام المعادلة التالية:

$$V_{\text{كلي}} = V_1 + V_2 + V_3 + \cdots,$$

حيث $V_{\text{كلي}}$ فرق الجهد الكلي للدائرة.

- عند توصيل المكونات على التوالي، تحقق شدة التيار المعادلة التالية:

$$I_1 = I_2 = I_3 = \cdots.$$