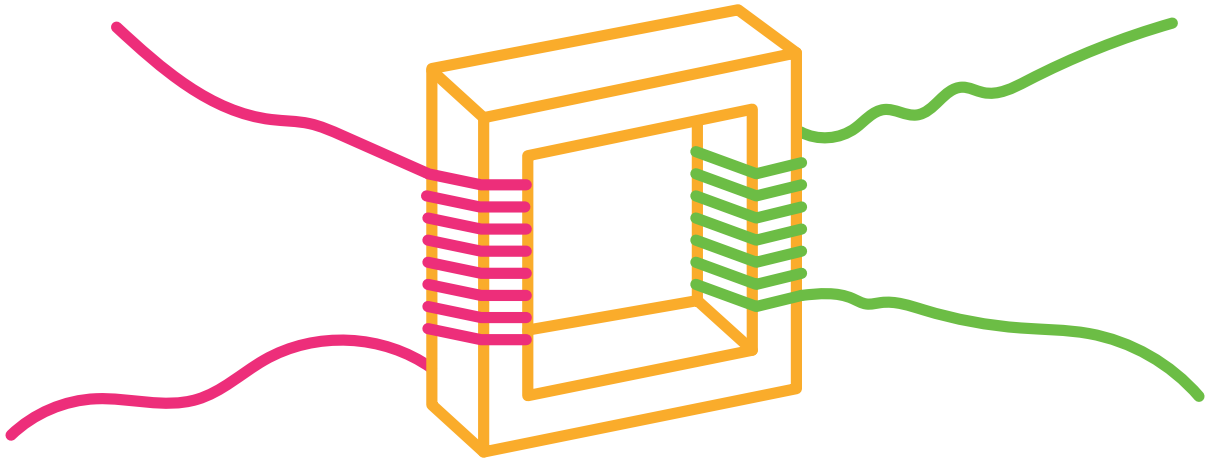
الحثُّ الكهرومغناطيسي في المحوِّلات الكهربية



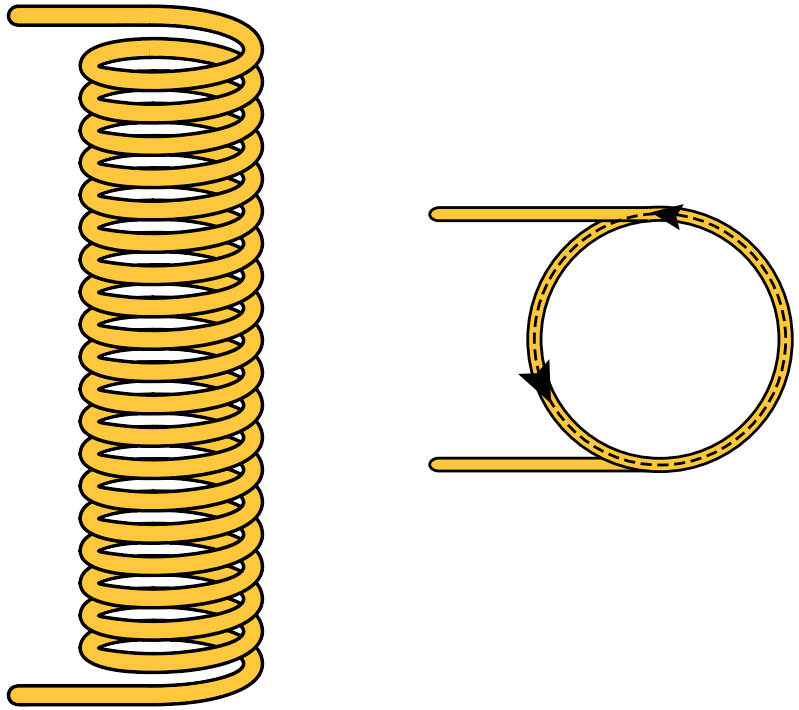
أهداف الدرس

ستتمكَّن من:

- معرفة أن المحوِّلات تُستخدم مع التيار المتردد
- معرفة أن المحوّلِات تُغيِّر كلًّا من فرق الجهد والتيار للإشارة الكهربية
- معرفة أنه يمكن استخدام المواد المغناطيسية قلوبًا للمحوِّلات
- استخدام المعادلة $\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2}$ لإيجاد أي مجهول
- استخدام المعادلة $V_1 I_1 = V_2 I_2$ لإيجاد أي مجهول

تذكير: الملفات اللولبية

يوضح الشكل الآتي ملفًا لولبيًّا، يُعرَض بصورة جانبية وبصورة عمودية على مساحة حلقاته.



في عرض الملف اللولبي عموديًّا على مساحة حلقاته، يظهر اتجاه التيار في حلقات الملف اللولبي من خلال السهم المتقطع.

تذكير: الحث الكهرومغناطيسي في الملف الموصِّل

الحث الكهرومغناطيسي هو اسم العملية التي تؤثر فيها قوة على الشحنات في موصِّل، ما ينتج عنه حركة مُحصِّلة للشحنات الحرة.

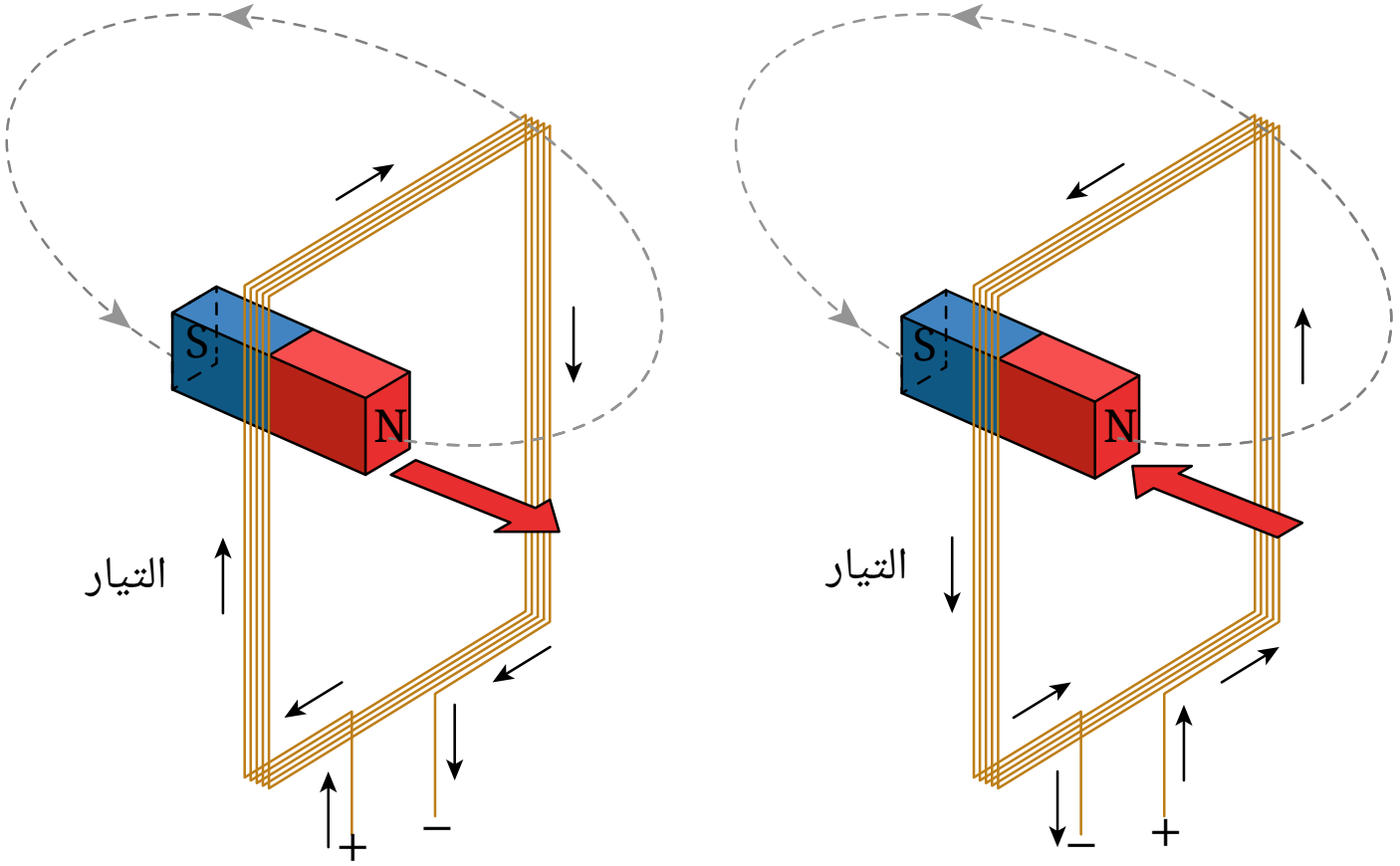
يتطلب الحث الكهرومغناطيسي تغيُّر مقدار المجال المغناطيسي في موقع الموصِّل.

يشير التيار المستحث في ملف نتيجة حث كهرومغناطيسي إلى تدفُّق إلى تدفُّق مستحث للشحنات:

- حول الملف
- مستمر طوال الفترة الزمنية التي يتغير فيها المجال المغناطيسي في موقع الملف.

تذكير: الحث الكهرومغناطيسي في الملف الموصِّل (متابعة)

يوضِّح الشكل الآتي مثالًا على الحث الكهرومغناطيسي باستخدام قضيب مغناطيسي متحرِّك وملف من سلك مصنوع من مادة موصِّلة.



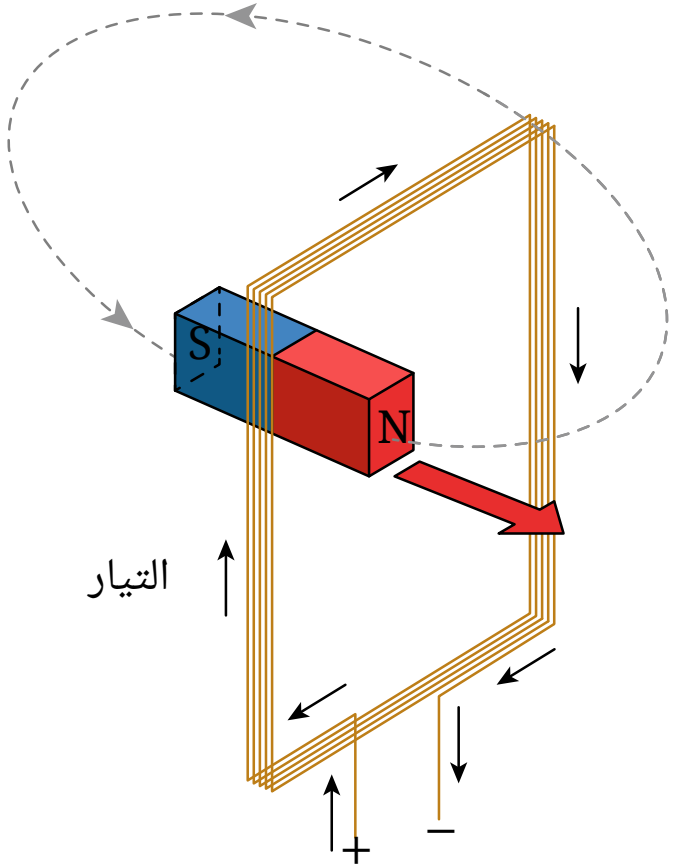
تحرَّك المغناطيس في اتجاه الملف

تحرَّك المغناطيس بعيدًا عن الملف

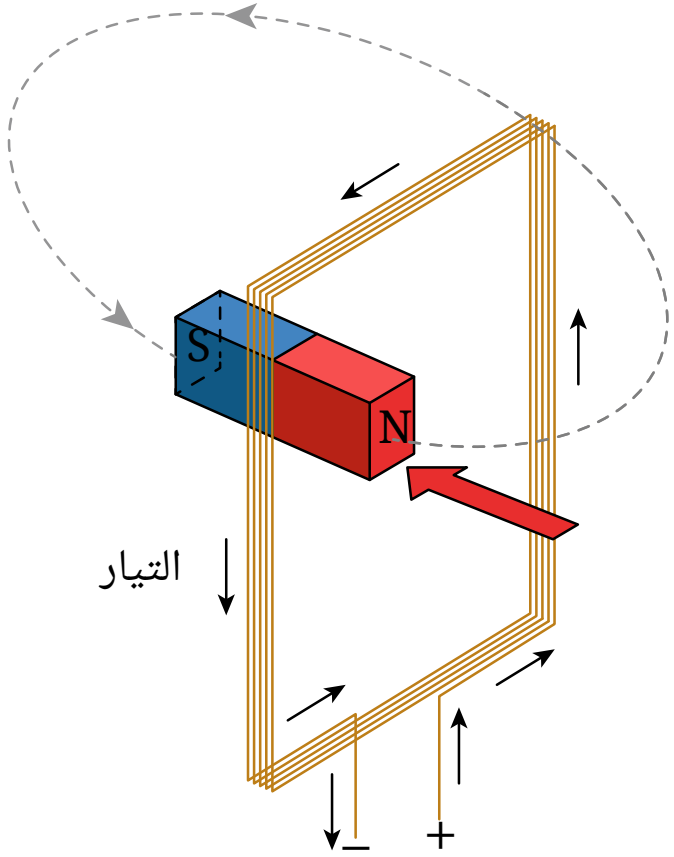
يَظهَر خطٌّ واحد فقط من المجال المغناطيسي للقضيب المغناطيسي. وفي الواقع، تتحرَّك خطوط المجال من القطب الشمالي للمغناطيس إلى القطب الجنوبي تحرُّكًا متماثلًا في جميع الاتجاهات.

تذكير: الحث الكهرومغناطيسي في الملف الموصِّل (متابعة)

يَنتُج عن تحرُّك القضيب المغناطيسي، في اتجاه الملف أو بعيدًا عنه، تغيُّر في شدَّة المجال المغناطيسي في الملف. ثم يَنتُج تيار بسبب تغيُّر شدَّة المجال المغناطيسي.



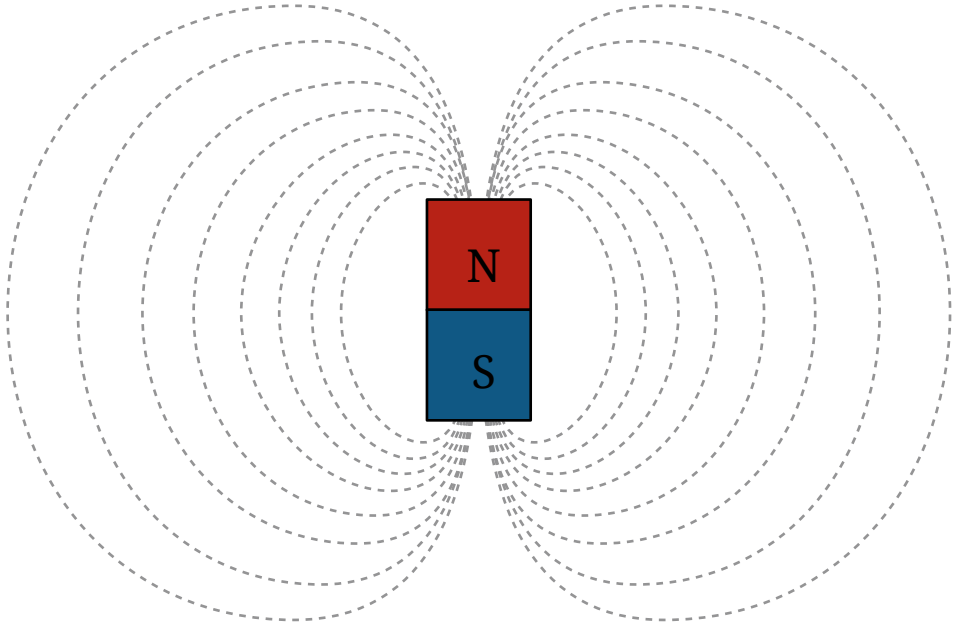
تحرَّك المغناطيس في اتجاه الملف

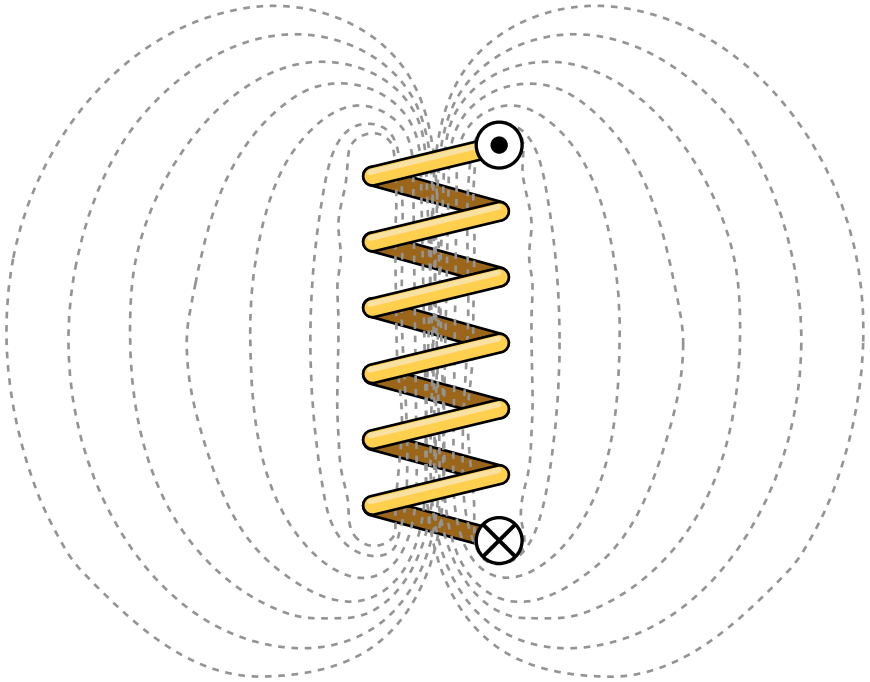


تحرَّك المغناطيس بعيدًا عن الملف

تذكير: المجال المغناطيسي لملف لولبي يمر به تيار

عندما يمرُّ تيار عبر ملف يحتوي على عدد من اللفات الدائرية، يتولَّد مجال مغناطيسي يُشبِه إلى حدٍّ كبير المجال المغناطيسي لقضيب مغناطيسي. ويُمكننا ملاحَظة ذلك في الشكل الآتي.

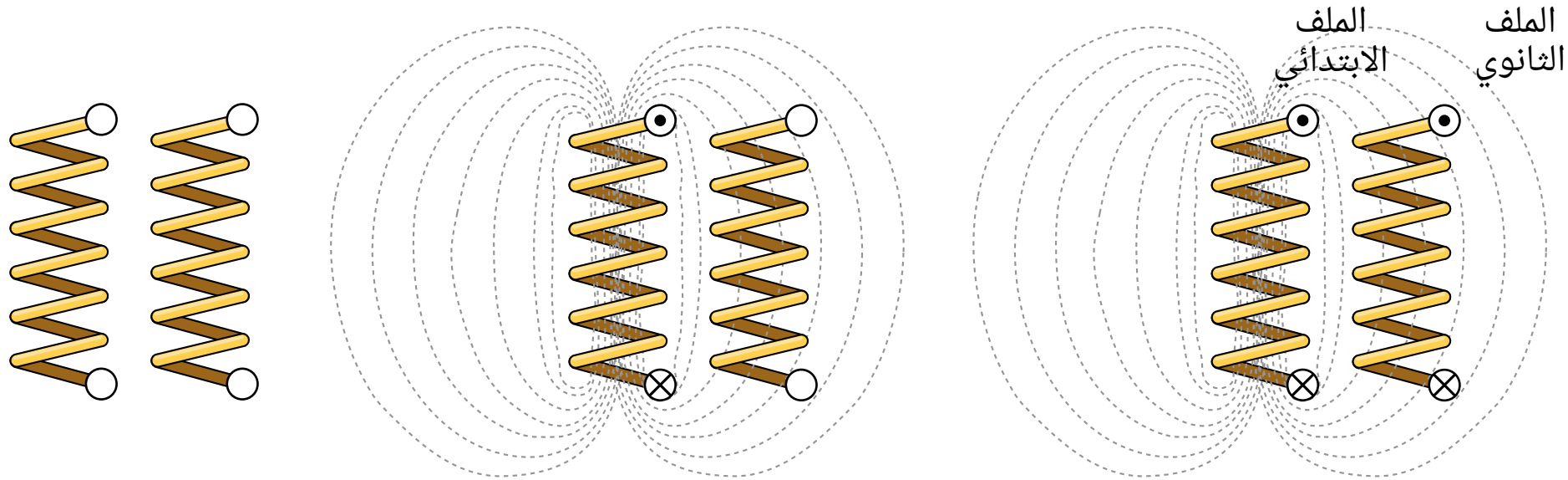




الحث الكهرومغناطيسي في ملف لولبي بواسطة ملف لولبي آخر

هيَّا نتناول اثنين من الملفات اللولبية أحدهما موضوع بجانب الآخَر. لا يحتوي أيٌّ من الملفين على تيار في البداية.

بعد ذلك نزيد شدَّة التيار من الصفر في أحد الملفين، وسنُطلِق عليه الملف الابتدائي. توضِّح الأشكال الآتية ترتيب حدوث ذلك.



لا يُوجَد تيار في أيٍّ من الملفين

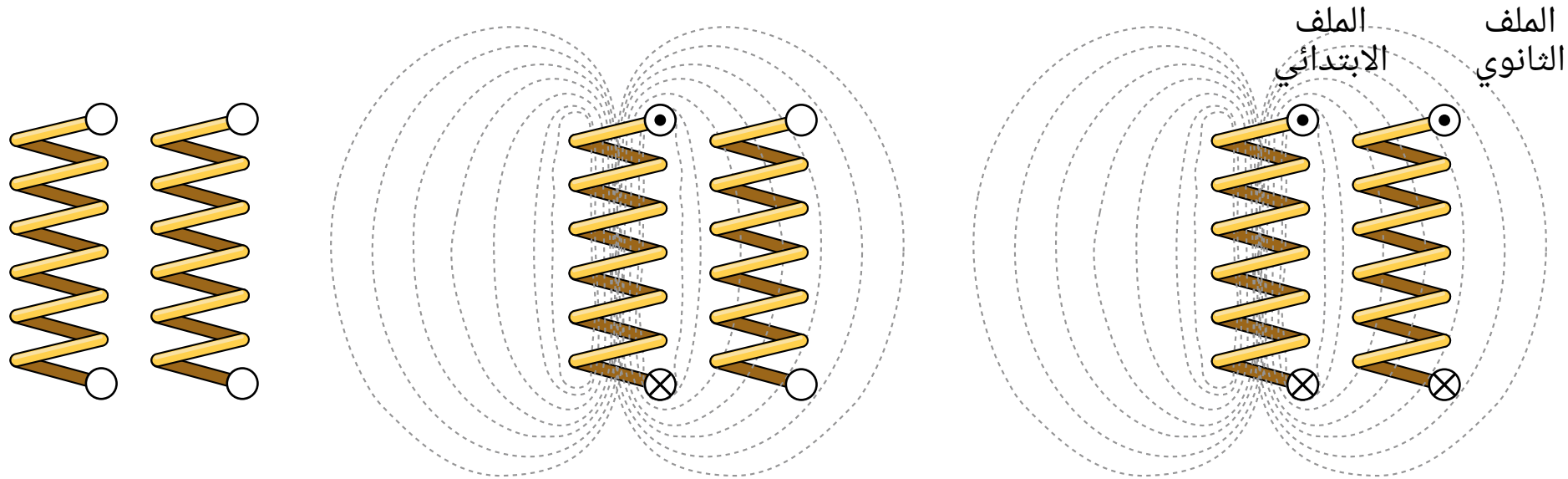
تغيير التيار في الملف الابتدائي يؤدِّي إلى تغيُّر المجال المغناطيسي في الملفين

تغيير المجال المغناطيسي في الملف الثانوي يُولِّد تيارًا في الملف الثانوي

الحث الكهرومغناطيسي في ملف لولبي بواسطة ملف لولبي آخر (متابعة)

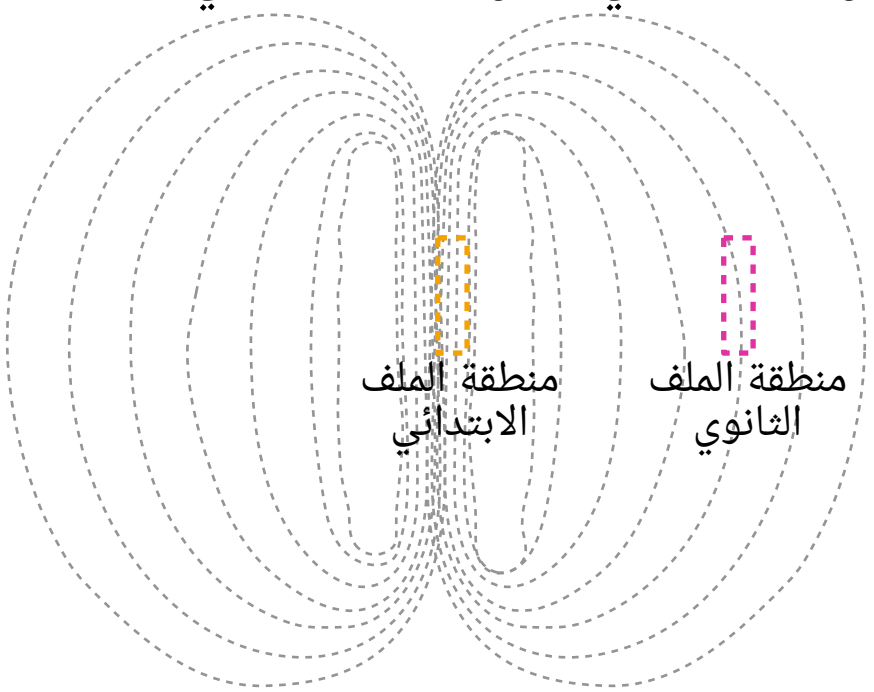
نلاحِظ أن تغيير شدَّة التيار في الملف الابتدائي أدَّى إلى توليد مجال مغناطيسي. ويتضمَّن هذا المجال المنطقة التي فيها الملف الثانوي.

يَنتُج عن المجال المغناطيسي المتغيِّر عبر الملف الثانوي تيار في الملف الثانوي.



الحث الكهرومغناطيسي في ملف لولبي بواسطة ملف لولبي آخر (متابعة)

يوضِّح الشكل الآتي مقارنة بين شدَّة المجال المغناطيسي داخل الملف الابتدائي، وشدَّته داخل الملف الثانوي.



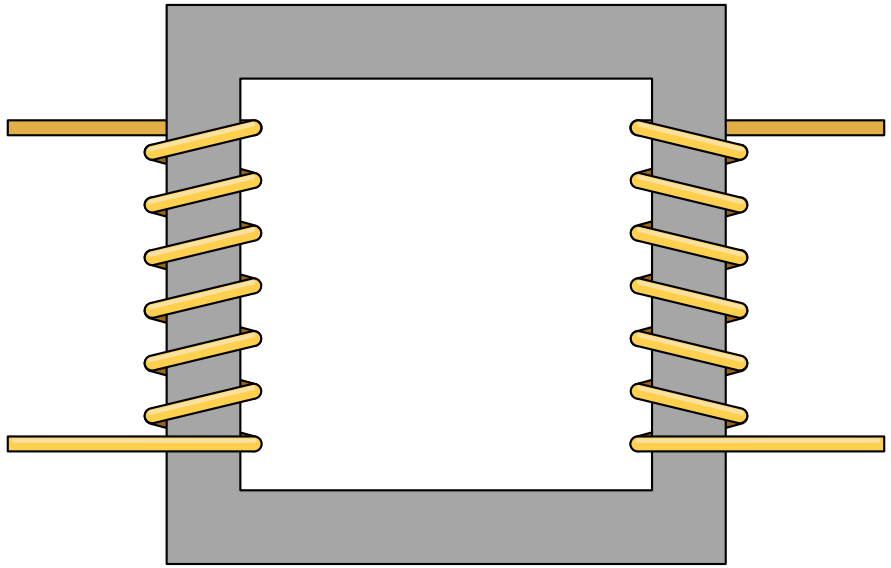
نلاحِظ أن المجال المغناطيسي داخل الملف الثانوي أقلُّ قوةً بكثير من المجال المغناطيسي داخل الملف الابتدائي.

وهذا يعني أن شدَّة التيار الناتِجة في الملف الثانوي سيكون مقدارها أقلَّ بكثير من شدَّة التيار في الملف الابتدائي.

الملفان اللولبيان في المحوِّل الكهربي

نرى هنا أن كلا الملفين اللولبيَّين لا ينقلان الطاقة الكهربية بكفاءة. ويرجع ذلك إلى شكل المجال المغناطيسي للملف الابتدائي. إذا غيَّرنا شكل المجال، يمكننا أن نزيد كفاءة نقل الطاقة من الملف الابتدائي إلى الملف الثانوي.

يُمكن إعادة توجيه المجال المغناطيسي بين الملفين اللولبيَّين عن طريق ربط الملفين اللولبيَّين بقلب مُشترَك مصنوع من مادة قابلة للمغنطة مثل الحديد. وهذا موضَّح في الشكل الآتي.

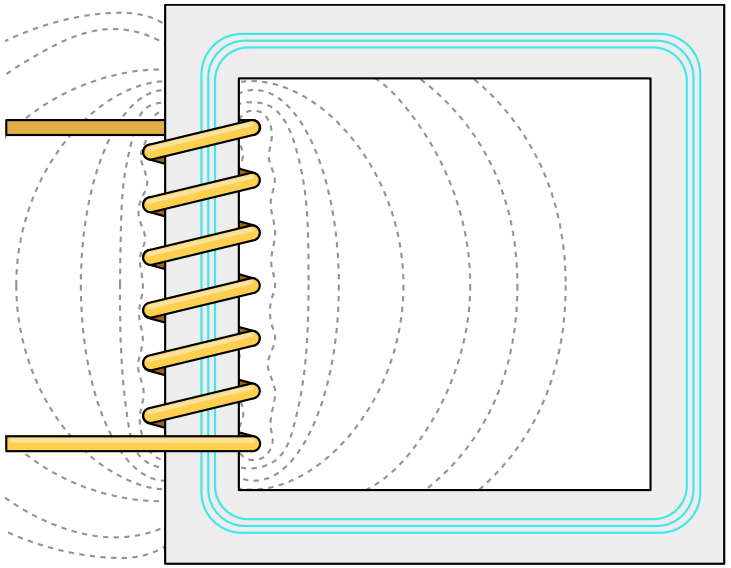


يُطلَق على الملفين اللولبيَّين اللذين يربط بينهما قلب من مادة ما المحوِّل.

الحث الكهرومغناطيسي في الملفين اللولبيين لمحوِّل كهربي

مقدار المجال المغناطيسي الذي يُنتِجه الملف الابتدائي داخل القلب أكبر بكثير من مقدار المجال الذي يكون موجودًا في الهواء.

يُقارِن الشكل الآتي بين كثافة خطوط المجال المغناطيسي داخل قلب المحوِّل وخارجه.



يوضِّح الشكل بعض خطوط المجال المغناطيسي كاملة داخل القلب. ونلاحِظ أن هذه الخطوط أقرب بعضهم إلى بعض من الخطوط التي تقع خارج القلب، وبذلك تكون شدَّة المجال المغناطيسي في القلب أكبر بكثير من شدَّة المجال خارجه.

تغيُّر شدة التيار وفرق الجهد في الملفين اللولبيين لمحوِّل كهربي

يُمكن للمحوِّل إذن أن ينقل الطاقة بين الملفين اللولبيَّين بكفاءة كبيرة.

وسيكون معقولًا تمثيل المحوِّل باعتباره ينقل الطاقة بين ملفين لولبيَّين بكفاءة قدرها 100%.

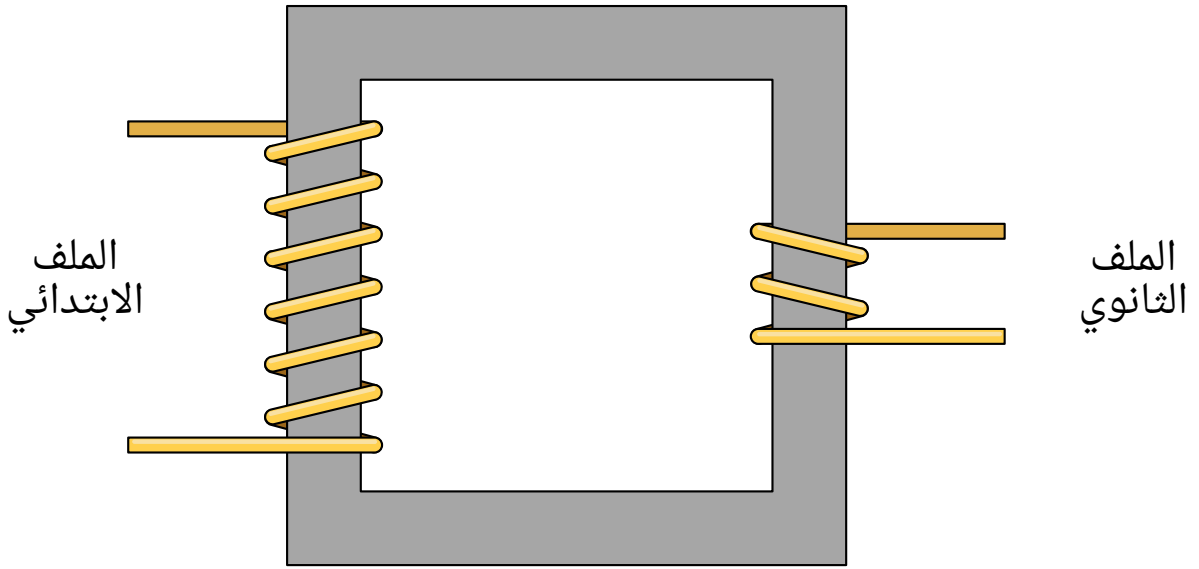
يُمكن نقْل الطاقة بين ملفين لولبيَّين دون استخدام الحثِّ الكهرومغناطيسي، وذلك ببساطة عن طريق توصيل الملفين اللولبيَّين بدائرة كهربية.

سيكون فرق الجهد وشدة التيار في كلا الملفين متساويين بالضرورة.

يُستخدَم الحثُّ الكهرومغناطيسي لنقْل الطاقة بين ملفين لولبيَّين؛ لأنَّ هذا يسمح بوجود قِيَم مختلفة لشدَّة التيار وفرق الجهد في الملف الذي تنتقل إليه الطاقة والملف الذي تنتقل منه الطاقة.

تغيُّر شدة التيار وفرق الجهد في الملفين اللولبيين لمحوِّل كهربي (متابعة)

إنَّ وجود قِيَم غير متساوية لشدَّة التيار وفرق الجهد لكلٍّ من الملفين اللولبيَّين الابتدائي والثانوي في محوِّل يتطلَّب أن يكون الملفان الابتدائي والثانوي غير متساويين في الطول، كما هو موضَّح في الشكل الآتي.



الملف الابتدائي **هُنا** أطول من الملف الثانوي

تغيُّر شدة التيار وفرق الجهد في الملفين اللولبيين لمحوِّل كهربي (متابعة)

في محوِّل مثالي ذي كفاءة تامَّة لا بدَّ أن يكون مقدار الطاقة الكهربية التي تنتقل من الملف الابتدائي مساويًا لمقدار الطاقة الكهربية المنقولة إلى الملف الثانوي.

تنتقل الطاقة بين الملفين في فترة زمنية ما. ومقدار الطاقة التي تنتقل في هذه الفترة الزمنية يساوي القدرة الكهربية للدَّخْل إلى الملف الابتدائي، يساوي قدرة الدخل الكهربية للملف الابتدائي، ويساوي أيضًا قدرة الخرج الكهربية للملف الثانوي. . يُمكن إيجاد القدرة الكهربية P من خلال الصيغة:

$$P = VI,$$

حيث V هو فرق الجهد عبر الملف، I هو شدَّة التيار في الملف.

تغيُّر شدة التيار وفرق الجهد في الملفين اللولبيين لمحوِّل كهربي (متابعة)

يجب أن يكون:

$$P_{\text{الدَّخْل}} = P_{\text{الخَرْج}},$$

ومن ثَمَّ:

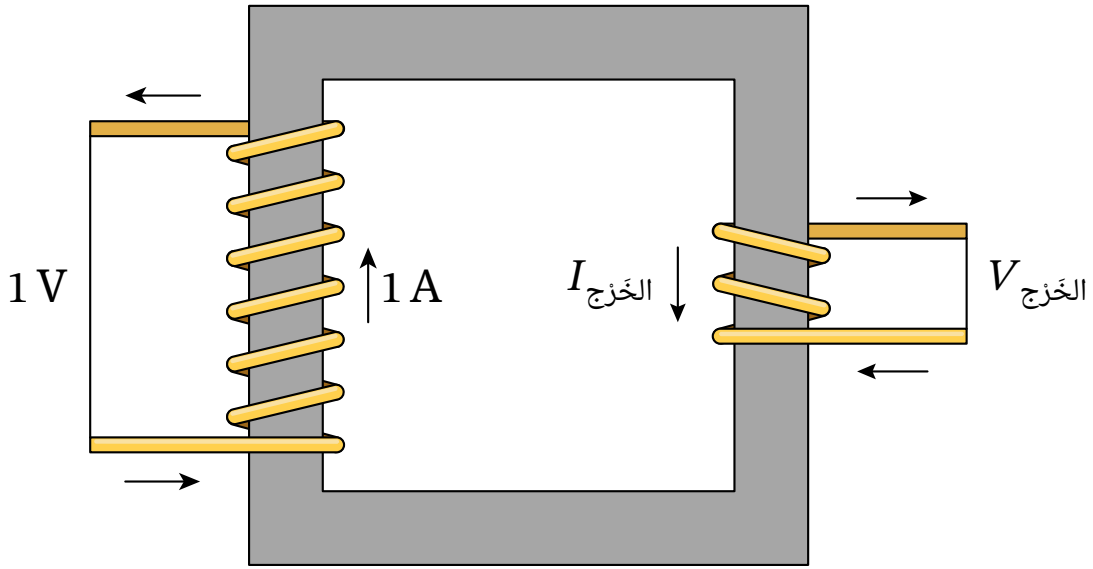
$$V_{\text{الدَّخْل}} \times I_{\text{الدَّخْل}} = V_{\text{الخَرْج}} \times I_{\text{الخَرْج}}.$$

يُمكن اعتبار أن لفات الملف اللولبي متَّصِلة على التوالي بعضها مع بعض. ويوجد فرق الجهد نفسه عبر كلِّ لفة. وإجمالي فرق الجهد عبر اللفات يساوي فرق الجهد عبر الملف اللولبي.

يُحدد فرق الجهد في لفة من خلال معدل تغير المجال المغناطيسي عبر اللفة. وهذا الأمر مماثل للفات ملف الدخل وملف الخرج، بافتراض أن مساحات مقطع اللفات متساوية.

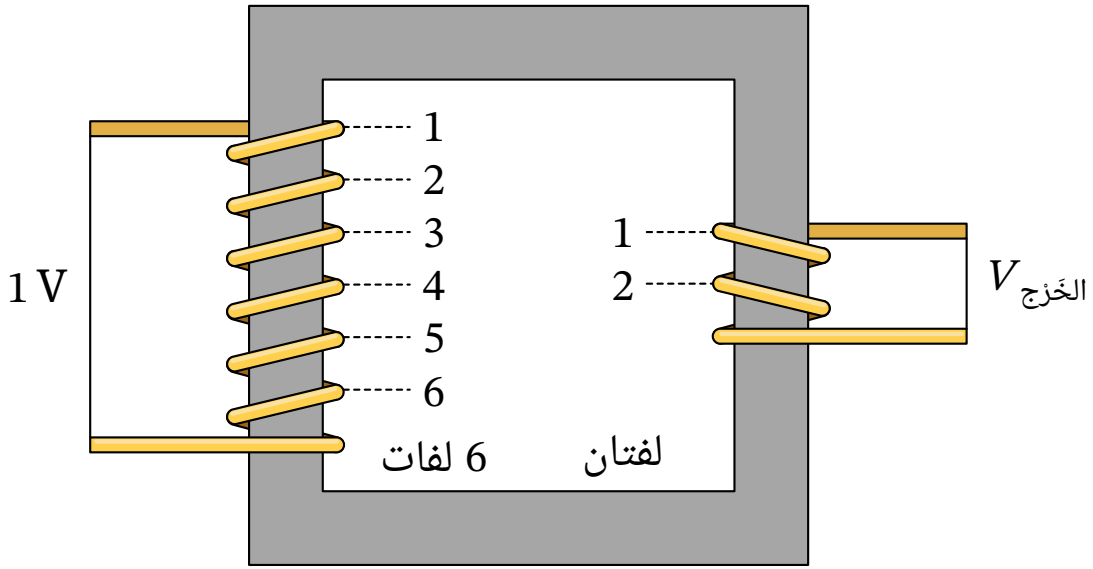
تغيُّر شدة التيار وفرق الجهد في الملفين اللولبيين لمحوِّل كهربي (متابعة)

يوضِّح الشكل الآتي فرق الجهد والتيار للدَّخْل وللخَرْج في محوِّل.

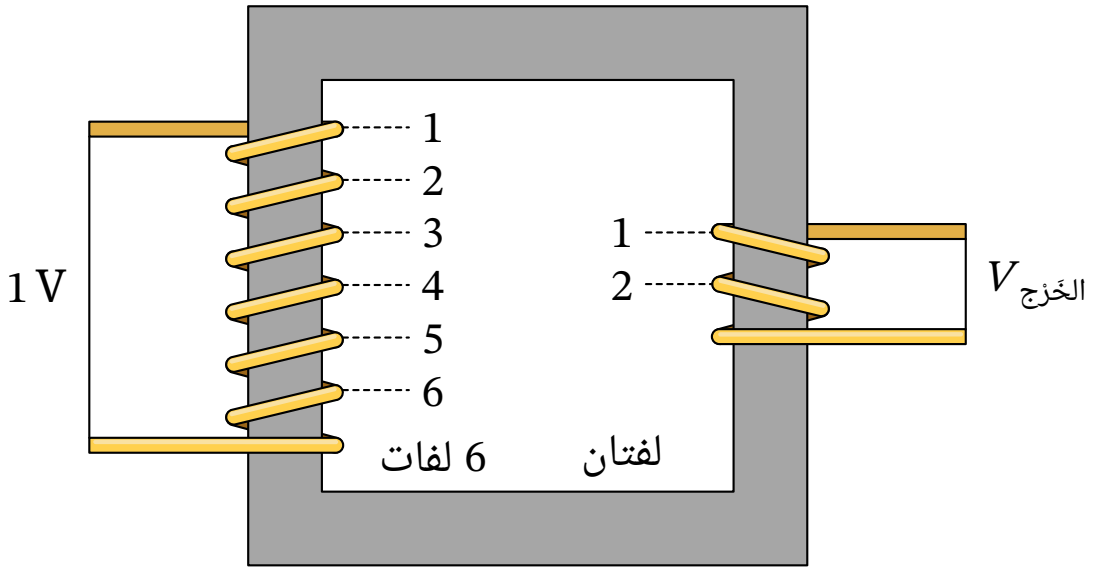


تغيُّر شدة التيار وفرق الجهد في الملفين اللولبيين لمحوِّل كهربي (متابعة)

في المحوِّل الآتي، يتضمَّن الملف الابتدائي 6 لفات، ويحتوي الملف الثانوي على لفتين، كما هو موضَّح بالشكل الآتي.



تغيُّر شدة التيار وفرق الجهد في الملفين اللولبيين لمحوِّل كهربي (متابعة)



ومن ثَمَّ نجد أن:

$$\frac{1\,\text{V}}{6} = \frac{V_{\text{الخَرْج}}}{2}.$$

يُمكننا إعادة ترتيب ذلك لإيجاد $V_{\text{الخَرْج}}$:

$$2 \times \frac{1\,\text{V}}{6} = V_{\text{الخَرْج}}$$

$$V_{\text{الخَرْج}} = \frac{1}{3}\,\text{V}.$$

تغيُّر شدة التيار وفرق الجهد في الملفين اللولبيين لمحوِّل كهربي (متابعة)

وبما أن:

$$V_{\text{الدَّخْل}} \times I_{\text{الدَّخْل}} = V_{\text{الخَرْج}} \times I_{\text{الخَرْج}},$$

إذن:

$$1\ \text{V} \times 1\ \text{A} = \frac{1}{3}\ \text{V} \times I_{\text{الخَرْج}}.$$

تغيُّر شدة التيار وفرق الجهد في الملفين اللولبيين لمحوِّل كهربي (متابعة)

يُمكننا إعادة ترتيب ذلك لإيجاد $I_{\text{الخَرْج}}$:

$$\frac{1\ \text{V} \times 1\ \text{A}}{\frac{1}{3}\ \text{V}} = I_{\text{الخَرْج}}$$

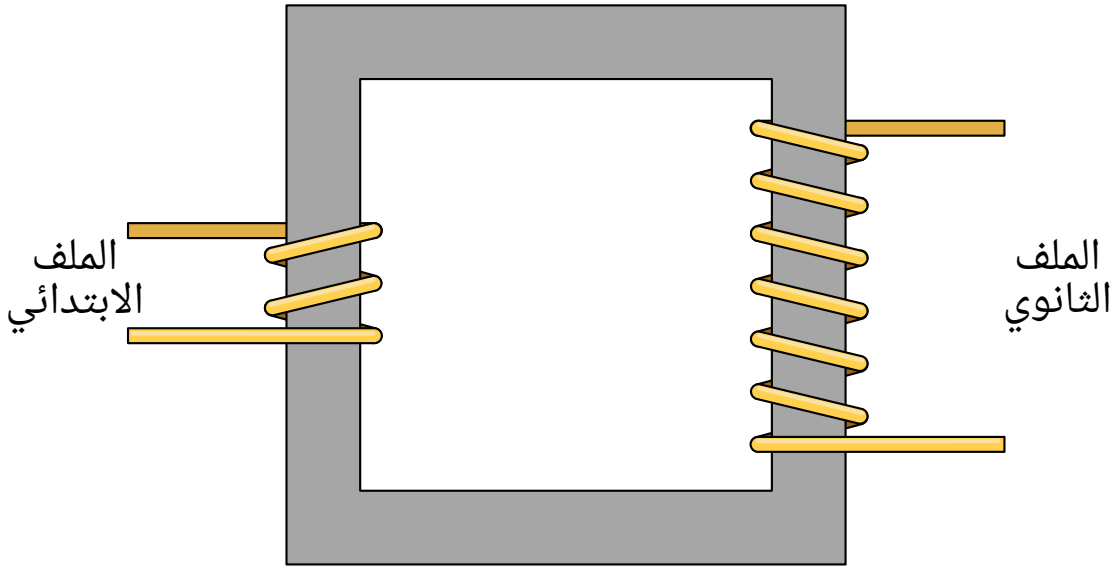
$$I_{\text{الخَرْج}} = 3\ \text{A}.$$

خَرْج هذا المحوِّل يزيد من تيار الدَّخْل ويُقلِّل فرق جهد الدخل.

تُسمَّى المحوِّلات طبقًا لتأثيرها على فرق جهد الدَّخْل، ومن ثَمَّ يُسمَّى محوِّل الطاقة من هذا النوع بالمحوِّل الخافض للجهد.

المحوِّلات الخافضة للجهد والمحوِّلات الرافعة للجهد

يسمى المحوِّل الذي يزيد من فرق جهد الدخل بالمحوِّل الرافع للجهد، كما هو موضَّح في الشكل الآتي.



المحوِّلات الخافضة للجهد والمحوِّلات الرافعة للجهد (متابعة)

ما يجعل المحوِّل خافضًا أو رافعًا للجهد هي نسبة عدد لفات الملف الابتدائي إلى عدد لفات الملف الثانوي. وإذا افترضنا أن كلَّ اللفات متساوية في الطول، فإن نسبة عدد اللفات للملفين تساوي نسبة فرق الجهد عبر الملفين. ويُمكن كتابة هذا على الصورة:

$$\frac{N_{\text{الدَّخْل}}}{N_{\text{الخَرْج}}} = \frac{V_{\text{الدَّخْل}}}{V_{\text{الخَرْج}}}.$$

تطبيقات المحوِّلات الخافضة للجهد والمحوِّلات الرافعة للجهد

تُستخدَم المحوِّلات في نقْل القدرة الكهربية عبر مسافات طويلة.

عندما يحمل سلك تيارًا تُبدِّد مقاومة السلك طاقة التيار. وكلما زادت شدَّة التيار زادت الطاقة المُبدَّدة بواسطة السلك.

باستخدام المحوِّل الرافع للجهد، يُمكن أن تُنقَل القدرة الكهربية عبر أسلاك تَحمل تيارًا شدَّته صغيرة جدًّا وبفروق جهد كبيرة. ومن ثَمَّ تقلُّ القدرة المُبدَّدة في هذه الأسلاك.

يُمكن للمحوِّل الخافض للجهد زيادة قيمة شدَّة التيار الكهربي للكهرباء المنقولة عندما تَصِل في الأخير إلى الدوائر التي ستَستخدِم الكهرباء.

هيَّا نتناول الآن بعض الأمثلة التي تتضمَّن محوِّلات.

مثال ١: إيجاد فرق جهد الخَرْج لمحوِّل

مُحوِّل عدد لفات ملفه الابتدائي 200 لفة، وعدد لفات ملفه الثانوي 50 لفة. إذا كان فرق جهد الدَّخْل يساوي 20 V، فما فرق جهد الخَرْج؟

الحل

نسبة عدد اللفات N بين ملفَّي الدَّخْل والخَرْج للمحوِّل، هي نفسها نسبة فرق الجهد، V، بين هذين الملفين. يُمكن حساب النسبة بين اللفات في الملفين من خلال:

$$\frac{N_{\text{الدَّخْل}}}{N_{\text{الخَرْج}}} = \frac{200}{50}$$

$$\frac{N_{\text{الدَّخْل}}}{N_{\text{الخَرْج}}} = 4.$$

من ثم:

$$\frac{V_{\text{الدَّخْل}}}{V_{\text{الخَرْج}}} = 4$$

مثال ١ (متابعة)

ينصُّ السؤال على أن فرق الجهد عبر ملف الدَّخْل يساوي 20 V.

ومن ثَمَّ نجد أن:

$$\frac{20\,\text{V}}{V_{\text{الخَرْج}}} = 4.$$

يُمكننا إعادة ترتيب هذا لجعل $V_{\text{الخَرْج}}$ في طرف بمفرده.

$$V_{\text{الخَرْج}} \times \frac{20\,\text{V}}{V_{\text{الخَرْج}}} = V_{\text{الخَرْج}} \times 4$$

$$20\,\text{V} \times \frac{V_{\text{الخَرْج}}}{V_{\text{الخَرْج}}} = V_{\text{الخَرْج}} \times 4$$

$$20\,\text{V} = V_{\text{الخَرْج}} \times 4$$

$$\frac{20\,\text{V}}{4} = V_{\text{الخَرْج}}$$

$$V_{\text{الخَرْج}} = 5\,\text{V}.$$

مثال ٢: إيجاد شدَّة تيار الخَرْج لمحوِّل

عدد لفات الملف الثانوي في محوِّل كفاءته 100% يساوي خمسة أمثال عدد لفات الملف الابتدائي. إذا كانت شدَّة التيار المارِّ في الملف الابتدائي 20 A، فما شدَّة التيار المارِّ في الملف الثانوي؟

الحل

نسبة عدد اللفات N في ملفَّيِ الدَّخْل والخَرْج لمحوِّل تساوي نسبة فرق الجهد V عبر الملفين.

يذكر السؤال أن عدد لفات الملف الثانوي في المحوِّل يساوي خمسة أمثال عدد لفات الملف الابتدائي. يُمكننا التعبير عن ذلك على الصورة:

$$\frac{N_{\text{الدَّخْل}}}{N_{\text{الخَرْج}}} = \frac{1}{5}.$$

ومن ثَمَّ، نجد أن:

$$\frac{V_{\text{الدَّخْل}}}{V_{\text{الخَرْج}}} = \frac{1}{5},$$

حيث V هو فرق الجهد عبر الملف.

مثال ٢ (متابعة)

وهذا يعني أن:

$$V_{\text{الدَّخْل}} \times I_{\text{الدَّخْل}} = V_{\text{الخَرْج}} \times I_{\text{الخَرْج}}.$$

وبالتعويض بتعبير $V_{\text{الدَّخْل}}$ في هذه المعادلة يصبح لدينا:

$$\frac{1}{5} \times V_{\text{الخَرْج}} \times I_{\text{الدَّخْل}} = V_{\text{الخَرْج}} \times I_{\text{الخَرْج}}.$$

يُمكننا قسمة طرفَيْ هذه المعادلة على $V_{\text{الخَرْج}}$. فيصبح لدينا:

$$\frac{1}{5} \times I_{\text{الدَّخْل}} = I_{\text{الخَرْج}}.$$

مثال ٢ (متابعة)

ويُمكن كتابة هذا على الصورة:

$$V_{\text{الدَّخْل}} = \frac{1}{5} \times V_{\text{الخَرْج}}.$$

القدرة P في الملفين متساوية، ويُمكن حسابها من خلال الصيغة:

$$P = VI,$$

حيث I هي شدَّة التيار في الملف.

ينصُّ السؤال على أن شدَّة التيار في ملف الدَّخْل تساوي $20\,\text{A}$.

يُمكن حساب شدَّة التيار في ملف الخَرْج من خلال:

$$\frac{1}{5} \times 20\,\text{A} = I_{\text{الخَرْج}}$$

$$\frac{20}{5} \times \text{A} = I_{\text{الخَرْج}}$$

$$I_{\text{الخَرْج}} = 4\,\text{A}.$$

مثال ٣: إيجاد عدد اللفات في الملف الابتدائي لمحوِّل

يُغيِّر مُحوِّل خافِض للجهد فرق جهد تيار متردِّد من 10 000 V إلى 250 V. إذا كان عدد لفات ملفه الثانوي 25 لفة، فما عدد لفات ملفه الابتدائي؟

الحل

نسبة عدد اللفات N في ملفَّيِ الدَّخْل والخَرْج للمحوِّل تساوي نسبة فرق الجهد V في الملفين. وهذا يعني أن:

$$\frac{N_{\text{الدَّخْل}}}{N_{\text{الخَرْج}}} = \frac{V_{\text{الدَّخْل}}}{V_{\text{الخَرْج}}}.$$

وفرق الجهد عبر كلِّ ملف مذكور في السؤال. ويُمكن حساب النسبة بين فرقَيِ الجهد:

$$\frac{V_{\text{الدَّخْل}}}{V_{\text{الخَرْج}}} = \frac{10\,000}{250}$$

$$\frac{V_{\text{الدَّخْل}}}{V_{\text{الخَرْج}}} = 40.$$

مثال ٣ (متابعة)

ومن ثَمَّ نجد أن:

$$\frac{N_{\text{الدَّخْل}}}{N_{\text{الخَرْج}}} = 40.$$

يوضِّح السؤال أن $N_{\text{الخَرْج}}$ يساوي 25. ومن ثَمَّ نجد أن:

$$\frac{N_{\text{الدَّخْل}}}{25} = 40.$$

ويُمكن جعْل $N_{\text{الدَّخْل}}$ في طرف بمفرده؛ ومن ثَمَّ نحصل على:

$$N_{\text{الدَّخْل}} = 25 \times 40$$

$$N_{\text{الدَّخْل}} = 1\,000.$$

النقاط الرئيسية

- يَستخدِم المحوِّلُ الحثَّ الكهرومغناطيسي لنقْل الطاقة بين ملفين لولبيَّين غير متَّصِلين بدائرة كهربية.
- يتكوَّن المحوِّل من ملفين لولبيَّين يربط بينهما قلب مصنوع من مادة قابلة للمغنطة.
- يَنتُج عن التيار المتغيِّر في أحد الملفين اللولبيَّين (يُسمَّى ملف الدَّخْل) في محوِّل تيار في الملف اللولبي الآخَر (يُسمَّى ملف الخَرْج).
- بالنسبة إلى محوِّل مثالي ذي كفاءة تامَّة، تكون القدرة متساوية في الملفين اللولبيَّين. ومن ثَمَّ:

$$V_{\text{الدَّخْل}} \times I_{\text{الدَّخْل}} = V_{\text{الخَرْج}} \times I_{\text{الخَرْج}},$$

حيث V هي قِيَم فرق الجهد، I هي قِيَم شدَّة التيار في ملفَّي الدَّخْل والخَرْج للمحوِّل.

- بالنسبة إلى المحوِّلات ذات الكفاءة التامَّة، النسبة بين عدد اللفات، N، في ملفَّي الدَّخْل والخَرْج لمحوِّل تساوي النسبة بين فرقَي الجهد V في الملفين. ومن ثَمَّ:

$$\frac{N_{\text{الدَّخْل}}}{N_{\text{الخَرْج}}} = \frac{V_{\text{الدَّخْل}}}{V_{\text{الخَرْج}}}.$$

النقاط الرئيسية (متابعة)

- المحوِّل الرافع للجهد هو الذي يكون فيه:

$$V_{\text{الخَرْج}} > V_{\text{الدَّخْل}}$$

- المحوِّل الخافض للجهد هو الذي يكون فيه:

$$V_{\text{الخَرْج}} < V_{\text{الدَّخْل}}$$

- عند نقْل الكهرباء لمسافات طويلة عبر سلك، يُمكن استخدام محوِّلات رافعة للجهد لتقليل شدَّة التيار. وكلما قلَّتْ شدَّة التيار المنقول انخفضت الطاقة المُبدَّدة عبر السلك.