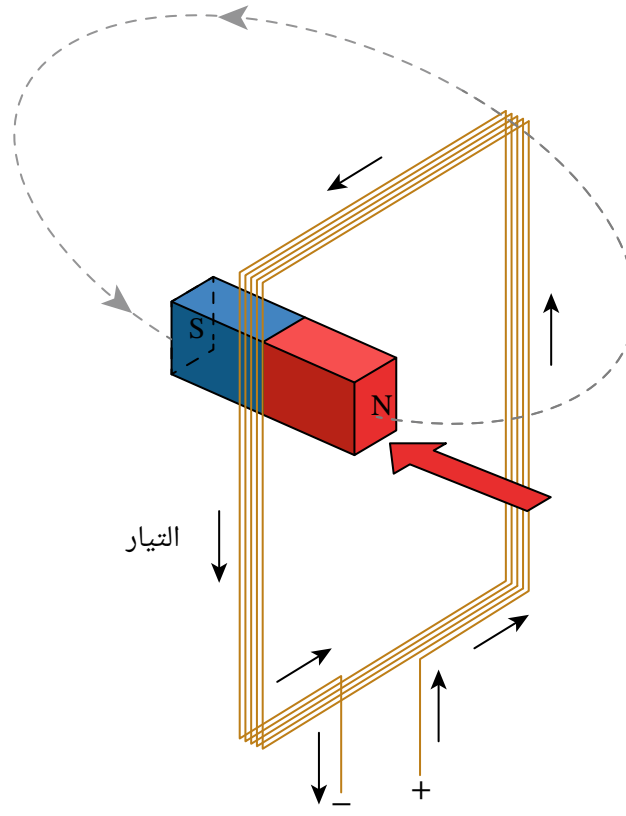
شارح: الحثُّ الكهرومغناطيسي في المحوِّلات الكهربية

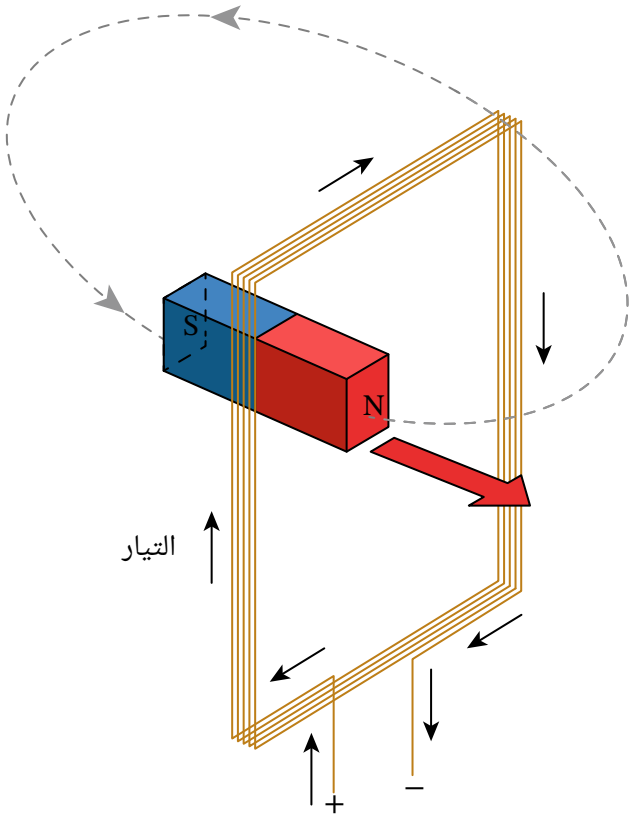
في هذا الشارح، سوف نتعلَّم كيف نحسب التغيُّر في فرق الجهد، وشدَّة التيار الناتِج عن المحوِّل الكهربي.

لعلَّنا نتذكَّر أن الحث الكهرومغناطيسي مصطلح يعني إنتاج تيار كهربي في موصِّل عندما يتحرَّك الموصِّل بالقرب من مغناطيس.

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



تحرَّك المغناطيس بعيدًا عن الملف



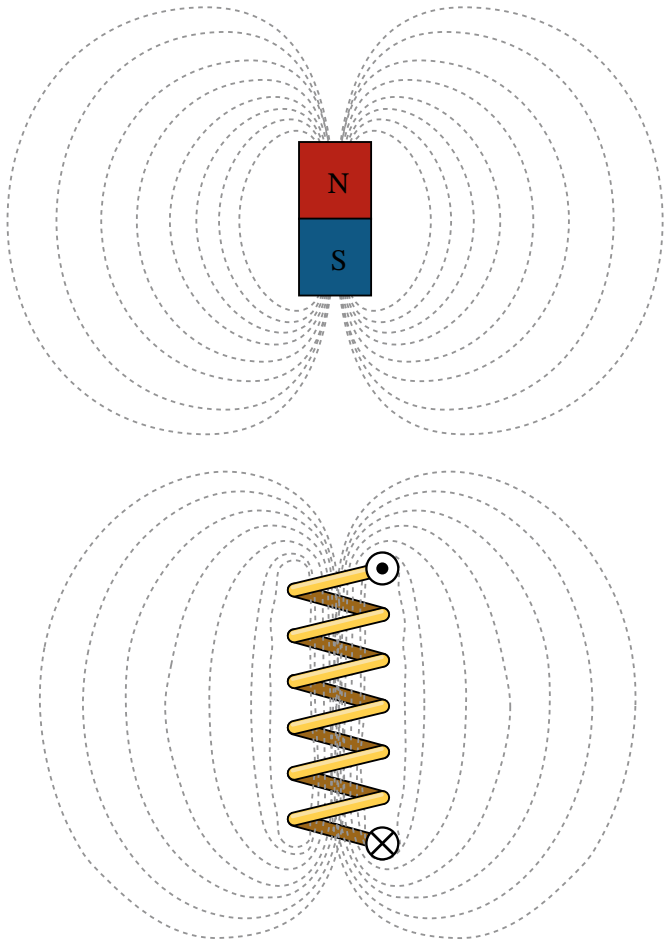
تحرَّك المغناطيس في اتجاه الملف

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.

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.

لا يتضمَّن الحث الكهرومغناطيسي توليد تيار باستخدام مجال مغناطيسي متغيِّر فحسب، بل يتضمَّن أيضًا توليد مجال مغناطيسي باستخدام تيار متغيِّر. على سبيل المثال: عندما تتغيَّر شدَّة التيار في ملف، يُولِّد هذا مجالًا مغناطيسيًّا في الملف.

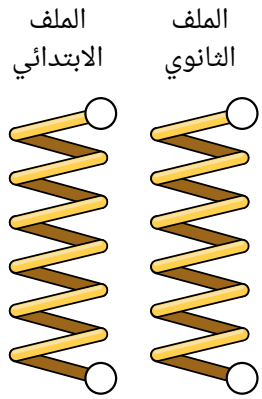
عندما تتغيَّر شدَّة التيار في ملف يحتوي على عدد من اللفات الدائرية، يتولَّد مجال مغناطيسي يُشبِه إلى حدٍّ كبير المجال المغناطيسي لقضيب مغناطيسي. ويُمكننا ملاحَظة ذلك في الشكل الآتي.



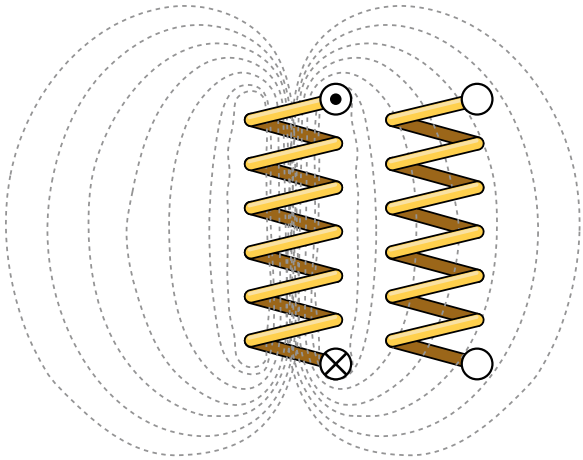
عادةً ما يُسمَّى ملف بهذا الشكل ملفًّا لولبيًّا.

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

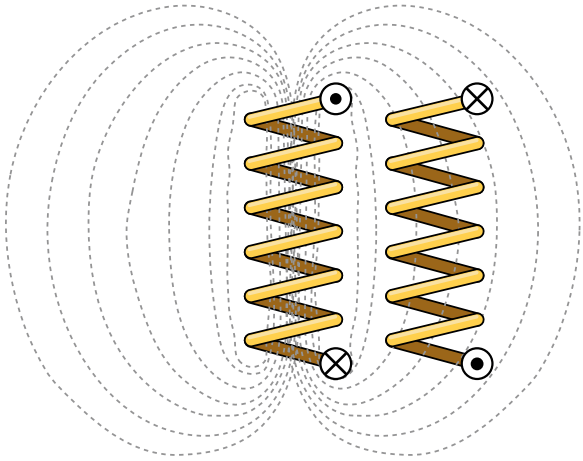
بعد ذلك، نزيد شدَّة التيار من الصفر في أحد الملفين، وسنُطلِق عليه الملف الابتدائي. يوضِّح الشكل الآتي تأثير ذلك.



لا يُوجَد تيار في
أيٍّ من الملفين



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



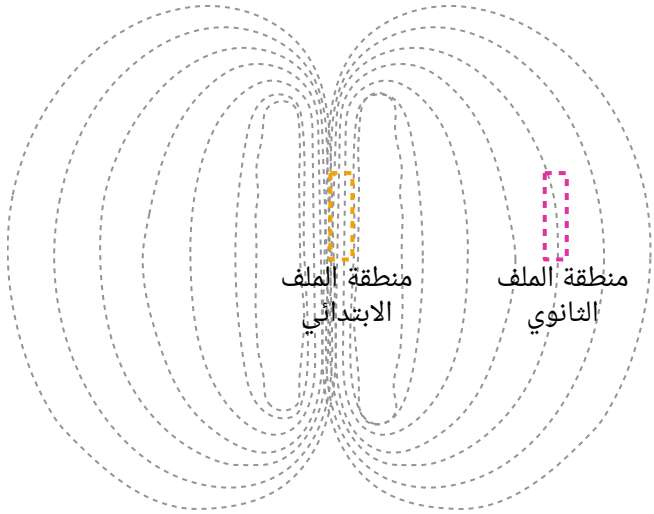
تغيير المجال المغناطيسي
في الملف الثانوي
يُولِّد تيارًا
في الملف الثانوي

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.

ويعتمد مقدار شدَّة التيار على معدَّل تغيُّر المجال المغناطيسي في الملف الثانوي.

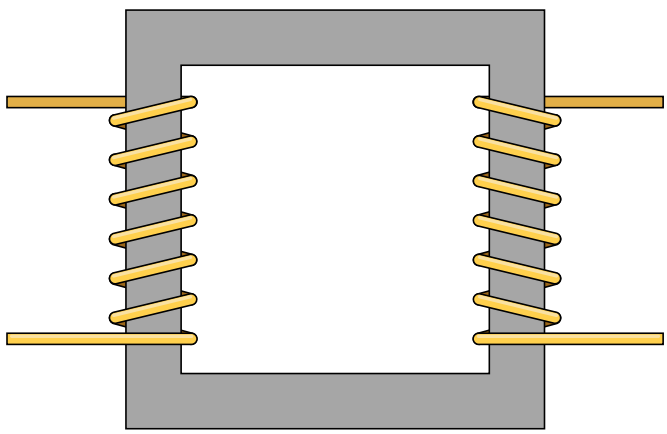
يوضِّح الشكل الآتي مقارنة بين شدَّة المجال المغناطيسي داخل الملف الابتدائي، وشدَّته داخل الملف الثانوي.



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.

ونرى هنا أن كلا الملفين اللولبيَّين لا ينقلان الطاقة الكهربية بكفاءة. ويرجع ذلك إلى شكل المجال المغناطيسي للملف الابتدائي. إذا تغيَّر شكل المجال، فستزيد كفاءة نقل الطاقة من الملف الابتدائي إلى الملف الثانوي.

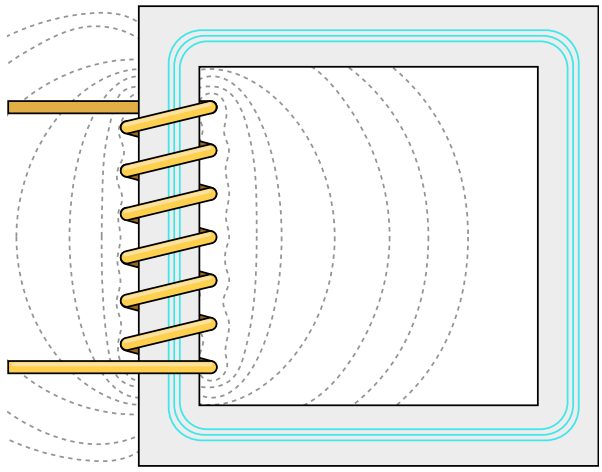
يُمكن إعادة توجيه المجال المغناطيسي بين الملفين اللولبيَّين بربط الملفين اللولبيَّين بقلب مُشترَك مصنوع من مادة قابلة للمغنطة مثل الحديد. وهذا موضَّح في الشكل الآتي.



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

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.



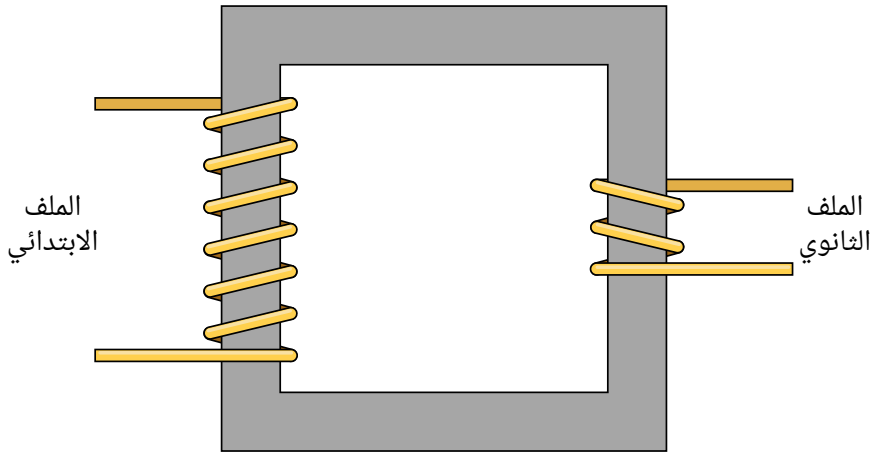
يوضِّح الشكل بعض خطوط المجال المغناطيسي كاملة داخل القلب. ونلاحِظ أن هذه الخطوط أقرب بعضها إلى بعض من الخطوط التي تقع خارج القلب؛ وبذلك تكون شدَّة المجال المغناطيسي في القلب أكبر بكثير من شدَّة المجال خارجه.

يُمكن للمحول 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.

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

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.



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، ويساوي أيضًا القدرة الكهربية للخرج من الملف الثانوي.

يُمكن إيجاد القدرة الكهربية، P، من خلال الصيغة:

$$P = VI,$$

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

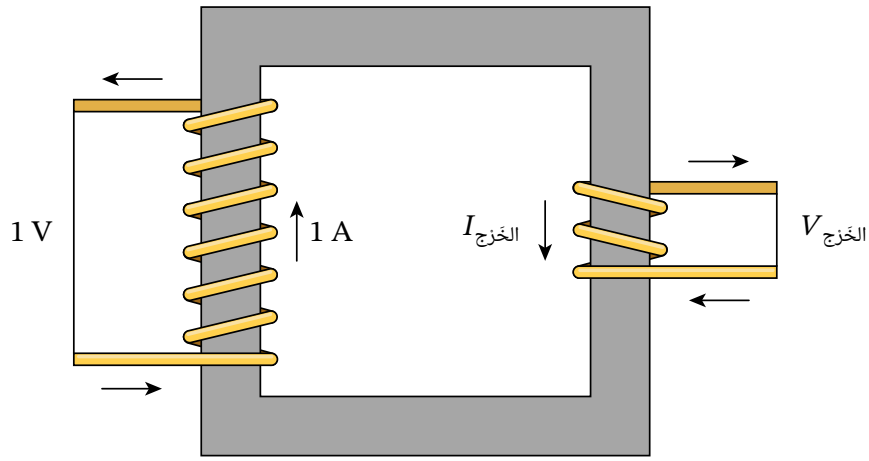
ويجب أن يكون:

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

ومن ثَمَّ:

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

يوضِّح الشكل الآتي فرق الجهد والتيار للدَّخْل وللخَرْج في محوِّل.

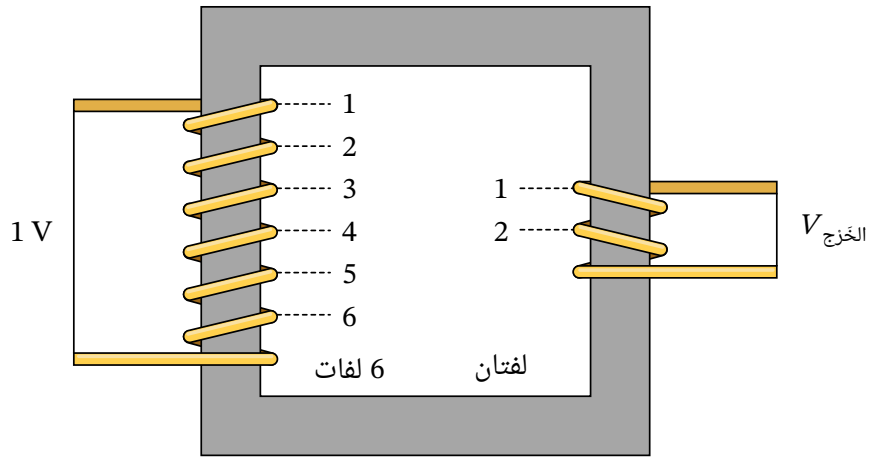


يُمكننا أن نرى أن:

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

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

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



ومن ثَمَّ نجد أن:

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

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

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

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

وبما أن:

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

إذن:

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

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

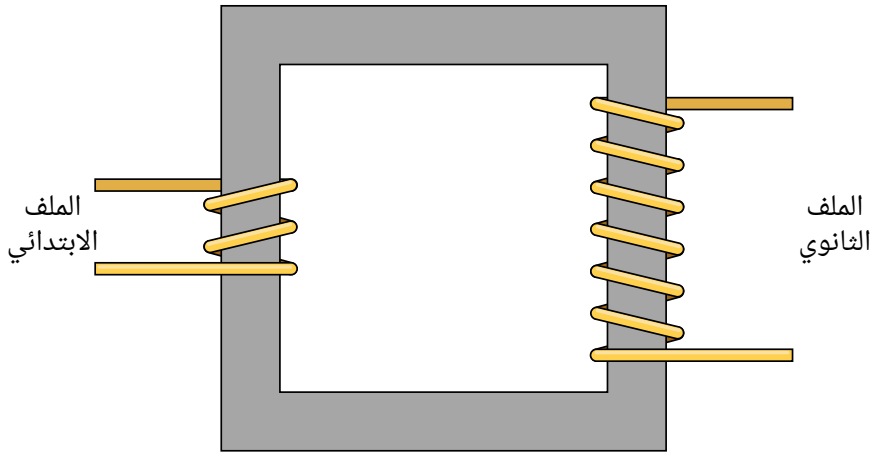
$$\frac{1\ \text{V} \times 1\ \text{A}}{\frac{1}{3}\ \text{V}} = I_{\text{الخَرْج}}$$

$$I_{\text{الخَرْج}} = 3\ \text{A}.$$

خَرْج هذا المحوِّل يزيد من تيار الدَّخْل ويقلِّل فرق الجهد للخَرْج.

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

أمَّا المحوِّل الذي يزيد من فرق جهد الخَرْج فيُسمَّى بالمحوِّل الرافع للجهد، كما هو موضَّح في الشكل الآتي.



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 بالصورة:

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

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 تحمل 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 يجب أن:

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

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 ملفَّي 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.

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.

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:

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

ينصُّ السؤال على أن شدَّة التيار في ملف الدَّخْل تساوي 20 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 كلٍّ ملف مذكور في السؤال. ويُمكن حساب النسبة بين فرقَيِ الجهد:

$$\frac{V_{\text{الدَّخْل}}}{V_{\text{الخَرْج}}} = \frac{10\,000}{250}$$
$$\frac{V_{\text{الدَّخْل}}}{V_{\text{الخَرْج}}} = 40.$$

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:

$$N_{\text{الدَّخْل}} = 25 \times 40$$
$$N_{\text{الدَّخْل}} = 1\,000.$$

هيَّا نلخِّص الآن ما تعلَّمناه في هذا الشارح.

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 ملفَّيِ الدَّخْل والخَرْج للمحوِّل.

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

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

- 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 قلَّت شدَّة التيار المنقول، انخفضت الطاقة المُبدَّدة عبر السلك.