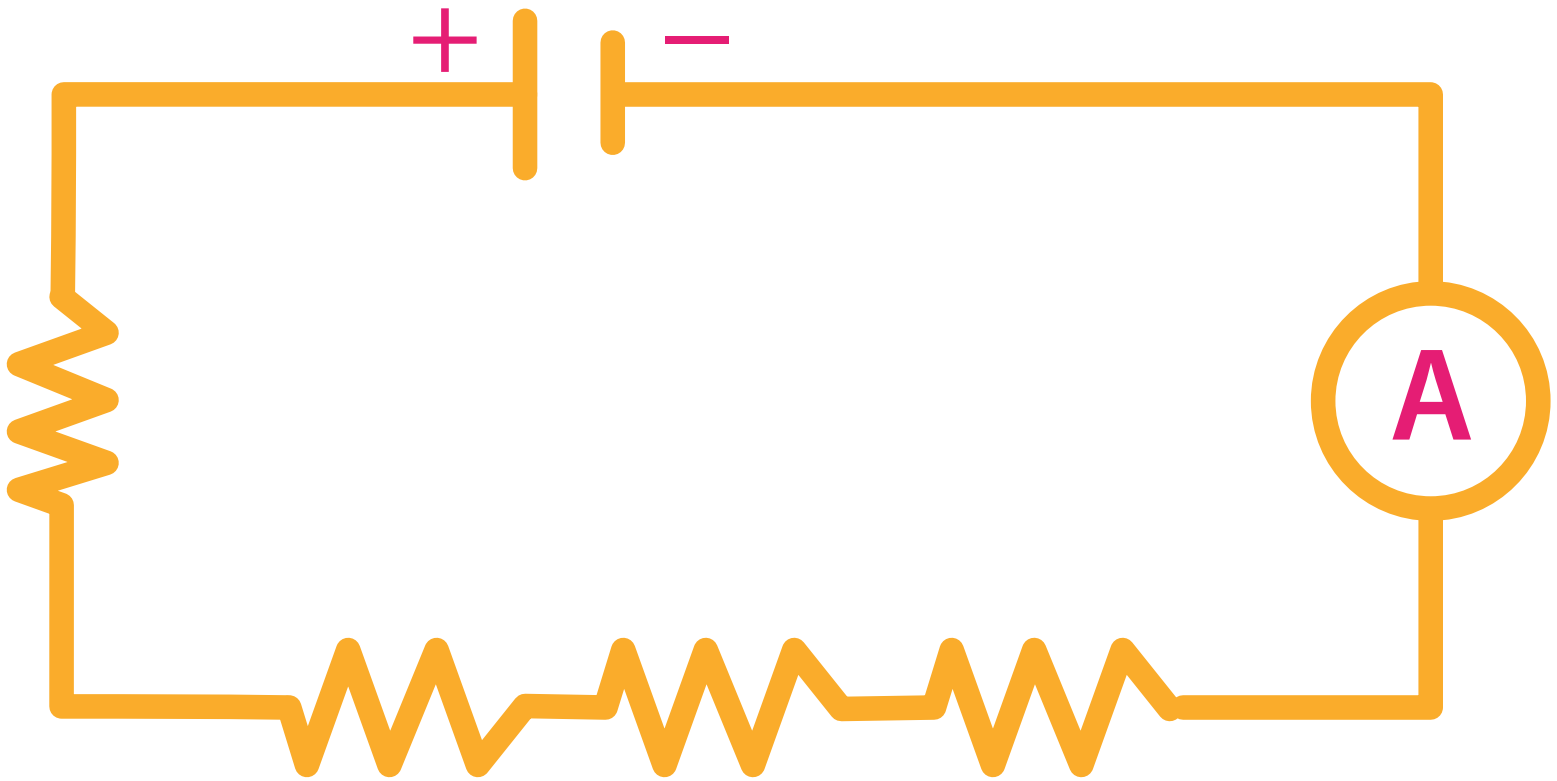


دوائر التوالي الكهربية

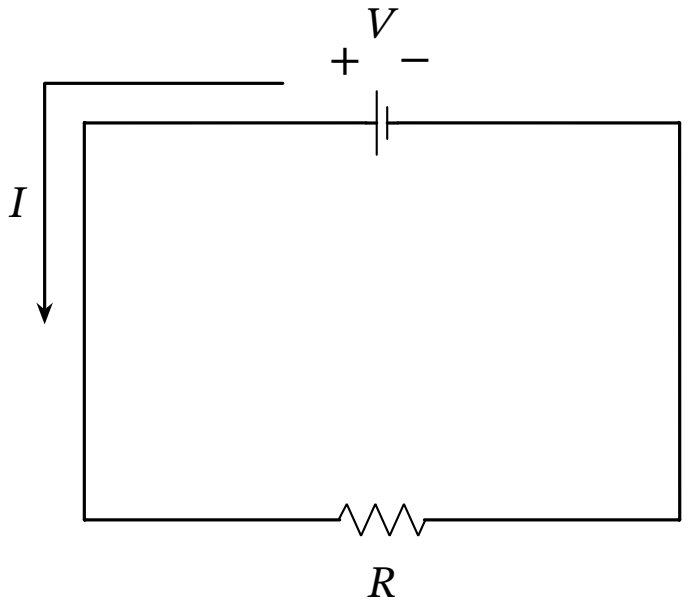
أهداف الدرس

ستتمكَّن من:

- تذكر أن توصيل مكوِّنين على التوالي يعني أنهما موضوعان الواحد تلو الآخَر على المسار نفسه في الدائرة الكهربية
- إدراك إذا ما كانت دائرتان كهربيتان موصَّلتان على التوالي متكافئتين بناء على الأشكال المرسومة باختلافات بسيطة
- استخدام $V_{\text{الكلي}} = V_1 + V_2 \ldots$ مع المكوِّنات الموصَّلة على التوالي
- استخدام $I_1 = I_2 = \ldots$ مع المكوِّنات الموصَّلة على التوالي
- استخدام $R_{\text{الكلي}} = R_1 + R_2 \ldots$ مع المكوِّنات الموصَّلة على التوالي

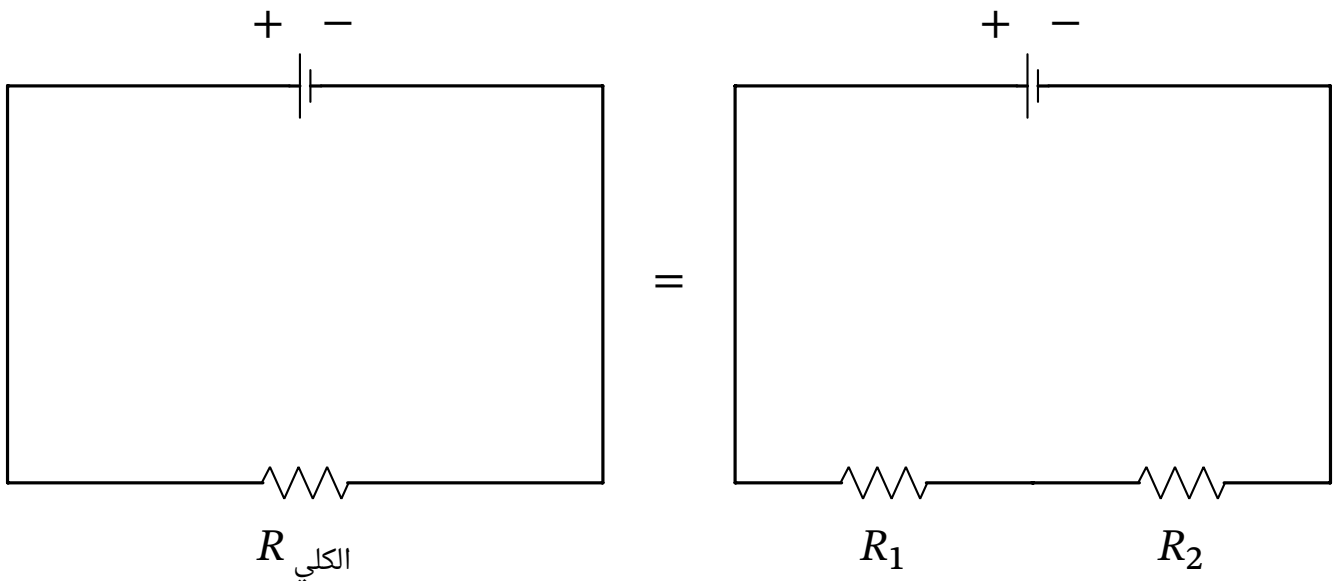
تحديد مخطَّطات الدوائر الكهربية المتكافئة

يوضِّح الشكل الآتي دائرة كهربية تتكوَّن من بطارية ومقاومة. فرق الجهد الذي توفِّره البطارية V، وشدَّة التيار في الدائرة I، وقيمة المقاومة R.



مقاومة المكوِّنات الموصَّلة على التوالي

لا تتكوَّن الدائرة دائمًا من مكوِّن واحد، كما في الشكل السابق. وعندما تُوصَّل عدَّة مكوِّنات معًا في مسار مُغلَق؛ بحيث يُوضَع بعضها تلو الآخَر في نفس الخط، نقول إنها موصَّلة على التوالي. عندما تُوصَّل المكوِّنات على التوالي، يُمكن التعامل مع مقاوماتها كما لو كانت مكوِّنًا واحدًا، كما هو موضَّح في الشكل الآتي.



ونقوم بذلك عن طريق حساب مجموع مقاومات جميع مكوِّنات الدائرة.

قاعدة: المقاومة الكلية للمقاومات الموصَّلة على التوالي

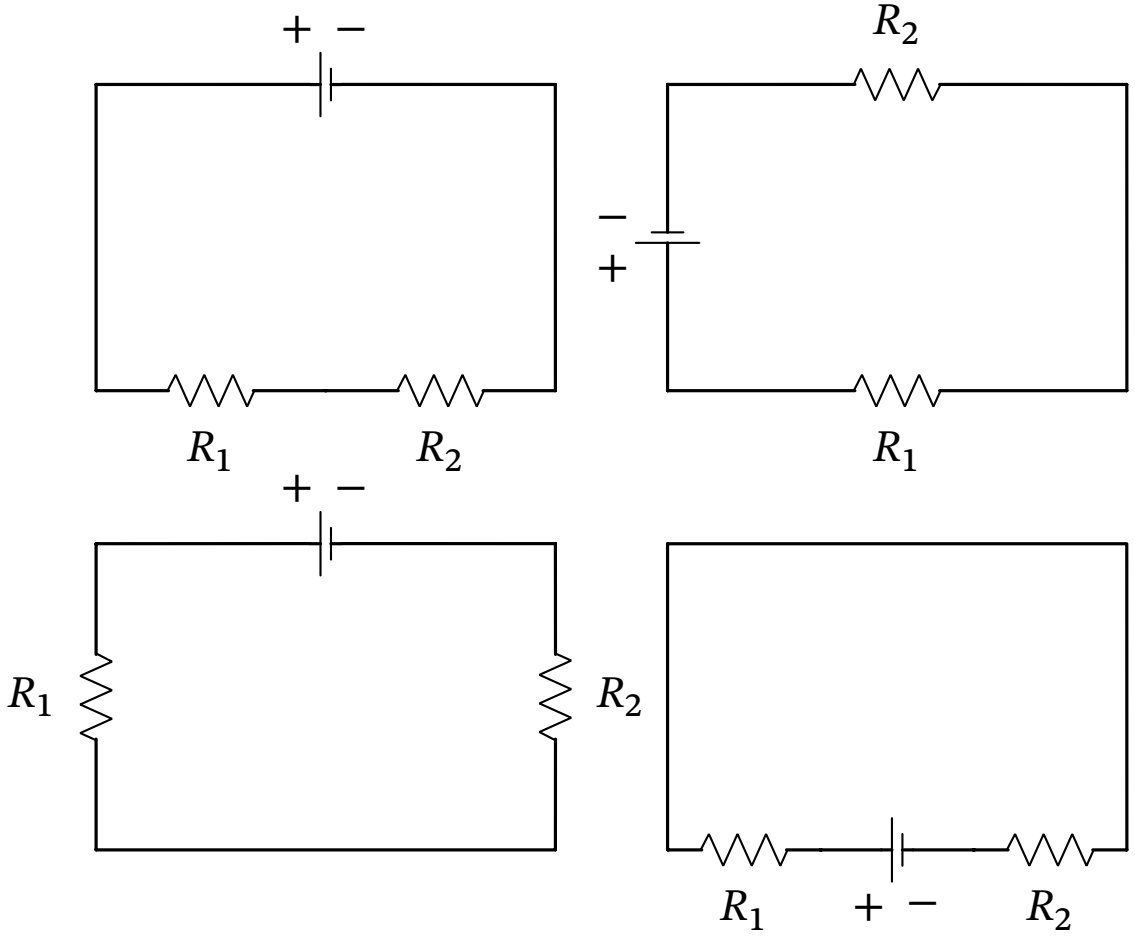
تُعطَى المقاومة الكلية في دائرة كهربية $R_{\text{الكلي}}$ بالمعادلة:

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

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

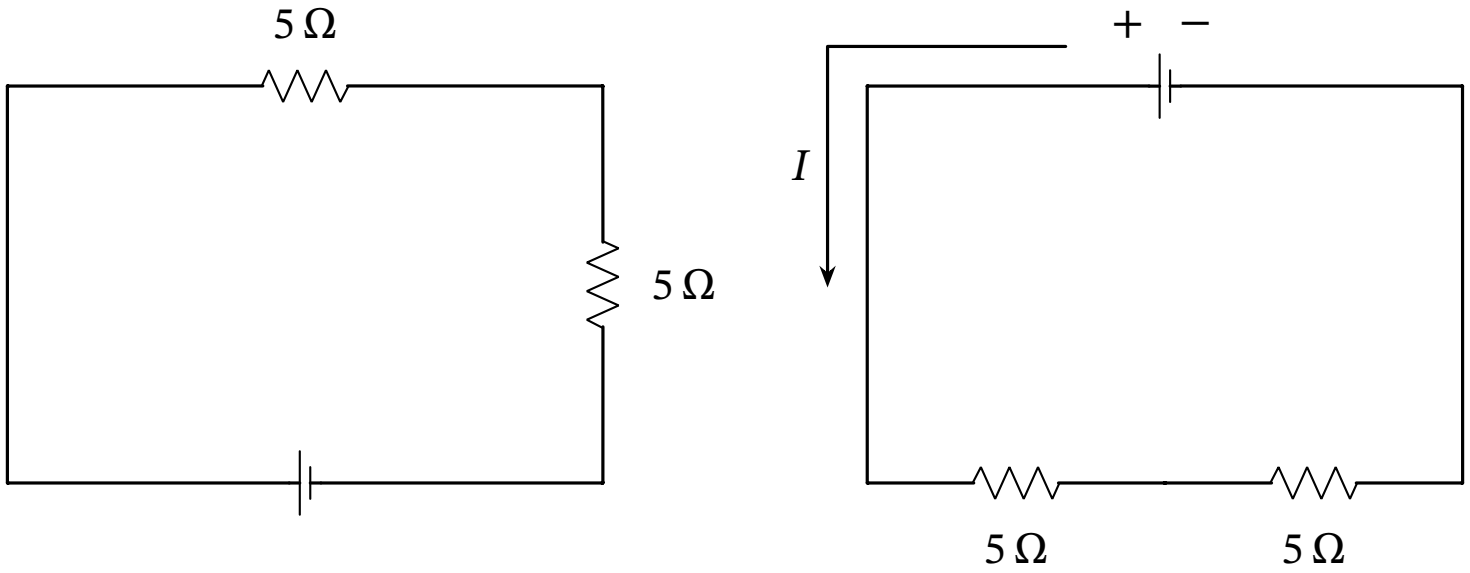
المقاومة في دوائر التوالي الكهربية

إن طريقة وضع المكوِّنات في الدائرة لا تؤثِّر على المقاومة الكلية ما دامت المكوِّنات موصَّلة معًا على التوالي. توضِّح مخطَّطات الدوائر الآتية بطارية متَّصِلة بمقاومتين، مع اختلاف أوضاعها. هذه الدوائر كلها متكافئة. ويُمكن وصفها جميعًا بأنها عبارة عن بطارية، تليها المقاومة R_1، ثم المقاومة R_2.



مثال ١: تحديد مخطَّطات الدوائر الكهربية المتكافئة

يوضِّح الشكل دائرتين. هل الدائرتان متكافئتان؟ إنْ لم تكونا كذلك، فلماذا؟



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

ب. لا؛ لأن المقاومات في مواضع مختلفة.

مثال ١ (متابعة)

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

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

هـ. نعم، الدائرتان متكافئتان.

الحل

يُمكن توصيل المكوِّنات بأيٍّ من الطريقتين في الدائرة، وسنحصل على المقاومة الكلية نفسها. المقاومات تسلك السلوك نفسه بغضِّ النظر عن كيفية توصيلها في الدائرة؛ ومن ثَمَّ فإن اتجاه التيار لا يُهِمُّ. إذن الإجابة ليست الخيار أ، ولا الخيار ج؛ لأن عكس اتجاه البطارية يعني تبديل اتجاه التيار.

إن وجود المقاومات في مواضع مختلفة لا يؤثِّر على تكافُئِها، ما دامت موصَّلة على المسار نفسه في الدائرة؛ أيْ على التوالي. إذن الإجابة ليست ب.

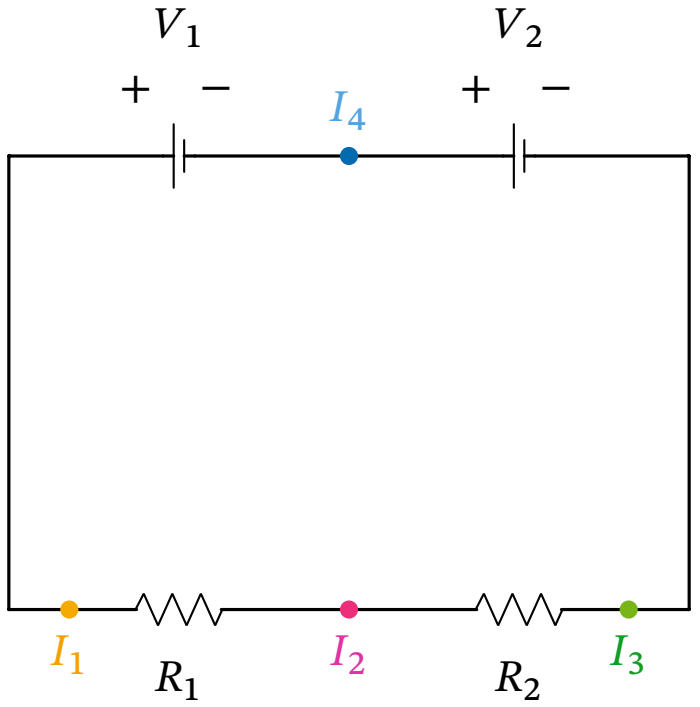
مثال ١ (متابعة)

توضِّح الدائرة الأولى اتجاه التيار I والطرفين الموجب والسالب للبطارية. في الدائرة الثانية، اتجاه التيار أو طرفا البطارية غير موضَّحين، لكننا ما زلنا نعلم أنها تحتوي على بطارية ويمرُّ بها تيار. ولا يؤثِّر توضيح الرموز على الدائرة على تكافُئها من عدمه. إذن الإجابة ليست د.

تُوجَد بطارية تتبعها مقاومتان قيمة كلٍّ منهما $5\ \Omega$. وهذه العبارة تَصِف كلتا الدائرتين. إذن الإجابة الصحيحة هي هـ: الدائرتان متكافئتان.

قاعدة: شدَّة التيار الكهربي في دوائر التوالي

على النقيض من قياس المقاومة، لا يتطلَّب قياس شدَّة التيار في دائرة التوالي إجراء أيِّ عمليات جمع على الإطلاق. ويرجع ذلك إلى كونها متساوية عند كلِّ نقطة في الدائرة. بالنظر إلى الشكل الآتي، نلاحِظ عدَّة نقاط محدَّدة.



شدَّة التيار هي نفسها عند كلٍّ من هذه النقاط. عدد الإلكترونات التي تمرُّ بهذه النقاط هو نفسه؛ إذ إنها جميعًا تسلك مسارًا واحدًا فقط. ولا تزيد البطارية والمقاومات عدد الإلكترونات الموجودة عند نقاط محدَّدة في الدائرة أو تُنقِصها.

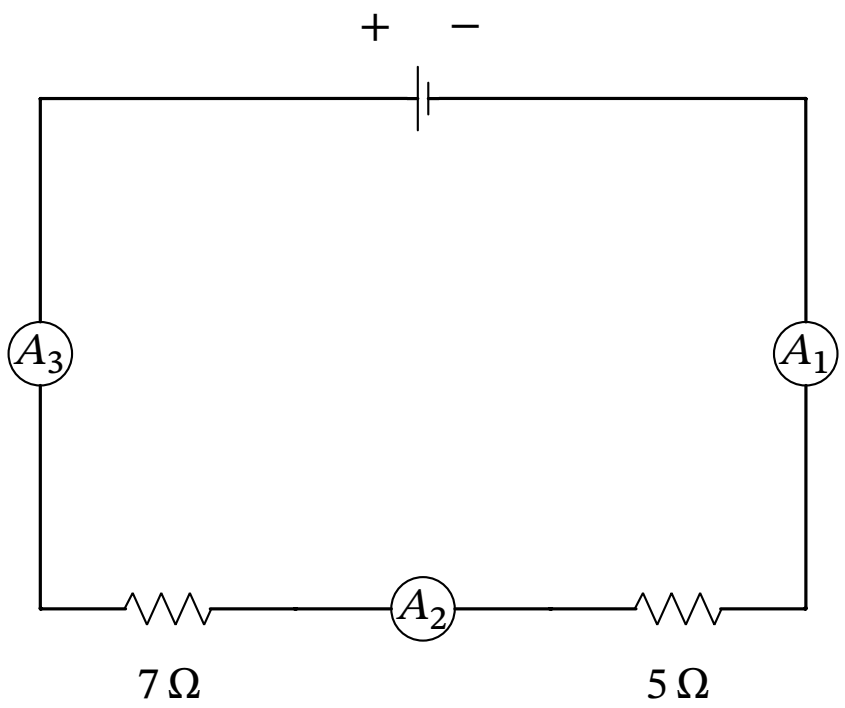
قاعدة: شدَّة التيار في دوائر التوالي

في دائرة موصَّلة على التوالي، شدَّة التيار عند النقطة 1، I_1، تساوي شدَّة التيار عند النقطة 2، I_2، وهكذا لأيِّ نقطة مَقيسة:

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

مثال ٢: إيجاد شدَّة التيار المار عبر مكوِّنات 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 شدَّة تيار تساوي $4\,\text{A}$.



مثال ٢ (متابعة)

الجزء الأول

ما شدَّة التيار التي يقرؤها الأميتر الثاني، A_2؟

الحل

الأميتر جهاز يقيس شدَّة التيار عند نقاط محدَّدة في الدائرة.

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

$$A_1 = A_2 = A_3.$$

ومن ثَمَّ نجد أن شدَّة التيار التي يقرؤها الأميتر الثاني، A_2، تساوي قراءة الأميتر A_1، أيْ $4\,\text{A}$.

مثال ٢ (متابعة)

الجزء الثاني

ما شدَّة التيار التي يقرؤها الأميتر الثالث، A_3؟

الحل

الأميتر جهاز يَقيس شدَّة التيار عند نقاط محدَّدة في الدائرة.

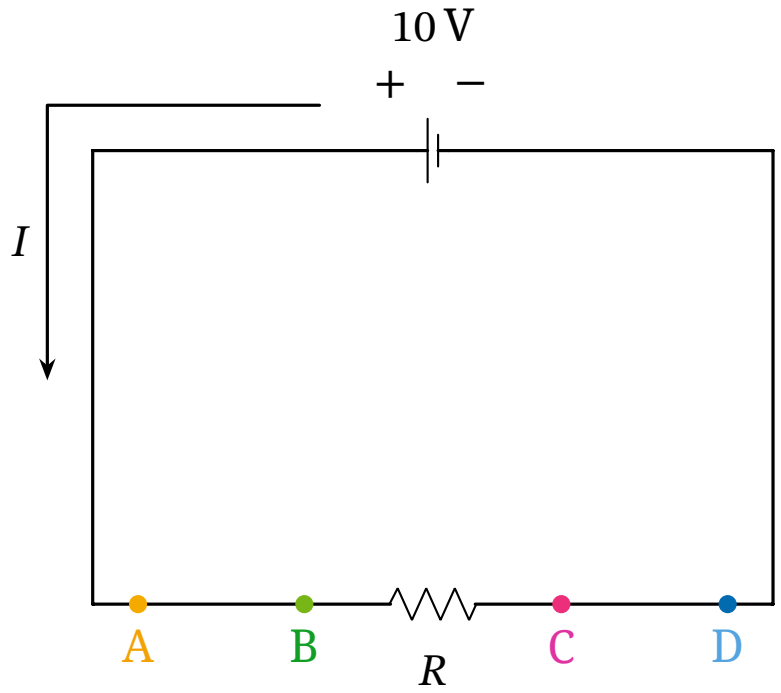
أعطانا السؤال قيمتي المقاومتين، لكننا في الواقع لسنا بحاجة إليها؛ لأن لدينا قراءة الأميتر A_1 مباشرة. هذه دائرة توالي؛ ومن ثَمَّ فإن شدَّة التيار متساوية عند جميع نقاطها. هذا يعني أن:

$$A_1 = A_2 = A_3.$$

بالطريقة نفسها التي اتبعناها في الجزء الأول، فالأميتر الثالث، A_3، يكافئ كلًّا من: A_1، A_2. إذن ستكون قراءته أيضًا 4 A.

فرق الجهد الكلي في دوائر التوالي

في دائرة التوالي، مجموع فروق الجهد عبر كل مكوِّن يساوي فرق الجهد الذي توفِّره البطارية. في الدائرة الموضَّحة في الشكل الآتي، يُوجَد مكوِّن واحد فقط، وهو المقاومة. فرق الجهد الذي توفِّره البطارية 10 V؛ وبذلك يكون فرق الجهد عبر المقاومة، وهي المكوِّن الوحيد في الدائرة، أيضًا 10 V.

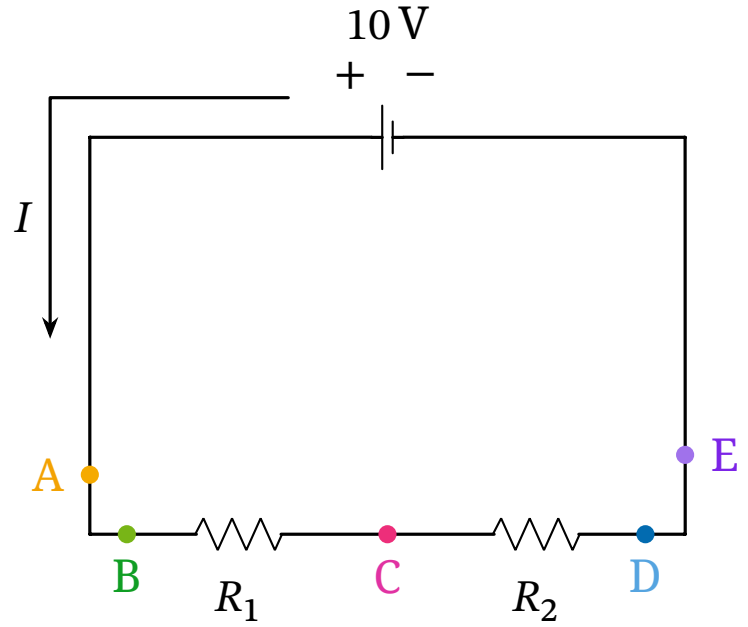


فرق الجهد الكلي في دوائر التوالي (متابعة)

يُمكننا قياس فرق الجهد بين أيِّ نقطتين في الدائرة، لكن لاحِظ أننا إذا أردنا قياس فرق الجهد بين نقطتين لا تُوجَد مكوِّنات بينهما، مثل: A ،B، أو C ،D، نجد أنه يساوي 0 V.

فرق الجهد الكلي في دوائر التوالي (متابعة)

عند وجود عدَّة مكوِّنات في دائرة التوالي نفسها، يتوزَّع فرق الجهد بينها.



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

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

$$V_{\text{الكلي}} = V_1 + V_2,$$

حيث يمثِّل V_1 وV_2 فرقَي الجهد عبر المقاومتين R_1 وR_2 على الترتيب.

قاعدة: فرق الجهد الكلي في دوائر التوالي

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

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

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

فرق الجهد عبر مقاومات لها قيمة المقاومة نفسها

يُمكننا أن نفترض أن لدينا مقاومتين موصَّلتين على التوالي، R_1 وR_2؛ حيث $R_1 = R_2$.

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

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:

$$V_{\text{الكلي}} = V_1 + (V_1)$$

$$V_{\text{الكلي}} = 2V_1.$$

فرق الجهد عبر مقاومات لها قيمة المقاومة نفسها (متابعة)

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

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

تُحذَف الاثنان من الطرف الأيمن، لنحصل على:

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

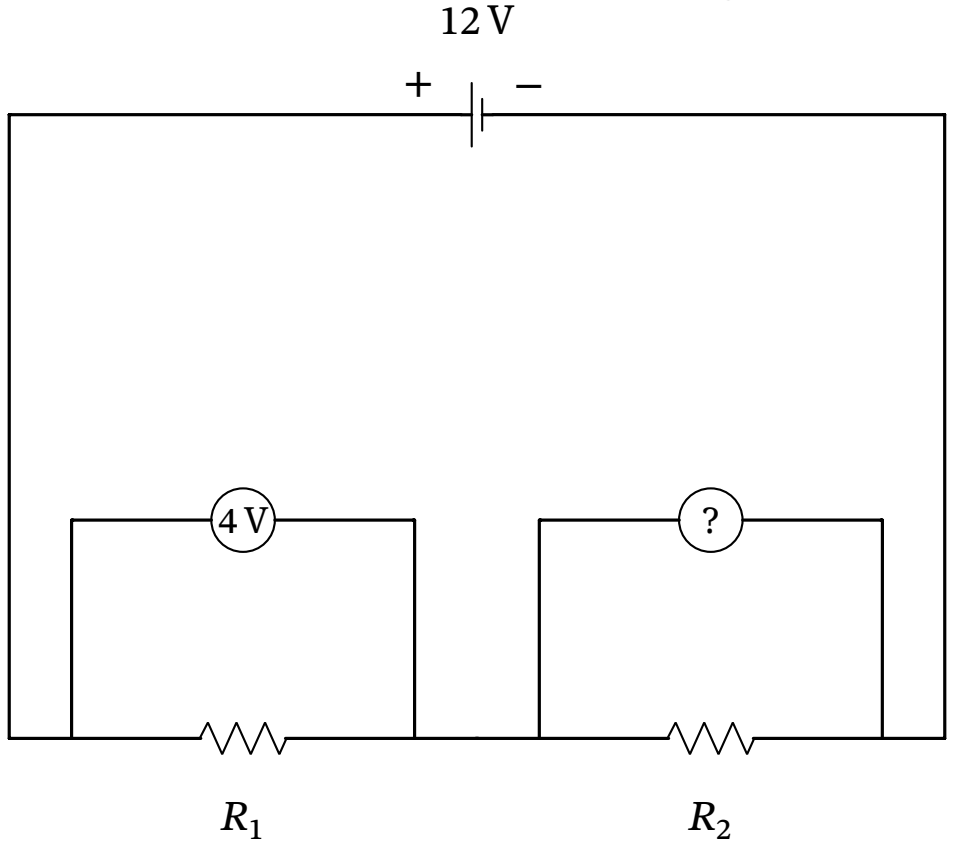
لكن ليست كل الدوائر مكوَّنة من مقاومات متطابقة.

مثال ٣: إيجاد فرق الجهد عبر مكوِّنات موصَّلة 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 مخطَّط للدائرة يوضِّح فرق الجهد عبر كل مقاومة.



مثال ٣ (متابعة)

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

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

في حالة وجود مقاومتين، تصبح المعادلة على النحو الآتي:

$$V_{\text{الكلي}} = V_1 + V_2.$$

قيمتا المقاومتين مختلفتان؛ نظرًا لاختلاف فرق الجهد عَبْر كلٍّ منهما. فرق الجهد عبر المقاومة الأولى، V_1، يساوي $4\,\text{V}$.

مثال ٣ (متابعة)

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

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

وبحذفه من الطرف الأيمن، نحصل على:

$$V_{\text{الكلي}} - V_1 = V_2.$$

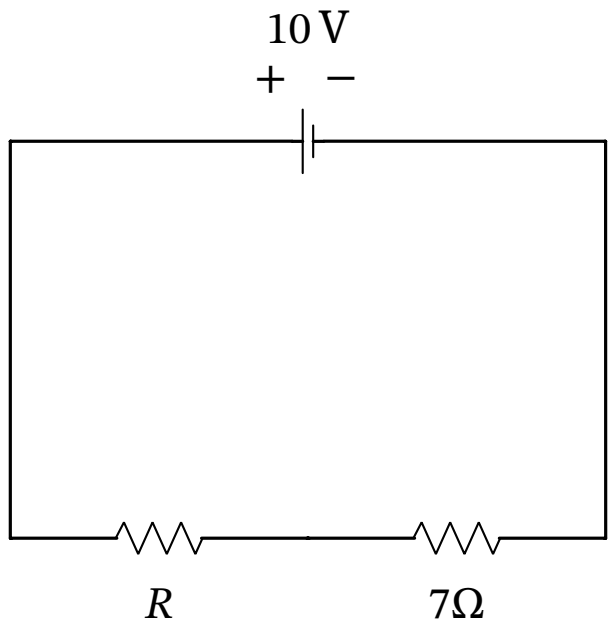
نعلم أن فرق الجهد الكلي الذي تولِّده البطارية يساوي $12\,\text{V}$ وV_1 يساوي $4\,\text{V}$. بالتعويض بهذه القِيَم في المعادلة، نحصل على:

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

إذن فرق الجهد عبر المقاومة الثانية يساوي $8\,\text{V}$.

مثال ٤: إيجاد المقاومة الكلية لمكوِّنات موصَّلة على التوالي

يُكوِّن طالب الدائرة الموضَّحة في الشكل. إذا كانت قيمة R تساوي $3\ \Omega$، فما شدَّة التيار المار عَبْرَ الدائرة؟



الحل

نريد إيجاد شدَّة التيار في هذه الدائرة. ومُعطًى لنا فرق جهد البطارية وقيمتا المقاومتين. لكي نُوجِد شدَّة التيار الكلية في الدائرة، علينا استخدام قانون أوم.

مثال ٤ (متابعة)

تذكَّر معادلة قانون أوم:

$$V = IR_{\text{الكلي}},$$

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

نريد إيجاد شدَّة التيار الكلية؛ إذن سنجعل I في طرف بمفرده. يُمكننا قسمة الطرفين على $R_{\text{الكلي}}$ لحذف $R_{\text{الكلي}}$ مِن الطرف الأيمن:

$$\frac{V}{R_{\text{الكلي}}} = \frac{IR_{\text{الكلي}}}{R_{\text{الكلي}}}$$

$$\frac{V}{R_{\text{الكلي}}} = I.$$

مثال ٤ (متابعة)

لدينا القيمة التي نحتاج إليها لفرق الجهد، وهي $10\,\text{V}$، لكننا نحتاج إلى المقاومة الكلية للدائرة، وليس فقط قيمتي المقاومتين المنفردتين. وبما أن المقاومتين موصلتان على التوالي، يُمكننا استخدام المعادلة:

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

يُمكننا جمع قيمتي المقاومتين معًا. R تساوي $3\,\Omega$، والمقاومة المعطاة تساوي $7\,\Omega$، وهو ما يعني أن المقاومة الكلية ستكون كالآتي:

$$R_{\text{الكلي}} = 3\,\Omega + 7\,\Omega$$

$$R_{\text{الكلي}} = 10\,\Omega.$$

مثال ٤ (متابعة)

والآن نعوِّض بقِيَم فرق الجهد $10\,\mathrm{V}$، والمقاومة الكلية، $10\,\Omega$ لإيجاد شدَّة التيار:

$$\frac{10\,\mathrm{V}}{10\,\Omega} = I.$$

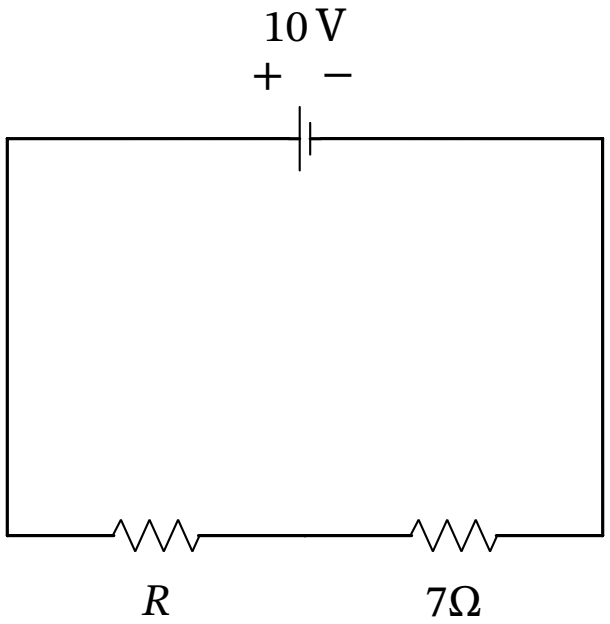
فولت على أوم يساوي أمبير، إذن الإجابة هي:

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

شدَّة التيار المار عبر الدائرة تساوي أمبير واحدًا.

مثال ٥: إيجاد مقاومة مكوِّنات موصَّلة على التوالي

يوضِّح الشكل دائرة يمرُّ بها تيار شدَّته $0.5\,\text{A}$. ما قيمة R؟



مثال ٥ (متابعة)

الحل

قيمة شدَّة التيار مُعطاة، لكن قيمة إحدى المقاومات مجهولة. لنُلقِ نظرةً على معادلة قانون أوم، بما أننا نحتاج إلى إيجاد المقاومتين الكلية، $R_{\text{الكلي}}$:

$$V = IR_{\text{الكلي}}.$$

تحتوي دائرة التوالي هذه على مقاومتين سنُطلِق عليهما R_1 (القيمة المجهولة) وR_2 (القيمة المُعطاة $7\,\Omega$).

في هذه الحالة، تُعطَى المقاومة الكلية بالعلاقة:

$$R_{\text{الكلي}} = R_1 + R_2.$$

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

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

مثال ٥ (متابعة)

القيمة المجهولة هي R_1؛ لذلك سنجعلها في طرف بمفردها. لنبدأ بقسمة الطرفين على I:

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

وهو ما يحذف I من الطرف الأيمن ليعطينا:

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

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

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

وهو ما يَحذف R_2 من الطرف الأيمن:

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

مثال ٥ (متابعة)

فرق الجهد يساوي $10\,\text{V}$، وشدَّة التيار تساوي $0.5\,\text{A}$، وR_2 تساوي $7\,\Omega$. بالتعويض بهذه القِيَم، 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:

$$20\,\Omega - 7\,\Omega = R_1$$

$$20\,\Omega - 7\,\Omega = 13\,\Omega,$$

وهو ما يعني أن المقاومة المجهولة، R_1 تساوي $13\,\Omega$.

النقاط الرئيسية

- تكون المكوِّنات في الدائرة الكهربية موصَّلة على التوالي إذا كانت موضوعة واحدة تلو الأخرى في المسار نفسه. عند توصيل المكوِّنات على التوالي، يُمكن إيجاد المقاومة الكلية باستخدام المعادلة الآتية:

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

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

- عند توصيل المكوِّنات على التوالي، يُمكن إيجاد فرق الجهد الكلي باستخدام المعادلة الآتية:

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

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

- عند توصيل المكوِّنات على التوالي، نُوجَد شدة التيار من المعادلة الآتية:

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