

الآلات الكهربائية

Electrical Machines

الدكتور المهندس
علاء الدين أحمد حسام الدين



مفردات المقرر

- ❖ مفاهيم عامة في الآلات الكهربائية.
- ❖ المحولات الكهربائية.
- ❖ آلات التيار المستمر.
- ❖ مبادئ عامة في آلات التيار المتناوب.
- ❖ الآلات التحريضية.
- ❖ محركات الخطوة.
- ❖ محركات السيرفو.

مفاهيم عامة في الآلات الكهربائية

General definition of Electrical Machine

تعريف الآلة الكهربائية:

The definition of Electrical Machine

الآلات الكهربائية هي عبارة عن معدات تقوم بتحويل القدرة من شكل إلى آخر: كالمحركات الكهربائية التي تقوم بتحويل القدرة الكهربائية إلى قدرة ميكانيكية، والمولدات التي تقوم بتحويل القدرة الميكانيكية إلى كهربائية، والمحولات التي تقوم بتحويل القدرة الكهربائية من شكل إلى آخر.

تصنيف الآلات الكهربائية:

Classification of Electrical Machine

تصنّف الآلات الكهربائية بطرق مختلفة، وذلك حسب:

❖ طرق تحويلها للقدرّة.

❖ طريقة حركتها.

❖ استطاعاتها.

❖ التيارات التي تعمل عليها.

تصنّف الآلات الكهربائية بحسب طرق تحويلها للقدرة إلى:

- ❖ محولات كهربائية Electric Transformer – تقوم بتحويل القدرة الكهربائية من شكل إلى آخر، كتحويل القدرة الكهربائية من 220 V إلى 24 V مثلاً، أو تحويل القدرة الكهربائية الثلاثية الطور إلى قدرة أحادية الطور أو متعددة الأطوار.
- ❖ محركات كهربائية Electric Motors – تقوم بتحويل القدرة الكهربائية إلى قدرة ميكانيكية.
- ❖ مولدات كهربائية Electric Generators – تقوم بتحويل القدرة الميكانيكية إلى قدرة كهربائية.

تصنّف الآلات الكهربائية بحسب طريقة حركتها إلى:

- ❖ آلات كهربائية ساكنة ميكانيكياً – **Non-Rotating Electric Machines**
كالمحولات الكهربائية، وهي آلات لا تحتوي أية أجزاء دوارة أو متحركة.
- ❖ آلات كهربائية دوارة – **Rotating Electric Machines** كالمحركات والمولدات الكهربائية
- ❖ محركات كهربائية خطية – **Liner Electric Motors** – تنجز حركة خطية مستقيمة.
- ❖ محركات الخطوة – **Stepper Motors** – تدور بزاوية محددة أو خطوة محددة.

تصنّف الآلات الكهربائية بحسب استطاعاتها إلى:

- ❖ آلات دقيقة (ميكروية – Micro Machines) – تتراوح استطاعاتها من أجزاء الواط وحتى عشرات الواط.
- ❖ آلات متوسطة ومنخفضة الاستطاعة Small & Middle Machines – تتراوح استطاعاتها من عشرات الواط وحتى عدة كيلوواط.
- ❖ آلات ضخمة عالية الاستطاعة Large Machines – تصل استطاعاتها حتى عدة آلاف الكيلوواط.

تصنّف الآلات الكهربائية بحسب تياراتها إلى:

❖ آلات تيار مستمر

Direct Current (DC) Machines

❖ آلات تيار متناوب

. Alternative Current (AC) Machines

تقسم آلات التيار المستمر بحسب طريقة تهيجها إلى:

❖ آلات التيار المستمر ذات التهيج المستقل

Separate-Excitation (DC) Machines

وهي آلات يتم تهيجها من منبع تيار مستمر خارجي أو مستقل أو من مغناط دائمة

Permanent Magnet (DC) Machines

❖ آلات ذات تهيج ذاتي **Self-Excitation (DC) Machines**.

وتقسم بدورها إلى:

✓ آلات ذات تهيج تفرعي **Shunt DC Machines**

✓ آلات ذات تهيج تسلسلي **Series DC Machines**

✓ آلات ذات تهيج مختلط **Compound DC Machines**

تصنيف آلات التيار المتناوب بحسب عدد أطوارها إلى:

❖ **Single-Phase Machines** آلات أحادية الطور

❖ **Three-Phase Machines** آلات ثلاثية الطور

❖ **Multi-Phase Machines** آلات متعددة الأطوار

تصنّف آلات التيار المتناوب بحسب مبدأ عملها إلى:

❖ آلات تزامنية أو توافقية (متواقتة) Synchronous Machines – تكون سرعة دورانها متزامنة مع سرعة دوران الساحة المغناطيسية في الثغرة الهوائية، وتستعمل في الغالب لتوليد الطاقة الكهربائية في محطات التوليد، وهي نوعان:

✓ ذات أقطاب بارزة

Salient-pole Synchronous Machines

وهي مولدات بطيئة السرعة (أصغر أو تساوي 500 rpm). تستعمل في محطات التوليد الهيدروليكية.

✓ ذات أقطاب غير بارزة أو اسطوانية

Non Salient-pole Synchronous Machines

أو Cylindrical-pole Synchronous Machines

وهي مولدات عالية السرعة (حتى 3000 rpm)، تستعمل في محطات التوليد الحرارية والغازية.

تصنّف آلات التيار المتناوب بحسب مبدأ عملها إلى:

❖ آلات لا تزامنية أو لا توافقية (غير متواقتة) **Asynchronous Machines** – تكون سرعة دورانها غير متزامنة مع سرعة دوران الساحة المغناطيسية في الثغرة الهوائية، وتسمى غالباً آلات تحريضية **Induction Machines**. تستعمل الآلات التحريضية بشكل أساسي كمحركات مستهلكة للقدرة الكهربائية ونسُميها المحركات التحريضية **Induction Motors** وهي نوعان:

✓ بدائر مقصور (ذات قفص سنجابي)

Squirrel-Cage Rotor Induction Machines

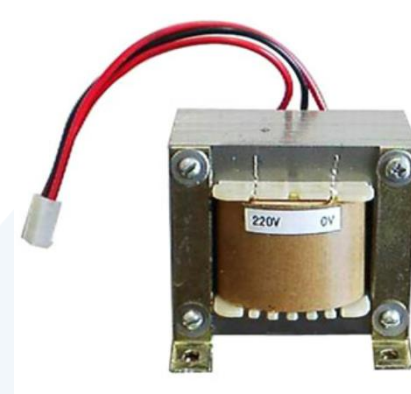
✓ بدائر ملفوف

Wound- Rotor (or slip ring rotor) Induction Machines

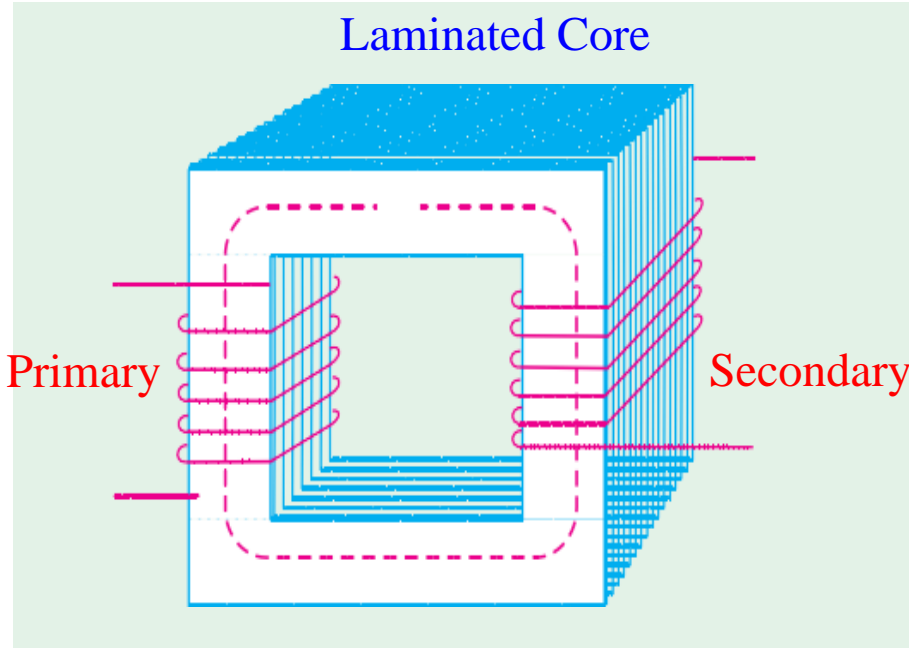
يعتمد مبدأ عمل جميع الآلات الكهربائية، مهما كان نوعها على مبدأ فاراداي في التحريض المغناطيسي الذي يبحث في العلاقة بين ناقل كهربائي والساحة المغناطيسية الموجود فيها هذا الناقل. وعند وجود حركة نسبية بين الاثنين سوف تتعرض في الناقل قوة محرّكة كهربائية، وسيمر فيه تيار إذا كان هذا الناقل يشكل جزءاً من دائرة مغلقة.

المحولات الكهربائية

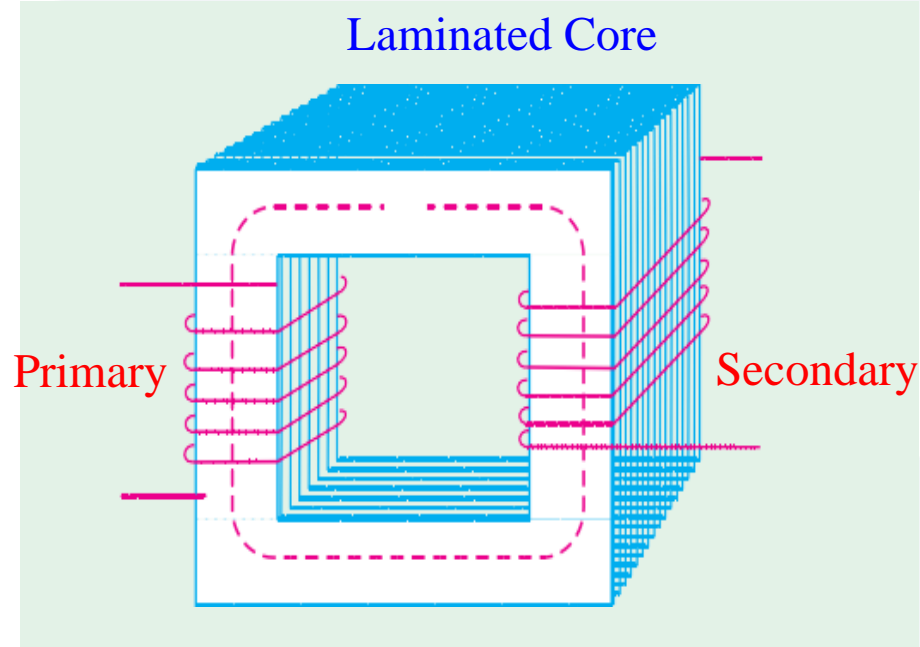
Electric Transformers



المحولة الكهربائية عبارة عن جهاز ساكن يقوم بتحويل القدرة الكهربائية في دائرة واحدة إلى قدرة كهربائية بنفس التردد في دائرة أخرى، حيث يمكنه رفع أو خفض الجهد في الدائرة ولكن مع انخفاض أو زيادة قيمة التيار.



يعتمد مبدأ المحول على التحريض المتبادل بين دائرتين مرتبطتين بفيض مغناطيس مشترك. وتتألف المحولة بأبسط شكل من ملفين منفصلين كهربائياً ولكنهما مرتبطان مغناطيسياً من خلال مسار ذو ممانعة منخفضة، كما في الشكل.

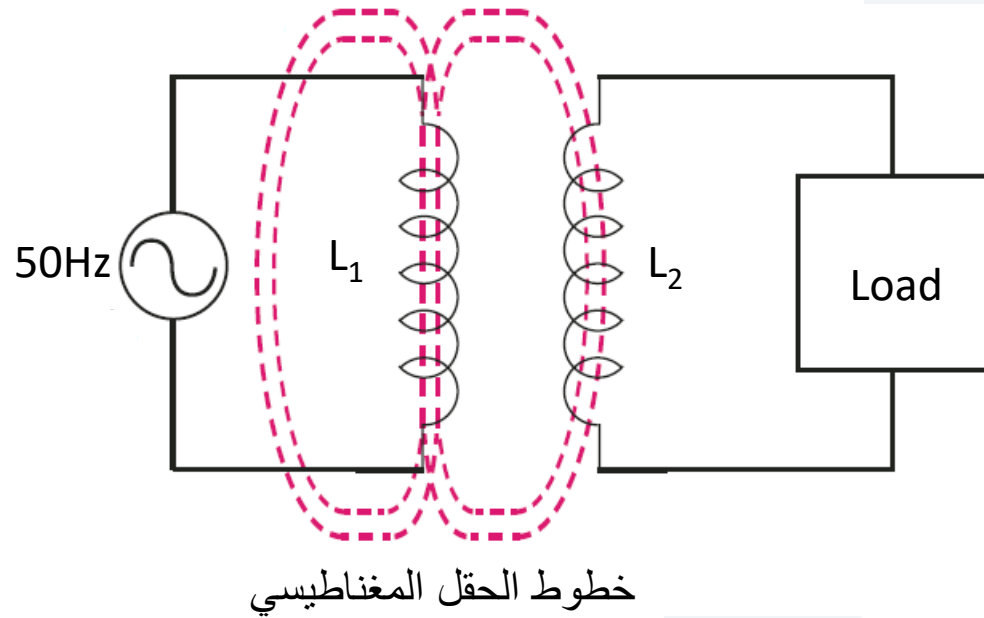


يمتلك الملفان تحريض متبادل عالي القيمة، فإذا ما تم توصيل أحد الملفين بمنبع جهد متناوب سينشأ فيض مغناطيسي في القلب الفولاذي، ويشتبهك معظم هذا الفيض بالملف الآخر، حيث ينتج عنه قوة محرّكة متبادلة. وطبقاً لقوانين فاراداي للتحريض الكهرومغناطيسي فإن هذه القوة المحركة المتحرضة تعطى بالعلاقة:

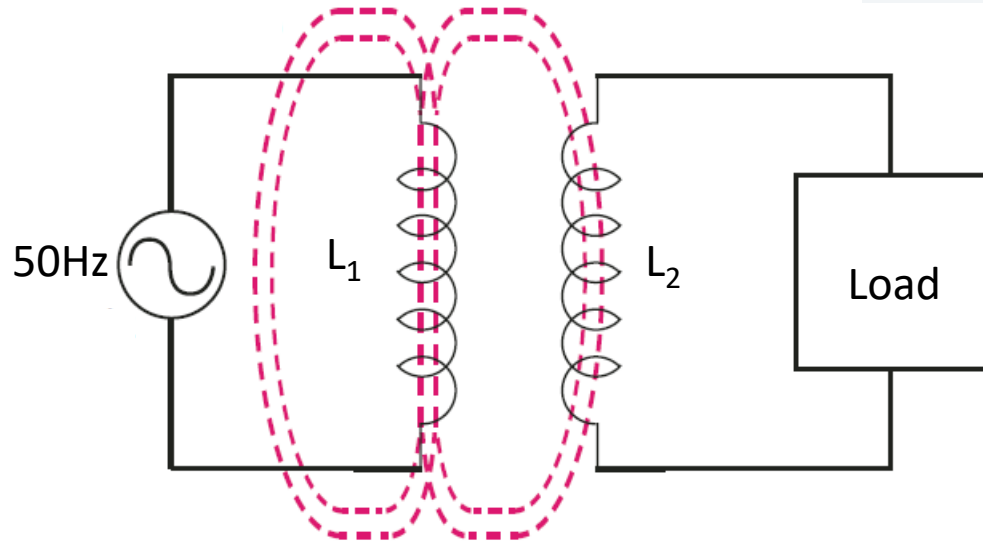
$$e = M \frac{di}{dt}$$

فإذا كانت دائرة الملف الثاني مغلقة من خلال وصل حمل، فسيجري فيها تيار، وبالتالي تنتقل الطاقة الكهربائية مغناطيسياً بالكامل من الملف الأول إلى الملف الثاني.

التحريض المتبادل Mutual Inductance:



عندما يتغير الحقل المغناطيسي في ملف، يتولد جهداً بالتأثير في ملف آخر مجاور له كما في الشكل. تسمى هذه الظاهرة بالتأثير المتبادل، فإذا قمنا بوصل أحد الملفات L_1 بمنبع جهد متناوب، يتولد حول هذا الملف حقل مغناطيسي متناوب أيضاً، حيث يزداد ويتناقص بحسب تغيرات شدة التيار المار في الملف. يقوم هذا الحقل المتناوب باختراق الملف الثاني المجاور L_2 ، ويولد فيه جهداً بالتأثير يستفاد منه في تشغيل حمل كهربائي موصول معه.

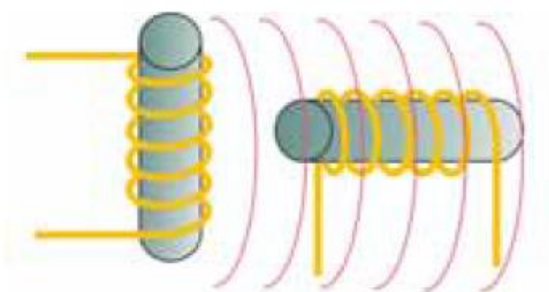
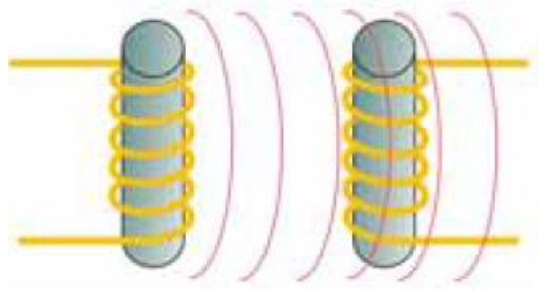
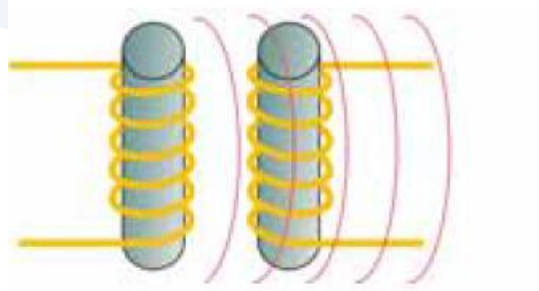


خطوط الحقل المغناطيسي

وفقاً لذلك نقول أن الطاقة الكهربائية انتقلت من دائرة الملف L_1 إلى دائرة الملف L_2 دون اتصال كهربائي مباشر بينهم، واستعيض عن ذلك باتصال مغناطيسي. نسمي الملف L_1 المتصل بمصدر التغذية بالملف الأولي (الإبتدائي)، والملف L_2 الموصول بالحمل بالملف الثانوي.

يقاس التحريض المتبادل بين ملفين بنفس واحدة التحريض الذاتي وهي الهنري [H]، وبذلك يكون التحريض المتبادل بين الملفين L_1 و L_2 في الشكل مساوٍ 1[H] إذا تولد بين طرفي الملف الثانوي L_2 جهداً مقداره 1[V] نتيجة تغير قيمة التيار بمقدار 1[A/sec] في الملف الأولي L_1 .

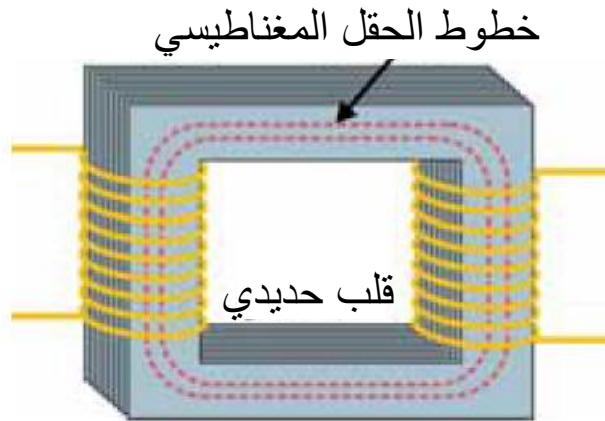
يمكن زيادة التحريض المتبادل بين ملفين بالطرق الآتية:



1. تقليل المسافة الفاصلة بينهما.

2. وضع الملفين بحيث يكون محوراها متوازيين، حيث ينعدم التأثير المتبادل في الوضع الذي يتعامد فيه محورا الملفين، ويستفاد من هذه الظاهرة عندما يراد حماية ملف من تأثير المجال المغناطيسي لملف آخر قريب منه.

3. زيادة عدد اللفات لكل منهما: حيث يزداد الجهد المغناطيسي المتولد نتيجة تقاطع الملف مع مجال مغناطيسي معين.



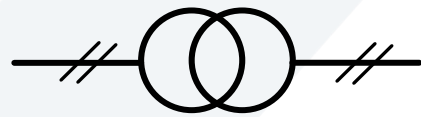
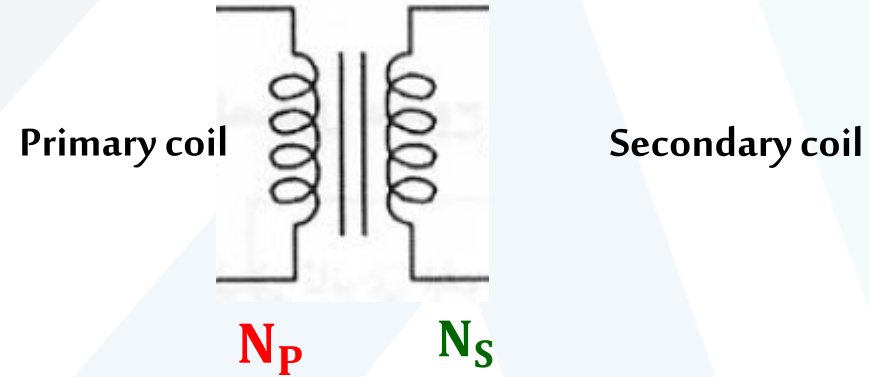
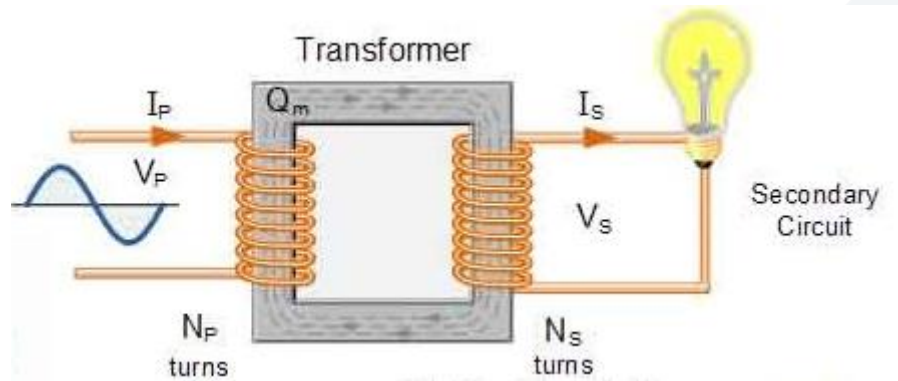
4. نوع الوسط الفاصل بين الملفين: حيث يزداد التحريض المتبادل عن استخدام وسط ذي نفوذية مغناطيسية عالية كالحديد، حيث يتم لف الوشيعة على قلب حديد يشكل مسار متصل للحقل المغناطيسي الناتج عن سريان التيار الكهربائي في الملف الأولي L_1 .

عامل الربط (الارتباط) Coupling Coefficient:

يشير عامل الربط إلى مدى تأثر لفات أحد الملفين بالحقل المغناطيسي للملف الآخر، فإذا فرضنا أن كل خطوط الحقل المغناطيسي لأحد الملفين تتقاطع مع كل لفات الملف الآخر، عندها يقال إن عامل الربط يساوي الواحد. أما في الحالة التي لا تتقاطع فيها جميع خطوط الحقل المغناطيسي مع كل اللفات الخاصة بالملف الآخر (وهي الحالة العامة) عندها يكون عامل الربط أقل من الواحد. ويعطى التحريض المتبادل في هذه الحالة بالعلاقة:

$$\left. \begin{aligned} M^2 &= k^2 \cdot L_1 \cdot L_2 \Rightarrow M = k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2} \\ &\Rightarrow k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} \end{aligned} \right\}$$

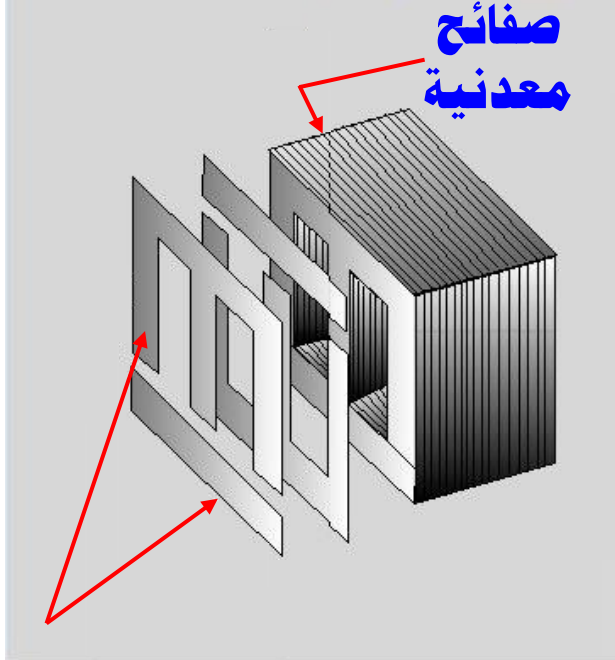
يسمى **الملف الأول** الذي يتم تغذيته من منبع الجهد المتناوب (**الملف الأولي أو الابتدائي**) (**Primary winding (coil)**)، وعدد لفاته (N_p)، بينما يسمى **الملف الثاني** الذي تسحب منه الطاقة، والذي يغذي الحمل (**الملف الثانوي**) (**Secondary winding (coil)**) وعدد لفاته (N_s). يرمز للمحولة في مخططات الدارات الكهربائية بالرمز التالي:



ويرمز للمحولة في الشبكات الكهربائية بالرمز التالي:

يتألف المحول بأبسط أشكاله من ملفين لهما تحريض متبادل، وقلب فولاذي مغلق. يكون الملفان معزولان عن بعضهما وعن القلب الفولاذي. إضافة لما سبق يوجد وعاء خاص للقلب وللملفات، ومواد عزل للقلب الفولاذي عن الوعاء.

في جميع أنواع المحولات يتم تصنيع القلب من صفائح فولاذية يتم تجميعها بطريقة تشابكية، كما في الشكل، لتوفير مسار مغناطيسي مستمر مع ثغرة هوائية عند الضرورة بأبعاد أصغرية قدر الإمكان.



صفائح معدنية على
شكل حرف E و I

يتكون الفولاذ المستخدم من نسبة عالية من السيليكون، وتتم معالجته حرارياً للحصول على نفاذية عالية وضيعاعات بطاء مغناطيسي بالحد الأدنى عند كثافات فيض التشغيل المعتادة.

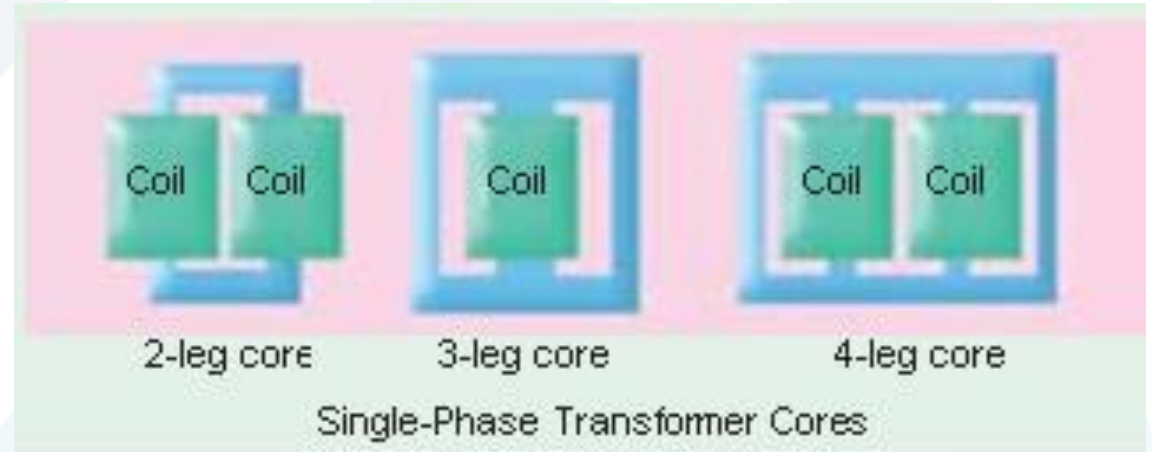
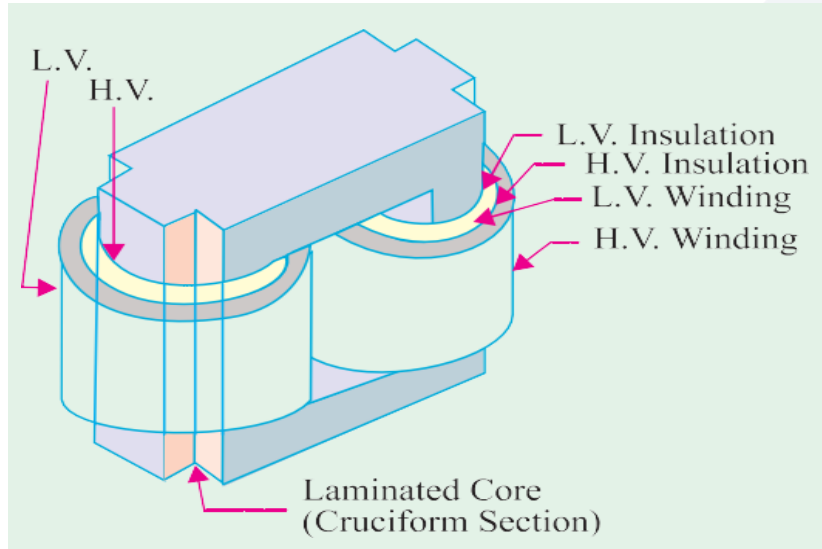
يتم خفض ضيعاعات التيارات الإعصارية عن طريق تصفيح القلب، حيث يتم عزل الصفائح عن بعضها البعض بطبقة خفيفة من مادة الورنيش، أو بواسطة طبقة أكسيد على سطح هذه الصفائح.

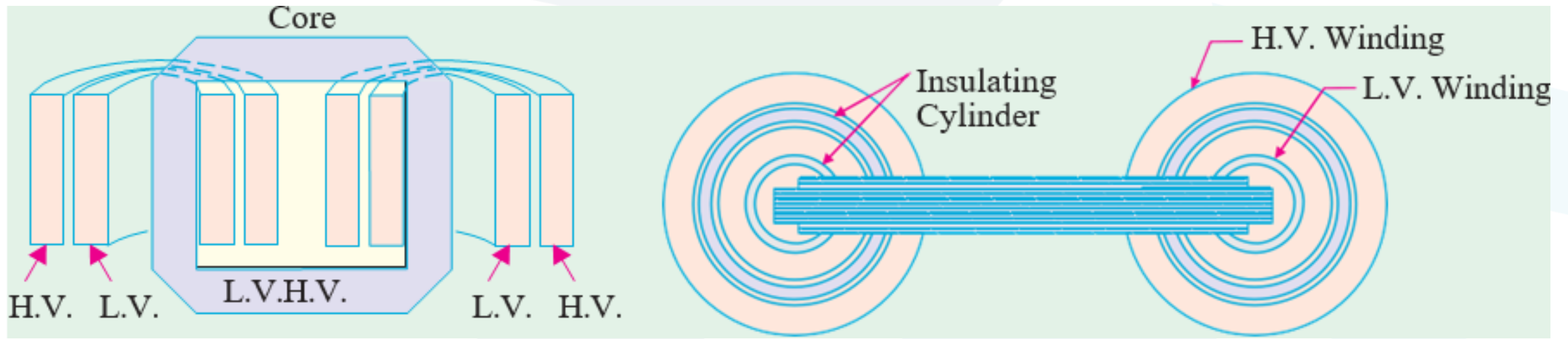
يتراوح سمك الصفائح من **0.35mm** للتردد **50Hz** إلى **0.5mm** للتردد **25Hz**.

أشكال القلب المغناطيسي للمحولات:

تكون الملفات المستخدمة في المحولات ملفوفة بشكل اسطواناني، وقد يكون الشكل العام لهذه الملفات دائرياً أو بيضوياً أو مستطيلاً.

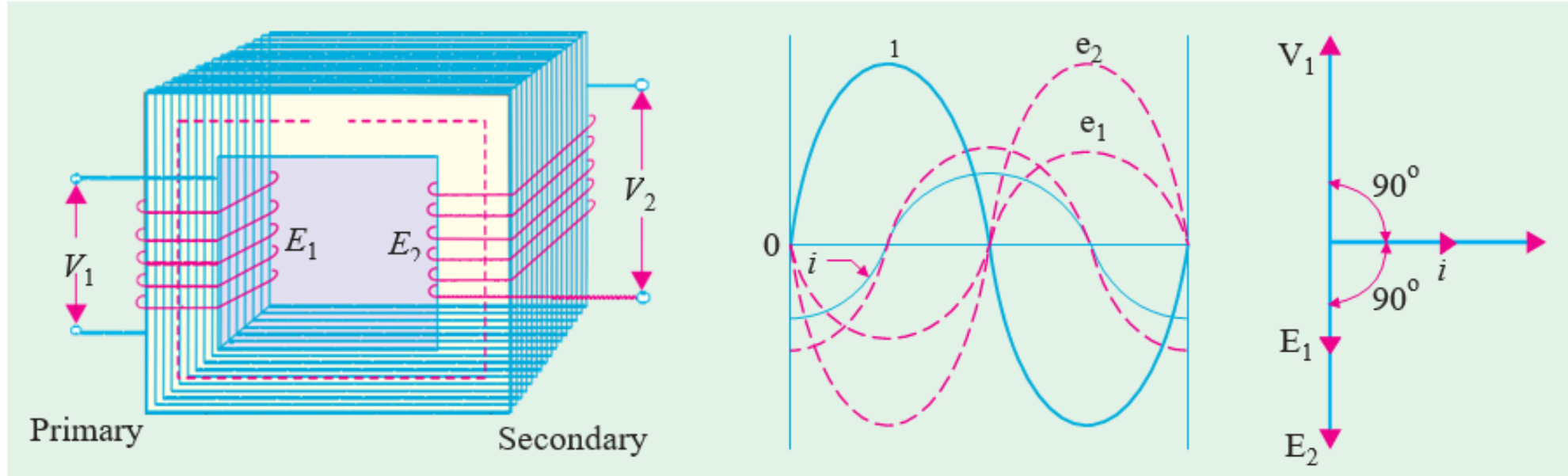
في المحولات الصغيرة الحجم يتم استخدام قلب مستطيل مع ملفات اسطوانانية، أما بالنسبة للمحولات الكبيرة يتم استخدام ملفات اسطوانانية.



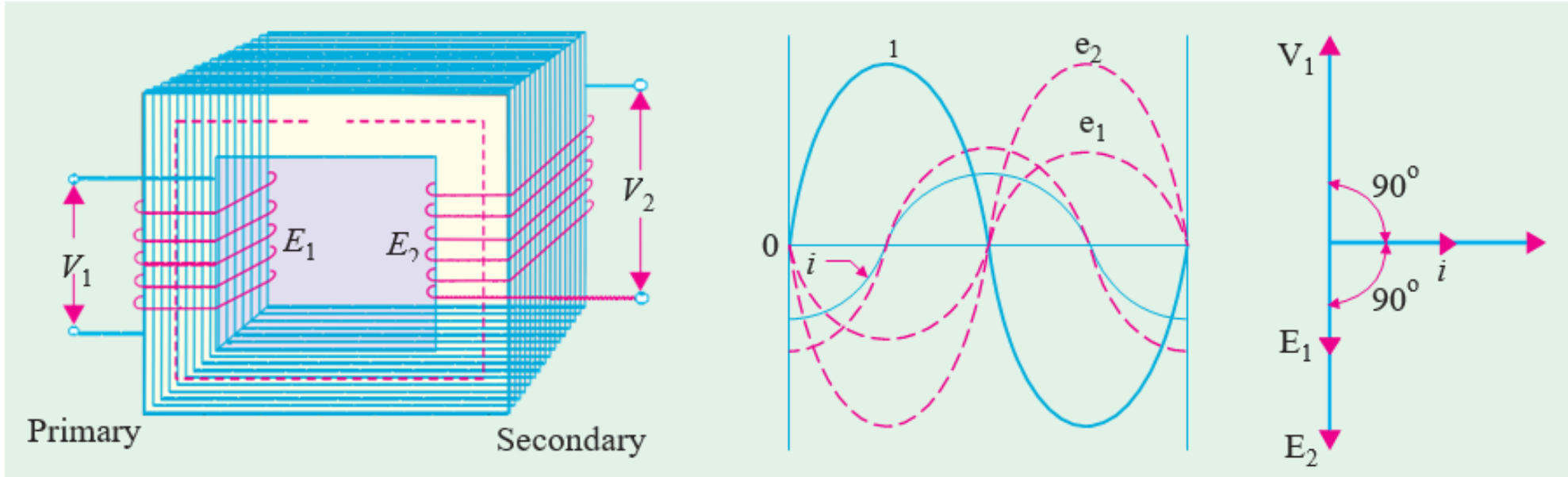


المحولة المثالية هي التي لا توجد فيها ضياعات، أي أن ملفاتها ليس لها مقاومة أومية، ولا يوجد تسرب مغناطيسي، وبالتالي لا يوجد فيها ضياعات حرارية بفعل جول I^2R أو أية ضياعات أساسية، بمعنى آخر، المحولة المثالية تتألف من ملفين تحريضيين ملفوفين على قلب خال من الضياع، ومع ذلك، تجدر الإشارة إلى أنه من المستحيل تحقيق مثل هذه المحولة عملياً، ولكن لسهولة الدراسة نعتمد المحولة المثالية.

ليكن لدينا المحولة المثالية المبينة بالشكل، فإذا تم فتح الملف الثانوي بعدم وصل أية حمولة معه، وتمت تغذية الملف الأولي من خلال منبع جهد متناوب، عندها سيسري في دائرة الملف الأولي التيار المغناطيسي فقط (تيار المغنطة) الذي يعمل على مغنطة القلب الفولاذي للمحولة، وتكون قيمته صغيرة، ويتأخر عن جهد الملف الأولي بمقدار 90° .

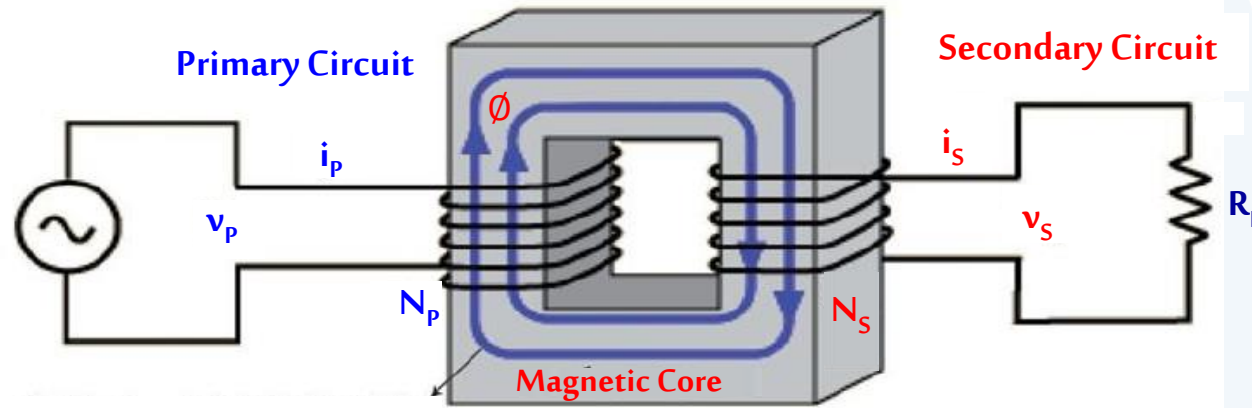


يسبب هذا التيار نشوء فيض مغناطيسي متناوب Φ متناسب معه (بفرض أن نفاذية الدارة المغناطيسية ثابتة)، وبالتالي يكون هذا الفيض متوافق بالطور مع التيار. يتعلق الفيض المتغير الناتج مع عدد لفات الملف الأولي والثانوي، مما يؤدي إلى نشوء قوة محرّكة كهربائية تحريضية ذاتية E_1 في الملف الأولي تساوي قيمة الجهد المطبق عليه V_1 وتعاكسه بالاتجاه، كما في الشكل.



مبدأ العمل Principle of Operation:

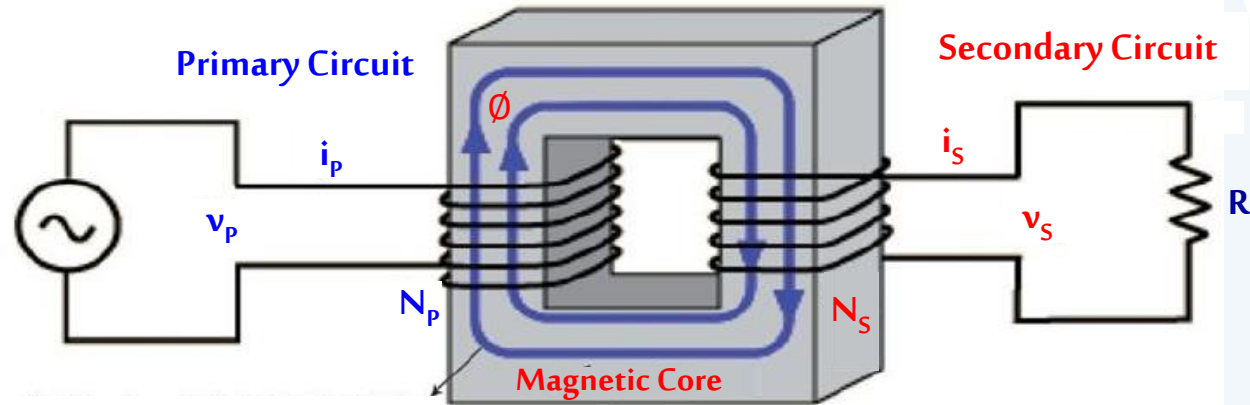
عندما تغذي الملف الأولي ذي عدد اللفات N_p بجهد متناوب قيمته اللحظية: $v_p = V_{mP} \cdot \sin \omega t$ يمر فيه تيار متناوب i_p يؤدي إلى توليد فيض مغناطيسي متناوب Φ يغلق دارته عبر النواة المغناطيسية الحديدية **magnetic core** ويحرض في الملف الأولي قوة محرّكة كهربائية تتناسب قيمتها مع عدد اللفات N_p ومع قيمة الفيض المغناطيسي Φ ومع التردد f ، وتعطى بالعلاقة: $e_p = 4.44 \cdot \Phi \cdot f \cdot N_p$



جهة خطوط الحقل المغناطيسي في اللحظة t

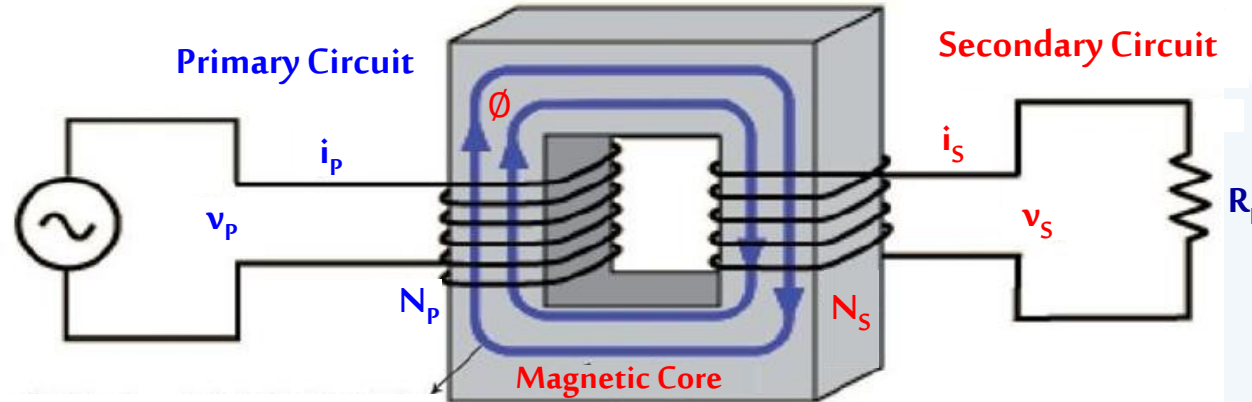
يتشابك هذا الفيض مع لفات الملف الثانوي ذي عدد اللفات N_S . وبما أن الفيض المتشابك هو فيض متناوب، فوفقاً لقانون فاراداي في التحريض الكهرومغناطيسي، سيتعرض في الملف الثانوي قوة محرّكة كهربائية تتناسب قيمتها مع عدد اللفات N_S أيضاً، ومع قيمة الفيض المغناطيسي Φ ، ومع التردد f ، وتعطى بالعلاقة:

$$e_S = 4.44 \cdot \Phi \cdot f \cdot N_S$$



جهة خطوط الحقل المغناطيسي في اللحظة t

عند وصل حمولة R_L سيمر في الملف الثانوي تيار قيمته i_s ، يولد هذا التيار بدوره فيضاً مغناطيسياً يعاكس الفيض المسبب له (**حسب قانون لينز**) ويغلق دارته في النواة المغناطيسية. ويكون الفيض المغناطيسي الكلي في النواة المغناطيسية مساوياً لمجموع الشعاعي للفيضين.



جهة خطوط الحقل المغناطيسي في اللحظة t

إذا قمنا بنسب علاقتي القوتين المحركتين الكهربائيتين في الملفين الأولي والثانوي وذلك بإهمال هبوط الجهد الداخلي عليهما نجد:

$$e_P = v_P = 4.44 \cdot \emptyset \cdot f \cdot N_P$$

$$e_S = v_S = 4.44 \cdot \emptyset \cdot f \cdot N_S$$

$$\frac{e_P}{e_S} = \frac{v_P}{v_S} = \frac{N_P}{N_S} = k = \frac{I_S}{I_P}$$

تسمى هذه النسبة k بنسبة التحويل أو نسبة عدد لفات الملف الأولي إلى الثانوي. وفقا لذلك يعطى الجهد الثانوي بدلالة جهد الملف الأولي ونسبة عدد اللفات بالعلاقة:

$$v_P \cdot N_S = v_S \cdot N_P \Rightarrow v_S = v_P \frac{N_S}{N_P}$$

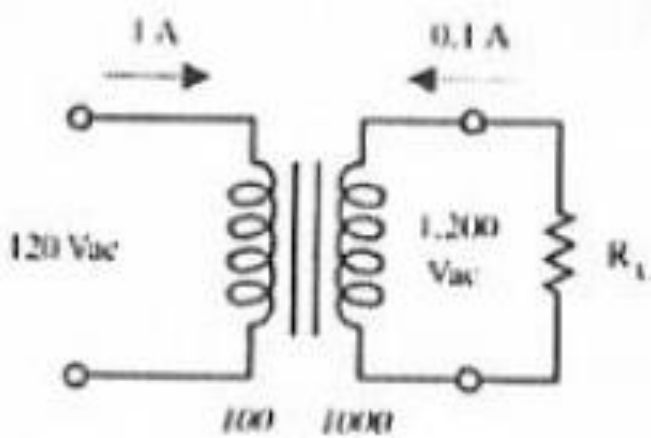
❖ إذا كان عدد لفات الملفين متساوياً $N_p=N_s$ ، يكون الجهد الأولي مساو للجهد الثانوي $V_p=V_s$ (نسبة التحويل 1:1)، والمحولة هنا تقوم بدور العزل بين طرفي الدارة الأولي والثانوي. نسمي مثل هذه المحولة بمحولة العزل **Isolating transformer**

تستخدم محولات العزل لحماية دارات الثانوي من الصدمات الكهربائية (وكذلك لحماية الأشخاص الذي يلمسون عناصر من دارة الثانوي كالمفاتيح والمقابض والمسكات... وغيرها). والسبب في تأمين الحماية هو أن الملف الثانوي يرتبط مغناطيسياً مع الأولي، وليس كهربائياً، فلا يوجد ربط كهربائي فيزيائي مباشر مع الأولي.

❖ إذا كان عدد لفات الملف الثانوي أكبر من عدد لفات الملف الاولي $N_S > N_P$ ، أي $k = N_P / N_S < 1$ ويكون $V_S > V_P$ ، ونقول عن المحولة أنها رافعة للجهد **Step-up Voltage**، أو خافضة للتيار **Step-Down Current**.

إذا كان عدد لفات الملف الأولي 100 لفة مثلاً، وعدد لفات الملف الثانوي 1000 لفة وكان جهد الابتدائي 120 V وتيار الأولي 1A. احسب جهد وتيار الملف الثانوي. ماذا تستنتج؟

Step-Up Voltage/Step-Down Current



$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} \Rightarrow V_S = \frac{N_S}{N_P} \cdot V_P \Rightarrow V_S = \frac{1000}{100} \times 120 = 1200V$$

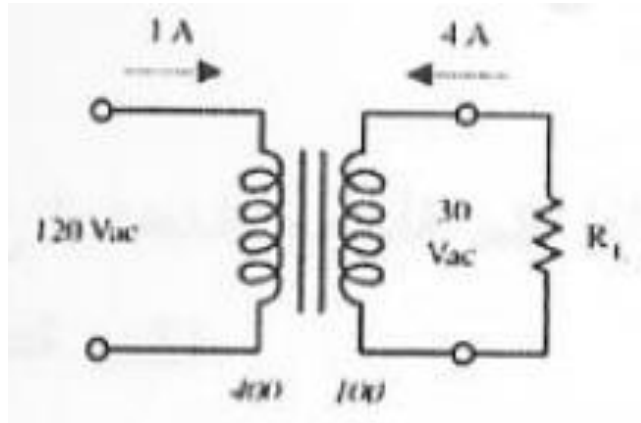
$$\frac{N_P}{N_S} = \frac{I_S}{I_P} \Rightarrow I_S = \frac{N_P}{N_S} \cdot I_P \Rightarrow I_S = \frac{100}{1000} \times 1 = 0.1A$$

نستنتج أن المحول الذي يعطي جهد ثانوي أكبر من الجهد الأولي هو محول رافع للجهد.

❖ إذا كان عدد لفات الملف الثانوي أقل من عدد لفات الملف الاولي $N_S < N_P$ ، أي $k = N_P / N_S > 1$ ويكون $V_S < V_P$ ، ونقول عن المحولة أنها خافضة للجهد **Step-down Voltage**. أو ارفعة للتيار **Step-Up Current**.

إذا كان عدد لفات الملف الأولي 400 لفة مثلاً، وعدد لفات الملف الثانوي 100 لفة وكان جهد الابتدائي 120 V وتيار الأولي 1A. احسب جهد وتيار الملف الثانوي. ماذا تستنتج؟

Step-Down Voltage/Step-Up Current



$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} \Rightarrow V_S = \frac{N_S}{N_P} \cdot V_P \Rightarrow V_S = \frac{100}{400} \times 120 = 30V$$

$$\frac{N_P}{N_S} = \frac{I_S}{I_P} \Rightarrow I_S = \frac{N_P}{N_S} \cdot I_P \Rightarrow I_S = \frac{400}{100} \times 1 = 4A$$

نستنتج أن المحول الذي يعطي جهد ثانوي أقل من الجهد الأولي هو محول خافض للجهد.

النتيجة:

$$N_S > N_P \Rightarrow V_S > V_P \Rightarrow I_S < I_P$$

$$N_S < N_P \Rightarrow V_S < V_P \Rightarrow I_S > I_P$$

المحول الرفع للجهد هو خافض للتيار، أما المحول الخافض للجهد فهو رفع للتيار.

نقول عن المحولة التي تحوي ملفين فقط: أولي وثانوي بأنها محولة ثنائية الملفات. أما إذا احتوت المحولة على عدد أكبر من الملفات من جهة الأولي أو من جهة الثانوي أو من الجهتين معاً فنقول عنها أنها محولة متعددة الملفات.

المعادلات الأساسية والدائرة الكهربائية المكافئة للمحولة:

Equations and electrical equivalent circuit

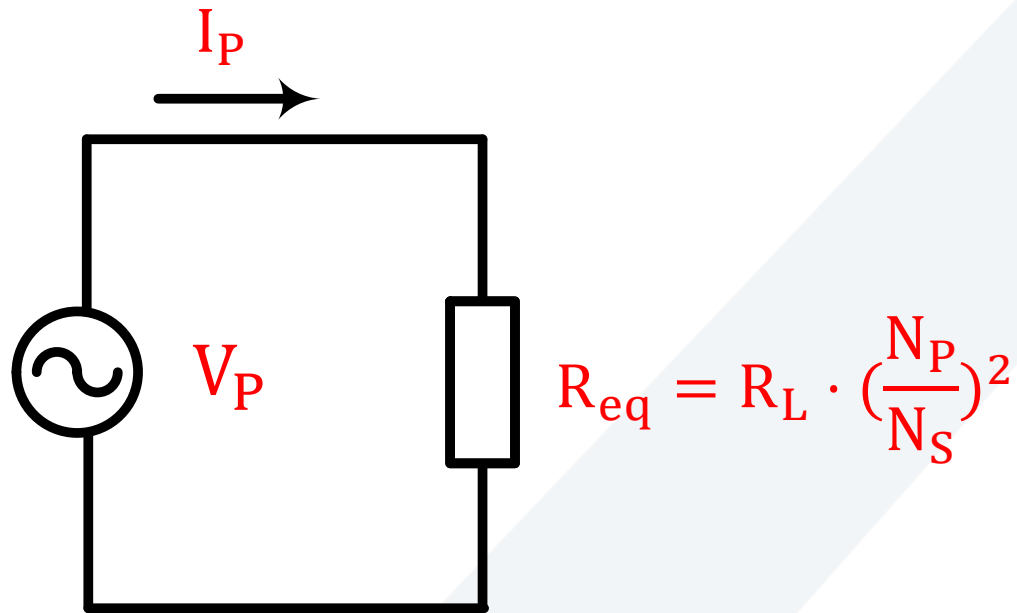
بإهمال الضياعات في المحولة تكون الاستطاعة التي يستهلكها الملف الأولي من المنبع تساوي استطاعة الملف الثانوي التي يقدمها للمستهلك، وبالتالي:

$$P = V_P \cdot I_P = V_S \cdot I_S \Rightarrow \frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P} = \frac{N_P}{N_S} = k$$

وبدلالة مقاومة الحمل تكون الاستطاعة مساوية: $P = V_S \cdot I_S = V_S \cdot \frac{V_S}{R_L} = \frac{V_S^2}{R_L}$

بتعويض قيمة V_S من العلاقة $V_S = V_P \frac{N_S}{N_P}$ نجد:

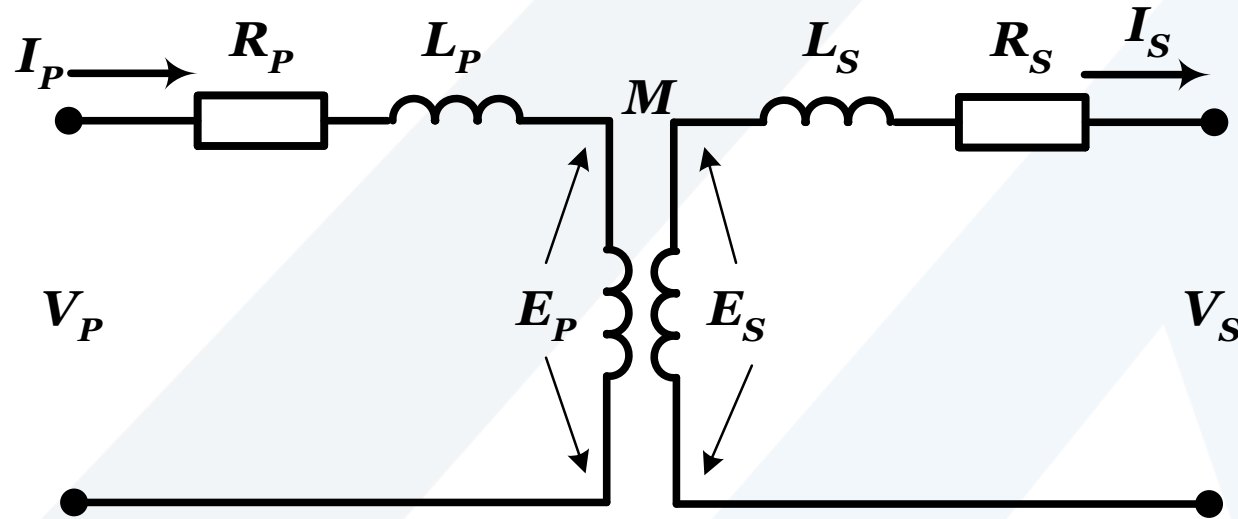
$$P = \frac{V_P^2}{R_L} \cdot \left(\frac{N_S}{N_P}\right)^2 = \frac{V_P^2}{R_L \cdot \left(\frac{N_P}{N_S}\right)^2} = \frac{V_P^2}{R_L \cdot k^2}$$



تبين هذه العلاقة أنه يمكن تمثيل المحولة العملية المعقدة، والمؤلفة من دارتين منفصلتين كهربائياً ومتشابكتين مغناطيسياً بدارة كهربائية مكافئة مبسطة، كما في الشكل:

الدارة المكافئة السابقة لا تعطي تصوراً واضحاً ومفصلاً عن المحولة الكهربائية: جهدي الملفين الأولي والثانوي، تياري الملفين وعناصر الأولي والثانوي.

يمكن تمثيل المحولة العملية المؤلفة من ملفين أولي وثانوي بالدارة الكهربائية المكافئة التالية:



الضیاعات:

تستهلك المحولة من الشبكة الكهربائية استطاعة ظاهرية $S_p = V_p \cdot I_p$ يُستهلك قسم منها لتغطية الضیاعات المختلفة في المحولة، ويصل الباقي إلى المستهلك $S_s = V_s \cdot I_s$.

تقسم الضیاعات في المحولة إلى ضیاعات كهربائية تتعلق بتيار الحمولة وتصرف في الملفات، لذلك تسمى الضیاعات المتغيرة أو الضیاعات النحاسية، وإلى ضیاعات حديدية (مغناطيسية) لا تتأثر بتيار الحمولة بل بالقوة المحركة الكهربائية المتحرضة في الملف الاولي أو بالتوتر المطبق على هذا الملف وهذه الضیاعات تظهر في القلب الحديدي المغناطيسي وتسمى الضیاعات الثابتة.

الضياعات:

1. الضياعات الكهربائية المتغيرة (النحاسية): P_{Cu}

$$P_{CuP} = R_P \cdot I_P^2$$

الضياع في الملف الأولي:

$$P_{CuS} = R_S \cdot I_S^2$$

الضياع في الملف الثانوي:

الضياع النحاسي الكلي في المحولة:

$$P_{Cu} = P_{CuP} + P_{CuS} = R_P \cdot I_P^2 + R_S \cdot I_S^2$$

الضیاعات:

2. الضیاعات الثابتة الحديدية (المغناطيسية): P_{Fe}

لا تتعلق هذه الضیاعات بتيار الحمولة وإنما بالتحريض المغناطيسي في القلب الحديدي، وبمربع التردد، وبوزن القلب المغناطيسي. وتنشأ هذه الضیاعات بفعل التيارات الاعصارية داخل القلب المغناطيسي وبفعل البطء والإشباع المغناطيسي:

$$\sum P = P_{Cu} + P_{Fe}$$

$$P_{Fe} \approx B^2 \approx E^2 \approx V^2$$

3. الضیاعات الكلية في المحولة:

تعطى الضیاعات الكلية في المحولة كمجموع الضیاعات النحاسية والحديدية، أي:

تعرف نسبة التحميل للمحولة بالعلاقة:

$$I_S^* = \frac{I_S}{I_{Sn}}$$

المردود:

$$\eta = \frac{P_{Cu}}{P_P} = \frac{P_{Cu}}{P_{Cu} + \sum P} = \frac{P_P - \sum P}{P_P} = 1 - \frac{\sum P}{P_P} = 1 - \frac{\sum P}{P_{Cu} + \sum P}$$

يعرف المردود بأنه نسبة الاستطاعة المفيدة المستجرة من الملف الثانوي للمحولة إلى الاستطاعة المقدمة للمحولة من الشبكة P_P

محولة كهربائية احادية الطور توتراتها $400/6600\text{ V}$ ، عدد لفات ملف التوتر المنخفض 70 لفة. أوجد القيمة الأعظمية للفيض المغناطيسي في النواة إذا كان تردد التغذية 50 Hz ، ومساحة مقطع القلب المغناطيسي إذا كان التحريض الأعظمي المسموح به 0.7 [T] .

$$E = 4.44 \cdot \Phi \cdot f \cdot N$$

$$\Rightarrow \Phi = \frac{E}{4.44 \cdot f \cdot N} = \frac{400}{4.44 \times 50 \times 70} = 25.67 \times 10^{-3} [\text{Wb}]$$

الحل:

مساحة مقطع القلب المغناطيسي (النواة):

$$S = \frac{\Phi}{B} = \frac{25.67 \times 10^{-3}}{0.7} = 36.67 \times 10^{-3} [\text{m}^2]$$

2. محولة كهربائية عدد لفاتها ملفها الأولي [Turn] 900 وملفها الثانوي [Turn] 30. غدينا ملفها الأولي بجهد مقداره [V] 180 ووصلنا ملفها الثانوي مع حمولة مقاومتها الأومية $R_L=2[\Omega]$. المطلوب:
- احسب جهد الملف الثانوي، ونسبة التحويل.
 - احسب قيم التيارات المارة في الملفين الأولي والثانوي.
 - احسب استطاعة المحولة.
 - احسب مساحة مقطع أسلاك الملفين الأولي والثانوي بفرض أن النواقل نحاسية، وان كثافة التيار متساوية في الملفين وتبلغ $2.5 [A/mm^2]$.

$$\frac{I_S}{I_P} = \frac{E_P}{E_S} = \frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S} = k = \frac{900}{30} = 30$$

$$V_S = V_P \frac{N_S}{N_P} = 180 \times \frac{30}{900} = 6[V]$$

الحل: أ.

2. محولة كهربائية عدد لفاتها ملفها الأولي [Turn] 900 وملفها الثانوي [Turn] 30. غزينا ملفها الأولي بجهد مقداره [V] 180 ووصلنا ملفها الثانوي مع حمولة مقاومتها الأومية $R_L=2[\Omega]$. المطلوب:
- احسب جهد الملف الثانوي، ونسبة التحويل.
 - احسب قيم التيارات المارة في الملفين الأولي والثانوي.
 - احسب استطاعة المحولة.
 - احسب مساحة مقطع أسلاك الملفين الأولي والثانوي بفرض أن النواقل نحاسية، وان كثافة التيار متساوية في الملفين وتبلغ $2.5 [A/mm^2]$.

الحل:

ب. نحسب التيار في الملف الثانوي من قانون أوم:

$$I_S = \frac{V_S}{R_L} = \frac{6}{2} = 3[A]$$

$$I_P = I_S \cdot \frac{V_S}{V_P} = 3 \times \frac{6}{180} = 0.1[A]$$

2. محولة كهربائية عدد لفاتها ملفها الأولي [Turn] 900 وملفها الثانوي [Turn] 30. غدينا ملفها الأولي بجهد مقداره [V] 180 ووصلنا ملفها الثانوي مع حمولة مقاومتها الأومية $R_L=2[\Omega]$. المطلوب:
- احسب جهد الملف الثانوي، ونسبة التحويل.
 - احسب قيم التيارات المارة في الملفين الأولي والثانوي.
 - احسب استطاعة المحولة.
 - احسب مساحة مقطع أسلاك الملفين الأولي والثانوي بفرض أن النواقل نحاسية، وان كثافة التيار متساوية في الملفين وتبلغ $2.5 [A/mm^2]$.

الحل:

ج.

$$P = V_P \cdot I_P = V_S \cdot I_S = 180 \times 0.1 = 18[W]$$

$$S_P = \frac{I_P}{J} = \frac{0.1}{2.5} = 0.04[mm^2]$$

$$S_S = \frac{I_S}{J} = \frac{3}{2.5} = 1.2[mm^2]$$

د. مساحة مقطع الناقل للملف الأولي:

مساحة مقطع الناقل للملف الثانوي:

