المغناطيسية والتيار المتردد

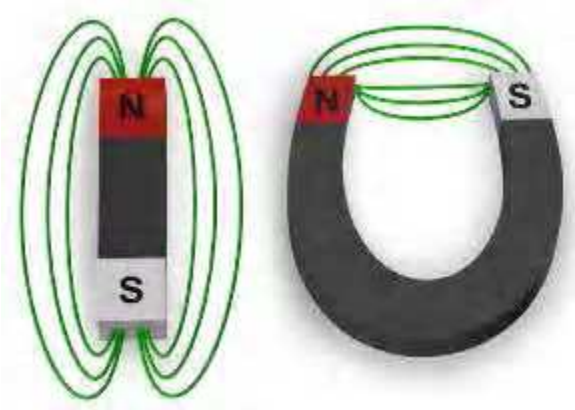
The magnetic field المجال المغناطيسي

تجذب إليها جسيمات الحديد. Magnetite Fe_3O_4 نشأ علم المغناطسية من ملاحظة أن بعض الأحجار وتسمى في اسيا الصغرى حيث توجد Magnesia هي مشتقة من منطقة ماغنيسيا Magnetism وكلمة مغناطيسية هذه الاحجار. وكما هو معروف أن الكرة الأرضية نفسها هي مغناطيس دائم.

أنه إذا مر تيار في سلك فإنه ينشأ تأثير مغناطيسي متمثلاً في Orested في عام 1820 لاحظ العالم اورستد انحراف ابرة مغناطيسية موضوعة بجوار السلك، وكما سندرس لاحقاً أن المجال المغناطيسي ينشأ عن الشحنات في حالة حركة (تيار كهربي) وقد ربط اكشاف اورستد علاقة بين علم الكهربية وعلم المغناطيسية.

Magnetic field تعرف المنطقة المحيطة بمغناطيس دائم أو موصل يمر به تيار بمنطقة مجال مغناطيسي هو تأثير فيزيائي يأخذ قيم مختلفة في الفراغ. والمتجه الأساسي في التأثيرات field والمقصود بكلمة مجال المغناطيسية يسمى متجه الحث المغناطيسي Magnetic induction vector ويرمز له بالرمز B.

يمكن تمثل المجال المغناطيسي بخطوط القوى المغناطيسية بحيث يكون كثافة الخطوط لكل وحدة مساحات من عنصر مساحة عمودي على اتجاه خطوط القوى هو مقدار المجال المغناطيسي. ويكون اتجاه المماس لخط القوى B عند تلك النقطة عليه يعطي اتجاه المجال المغناطيسي عند أي نقطة.



والتي تعتمد على الطريقة العملية لقياس Operational Definition لتعريف المجال المغناطيسي سوف نستخدم التعريف الاجرائي المجال المغناطيسي.

النتائج العملية

- إذا وضعت شحنة اختبار ساكنة عند نقطة في منطقة مجال مغناطيسي وجد عمليا أن القوة المغناطيسية عليها

تساوي صفر.

- خلال النقطة المراد قياس المجال المغناطيسي عندها فإنها تتأثر بقوة v بسرعة q_o إذا اطلقت شحنة الاختبار عمودية على اتجاه السرعة.
- واذا كانت الشحنة سالبة فإن القوة تكون في q_o وجد عمليا أن القوة المغناطيسية تتناسب مع مقدار الشحنة عكس اتجاه القوة على الشحنة الموجبة.
- تكون القوة المغناطيسية عمودية على اتجاه السرعة ويعتمد مقدرا القوة المغناطيسية على اتجاه سرعة الشحنة بحيث أن B تتناسب طرديا مع vsinθ حيث θ الزاوية بين السرعة والمجال المغناطيسي B.
- وجد عمليا أن اتجاه القوة يكون دائما عموديا على اتجاه المجال المغناطيسي B.
- وجد أن القوة المغناطيسية تصبح نهاية عظمى عندما تكون السرعة عمودية على المجال المغناطيسي.

$$F \perp v$$

$$F \perp B$$

$$F \alpha\ q_o\ v\ \sin\theta$$

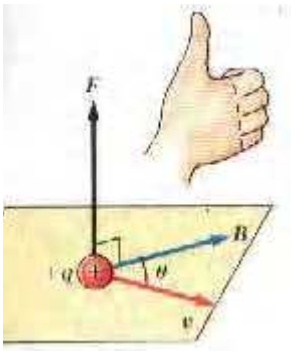
$$F = q_o\ v\ B\ \sin\theta$$

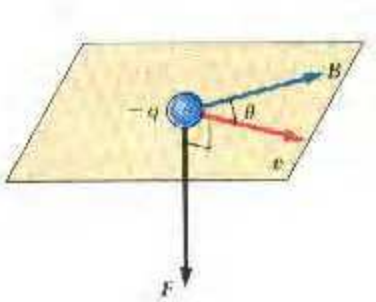
يعرف مقدار متجه المجال المغناطيسي B كما يلي

$$B = F / q_o\ v\ \sin\theta$$

$$F = q_o\ v \times B$$

ويكون اتجاه المجال المغناطيسي في اتجاه دوران بريمة تدور من v إلى B كما في الشكل التالي:





كما أن القوة المغناطيسية على الشحنة السالبة يكون في عكس القوة المغناطيسية على الشحنة السالبة.

وحدة المجال المغناطيسي B هي Tesla ويرمز لها بالرمز T

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

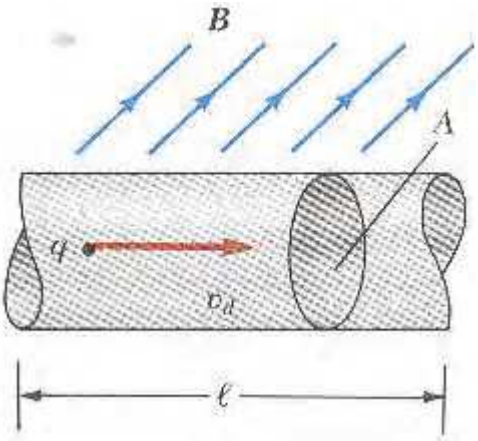
ووحدة Tesla هي وحدة كبيرة ويمكن استخدام وحدة الجاوس في نظام جاوس للوحدات حيث أن

Tesla = 10^4 Gauss

المغناطيسية والتيار المتردد

تأثير المجال المغناطيسي على موصل يمر به تيار

The Effect of magnetic field on current carrying conductor

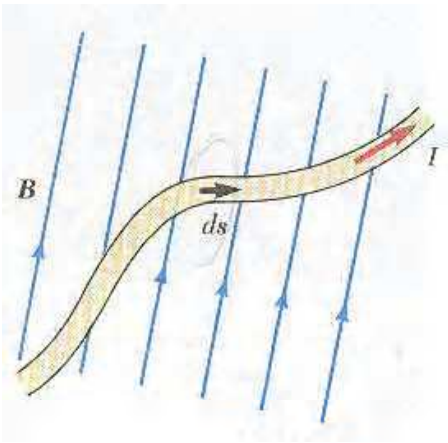


لاحظنا من المحاضرة السابقة ان القوة المغناطيسية تؤثر على الشحنة المتحركة بسرعة v في مجال مغناطيسي B. وحيث أن التيار الكهربي المار في سلك موصل هو حركة للشحنات في السلك، لذا سنقوم بدراسة تأثير المجال المغناطيسي على سلك يمر به تيار كهربي شدته I.

افترض سلك من مادة موصلة طولها l ومساحة مقطعها A يمر بها تيار كهربي I، والسلك موجود في منطقة مجال مغناطيسي B كما في الشكل المقابل. تتحرك الشحنات داخل مادة الموصل بسرعة تسمى سرعة الانجراف Drift velocity v_d ويكون تأثير المجال المغناطيسي على الشحنة المتحركة هو

$$F = q_o\, v_d \times B$$

ولإيجاد القوة المغناطيسية التي تؤثر على السلك يجب ان نوجد عدد الشحنات المارة في السلك وسنفترض ان عدد تلك الشحنات هو nAl حيث أن n هو عدد الشحنات لكل وحدة حجوم وعليه تكون القوة المغناطيسية الكلية تعطى بالمعادلة التالية:



$$F = q_o\, v_d \times B\,(nAl)$$

$$v_d = I/nqA$$

بالتعويض عن سرعة الانجراف نحصل على المعادلة التالية

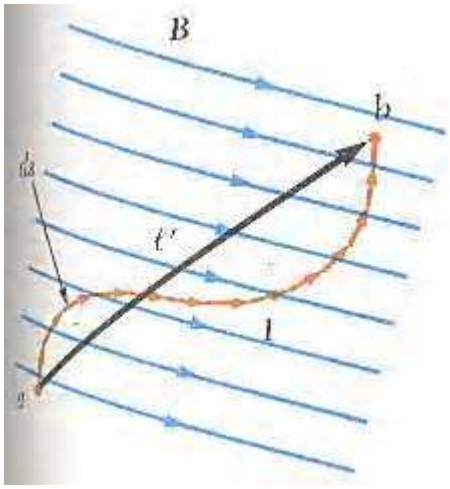
$$\mathbf{F} = I\,\boldsymbol{l} \times \mathbf{B}$$

وهذه المعادلة تمثل القوة المغناطيسية الكلية المؤثرة على سلك يمر به تيار في مجال مغناطيسي و $\boldsymbol{l}$ هو متجه في اتجاه التيار.

في حالة سلك غير منتظم فإننا نقسم السلك إلى عناصر صغيرة طول كل منها ds كما في الشكل وتكون القوة المغناطيسية المؤثرة على العنصر ds هو

$$d\mathbf{F} = I\,d\mathbf{s} \times \mathbf{B}$$

حالة خاصة (1)

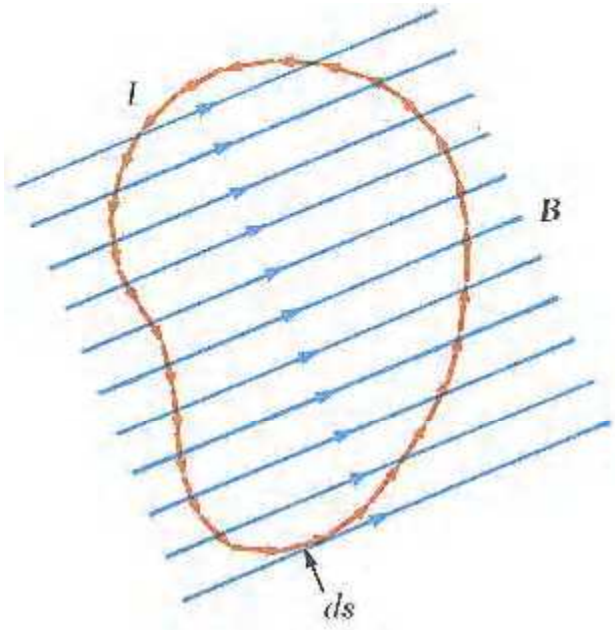


في حالة سلك منحني كما في الشكل ويمر به تيار في مجال مغناطيسي منتظم فإن القوة المغناطيسية في هذه الحالة هي:

$$\mathbf{F} = I\,\boldsymbol{l} \times \mathbf{B}$$

حيث $\boldsymbol{l}$ هي الازاحة بين نقطة البداية والنهاية للسلك.

حالة خاصة (2)



في حالة وجود حلقة متصلة من سلك يمر به تيار كهربي موضوع في مجال مغناطيسي منتظم فإن القوة المغناطيسية الكلية المؤثرة على الحلقة يساوي صفراً.

$$\mathbf{F} = 0$$

وذلك لأن المجموع الاتجاهي للازاحات الصغيرة ds يساوي صفراً حيث ستكون نقطة البداية هي نقطة النهاية

تأثير المجال المغناطيسي على حلقة يمر بها تيار

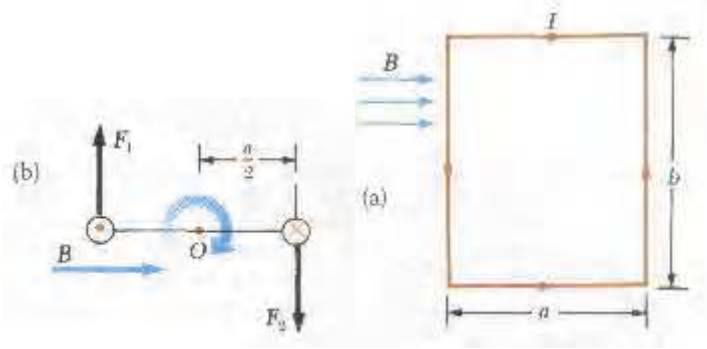
Torque on a current loop

في الدرس السابق وجدنا ان قوة مغناطيسة تؤثر على سلك (1) يمر به تيار (2) وموضوع في مجال مغناطيسي خارجي.

في وضعية مشابهة نجد ان القوة المغناطيسية تؤثر بقوة عزم ازدواج على حلقة يمر بها تيار موضوعة في مجال مغناطيسي خارجي. كيف؟؟

حالة خاصة المجال المغناطيسي يوازي مستوى الحلقة

لنفرض حلقة من سلك موصل يمر به تيار I وموضوع في مجال مغناطيسي B موازي لمستوى الحلقة كما في الشكل ادناه.



يؤثر المجال المغناطيسي على طول الضلعين b بقوة مغناطيسية متساوية في المقدار $F_1 = F_2 = IbB$ ومتعاكسة في الاتجاه ولكن خط عملهما مختلف مما ينتج عن ذلك ازدواج Torque. يعطى بالعلاقة التالية:

$$\tau = IAB$$

بينما تكون القوة المغناطيسية على طول الضلعين a تساوي صفر وذلك لأن الزاوية الحصورة بين المجال المغناطيسي والتيار تساوي 0 للضلع السفلي و 180 درجة للضلع العلوي من الحلقة.

حالة عامة المجال المغناطيسي يعمل زاوية مع مستوى الحلقة

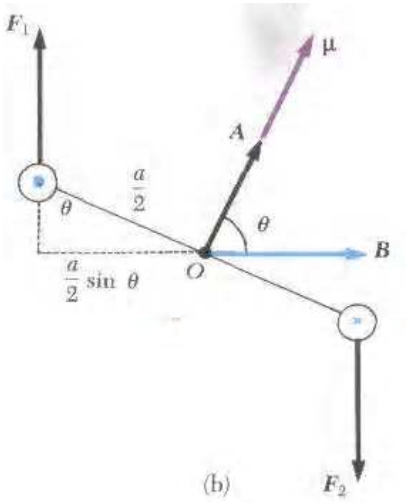
بنفس الطريقة السابقة سيكون تأثير المجال المغناطيسي على الحلقة هو ازدواج يتولد على طرفي الضلعين b

ولحساب الازدواج نقوم بضرب القوة المؤثرة في المسافة العمودية على النحو التالي:

$$\tau = F_1 (a/2) \sin\theta + F_2 (a/2) \sin\theta$$

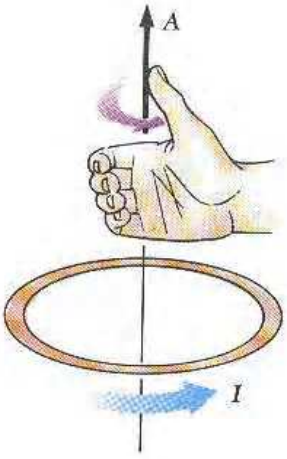
$$\tau = IbB (a/2) \sin\theta + IbB(a/2) \sin\theta$$

$$\tau = IAB \sin\theta$$



والمعالدة السابقة تكتب في الصورة الاتجاهية بالصورة التالية:

$$\tau = IA \times B$$



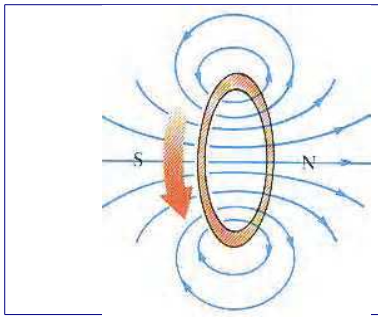
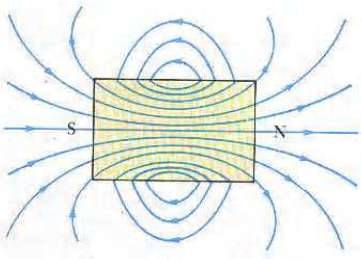
حيث A هو متجه المساحة ومقداره مقدار المساحة ويكون اتجاهه عمودي على المساحة. ويعرف حاصل ضرب متجه المساحة في التيار بعزم المجال المغناطيسي μ Magnetic Moment.

$$\mu = IA$$

The SI unit of the magnetic moment is ($A.m^2$)

يتم تحديد اتجاه عزم المجال المغناطيسي باستخدام قبضة اليد اليمنى كما في الشكل المقابل...ويكتب عزم الازدواج بالصورة التالية.

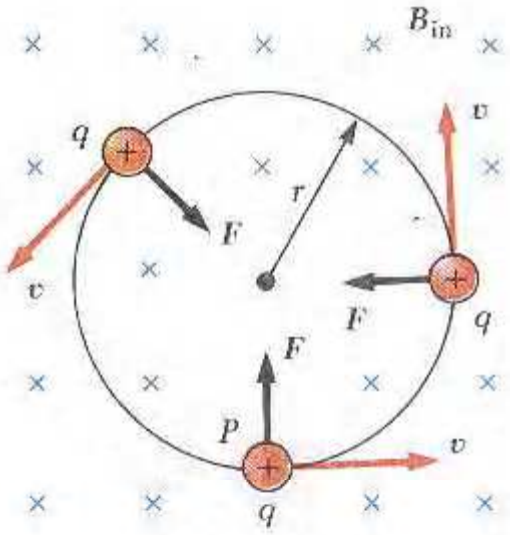
$$\tau = \mu \times B$$

	
خطوط المجال المغناطيسي لحلقة يمر بها تيار	خطوط المجال المغناطيسي لمغناطيس دائم

المغناطيسية والتيار المتردد

تأثير المجال المغناطيسي على حركة جسيم مشحون

The Effect of magnetic field on moving charged particle



درسنا في المحاضرة الأولى ان القوة المغناطيسية المؤثرة على جسم مشحون يتحرك في مجال مغناطيسي تكون دائماً عمودية على على سرعة الجسم. وهذا يعني أن الشغل المبذول بواسطة القوة المغناطيسية يساوي صفر وبالتالي فإن تأثير المجال المغناطيسي على حركة جسم مشحون هو تغير اتجاهه بحيث يسلك الجسم المشحون في مجال مغناطيسي مساراً دائرياً يكون مستوى هذا المسار الدائري عمودياً على المجال المغناطيسي.

بتطبيق قانون نيوتن لجسم يتحرك في مسار دائري لإيجاد القوة المؤثرة ومساواتها بالقوة المغناطيسية نجد أن نصف قطر المسار يعطى بالعلاقة التالية:

$$F = qvB = \frac{mv^2}{r}$$

$$r = \frac{mv}{qB}$$

وهذا يعني ان نصف قطر المسار الذي يسلكه الجسم المشحون في مجال مغناطيسي يتناسب طرديا مع كتلة

وسرعة الجسم وعكسيا مع الشحنة وقيمة المجال المغناطيسي.

وتعطى قيمة التردد الزاوي Angular frequency والزمن الدوري Period للجسم المشحون بـــ

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{qB}{m}$$

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB}$$

يعرف التردد الزاوي في العديد من التطبيقات بـــ Cyclotron frequency.

أي أن التردد الزاوي Angular frequency والزمن الدوري Period للجسم المشحون لا يعتمدان على السرعة أو نصف القطر.

تطبيقات عملية على حركة الجسيمات المشحونة في مجال مغناطيسي

Application of the motion of charged particle in magnetic field

The Velocity Selector | The Mass Spectrometer | The Cyclotron | The Hall Effect

العديد من التطبيقات العلمية تعتمد على التأثير الفيزيائي للمجال الكهربي والمجال المغناطيسي على الاجسام المشحونة حيث انه عند تعريض جسم مشحون لكلا المجالين فإن هذا الجسم سيقع تحت تأثير القوتين الكهربية $F_e=qE$ والمغناطيسية $F_B=qvxB$ ومحصلة القوتين تعرف باسم قوة لورنتز Lorentz Force.

$$F = q\,E + q\,v \times B \qquad \text{Lorentz Force}$$

وسنتعرض في هذه المحاضرة إلى دراسة تفصيلية لأربعة من هذه التطبيقات هي:

The Velocity Selector | The Mass Spectrometer | The Cyclotron | The Hall Effect

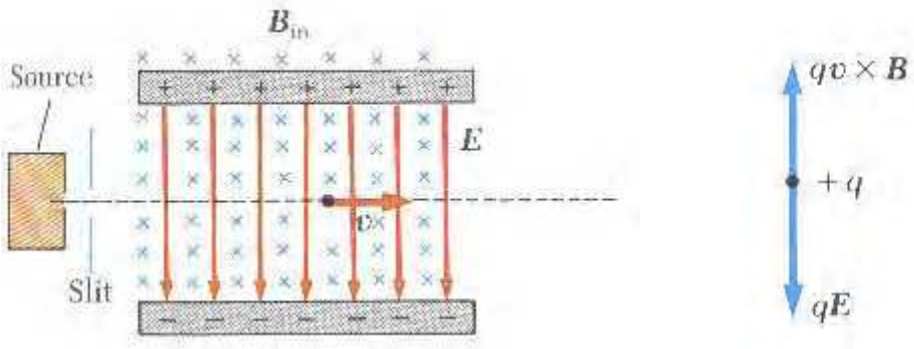
The Velocity Selector

يتبين من اسم هذا الجهاز أنه مرشح للسرعة حيث يمكن باستخدامه التحكم في اختيار حزمة من الجسيمات

المشحونة ذات سرعة محددة. وذلك لأنه كما نعلم ان الجسيمات المنبعثة عند اية درجة حرارة لها توزيع احصائي على نطاق واسع من السرعات ولاختيار سرعة محددة نستخدم جهاز مرشح السرعة Velocity selector.

فكرة العمل

يتكون جهاز مرشح السرعة من مصدر للجسيمات المشحونة Source تنطلق الجسيمات من المصدر بسرعات مختلفة لتمر من الشريحة التي تحدد حزمة من هذه الجسيمات لتمر في منطقة مجال كهربي متعامد مع مجال مغناطيسي كما في الشكل التالي:



تتأثر الجسيمات المشحونة بالمجالين الكهربي والمغناطيسي بحيث يكون اتجاه القوة الكهربية للأسفل واتجاه القوة المغناطيسية للأعلى. وهذا سيؤدي إلى ان الجسيمات المتحركة بسرعة معينة هي التي ستتحرك في خط مستقيم لأن عند تلك السرعة تتساوى القوة الكهربية مع القوة المغناطيسية بينما الجسيمات المتحركة بسرعات اخرى ستنحرف عن المسار المستقيم لتصطدم بحائل يمنع مرورها من الفتحة الموجودة على محور الجهاز. ولإيجاد هذه السرعة نستخدم قانون لورنتز.

$$q\,E = q\,v \times B$$

$$v = E/B$$

أي ان بتغيير قيمة احد المجالين يمكن اختيار الجسيمات المشحونة بالسرعة المطلوبة ولهذا يسمى الجهاز بمرشح السرعة.

The Mass Spectrometer

جهاز مطياف الكتلة Mass spectrometer هو جهاز يستخدم لفصل الذرات أو الجزيئات أو الأيونات بناءً على نسبة كتلتها إلى شحنتها.

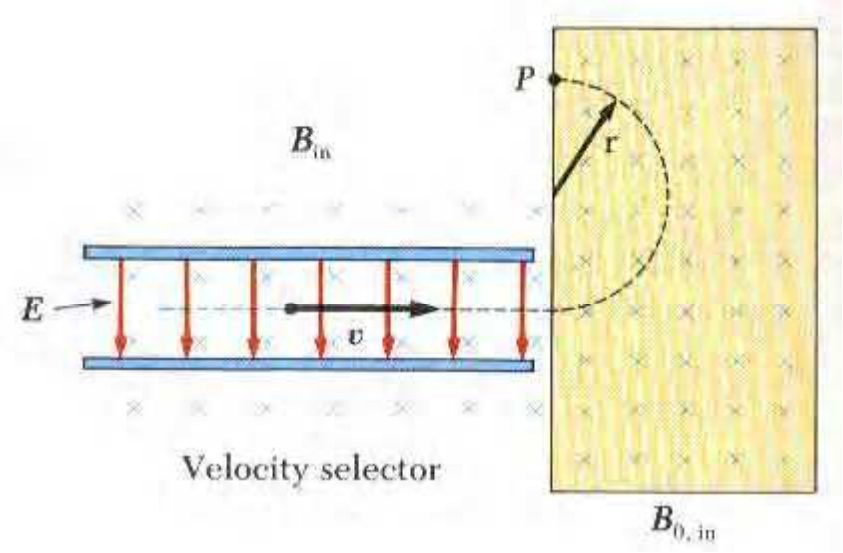
فكرة العمل

تعتمد فكرة عمل مطياف الكتلة اساسا على استخدام جهاز مرشح السرعة لاختيار وتحديد سرعة الاجسام المختلفة المراد فصلها.

يوضح الشكل ادناه فكرة عمل الجهاز حيث يمرر شعاع من الايونات في مرشح السرعة لتخرج جسيمات ذات سرعة تساوي E/B. تمر هذه الايونات إلى مطياف الكتلة المكون من مجال مغناطيسي منتظم B_o تسلك الجسيمات خلال المجال المغناطيسي مسار دائري نصف قطره r لتصطدم بشاشة فوتوغرافية تعطي ومضة تشير إلى موقع اصطدام الايون مع الشاشة نتيجة للمجال المغناطيسي المطبق في جهاز مطياف الكتلة.

من المحاضرة السابقة وجدنا ان r تعطى بالعلاقة التالية:

$$r = \frac{mv}{qB}$$



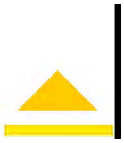
اذا النسبة بين الكتلة إلى الشحنة تكون

$$\frac{m}{q} = \frac{rB_0}{v}$$

بالتعويض عن السرعة v بمعادلة مرشح السرعة نجد أن

$$\frac{m}{q} = \frac{rB_0B}{E}$$

وبهذه الطريقة يمكن ايجاد النسبة بين الكتلة إلى الشحنة عن طريق قياس نصف قطر دوران الجسم المشحون في مطياف الكتلة. وقيم المجال الكهربي والمغناطيسي لمرشح السرعة والمجال المغناطيسي المستخدم في المطياف.

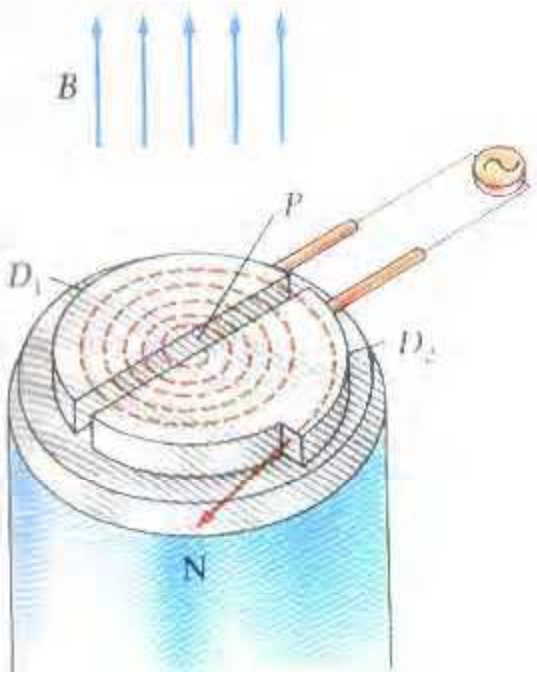


The Cyclotron

جهاز السنكلترون يعد جهاز حديث تم تصميمه في 1934 ويستخدمفي تعجيل الجسيمات المشحونة إلى سرعات هائلة تستخدم في تجارب التصادمات النووية. وهنا ايضا يستخدم كلا من المجال الكهربي والمجال المغناطيسي لهذا الغرض.

فكرة العمل

يتون السنكلترون من وعائين منفصلين على شكل الحرف الانجليزي D مفرغين من الهواء لتقليل احتكاك الجسيمات المعجلة مع جزيئات الهواء. يطبق فرق جهد متردد على طرفي الوعائين ويطبق مجال مغناطيسي عمودي على الوعائين كما هو موضح في الشكل



يتم اطلاق الجسيمات المراد تعجيلها في وسط المنطقة الفاصلة بين الوعائين لتأخذ مسار دائري وتعود إلى الوسط الفاصل في فترة زمنية قدرها T/2 حيث T هو الزمن الدوي.

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi m}{qB}$$

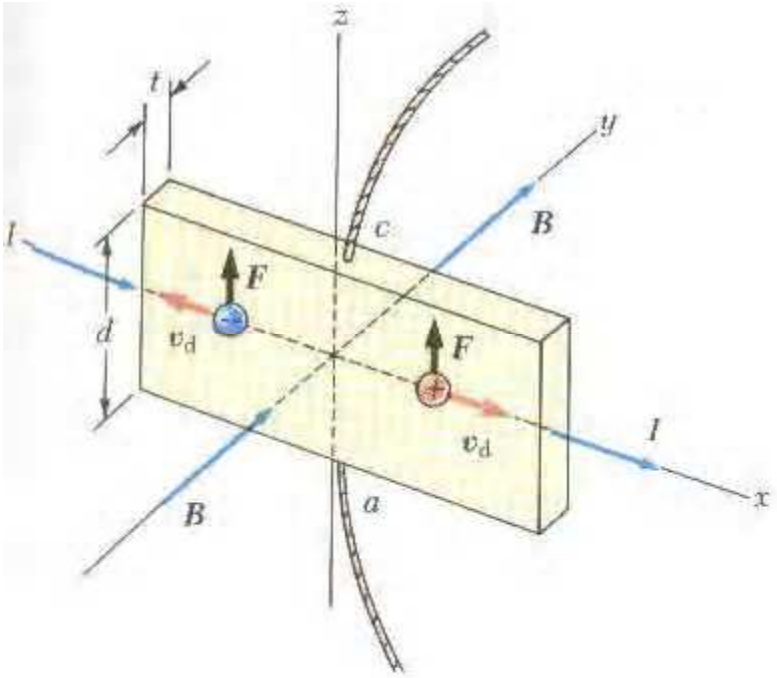
وبضبط تردد فرق الجهد المطبق بين الوعائين لقلب قطبيتهما ليتوافق مع وصول الجسم المشحون للمنطقة الفاصلة حيث يكون مجالا كهربياً يكسب الشحنة دفعة لتزيد من سرعته وبالتالي يزداد نصف قطر الدوران للجسم المشحون تدريجياً حتى يصل إلى نصف قطر الوعاء وعندها يخرج الجسيم المشحون من المعجل (السنكلترون) بسرعة كبيرة تعتمد على المعادلة

$$r = \frac{mv}{qB}$$

$v = qBr/m$

The Hall Effect

إن مرور تيار في موصل يمكن أن يعزى إلى حاملات شحنة موجبة تتحرك في اتجاه التيار أو سالبة تتحرك في عكس اتجاه التيار أو كلاهما معاً. ولتحديد حاملات الشحنة قام العالم Edwin Hall في العام 1879 بتصميم تجربة عملية لتحديد نوع حاملات الشحنة في مادة الموصل وكذلك تمكن من ايجاد عدد حاملات الشحنة لكل وحدة حجوم. كما توفر هذه التجربة وسيلة لقياس شدة المجال المغناطيسي Hall Probe



فكرة تجربة هول

عند وضع قطعة من مادة موصلة في شكل شريحة يمر بها تيار كهربي في اتجاه محور x، في مجال مغناطيسي خارجي عمودي على مستوى الشريحة على المحور y كما في الشكل المقابل، ينشئ على جانبي الشريحة على المحور z فرق جهد يدعى بفرق جهد هول Hall voltage.

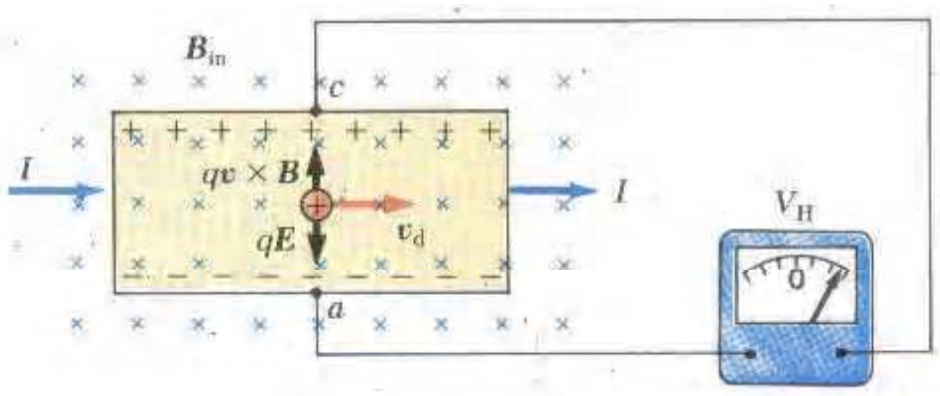
كيف تولد فرق جهد هول؟

في الشكل المبين ادناه يوضح الفكرة العملية لتأثير هول وكما نلاحظ أن تيار كهربي يمر في الشريحة الموضوعة في مجال مغناطيسي عمودي على الشريحة للداخل ونفترض أن الشريحة تنقل التيار الكهربي من خلال شحنات موجبة، فيحدث ما يلي:

الناشئة عن المجال المغناطيسي الخارجي. ويكون اتجاه القوة F_m تتأثر الشحنة الموجبة بالقوة المغناطيسية إلى الأعلى حسب قاعدة فليمنج لليد اليمنى.

تنحرف الشحنات تحت تأثير القوة المغناطيسية للأعلى فتتراكم الشحنات الموجبة على الجانب العلوي للشريحة

بينما تتراكم شحنات سالبة على الجانب السفلي للشريحة كما بالشكل.



يتولد مجال كهربي نتيجة وجود شحنات موجبة على جانب وشحنات سالبة على الجانب الآخر. تزداد شدة المجال الكهربي كلما ازدادت الشحنات المتراكمة.

ينشئ عن المجال الكهربي قوة كهربية في الأتجاه المعاكس للقوة المغناطيسية.

عندما تصبح قيمة القوة الكهربية تساوي القوة المغناطيسية تسير الشحنات الباقية في خط مستقيم بدون انحراف.

يتم قياس فرق الجهد بين طرفي الشريحة بتوصيل النقطتين a&c بجلفانوميتر حساس لقياس فرق الجهد والذي يعرف بفرق جهد هول V_H.

إذا كانت حاملات الشحنة سالبة فإن مؤشر الجلفانوميتر سينحرف في الاتجاه المعاكس وذلك لأن الشحنات السالبة تتحرك في عكس اتجاه التيار وستنحرف إلى الأعلى والشحنات الموجبة تتراكم في الأسفل.

كيف يمكن حساب قيمة فرق جهد هول؟

في حالة توازن القوة الكهربية مع القوة المغناطيسية تتحقق المعادلة التالية:

$$q\, v_d\, B = q\, E_H$$

$$E_H = v_d\, B$$

إذا كان عرض الشريحة (المسافة بين طرفي الشريحة) d ومن علاقة فرق الجهد والمجال الكهربي ينتج

$$V_H = E_H\, d = v_d\, B\, d \qquad *$$

من المعادلة السابقة نلاحظ أنه بقياس جهد هول في المختبر يمكن حساب سرعة الانجراف للشحنات إذا علمنا عرض الشريح وشدة المجال المغناطيسي المستخدم.

كيف يستخدم تأثير هول في ايجاد كثافة حاملات الشحنة؟

عدد حاملات الشحنة لكل وحدة حجوم n يعرف بكثافة الشحنة. ويمكن حسابه من العلاقة بين التيار الكهربي وسرعة الانجراف $I = nqv_dA$ ولاحظنا من قياس جهد هول يمكن ايجاد سرعة الانجراف وبالتعويض في المعادلة التالية نحصل على

$$v_d = \frac{I}{nqA}$$

حيث A مساحة مقطع الشريحة المستخدمة والتي يمر من خلالها التيار الكهربي I. بالتعويض عن سرعة الانجراف vd في المعادلة * نحصل على

$$V_H = \frac{IBd}{nqA}$$

حيث أن A=td و t هو سمك الشريحة المستخدمة تكون صورة المعادلة هي

$$V_H = \frac{IB}{nqt}$$

بقياس فرق جهد هول عمليا ومن ابعاد الشريحة والتيار المار بها يمكن باستخدام المعادلة السابقة حساب كثافة حاملات الشحنة.

مصادر المجال المغناطيسي

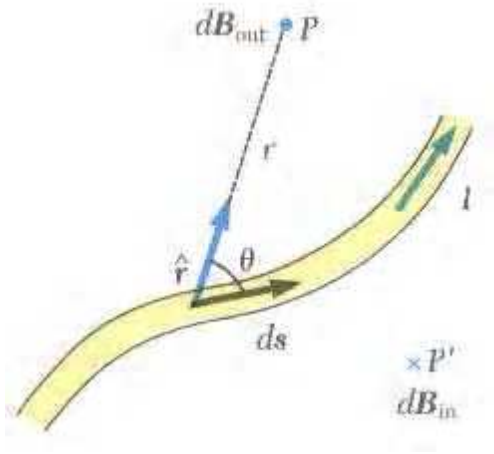
Sources of the magnetic field

قانون بيوت سافارت | قانون امبير | الفيض المغناطيسي

درسنا في المحاضرات السابقة تعريف المجال المغناطيسي وخصائصه وتأثيره على الشحنة المتحركة الذي يجعل الشحنة تأخذ مساراً دائرياً وتأثيره على سلك يمر به تيار كهربي بقوة وعلى ملف يمر به تيار مما يؤثر عليه بازدواج، ولم نتعرض إلى دراسة مصدر المجال المغناطيسي وكيفية حسابه وفي هذه المحاضرة سوف ندرس قانونين من القوانين التي تتعامل مع هذه الاموضوع القانون الأول يدعى قانون بيوت سافارت Biot Savart Law والقانون الثاني هو قانون امبير Ampere's Law. وهذين القانونين يناظران قانونين سبق وان درست في الفيزياء العامة 2 وهما قانون كولوم وقانون جاوس لحساب المجال الكهربي.

قانون بيوت سافارت Biot Savart Law

بعد اكتشاف التأثير المغناطيسي عام 1819 بواسطة العلم اوستد Oersted لسلك يمر به تيار كهربي ويؤثر على ابرة مغناطيسية موضوعة بالجوار. قام العالمين بيوت وسافارت بعدة تجارب لايجاد العلاقة بين التيار المار في سلك والمجال المغناطيسي الناتج عنه عند اية نقطة في الفراغ. وقد توصلو إلى الحقائق العملية التالية:



1. أن متجه المجال المغناطيسي dB لعنصر صغير من السلك طوله ds عند نقطة P في الفراغ تكون دائما عمودية على كلاً من العنصر ds ومتجه الإزاحة r الذي يتجه من عنصر السلك ds إلى النقطة P.
2. عكسيا مع مربع المسافة r^2. dB يتناسب مقدار المجال المغناطيسي
3. طرديا مع مقدار التيار المار في السلك dB يتناسب مقدار المجال المغناطيسي.
4. هي الزاوية المحصورة حيث أن الزاوية sinθ طرديا مع dB يتناسب مقدار المجال المغناطيسي ds. والعنصر من السلك r بين متجه الازاحة

هذه النتائج العملية يمكن تلخيصها في قانون بيوت سافارت

$$dB = k_m \frac{I\, ds \times \hat{r}}{r^2}$$

where the constant $k_m = 10^{-7}$Wb/A.m $(k_m=\mu_o/4\pi)$

μ_o is the permeability of the free space. $\mu_o = 4\pi\times10^{-7}$Wb/A.m

قانون بيوت سافارت للمجال المغناطيسي
الناتج عن عنصر صغير ds من سلك

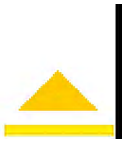
$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I\, ds \times \hat{r}}{r^2}$$

لاحظ أن القانون السابق يعطي قيمة المجال المغناطيسي الناشئ عن عنصر صغير من السلك ds ولذلك يجب اجراء عملية التكامل للحصول على قيمة المجال المغناطيسي الناتج من السلك كله...

قانون بيوت سافارت للمجال المغناطيسي
الكلي الناتج عن سلك طوله *l*

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{ds \times \hat{r}}{r^2}$$

(أمثلة محلولة (قريباً



قانون امبير Ampere's Law

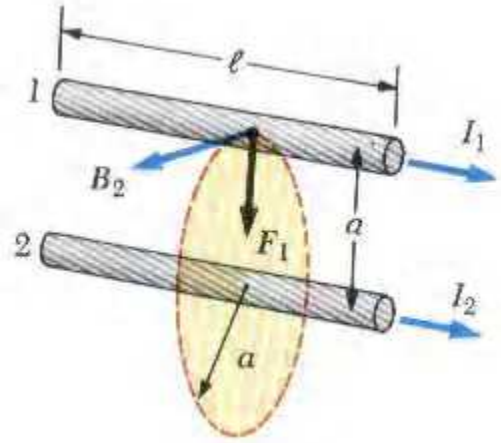
قانون أمبير هو صياغة أخرى للعلاقة بين التيار والمجال المغناطيسي الناشئ عنه في صورته التكاملية ويستخدم في حل المسائل التي تحتوي على درجة عالية من التماثل ويأخذ قانون امبير الصورة التالية:

$$\oint B.dA = \mu_o I$$

وهذا يعني أن التكامل على مسار مغلق يحيط بالسلك الذي يمر له التيار يساوي قيمة التيار في ثابت السماحية

في الفراغ .

القوة المغناطيسية المتبادلة بين موصلين يمر بهما تيار كهربي



تعلمنا من المحاضرات السابقة أن كل سلك موصل يمر به تيار ينشئ حوله مجالاً مغناطيسياً وأن لكل مجال مغناطيسي قوة مغناطيسية تؤثر على سلك يمر به تيار ولهذا اذا وجد سلكين موصلين كما في الشكل المقابل الناشئ عن التيار الثاني يؤثر بقوة مقدارها B2 فإن المجال المغناطيسي I2 و I1 ويمر بكل منهما تيار كهربي F1. يمكن التعبير عن القوة التي يؤثر بها موصل على اخر كما في الخطوات التالية:

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

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi a}$$

كما في الشكل وبالتالي لإن a يقع السلك الثاني في المجال المغناطيسي للسلك الثاني والذي يبعد عنه مسافة تعطى بالمعادلة التالية F1 قوة مقناطيسية:

$$F_1 = I_1 \ell B_2 = I_1 \ell \left(\frac{\mu_0 I_2}{2\pi a} \right) = \frac{\ell \mu_0 I_1 I_2}{2\pi a}$$

والقوة لكل وحدة اطوال تعطى بالعلاقة التالي:

$$\frac{F_1}{\ell} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a}$$

ملاحظة:

[redacted]

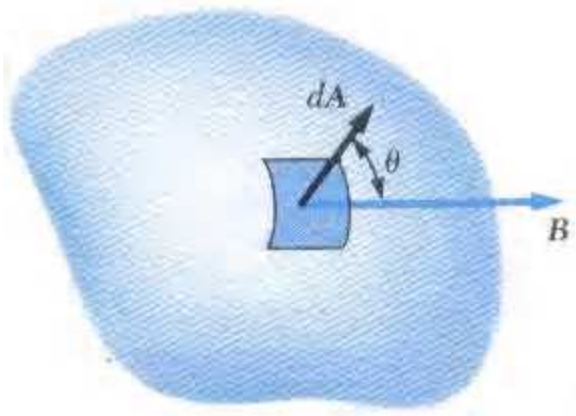
(من هنا يمكن تعريف الأمبير (وحدة التيار

[redacted]

(كما يمكن تعريف الكولوم (وحدة الشحنة

[redacted]

الفيض المغناطيسي



الفيض المغناطيسي وكما عرف الفيض الكهربي يمكن تعريف 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 المقابل، فالفيض المغناطيسي هو عبارة عن عدد الخطوط والذي يعبر عنه بشدة المجال المغناطيسي B مضروب في المساحة العمودية dA.

ويرمز للفيض المغناطيسي بالرمز $_m$

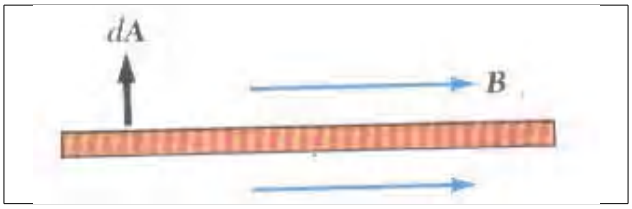
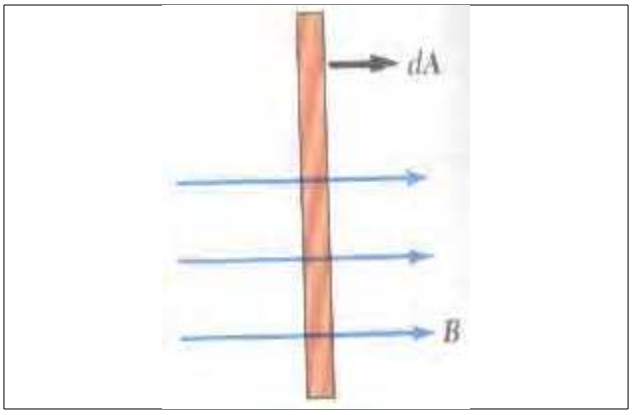
$$\Phi_m = \int B \cdot dA$$

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

هو متجه المساحة وقيمته تعطي مقدار المساحة واتجاهه يكون دائما عموديا على المساحة dA حيث أن.

ملاحظة

[redacted]

في هذه الحالة الفيض المغناطيسي يساوي عمودي على متجه dA صفر لأن المتجه المجال B	
BA في هذه الحالة الفيض المغناطيسي يساوي في نفس اتجاه على متجه dA لأن المتجه والزاوية المحصورة تساوي صفر B المجال	

وحدة الفيض المغناطيسي هي الويبر

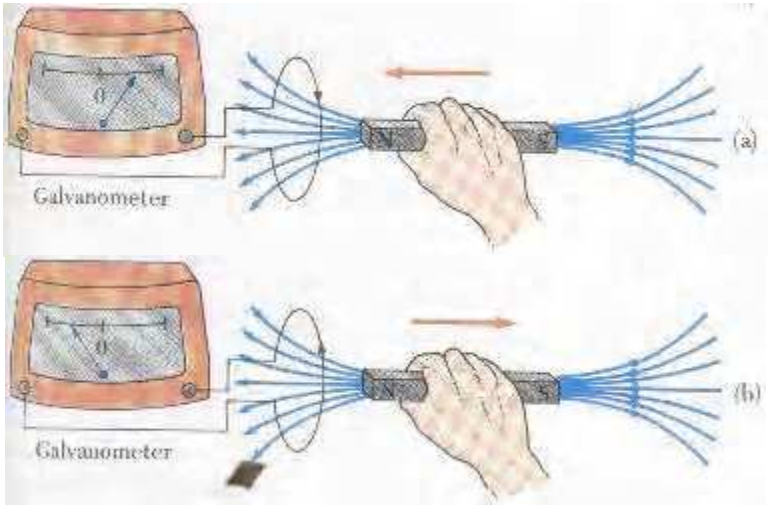
$$1\,Wb = 1T.m$$

قانون فارادى

Faraday's Law

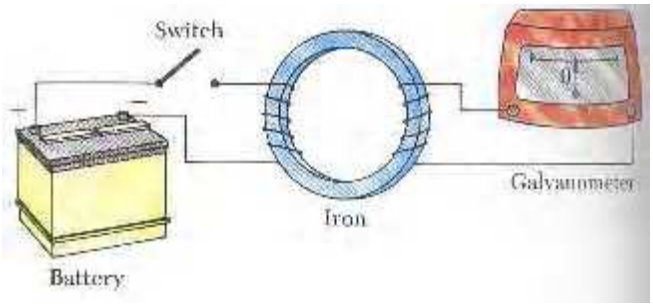
درسنا في المحاضرات السابقة كيفية الحصول على مجال مغناطيسي من تيار يمر في اشكال مختلفة من السلك، وتجدر الاشارة هنا إلى التساؤل هل يمكن الحصول على تيار كهربي من المجال المغناطيسي. وهذا ما تم الإجابة عنه كل من العالمين مايكل فارادي البريطاني وجوزيف هنري الامريكي حيث اكتشف قانون فارادي عام 1831 بعد أن قام كل من العالمين بعدة تجارب ادت إلى نتائج متشابهة وهي ما تعرف بقانون فارادي 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 في الشكل يتحرك مؤشر الجلفانومتر وعند ثبوت المغناطيس يعود مؤشر الجلفانومتر إلى الصفر أما عند سحب المغناطيس في الاتجاه المعاكس ينحرف مؤشر الجلفانومتر في الاتجاه الأخر مما يشر إلى مرور تيار كهربي في الدائرة عند حركة المغناطيس يعرف هذا التيار بالتيار الحثي Induced Current وهو ناشئ من قوة دافعة كهربية Induced Electromotive Force.



في تجربة أخرى مبينة في الشكل نلاحظ عند لحظة اغلاق مفتاح الدائرة الكهربية ولحظة فتح الدائرة الكهربية مرور تيار في الدائرة الثانوية، وهذا يعود إلى انه في حالة فتح الدائرة الكهربية أو اغلاقها لفإن التيار يتغير

بين القيمة صفر واقصى قيمة مما يؤدي إلى تغيير في المجال المغناطيسي المتولد في الملف على الجانب الأيسر للدائرة وهذا يؤدي إلى تيار كهربي يمر في الدائرة الثانوية.



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 يتناسب طردياً مع المعدل الذمني للتغير في الفيض المغناطيسي خلال الدائرة.

أي أن

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_m}{dt}$$ **Faraday's Law of Induction**

حيث أن $_m$ هي الفيض المغناطيسي المار خلال الدائرة الكهربية. والتي تحسب من القانون التالي:

$$\Phi_m = \int B.dA$$

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

$$\varepsilon = -N\frac{d\Phi_m}{dt}$$

ولتغيير الفيض المغناطيسي يمكن استخدام عدة طرق وهي:

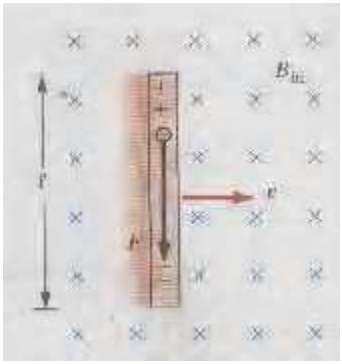
- تغيير المجال المغناطيسي.
- تغيير مساحة الدائرة الكهربية.
- تغير الزاوية بين متجه المساحة العمودي على المساحة ومتجه المجال المغناطيسي.

سيتم توضيح المعنى الفيزيائي للأشارة السالبة في المحاضرة القادمة.

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt}(BA\cos\theta)$$

The Induced emf

داخل على الصفحة B في مجال مغناطيسي v بسرعة منتظمة l عند تحريك قطعة مستقيمة من موصل طولها كما في الشكل المقابل يحدث التسلسل التالي:



- تتولد قوة مغناطيسية $F=qv \times B$ داخل مادة الموصل.
- تعمل القوة المغناطيسية المتولدة على تحريك الشحنات بحيث تتراكم الشحنات الموجبة في طرف والشحنات السالبة في الطرف الآخر.
- ينشأ مجال كهربي شدته E نتيجة تراكم الشحنات.
- ينشأ المجال الكهربي قوة كهربية تعمل في عكس اتجاه القوة المغناطيسية.
- تتوقف الشحنات عن الحركة إلى اطراف الموصل نتيجة لتساوي القوة الكهربة مع القوة المغناطيسية.

$$F_e = qE \quad \& \quad F_m = qvB$$

$$F_e = F_m$$

$$qE = qvB$$

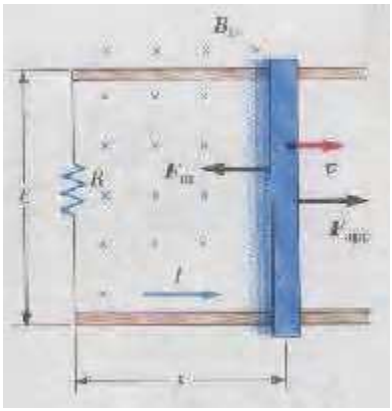
$$E = vB$$

يمكن التعبير عن الجال الكهربي بفرق الجهد الكهربي V حيث $V=El$

$$V = Blv$$

يبقى فرق الجهد بين طرفي الموصل طالما هناك حركة للموصل في المجال المغناطيسي.

كيف ينشئ التيار الحثي Induced Current



إذا افترضنا ان الموصل ضمن دائرة كهربية كالموضحة في الشكل المقابل وحركة الموصل تؤدي إلى تغير في الفيض المغناطيسي مع الزمن لأن المساحة المحصورة بالدائرة الكهربية تتغير مع حركة الموصل.

ومرة أخرى تتأثر الشحنات الحرة داخل مادة v، يتحرك الموصل بسرعة Fapp تحت تأثير قوة خارجية ولكن في هذه الحالة سوف لا تتراكم على طرفي الموصل بل ستتحرك $F=qv \times B$ الموصل بالقوة المغناطيسية خلال الدائرة الكهربية. وحركة الشحنة تعني تيار كهربي يسري في الدائرة ناتج عن تغيير الفيض المغناطيسي بتغيير المساحة x*l*.

$$\Phi_m = B A$$

$$\Phi_m = B l x$$

$$\varepsilon = - d\Phi_m/dt = - d/dt (B l x) = - B l dx/dt$$

$$\varepsilon = -Blv$$

يمكن ايجاد قيمة التيار الكهربي Induced current كما يلي:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{Blv}{R}$$

كما يمكن ايجاد القدرة Power المبذولة بواسطة القوة الخارجية كما يلي:

$$P = F_{app} v = (IlB)v = \frac{B^2 l^2 v^2}{R}$$

تابع قانون فارادى

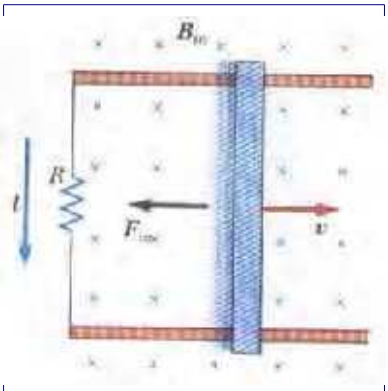
Lenz's Law

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

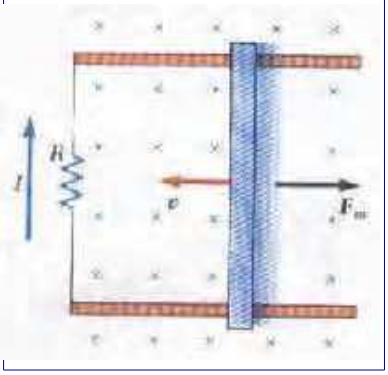
قانون لينز: يكون اتجاه التيار الحثي في الدائرة الكهربية بحيث يعاكس الفيض المغناطيسي الناشئ عنه الفيض المغناطيسي الذي انشأه.

حالة توضيحية (1)

نفترض مجالا مغناطيسيا خارجيا في اتجاه الصفحة للداخل كما هو موضح في الشكل بعلامة x. عند تحريك الساق المعدنية إلى اليمين يزداد الفيض المغناطيسي داخل الدائرة مع الزمن لأن المساحة تزداد. من قانون لينز ينشئ 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.

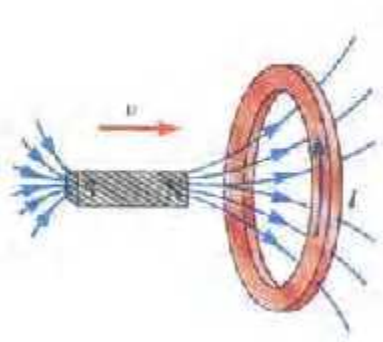


إذا تحركت الساق المعدنية في المثال السابق إلى اليسار بحيث يقل الفيض المغناطيسي مع الزمن فإن التيار الحثي الناتج يكون مع عقارب الساعة بحيث يكون المجال المغناطيسي الناشئ عنه في اتجاه داخل على الصفحة (مع المجال المغناطيسي الخارجي) وذلك ليقاوم النقصان في الفيض المغناطيسي.

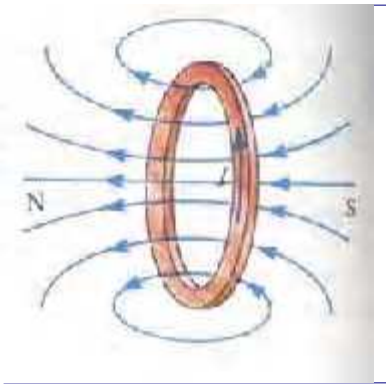


حالة توضيحية (2)

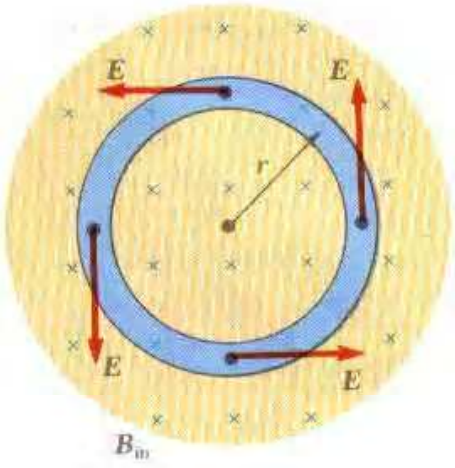
عند اقتراب المغناطيس من الملف فإن التيار الحثي المتولد سوف يعطي مجالا مغناطيسياً، معاكساً للزيادة في المجال المغناطيسي ولهذا فإن التيار الحثي المتولد الحلقة سيكون في اتجاه عكس عقارب الساعة ليكون اتجاه المجال المغناطيسي الناشئ عنه في عكس الزياة في التدفق الناتج من المغناطيس الخارجي.



لا حظ ان التيار الحثي المتولد في الحلقة نتيجة لاقتراب المغناطيس من الحلقة ينشئ مجالا مغناطيسيا له قطب جنوبي وقطب شمالي ليتنافر مع المغناطيس المتحرك



Induced EMFs and Electric Fields



لاحظنا ان بتغير الفيض المغناطيسي يولد قوة دافعة كهربية حثية وتيار حثي في الدائرة وهذا يؤكد على وجود مجال كهربي حثي نتيجة لتغير في الفيض المغناطيسي. وكما نعلم من النظرية الكهرومغناطيسية ان مجال كهربي يتنج من تغير الفيض المغناطيسي في الفراغ. وهنا سنقوم بحساب العلاقة بين المجال الكهربي المستحث والتغير في الفيض المغناطيسي.

الشكل المقابل يبين حلقة موصلة نصف قطرها r موضوعة في مجال مغناطيسي خارجي متغير مع الزمن عمودي على مستوى الحلقة. من قانون فارادي فإن القوة الدافعة الكهربية تعطى بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_m}{dt}$$

تعمل القوة الدافعة الكهربية على توليد تيار كهربي في الحلقة الموصلة وهذا بدوره يشير إلى وجود مجال كهربي يتناسب مقداره والتيار المار في الحلقة وله اتجاه المماس على الحلقة كما في الشكل.

بحساب الشغل المبذول لتحريك شحنة q في الحلقة الموصلة بواسطة كلاً من المجال الكهربي الناشئ والقوة الدافعة الكهربية ومساواة المعادلتين ينتج ان:

$$q\varepsilon = qE(2\pi r)$$

$$E = \frac{\varepsilon}{2\pi r}$$

Since $\Phi_m = BA = \pi r^2 B$

$$E = -\frac{1}{2\pi r}\frac{d\Phi_m}{dt} = -\frac{r}{2}\frac{dB}{dt}$$

من المعادلة السابقة نلاحظ أنه إذا علمنا معدل التغير في المجال المغناطيسي بالنسبة للزمن يمكن حساب المجال الكهربي الناشئ بالحث. وتدل الاشارة السالبة على أن المجال الكهربي في اتجاه يعاكس التغير في المجال المغناطيسي.

والصورة العامة لقوة الدافعة الكهربية على مسار مغلق تعطى بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon = \oint E.ds = -\frac{d\Phi_m}{dt}$$ General Faraday Law of Induction

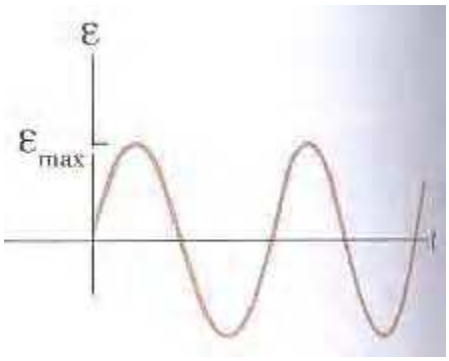
Generators and Motors

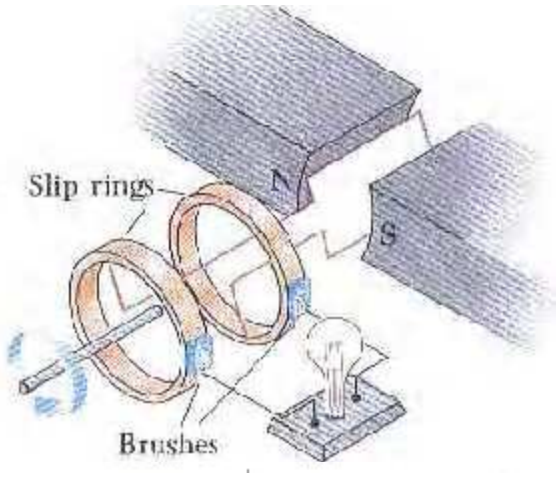
المولد الكهربي والموتور الكهربي

تعتبر المولدات الكهربية والموتورات الكهربية من الاجهزة المهمة في حياتنا العملية التي تعمل على اساس الحث الكهرومغناطيسي.

المولد الكهربي:

يقوم المولد الكهربي بتوليد التيار الكهربي المتردد الذي من خلاله يمكن تشغيل جميع الاجهزة الكهربية المستخدمة في حياتنا العملية، وتعتمد فكرة عمله على تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربية من خلال تدوير ملف كهربي في وجود مجال مغناطيسي. ولتدوير الملف الكهربي نحتاج إلى مصدر طاقة ميكانيكية قد تكون الرياح أو المياه الساقطة من الشلالات أو من حرق الفحم أو البترول أو من الطاقة النووية كل هذه المصادر المختلفة تقوم بتوليد الطاقة اللازمة لإدارة الملف بين قطبي مجال مغناطيسي. يوصل نهاية الملف الكهربي بحلقتين تدوران امام فرشاتين من مادة موصلة لنقل التيار الكهربي المتولد إلى خطوط نقل الطاقة الكهربية.





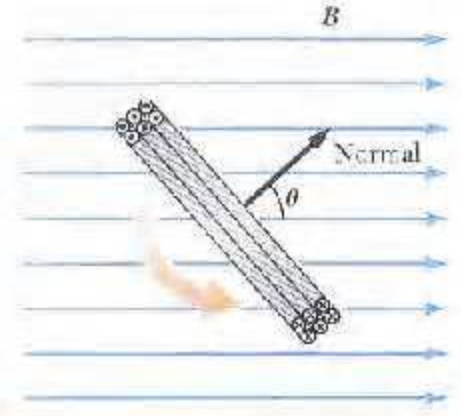
. وسرعة دوران الملف هي سرعة زاوية مقدارها A لفة ومساحة الملف N لنفرض أن عدد لفات الملف الكهربي هي الزاوية الحصورة بين المجال المغناطيسي والعمودي على مستوى الملف الكهربيفإن الفيض اذا كانت الزاوية يعطى بالعلاقة التالية t المغناطيسي للملف عند أي زمن:

$$\Phi_m = BA\cos\theta = BA\cos\omega t$$

$$\text{where } \theta = \omega t$$

Hence the induced *emf* in the coil is given by

$$\varepsilon = -N\frac{d\Phi_m}{dt} = -NAB\ \frac{d}{dt}(\cos\ \omega t) = NAB\ \omega \sin\ \omega t$$



توضح المعادلة السابقة أن القوة الدافعة الكهربية *emf* متغيرة بدالة جيبية في الزمن ولهذا السبب يسمى التيار الناتج عن المولد الكهربي والتيار المتردد. وتكون اكبر قيمة للقوة الدافع الكهربية عندما تكون الزاوية تساوي 90 أو 270 درجة وتعطى بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon_{max} = NAB\ \omega$$

تكون قيمة القوة الدافعة الكهربية مساوية للصفر عندما تكون الزاوية q تساوي صفر و 180 درجة

الموتور الكهربي:

يعمل الموتور الكهربي من خلال تحويل الطاقة الكهربية إلى طاقة ميكانيكية بنفس فكرة المولد الكهربي ولكن هنا يمرر التيار الكهربي في الملف الموضوع بين قطبيي المغناطيس وتكون النتيجة هي دوران الملف. وهذا الدوران يستخدم في فكرة عمل العديد من الأجهزة مثل المروحة الهوائية ومروحة الخلاط وموتور رفع المواد الثقيلة وتحريك الأبواب وغيره من الأمثلة العديد

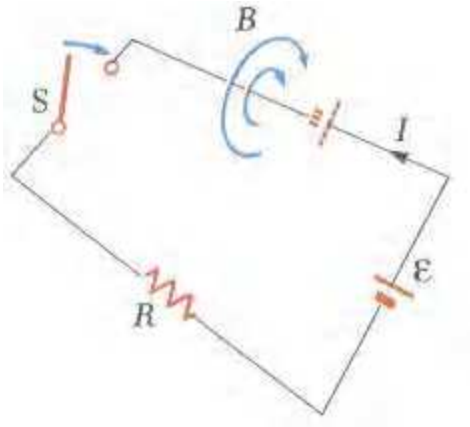
الحث الذاتي والحث المتبادل

Inductance

الحث الذاتي | الطاقة المختزنة في المجال المغناطيسي | الحث المتبادل

درسنا في المحاضرة السابقة ان التيار ينشئ في الدائرة الكهربية عندما يتغير الفيض المغناطيسي خلال الدائرة الذي ينشئ في الدائرة نفسها عند Self Inductance مع الزمن. وفي هذه المحاضرة سندرس الحث الذاتي مرور تيار كهربي فيها أو بمعنى ادق عند غلق او فتح الدائرة الكهربية. وهذا التأثير (الحث الذاتي) يلعب دوراً اساسياً في دوائر التيار المتردد حيث أن التيار يتغير باستمرار مع الزمن.

الحث الذاتي Self Inductance



اعتبر دائرة كهربية مكونة من بطارية ومقاومة ومفتاح كهربي كما في الشكل المقابل، عند غلق فإن التيار المار في الدائرة سوف لن يصل إلى قيمته العظمى فور غلق المفتاح انما سوف يستغرق بعضا من الوقت نتيجة لقانون فارادي. كيف ذلك؟

عند غلق المفتاح في الدائرة الكهربية يحدث ما يلي:

1. يزداد التيار المار في الدائرة مع الزمن.
2. يزداد الفيض المغناطيسي خلال الدائرة نتيجة لازدياد التيار.
3. الفيض المتزايد يؤدي إلى توليد قوة دافعة كهربية في الدائرة ليعاكس الزيادة في الفيض المغناطيسي. **Lenz's Law**

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

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

$$\mathcal{E} = -N\frac{d\Phi_m}{dt} = -L\frac{dI}{dt}$$

where L is a proportionality constant, called the inductance of the device.

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

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

كما يمكن التعبير عن الحصث الذاتي بالمعادلة التالية:

$$L = -\frac{\mathcal{E}}{dI/dt}$$

وهذه المعادلة تعطي قيمة الحث الذاتي للدائرة بغض النظر عن ابعادها الهندسية وانما تعتمد على قياس الميات الفيزيائية مثل القوة الدافعة الكهربية والتغيير في التيار. وتكون وحدة الحث الذاتي هي الهنري **Henry.**

$$1\ \mathrm{H} = 1\ \frac{\mathrm{V \cdot s}}{\mathrm{A}}$$

كيف يمكن ايجاد الحث الذاتي من خلال قياس الابعاد الهندسية

اكبر بكثير من نصف قطر الملف. ينشأ عنه مجالاً مغناطيسياً يعطى I لفة وطوله N اعتبر ملف عدد لفاته بالعلاقة التالية:

$$B = \mu_0 nI = \mu_0 \frac{N}{\ell} I$$

اما الفيض الكهربي فيعطى بالعلاقة التالية:

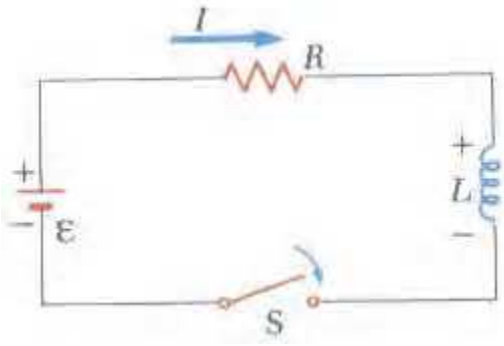
$$\Phi_m = BA = \mu_0 \frac{NA}{\ell} I$$

$$L = \frac{N\Phi_m}{I} = \frac{\mu_0 N^2 A}{\ell}$$

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

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

الطاقة المختزنة في المجال المغناطيسي



درسنا في مقرر الفيزياء العامة 2 الكهربية الساكنة ووجدنا ان المجال الكهربي في الفراغ هو عبارة عن طاقة كهربية في صورة مجال. كذلك الحال بالنسبة للمجال المغناطيسي. ولاثبات علاقة الطاقة المختزنة بالمجال المغناطيسي افترض الدائرة الكهربية الموضحة في الشكل المقابل، بتطبيق قاعدة كيرشوف الثانية على التغير في فرق الجهد على كل عنصر من عناصر الدائرة الكهربية ينتج أن:

$$\mathcal{E} - IR - L\frac{dI}{dt} = 0$$

ينتج أن I باعادة ترتيب المعادلة والضرب في التيار

$$I\mathcal{E} = I^2R + LI\frac{dI}{dt}$$

تدل المعادلة السابقة على أن الطاقة التي تبذلها البطارية $I\mathcal{E}$ تساوي مجموع الطاقة المبددة على شكل طاقة حرارية في المقاومة I^2R والطاقة المختزنة في الملف $LI\frac{dI}{dt}$. وعليه يمكن التعبير عن التغير في الطاقة المختزنة في الملف بالصورة التالية:

$$\frac{dU_m}{dt} = LI\frac{dI}{dt}$$

ولايجاد الطاقة الكلية المختزنة في الملف نجري عملية التكامل

$$U_m = \int_0^{U_m} dU_m = \int_0^I LI\, dI$$

$$U_m = \tfrac{1}{2}LI^2 \qquad *$$

وهذه المعادلة تعطي الطاقة الكلية المختزنة في الملف.

ماذا عن كثافة الطاقة؟

يمكن حساب الطاقة المختزنة في المجال المغناطيسي لكل وحدة حجوم وهو المقصود بكثافة الطاقة، اعتبر ملف حثه الذاتي والمجال المغناطيسي له يعطى بالمعادلتين

$$L = \mu_0 n^2 A\ell$$

$$B = \mu_0 nI$$

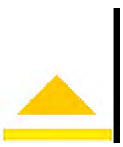
بالتعويض عن التيار I والحث الذاتي للملف L في المعادلة *

$$U_m = \tfrac{1}{2}LI^2 = \tfrac{1}{2}\mu_0 n^2 A\ell\left(\frac{B}{\mu_0 n}\right)^2 = \frac{B^2}{2\mu_0}(A\ell)$$

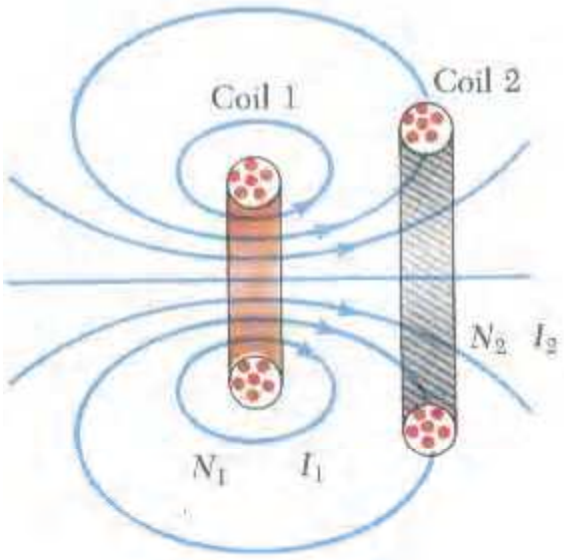
بالقسمة على الحجم للحصول على كثافة الطاقة نصل إلى المعادلة التالية:

$$u_m = \frac{U_m}{A\ell} = \frac{B^2}{2\mu_0}$$

وهذه المعادلة تعطي كثافة الطاقة لكل وحدة حجوم لأي مجال مغناطيسي.



الحث المتبادل Mutual Inductance



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

في الشكل المقابل توضيح للتأثير الحثي المتبادل حيث ملفين متجاورين يمر في الملف الأول وعدد لفاته N_1 تيار كهربي قيمته I_1 ينشئ N_2 بفيض مغناطيسي مجالا مغناطيسياً يؤثر على الملف الثاني وعدد لفاته I_2 يؤدي إلى تيار حثي في الملف الثاني وقيمته.

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

$$M_{21} \equiv \frac{N_2 \Phi_{21}}{I_1}$$

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

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

$$\mathcal{E}_2 = -N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt} = -M_{21} \frac{dI_1}{dt}$$

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

$$\varepsilon_1 = -M_{12}\frac{dI_2}{dt}$$

أي ان القوة الدافعة الكهربية المتولدة في ملف تتناسب طردياً من 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

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2$$

وهذا يعني أن

$$M_{21}=M_{12}=M$$

وتكون قيمة القوة الدافعة الكهربية في الملفين تعطى بـــ

$$\varepsilon_1 = -M\frac{dI_2}{dt} \qquad \varepsilon_2 = -M\frac{dI_1}{dt}$$

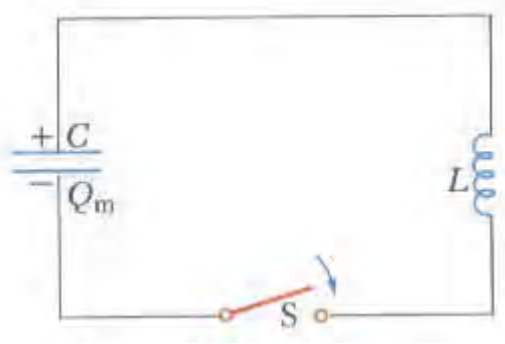
وتكون وحدة الحث المتبادل هي الهنري Henry

تابع الحث الذاتي والحث المتبادل

Inductance

Oscillations in an LC circuit

عند توصيل مكثف مشحون بملف حلزوني كما في الشكل فإن التيار يتذبذب بين المكثف والملف إلى مالانهاية اذا افترضنا ان مقاومة الدائرة تساوي صفر. لندرس بالتفصيل ماذا يحدث عند اغلاق المفتاح S في الدائرة على شكل خطوات متسلسلة:



1. في البداية تكون الشحنة الكلية على المكثف اكبر ما يمكن وتساوي Q_m. وهذا يعني ان طاقة مخزنة في المكثف وتعطى بالمعادلة $U=Q_m^2/2C$. في حين أن الملف لا يختزن طاقة.
2. عند اغلاق المفتاح S يبدأ المكثف في تفريغ شحنته وتنتقل الشحنة في صورة تيار كهربي إلى الملف الحلزوني وبهذا تقل الطاقة المختزنة في المكثف (في صورة مجال كهربي) وتزداد الطاقة المخزنة في الملف الحلزوني (في صورة مجال مغناطيسي).
3. يستمر انتقال الطاقة من المكثف إلى الملف إلى أن يفقد المكثف شحنته وتصبح الطاقة بالكامل مخزنة في الملف الحلزوني.
4. تتكرر العملية السابقة ولكن في الاتجاه المعاكس وتستمر حتي تنتقل الطاقة من الملف إلى المكثف وهكذا....

تناظر هذه العملية حركة الكتلة المثبتة بزنبرك على سطح افقي عديم الاحتكاك

	في حالة الكتلة والزنبرك	في حالة المكثف والملف
طاقة الوضع	$U=1/2kx^2$	$U=Q_m^2/2C$
طاقة الحركة	$K=1/2mv^2$	$U=1/2LI^2$

وايجاد علاقة بين شحنة المكثف t باستخدام مبدأ الحفاظ على الطاقة يمكن دراسة هذه الظاهرة عند أي زمن وهذه الطاقة تبقى ثابتة (المقاومة مهملة) ولكن تتوزع U والتيار في الملف. علما بأن الطاقة الابتدائية هي على صورة طاقة حركة و طاقة وضع.

$$U = U_C + U_L = \frac{Q^2}{2C} + \tfrac{1}{2}LI^2$$ *

وباجراء عملة التفاضل بالنسبة للزمن مع الاخذ بعين الاعتبار ان الطاقة الكلية ثابتة لأننا اهملنا المقاومة نحصل على مايلي

$$\frac{dU}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{Q^2}{2C} + \tfrac{1}{2}LI^2\right) = \frac{Q}{C}\frac{dQ}{dt} + LI\frac{dI}{dt} = 0$$

بالتعويض عن التيار في المعادلة I=dQ/dt وذلك لتبسيط المعادلة وجعلها في متغير واحد فقط

$$L\frac{d^2Q}{dt^2} + \frac{Q}{C} = 0$$

$$\frac{d^2Q}{dt^2} = -\frac{1}{LC}Q \qquad **$$

وهذه معادلة تفاضلية متجانسة من الدرجة الثانية وهي نفس صورة معادلة الحركة التوافقية البسيطة للكتلة المثبتة في زنبرك حيث أن التغير في الازاحة بالنسبة للزمن يعطى بالعلاقة التالية:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}x = -\omega^2 x$$

حيث k ثابت الزنبرك و m الكتلة المثبتة في الزنبرك و التردد الزاوي

$$w^2 = k/m$$

ومعادلة الحركة التوافقية البسيطة لها حل من الصورة

$$x = A\cos(\omega t + \delta)$$

ω is the angular frequency
A is the amplitude of the motion (maximum displacement)
δ is the initial phase (the position at time t=0)

وباستخدام ما سبق للحركة التوافقية البسيطة للكتلة والزنبرك نطبق على حالة شحنة المكثف والتي تتذبذب مع الزمن خلال انتقال الطاقة بين المكثف والملف في صورة حركة توافقية بسيطة.

المعادلة ** لها حل يعطى بالمعادلة التالية:

$$Q = Q_m \cos(\omega t + \delta)$$

Q_m is the maximum charge on the capacitor and the angular frequency ω is given by

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

وهذا يشير إلى أن التردد الزاوي يعتمد على كلا من سعة المكثف والحث الذاتي للملف الحلزوني.

ماذا عن التيار المار في الدائرة؟

حيث أن العلاقة بين التيار الكهربي المار في الدائرة والشحنة هي I=dQ/dt سنقوم باجراء التفاضل بالنسبة للزمن لإيجاد علاقة التيار الكهربي المار في الدائرة مع الزمن والناتج من انتقال الطاقة بين المكثف والملف.

$$I = \frac{dQ}{dt} = -\omega Q_m \sin(\omega t + \delta)$$

عند زمن t=0 فإن التيا يساوي صفر ويمكن اثبات ان الطور الابتدائي Initial phase δ يساوي صفر ايضاً.

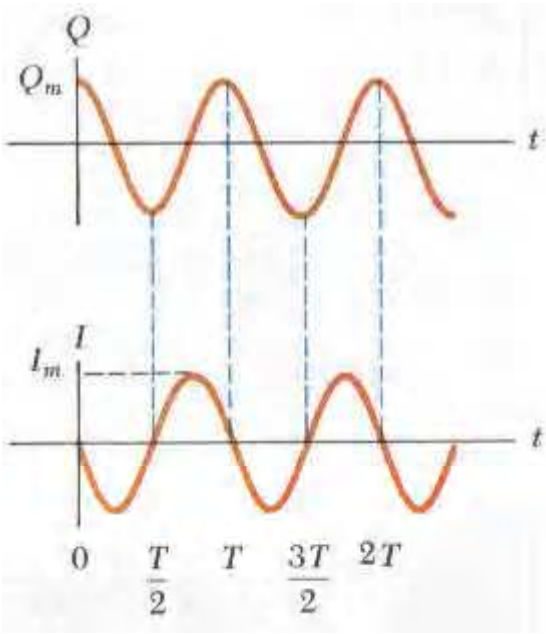
$$0 = -\omega Q_m \sin \delta$$

وعليه يمكن التعبير عن التغير في كلاً من الشحنة والتيار مع الزمن من خلال المعادلتين التاليتين:

$$Q = Q_m \cos \omega t$$

$$I = -\omega Q_m \sin \omega t = -I_m \sin \omega t$$

where $I_m = \omega Q_m$

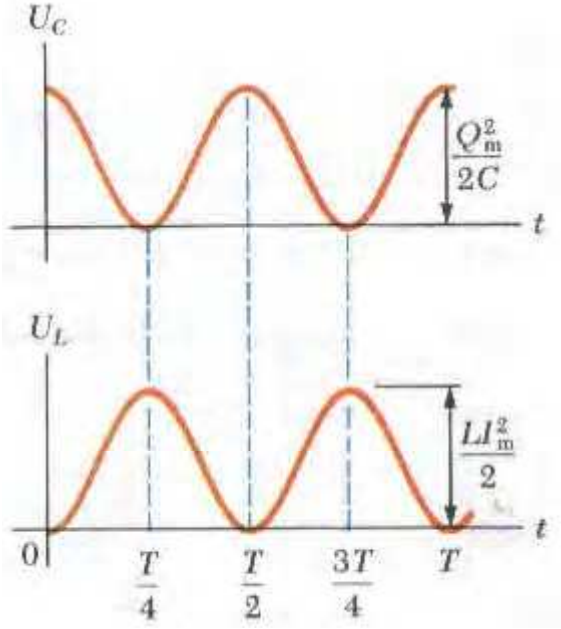


وعلاقة t مع الزمن Q يبين الشكل المقابل علاقة الشحنة لاحظ أن الشحنة تتذبذب بين القيمة t. مع الزمن I التيار والتيار يتذبذب بين Q_m والقيمة في الاتجاه السالب Q_m في الاتجاه السالب، ولكن التيار I_m والقيمة I_m القيمة يختلف في الطور مع الشحنة بزاوية قدرها 90 درجة. أي أن عندما تكون الشحنة قيمة عظمى يكون التيار صفراً وعندما تكون الشحنة صفراً يكون التيار قيمة عظمى.

ماذا عن الطاقة الكلية

بالتعويض عن كلا من الشحة والتيار في المعادلة * نحصل على المعادلة التالية:

$$U = U_C + U_L = \frac{Q_m^2}{2C}\cos^2 \omega t + \frac{LI_m^2}{2}\sin^2 \omega t$$ ***



تصف معادلة الطاقة الكلية ماذا يحدث للشحنة والتيار كدالة في الزمن وهو ما تم وصفه في الخطوات الأربعة في بداية المحاضرة. وبالرسم البياني لعلاقة كلاً من الطاقة المختزنة في المكثف والطاقة المختزنة في الملف مع الزمن نستنتج أن عندما تكون الطاقة المختزنة في المكثف أكبر ما يمكن تكون قيمة الطاقة المختزنة في الملف تساوي صفر والعكس صحيح. ولكن عند أي زمن

فإن الطاقة الكية تبقى ثابتة وتساوي مجموع الطاقتين. وحيث أنه عند القيمة العظمي للشحنة والقيمة t العظمي للتيار تكون الطاقتين متساويتين وهذا يمكن التعبير عنه من خلال المعادلة التالية:

$$\frac{Q_m^2}{2C} = \tfrac{1}{2}LI_m^2$$

بالتعويض في المعادلة *** نحصل على المعادلة التالية:

$$U = Q_m^2/2C$$

وهذا متحقق فقط في حالة اهمال المقاومة أي لا يوجد فقد في الطاقة على صورة طاقة حرارية.....ز

التيار المتردد

Alternating Current Circuits

سندرس في هذه المحاضرة والمحاضرات القادمة المبادئ الأساسية لدوائر التيار المتردد. حيث سنركز على تأثير التيار المتردد على المقاومة والمكثف والملف. وقد سميت بدوائر التيار المتردد لأن التاير الكهربي يتغير مع الزمن بدالة جيبية كما لا حظنا في فكرة عمل المولد الكهربي والموتور. سنعتمد في تحليل الدائرة الكهربية على قانون كيرشوف لإيجاد علاقة التيار بالجهد الكهربي على كل عنصر من عناصر الدائرة الكهربية.

يمثل مصدر القوة الدافعة الكهربية في الدائرة بالرمز ويكون فرق الجهد

$$v = V_m \sin\omega t$$

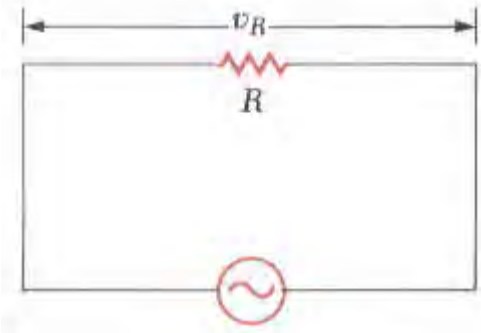
Where V_m is the Peak voltage and ω is the angular velocity

$$\omega = 2\pi f = 2\pi/T$$

Where f is the frequency of the source and T is the period.

Resistor in an AC circuit

بتطبيق قانون كيرشوف على الدائرة الموضحة في الشكل والتي تتكون من مقاومة ومصدر تيار متردد.



$$v = v_R = V_m \sin\omega t$$

حيث أن v_R قيمة فرق الجهد اللحظي المطبق على طرفي المقاومة و V_m القيمة العظمى لفرق الجهد، وتكون قيمة التيار اللحظي

$$i_R = v/R = V_m/R \sin\omega t = I_m \sin\omega t$$

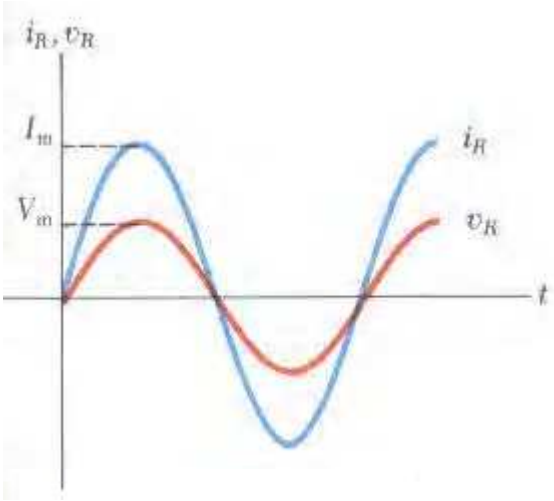
حيث أن I_m القيمة العظمى للتيار المار في المقاومة،

$$I_m = V_m/R$$

تعطى قيمة فرق الجهد اللحظي بدلالة التيار من خلال المعادلة التالية:

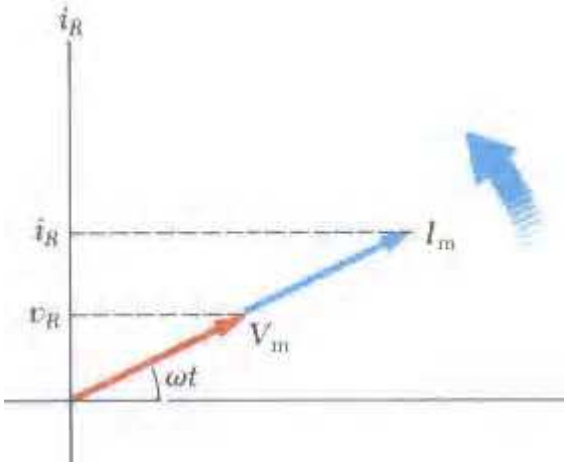
$$v_R = I_m R \sin\omega t$$

من المعادلة الأخيرة نستنتج أن كلاً من الجهد والتيار يتغيران بدالة جيبية وبنفس الطور In Phase وهذا كما يوضحه الشكل التالي:



منحنيات الطور Phaseors Diagram

من المناسب الاستعانة بمنحنيات الطور التي توضح علاقة الطور بين التيار وفرق الجهد عند أية لحظة زمنية وذلك بتمثيل التيار بمتجه طوله I_m وفرق الجهد بمتجه طوله V_m ويصنع كل متجه زاوية wt مع المحور الافقي ويكون مسقط المتجهان على المحور الرأسي يمثلا قيمة التيار الحظي وفرق الجهد اللحظي.



Both the current and the voltage are in phase

القدرة الكهربية Power

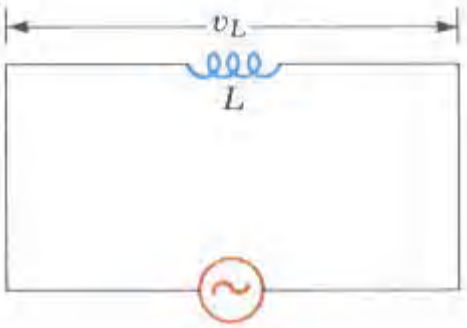
تعطى القدرة الكهربية بالقلاقة $P = i^2R$ وحيث أن التيار المار في الدائرة الكهربية هو تيار متردد فإن تأثيره سيكون مختلف فيما لو عوضنا في المعادلة السابقة عن القيمة العظمى للتيار لأن ذلك لا يدوم إلا لفترة زمنية قصيرة وعليه يجب التعامل من قيمة تعبر عن متوسط قيمة التيار المتردد أو الجهد الكهربي وهذا مايعرف بـــ root mean square حيث ان

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0.707 I_m \quad \& \quad V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0.707 V_m$$

وعليه تعطى القدرة الكهربية بـــ $P_{av}=I_{rms}^2 R$

Inductor in an AC circuit

بتطبيق قانون كيرشوف على الدائرة الموضحة في الشكل والتي تتكون من ملف ومصدر تيار متردد.



$$v - L\frac{di}{dt} = 0$$

$$L\frac{di}{dt} = V_m \sin \omega t$$

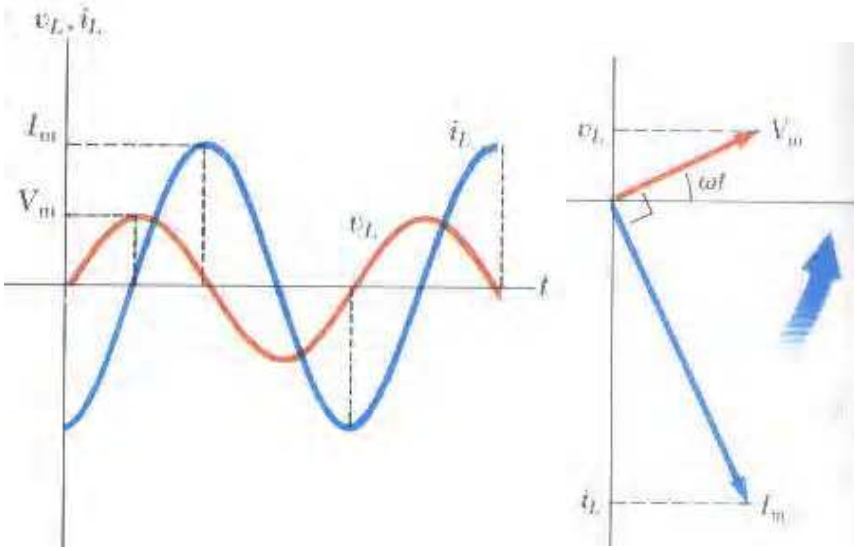
$$i_L = \frac{V_m}{L}\int \sin \omega t \, dt = -\frac{V_m}{\omega L}\cos \omega t$$

using the trigonometric identity

$$\cos \omega t = - \sin (\omega t - \pi/2)$$

$$i_L = \frac{V_m}{\omega L}\sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

من المعادلة الأخيرة نستنتج أن التيار يتأخر عن الجهد بزاوية مقدارها 90 درجة وهنا يكون الطور بينهما مختلف كما يوضحه الشكل التالي:



حيث أن I_m القيمة العظمى للتيار المار في الملف وتعطى بالعلاقة،

$$I_m = \frac{V_m}{\omega L} = \frac{V_m}{X_L}$$

where X_L is called inductive reactance

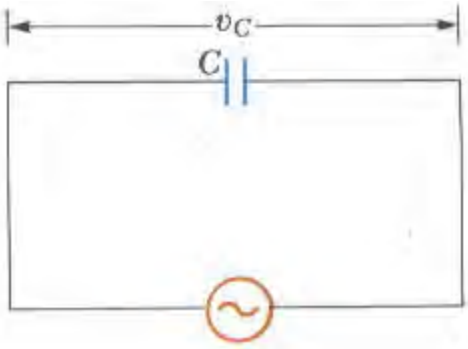
$$X_L = \omega L$$

تعطى قيمة فرق الجهد اللحظي بدلالة التيار من خلال المعادلة التالية:

$$v_L = V_m \sin\omega t = I_m X_L \sin\omega t$$

Capacitor in an AC circuit

بتطبيق قانون كيرشوف على الدائرة الموضحة في الشكل والتي تتكون من مكثف ومصدر تيار متردد.



$$v - v_C = 0$$

$$v = v_C = V_m \sin\omega t$$

قيمة فرق الجهد اللحظي المطبق على طرفي المكثف ونعلم أن v_C حيث أن

$$v_C = Q/C$$

$$Q = CV_m \sin\omega t$$

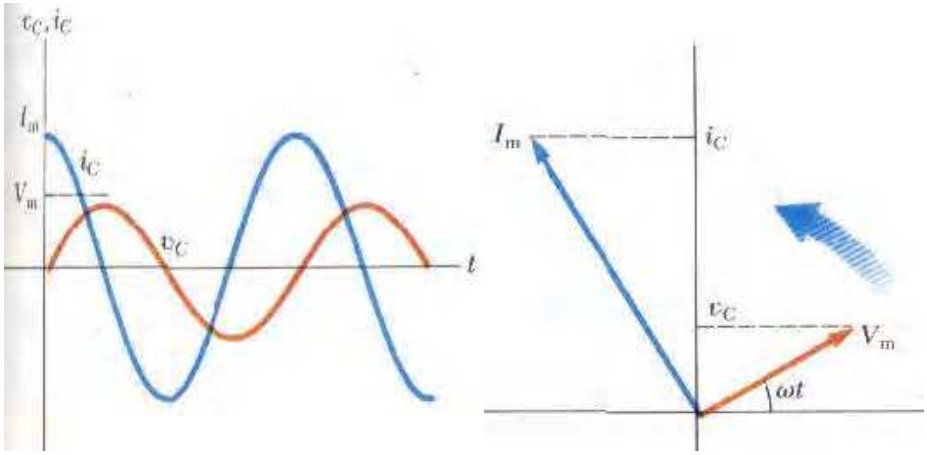
The current $i_C = dQ/dt$

$$i_C = dQ/dt = \omega CV_m \cos\omega t$$

using the trigonometric identity

$$\cos \omega t = \sin (\omega t + \pi/2)$$

من المعادلة الأخيرة نستنتج أن التيار يتقدم عن الجهد بزاوية مقدارها 90 درجة وهنا يكون الطور بينهما مختلف كما يوضحه الشكل التالي:



حيث أن I_m القيمة العظمى للتيار المار في المكثف وتعطى بالعلاقة،

$$I_m = \omega C V_m = \frac{V_m}{X_C}$$

where X_C is called capacitive reactance

$$X_C = 1/\omega C$$

تعطى قيمة فرق الجهد اللحظي بدلالة التيار من خلال المعادلة التالية:

$$v_C = V_m \sin\omega t = I_m X_C \sin\omega t$$

تابع التيار المتردد

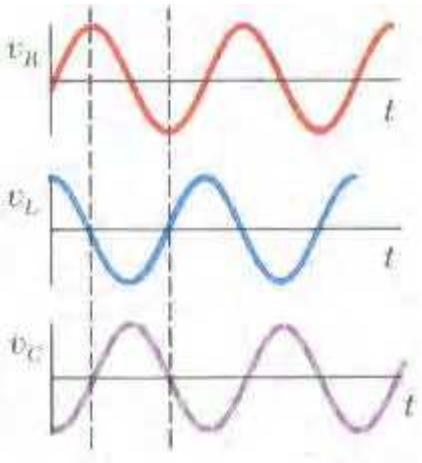
Alternating Current Circuits

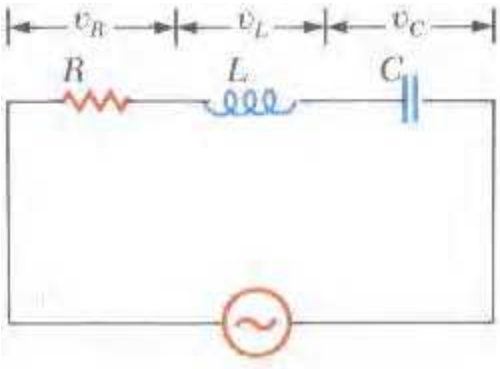
درسنا في المحاضرة السابقة دوائر التيار المتردد بحيث احتوت الدائرة الكهربية على عنصر كهربي واحد فقط مثل المقاومة أو الملف أو المكثف وفي هذه المحاضرة سنقوم بتوصيل العناصر الثلاثة على التوالي في دائرة تيار متردد وتسمى بدائرة RLC

The *RLC* series circuit

تحتوي الدائرة الكهربية على مقاومة وملف ومكثف موصولة على التوالي ويكون الجهد المطبق يعطى بالعلاقة التالية

$$v = V_m \sin\omega t$$





ويكون التيار الكهربي المار في الدائرة الكهربية على النحو التالي

$$i = I_m \sin(\omega t - \phi)$$

where ϕ is the phase angle between the current and the applied voltage.

سنقوم بحساب كلا من التيار I_m و .

في الشكل المقابل توضيح علاقة اختلاف الطور في الجهد الكهربي المطبق على كل عنصر من العناصر الثلاثة في الدائرة الكهربية السابقة. وحيث أن التوصيل على التوالي فإن التيار الكهربي المار في كل عنصر له نفس المقدار والطور عند أي زمن. وسيكون الجهد الكهربي المطبق على كل عنصر من عناصر الدائرة يعطى بالمعادلات التالية:

المقاومة $v_R = I_m R \sin\omega t = V_R \sin\omega t$

الملف $v_L = I_m X_L \sin(\omega t + \pi/2) = V_L \cos\omega t$

المكثف $v_C = I_m X_C \sin(\omega t - \pi/2) = -V_C \cos\omega t$

وتعطى القيم العظمى من خلال المعادلات التالية

$$V_R = I_m R$$

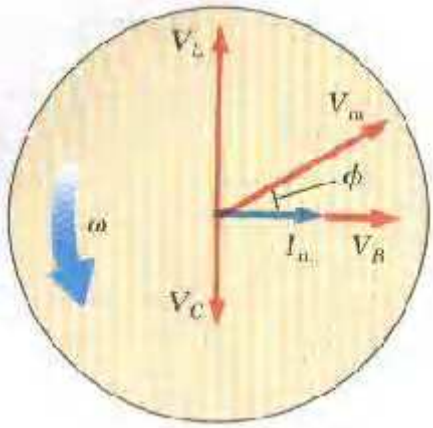
$$V_L = I_m X_L$$

$$V_C = I_m X_C$$

عند أي زمن يكون الجهد الكهربي على العناصر الثلاثة مساوية للجهد الكهربي للمصدر وهذا يمكن التعبير عنه من خلال المعادلة التالية:

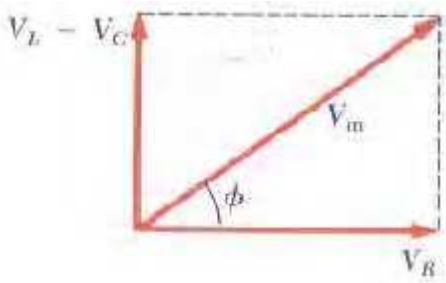
$$v = v_R + v_L + v_C$$

حيث ان التيار المار في الدائرة له نفس القيمة والطور عند اي لحظة لان التوصيل على التوالي.
وللحصول حل للمعادلة



$$v = v_R + v_L + v_C$$

كما في الشكل *phasors diagram* نستخدم المقابل وحاصل الجمع الاتجاهي لكل متجه يعطي مع القيمة العظمي للجهد والتي تعمل زاوية المحور الافقي.



$$V_m = \sqrt{V_R^{\,2} + (V_L - V_C)^2} = \sqrt{(I_m R)^2 + (I_m X_L - I_m X_C)^2}$$

$$V_m = I_m \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$X_L = \omega L$ & $X_C = 1/\omega C$, the maximum current can be given by

$$I_m = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

The impedance of the circuit is Z and it is equal to

$$Z \equiv \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

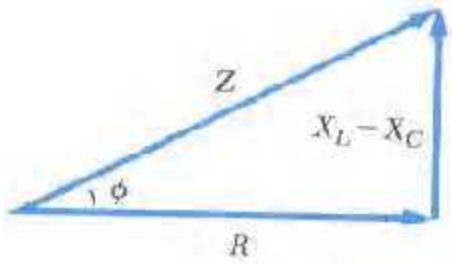
Therefore,

$$V_m = I_m Z$$

وهذا يسمى قانون اوم العام وتكون وحدة Z الأوم والتي تعرف باسم المعاوقة impedance

زاوية الطور

$$\tan\phi = \frac{X_L - X_C}{R}$$



عندما تكون معاوقة الملف اكبر من معاوقة المكثف $X_L > X_C$ وهذا يكون عند الترددات العالية تكون زاوية الطور موجبة. وهذا يعني أن التيار يتأخر عن الجهد.

عندما تكون معاوقة الملف اصغر من معاوقة المكثف $X_L < X_C$ وهذا يكون عند الترددات المنخفضة تكون زاوية الطور سالبة. وهذا يعني أن التيار يتقدم الجهد.

عندما تكون معاوقة الملف تساوي من معاوقة المكثف $X_L = X_C$ وهذا يعني أن معاوقة الدائرة للتيار المتردد تساوي المقاومة R فقط. وهذا يحدث عند تردد يعرف بالرنين Resonance

تابع التيار المتردد

Alternating Current Circuits

تطبيقات على دوائر التيار المتردد

Resonance | Filters Circuit | Transformer

Resonance اكبر ما يمكن تكون الدائرة في حالة الرنين RLC عندما يكون التيار المتردد المار في دائرة

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{Z}$$

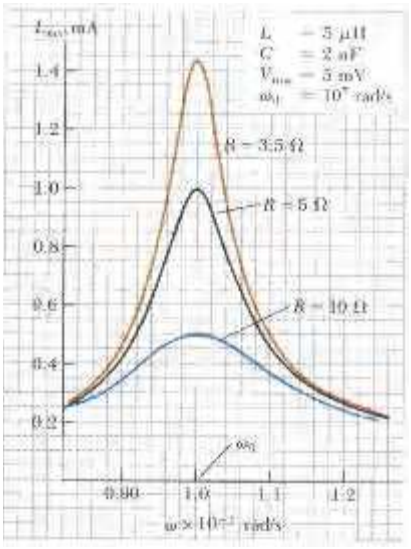
$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

تعتمد على تردد التيار المار في الدائرة. ومن المعادلة السابقة نلاحظ Impedance وحيث أن معاوقة الدائرة Z=R. وفي هذه الحالة تكون المعاوقة تساوي المقاومة X_L-X_C=0. ان التيار اكبر ما يمكن عندما تكون والتردد الذي يجعل ذلك متحقق يسمى تردد الرنين Resonance Frequency ω_o.

$$X_L - X_C = 0$$

$$\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

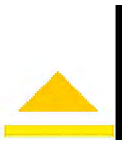


بأقل مقاومة. والتيار يصل إلى قيمة عظمى عند التردد RLC وهذه قيمة ترد الرنين الذي يمر في دائرة الـ L. والحث الذاتي للملف C والذي يعتمد على قيمة سعة المكثف

وقيمة التيار عند مقاومات مختلفة. RLC يوضح الشكل المقابل العلاقة بين تردد تيار المصدر المار في دائرة ونلاحظ أيضا ان القيمة العظمى للتيار تكون R نلاحظ أن القيمة العظمى للتيار تزداد كلما قلت قيمة المقاومة وذلك لان كلا من السعة والحث الذاتي لم يتغيرا عند التردد

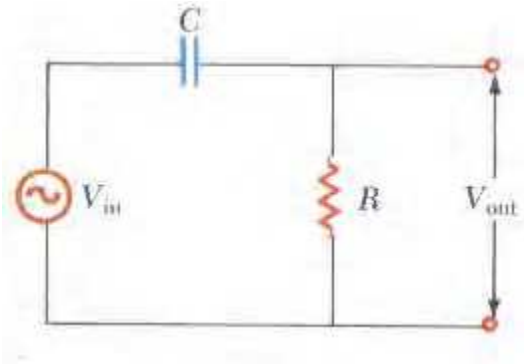
تستخدم دوائر الرنين في اجهزة الاستقبال مثل الراديو والتلفزيون حيث ان لكل محطة اذاعية او تلفزيونية لها تردد محدد وبجهاز الاستقبال نستقبل التردد الذي يمر في دائرة الرنين والذي تكون مقاومته له اقل ما يمكن

وباقي الترددات لا تمر لان معاوقة دائرة الاستقبال لها تكون كبيرة وبتغير سعة المكثف (عن طريق ادارة الواح المكثف لتغير المساحة) يمكن التنقل بين المحطات. وبالتالي كلما كان اتساع منحني التيار والتردد اقل ما يمكن كلما كانت قدرة جهاز الاستقبال احسن لأنها سوف تفصل بين الترددات المتجاورة. وهذا يلعب دورا في تقييم اجهزة الاستقبال وتحديد سعرها.



تستخدم المرشحات في الدوائر الكهربية مثل دوائر الاستقبال في الراديو للتخلص من الترددات التي قد تشوش على الاشارة المراد التقاطها وتكبيرها وتتكون المرشحات الكهربية من مقاومة ومكثف موصلين على التوالي. يمكن ترشيح الترددات العالية او الترددات المنخفضة وذلك من خلال طريق توصيل المقاومة والمكثف كما سنرى بعد قليل.....

High-pass filter



حيث High-pass filter. توضح الدائرة الكهربية المبينة في الشكل المقابل فكرة عمل مرشح الترددات العالية ان المصدر متصل مع المكثف والمقاومة على التوالي ويكون الجهد الناتج على طرفي المقاومة.

تعطى بالعلاقة V_{in} القيمة العظمى للجهد

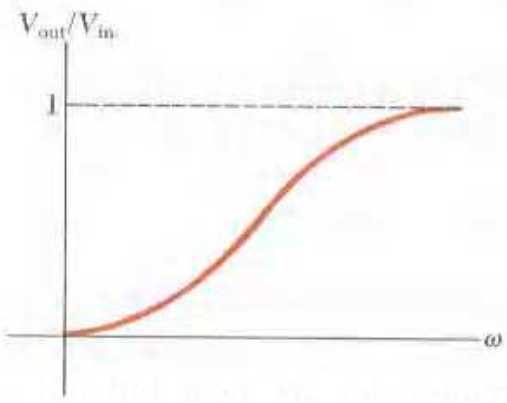
$$V_{in} = I_m Z = I_m \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

وقيمة الجهد الناتج على طرفي المقاومة يعطى من خلال قانون اوم

$$V_{out} = I_m R$$

بقسمة المعادلتين نحصل على المعادلة التالية

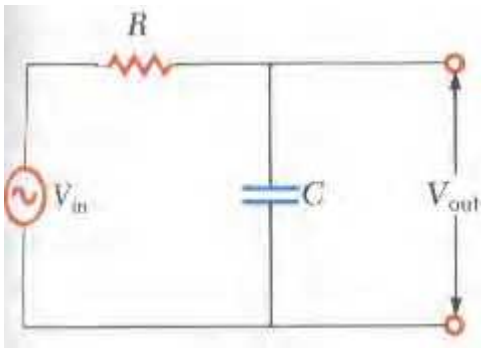
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$



من المعادلة نلاحظ أن

وعند الترددات المرتفعة تكون قيمتي Vin اقل بكثير من Vout عند الترددات المنخفضة تكون قيمة الجهد الجهد متساويتيين Vin=Vout. وهذا يعني ان الدائرة تمرر فقط الترددات المرتفعة ولذلك سميت High-pass filter بينما الترددات المنخفضة توقف ولا تمرر.

Low-pass filter



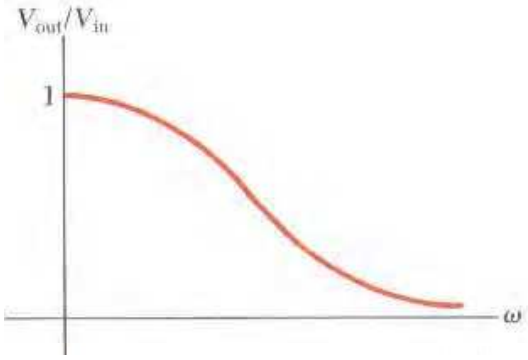
في حالة توصيل المخرج على طرفي المكثف بدلا من المقاومة يصبح عمل المرشح هو تمرير الترددات المنخفضة وحجب الترددات العالية.

وقيمة الجهد الناتج على طرفي المكثف يعطى كالتالي:

$$V_{out} = I_m X_C = \frac{I_m}{\omega C}$$

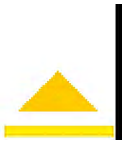
بقسمة المعادلتين نحصل على المعادلة التالية

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1/\omega C}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

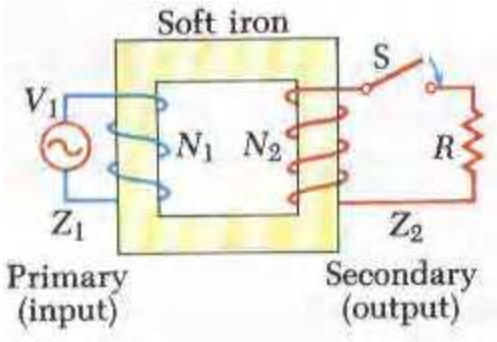


من المعادلة نلاحظ أن متساويتين بينما عند الترددات المرتفعة قيمة الجهد Vin و Vout عند الترددات المنخفضة تكون قيمتي الجهد Vout أقل بكثير من Vin وهذا يعني ان الدائرة تمرر فقط الترددات المنخفضة ولذلك سميت Low-pass filter بينما الترددات المرتفعة توقف ولا تمرر.

للحصول على مرشح يعمل بنفس الفكرة. كما يمكن تصميم RL Filters كما يمكن استخدام مقاومة وملف Band-pass filter مرشح يمرر حزمة من الترددات



تستخدم المحولات الكهربية في كافة التطبيقات اما لرفع الجهد أو خفضه حسب الحاجة. ففي محطات توليد الطاقة الكهربية يتم رفع فرق الجهد إلى قيم مرتفعة جدا تصل إلى 350000 فولت عند تيار كهربي صغير وذلك لتقليل الطاقة المفقودة على شكل حرارة I^2R. ولتحقيق ذلك نحتاج الى المحول الكهربي الذي يقوم برفع او خفض الجهد الكهربي والتيار الكهربي دون احداث تغيير في قيمة حاصل ضرب IV.



مضلح معدني لنقل الفيض المغناطيسي كما في الشكل المقابل، بين Transformer يتكون المحول الكهربي يتم توصيل الملف Secondary. ويسمى الثاني بالملف الثانوي Primary ملفين يسمى الاول الملف الرئيسي الرئيسي بالمصدر المراد رفع او خفط قيمة جهده بينما نحصل من الملف الثانوي على النتيجة. مثل المحول المستخدم في تشغيل بعض الاجهزة الكهربية التي تحتاج الى 9 فولت فيقوم المحول بخفض قيمة الجهد من 220 فولت الى 9 فولت لتناسب تشغيل الجهاز.

بالتحكم بعدد لفات كلا من الملف الرئيسي والملف الثانوي يمكن رفع او خفض الجهد حسب النسبة بين عدد لفات الملفين كما هو موضح في المعادلات التالية:

$$V_1 = -N_1 \frac{d\Phi_m}{dt}$$

ينتقل الفيض المغناطيسي من المتولد في الملف الرئيسي عبر مادة المعدن الى الملف الثانوي حيث يتولد فرق جهد يعطى من قانون فراداي على النحو التالي:

$$V_2 = -N_2 \frac{d\Phi_m}{dt}$$

بتقسمة المعادلتين نحصل على

$$V_2 = \frac{N_2}{N_1} V_1$$

وها ما يعرف بمحول $V_2>V_1$ يكون فرق الجهد الناتج اكبر من فرق جهد المصدر N_1 أكبر من N_2 عندما تكون ويكون المحول خافضا N_1 اقل من N_2 بينما يحدث العكس اذا كانت Step-up transformer. رافع الجهد Step-down-transformer. للجهد

AHMAD AL-HADIDY
JORDAN –ZARQA
TEL – 0777409465
HADIDY_66@YAHOO.COM