الدوائر كهربائية – ١

المغناطيسية الكهربائية

الجدارة: معرفة أساسيات الكهرومغناطيسية اللازمة لفهم دوائر وقياسات التيار المتردد.

الأهداف:

بعد دراسة هذه الوحدة يكون للمتدرب بإذن الله سبحانه القدرة على معرفة:

(١) أساسيات المغناطيسية الطبيعية وطريقة تصنيف المواد من وجهة النظر المغناطيسي
(٢) الكميات المغناطيسية ووحداتها.
(٣) العلاقة بين الكميات المغناطيسية.
(٤) حساب شدة المجال المغناطيسي و الفيض المغناطيسي
(٥) القوى الكهرومغناطيسية والآثار المغناطيسية للتيار الكهربائي
(٦) الحثية الذاتية والتبادلية.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٨٠٪

الوقت المتوقع للتدريب: ١٠ ساعات

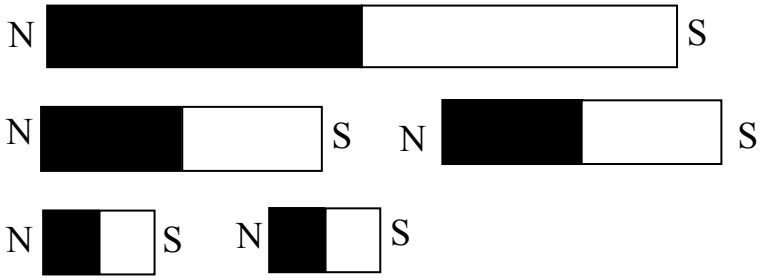
المغناطيسية الكهربائية

مقدمة :

الكهرومغناطيسية (المغناطيسية الكهربائية) وهي العلاقة بين المغناطيس والكهرباء أو بتعبير آخر الكهرومغناطيسية هي فيزياء الحقل (المجال) الكهرومغناطيسي أي إنها فرع الفيزياء الذي يدرس الحقل الكهرومغناطيسي الذي يتألف بدوره من حقل كهربائي و حقل مغناطيسي. ينشأ الحقل الكهربائي عن الشحن الكهربائية الساكنة التي تسبب القوى الكهربائية المسؤولة عن الكهرباء الساكنة و المحددة بقانون كولوم. تقود هذه الحقول الكهربائية أيضاً إلى جريان التيار الكهربائي في الموصلات الكهربائية. أما الحقل المغناطيسي فهو ينتج عن المغانط المختلفة إضافة للشحن الكهربائية المتحركة ، فعندما تسير شحنة الكهربائية ضمن تيار كهربائي ينشأ عنها حقل مغناطيسي محيط بها . لذلك يصعب فصل هذين الحقلين عن بعضهما البعض في الكثير من الحالات .

المغناطيس الطبيعي :

إذا كسرنا قضيباً مغناطيسياً نتج لدينا مغناطيسان لكل منهما قطب شمالي و قطب جنوبي، و يمكن عن طريق التكسير المتتالي تقسيم المغناطيس إلى أي عدد كبير من المغناطيسيات الشكل (٩- ١). و يمكن أن نتصور استمرار هذه العملية حتى أصغر جسيم، و هو الذرة، لنصل إلى افتراض أن الذرة أيضاً مغناطيس له قطب شمالي و قطب جنوبي. و على ذلك فإن المغناطيس يتكون من عدد كبير من المغناطيسيات المفردة الصغيرة، و هي ما تسمى بالمغناطيسات الذرية أو المغناطيسات الجزيئية.

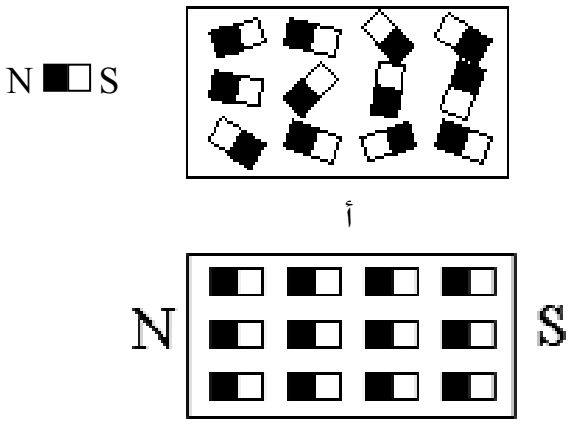


الشكل (٩-١) تقسيم المغناطيسات

تتألف جميع المواد من ذرات بها نواة موجبة الشحنة تدور حولها إلكترونات سالبة الشحنة فحركة هذه الشحنات السالبة تكون تيارات الكهربائية صغيرة مما يتسبب في إحداث مجال مغناطيسي ذري له عزم مغناطيسي ذري.

وفي حالة عدم وجود أي مجال مغناطيسي خارجي تكون التيارات الصغيرة في اتجاهات مختلفة عشوائية كما في الشكل (٩- ٢أ) مما يسبب في إحداث مجالات مغناطيسية ذرية محددة في حجم الذرة و محصلة التيارات و العزوم المغناطيسية في المادة تلغي بعضها بعضاً و بذلك لا يظهر أي أثر للمجال المغناطيسي. و يشذ عن هذه الحالة المغناطيس الدائم.

أما إذاً وضعت المادة في مجال مغناطيسي خارجي، حثه B ، فإن القوة المغناطيسية المؤثرة على الشحنات المتحركة تغير من اتجاه مدار الإلكترونات في الذرات و مسار التيار للإلكترونات الحرة في المعادن و لذلك يتولد مجال مغناطيسي يكون اتجاهه مع اتجاه المجال الخارجي كما في حال المواد البارامغناطيسية كما في الشكل (٩- ٢ب) أو عكس اتجاه المجال الخارجي كما في حالة المواد الدايامغناطيسية.



أ

ب

الشكل (٩- ٢)

أ- العزوم المغناطيسية في اتجاهات مختلفة عشوائية و ذلك قبل وضعها فى المجال المغناطيسي الخارجي.

ب- العزوم بعد وضعها في المجال الخارجي.

المغناطيس الكهربائي:

المغناطيس الكهربائي عبارة عن مغناطيس تتولد فيه المغناطيسية فقط بسبب تدفق تيار كهربي خلال سلك ما. وعادة ما تُصنع المغناطيسات الكهربائية من ملف من السلك بعدد لفات كبيرة لزيادة التأثير المغناطيسي. ويُمكن زيادة المجال المغناطيسي الذي ينتجه الملف بوضع مادة مغناطيسية، كقضيب حديدي، داخل الملف. ويتسبب التيار المار خلال الملف في تحول الحديد إلى مغناطيس مؤقت.

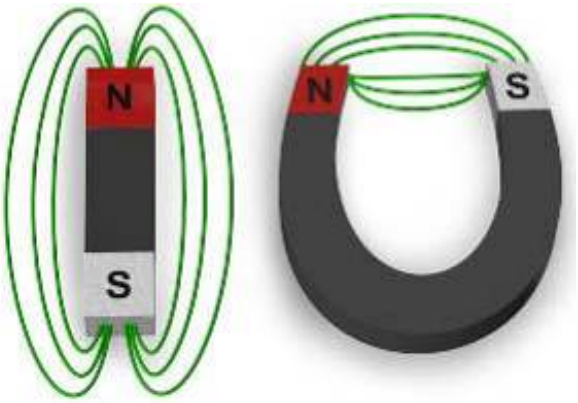
توليد مجال كهرومغناطيسي:

عندما يمر تيار كهربي خلال جزء من السلك فإنه يتولد مجال مغناطيسي حوله. وعند لف السلك حول قطعة من المعدن، مع ترك القطبين الشمالي والجنوبي مكشوفين يتمغنط المعدن، بحيث يصبح مغناطيسًا كهربائيًا. وعادة ما يستخدم تجار الحديد الخردة مغناطيسات كهربية ضخمة لالتقاط السيارات القديمة، وعند فصل التيار الكهربي عن المغناطيس فإنه يفقد قوته ويمكن إسقاط السيارة في مكان آخر.

المجال المغناطيسي:

المجال (الحقل) المغناطيسي هي قوة مغناطيسية تنشأ في الحيز المحيط بالجسم المغناطيسي أو الموصل الذي يمر به تيار كهربائي؛ أو بتعبير أبسط يمكن وصفها بأنها المنطقة المحيطة بالمغناطيس ويظهر فيها أثره (على مواد معينة). فإذا وضعت إبرة بوصلة في المجال المغناطيسي ذو قوة ما فإنها توجه نفسها في اتجاه معين في كل جزء من المجال، والخطوط المرسومة في اتجاه الإبرة عند النقط المختلفة تحدد الوضع العام للخطوط التي هي عليها القوة المغناطيسية في المجال.

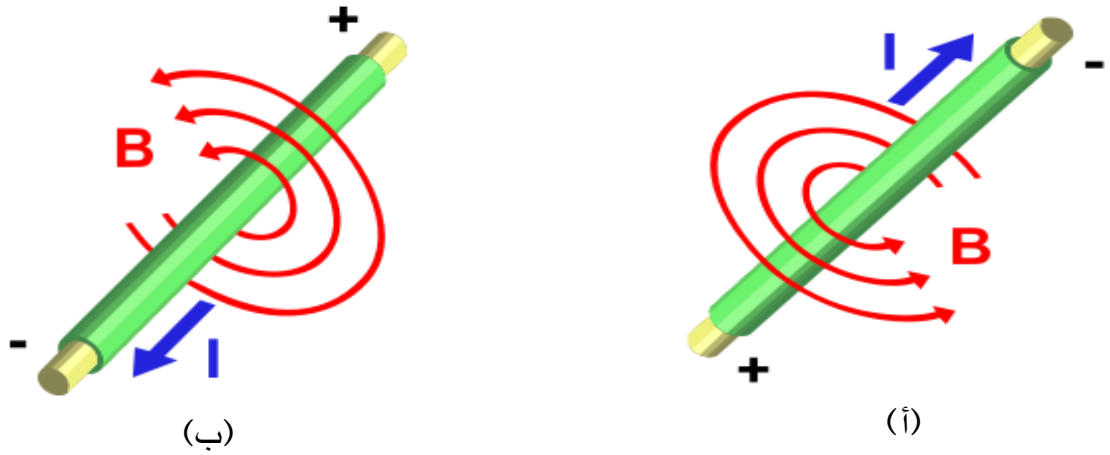
ويمكن تمثيل المجال المغناطيسي بخطوط القوى المغناطيسية الشكل (٩- ٣) بحيث تكون كثافة الخطوط لكل وحدة مساحات من عنصر مساحة عمودية على اتجاه خطوط القوى و هي مقدار المجال المغناطيسي. ويكون اتجاه المماس لخط القوى عند أية نقطة عليه معطياً اتجاه المجال المغناطيسي B عند تلك النقطة.



الشكل (٩- ٣)

المجال المغناطيسي الناتج عن موصل مستقيم يحمل تياراً مستمراً (قاعدة اليد اليمنى):

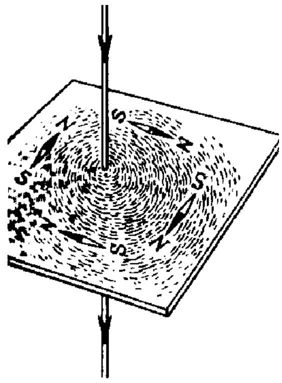
عند وضع قطعة مغناطيس صغيرة بالقرب من سلك يحمل تيارا نرى أن المغناطيس يصبح تحت تأثير قوة شبيهة بالقوة التي تظهر بين قطبين مغناطيسيين. و بهذا فإن السلك الحامل للتيار يسلك سلوك قطب مغناطيسي و يؤثر في قطعة المغناطيس المجاورة له. فنقول عن قطعة المغناطيس بأنها واقعة في المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور التيار في السلك و نمثل المجال المغناطيسي الذي يولده التيار بخطوط دائرية مركزها السلك و يكون الاتجاه المحدد على الخطوط هو اتجاه القوة المؤثرة في قطب شمالي مجاور للسلك و كما هو موضح في الشكل (٩- ٤أ) و ينعكس اتجاه خطوط المجال عند عكس اتجاه التيارالشكل (٩- ٤ب).



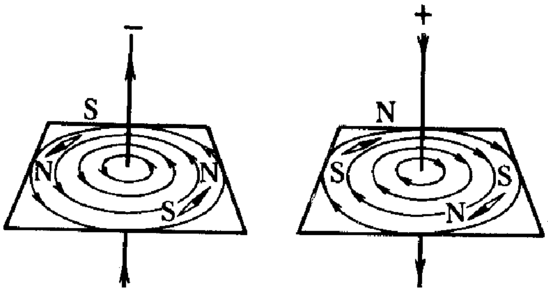
(ب) (أ)

الشكل (٩-٤)

ويمكن مشاهدة توزيع المجال المغناطيسي بنثر برادة حديد على ورقة موضوعة على قضيب مغناطيسي الشكل (٩- ٥أ) أو ورقة يمر خلالها سلك يمر به تيار كهربائي الشكل (٩- ٥ب).



(أ)



(ب)

الشكل (٩- ٥)

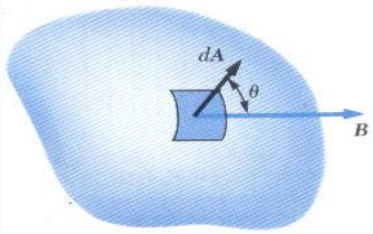
تتمثل القوة أو شدة المجال المغناطيسي بكثافة الخطوط التي تقطع مساحة متر مربع متعامدة معها. فكلما اقتربنا من السلك ازدادت القوة أو شدة المجال و بذلك ازدادت كثافة الخطوط و أصبحت الدوائر متقاربة. في حين أن المسافة تزداد بين الدوائر و تقل كثافة الخطوط عند الابتعاد عن السلك.

الفيض (التدفق) المغناطيسي:

الفيض المغناطيسي وكما عرف بالفيض الكهربائي سابقاً يمكن تعريفه الفيض المغناطيسي على أنه عدد الخطوط المغناطيسية التي تعبر وحدة المساحات العمودية. افترض أن dA عبارة عن عنصر مساحة من سطح غير منتظم كما في الشكل(٩- ٦)، فالفيض المغناطيسي يعبر عنه بشدة المجال المغناطيسي B مضروب في المساحة العمودية dA. ويرمز للفيض المغناطيسي بالرمز Φ_m.

$$\Phi_m = \int B.dA \qquad (9\text{-}1)$$

$$\Phi_m = BA\cos\theta$$



الشكل (٩-٦)

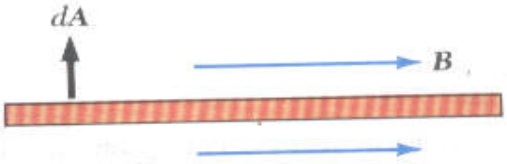
إذ يمثل A المساحة التي يقطعها الفيض Φ . و تقاس Φ بوحدة الويبر(Wb(Weber . أما B فإنها تقاس بالتسلا ويرمز لها بالرمز T

$$\frac{Newton}{Coulomb.\frac{meter}{Second}} = \frac{Newton}{Ampere.meter} = Tesla \equiv Weber/m^2$$

ووحدة Tesla هي وحدة كبيرة ويمكن استخدام وحدة الجاوس في نظام جاوس للوحدات حيث إن

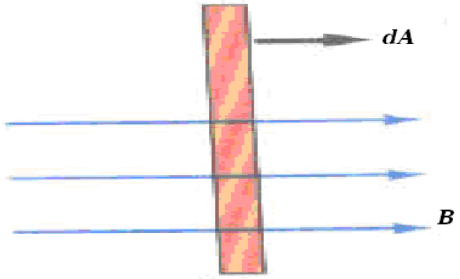
$$Tesla = 10^4\ Gauss$$

حيث إن dA هو متجه المساحة وقيمته تعطي مقدار المساحة واتجاهه يكون دائماً عمودياً على المساحة.



الشكل (٩- ٧)

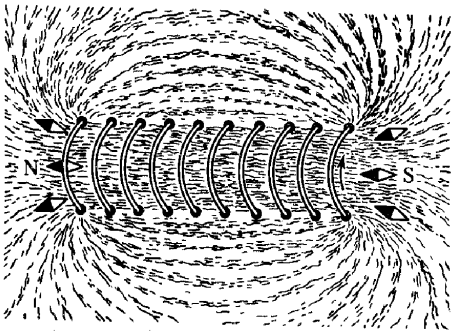
في الشكل (٩- ٧) الفيض المغناطيسي يساوي صفراً لأن المتجه dA عمودي على متجه المجال B .



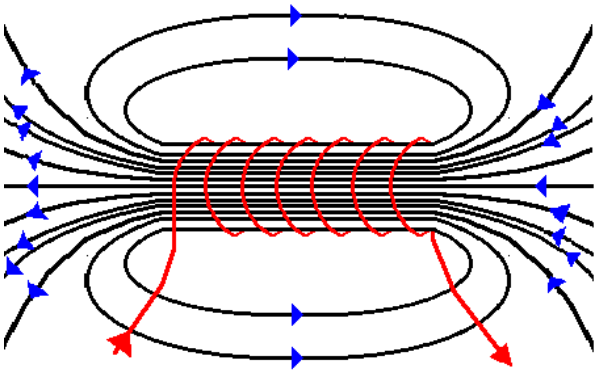
الشكل (٩-٨)

في حالة الشكل (٩- ٨) الفيض المغناطيسي يساوي BA لأن المتجه dA في نفس اتجاه على متجه المجال B والزاوية المحصورة تساوي صفراً.

المجال المغناطيسي الناتج عن ملف حلزوني يحمل تياراً مستمراً :



أ



ب

الشكل (٩- ٩)

الشكل المجال الشكل (٩- ٩أ) :

داخل الملف : خطوط مستقيمة متوازية (مجال منتظم)
خارج الملف يشبه المجال المغناطيسي لساق ممغنط ويكون المجال ضعيفاً جداً
اتجاه المجال: في الداخل من الجنوبي إلى الشمالي في الخارج من الشمالي إلى الجنوبي
القاعدة المستخدمة : البريمة اليمنى لماكسويل (اللولب يميني اللف) إذاً أدرنا رأس البريمة داخل الملف على محوره في نفس اتجاه التيار في الملف يكون اتجاه تقدم البريمة هو نفس اتجاه خطوط المجال داخل الملف.

تحديد قطبي الملف الشكل (٩- ٩ب):

طرف الملف الذي يكون فيه اتجاه التيار مع حركة عقارب الساعة يكون قطباً جنوبياً والطرف الآخر شمالياً، طرف الملف الذي يدخل إليه التيار تدخل إليه خطوط المجال ويكون جنوبياً والعكس للطرف الآخر

المجال لمغناطيسي الناتج عن ملف حلقي يحمل تياراً مستمراً :

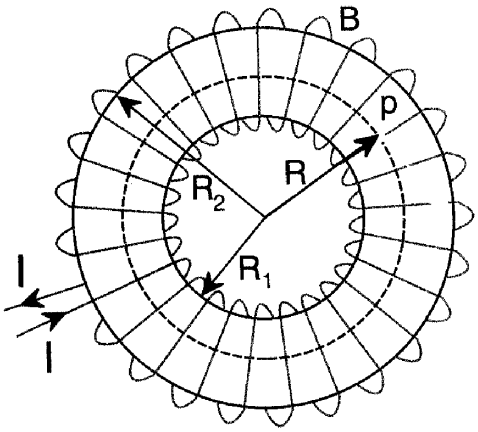
يمكن حساب كثافة التدفق المغناطيسي في أية نقطة داخل ملف لولبي الشكل (٩- ١٠) على بعد R من المركز بالعلاقة التالية:

$$B = \frac{\mu_\circ NI}{2\pi R} \qquad (9\text{-}2)$$

حيث : N عدد اللفات لملف حلقي، وR_1نصف القطر الداخلي،وR_2 نصف القطر الخارجي،وI شدة التيار المار في الملف.

بما أن جميع النقاط الواقعة على هذا المسار متناظرة بالنسبة للحلقة ، إذاً كثافة المجال متساوية عند جميع هذه النقاط.

وإذا كان الفرق بين R_2 , R_1 صغيراً تكون B متساوية عند جميع النقاط داخل الملف
وتساوي $B = \frac{\mu_\circ NI}{2\pi R}$



الشكل (٩- ١٠)

النفاذية :

تعتمد كثافة الفيض على الخواص المغناطيسية للمادة المحيطة بالسلك أو الموضوعة في المجال المغناطيسي وتسمى هذه الخاصية بالنفاذية ويرمز لها بالرمز μ وحدتها الهنري لكل متر (Henry/m) ورمزها (H/m). ونستعمل نفاذية الفراغ كمرجع ويرمز لها بالرمز μ_0 وقيمتها.

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}\ H/m \qquad (9\text{-}3)$$

وقيمة نفاذية الهواء قريبة جداً من μ_0 . ونسمي النسبة بين نفاذية مادة ما والنفاذية μ_0 النفاذية النسبية لهذه المادة ويرمز لها بالرمز μ_r، أي

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \qquad (9\text{-}4)$$

وتعبر النفاذية على مدى سماحية المادة لمرور خطوط القوى المغناطيسية.

تصنيف المواد من حيث خواصها المغناطيسية :

جميع المواد على اختلاف أنواعها سواء الغازات أو السوائل أو المواد الصلبة لها خواص مغناطيسية، نتيجة لتأثرها بالمجال المغناطيسي، و لكن بدرجات متفاوتة فبعض المواد لها خواص مغناطيسية ضعيفة و بعضها متوسطة و بعضها قوية. كما أن لدرجة الحرارة أثراً كبيراً على هذه الخواص كذلك توجد مواد أخرى لها خواص مغناطيسية عكسية أي إن اتجاه المجال فيها يعاكس المجال المسبب.والمواد من حيث خواصها المغناطيسية تنقسم إلى قسمين رئيسين هما :

١- مواد متسامتة التمغنط (بارامغناطيسية) Paramagnetic

هذه المواد تميل للحركة من المناطق الضعيفة في المجال المغناطيسي إلى المناطق القوية و بمعنى آخر فإنها تنجذب نحو المغناطيس، و إذاً كانت حرة الدوران اتجهت أطوالها اتجاها يوازي المجال. و من هذه المواد الألمنيوم و التيتانيوم و الأوكسجين و أما الحديد و النيكل و الكوبالت و سبائكها و مركباتها فإنها مواد بارامغناطيسية قوية جداً لهذا يطلق عليها المواد الحديدومغناطيسية (Ferromagnetic) التي تتميز بكبر معامل النفادية ، و التأثيرية المغناطيسية لها موجبة.

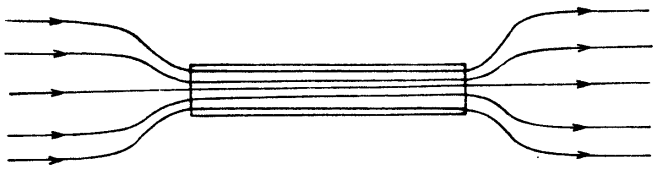
٢- مواد دايامغناطيسية (Diamagnetic)

و هذه تميل إلى الابتعاد عن المجال المغناطيسي مهما كان اتجاهه، و إذاً أتيحت لها حرية الدوران فإنها تجعل أطوال محاورها متعامدة على خطوط القوى. ومن هذه المواد البزموت و النحاس و تتميز بأن معامل نفاذيتها أقل من الواحد و القابلية المغناطيسية لها سالبة.

واذا كانت كثافة الفيض المغناطيسي في الفراغ المطلق المحيط بالسلك هي B_0 فإن استبدال الفراغ أو الهواء بوسط آخر يؤدي إلى رفع كثافة الفيض إلى B و أن معامل الزيادة في الفيض يمثل خاصية المادة في قابلية تركيزها للفيض:

$$\mu r = B / B_0 \qquad (9\text{-}5)$$

و كما نرى في الشكل (٩- ١١) فإن المادة الفيرومغناطيسية تؤدي إلى تركيز الفيض و تسلك إلى حد كبير سلوك الأنبوب الذي يحدد مسار السائل دون أن يدعه يتسرب.



الشكل (٩- ١١) تأثير المادة المغناطيسية في خطوط الفيض

إذا استبدل الهواء بمادة مغناطيسية نجد أن هناك ثلاثة احتمالات هي:

١- تزداد قيمة B زيادة كبيرة في حالة المواد الحديد و مغناطيسية.

٢- تزداد قيمة B زيادة طفيفة جداً في حالة المواد البارامغناطيسية.

٣- تقل قيمة B في حالة المواد الدايامغناطيسية.

تعيين اتجاه خطوط المجال حول الموصل :

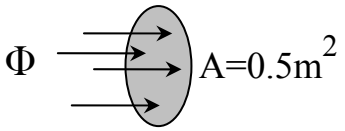
١. قاعدة قبضة اليد اليمنى: عندما تقبض اليد اليمنى على الموصل بحيث يشير الإبهام إلى اتجاه التيار الكهربائي فإن اتجاه الأصابع الملتفة حول السلك يحدد اتجاه خطوط الفيض المغناطيسي.
٢. قاعدة البريمة اليمنى لماكسويل : إذاً أدرت بريمة بحيث يشير اتجاه اندفاعها إلى اتجاه التيار فإن اتجاه دوراتها يحدد اتجاه خطوط المجال المغناطيسي (تسمى أيضاً هذه القاعدة – قاعدة اللولب اليميني اللف)
٣. باستخدام بوصلة مغناطيسية صغيرة : إذاً وضعت بوصلة على لوح الورق المقوى الذي يخترقه الموصل فإن الاتجاه الذي يتخذه قطبها الشمالي يدل على اتجاه خطوط الفيض المغناطيسي

العوامل التي تتوقف عليها شدة المجال المغناطيسي هي :

١. شدة التيار الكهربائي (I) ⟵ تناسب طردي مع شدة المجال ($B \alpha I$)
٢. بعد النقطة عن السلك (d) ⟵ تناسب طردي مع شدة المجال ($B \alpha 1/d$)

مثال (٩- ١):

إذاً كان الفيض المغناطيسي في المساحة A المبينة في الشكل ٩- ١٢ 2×10^{-5}Wb احسب كثافة الفيض حول هذه المساحة.



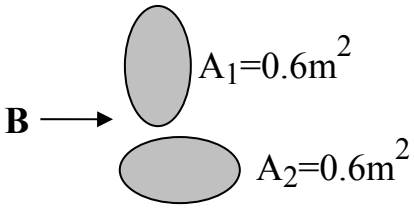
الشكل (٩-١٢)

الحل:

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{2\times10^{-5}}{0.5} = 4\times10^{-5}\ T$$

مثال (٩- ٢):

احسب الفيض المغناطيسي في المساحتين المتعامدتين A_1 و A_2 (الشكل ٩- ١٣) إذاً كانت كثافة الفيض في المنطقة المحيطة بالمساحتين $B=10^{-5}T$ ، وكان اتجاهها عمودياً على المساحة A_1.



الشكل (٩- ١٣)

الحل:

الفيض في المساحة A_1: $\Phi = B\ A_1 = 0.6\times10^{-5}\ Wb$

الفيض في المساحة A_2 يساوي الصفر لأن خطوط المجال لاتمر داخل هذه المساحة.

شدة المجال المغناطيسي :

شدة المجال المغناطيسي H في نقطة ما هي النسبة بين كثافة الفيض المغناطيسي والنفاذية المطلقة للمادة الموجودة في تلك النقطة ، أي أن

$$H = \frac{B}{\mu} \qquad (9\text{-}6)$$

و وحدة الشدة هي أمبير لكل متر (A/m)، وسنرى سبب اختيار هذه الوحدة عندما ندرس العلاقة بين التيار الكهربائي والمجال المغناطيسي. وعلى العكس من كثافة الفيض، فإن شدة المجال المغناطيسي لا تعتمد على نوع المادة المتواجدة في المجال، وإنما تعتمد على مصدر المجال (المغناطيس) فقط. وشدة المجال هي مقدار موجة لها نفس اتجاه كثافة الفيض.

مثال(٩- ٣):

ينتج مغناطيس مجالاً شدته 20A/m في نقطة معينة من الفضاء المجاور له. احسب كثافة الفيض في هذه النقطة إذاً كانت نفاذية الفضاء المحيط بها تساوي :

أ- μ_0 (الفراغ أو الهواء)

ب- $1.000022\mu_0$ (الألمنيوم : مادة بارامغناطيسية)

ج- $0.99\mu_0$ (مادة ديامغناطيسية)

د- $5000\mu_0$ (نوع من الحديد : مادة مغناطيسية).

الحل:

من المعادلة (9-6) نستنتج أن $B=\mu H$:

أ- $B = \mu_0 H = 4\pi \times 10^{-7} \times 20 = 2.51\times 10^{-5}\ T$

ب- $B = 1.000022\ \mu_0 H = 1.000022 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 20 = 2.513\times 10^{-5}\ T$

ج- $B = 0.99\ \mu_0 H = 0.99 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 20 = 2.48 \times 10^{-5}\ T$

د- $B = 5000\ \mu_0 H = 5000 \times 4\pi \times 10^{-7} \times 20 = 12566\times 10^{-5}\ T$

وكما نرى فإن كثافة الفيض لا تتغير بصورة ملحوظة في مكان ما إلا إذاً وضعنا مادة مغناطيسية فيه.

شدة المجال الناتج عن موصل مستقيم يحمل تياراً مستمراً :

ترتبط خطوط القوى المغناطيسية باتجاه التيار الذي ولدها حسب قاعدة اليد اليمنى الموضحة في الشكل (٩- ١٤) نص هذه القاعدة على أنه عند القبض على السلك الحامل للتيار باليد اليمنى، بحيث يشير الإبهام إلى اتجاه التيار، فإن أطراف باقي الأصابع تشير إلى اتجاه المجال.

ويعطى الحث المغناطيسي الناتج عن التيار I المار في سلك مستقيم طويل بالمعادلة

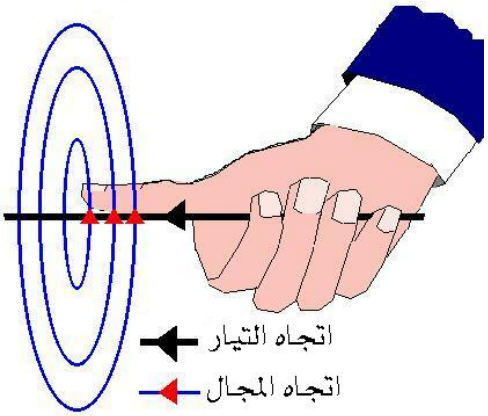
$$B=\frac{\mu I}{2\pi a} \qquad (9\text{-}7)$$

حيث a هي المسافة بين النقطة التي نحسب عندها الحث والمسقط العمودي لهذه النقطة على محور السلك، كما هو موضح في الشكل (٩- ١٥).

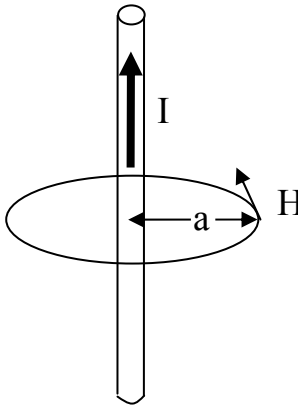
و باستعمال القانون (9-6) نجد أن شدة المجال الناشئ عن هذا التيار هي

$$H=\frac{I}{2\pi a} \qquad (9\text{-}8)$$

من هذه العلاقة نفهم اختيار وحدة A/m لشدة المجال، ونلاحظ أن شدة المجال لاتعتمد على نفاذية الوسط كما أشرنا إلى ذلك في نهاية الفصل السابق.



الشكل (٩- ١٤)قاعدة اليد اليمنى



الشكل (٩- ١٥) المغناطيس الناتج عن مرور تيار في سلك مستقيم طويل

مثال (٩- ٤):

يمر تيار كهربائي شدته 15A في سلك مستقيم طويل موضوع في الفراغ. **احسب** قيمة الحث المغناطيسي وشدة المجال الناتجين على بعد 4cm من السلك.

الحل:

نطبق المعادلتين (5-9) و(6-9) علماً أن في الفراغ $\mu=\mu_0=4\pi\times10^{-7}\ \mathrm{H/m}$

$$B=\frac{\mu I}{2\pi a}=\frac{4\pi\times10^{-7}\times15}{2\pi\times4\times10^{-2}}=7.5\times10^{-5}\,T$$

$$H=\frac{I}{2\pi a}=\frac{15}{2\pi\times4\times10^{-2}}=59.7\,A/m$$

القوة الميكانيكية المؤثرة على موصل يحمل تياراً مستمراً 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 (٩- ١٦) التي تنص على ما يلي: إذاً أشارت السبابة إلى اتجاه المجال، وأشارت الوسطى إلى اتجاه التيار فإن الإبهام سيشير إلى اتجاه القوة.

أما قيمة هذه القوة فهي:

$$F = I\,B\,\ell\sin\theta \qquad (9\text{-}9)$$

حيث ℓ هو طول السلك و θ هي الزاوية بين اتجاه التيار وخطوط المجال. ونستنتج أن القوة تصل إلى قيمتها القصوى $IB\ell$ عندما يكون السلك عمودياً على المجال أي عندما $\theta = 90^\circ$. أما إذاً كان السلك موازياً للمجال أي $\theta = 0^\circ$ فإن القوة تنعدم.

الشكل(٩-١٦)قاعدة فليمنج لليد اليسرى

مثال (٩- ٥):

وضع سلك طوله 10cm عمودياً على مجال مغناطيسي. إذاً كانت شدة التيار المار في السلك 2A، وكانت القوة الناتجه على السلك 0.04N، فما هي كثافة الفيض المغناطيسي؟ احسب هذه الكثافة إذاً كانت الزاوية بين السلك والمجال تساوي 30^o.

الحل:

من المعادلة 9-9 نستنتج

$$B = \frac{F}{I\,\ell\sin\theta}$$

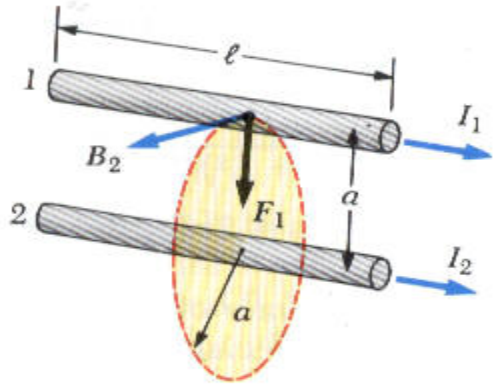
$$= \frac{0.04}{2\times10\times10^{-2}\times\sin(90^o)} = 0.2T$$

عندما تكون الزاوية $\theta = 30^o$ تصبح كثافة الفيض

$$B = \frac{0.04}{2\times10\times10^{-2}\times\sin(30^o)} = 0.4T$$

القوة المغناطيسية المتبادلة بين موصلين يمر بهما تيار كهربي:

تعلمنا من المحاضرات السابقة أن كل سلك موصل يمر به تيار ينشأ حوله مجال مغناطيسي وأن لكل مجال مغناطيسي قوة مغناطيسية تؤثر على سلك يمر به تيار ولهذا إذاً وجد سلكان موصلان كما في الشكل (٩- ١٧)ويمر بكل منهما تيار كهربي I1 وI2 فإن المجال المغناطيسي B2 الناشئ عن التيار الثاني يؤثر بقوة مقدارها F1 ,يمكن التعبير عن القوة التي يؤثر بها موصل على آخر كما في الخطوات التالية:



الشكل (٩- ١٧)

لنعتبر المجال المغناطيسي الناشئ عن السلك 2 والتي تعطى قيمته بالمعادلة التالية:

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi a} \qquad (9\text{-}10)$$

يقع السلك الثاني في المجال المغناطيسي للسلك الثاني والذي يبعد عنه مسافة a كما في الشكل (٩- ١٧)

وبالتالي لأن قوة مغناطيسية F1 تعطى بالمعادلة التالية:

$$F_1 = I_1 \ell B_2 = I_1 \ell \left(\frac{\mu_0 I_2}{2\pi a}\right) = \frac{\ell \mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} \qquad (9\text{-}11)$$

والقوة لكل وحدة أطوال تعطى بالعلاقة التالية:

$$\frac{F_1}{\ell} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} \qquad (9\text{-}12)$$

و بالمثل نحصل على القوة المؤثرة على كل وحدة طول من السلك 2، F_2، وهي تساوي القوة F_1 في القيمة وتعاكسها في الاتجاه. أما اتجاه القوتين فإنه يعتمد على اتجاه التيارين، فإذا كان التياران في نفس الاتجاه يتجاذب السلكان، ويتنافران في الحالة الأخرى .

مثال (٩- ٦):

عند قياس قوة التجاذب بين سلكين طويلين متوازيين يمر فيهما تياران موضوعان في الفراغ على بعد 30cm من بعضهما وجد أنها تساوي 20×10^{-7}N/m . احسب شدة التيار المارة في السلك الثاني إذاً كانت شدة التيار المار في السلك الأول هي 2A.

الحل :

من المعادلة (12- 9) نستنتج

$$I_2 = \frac{2\pi d F_{21}}{\mu_0 I_1}$$
$$= \frac{2\pi\times30\times10^{-2}\times20\times10^{-7}}{4\pi\times10^{-7}\times2} = 1.5A$$

مثال(٩- ٧):

موصلان طول كل منهما متر واحد و يحمل كل واحد منهما تياراً مقداره أمبيراً واحداً. عين قوة التجادب بينهما.

الحل:

$$F = 4\pi \times 10^{-7} \text{ x } 1 \text{ x } 1 \text{ x } 1 / 2\pi \text{ x } 1 = 2 \text{ x } 10^{-7} \text{ N}$$

مثال (٩- ٨):

قضيبا توزيع يبعدان عن بعضهما مسافة 30 سم يمر في كل منهما تيار مقداره 600 أمبير في اتجاهين متضادين. احسب مقدار القوة بينهما لكل متر طولي. و إذاً حدث قصر في الدائرة بحيث زاد التيار فيهما إلى 72000 أمبير فاحسب مقدار القوة في تلك الحال.

$$F = 4\pi \times 10^{-7} \times 600 \times 600 \times 1 / 2\pi \times 0.3 = 0.24 \text{ N}$$

و هي قوة تنافر بين قضيبي التوزيع. و عند حدوث القصر:

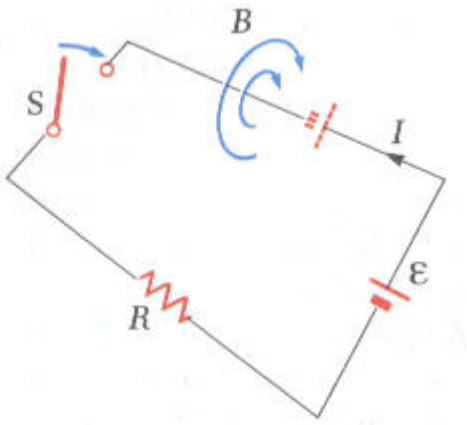
$$F = 4\pi \times 10^{-7} \times 72000 \times 72000 \times 1 / 2\pi \times 0.3 = 3456 \text{ N}$$

يتضح من النتائج أن قصر الدائرة قد يؤدي إلى تحطيم قضبان التوزيع نتيجة للزيادة الهائلة في القوى الكهرومغناطيسية.

الحث الذاتي والحث المتبادل:

تعلمنا فيما سبق أن التيار ينشأ في الدائرة الكهربية عندما يتغير الفيض المغناطيسي خلال الدائرة مع الزمن. وفي هذه المحاضرة سندرس الحث الذاتي Self Inductance الذي ينشأ في الدائرة نفسها عند مرور تيار كهربي فيها أو بمعنى أدق عند غلق أو فتح الدائرة الكهربية. وهذا التأثير (الحث الذاتي) يلعب دوراً أساسياً في دوائر التيار المتردد حيث إن التيار يتغير باستمرار مع الزمن.

الحث الذاتي Self Inductance:



الشكل (٩- ١٨)

اعتبر دائرة كهربية مكونة من بطارية ومقاومة ومفتاح كهربي كما في الشكل (٩- ١٨)، عند غلقها فإن التيار المار في الدائرة لن يصل إلى قيمته العظمى فور غلق المفتاح إنما سوف يستغرق بعضاً من الوقت نتيجة لقانون فارادي .كيف ذلك؟

عند غلق المفتاح في الدائرة الكهربية يحدث ما يلي:

١. يزداد التيار المار في الدائرة مع الزمن.
٢. يزداد الفيض المغناطيسي خلال الدائرة نتيجة لازدياد التيار.
٣. الفيض المتزايد يؤدي إلى توليد قوة دافعة كهربية في الدائرة ليعاكس الزيادة في الفيض المغناطيسيLenz's Law .

هذه القوة الدافعة الكهربية المتولدة في الدائرة تعمل في اتجاه معاكس التيار الأصلي وهذا نتج عن الزيادة في الفيض المغناطبيسي نتيجة لزيادة التيار عند غلق المفتاح... هذا التأثير في الدائرة يعرف باسم التأثير الحثي الذاتي.Self Induction

من قانون فارادي يمكننا إيجاد صيغة رياضية للتعبير عن الحث الذاتي .حيث ان الفيض المغناطيسي يتناسب مع المجال المغناطيسي والأخير يتناسب مع التيار في الدائرة لذا فإن القوة الدافعة الكهربية للحث الذاتي تتناسب مع التغير في التيار الكهربي.

$$\varepsilon = -N\frac{d\Phi_m}{dt} = -L\frac{dI}{dt} \qquad (9\text{-}13)$$

الحث الذاتي L في المغناطيسية يناظر السعة الكهربية C ويمكن التعبير عن الحث الذاتي L بالأبعاد الهندسية للدائرة. فإذا افترضنا ملفاً عدد لفاته N فإن Lتعطى بالعلاقة التالية:

$$L = \frac{N\Phi_m}{I} \qquad (9\text{-}14)$$

كما يمكن التعبير عن الحث الذاتي بالمعادلة التالية:

$$L = -\frac{\varepsilon}{dI/dt} \qquad (9\text{-}15)$$

وهذه المعادلة تعطي قيمة الحث الذاتي للدائرة بغض النظر عن أبعادها الهندسية وإنما تعتمد على قياس الكميات الفيزيائية مثل القوة الدافعة الكهربية والتغيير في التيار .وتكون وحدة الحث الذاتي هي الهنريHenry .

$$1\ \mathrm{H} = 1\ \frac{\mathrm{V\cdot s}}{\mathrm{A}} \qquad (9\text{-}16)$$

إيجاد الحث الذاتي من خلال قياس الأبعاد الهندسية:

اعتبر ملفاً عدد لفاته N لفة وطوله l أكبر بكثير من نصف قطر الملف .ينشأ عنه مجال مغناطيسي يعطى بالعلاقة التالية:

$$B = \mu_0 nI = \mu_0 \frac{N}{\ell} I \qquad (9\text{-}17)$$

أما الفيض الكهربي فيعطى بالعلاقة التالية:

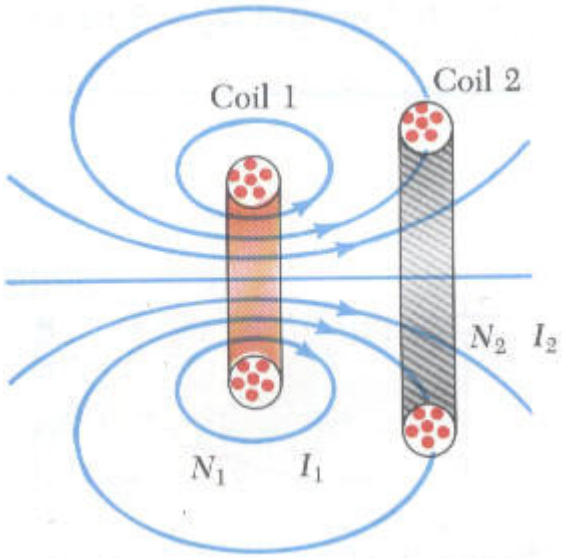
$$\Phi_m = BA = \mu_0 \frac{NA}{\ell} I \qquad (9\text{-}18)$$

$$L = \frac{N\Phi_m}{I} = \frac{\mu_0 N^2 A}{\ell} \qquad (9\text{-}19)$$

$$L = \mu_0 \frac{(n\ell)^2}{\ell} A = \mu_0 n^2 A\ell = \mu_0 n^2 (\text{volume}) \qquad (9\text{-}20)$$

ومن هذا يتضح أن الحث الذاتي للملف يعتمد على خواصه الهندسية (الطول والمساحة وعدد اللفات)

الحث المتبادل Mutual Inductance



الشكل (٩- ١٩)

نتيجة للتغير في التيار الكهربي في دائرة يؤدي ذلك إلى تغيير في الفيض المغناطيسي في دائرة كهربية مجاورة. وهذا بالتأكيد يولد قوة دافعة كهربية في تلك الدائرة ويسمى هذا التأثير بالتأثير الحثي المتبادل Mutual Inductance لأنه نتج من تأثير دائرة كهربية على أخرى.

في الشكل(٩- ١٩) توضيح للتأثير الحثي المتبادل حيث يوجد ملفان متجاوران يمر في الملف الأول وعدد لفاته N_1 تيار كهربي قيمته I_1 ينشئ مجالا مغناطيسياً يؤثر على الملف الثاني وعدد لفاته N_2 بفيض مغناطيسي Φ_{21} يؤدي إلى تيار حثي في الملف الثاني وقيمته I_2.

يعرف التأثير الحثي المتبادل M_{21} في الملف الثاني من خلال المعادلة التالية:

$$M_{21} \equiv \frac{N_2 \Phi_{21}}{I_1} \qquad (9\text{-}21)$$

$$\Phi_{21} = \frac{M_{21}}{N_2} I_1 \qquad (9\text{-}22)$$

إذا كان التيار I_1 في الملف الأول متغيراً مع الزمن فإنه من قانون فارادي تكون القوة الدافعة الكهربية المتولدة في الملف الثاني نتيجة للملف الأول هي:

$$\mathcal{E}_2 = -N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt} = -M_{21} \frac{dI_1}{dt} \qquad (9\text{-}23)$$

وبنفس الفكرة إذاً كان التيار I_2 في الملف الثاني متغيراً مع الزمن فإن من قانون فارادي تكون القوة الدافعة الكهربية المتولدة في الملف الأول نتيجة للملف الثاني هي:

$$\mathcal{E}_1 = -M_{12} \frac{dI_2}{dt} \qquad (9\text{-}24)$$

أي إن القوة الدافعة الكهربية المتولدة في ملف تتناسب طردياً مع معدل التغير في التيار الكهربي في الملف الآخر.

حالة خاصة:

في حالة ما يكون معدل التغير في التيار $(dI_1/dt) = (dI_2/dt)$ فإن القوة الدافعة الكهربية

$$\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 \qquad (9\text{-}25)$$

وهذا يعني أن

$$M_{21} = M_{12} = M \qquad (9\text{-}26)$$

وتكون قيمة القوة الدافعة الكهربية في الملفين تعطى بـ

$$\varepsilon_1 = -M\frac{dI_2}{dt} \qquad \varepsilon_2 = -M\frac{dI_1}{dt} \qquad (9\text{-}27)$$

وتكون وحدة الحث المتبادل هي الهنري Henry

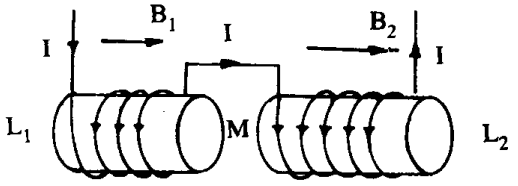
توصيل ملفات الحث:

على التوالي:

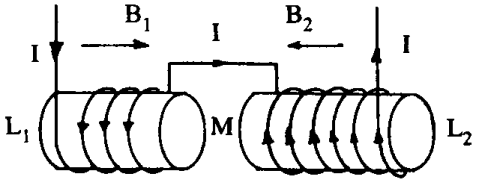
توصل ملفات الحث، كما توصل غيرها من عناصر الدوائر الكهربائية، إما على التوالي أو التوازي أو في شبكات أكثر تعقيداً. و لكي نستطيع مناقشة توصيل الملفات نبدأ بتعريف الحث الذاتي المكافئ كما يلي:

الحث الذاتي المكافئ للشبكة هو نسبة القوة الدافعة الكهربائية الكلية (ذاتية و تبادلية) المستحثة بين طرفي الشبكة إلى معدل تغيير التيار المسبب لتوليد هذه القوة الدافعة الكهربائية.

إذا فرضنا كما في الشكل (٩- ٢٠)وجود ملفين أحدهما حثه الذاتي L1 و الثاني حثه الذاتي L2 و معامل الحث المتبادل M واتصل هذان الملفان على التوالي و مر بهما التيار I بحيث تكون كثافة الفيض المغناطيسي لهما B1 وB2 في اتجاه واحد كما في الشكل (٩- ٢٠أ).



«أ»



«ب»

الشكل (٩- ٢٠) توصيل الملفات على التوالي:

أ- ينتج عن توصيلهما و مرور التيار فيهما مجالان مغناطيسيان لهما الاتجاه نفسه.

ب- متعاكسان في الاتجاه.

إذا تغيرت شدة التيار المار فيهما فإن القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية الذاتية و المتبادلة في كل من الملفين تكون في اتجاه واحد أيضاً.

و تكون القوة الدافعة التأثرية المتولدة في الملف (1) تساوي:

$$e1 = L1\frac{dI}{dt} + M\frac{dI}{dt} \qquad (9\text{-}28)$$

أما ال ق.د.ك المتولدة في الملف (2) فتساوي:

$$e2 = L2\frac{dI}{dt} + M\frac{dI}{dt} \qquad (9\text{-}29)$$

و بذلك تكون القوة الدافعة التأثيرية الكلية:

$$e = e1 + e2 = (L1 + L2 + 2M)\frac{dI}{dt} \qquad (9\text{-}30)$$

$$e = L'\frac{dI}{dt} \qquad (9\text{-}31)$$

و هكذا فإن الحث الذاتي المكافئ L' يساوي:

$$L' = L1 + L2 + 2M \qquad (9\text{-}32)$$

و إذاً مر التيار I بحيث يؤدي إلى أن تكون B1 وB2 في اتجاه مضاد كما هو موضح بالشكل (٩- ٢٠ب)

فإن محصلة القوة الدافعة التأثيرية الذاتية و المتبادلة المتولدة (نتيجة تغيير شدة التيار) في الملفين هي:

$$L'' = L1 + L2 - 2M \qquad (9\text{-}33)$$

ملحوظات مهمة :

١- إذاً كان الفيض الناشئ في أحد الملفين لا يقطع الملف الآخر نظراً لابتعادهما عن بعضهما البعض فإن $M = 0$ و يكون الحث الذاتي المكافئ طبقاً للمعادلتين (٩- ٣٢) و (٩- ٣٣)

$$L = L_1 + L_2 \qquad (9\text{-}34)$$

٢- بطرح المعادلة (٩- ٣٣) من المعادلة (٩- ٣٢) ينتج أن الحث المتبادل بين الملفين هو:

$$M = 1/4\ (L' - L'') \qquad (9\text{-}35)$$

$$M^2 = L_1 \times L_2$$
$$M = \sqrt{L1L2} \qquad (9\text{-}36)$$

أي أن الحث المتبادل بين ملفين يساوي الجذر التربيعي لحاصل ضرب حثهما الذاتي و ذلك عند تلاصق الملفين.

على التوازي:

إذا فرضنا أن الملفين متصلان على التوازي ففي هذه الحالة يتفرع التيار I

بين الملفين و يكون التيار الكلي كما يلي:

$$I = I_1 + I_2 + \ldots\ldots\ldots \qquad (9\text{-}37)$$

حيث إن التيار I1 المار في الملف الذي حثه الذاتي L1 وI2 التيار المار في الملف الذي حثه الذاتي L2 .

و يكون معدل تغير التيار الكلي بالنسبة للزمن مساوياً لمجموع معدل التغير لكل من I1 و I2 و يتم ذلك بتفاضل المعادلة (37-9) بالنسبة للزمن:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{dI1}{dt} + \frac{dI2}{dt} \qquad (9\text{-}38)$$

و بما أن :

$$\frac{dI}{dt} = -\frac{e}{L} \qquad (9\text{-}39)$$

$$\frac{dI1}{dt} = -\frac{e1}{L1} \qquad (9\text{-}40)$$

$$\frac{dI2}{dt} = -\frac{e2}{L2} \qquad (9\text{-}41)$$

و بالتعويض في المعادلة (38-9)، و إذاً كان هناك عدد من الملفات يزيد على اثنين نجد أن :

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L1} + \frac{1}{L2} + \frac{1}{L3} + ... + \frac{1}{Ln} \qquad (9\text{-}42)$$

و يتم هذا على شرط أن نقوم باتخاذ احتياطات معينة تمنع تأثير المجالات المغناطيسية لهذه الملفات على بعضها البعض حتى لا يحدث ارتباط مغناطيسي بينهما نتيجة للتأثير المتبادل.

مثال (٩- ٩):

تعطى كثافة الفيض المغناطيسي في محورملف مكون من N لفة، ذي قلب (حديدي أو غير حديدي) نفاذيته μ وطوله ℓ، بالمعادلة $B=\mu NI/\ell$، حيث I هوالتيار المار في هذا الملف. وهذه المعادلة لا تصلح إلا إذاً كان طول القلب أكبر بكثير من قطره d. احسب الحثية الذاتية للملف عندما تكون N=100، ℓ=10cm، μ_r=1000 (قلب حديدي) و d=5mm. كم تصبح هذه الحثية لو نزعنا القلب الحديدي ؟

الحل:

باستعمال المعادلة (2-9) فإن الفيض المغناطيسي Φ يكون

$$\Phi = B\,A = \frac{\mu N I}{\ell} A$$

حيث إن مساحة مقطع القلب $A=\pi d^2/4$. وبالتعويض في المعادلة (9 - 9)ستنتج الحثية

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

$$=\frac{4\pi\times10^{-7}\times1000\times(100)^2\pi(5\times10^{-3})^2}{4\times10\times10^{-2}}=2.5\times10^{-3}\,H=2.5\,mH$$

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

$$L=2.5\times10^{-3}/\mu_r=2.5\times10^{-3}/1000=2.5\times10^{-6}\,H=2.5\,\mu H$$

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

مثال (٩- ١٠):

حلقة دائرية من الحديد مساحة مقطعها 1 سم^2 و متوسط طولها 40 سم و ملفوف عليها ملف به 4000 لفة. إذاً مر تيار مقداره 0.5 أمبير في الملف فإن كثافة الفيض في الحلقة تكون 0.4 ويبر لكل متر مربع. أوجد النفادية النسبية لمادة الحلقة و الحث الذاتي للملف.

الحل:

$$H = NI / \ell = 4000 \text{ x } 0.5 / 0.40 = 5000 \text{ AT/m}$$

$$\mu = B/ H = 0.4 / 5000 = 8 \text{ x } 10^{-5}$$

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

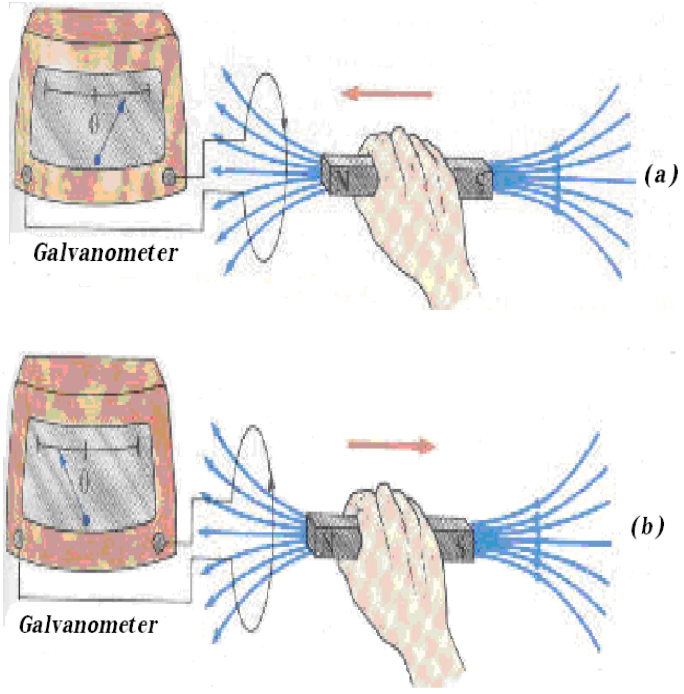
$$\mu_r = 8 \text{ x } 10^{-5} / 4\pi \times 10^{-7} = 63.69$$

$$L = N \Phi / I = N .B .A / I = 4000 \text{ x } 0.4 \text{ x } 0.01 / 0.5 = 32 \text{ H}$$

قانون فارادي و قانون لينز:

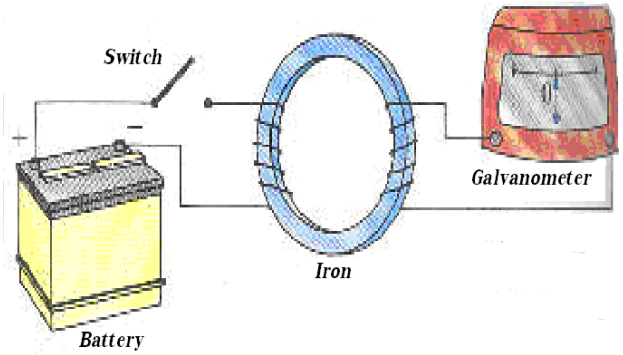
درسنا فيما سبق كيفية الحصول على مجال مغناطيسي من تيار يمر في أشكال مختلفة من السلك، وتجدر الإشارة هنا إلى التساؤل هل يمكن الحصول على تيار كهربي من المجال المغناطيسي. وهذا ما تم الإجابة عنه كل من العالمين مايكل فاراداي البريطاني وجوزيف هنري الأمريكي حيث اكتشف قانون فاراداي عام ١٨٣١ بعد أن قام كل من العالمين بعدة تجارب أدت إلى نتائج متشابهة وهي ما تعرف بقانون فاراداي للحث Faraday's law of induction. والتي من خلالها يمكن الحصول على تيار كهربي من المجال المغناطيسي.

لوحظ أنه عند اقتراب مغناطيس من الدائرة المبينة كما في الشكل(٩- ٢١أ) يتحرك مؤشر الجلفانومتر وعند ثبوت المغناطيس يعود مؤشر الجلفانومتر إلى الصفر أما عند سحب المغناطيس في الاتجاه المعاكس الشكل (٩- ٢١ب) ينحرف مؤشر الجلفانومتر في الاتجاه الآخر مما يشر إلى مرور تيار كهربي في الدائرة عند حركة المغناطيس هذا التيار يعرف بالتيار الحثي Induced Current وهو ناشئ من قوة دافعة كهربية Induced Electromotive Force.



الشكل (٩-٢١)

في تجربة أخرى مبينة في الشكل(٩- ٢٢) نلاحظ عند لحظة إغلاق مفتاح الدائرة الكهربية ولحظة فتح الدائرة الكهربية مرور تيار في الدائرة الثانوية، وهذا يعود إلى أنه في حالة فتح الدائرة الكهربية أو إغلاقها فإن التيار يتغير بين القيمة صفر وأقصى قيمة مما يؤدي إلى تغيير في المجال المغناطيسي المتولد في الملف على الجانب الأيسر للدائرة وهذا يؤدي إلى تيار كهربي يمر في الدائرة الثانوية.



الشكل (٩- ٢٢)

والسؤال الآن ما هو السبب في التيار الحثي الذي ينشأ بواسطة التغيير في المجال المغناطيسي؟

من الملاحظات العملية على التجارب سابقة الذكر نستنتج أن القوة الدافعة الكهربية في الدائرة تتناسب طردياً مع المعدل الزمني للتغير في الفيض المغناطيسي خلال الدائرة.أي أن:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_m}{dt} \qquad (9\text{-}43)$$

حيث إن Φ_m هي الفيض المغناطيسي المار خلال الدائرة الكهربية. والتي تحسب من القانون التالي:

$$\Phi_m = \int B.dA \qquad (9\text{-}44)$$

في حالة تكون الدائرة الكهربية من عدة لفات N فإن قانون فاراداي للحث يصبح في الصورة التالية:

$$\varepsilon = -N\frac{d\Phi_m}{dt} \qquad (9\text{-}45)$$

ولتغيير الفيض المغناطيسي يمكن استخدام عدة طرق وهي:

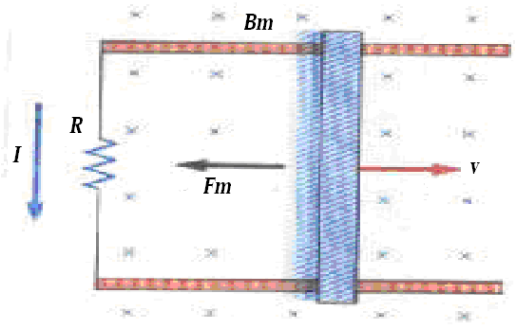
- تغيير المجال المغناطيسي.
- تغيير مساحة الدائرة الكهربية.
- تغيير الزاوية بين متجه المساحة العمودي على المساحة ومتجه المجال المغناطيسي.

المعنى الفيزيائي للإشارة السالبة :

تدل الإشارة السالبة في قانون فاراداي على اتجاه التيار الحثي الذي يتولد في الدائرة الكهربية نتيجة للتغير في الفيض المغناطيسي بالنسبة للزمن. وباستخدام قانون لينز يمكن تحديد اتجاه التيار الحثي، وينص قانون لينز على ما يلي:

يكون اتجاه التيار الحثي في الدائرة الكهربية بحيث يعاكس الفيض المغناطيسي الناشئ عنه الفيض المغناطيسي الذي أنشأه.

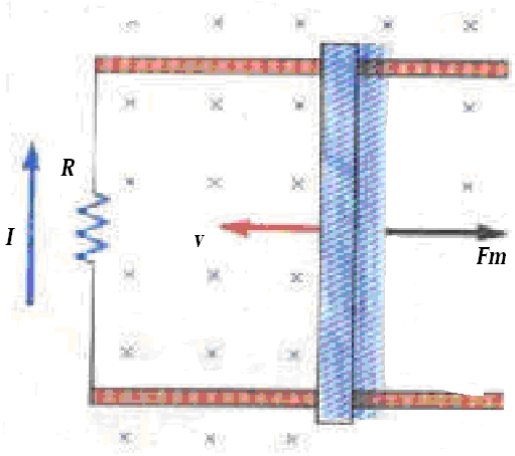
حالة توضيحية :



الشكل (٩- ٢٣)

نفترض مجالاً مغناطيسياً خارجياً في اتجاه الصفحة للداخل كما هو موضح في الشكل (٩- ٢٣) بعلامة X. عند تحريك الساق المعدنية إلى اليمين يزداد الفيض المغناطيسي داخل الدائرة مع الزمن لأن المساحة تزداد. من قانون لينز ينشأ تيار حثي بحيث ينشئ قوة تقاوم حركة الساق إلى اليمين لتمنع الزيادة في الفيض المغناطيسي في الدائرة وعليه يكون اتجاه التيار الحثي عكس عقارب الساعة. لهذا التيار الحثي مجال مغناطيسي (في اتجاه خارج من الصفحة عكس المجال الخارجي) ليقاوم الزيادة في الفيض المغناطيسي.

إذا تحركت الساق المعدنية في المثال السابق إلى اليسارالشكل (٩- ٢٤) بحيث يقل الفيض المغناطيسي مع الزمن فإن التيار الحثي الناتج يكون مع عقارب الساعة بحيث يكون المجال المغناطيسي الناشئ عنه في اتجاه داخل على الصفحة (مع المجال المغناطيسي الخارجي) وذلك ليقاوم النقصان في الفيض المغناطيسي.



الشكل (٩- ٢٤)

مثال (٩- ١١):

احسب معامل الحث الذاتي لملف حلزوني بداخله هواء طوله متر و مساحة مقطعه $6x10^{-4}$ متر مربع و عدد لفاته 1000 لفة. ثم أوجد معامل حثه الذاتي إذاً لف على قضيب من الحديد نفاديته النسبية 500، ثم احسب القوة الدافعة الذاتية المتولدة فيه إذاً تغير التيار الأصلي المار فيه بمعدل 15 أمبير/ ثانية.

الحل:

$$L=\frac{\mu_0 N^2 A}{\ell} \quad =\frac{4\pi\times10^{-7}\ x1000000x6x10^{-4}}{1}=75.4x10^{-5}\ H$$

و في حالة لف الملف الحلزوني على قضيب من الحديد:

$$L=\frac{\mu N^2 A}{\ell}=\frac{\mu_0\ \mu_r\ N^2 A}{\ell}$$

$$=500x\frac{4\pi\times10^{-7}\times10^{6}\ x6\times10^{-4}}{1}=0.377H$$

$$e=-L\frac{di}{dt}=0.377\ x\ 15=5.655\ V$$

مثال(٩- ١٢):

ملف حلزوني طوله ℓ = 1 متر و مساحة مقطعه A = $6x10^{-4}$ سم² و عدد لفاته N_1= 1000 التف حول منتصفه ملف آخر صغير عدد لفاتهN_2= 20 . احسب:

١- الحث المتبادل بين الملفين.

٢ - ما قيمة القوة الدافعة الحثية في الدائرة الثانية نتيجة تغيير التيار في الدائرة (1) بمقدار 10 أمبير/ الثانية.

الحل:

١- في الملف (1) تكون كثافة الفيض المغناطيسي في اتجاه محوره نتيجة مرور تيار قيمته I

$$B = \mu_0 (N_1/\ell)\ Wb/m^2$$

عندئذ يساوي التدفق المار بالمقطع المركزي المقدار:

$$\Phi = BA = \mu_0 (N_1\ I\ A/\ell)$$

و لما كان هذا التدفق يتصل بالملف (2) فإن معامل الحث المتبادل :

$$M = (N_2\ \Phi\ )/\ I = \mu_0(N_2\ N_1\ A/\ell)$$

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

$$=500x\frac{4\pi\times10^{-7}\times10^{6}\ x6\times10^{-4}}{1}=0.377H$$

$$M = 12.57x\ 10^{-7} \times 10^{-3} \times 10^{+3} \times 20$$

٢- القوة الدافعة الحثية في الدائرة (2) تعطى بالمعادلة :

$$e2=-M.\frac{dI1}{dt}$$

$$e\,2 = -\ 25\ .1 \times 10^{-6} \times 10 = -\ 251\ \ \mu V$$

مسائل إضافية:

1-1 : يمر تيار شدته 2A في سلك طويل مستقيم موضوع في الهواء. احسب كثافة الفيض المغناطيسي الناتج وشدة المجال عند نقطة تبعد 8cm عن السلك.

1-2 : يمر تيار شدته 4A في سلك مستقيم طوله 10cm. احسب القوة الميكانيكية التي تظهر على السلك إذاً وضع عمودياً على خطوط مجال مغناطيسي كثافة فيضه 0.06T. كم تصبح هذه القوة إذاً كانت الزاوية بين السلك والمجال 40^{o} ؟

1-3 : وضع سلك طوله 0.50m وحامل لتيار شدته 8A في مجال مغناطيسي كثافة فيضه 0.40T. ما القوة التي سيخضع لها السلك إذاً كانت الزاوية بين السلك والمجال 15° ؟

1-4 : يمر التياران 2A و 4A في نفس الاتجاه في سلكين طويلين متوازيين يبعدان 8cm عن بعضهما. احسب القوة بين السلكين. هل هذه القوة تجاذبية أو تنافرية ؟

1-5 : احسب الحثية الذاتية لملف عدد لفاته 200، طوله 8cm، ذي قلب حديدي نفاذيته النسبية 5000 وقطره 3mm.

1-6 : احسب القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في ملف عدد لفاته 100 إذاً وضعناه في مجال مغناطيسي يتغير فيضه 2Wb في الثانية.

الدوائر كهربائية – ١

الدوائر المغناطيسية

الجدارة: معرفة أساسيات الكهرومغناطيسية اللازمة لفهم دوائر وقياسات التيار المتردد.

الأهداف: بعد دراسة هذه الوحدة يكون للمتدرب بإذن الله سبحانه القدرة علىمعرفة:

(١) التعريفات الخاصة بالدوائر المغناطيسية(التدفق المغناطيسي ، والقوة الدافعة المغناطيسية ، والممانعة المغناطيسية).

(٢) الممانعة المغناطيسية (المقاومة المغناطيسية) والعوامل التي تؤثر عليها وكيفية حسابها.

(٣) مقارنة وجه الشبه بين الدوائر المغناطيسية والدوائر الكهربائية.

(٤) كيفية تطبيق قانون أوم للدوائر المغناطيسية.

(٥) كيفية تطبيق قانوني كيرشوف للدوائر المغناطيسية.

(٦) منحني التمغنط لبعض المواد المغناطيسية.

(٧) تطبيقات على دوائر مغناطيسية بسيطة.

مستوى الأداء: المطلوب: أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٨٠٪

الوقت المتوقع للتدريب: ١٠ ساعات

الدوائر المغناطيسية

أساسيات:

الدائرة المغناطيسية هي عبارة عن مسارات للفيض المغناطيسي .تماماً، كما أن الدائرة الكهربائية تنشئ مسارات لمرور التيار الكهربي. و تستخدم الدوائر المغناطيسية في المحولات و الآلات الكهربائية، و العديد من النبائط الكهروميكانيكية.

تتكون الدائرة المغناطيسية من مسار مقفل للفيض المغناطيسي الدي يتولد عادة نتيجة لمرور تيار في سلك ملفوف و محيط بمسار الفيض

وكما عرفنا الحث المغناطيسي، أو كثافة المجال المغناطيسي B في الفصل السابق بمعادلة القوة:

$$F = BI\ell \quad [N] \qquad (10\text{-}1)$$

حيث F(N) هي القوة التي تظهر على موصل مستقيم طوله ℓ(m)، عندما يمر به تيار، قيمة i(A)، و موجود في وضع متعامد مع مجال مغناطيسي كثافة B(T).

كما عرفنا سابقاً أن العلاقة بين الفيض المغناطيسي ، كثافته و المساحة التي يمر فيها تتبع القانون التالي:

$$\Phi = B\,A \quad \text{أو} \quad B = \Phi / A \qquad (10\text{-}2)$$

علماً بأن وحدة الفيض المغناطيسي هي الوبر(Wb)، و تبين معادلة (10-3) أن $1T = 1Wb/m^2$

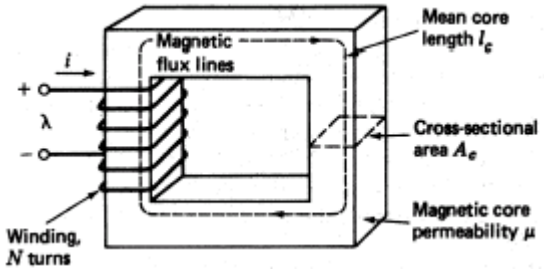
و مصادر المجال المغناطيسي إما: مغناطيس دائم، أو تيار كهربي. و لقياس فاعلية التيار الكهربي في إنتاج الفيض المغناطيسي، (أو المجال).. فيجب تعريف ما يسمى القوة الدافعة المغناطيسية (mmf).

$$\mathcal{F} = Ni \ (ampere - turns) \qquad (10\text{-}3)$$

$$\mathcal{F} = \mathcal{R}\,\phi \qquad (10\text{-}4)$$

$$\mathcal{R} = \frac{l}{\mu A} \qquad (A\text{-}t/Wb) \qquad (10\text{-}5)$$

حيث I هو التيار المار في ملف كهربائي عدد لفاته N ، و تقدر وحدة القوة الدافعة المغناطيسية بالأمبير لفة (AT) ، و يبين الشكل(١٠- ١) رسماً تخطيطياً لدائرة مغناطيسية ، تحتوي على mmf ، و فيض مغناطيسي.



الشكل (١٠- ١)

و يمكن استنتاج العلاقة المتبادلة بين التيار الكهربائي I و شدة المجال المغناطيسي H المصاحب من أمبير الدائري .

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \oint \mathbf{J} \cdot d\mathbf{a} \qquad (10\text{-}6)$$

$$H_c l_c = Ni \qquad (10\text{-}7)$$

و يحدد قانون أمبير الدائري وحدة شدة المجال بالقيمة ١ أمبير/متر و يكون قلب الدائرة المغناطيسية عادة من الحديد المغناطيسي، كما أن العلاقة بين شدة المجال و كثافة الفيض لهذه المواد تعطى بالقانون التالي:

$$B_c = \mu H_c \qquad (10\text{-}8)$$

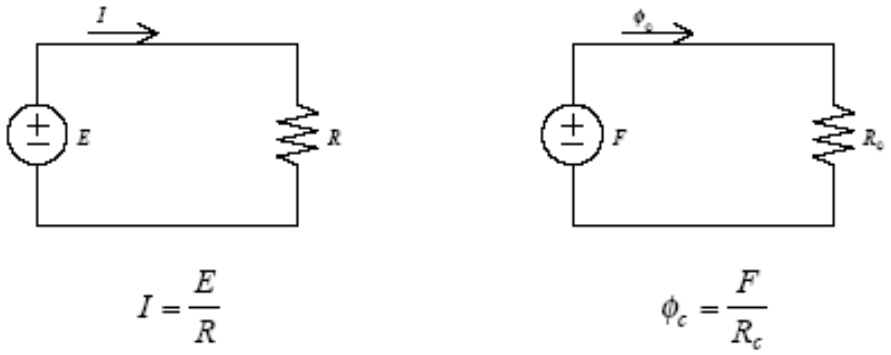
$B_C = \mu_r \mu_o H_c$

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A-t-m

قانون أوم للدوائر المغناطيسية

$$\Phi = Ni\frac{\mu_r\mu_0 A}{l} = F_m\frac{\mu_r\mu_0 A}{l} \qquad (10\text{-}9)$$

$$\Phi = F_m P = \frac{F_m}{R_m}$$



$$I = \frac{E}{R} \qquad \phi_c = \frac{F}{R_c}$$

الشكل (١٠- ٢) الدائرة المكافئة المغناطيسية بالتناظر مع الدائرة الكهربائية

تتبع الدوائر المغناطيسية قانوناً يطابق قانون أوم ، بعد تنظير الكميات الكهربائية و الكميات المغناطيسية الشكل (١٠- ٢). و يبين الجدول (١٠- ١) التناظر بين الدوائر الكهربائية و الدوائر المغناطيسية.

و الفرق بين دائرة الكهربائية و دائرة مغناطيسية هي:

١- يوجد فقد قيمته RI^2 في المقاومة المادية ، بينما لا يوجد فقد يسمى $R\Phi^2$ في المعاوقة المغناطيسية.

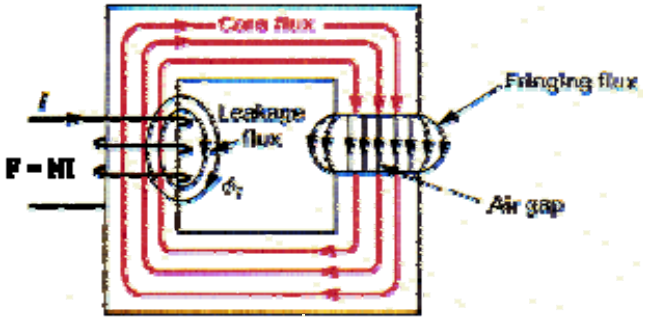
٢- يمكن أن يتخذ الفيض المغناطيسي مسارات تسريبية الشكل (١٠- ٣)، بينما لايوجد ذلك بالنسبة للتيارات الكهربائية (المارة خلال المقاومات).

يتسرب جزء من الفيض المغناطيسي الناشئ في دائرة مغناطيسية و يأخذ مسارات عشوائية. و يسمى هذا الجزء بالفيض المتسربLeaking flux . و يعتبر الفيض المتسرب غير مفيد في الدائرة. يبين الشكل (١٠- ٣) الفيض المتسرب في دائرة مغناطيسية.

يحسب معامل التسرب من العلاقة :

معامل التسرب = الفيض الكلي / الفيض المفيد

و يتراوح هذا المعامل في الآلات الكهربائية الحديثة بين ١,١ – ١,٢٥

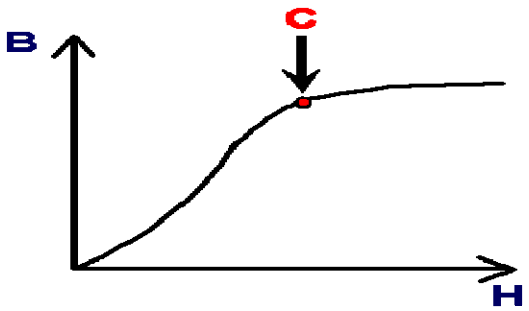


الشكل (١٠- ٣) دائرة مغناطيسية محتوية على ثغرة هوائية

٣- في الدوائر المغناطيسية المحتوية على ثغرات هوائية، فإننا نأخذ في الاعتبار مقدار التقوس Fringing flux في خطوط الفيض الشكل (١٠- ٣) بينما لايوجد تقوس للتيارات في الدوائر الكهربائية، و يزداد التقوس كلما زاد طول الثغرة الهوائية، و يزيد من المساحة الفعالة لمقطع الثغرة.

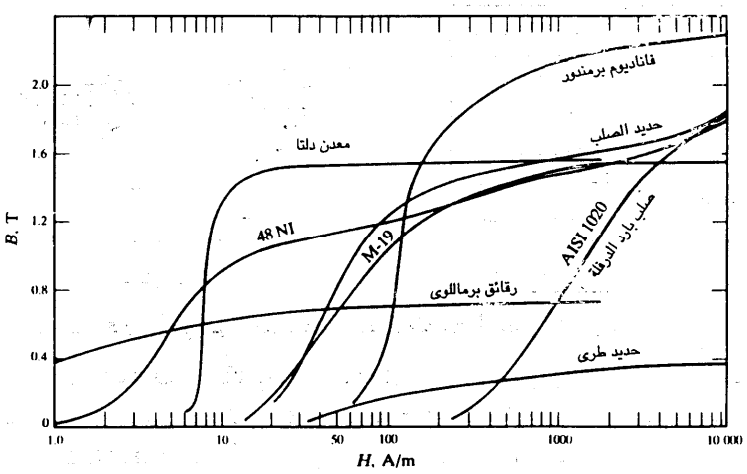
منحنى المغنطة (التشبع)

إن النفاذية النسبية μ_r للمواد المغناطيسية لا تكون عادة ثابتة على طول المدى. و إنما تبدأ في النقصان بعد قيمة معينة لكثافة الفيض B ، و تسمى هذه الحالة بالتشبع Saturation الشكل (١٠- ٤) . و المنحنى الذي يبين تغير كثافة الفيض B مع شدة المجال H يسمى بمنحنى المغنطة الشكل (١٠- ٥أ) . يبين الشكل (١٠- ٥ب) منحنيات المغنطة لبعض المواد المغناطيسية.

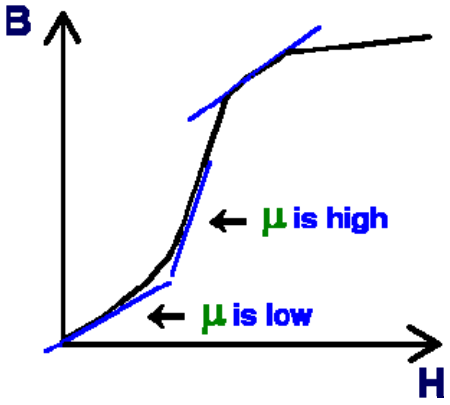


الشكل (١٠- ٤)

نلاحظ من الشكل (١٠- ٥) أن ميل المنحني يكون كبيرا في الجزء الأول بمعنى أن μ_r تكون مرتفعة عندما تكون B منخفضة و تقل μ_r مع ازدياد B. و كلما زادت قيمة μ_r كلما كانت المادة المغناطيسية أجود.



ب



أ

الشكل (١٠- ٥)

مقارنة بين الدوائر المغناطيسية و الدوائر الكهربائية :

	الدائرة الكهربائية	الدائرة المغناطيسية
١	مصدر الجهد الكهربائي- المولد.	مصدر الجهد المغناطيسي- ملف حامل للتيار ذو قلب حديدي
٢	الجهد الكهربائي" V " بالفولت هو المسبب للتيار الكهربائي " I " بالأمبير.	وصلية التدفق " Φ " أو الجهد المغناطيسي (القوة الدافعة المغناطيسية F) بالأمبير هو المسبب للتدفق المغناطيسي " Φ"
٣	تتدفق الإلكترونات في الدائرة الكهربائية.	لا يسري أو يتدفق شيء في الدائرة المغناطيسية فالمجال المغناطيسي ساكن.
٤	تقاس شدة التيارالكهربائي " I " بالأمبير.	تقاس قيمة التدفق المغناطيسي"Φ" بالويبر أو بالفولت ثانية.
٥	كثافة التيار" j" هي قيمة التيار لكل ميليمترمربع من مقطع الموصل"A " J = I /A	كثافة التدفق المغناطيسي "B" هي قيمة التدفق المغناطيسي لكل متر مربع من المقطع الفولاذي بالتسلا أو فولت ثانية/متر مربع
٦	تتكون المقاومة الكهربائية " R" في الدائرة الكهربائية من مقاومات الموصلات و الأحمال.	تنشأ المقاومة المغناطيسية" Rm " من القضبان الفولادية حول الملف،من الثغرة الهوائية كحمل. و يقاوم الهواء التدفق المغناطيسي مقاومة كبيرة.

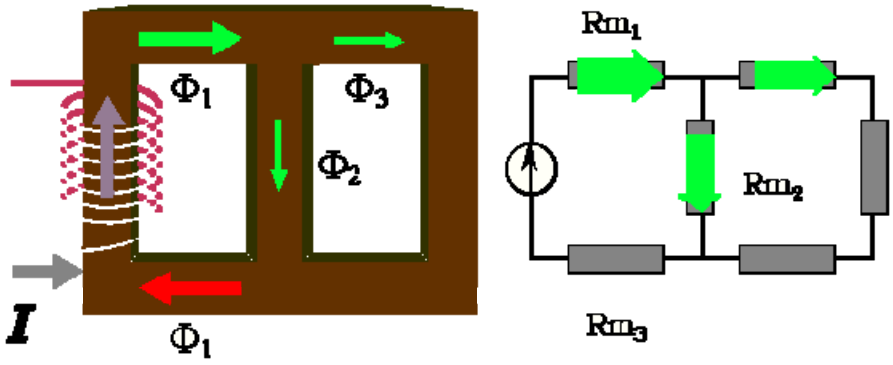
٧	قانون أوم: $V = RI$	قانون أوم: $F = R_m \Phi$
٨	المقاومة الكهربائية: $R= (L/\gamma)/A$ L:طول الموصل γ:موصلية المادة A:مساحة مقطع الموصل. تزداد المقاومة R لموصل ما كلما زاد طول الموصلL. و نقصت مساحة مقطع الموصلA.	المقاومة المغناطيسيةReluctance: $R_m=(L/\mu)A$ L:طول الدائرة المغناطيسية μ:الموصلية(النفادية) المغناطيسية للمادة A:مساحة مقطع الفولاذ أو الهواء. تزداد مقاومة الدائرة المغناطيسية Rm كلما زاد طولها و نقصت الموصلية المغناطيسية للمادة و نقصت مساحة مقطع الفولاذ أو الهواء.
٩	يولد مصدر جهد له أطراف معينة، تياراً أصغر في مقاومة كبيرة مما يولده في مقاومة صغيرة.	يولد ملف له وصلية تدفق معينة تدفقاً مغناطيسياً في الهواء (مقاومة كبيرة) أضعف بكثير منه في الفولاذ (مقاومة صغيرة).
١٠	يقع هبوط الجهد "E" على امتداد مجال كهربائي. ففي المجال الكهربائي، يعرف إصطلاح هبوط الجهد الكهربائيE ، و يظهر لكل متر على طول المجال الكهربائي هبوط للجهد مقداره: $E = V/L$ [v/m] و ينطبق ذلك على المجال الكهربائي المتجانس.	يقع هبوط الجهد"H" على امتداد مجال مغناطيسي:ففي المجال المغناطيسي يعرف اصطلاح هبوط الجهد المغناطيسي H و يظهر لكل متر على طول المجال المغناطيسي هبوط للجهد مقداره: $H = V/L$ [A/m]
١١	تسمى "E" في المراجع أيضاً بشدة المجال الكهربائي. و ذلك إذاً عوض عن R في المعادلة: $I = V/R$ بالقيمة A. (L/γ).A فإننا نحصل على: $I/A = E, I/A = S$ $I/A=\gamma.V/L$ $I = \gamma.A.V/L$	تسمى"H" في المراجع أيضاً بشدة المجال المغناطيسي $H = \Phi/L$ إذا عوض عنRm في المعادلة: $\Phi=N.I / R_m$ بالقيمة: $L/\mu A$ فإننا نحصل على: $\Phi/A = N.I.\mu/L$ $\Phi= I.N.\mu.A/L$

	إذن: $S = \gamma.E$ أي أن كثافة التيار = الموصلية مضروبة في هبوط الجهد بعد التعويض $E = S/\gamma$	و حيث إن: $\Phi/A = B$ أو $H=N.I/L$ إذن: $B = \mu.H$ أي أن كثافة التدفق المغناطيسي "B" = النفاذية مضروبة في شدة المجال (هبوط الجهد).

قانوني كيرشوف للدوائر المغناطيسية :

قانون كيرشوف للتيار:

$$\sum_{k=1} \phi_k = 0 \qquad (10\text{-}10)$$

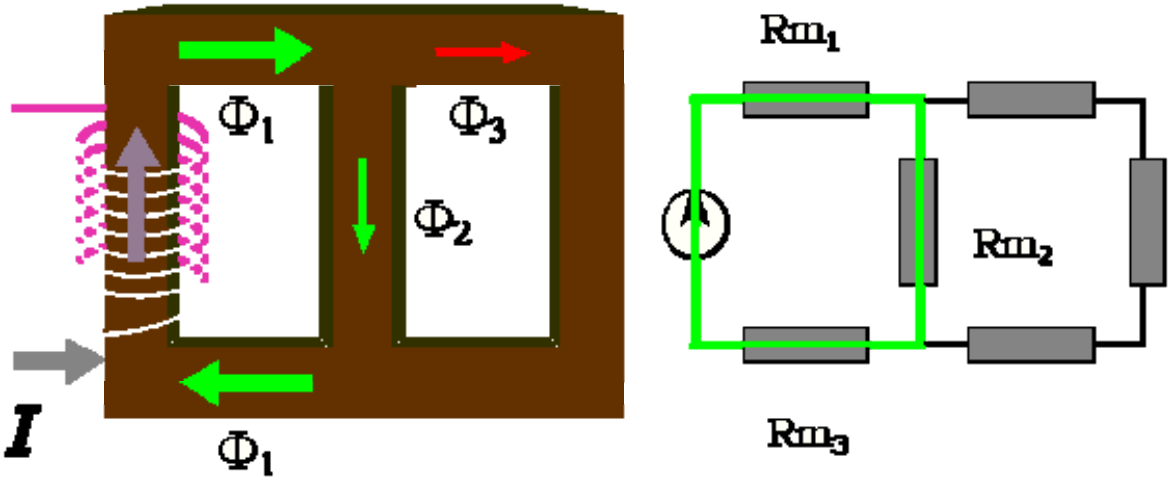


$$\Phi_1 = \Phi_2 + \Phi_3$$

الشكل (١٠- ٦)

قانون كيرشوف للجهد :

$$\sum R_k \phi_k = \sum F_k \qquad (10\text{-}11)$$

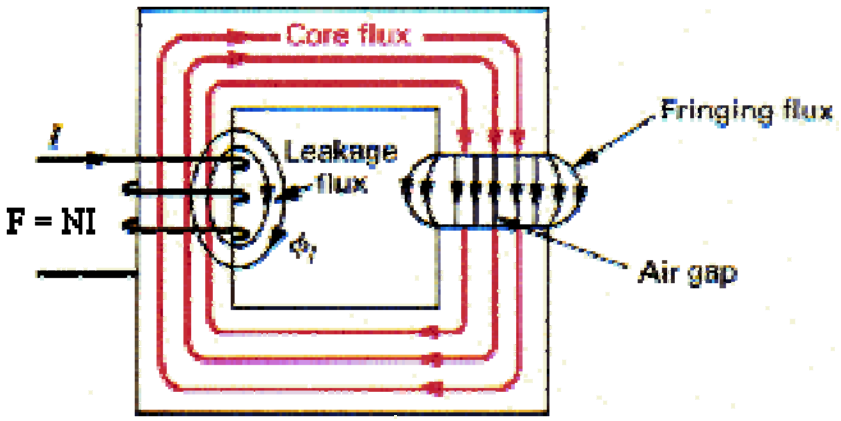


$$NI = Rm_1\Phi_1 + Rm_2\Phi_2 + Rm_3\Phi_3$$

الشكل (١٠- ٧)

مثال (١٠- ١):

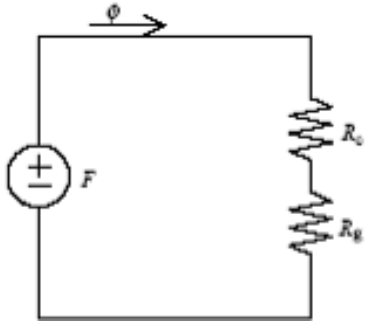
لتكن الدائرة المبينة في الشكل (١٠- ٨)، أرسم الدائرة المغناطيسية المكافئة و أكتب قوانين كيرشوف (KVL و KCL) لهذه الدائرة:



الشكل (١٠- ٨)

الحل :

الدائرة المكافئة هي كالتالي:



و بتطبيق قانون كيرشوف للجهد على الدائرة نحصل على المعادلات التالية:

$$F = Ni = H_c l_c + H_g l_g$$

$$H_c l_c = \frac{B_c}{\mu_c} l_c = \frac{\phi_c}{\mu_c A_c} l_c = \phi_c R_c$$

$$H_g l_g = \frac{B_g}{\mu_o} l_g = \frac{\phi_g}{\mu_o A_g} l_g = \phi_g R_g$$

$$\phi_c = \phi_g = \phi$$

$$F = \left(R_c + R_g\right)\phi$$

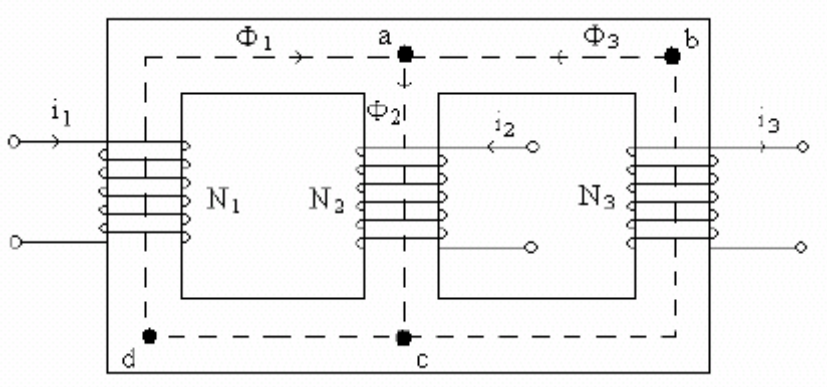
تمارين (١٠- ٢):

لتكن الدائرة الشكل (١٠- ٩):

١- ارسم الدائرة المكافئة

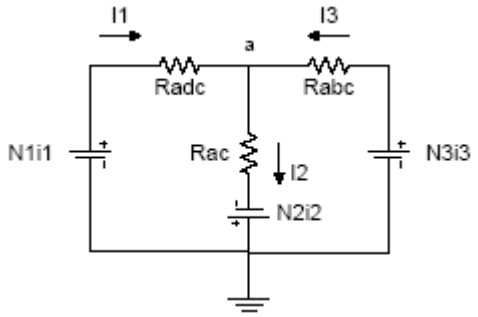
٢- استنتج المقاومة المغناطيسية لكل من الساق الأيمن ، الأوسط و الساق الأيسر.

٣- استنتج قانون كيرشوف في العقدة a .



الشكل (١٠- ٩)

الحل:



$$\Re_{ac}=\frac{l_{ac}}{\mu A},\quad \Re_{adc}=\frac{l_{adc}}{\mu A},\quad \Re_{abc}=\frac{l_{abc}}{\mu A}$$

$$I_1-I_2+I_3=0$$

$$\Phi_1-\Phi_2+\Phi_3=0$$

$$\Phi_1=\frac{N_1i_1-F_a}{R_{adc}},\quad \Phi_2=\frac{F_a+N_2i_2}{R_{ac}},\quad \Phi_3=\frac{N_3i_3-F_a}{R_{abc}}$$

$$\frac{N_1i_1}{R_{adc}}-\frac{N_2i_2}{R_{ac}}+\frac{N_3i_3}{R_{abc}}+F_a\left[-\frac{1}{R_{adc}}-\frac{1}{R_{ac}}-\frac{1}{R_{abc}}\right]=0$$

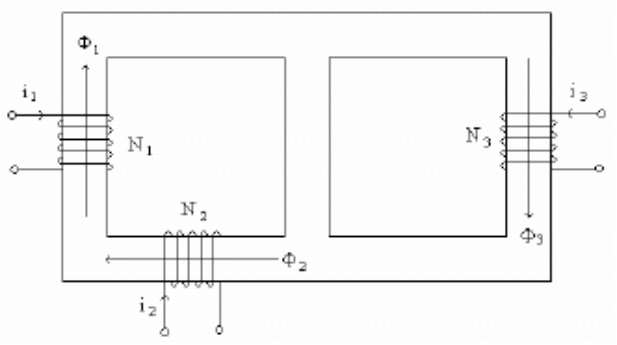
$$F_a=\frac{\dfrac{N_1i_1}{R_{adc}}-\dfrac{N_2i_2}{R_{ac}}+\dfrac{N_3i_3}{R_{abc}}}{\dfrac{1}{R_{adc}}+\dfrac{1}{R_{ac}}+\dfrac{1}{R_{abc}}}$$

تمارين (١٠- ٣):

لتكن الدائرة المغناطيسية (الشكل (١٠- ١٠):

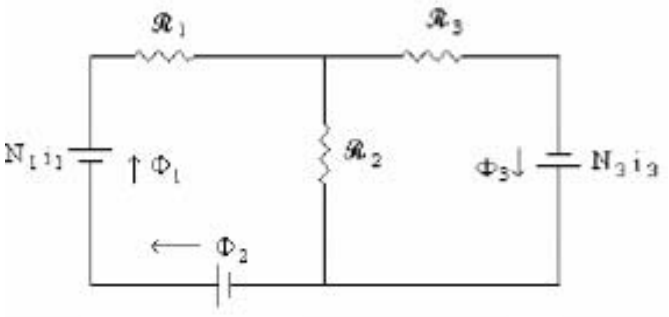
١- ارسم الدائرة المكافئة

٢- استنتج قوانين كيرشوف في كل من الحلقتين .



الشكل (١٠- ١٠)

الحل:



$$\Phi_1 = \Phi_2.$$

$$N_1 i_1 + N_2 i_2 = \Re_1 \Phi_1 + \Re_2 (\Phi_1 - \Phi_3)$$

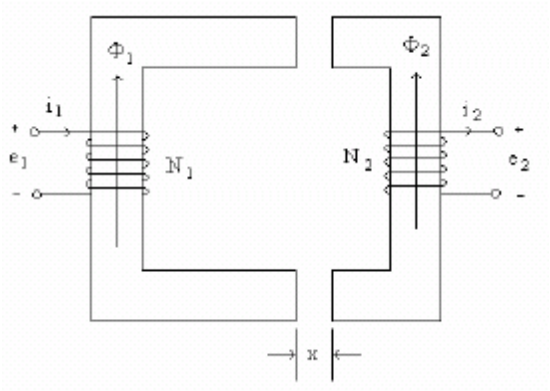
$$N_3 i_3 = \Re_3 \Phi_3 + \Re_2 (\Phi_3 - \Phi_1)$$

تمارين (١٠- ٤):

لتكن دائرة مغناطيسية ((شكل(١٠- ١١):

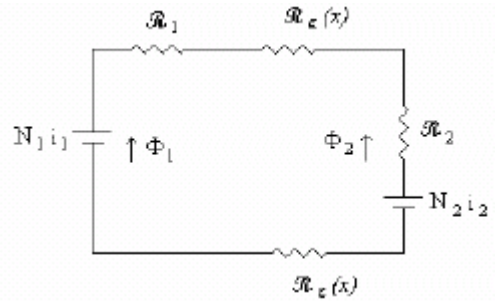
١- ارسم الدائرة المكافئة.

٢- استنتج قانون كيرشوف.



الشكل (١٠- ١١)

الحل:



$$\Phi_1 = -\Phi_2.$$

$$N_1 i_1 - N_2 i_2 = \left[\Re_1 + \Re_2 + 2\Re_g(x)\right]\Phi_1$$

$$N_1 i_1 - N_2 i_2 = \Re(x)\Phi_1$$

مثال (١٠- ٥):

حلقة حديدية طول محيطها المتوسط ٣ متر و مساحة مقطعها 25 سم^2 و بها قطع يمثل ثغرة هوائية طولها 1مم. يحيط بالحلقة ملف به 350 لفة. فإذا كان معامل النفاذ النسبي لمادة الحلقة 800 و كان معامل التسرب المغناطيسي 1.2.فأوجد التيار الكهربائي اللازم إمراره في الملف للحصول على فيض قدره 0.3ميلي ويبر في الثغرة الهوائية.

الحل:

في الثغرة الهوائية:

$$B_g = \Phi / A$$
$$B_g = 0.3 \times 10^{-3} / 5 \times 10^{-4} = 0.6 \text{ Wb / m}^2$$
$$H_g = B_g / \mu_0 = 0.6 / 4\pi \times 10^{-7} = 47.7 \times 10^4 \text{ AT /m}$$
$$AT_g = H_g \times l_g = 47.7 \times 10^4 \times 1 \times 10^{-3} = 477 \text{ AT}$$

في الحلقة الحديدية:

$$B_i = \lambda \Phi_g / A = 1.2 [0.3 \times 10^{-3} / 5 \times 10^{-4}] = 0.72 \text{ Wb / m}^2$$
$$H_i = B_i / \mu_0 \mu_r = 0.72 / 4\pi \times 10^{-7} \times 800 = 715 \text{ AT/m}$$
$$AT_i = H_i l_i = 715 \times 3 = 2145 \text{ AT}$$

الأمبير لفة الكلي:

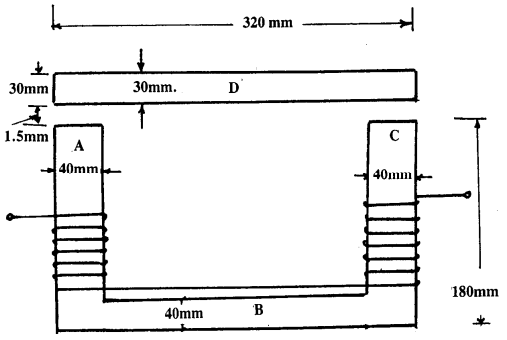
$$= 477 + 2145 = 2622 \text{ AT}$$

و التيار المطلوب:

$$AT_t / N = 2622 / 350 = 7.5 \text{ A}$$

مثال (١٠- ٦):

دائرة مغناطيسية أبعادها كما هو مبين بالشكل (١٠- ١٢) . مقطع الأجزاء A، B، وC مربع بينما الجزء D مستطيل (30 x 40 مم). يمر بالدائرة مجال مغناطيسي ناتج من ملفين على الجزأين Aو C و موصلين على التوالي و يحوي كل منهما ل 1500 لفة . إذاً كانت معاملات النفاذ النسبي لأجزاء القلب الحديدي هي 900لأجزاء A وBوC و 750 للجزء D فأوجد تيار المغنطة اللازم لإمرار مجال مغناطيسي 1.6 ميلي ويبر في الثغرة الهوائية.



الشكل (١٠ - ١٢)

الحل:

في الثغرات الهوائية:

$B_g = [1.6 \times (1/1000) / 40 \times 40 \times (1/1000000)] = 1 Wb / m^2$

$H_g = B_g / \mu_0 = 1 / 4\pi \times 10^{-7} = 79{,}54 \times 10^{-4} = AT/m$

$L_g = 2 \times 1.5 = 3mm$

$AT_g = 79{,}54 \times 10^{-4} \times 3 \times 10^{-3} = 2386 AT$

الأجزاء C,B,A.

$B = 1 Wb / m^2$

$H = 1 / 4\pi \times 10^{-7} \times 900 = 884 AT/m$

$L_{mean} = 160 + 280 + 160 = 600 mm$

$AT = 884 \times 600 \times 10^{-3} = 530 AT$

$B = \Phi / A = (1.6 \times 10^{-3}) / (30 \times 40 \times 10^{-6}) = 4/3 Wb/m^2$

$H = (4/3) \times 4\pi \times 10^{-7} \times 750 = 1415 AT/m$

$L_{mean} = 320 - (2 \times 20) = 280 mm$

$AT = 1415 \times 280 \times 10^{-3} = 396 AT$

$Total AT = 2386 + 530 + 396 = 3312 AT$

$I = 3312 / 3000 = 1.014 A$

مثال (١٠- ٧):

حلقة مصنوعة من الحديد المسبوك بالشكل و الأبعاد المبينة بالشكل (١٠- ١٣) و مقطعها مربع طول ضلعه 3 سم و مثبت بداخلها قضيب حديدي طوله 18سم و مقطعه 0.4 سم x 3 سم بدون ثغرات هوائية بينه و بين الحلقة.

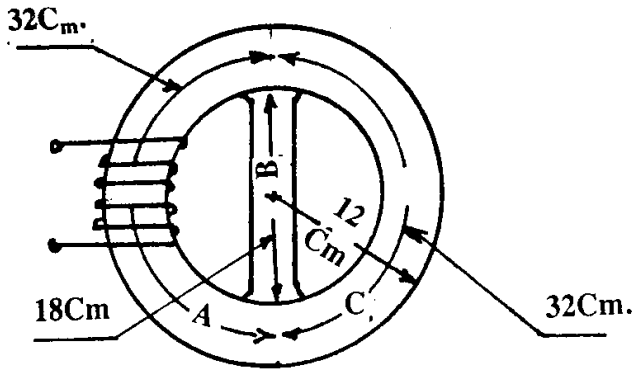
احسب الأمبير لفات اللازمة على الجزء للحصول على مجال مغناطيسي كثافته 1 ويبر لكل متر مربع في الجزء من الحلقة. الخواص المغناطيسية للمواد المستخدمة هي كما يأتي:

الحديد المسبوك:

B[T]	1	1.1	1.2
H[A/m]	900	1020	1220

الحديد:

B[T]	1.2	1.4	1.45
H[A/m]	590	1200	1650



الشكل (١٠ - ١٣)

الحل:

1- الجزء C .

من الجدول عندما تكون $B = 1\ Wb/m^2$

فإن $Hc = 900\ AT/m$

طول المسار

$$Lc = [\ \pi\ (24-3)\ ]\ /2 = 66/2 = 33\ cm$$
$$ATc = 900 \times 0.33 = 297$$

2- الجزء D .

حيث إن D على التوازي مع C فإن نفس الأمبير لفات موجودة عليه، أي أن

$$AT_D = 297 = H_D\ l_D$$
$$H_D = 297 / 0.18 = 1650\ AT/m$$

ومن الجدول :

$B_D = 1.45\ Wb/m^2$

$\Phi_c = B_c A_c = 1 \times 9 \times 10^{-4} = 9 \times 10^{-4}\ Wb$

$\Phi_D = B_D A_D = 1.45 \times 0.4 \times 3 \times 10^{-4} = 1.74 \times 10^{-4}\ Wb$

$\Phi_A = \Phi_c + \Phi_D = 10.74 \times 10^{-4}\ Wb$

$B_A = \Phi_A / A_A = 10.74 \times 10^{-4} / 3 \times 3 \times 10^{-4} = 1.193\ Wb/m^2$

من الجدول و بالتقريب:

$H_A = 1200\ AT/m$

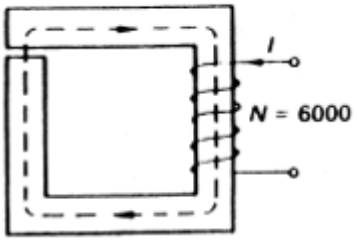
$AT_A = H_A l_A = 1200 \times 0.33 = 396$

و الأمبير لفات الكلية تصبح:

$AT_t = 396 + 297 = 693\ AT$

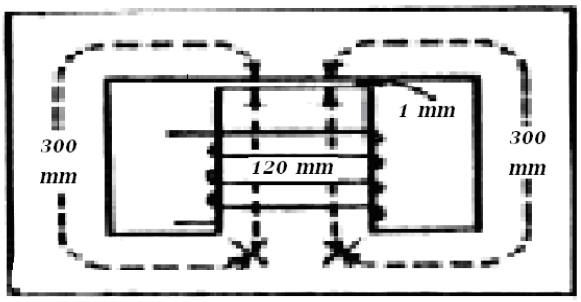
تمارين إضافية:

١- يمر تيار قدره 20 ميلي أمبير في الملف الذي يحوي على 6000 لفة الشكل (١٠- ١٤) فيحدث فيض مغناطيسي عبر الحديد المغناطيسي و الفجوة الهوائية.إذا كانت مساحة مقطع الحديد 0.8×10^{-4} متراً مربعاً، و طول المسار المتوسط في الحديد 0.15 متر، معامل النفاد النسبي للحديد 800 و الفجوة الهوائية 0.75 ميلي متر.احسب كثافة الفيض المغناطيسي (يهمل عامل التقوس).

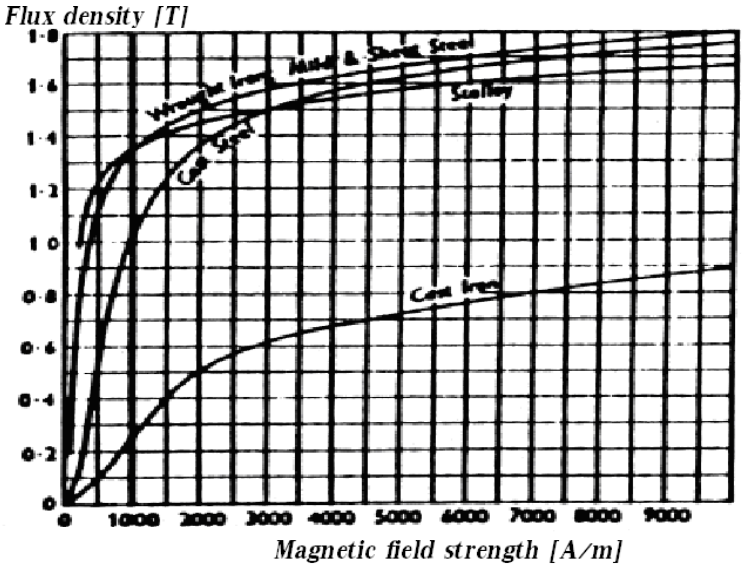


الشكل (١٠- ١٤)

٢- لتكن الدائرة المغناطيسية الشكل (١٠- ١٥) ،الساق الوسطى تحتوي على 500 لفة و مساحة مقطعه 800 ميلي متر مربع أما الساقان الأيمن و الأيسر فمساحة مقطعهما 500 ميلي متر مربع، الفجوة الهوائية 1 ميلي متر. احسب التيار المطلوب الذي يمكننا من الحصول على 1.3 ميلي ويبر في الساق الوسطى (يهمل التسرب و التقوس) وأبعاد المسارات المغناطيسية المختلفة موضحة على الشكل (١٠- ١٥) استعمل منحنى B-H الشكل (١٠ - ١٦).

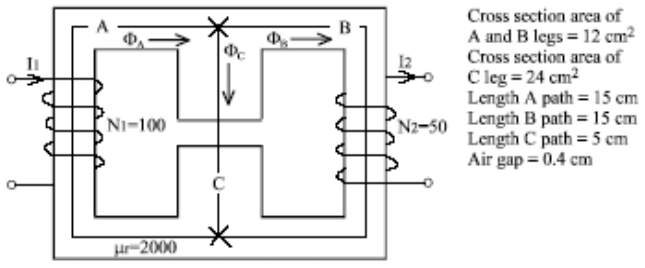


الشكل (١٠- ١٥)



الشكل (١٠- ١٦)

٣- الشكل (١٠- ١٧) يبين محولاً ذا ملفين ، الابتدائي يحتوي على 100 لفة و الثانوي 50 لفة ، ونفاذية الحديد 2000 (يهمل التسرب و التقوس) احسب شدة التيار الابتدائي إذاً كان التيار الثانوي 20 أمبير وكانت القيمة العظمى لكثافة الفيض المغناطيسي في الساق الوسطى C 0.6 تيسلا.



الشكل (١٠- ١٧)

الملفات المجوفة (اللولبية):

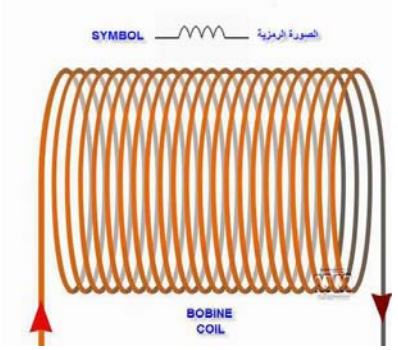
تركيب الملفات:

يتركب الملف من سلك معزول ملفوف على إطار من مادة عازلة وممكن أن تكون على عدة أشكال و أنواع و منها :

أولاً: من حيث القلب

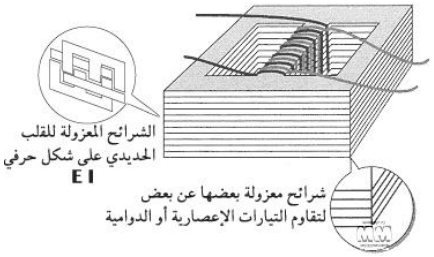
تصنف الملفات وفقاً للمادة التي تشغل الحيز داخل الإطار الداخلي للملف إلى :

1- ملفات ذات قلب هوائي(مجوفاً و فارغاً) : وهى تلك الملفات الشكل (١٠ - ١٨) التي يشغل الهواء ما بداخل إطارها الداخلي (ما بداخل قلبها) والحث الذاتي لمثل هذه الملفات صغير.



الشكل (١٠- ١٨)

2- ملفات ذات قلب حديدي: إذاً وضع داخل الملف قلب حديدي شكل(١٠- ١٩)، فإن المجال المغناطيسي يتركز داخل وحول الملف ولا يشرد كثيراً خارجه ، وبالتالي يزيد من حث الملف . قد يصل حث مثل هذا النوع من الملفات إلى 10هنري.



الشكل(١٠- ١٩)

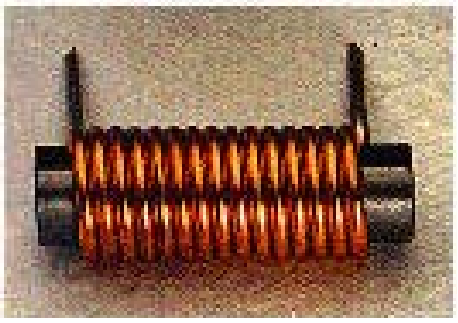
ولكن يعيب على مثل هذا النوع من الملفات ، أن تيارات متولدة بالحث الذاتي داخل القلب الحديدي تسمى بالتيارات الإعصارية أو التيارات الدوامية ، تتحرك في اتجاهات عشوائية داخل هذا القلب مما يسبب ارتفاع درجة حرارة القلب المغناطيسي وفقد في الطاقة .ولذلك يقسم القلب الحديدي إلى شرائح معزولة عن بعضها البعض لتقاوم التيارات الإعصارية أو الدوامية.

وتستخدم الملفات ذات القلب الحديدي في التنعيم في دوائر تقويم التيار المتناوب كما تستخدم في دوائر المصابيح الفلورسنتية.

3- ملفات ذات قلب من مسحوق الحديد : وهي الملفات التي يوضع بداخل قلبها مسحوق من الحديد شكل(١٠- ٢٠)، حيث يخلط مسحوق الحديد بمادة عازلة ويضغط ليعطي قلباً مغناطيسياً ذا مقاومة كهربية عالية ،وبالتالي تقليل التيارات الدوامية أو الإعصارية إلى حد كبير.

الشكل(١٠- ٢٠)

4- فات ذات قلب من مادة الفرريت : وهى تلك الملفات التي يوضع بداخل قلبها مادة الفيريت الشكل(١٠- ٢١)، ومادة الفيرريت مادة مغناطيسية مقاومتها الكهربية عالية جداً ،وبذلك نضمن عدم سريان التيارات الإعصارية داخلها.



شكل(١٠- ٢١)

ثانيا: من حيث الترددات

1-ملفات التردد المنخفض

وهي الملفات التي تستخدم في الترددات الصوتية ، ومن المعروف أن الترددات الصوتية تتراوح من 20 هرتز إلى 20 كيلو هرتز. وملفات التردد المنخفض من الملفات ذات القلب الحديدي.

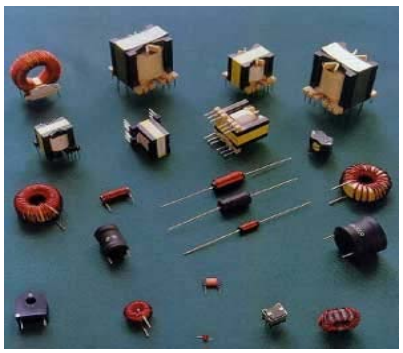
2-ملفات التردد المتوسط

وهي الملفات التي تستخدم في الترددات المتوسطة ، والتردد المتوسط في أجهزة الراديو ذات التعديل السعوي A M يساوي 465 كيلو هرتز. وملفات التردد المتوسط من الملفات ذات القلب المصنوع من مسحوق الحديد أو مادة الفيرريت.

3-ملفات التردد العالي

وهي الملفات التي تستخدم في الترددات العالية التي تزيد عن 2 ميجا هرتز ، مثل دوائر التنعيم في أجهزة الراديو. وملفات التردد العالي من الملفات ذات القلب الهوائي. في حالة التردد العالي تكون ممانعة الملفات كبيرة ، وفى حالة التردد المنخفض تكون ممانعة الملفات صغيرة وهذا يمكننا من فصل الترددات الصوتية عن الترددات العالية في الدوائر التي يقترن فيها التردد العالي مع التردد المنخفض.

❖ يمكن أن يغلف الملف بغلاف من الحديد وذلك عند الرغبة في ألا يتأثر الملف بالمجالات المغناطيسية الخارجية وقد يغلف بغلاف من البلاستيك لحمايته ، وقد يترك بدون تغليف الشكل(١٠- ٢٢).



الشكل(١٠- ٢٢)

الشكل(١٠- ٢٣)

الملف المجوف (اللولبي) هو الاسم الذي يعطى لملف من السلك صنع لاحداث مجال مغناطيسي . يُلف هذا الملف على حديد (ملف ذي قلب حديدي) أو على مادة غير مغناطيسية (ملف ذي قلب هوائي). الشكل (١٠- ٢٣) يوضح الصور الرمزية لأنواع مختلفة من الملفات.

أساسيات الملف المجوف الخطي:

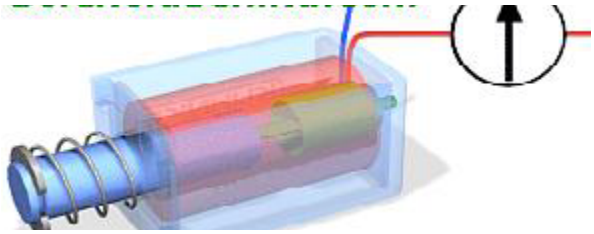
عندما يُحْدث تيار كهربائي مجالاً مغناطيسياً في الحديد. تتحرك في هذا المعدن جسيمات الميادين المجهرية لتنتظم في صف متواز مع المجال . وبما أنه من السهل على التدفق المغناطيسي المرور في الحديد . فالتيار ينتج المزيد من التدفق في وحدة مساحة المقطع . أي أن كثافة الدفق تشتد.

الملف في دوائر التيار المستمر:

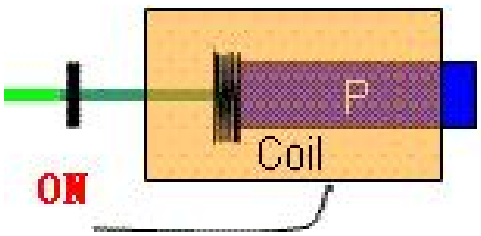
إذا سلط جهد مستمر على ملف ، فإن التيار الذي سيمر بالملف لا يصل إلى قيمته العظمى منذ اللحظة الأولى وذلك بسبب تولد جهد مستنتج بالحث الذاتي يعارض مرور التيار في الملف. التيار يتزايد تدريجياً في الملف عند توصيلة بالتيار المستمر ، وإذا فصل الجهد المستمر عن الملف ، فإن الجهد المستنتج بالحث الذاتي يعارض تناقص التيار في الملف ، لذا فإن تيار الهبوط لا يصل إلى الصفر بمجرد فصل الجهد المستمر عن الملف . بل يستمر إلى حين .يتزايد التيار تدريجياً من الملف عند وصله مع التيار المستمر. ويتناقض التيار تدريجياً من الملف عند فصله من التيار المستمر.

الملفات في دوائر التيار المتردد :

بما أن التيار المتناوب يتغير باستمرار في قيمته واتجاهه، لذلك فإن الملفات يتولد فيها جهد مستنتج بالحث الذاتي يعارض الزيادة أو النقص أو تغيير الاتجاه عندما توصل تلك الملفات في دوائر التيار المتناوب.
الملفات المجوفة هي أجهزة كهر وميكانيكية تحول الطاقة الكهربائية إلى حركة ميكانيكية.
عموماً يتم استخدام هذه الحركة لنقل الحمولة إلى مسافة محددة. وجميع الملفات اللولبية الخطية هي أساساً من نوع سحب الشكل (١٠- ٢٤) و هذا ما يسحب الغواص داخل الملف حين يكون هذا الأخير مهيجاً شكل(١٠- ٢٤- أ) أما عند فصل الكهرباء عن الملف (شكل١٠- ٢٤- ب) فتتم عملية عودة القضيب إلى وضعيته الأصلية .



(ب)- الملف غير مهيج



(أ) -الملف مهيج

الشكل (١٠- ٢٤)

تحكم الملفات المجوفة قانونان أساسيان:

- قانون فاراداي
- قانون أمبير

هناك فئتان رئيستان من الملفات اللولبية:

❖ الدوار ❖ الخطي

تطبيقات الملفات المجوفة:

الملفات المجوفة الخطية لها تطبيقات في الأجهزة المنزلية مثل الغسالات وغسالات الصحون، و الآلات البيع وأقفال الأبواب ومُغَيَّر العملة والقواطع والمضخات والأجهزة الطبية.

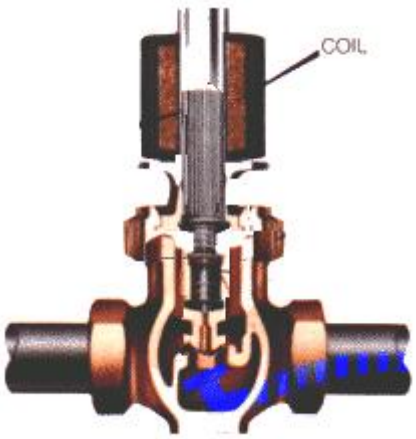
ملفات اللولبية الروتارية (الدوارة) لها تطبيقات في أدوات الآلات ، وأشعة الليزر، ومعالجة الصور ،ووسائط التخزين والأجهزة الطبية، والفارزات، وإغلاق باب النار،والري بالرش، والآلات البريدية، وأيضا السيطرة على تدفق الهواء والسوائل،السيطرة على الوقود (الهواء المضغوط عادة أو ثاني أكسيد الكربون).

وهناك تطبيقات مشتركة بين اللولبي والروتاري و الخطية ومن ذلك: العدادات ،وقواطع دوائر ،وأجهزة تنظيم ضربات القلب وآلات النسيج والصراف الآلي والفرامل وماكينات بيع التذاكر وآلات تصوير المستندات والمعدات الزراعية وتصنيع الأغذية والتصويرالطبي والليزر الطبي وصناعة الورق و فرز الطرود .

صمامات الملف اللولبي:

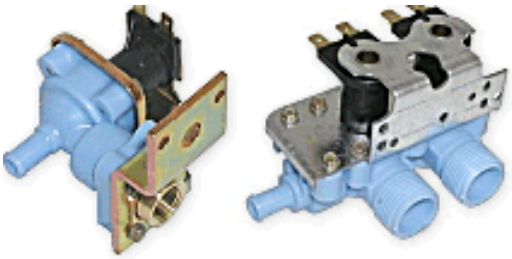
صمامات الملف اللولبي هي أجهزة كهروميكانكية لاستخدامها في تحكم قائم على الضغط و التدفق في السوائل و الغازات و هذا بالسيطرة على صمام بواسطة تيار كهربائي من خلال لفائف الملف اللولبي بتغديته من مصدر كهرباء أو بفصله و الذي بدوره يفتح أو يغلق الصمام ميكانيكياً الشكل(١٠- ٢٥).

في حالة عدم تغذية الملف يكون الصمام مغلقاً حيث لا يسمح بمرور الماء، أما إذاً تم تهييج الملف فالقضيب يتجه إلى الأعلى و منها يفتح الصمام حيث يمر الماء حسب الخط الأزرق.



الشكل(١٠- ٢٥).

يمكن استخدام صمامات منفردة او معه اخر مثل الذي يستخدم في غسل الملابس كما هو موضح في الشكل (١٠- ٢٦) .



الشكل(١٠- ٢٦)

المرحل:

المُرحل(الريلاي): عباره عن مفتاح كهروميكانيكي يستعمل للتواصل بين دائرتين كهربائيتين مختلفتين الجهد والتيار لتتحكم الأولى بالثانيه. الشكل (١٠- ٢٧)يوضح بعض أشكال المرحلات.

الشكل (١٠- ٢٧)

كيف يعمل المرحل:

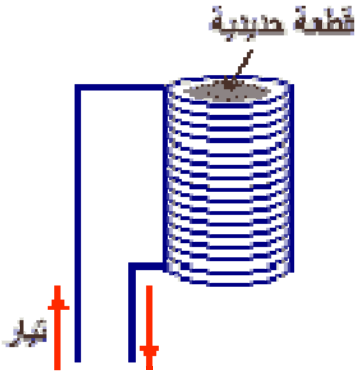
الشكل (١٠- ٢٨) يوضح الطريقة المبسطة لفهم كيفية عمل المرحل . لو افترضنا أن هناك ذراعاً معدنياً مستقراً في وضعه الطبيعي على محور وافترضنا أن هذا الذراع يمكنه التحرك بحرية على هذا المحور فعندما نقرب مغناطيساً إلى هذا الذراع لاشك أن هذا الأخير سيترك وضعه الطبيعي و سيتحرك إلى الأسفل باتجاه المغناطيس مما يجعل طرفه الآخر يلامس النقطة الحمراء وبذلك يكون هناك اتصال بين النقطة الحمراء والذراع. هذه ببساطة هي طريقة عمل المرحل.

الشكل (١٠- ٢٨)

أجزاء المرحل:

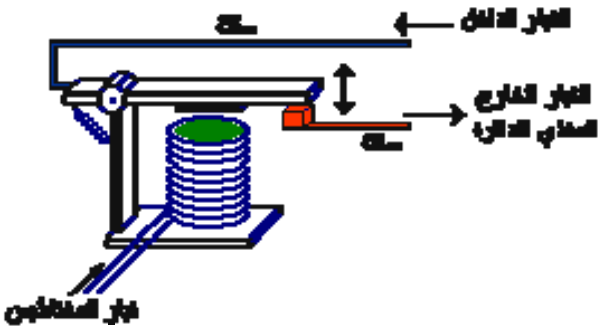
يتكون المرحل من جزأين رئيسيين وهما :

١- الملف اللولبي و مثلناه سابقاً بالمغناطيس. ولكن بدلاً من المغناطيس العادي فإن المرحل يستخدم المغناطيس الكهربائي وهو عبارة عن قطعة حديدية ملفوف حولها سلك الشكل (١٠- ٢٩) . فعندما نمرر تياراً كهربائياً في السلك يتكون هناك مجالاً مغناطيسياً وتتحول القطعة الحديدية إلى مغناطيس.



الشكل (١٠- ٢٨)

٢- المفتاح ومثلناه سابقاً بالذراع في وضعيه الطبيعي: غير ملامس (فهو مطفأ) وملامس (فهو موصل). فعندما يمر تيار ثابت في الملف ويبدأ المغناطيس الكهربائي بالعمل ينجذب الذراع المعدني إلى الأسفل الشكل (١٠- ٢٩) وتكتمل الدائرة فيبدأ التيار في السريان إلى الدائرة.



الشكل (١٠- ٢٨)

وعندما نفصل التيار الثابت عن الملف يتلاشى المجال المغناطيسي ويرجع الذراع إلى وضعه الطبيعي مما يقطع الدائرة فلا يصل التيار للدائرة.