

أسسیات الكهرومغناطیسیة

اكتشف أورستيد الظاهرة المغناطیسیة الكهربائیة، حيث لاحظ أن البوصلة المغناطیسیة تحرف في اتجاه معین عند وضعها قرب سک يمر فيه تيار كهربائي. وأوضح بالتجارب أن أي سک حامل لتيار كهربائي ينشئ حوله مجالاً مغناطیسیاً له نفس الظواهر التي للمجال المغناطیسی الذي ينبع عن أي مغناطیس طبیعی والذي درسنا خصائصه سابقاً. كما أوضحت تجارب أخرى أن قوة میکانیکیة تظهر على أي سک يمر فيه تيار كهربائي إذا وضع داخل مجال مغناطیسی. وأدت التجارب التي قام بها فارادای إلى اكتشاف ظاهرة الحث الكهرومغناطیسی والتي تنص على أن قوة دافعة كهربائیة تظهر في أي سک عندما يتحرك داخل مجال مغناطیسی بحيث يقطع خطوط المجال، أو إذا وضع داخل مجال مغناطیسی يتغير مع الزمن.

وأدت هذه الظواهر إلى الإستعمال الواسع للكهرباء كطاقة نافعة يمكن تولیدها وتحويلها إلى أشكال أخرى بطرق بسيطة نوعاً ما، وفيما يلي سندرس هذه الظواهر بإيجاز.

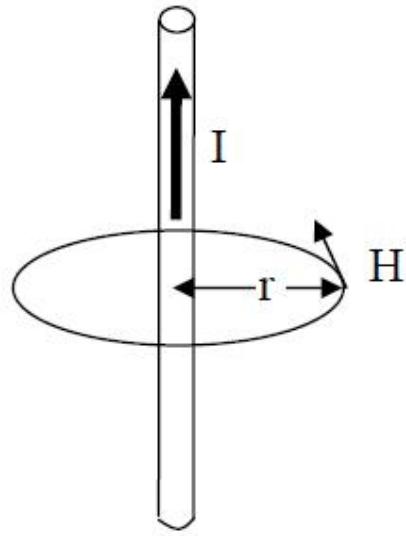
$$B = \frac{\mu I}{2\pi r}$$

حيث r هي المسافة بين النقطة التي نحسب عندها الحث والمسقط العمودي لهذه النقطة على محور السلك

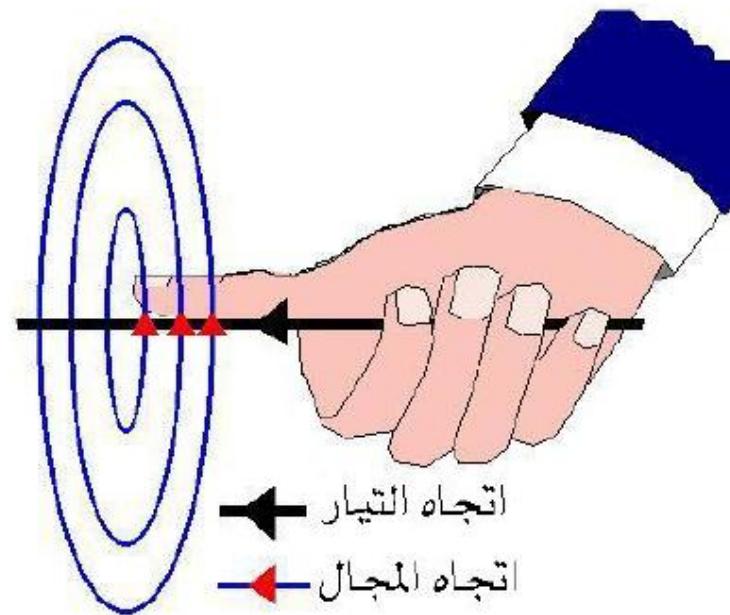
شدة المجال الناشئ عن هذا التيار هي

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

من هذه العلاقة نفهم اختصار وحدة A/m لشدة المجال، ونلاحظ أن شدة المجال لا تعتمد على تفاصيل الوسط كما أشرنا إلى ذلك في نهاية الفصل السابق.



الشكل ١-١٠: المجال المغناطيسي الناتج
عن مرور تيار في سلك مستقيم طويل



الشكل ١-٩: قاعدة اليد اليمنى

مثال ٤: يمر تيار كهربائي شدته 10A في سلك مستقيم طويل موضوع في الفراغ. احسب قيمة الحث المغناطيسي وشدة المجال الناتجين على بعد 4cm من السلك.

الحل:

$$\mu = \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m} \quad \text{نطبق المعادلتين ١-٥ و ١-٦ على أن في الفراغ}$$

$$B = \frac{\mu I}{2\pi r} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 15}{2\pi \times 4 \times 10^{-2}} = 7.5 \times 10^{-5} \text{ T}$$

$$H = \frac{I}{2\pi r} = \frac{15}{2\pi \times 4 \times 10^{-2}} = 59.7 \text{ A/m}$$

القوة على سلك حامل لتيار في مجال مغناطيسي

يحدد اتجاه القوة F التي تظهر على سلك حامل لتيار كهربائي I عند وضعه في مجال مغناطيسي كثافة فيضه B باستخدام قاعدة فليمنج لليد اليسرى الموضحة في الشكل ١-١١، والتي تنص على ما يلي : إذا أشارت السبابة إلى اتجاه المجال ، وأشارت الوسطى إلى اتجاه التيار فإن الإبهام سيشير إلى اتجاه القوة. أما قيمة هذه القوة فهي

$$F = IBl \sin \theta$$

حيث l هو طول السلك و θ هي الزاوية بين اتجاه التيار وخطوط المجال. ونستنتج أن القوة تصل إلى قيمتها القصوى IBl عندما يكون السلك عمودي على المجال أي عندما $\theta = 90^\circ$. أما إذا كان السلك موازيا للمجال أي $\theta = 0^\circ$ فإن القوة تتعذر.



قاعدة فليمنج لليد اليسرى

القوة بين موصلين حاملين للتيار

إذا وضعنا سلكين طوليين متوازيين وحاملين للتيارين I_1 و I_2 على بعد d بينهما فإن كلا السلكين يصبهان خافعین للمجال المغناطيسي الذي ينتجه تيار السلك الآخر وبذلك تظهر عليه قوة، فالسلك 2 مثلاً ينتج الحث المغناطيسي B_2 ذا اتجاه عمودي على السلك 1 ، وبذلك تظهر على كل وحدة طول من السلك 1 القوة

$$F_{21} = I_1 B_2$$

حيث أن الزاوية بين I_1 و B_2 هي $\theta = 90^\circ$ ، وحيث إننا أخذنا $l = 1\text{m}$

مثال ٥: وضع سلك طوله ١٠ cm عموديا على مجال مغناطيسي. إذا كانت شدة التيار المار في السلك ٢A، وكانت القوة الناتجة على السلك ٤N، فما هي كثافة الفيصل المغناطيسي؟ احسب هذه الكثافة إذا كانت الزاوية بين السلك والمجال تساوي 20° .

الحل:

من المعادلة ٧ نستنتج

$$B = \frac{F}{Il \sin \theta}$$

$$= \frac{0.04}{2 \times 10 \times 10^{-2} \times \sin(90^\circ)} = 0.2 T$$

عندما تكون الزاوية $20^\circ = \theta$ تصبح كثافة الفيصل

$$B = \frac{0.04}{2 \times 10 \times 10^{-2} \times \sin(30^\circ)} = 0.4 T$$

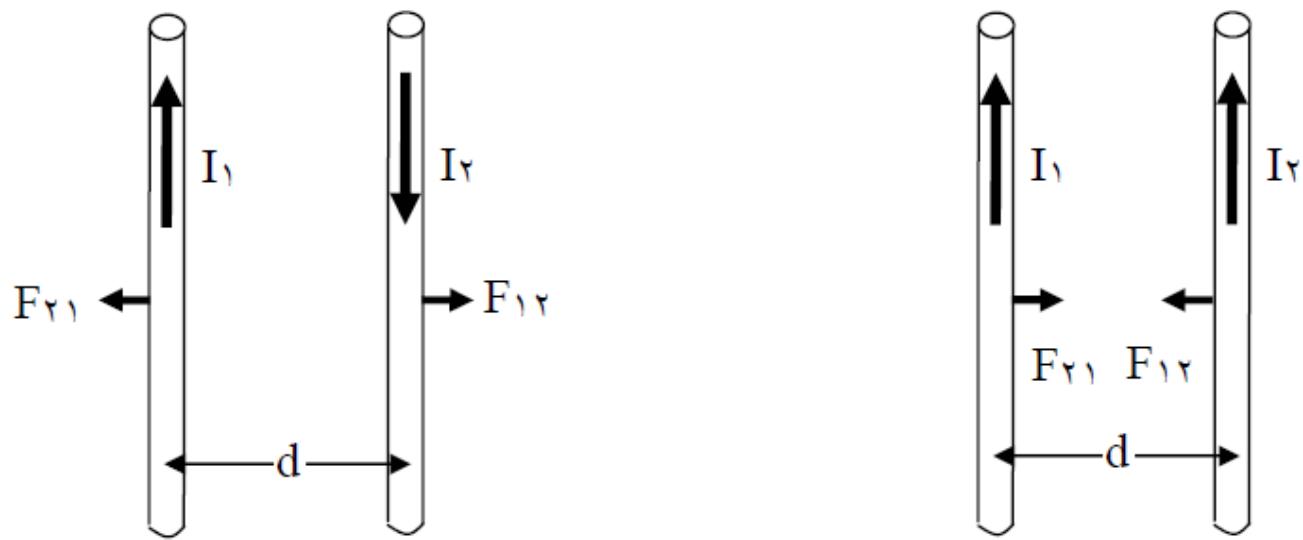
$$B_2 = \frac{\mu I_2}{2\pi d}$$

$$F_{21} = \frac{\mu I_1 I_2}{2\pi d}$$

و بالمثل نحصل على القوة المؤثرة على كل وحدة طول من السلك F_{12} ، وهي تساوي القوة F_{21} في القيمة وتعاكسها في الإتجاه. أما اتجاه القوتين فإنه يعتمد على اتجاه التيارين، فإذا كان التياران في

نفس الاتجاه يتجازب السلكان

ونتظر الإشارة هنا إلى أن تعريف الأمبير مبني على قياس القوة بين سلكين متوازيين، حيث إن القوة بين سلكين مستقيمين بطول لانهائي متوازيين ومساحة مقطعيهما صغيرة يمكن إهمالها ويمر في كل منها تيار A وهما موضوعان في الفراغ على بعد l من بعضهما هي $N \times 10^7$ لكل متر طولي. وهذه الطريقة لتعريف الأمبير أعلى دقة من الطرق الأخرى.



الشكل ١٢ : القوة بين سلكين حاملين للتيار

مثال ٦ : عند قياس قوة التجاذب بين سلكين طوليين متوازيين يمر فيهما تياران موضوعان في الفراغ على بعد 20 cm من بعضهما وجد أنها تساوي $20 \times 10^{-7}\text{ N/m}$. احسب شدة التيار المارة في السلك الثاني إذا كانت شدة التيار المار في السلك الأول هي 2 A .

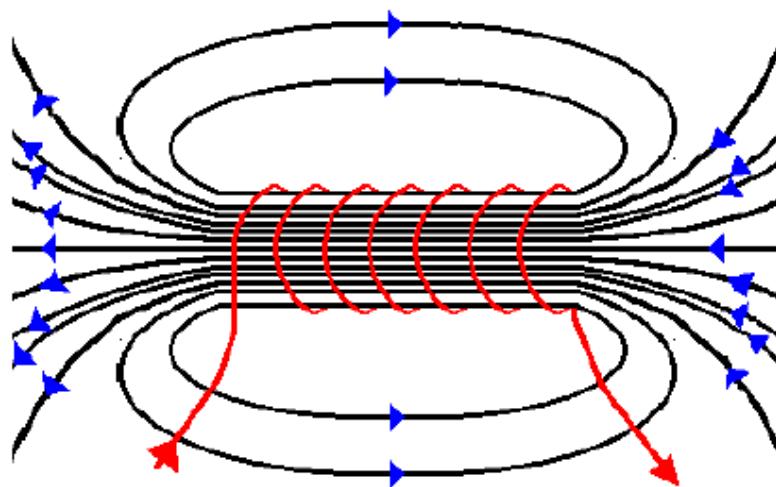
الحل :

من المعادلة ٨ نستنتج

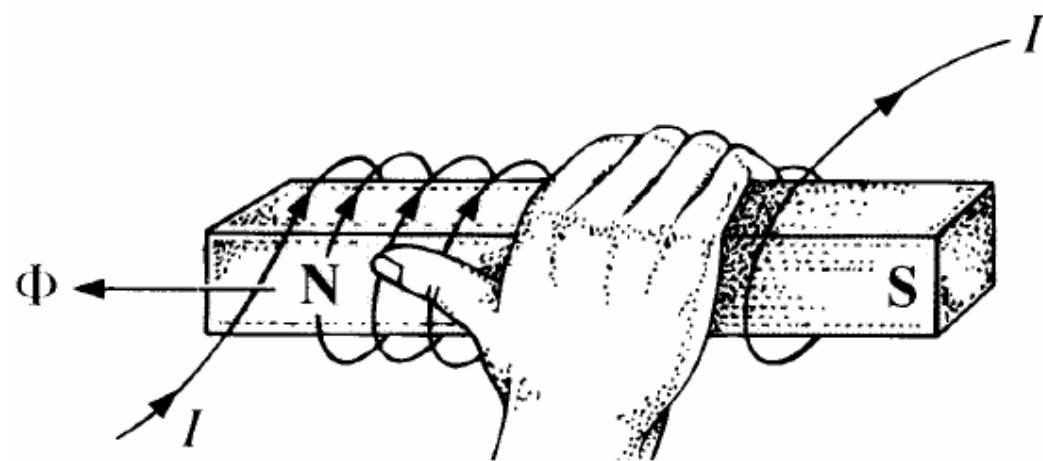
$$I_2 = \frac{2\pi d F_{21}}{\mu_0 I_1}$$

$$= \frac{2\pi \times 30 \times 10^{-2} \times 20 \times 10^{-7}}{4\pi \times 10^{-7} \times 2} = 1.5\text{ A}$$

لو مررنا تيارا كهربائيا في سلك ملفوف N لفة فإننا نحصل على فيض مغناطيسي يتناسب مع التيار، وترجع خطوط القوى المغناطيسية من أحد طرفي الملف لتدخل في طرفه الآخر. ولو كان طول الملف كبيرا مقارنة بقطره فإن خطوط المجال تكون كما في الشكل ١-١٢. ونسمى هذا بالمغناطيس الكهربائي لأنه ينتج نفس المجال الذي ينتجه مغناطيس دائم على شكل قضيب موضوع بحيث يتطابق محوره مع محور الملف. ونستطيع رفع قيمة الفيض الناتج عن المغناطيس الكهربائي بإدخال قلب حديدي في الملف. ويمكن معرفة قطبية الملف بمساعدة قاعدة الإبهام التالية والمبينة في الشكل ١-١٤: عند القبض على الملف باليد اليمنى بحيث تشير أطراف الأصابع إلى اتجاه التيار، فإن طرف الإبهام الممدود يشير إلى موضع القطب الشمالي.



الشكل ١٢ : المجال المغناطيسي للف حامل لتيار



الشكل ١٤ : قاعدة الإبهام

نسمى النسبة بين الحكمة $N\Phi$ (حاصل ضرب الفيض المغناطيسي في عدد اللفات) والتيار I المار في نفس الملف والذي ولد الفيض Φ بالحثية الذاتية L للملف

$$L = \frac{N\Phi}{I}$$

ووحدتها الهنري (Henry) ورمزها H .

الحثية التبادلية

لو وضعنا ملفين بجانب بعضهما ومررنا التيار I_1 في الملف الأول فإن هذا التيار سينتج فيضا

مغناطيسيًا يمر جزء منه داخل الملف الثاني. نسمى الكلمة

$$M_{21} = \frac{N_2 \Phi_{21}}{I_1} \quad ١٠$$

بالحثية التبادلية بين الملفين ووحدتها المتر.

في المعادلة ١٠، Φ_{21} هو الجزء من الفيض الناتج عن التيار I_1 والمارة في الملف الثاني ، و N_2 هو عدد لفات الملف الثاني.

وبالمثل نعرف الحثية التبادلية $M_{12} = M_{21}$. وفي كل الحالات فإن

مثال ١ : تعطى كثافة الفيض المغناطيسي في محور ملف مكون من N لفة، ذي قلب (حديدي أو غير حديدي) و $d=5\text{mm}$. كم تصبح هذه الحثية لو نزعنا القلب الحديدي

الحل :

باستعمال المعادلة ٢ فإن الفيض المغناطيسي Φ يكون

$$\Phi = BA = \frac{\mu NI}{l} A$$

حيث أن مساحة مقطع القلب $A = \pi d^2/4$. وبالتعويض في المعادلة ١ نستنتج الحثية

$$L = \frac{\mu N^2 A}{l} = \frac{\mu_0 \mu_r N^2 \pi d^2}{4l}$$

$$= \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 1000 \times (100)^2 \pi (5 \times 10^{-3})^2}{4 \times 10 \times 10^{-2}} = 2.5 \times 10^{-3} \text{ H} = 2.5 \text{ mH}$$

لو نزعنا القلب الحديدي فإن الحثية تتحفظ بنسبة μ_r ، أي تصبح

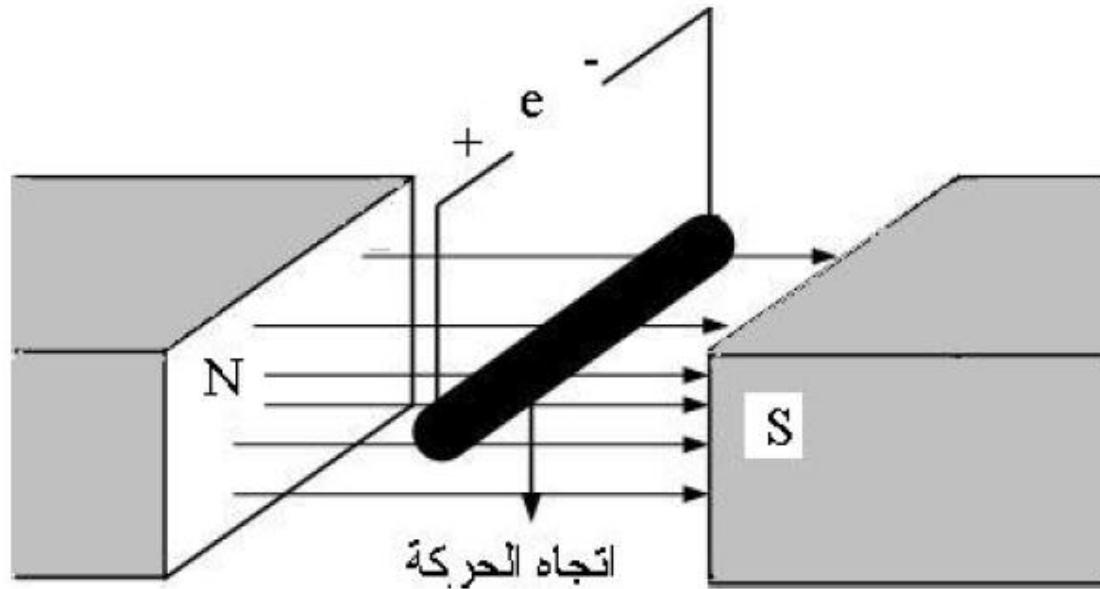
$$L = 2.5 \times 10^{-3} / \mu_r = 2.5 \times 10^{-3} / 1000 = 2.5 \times 10^{-6} \text{ H} = 2.5 \mu\text{H}$$

ونلاحظ أن الحثية في الملفات الطويلة تتناسب مع نفاذية ومساحة مقطع القلب ومع مربع عدد اللفات كما تتناسب عكسياً مع طول الملف.

الحث الكهرومغناطيسي

لو حركنا سلك موصل داخل مجال مغناطيسي بحيث يقطع خطوط القوى كما في الشكل ١٥، فإن قوة دافعة كهربائية (ق.د.ك.) ستتولد في هذا السلك. ونلاحظ نفس النتيجة لو ثبّتا السلك وحركنا مصدر المجال المغناطيسي. ولو وضعنا ملفا في منطقة يتغير فيها الفيض المغناطيسي Φ مع الزمن t ، فإن الق.د.ك. الناتجة بين أطراف الملف e تحسب باستعمال قانون فارادي (Faraday)
$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad ١٦$$

حيث N هو عدد لفات الملف . وتدل الإشارة السالبة على قانون لينز (Lenz) والذي ينص على أن الق.د.ك تعارض تغير الفيض الذي ولدها ، بحيث لو أغلقنا دائرة الملف فإن تيارا كهربائيا سيمر في الملف وينشئ فيضا مغناطيسيا يعارض تغير الفيض الأصلي، ففي حال ارتفاع هذا الأخير فإن الفيضان الأصلي المستحدث يتعارضان في الاتجاه، أما في حالة انخفاض الفيض الأصلي فإن الفيضان يكون لهما نفس الاتجاه.

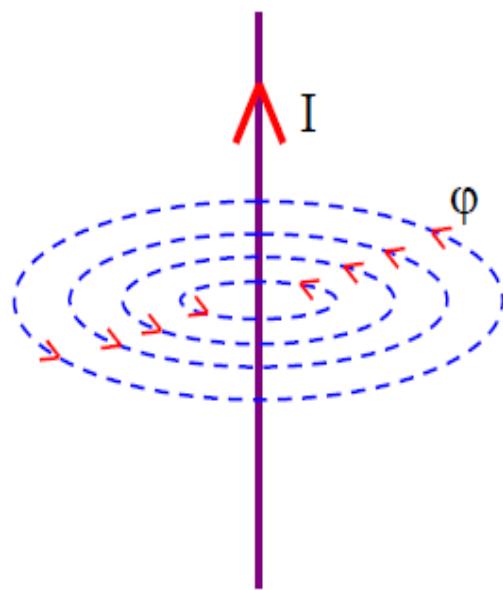


الشكل ١٥ : الحث الكهرومغناطيسي في سلك موصل

٢- التأثير المغناطيسي للتيار الكهربائي Magnetic Effects of Electrical Current

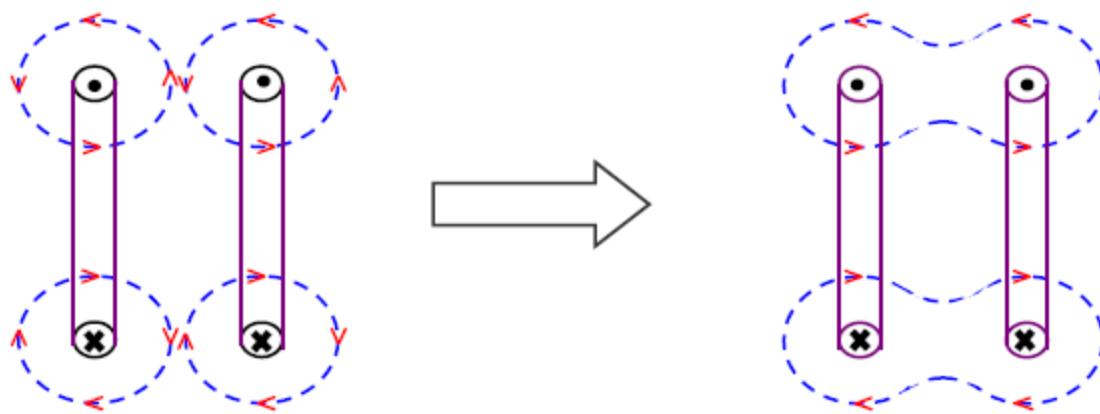
٢- ١- توليد وتركيز المجال المغناطيسي Generation & Concentration of Magnetic Field

من المعروف أنه إذا مر تيار كهربائي في موصل ما، فإن مرور هذا التيار الكهربائي يسبب نشوء ما يسمى بالمجال المغناطيسي (Magnetic Field) حول هذا الموصل على هيئة دوائر (تسمى خطوط القوى المغناطيسية أو الفيصل المغناطيسي)، ويرمز له بالرمز ϕ ، ويكون الموصل في مركز هذه الدوائر كما هو مبين بشكل رقم (٢ - ١).



شكل رقم (٢ - ١) دوائر المجال المغناطيسي.

وخطوط القوى المغناطيسية هذه يكون لها اتجاه يرتبط باتجاه سريان التيار الكهربائي، وترتبطها قاعدة تسمى قاعدة البريمة لليد اليمنى: حيث يتم فتح اليد اليمنى بحيث يكون اتجاه إصبع الإبهام عمودياً على اتجاه باقي الأصابع، وإذا اعتبر اتجاه التيار في اتجاه إصبع الإبهام، يكون اتجاه خطوط القوى المغناطيسية في اتجاه دوران باقي الأصابع. ولتركيز المجال المغناطيسي (أو خطوط القوى المغناطيسية φ)، يتم لف هذا الموصل (السلك) على هيئه ملف، ولدراسة المجال المغناطيسي الناتج عن الملف، تخيل أخذ مقطع رأسي في هذا الملف فيظهر الملف بالصورة المبينة في شكل رقم (٢ - ٢).

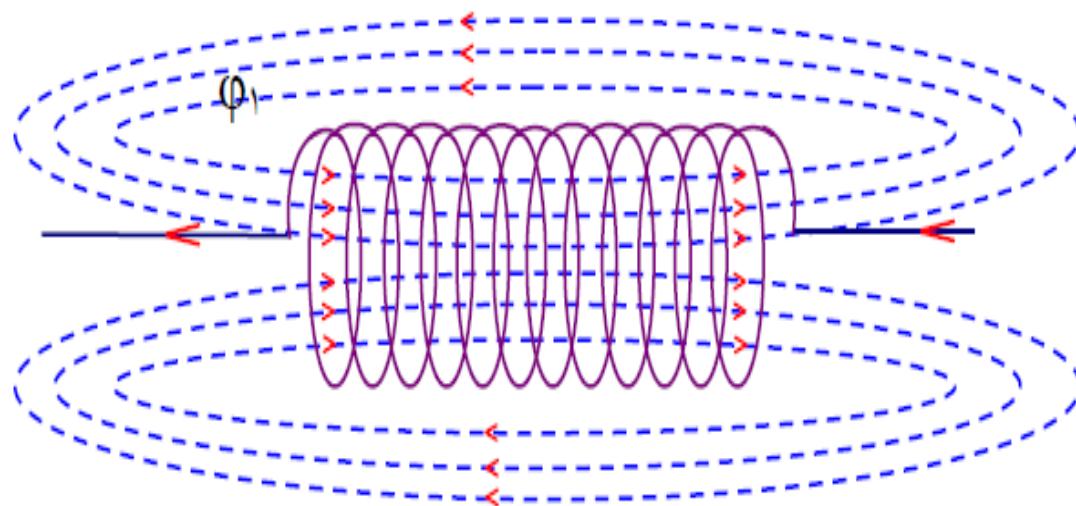


شكل رقم (٢-٢) مقطع رأسي في ملف حامل للتيار الكهربائي.

ويلاحظ الآتي:

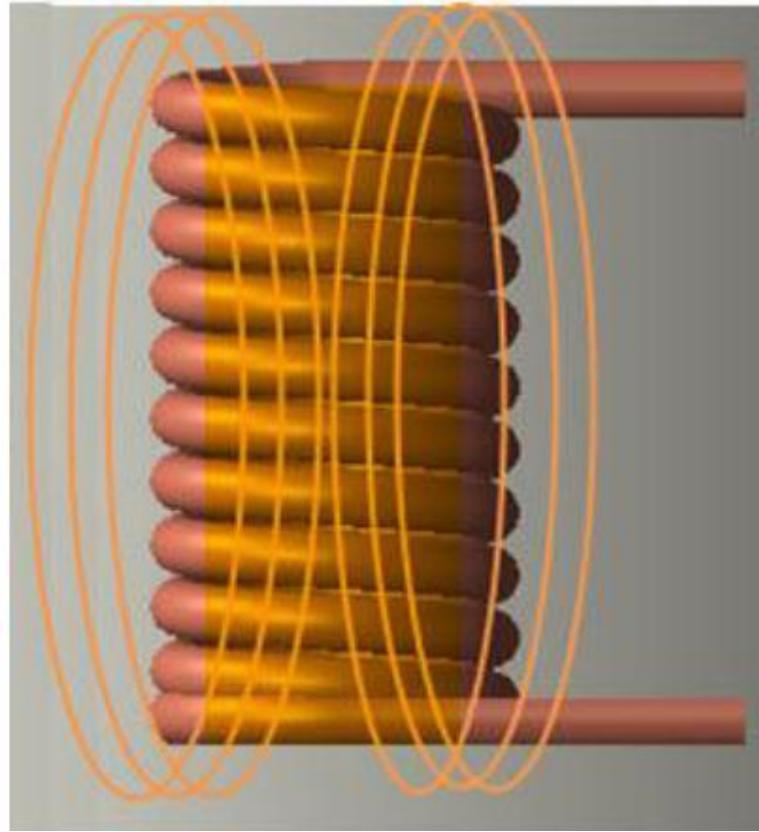
- (١) عند المقاطع يكون التيار إما داخلًا أو خارجاً من المقطع ويرمز لدخول التيار إلى سطح الورقة بعلامة (+) ويرمز لخروج التيار بالرمز (•)، وبتطبيق قاعدة البريمة لليد اليمنى عند المقاطع (حيث خطوط القوى المغناطيسية على هيئة دوائر)، يكون اتجاه خطوط القوى المغناطيسية كما هو مبين بالشكل رقم (٢ - ٢).
- (٢) في المنتصف ما بين اللفة والأخرى التالية لها، تكون خطوط القوى في اتجاهات متعاكسة، وبالتالي تلغى بعضها تأثير بعض، وكلما ابتعدنا عن منتصف المسافة بين اللفتين، كلما اختلفت قيمة المجال الناشئ من كل لفة، وكلما تواجدت قيمة محصلة للمجال.
- (٣) في مركز الملف يكون اتجاه خطوط القوى المغناطيسية في اتجاه واحد وبالتالي تجمع خطوط القوى المغناطيسية، وبهذا يتم تركيزها.

- (٤) يلاحظ أن خطوط القوى المغناطيسية خارج الملف تكون متواصلة كما هو مبين بشكل رقم (٢). (٣)



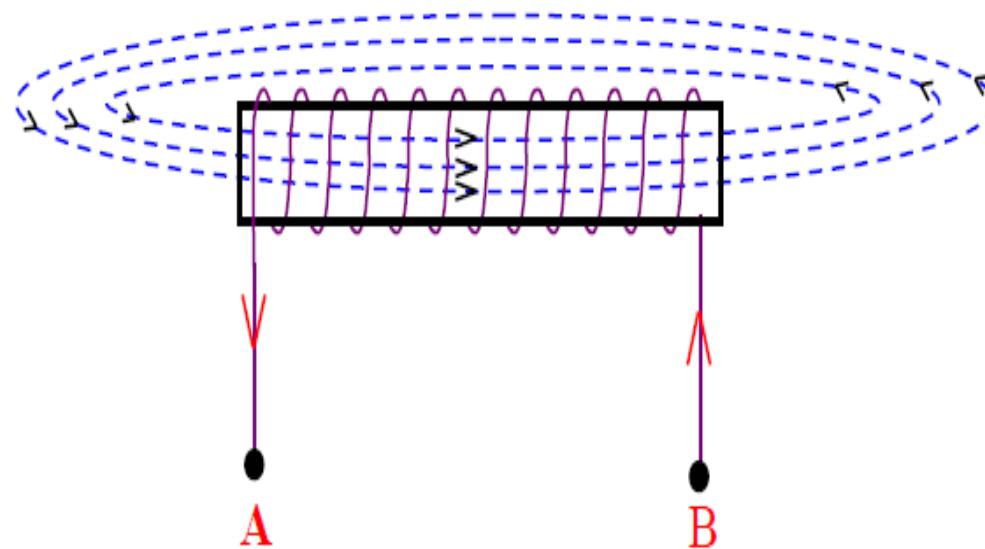
شكل رقم (٢) تركيز المجال المغناطيسي في قلب الملف.

عندما يمر تيار كهربائي في ناقل على
شكل ملف حازوني، يتولد حول هذا الملف
مجال مغناطيسي يشيد المجال المغناطيسي
الذي ينتجه القطب المغناطيسي، حيث تطلق
خطوط المجال من القطب الشمالي على شكل
خطوط منحني غير متقطعة باتجاه القطب
الجنوبي خارج المغناطيس ومن القطب
الجنوبي إلى القطب الشمالي داخله على شكل
مجال مغناطيسي مغلق



ولأن خطوط القوى المغناطيسية (ϕ) تكون على هيئة مسارات مغلقة، فإن هذه الخطوط أو هذه المسارات تسير في وسط ما، وفي الحالة التي أمامنا فإن خطوط القوى المغناطيسية تسير في الهواء، وإذا

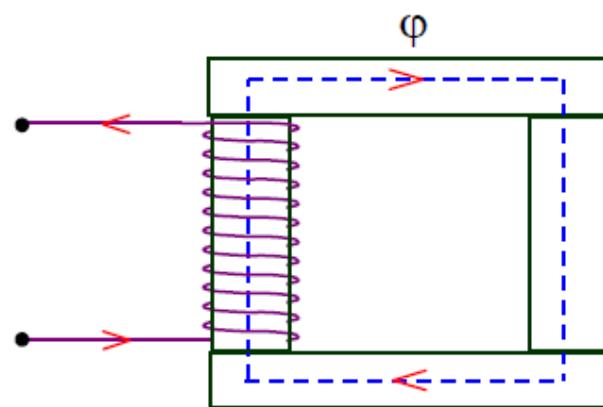
تخيلنا الآن أن هذا الملف ملفوف حول قطعة من الحديد (قلب حديدي)، فإن خطوط القوى المغناطيسية ستأخذ مساراً لها في داخل قطعة الحديد وتكميل بعد ذلك مسارها في الهواء خارج الحديد.



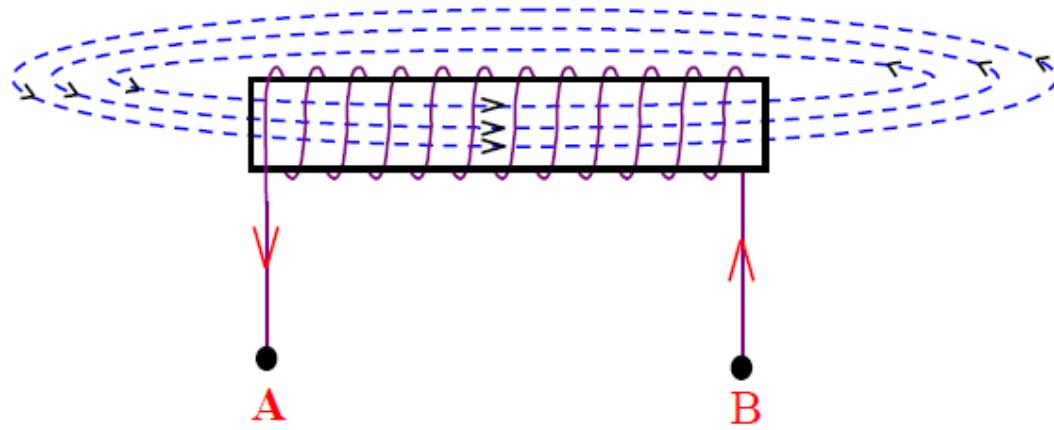
شكل رقم (٤ - ٤) تأثير القلب الحديدي على زيادة المجال المغناطيسي.

ولأن المواد الحديدية لها خاصية مغناطيسية، فإن مقاومتها لمرور خطوط القوى المغناطيسية تلقي في مسارها في هذه الحالة مقاومة كلية أقل من الحالة الأولى حيث أن المسار (في الحالة الأولى) يكون كله في الهواء ذي مقاومة المرتفعة نسبياً لمرور المجال المغناطيسي، في حين في الحالة الثانية تحمل مقاومة الحديد جزءاً من المسار الذي كان يشغل الهواء في الحالة السابقة. وبالتالي نتوقع أن قيمة المجال المغناطيسي في الحالة الثانية (Φ_2) أكبر من قيمته في الحالة الأولى (Φ_1) بالرغم من عدم تغير قيمة التيار الكهربائي كما هو مبين بشكل رقم (٤).

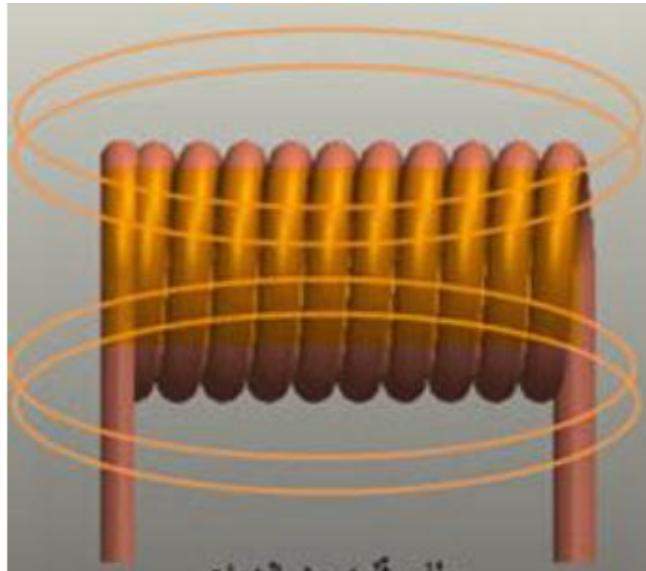
وللاستفادة من هذه الخاصية الظاهرة في الحديد، يمكن أيضاً زيادة حجم الحديد في مسار خطوط القوى المغناطيسية حتى يمكن أن يكتمل المسار كله كما في الشكل رقم (٥).



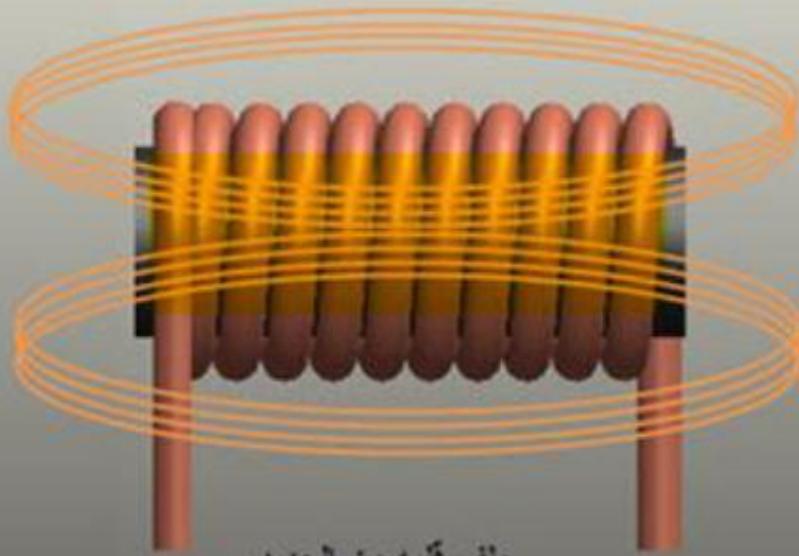
شكل رقم (٢ - ٥) ملف ملفوف على قلب حديدي مغلق.



شكل رقم (٤ - ٢) تأثير القلب الحديدي على زيادة المجال المغناطيسي.



ملف فَكِهٌ مِّنِ الْهَوَاءِ



ملف فَكِهٌ مِّنِ الْحَدِيدِ

الشكل (18-1) زيادة شدة المجال المغناطيسي لملف