التيار المتردد

الفرقة الثانية تربية عام
شعبة فيزياء

دكتور
عادل جادالكريم عبادى محمد
قسم الفيزياء

العام الجامعي 2022 - 2023 م

المحتويات

الفصل الاول الكهرباء التياريه

الكهرباء التيارية 2

مقدمة (التيار الكهربي).....3

المغناطيسية الكهربية.....4

الحث الذاتى والحث المتبادل 13

الحث الكهرومغناطيسي 18

قانون فارادي.....20

الفصل الثانى دوائر التيار المتردد

القيم الأساسية للتيار المتردد.....27

آلات توليد التيار المتردد.....31

المولد الكهربي.....32

آلية توليد التيار المتردد.....34

زاوية الطور 38

دوائر التيار المتردد.....40-61

القدرة فى دوائر التيار المتردد.....62

تطبيقات على دوائر التيار المتردد.....68

مراجعة لما تم دراسته.....88

الكهرباء التيارية

مقدمة (التيار الكهربي)

ان المواد الموصلة تحتوى بداخلها على شحنات حرة تتحرك حركة عشوائية غير منتظمة ولكنها عند خضوعها لمجال كهربي تتحرك حركة منتظمة فى اتجاه معين مكونة ما يسمي بالتيار الكهربي . والشحنات الحرة فى حالة الموصلات المعدنية عبارة الكترونات حرة اما فى الموصلات السائلة والغازية فهي ايونات موجبة وايونات سالبة. من المعروف ان التيار الكهربي عبارة عن نوعين أساسيين هما:

- **التيار المستمر (D C):** هو التيار الذي لا يتغير اتجاهه مع الزمن (ثابت القيمة والاتجاه) ونحصل عليه بصفة اساسية من الخلايا الكهروكيميائية (مثل المركم – الجافة – الخلية القلوية)
- **التيار المتردد (AC):** هو التيار الذي يتغير اتجاهه مع الزمن (غير ثابت القيمة والاتجاه) مثل التيار في المنازل

وفي هذا المقرر باذن الله عزوجل سوف نتاول بشيء من التفصيل التيار المستمر و المتردد وتعريف جميع مركباته وعرض سريع لبعض دوائر الاساسية وسلوك بعض عناصر الكهربية تحت تاثير ذلك النوع من الكهرباء التيارية

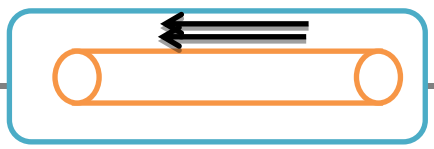
اولى هذه المركبات هى ما يعرف بشدة التيار الكهربي (I) والمعروف بانه كمية الشحنة التى تمر خلال مقطع سلك فى الثانية الواحدة. فمثلا اذا مرت شحنة قدرها $\frac{dq}{}$ فى زمن قدره $\frac{}{dt}$ خلال مقطع السلك فان شدة التيار تعطي بالعلاقة التالية :

$$I = \frac{dq}{dt}$$

وفي النظام العالمي (وهو مستخدم غالبا فى معاملنا الطلابية) فوحدة قياس شدة التيار هى الامبير وهو الكولوم لكل ثانية.

ويعبر عن التيارات الصغيرة بالمللي امبير $1mA = 10^{-3}A$ وبالميكرو امبير $1\mu A = 10^{-6}A$ واتجاه التيار المصطلح هو عكس اتجاه تحرك الشحنات الكهربية السالبة فى الموصلات. وبالأخذ فى الاعتبار اتجاه التيار وعلاقته باتجاه هذه الشحنات فان المعادلة تكتب على الصورة:

$$I = -\frac{dq}{dt}$$



وبالاستعانة بالشكل السابق: اذا تعرضت قطعة من سلك موصل منتظم لمجال كهربي شدتة E ومتجه الى اليسار فان الالكترونات ستتحرك الى اليمين. فاذا فرض ان كل الكترون يسير بسرعة ثابتة (سرعة عشوائية) مقدراها u فانه سيقطع مسافة قدرها قدرها udt فى زمن قدره dt. فاذا كانت مساحة مقطع السلك S وكانت n عدد الالكترونات الحرة فى وحدة الحجوم، فان عدد الالكترونات التى تمر من مقطع السلك فى الزمن dt تساوى nSudt . فاذا كانت e تمثل شحنة الالكترون فان الشحنة الكلية التى تمر فى هذه المسافة فى الزمن dt هي:

$$dq = neuSdt$$

$$\therefore \quad \mathrm{I} = \frac{dq}{dt} = neus$$

وتعرف كثافة التيار J لموصل ما بانها خارج قسمة التيار على مساحة مقطع الموصل اى ان:

$$J = \frac{I}{S} = neu$$

اما اذا لم يكن التيار موزعا بانتظام فانه يمكن اعتبار مرور التيار خلال مساحة متناهية فى الصغر مقدارها ds وعليه يمكن كتابة كثافة التيار بالصغية التالية:

$$J = \frac{dI}{dS}$$

اى ان كثافة التيار عبارة عن التيار خلال وحدة المساحة العمودية على اتجاه سريان الشحنة. وتختلف المواد الموصلة بعضها عن بعض فى مقدار كثافة التيار الذى يتكون نتيجة لمجال كهربي E. وتسمي نسبة كثافة التيار الى شدة المجال الكهربي بالتوصيل الكهربي للمادة ويرمز له بالرمز σ اى ان :

$$\sigma = \frac{J}{E} \qquad \therefore \quad J = \sigma E$$

وكلما زادت توصيلية مادة ما زادت كثافة التيار لها عند قيمة معينة لشدة المجال الكهربي E ووحدات σ هى امبير /فولت.متر وتبلغ قيمتها بالنسبة للموصلات فى حدود 10^{8}A/V.m اما فى بالنسبة للعوازل الجيدة فى حدود 10^{-13}A/V.m او اقل من ذلك. ويسمي مقلوب التوصيلية الكهربية للمادة بالمقاومة النوعية للمادة ويرمز لها بالرمز ρ ووحدتها فولت.متر/امبير وتعطى من العلاقة:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{E}{J} \qquad \therefore \quad \rho = \frac{ES}{I}$$

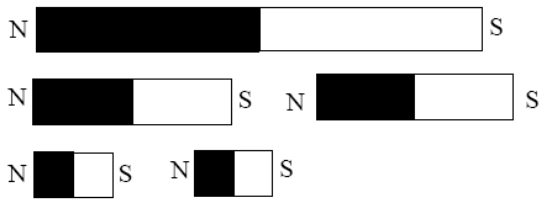
المغناطيسية الكهربائية

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 قضيبا مغناطيسيا 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.

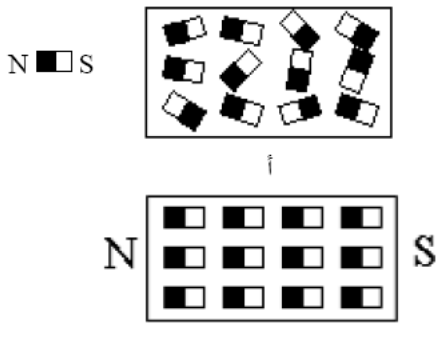


الشكل (٩-١) تقسيم المغناطيسات

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.

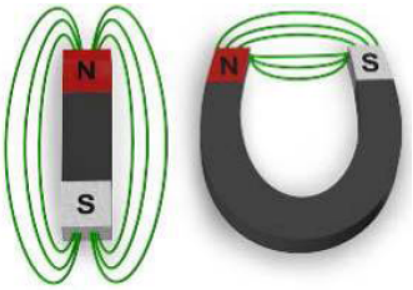
توليد مجال كهرومغناطيسي:

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 ينقد 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.

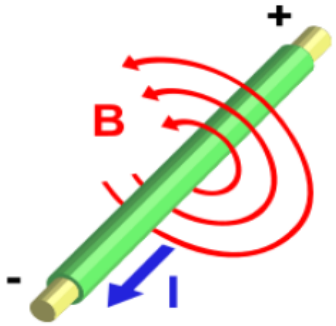
ويمكن تمثيل المجال المغناطيسي بخطوط القوى المغناطيسية الشكل (٩- ٣) بحيث تكون كثافة الخطوط لكل وحدة مساحات من عنصر مساحة عمودية على اتجاه خطوط القوى و هي مقدار المجال المغناطيسي. ويكون اتجاه المماس لخط القوى عند أية نقطة عليه معطياً اتجاه المجال المغناطيسي B عند تلك النقطة.



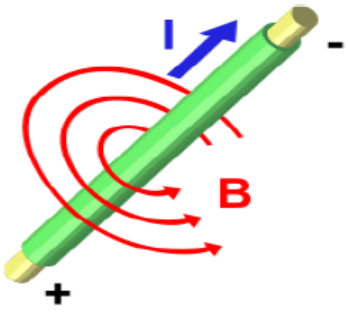
الشكل (٩- ٣)

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).

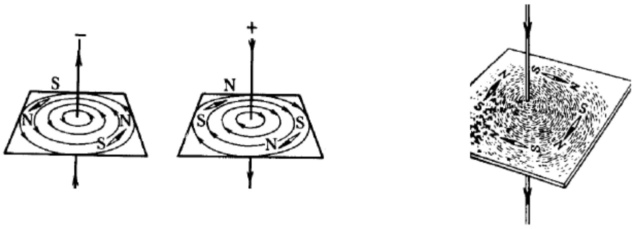


(ب)



(أ)

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).



(ب)

(أ)

الشكل (٩- ٥)

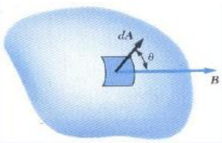
تتمثل القوة أو شدة المجال المغناطيسي بكثافة الخطوط التي تقطع مساحة متر مربع متعامدة معها. فكلما اقتربنا من السلك ازدادت القوة أو شدة المجال و بذلك ازدادت كثافة الخطوط و أصبحت الدوائر متقاربة. في حين أن المسافة تزداد بين الدوائر و تقل كثافة الخطوط عند الابتعاد عن السلك.

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)

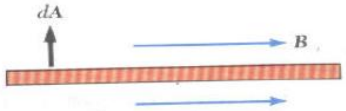
إذ يمثل A المساحة التي يقطعها الفيض Φ . و تقاس Φ بوحدة الويبر Wb(Weber) . أما B فإنها تقاس بالتسلا ويرمز لها بالرمز T

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

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

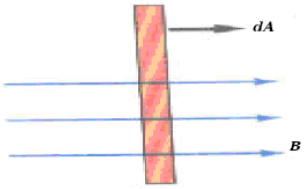
Tesla = 10^4 Gauss

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.

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

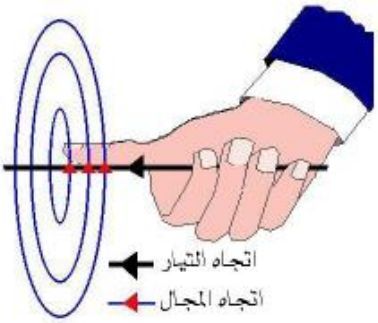
$$B=\frac{\mu I}{2\pi a} \qquad (9\text{-}7)$$

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

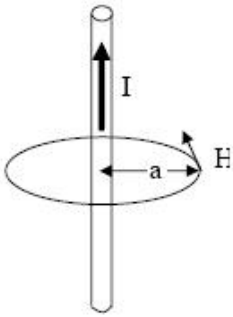
و باستعمال القانون (9-6) نجد أن شدة المجال الناشئ عن هذا التيار هي

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

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:

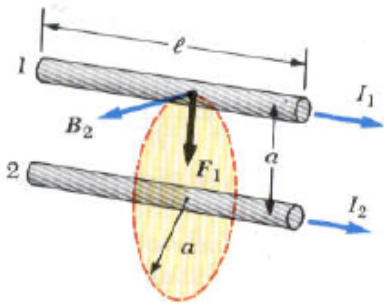
$$F = I B \ell \sin\theta \qquad (9\text{-}9)$$

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

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:

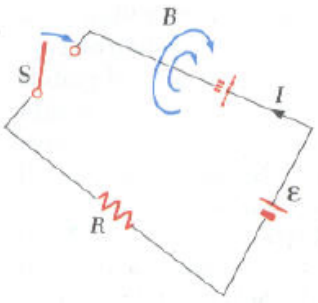
$$\frac{F_1}{\ell} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} \qquad (9\text{-}12)$$

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 .

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 المغناطيسي Lenz's Law .

هذه القوة الدافعة الكهربية المتولدة في الدائرة تعمل في اتجاه معاكس 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 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:

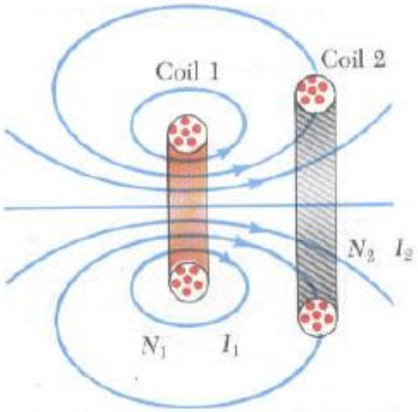
$$\Phi_m = BA = \mu_0 \frac{NA}{\ell} I \qquad (9\text{-}18)$$

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

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

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

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

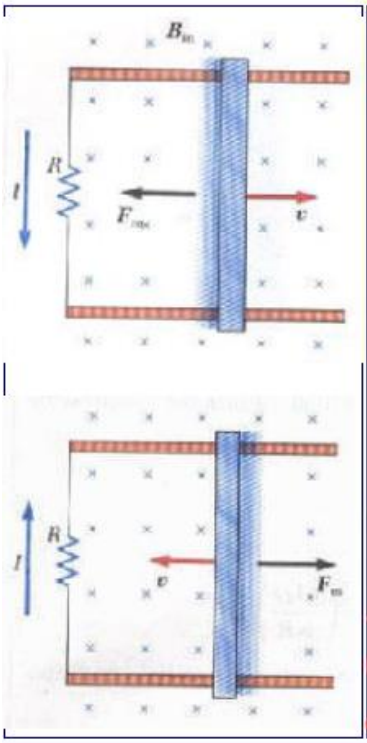
وهذا يعني أن

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

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



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.

الحـث الكهرومغناطيسي

* مقدمة:

* استطاع أورستد اكتشاف أن: التيار الكهربي يولد مجالا مغناطيسيا

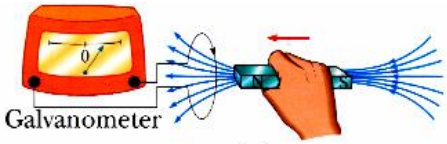
- حاول فاراداى إثبات عكس ما قاله اورستد وحقق ذلك فعلا عام 1831 ونجح في : "توليد تيار كهربي من مجال مغناطيسي"وسميت هذه الظاهرة:(**الحث الكهرومغناطيسى**)
ويسمى التيار الناتج : تيار كهربي حثي (I) والقوة الدافعة الكهربية حثية (ε)

** تعريف الظاهرة:

" إذا قطع سلك فيضا مغناطيسيا يتولد في السلك قوة دافعة كهربية مستحثة وكذلك تيار مستحث"

* هذا يعنى أن: [شرط تولد قوة دافعة مستحثة

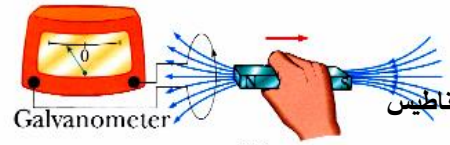
هـو قطع خطوط الفيض المغناطيسي]



* الاستنتاج:

* حركة مؤشر الجلفانومتر تعنى تولد قوة

دافعة مستحثة وتيار مستحث



- اتجاه حركة مؤشر الجلفانومتر تعتمد على اتجاه حركة المغناطيس

* الحقيقة هي :

أنه عند قطع خطوط الفيض المغناطيسي بواسطة موصل (سلك أو ملف) يحدث إثارة للإلكترونات الحرة في الموصل فتتحرك هذه الإلكترونات في اتجاه ما في الموصل فتسبب فرق في الجهد بين طرفيه وبالتالي تولد تيار مستحث.

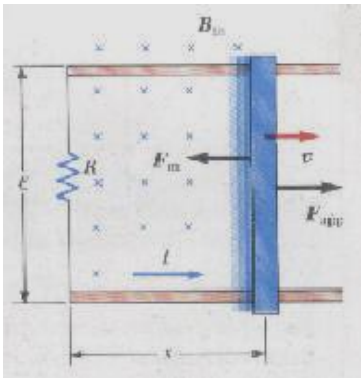
- يضيف هذا الاكتشاف نوعا جديدا ومهما لانتاج الطاقة الكهربية وهو تحول الطاقة الميكانيكية الى طاقة كهربية.

* حركة موصل في مجال مغناطيسي:

من المعروف سابقا انه عند وضع سلك مستقيم طوله (ℓ) يمر به تيار كهربي (I) في مجال مغناطيسي عمودي حثه (B) فانه يتولد قوة مغناطيسية تحركه (F) قيمتها:

$$F = I.\ell.B$$

اما الآن نعكس التجربة:



بتحريك سلك مستقيم طوله (ℓ) عمودي على مجال

مغناطيسي حثه (B) وليكن تحرك مسافة (dx) في زمن (dt)

فإنه يتولد في السلك قوة دافعة حثية (ε) وكذلك تيار حثي (I)

* نلاحظ ان الشغل النبذول لتحريك السلك هو: $dW = F.dx$

ومعلوم ان: $dx = v \, . \, dt$ & $F = I. \ell. B$

بالتعويض في الشغل نجد ان:

$$dW = F. v \, . \, dt = I. \ell \, . \, B. v \, . \, dt$$

وحيث ان الشحنة التأثيرية التي تولدت خلال زمن (dt) هي: $dq = I. dt$

فيكون المعادلة هي: $dW = B. \ell \, . \, v \, . \, dq$

ومن المعروف ان القوة الدافعة الكهربية هي الشغل المبذول (dW) لنقل شحنة كهربية (dq) :

$$\varepsilon = \frac{dw}{dq} = B.\ell.v$$

حيث ان (v) هي سرعة حركة السلك في المجال المغناطيسي وهنا ملحوظة هامة:

1. اذا كان اتجاه حركة السلك عمودية على اتجاه المجال تكون القوة الدافعة الحثية هي:

$$\varepsilon = B.\ell.v$$

2. عندما يكون اتجاه حركة السلك يميل بزاوية (θ) مع المجال المغناطيسي فتصبح العلاقة:

$$\varepsilon = B.\ell.v.\sin\theta$$

ولايجاد شدة التيار الكهربي المستحث نستخدم العلاقة:..... $I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{B.\ell.v}{R}$

والقدرة الكهربية المستنفذة تكون:..... $P = \varepsilon . I$

- **قاعدة فلمنج لليد اليمنى :**

هي قاعدة لمعرفة اتجاه التيار الحثى المتولد في سلك مستقيم يتحرك عمودي على مجال المغناطيسي

وهي تنص على أنه:

[عند تعامد أصابع اليد اليمنى الثلاثة الإبهام والسبابة والوسطى فإذا كان الإبهام يشير لاتجاه الحركة والسبابة لاتجاه المجال المغناطيسي فيكون الوسطى يشير إلى اتجاه التيار الحثى الناتج.]

* تجربة فاراداى لتوليد قوة دافعة مستحثة في ملف:

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 الأمريكي حيث اكتشف قانون فارادي عام 1831 بعد أن قام كل من العالمين بعدة تجارب ادت إلى نتائج متشابهة وهي ما تعرف بقانون فارادي للحث. والتي من خلالها يمكن الحصول على تيار كهربي من المجال المغناطيسي.

1- وصل فاراداى طرفي ملف حلزوني بجلفانومتر حساس مؤشره في المنتصف

2. عند إدخال مغناطيس فى الملف لاحظ انحراف مؤشر الجلفانومتر (لحظيا) في اتجاه ما.

3. وعند لحظة إخراج المغناطيس من الملف ينحرف مؤشر الجلفانومتر في اتجاه مضاد.

4. وعند توقف المغناطيس عن الحركة يعود المؤشر للصفر ويتوقف التيار.

قانون فاراداى:

القوة الدافعة المستحثة في ملف تتناسب طرديا مع معدل التغير في الفيض المغناطيسي

 # السؤال الآن: ما هي العوامل المؤثرة في القوة الدافعة الكهربية المستحثة ؟؟

الإجابة : 1- معدل التغير الزمني لقطع خطوط الفيض المغناطيسي :أي أن: ($\varepsilon \propto \frac{d\varphi}{dt}$)

2- عدد لفات الملف: .... ($\varepsilon \propto N$)

فتكون الصورة النهائية لقانون فاراداى هي: ⇐ $\boxed{\varepsilon = -N\frac{d\varphi}{dt}}$

وعندما تكون مقاومة الملف هي (R) فتكون شدة التيار الحثي هي: $$I = \frac{\varepsilon}{R} = -\frac{N}{R}\frac{d\varphi}{dt}$$

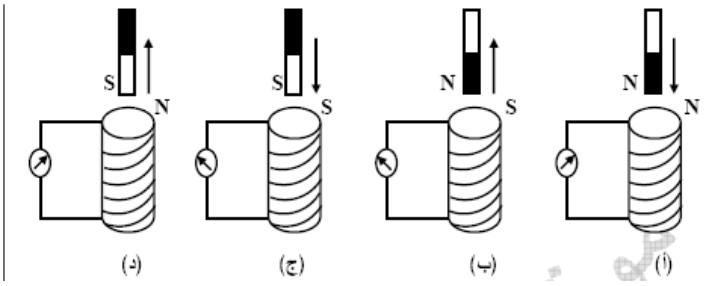
* يبقى سؤال: ما سبب وجود الإشارة السالبة في قانون فاراداى ؟؟؟؟

ج : الإشارة السالبة تدل على أن:

" اتجاه القوة الدافعة الحثية (اوالتيار المستحث) بحيث يعطي فيضا مغناطيسيا يعاكس أو يضاد

دائما مقدار التغير في الفيض المغناطيسي المسبب له " وتسمى هذه (**قاعدة لـنز**)

** تفسير قاعدة لـنز :



** من الرسم لاحظ في حالة (أ , ب):-

أ . عند تقريب القطب الشمالي لمغناطيس من الملف يتولد به قوة دافعة حثيه تجعل اللفة العليا تمثل قطب شمالي فتقاوم (تتنافر مع) إدخال المغناطيس من جهة قطبه الشمالي.

ب . عند إخراج المغناطيس من الملف يتولد قوة دافعة كهربية حثية في اتجاه مضاد للحالة الأولى فتجعل اللفة العليا تمثل قطب جنوبي فتعوق خروج المغناطيس من الملف (يحدث تجاذب).

*. يحدث نفس الشيء في حالة (ج , د) ولكن من جهة القطب الجنوبي ونلاحظ ذلك من انحراف مؤشر الجلفانومتر

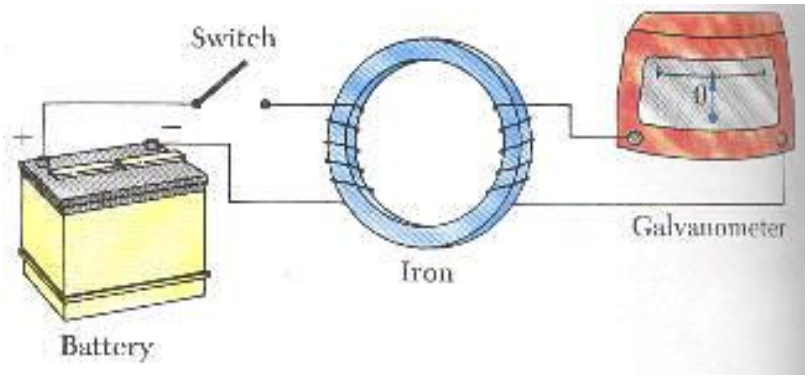
*الاستنتاج:

قاعدة لـنز ... تنص على أن:

" اتجاه القوة الدافعة الكهربية المستحثة بحيث يعطي فيضا مغناطيسيا يعاكس التغير في

الفيض المغناطيسي المسبب له "

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 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.



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.

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

أي أن Faraday's Law of Induction

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.

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

القوة الدافعة المستحثة The Induced emf

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

- تتولد قوة مغناطيسية 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.
- $F_e = qE \quad \& \quad F_m = qvB$
- $Fe = Fm$
- $qE = qvB$
- $E = vB$
- يمكن التعبير عن المجال الكهربي بفرق الجهد الكهربي V حيث V=El
- $V = B\,l\,v$
- 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.

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

$$\Phi_m = B\,A$$

$$\Phi_m = B / x$$

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

$$\varepsilon = -Blv$$

يمكن ايجاد قيمة التيار الكهربي Induced current كما يلي:

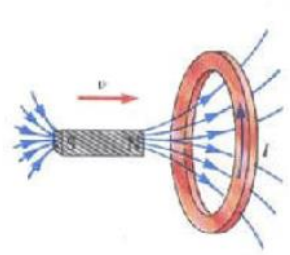
$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{Blv}{R}$$

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

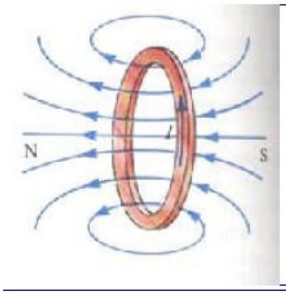
$$P = F_{app}v = (IlB)v = \frac{B^2l^2v^2}{R}$$

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 أنشأه.



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 الزيادة 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

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

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

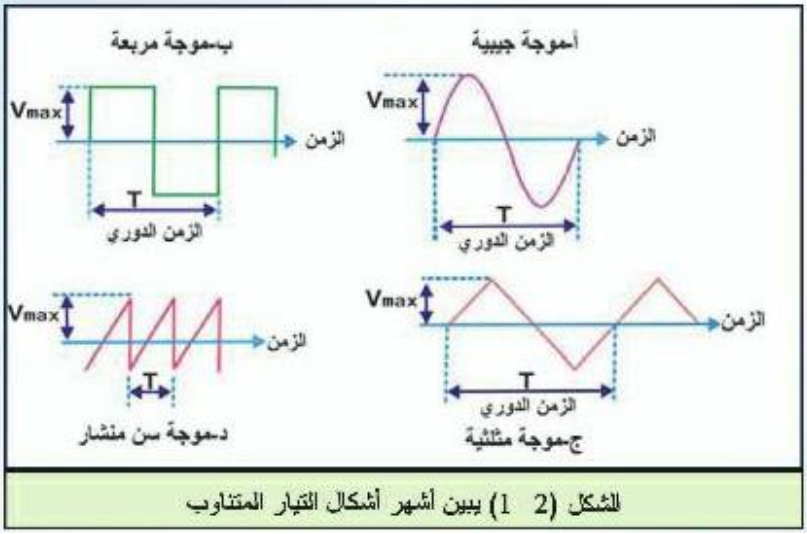
Where f is the frequency of the source and T is the period.

القيم الأساسية للتيار المتناوب المتناوب

2-1نعلم أن التيار المستمر هو تيار ذو جهة وشدة ثابتتين مع مرور الزمن، بينما نجد أن التيار المتناوب *Alternating Current* يغير اتجاهه وشدته باستمرار مع مرور الزمن، وللتيار المتناوب أشكال مختلفة أشهرها التيار المتناوب الجيبي والتيار النبضي (المربع) وتيار سن المنشار كما في الشكل (2– 1).

هل تعلم

إن التيار الكهربائي العام الواصل إلى المنازل، هو تيار متغير تقوم بتوليده مولدات كهربائية كبيرة تولد 50 موجة جيبية في الثانية



الشكل (2 1) يبين أشهر أشكال التيار المتناوب

1-1-2 القيم الأساسية للتيار المتناوب

- **الجهد اللحظي**

هو قيمة الجهد في لحظة ما ويعطى بالعلاقة:

$$v(t) = V_m \cdot \sin \omega t$$

ω هي السرعة الزاوية.

V_m القيمة العظمى لموجة الجهد .

– دور الإشارة الجيبية:

هو الزمن اللازم كي يتم الجهد أو التيار دورة واحدة كاملة ويرمز له بـــ T ويقاس بالثانية [Sec].

– تردد الموجة الجيبية: Frequency

نلاحظ من الشكل (2-1) أن القيمة اللحظية لموجة الجهد الكاملة تأخذ قيماً مختلفة، حيث تبدأ بالتزايد من الصفر إلى قيمة عظمى موجبة ثم تتناقص إلى الصفر، بعدها تتزايد في الاتجاه المعاكس إلى قيمة عظمى سالبة ثم تتناقص لتعود إلى الصفر، ويتكرر هذا النمط بصورة منتظمة مع مرور الزمن.

يسمى عدد الموجات في الثانية الواحدة بالتردد ويرمز له بـــ f ويعطى بالعلاقة:

$$f = \frac{1}{T}$$

ويقاس بالهرتز و للهرتز مضاعفات هي:

$KHz = 10^3 Hz$ كيلو هرتز

$MHz = 10^6 Hz$ ميغا هرتز

$GHz = 10^9 Hz$ جيغا هرتز

إن تردد التيار المتناوب المستعمل في بلادنا ومعظم دول العالم (50) هرتز، أما في الولايات المتحدة فيستعمل تردد (60) هرتز.

هل تعلم

إن اختيار قيمة تردد التيار المتناوب العام 50 هرتز لم يكن عشوائياً بل له أسبابه إذ إن انخفاض التردد عن القيمة المطلوبة يجعل العين تلاحظ ضوءاً متقطعاً ناتجاً عن المصباح ذي سلك التنغستين عندما ينخفض التردد إلى القيمة 40 هرتز. كما أن ارتفاع التردد يؤدي إلى ارتفاع ممانعة الأسلاك المستخدمة في نقل التيار المتناوب .

مثال:

إذا كان تردد التيار المتناوب الذي تزودنا به شركة الكهرباء يساوي 50 هرتز. احسب دور موجة هذا التيار؟

الحل:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0{\cdot}02 \quad \text{Sec}$$

هل تعلم

معظم أجهزة قياس الجهد والتيار تقيس القيمة الفعالة، وكذلك عندما يذكر الجهد أو التيار في المسألة فإنه يقصد بذلك القيم الفعالة إذا لم يذكر خلاف ذلك.

- القيمة الفعالة (المنتجة) : (Effective Value)

هي شدة تيار مستمر يعطي كمية الحرارة نفسها التي يعطيها التيار المتناوب وذلك خلال مرورهما في مقاومة معينة خلال الزمن نفسه، وتعطى بالعلاقة الآتية:

$$I_{rms} = I_{eff} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

وتعطى بالنسبة للجهد بالعلاقة:

$$V_{rms} = V_{eff} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

حيث V_m و I_m القيم العظمى للجهد والتيار.

- الجهد الأعظمي : (Maximum Value)

هو قيمة أعلى جهد تصله القيمة اللحظية للموجة الجيبية في النصف الموجب أو السالب لهذه الموجة.

يرمز للجهد الأعظمي بالرمز V_m

مثال:

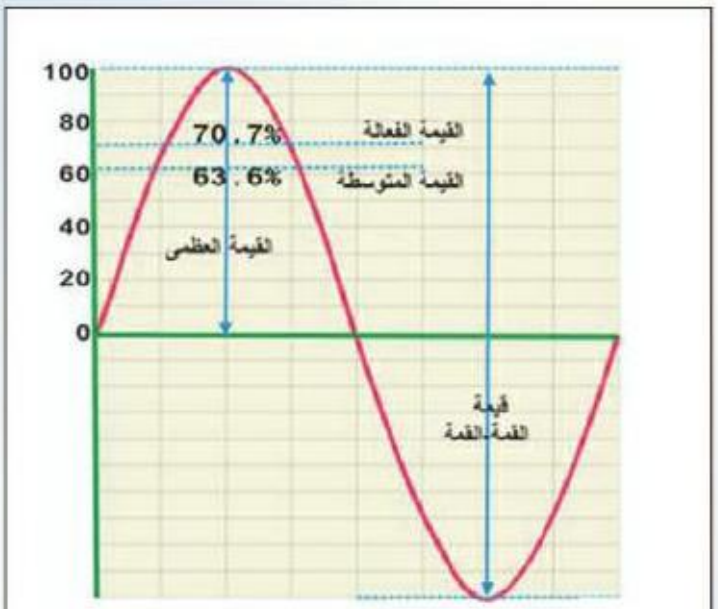
إذا كانت القيمة الفعالة للجهد المتناوب التي نحصل عليها من مأخذ التيار العام 220 فولت احسب القيمة العظمى لهذا الجهد.

الحل:

$$V_m = \sqrt{2}\ V_{eff}$$

$$V_m = \sqrt{2} \times 220 = 311 \quad [V]$$

يوضح الشكل (2 –2) القيم الأساسية للتيار المتناوب.



الشكل (2 –2) يبين القيم الأساسية للتيار المتناوب

هل تعلم

القيمة العظمى للجهد المتناوب الذي تحصل عليه من مأخذ التيار العام في المنزل هي (311V).

ـ السرعة الزاوية:

هي الزاوية التي تقطعها الموجة في ثانية واحدة وتعطى بالعلاقة:

$$W = 2\ \pi\ f$$

حيث إن الموجة الواحدة تقطع زاوية 2π راديان أو 360° وتقاس بالراديان في الثانية.

- جهد الموجة من القمة إلى القمة V_{pp} (Peak to Peak Value):

وهو القيمة المحصورة بين القيمة العظمى الموجبة والقيمة العظمى السالبة، وتساوي ضعف القيمة العظمى أي:

$$V_{pp} = 2.V_m$$

$$I_{pp} = 2.\ I_m$$

- القيمة المتوسطة للجهد V_{dc}-V_{av} (Average Value):

هي متوسط قيمة الجهد خلال زمن موجة واحدة، وتحسب بالنسبة لنصف الموجة الجيبية فقط، لأن النبضة الموجبة تساوي النبضة السالبة، فالقيمة المتوسطة للموجة الكاملة تساوي الصفر.

$$V_{av} = \frac{2}{\pi} V_m = 0{,}637.V_m$$

ويمكن أن نكتب أيضاً معادلة القيمة المتوسطة للتيار I_{av} :

$$I_{av} = 0{,}637.I_m$$

2-1-2 آلات توليد التيار المتناوب

يطلق اسم المنوبة على جميع الآلات التي تولد التيار المتناوب الجيبي، وتتألف من ملف يدعى المتحرض، يدور بين قطبي مغناطيس ثابت يسمى المحرض، تقطع السيالة المغناطيسية الناتجة عن المحرض ملفات المتحرض فتتولد فيه قوة محركة كهربائية تسبب مرور تيار كهربائي متناوب في دارة الحمل. يتم وصل الحمل إلى المنوبة عن طريق حلقتين نحاسيتين معزولتين عن بعضهما بعضاً وعن محور المنوبة، تتلامس معهما مسفرتان فحميتان. كما في الشكل (2– 3).

المولد الكهربي:

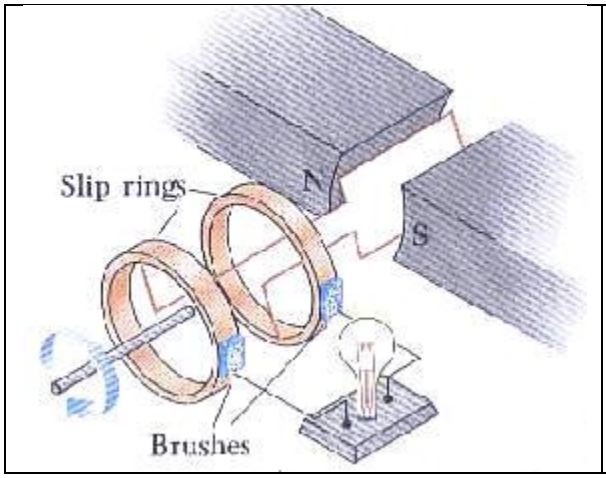
يقوم المولد الكهربي بتوليد التيار الكهربي المتردد الذي من خلاله يمكن تشغيل جميع الاجهزة الكهربية المستخدمة في حياتنا العملية، وتعتمد فكرة عمله على تحويل الطاقة الميكانيكية إلى طاقة طاقة كهربية من خلال تدوير ملف كهربي في وجود مجال مغناطيسي. ولتدوير الملف الكهربي نحتاج إلى مصدر طاقة ميكانيكية قد تكون الرياح 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.

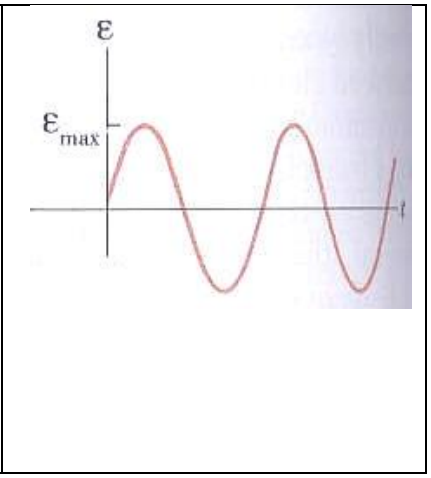
لنفرض أن عدد لفات الملف الكهربي N لفة ومساحة الملف A وسرعة دوران الملف هي سرعة زاوية مقدارها w. اذا كانت الزاوية q هي الزاوية الحصورة بين المجال المغناطيسي والعمودي على مستوى الملف الكهربي فإن الفيض المغناطيسي للملف عند أي زمن t يعطى بالعلاقة التالية:

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

where $\theta = \omega t$

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





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

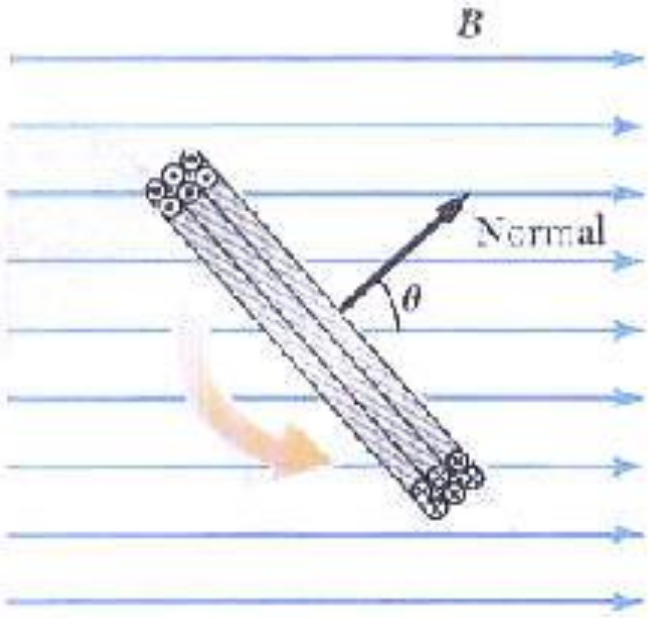
توضح المعادلة السابقة أن القوة الدافعة الكهربية *emf* متغيرة بدالة جيبية في الزمن ولهذا السبب يسمى التيار الناتج عن المولد الكهربي بالتيار المتردد. وتكون اكبر قيمة للقوة الدافع الكهربية عندما تكون الزاوية q تساوي 90 أو 270 درجة وتعطى بالعلاقة التالية:

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

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

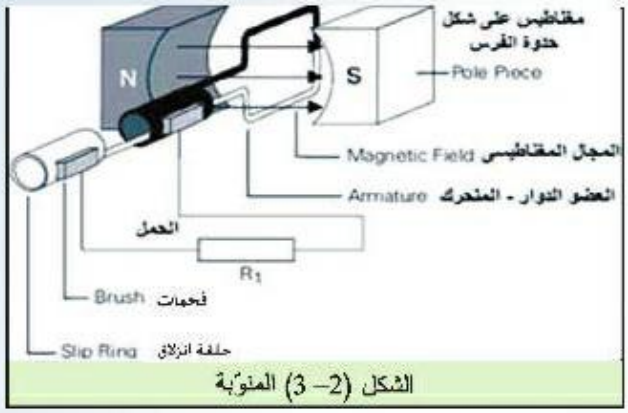
الموتور الكهربى:

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 العديدة.



لنفسر سبب استخدامنا للتيار المتناوب

تم اعتماد التيار المتناوب في أنظمة القدرة بدلاً من التيار المستمر لأنه يمكننا رفع وخفض قيمة الجهد المتناوب باستخدام المحولات، مما يسمح بنقله و إيصاله إلى مسافات بعيدة بسهولة ودون خسائر بالقدرة في أسلاك النقل .



الشكل (2– 3) المنوّبة

يرمز لمصدر التيار المتناوب بالرمز:

3-1-2 آلية توليد التيار المتناوب

تعطى القوة المحركة الكهربائية المتولدة في المتحرض (الملف) عند دورانه بين قطبي المغناطيس الثابت بالعلاقة:

$$e = v = -B.L.V.\sin\alpha \qquad (1)$$

e: لقوة المحركة للكهربائية المتولدة وتساوي فرق الجهد اللحظي المتولد مقدراً بالفولت.

B: كثافة التدفق المغناطيسي مقدرة بالويبر/م^2.

L: طول الناقل المتحرك مقدراً بالمتر.

V: سرعة دوران الناقل مقدرة بالمتر/ثا.

α: الزاوية بين السرعة الخطية V وخطوط الحقل أو زاوية دوران الناقل.

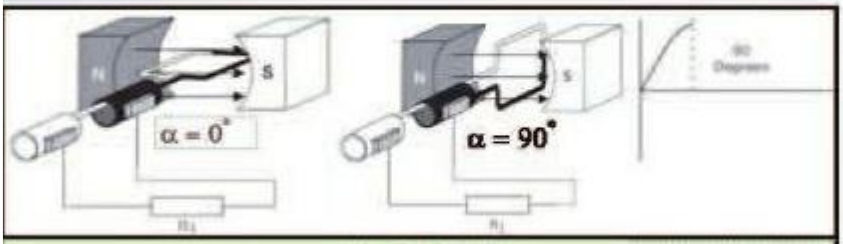
لنبين كيفية الحصول على الجهد المتناوب وذلك بمتابعة حركة الملف (الإطار) وهو ينجز دورة كاملة وفي أوضاعه المختلفة.

1 - الوضع (0-90):

لايتولد أي جهد عندما تكون الزاوية ($\alpha = 0^\circ$) بين مستوي الملف وخطوط المجال لأن الملف لا يقطع خطوط المجال المغناطيسي، كما في الشكل (2-4)، وبالتعويض في العلاقة (1) نجد:

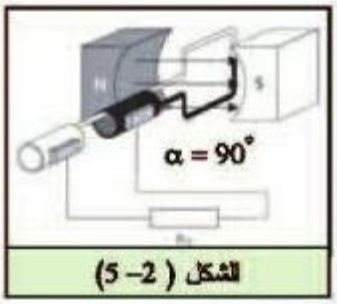
$$\alpha = 0^\circ \Rightarrow \text{Sin}\,\alpha = 0$$

$$e = B.L.\,v.\,\text{Sin}\,\alpha = 0$$



الشكل (2-4)

وما إن يدور الملف حتى يبدأ بقطع خطوط المجال المغناطيسي، فيتولد بين طرفيه جهداً، ويبدأ هذا الجهد بالارتفاع حتى يصل إلى قيمته العظمى (V_m) عند الزاوية ($\alpha=90^\circ$)، حيث يكون عدد خطوط المجال المغناطيسي التي يقطعها الملف أعظمياً، كما هو موضح في الشكل (2- 5). وبالتعويض في العلاقة (1) نجد:



الشكل (2-5)

$$\alpha = 90^\circ \Rightarrow \text{Sin}\,\alpha = 1$$

$$e = B.L.\,v.\,\text{Sin}\,\alpha$$

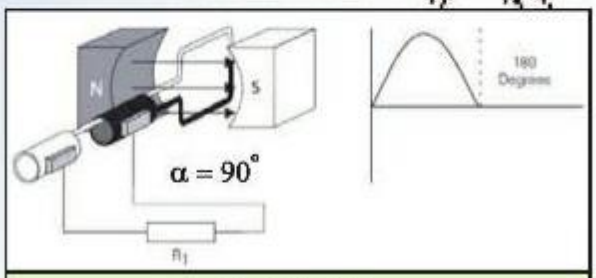
$$e = V_m = B.L.V \qquad (2)$$

2 - الوضع (90-180):

عندما تزيد زاوية دوران الملف عن (90°) درجة، يبدأ الجهد المتولد بالانخفاض لأن الملف يقطع عدداً أقل من خطوط المجال المغناطيسي. وعندما تصل الزاوية (α=180°) درجة، يصبح الجهد المتولد صفراً مرة ثانية لأن الملف يصبح موازياً لخطوط المجال المغناطيسي، ويبين الشكل (2– 6) ذلك. وبالتعويض في العلاقة (1):

$$\alpha = 180^\circ \Rightarrow \text{Sin}\,\alpha = 0$$

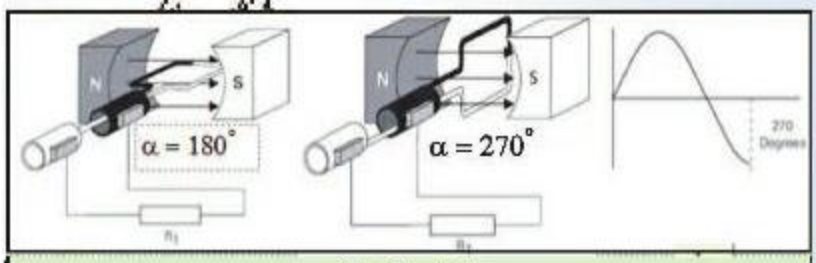
$$e = B.L.\,v.\,\text{Sin}\,\alpha = 0$$



الشكل (2– 6)

3 - الوضع (180-270):

عندما تزيد زاوية دوران الملف عن (180°) درجة يبدأ الجهد المتولد بالازدياد لأنه يقطع خطوط المجال مرة ثانية. وتكون قيمته سالبة لأن قطبية الملف تنعكس بسبب انعكاس اتجاه طرفيه بالنسبة لخطوط المجال المغناطيسي، ، وعندما يصبح مستوي الملف متعامداً مع خطوط المجال المغناطيسي (α=270°) تصبح قيمة الجهد السالب المتولد أعظمية ، ويبين الشكل (2– 7) ذلك.



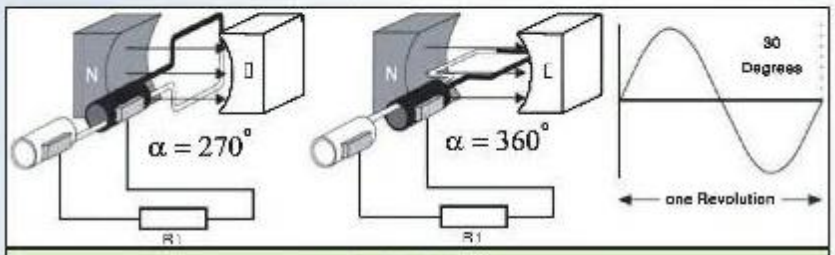
الشكل (2– 7)

$$\alpha = 270^{\circ} \Rightarrow \text{Sin}\,\alpha = -1$$

$$e = V_m = B.L.\,v.\,\text{Sin}\,\alpha = -B.L.\,v$$

4 - **الوضع (270-360):**

عندما يتجه الملف نحو النقطة التي بدأ فيها بالدوران ، يبدأ الجهد المتولد بالتناقص حتى يصبح مساوياً للصفر، كما هو مبين بالشكل (2– 8).



الشكل (2– 8)

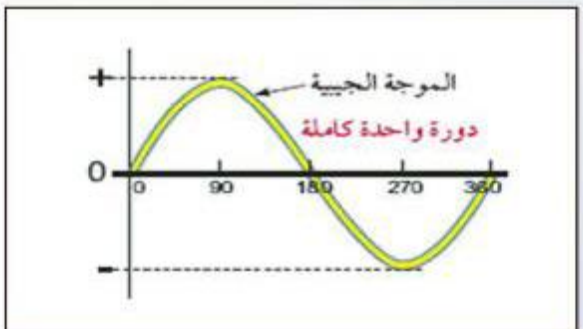
نتيجة

مما سبق نستنتج أنه تتشكل موجة جيبية واحدة عند كل دورة كاملة للملف.

وبتعويض العلاقة (2) بالعلاقة (1) نجد:

$$e = v = Vm\,.\,\sin\alpha$$

تعبر هذه العلاقة عن القيمة اللحظية للجهد عند زاوية دوران محددة (α) كما في الشكل (2 - 9).

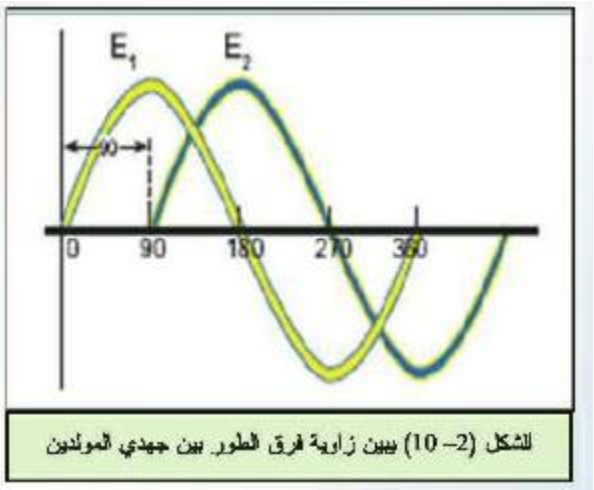


الشكل (2– 9) الموجة الجيبية

4-1-2 زاوية الطور (PHASE ANGLE)

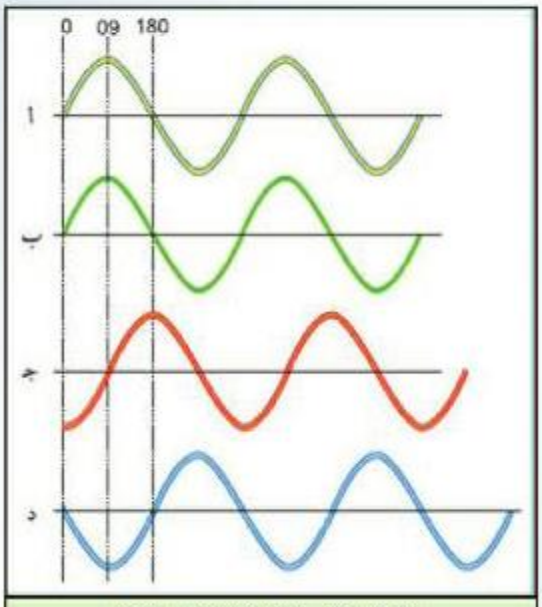
إن القيم الثلاث في الموجات الجيبية للجهد أو التيار المتناوب التي يمكن تغييرها هي: الاتساع والتردد والطور. فالطور هو عدد الدرجات الكهربائية التي تتقدم أو تتأخر بها موجة على موجة أخرى.

ولتوضيح مفهوم الطور، لنفرض أن لدينا مولدين متماثلين تماماً لتوليد الجهد المتناوب، كالمولد المبين في الشكل (2– 3)، وأننا بدأنا بإدارة المولد (الأول) أولاً، وبعد مرور فترة من الزمن بدأنا بإدارة المولد (الثاني) وبالسرعة نفسها التي أدرنا بها المولد (الأول). ولنفرض أن المولد (الأول) تحرك عبر زاوية مقدارها (90°) درجة عندما أدرنا المولد (الثاني)، فسيكون هناك فرق في زاوية الدوران بين المولدين مقدارها (90°) درجة في أي لحظة زمنية. وبذلك يمكن إن نقول أن الموجة الجيبية التي ينتجها المولد (الأول) تتقدم على الموجة الجيبية التي ينتجها المولد (الثاني) بزاوية مقدارها (90°) درجة، أو أن موجة المولد (الثاني) تتأخر عن موجة المولد (الأول) بزاوية مقدارها (90°) درجة ونبين في الشكل (2– 10) موجتي الجهد للمولدين وزاوية فرق الطور بينهما.



الشكل (2– 10) يبين زاوية فرق الطور بين جهدي المولدين

ولتوضيح مفهوم زاوية فرق الطور أكثر، نبين في الشكل (2– 11) أربع موجات جيبية ذات اتساع وتردد واحد لكنها متفقة أو مختلفة بالطور فيما بينهما.



الشكل (2– 11) إشارات مختلفة

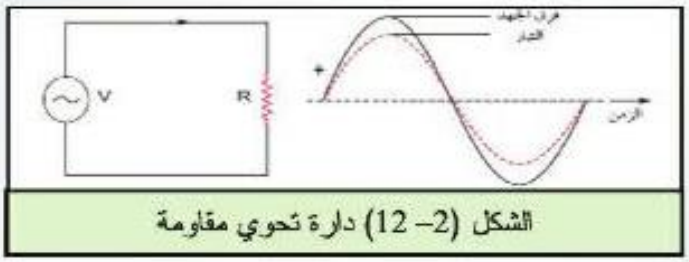
إذا استخدمنا الموجة (أ) كمرجع لنوازن معها الموجات الأخرى، فإن الموجة (ب) تكون متفقة معها تماماً بالطور.

أما الموجة (ج) فإنها تقطع خط الصفر متأخرة عن الموجة بمقدار (90°) درجة، وهكذا يقال إن الموجة (ج) تتأخر عن الموجة (أ) بزاوية مقدارها (90°) درجة.

وأخيراً فإن الموجة (د) تقطع خط الصفر بعد الموجة (أ) بزاوية مقدارها (180°) درجة، ولذا يقال إن الموجة (د) تتأخر عن الموجة (أ) بزاوية مقدارها (180°) درجة، كما يمكن القول إن الموجة (د) تتعاكس تماماً في الطور مع الموجة (أ).

أ- دارة تحوي مقاومة

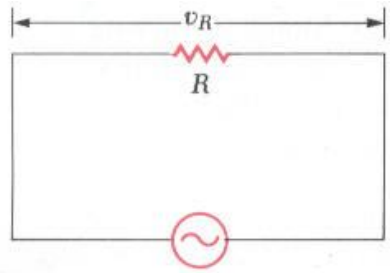
عند مرور تيار متناوب في مقاومة فإنه يتحول إلى قدرة حرارية. ويتغير هذا التيار باللحظة نفسها التي يتغير فيها الجهد، إذ يصل التيار إلى قيمته العظمى لحظة وصول جهد المنبع إلى قيمته العظمى. وعليه لا يوجد فرق طور بين الجهد المطبق على المقاومة والتيار المار بها كما يبين الشكل (2- 12).



الشكل (2– 12) دارة تحوي مقاومة

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 وV_m القيمة العظمى لفرق الجهد، وتكون قيمة التيار اللحظي

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

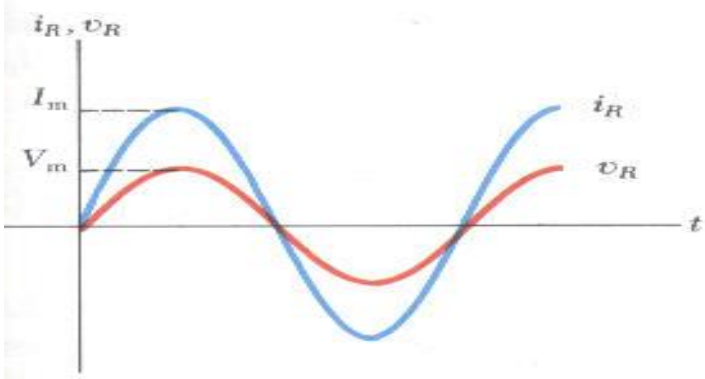
حيث أن I_m القيمة العظمى للتيار المار في المقاومة،

$$I_m = V_m/R$$

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

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

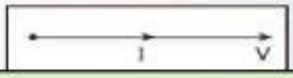
من المعادلة الأخيرة نستنتج أن كلاً من الجهد والتيار يتغيران بدالة جيبية وبنفس الطور In Phase وهذا كما يوضحه الشكل التالي:



يتم تمثيل الجهود والتيارات بأشعة بحيث:

- تمثل طويلة الشعاع مقدار فرق الجهد أو شدة التيار بمقياس رسم معين.
- تمثل الزاوية التي يصنعها هذا الشعاع مع المحور الأفقي مقدار فرق الصفحة
- يمكن اعتبار أحد شعاعي الجهد أو التيار كمحور أفقي بحسب وصل العناصر المكونة للدارة الكهربائية.

وبالنسبة للدارة السابقة التي تحوي مقاومة فقط ينطبق شعاع التيار على شعاع الجهد، ويبيّن الشكل (2-13) المخطط الشعاعي لهذه الدارة:



الشكل (2– 13) يبين المخطط الشعاعي للتيار والجهد في المقاومة

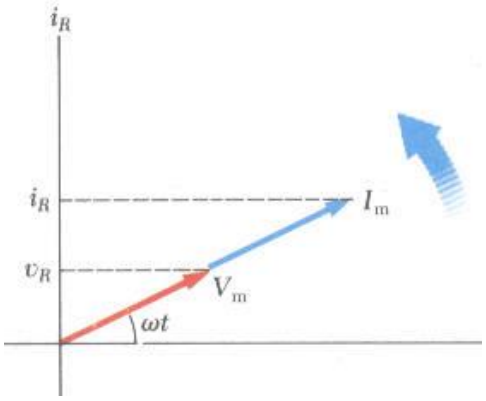
نطبق على هذه الدارة قانون أوم: $V=I.R$

وتعطى الاستطاعة المفقودة بالعلاقة:

$$P = V.I = I^2.R = \frac{V^2}{R}$$

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 الأفقي 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 $P = i^2R$ 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 بـ 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 بـ $P_{av}=I_{rms}^2 R$

ب- دارة تحــوي مكثفاً

تتناسب الشحنة على أطراف المكثف مع قيمة جهد المنبع بحسب العلاقة:

$$(Q=C.V)$$

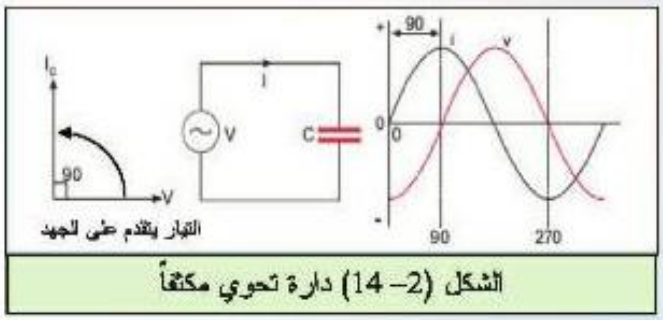
حيث Q هي شحنة المكثف، و V هو الجهد على طرفي المكثف. إذ تتغير قيمة شحنة المكثف مع التغير الدائم في جهد المنبع حيث يمر تيار شحن في دارة المكثف أثناء تزايد جهد المنبع، ويمر تيار تفريغ في دارة المكثف أثناء تناقص جهد المنبع وبالنتيجة يمر تيار متغير في الدارة بسبب توالي عمليات الشحن والتفريغ، وهكذا فإن المكثف يشحن باتجاه معين خلال نصف الموجة الموجب، ويشحن باتجاه معاكس خلال نصف الموجة السالب.

يكون الجهد بين طرفي المكثف أعظمياً عندما يكون تيار الشحن صفراً، ويصبح الجهد صفراً عندما يكون تيار الشحن أعظمياً، أي إن شعاع التيار يتقدم بزاوية 90° درجةعلى شعاع الجهد، وبالتالي فان زاوية فرق الطور تساوي $\theta=90^{\circ}$.

تسمى معارضة المكثف لمرور التيار بالإعاقة السعوية ويرمز لها بالرمز X_C وتقاس بالأوم [Ω] وتعطى بالعلاقة الآتية:

$$X_C = \frac{1}{2\pi . f . C} = \frac{1}{W.C} \quad \Omega$$ وتقاس بالأوم

من العلاقة السابقة نجد أن إعاقة المكثف تتناسب عكساً مع سعة المكثف [C]، وتتناسب عكساً مع التردد [f] ، أي تزداد إعاقة المكثف بانخفاض قيمة السعة وانخفاض قيمة التردد.

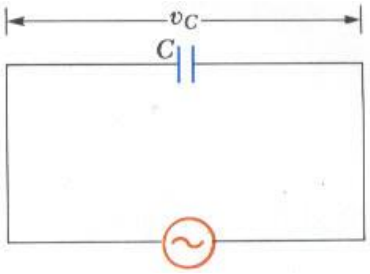


الشكل (2– 14) دارة تحوي مكثفاً

يعطى الجهد بين طرفي المكثف بالعلاقة: $V = X_C I$

Capacitor in an AC circuit

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



$$v - v_C = 0$$

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

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

$$v_C = Q/C$$

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

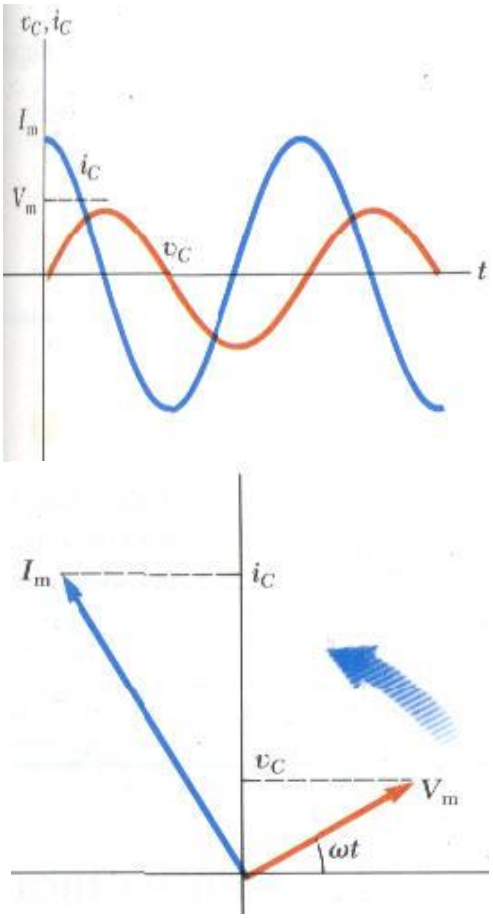
The current $i_C = dQ/dt$

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

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،

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

المعا وقه السعوية $X_C = 1/\omega C$

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

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

ج- دارة تحوي ملف

يؤثر الملف على مرور التيار الكهربائي فقط عندما يتغير هذا التيار، فيتولد بين طرفي الملف قوة محركة كهربائية تحريضية ذاتية تؤدي إلى توليد تيار كهربائي ذي اتجاه يعاكس اتجاه تغير شدة التيار الأصلي المار في الملف، وتعطى هذه القوة بالعلاقة:

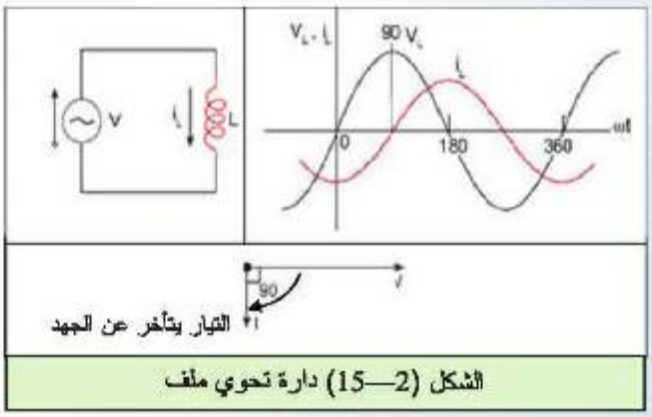
$$e = -N\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

فعند زيادة شدة التيار/ $\Delta I > 0$ /(التيار موجب) تكون القوة المحركة الكهربائية التحريضية سالبة. وعند تناقص شدة التيار/ $\Delta I < 0$ /(التيار سالب) تكون القوة المحركة الكهربائية التحريضية موجبة. مما سبق نستنتج أن جهة التيار المتحرض تعاكس جهة التيار المحرض وبالتالي فإن التيار يتأخر 90° عن شعاع الجهد كما في الشكل (2-15).

تسمى معارضة الملف لمرور التيار بالإعاقة التحريضية ويرمز لها بالرمز X_L وتقاس بالأوم [Ω] وتعطى بالعلاقة الآتية:

$$X_L = 2\pi f L$$

ومن هذه العلاقة نجد بأن إعاقة الملف تتناسب طرداً مع عامل التحريض الذاتي للملف، وطردا مع التردد، أي تزداد إعاقة الملف بزيادة عامل التحريض الذاتي، وبزيادة التردد.

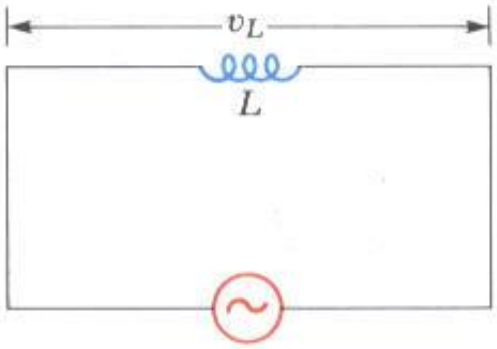


الشكل (2—15) دارة تحوي ملف

ويعطى الجهد بين طرفي الملف بالعلاقة:

$$V = X_L . I$$

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



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

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

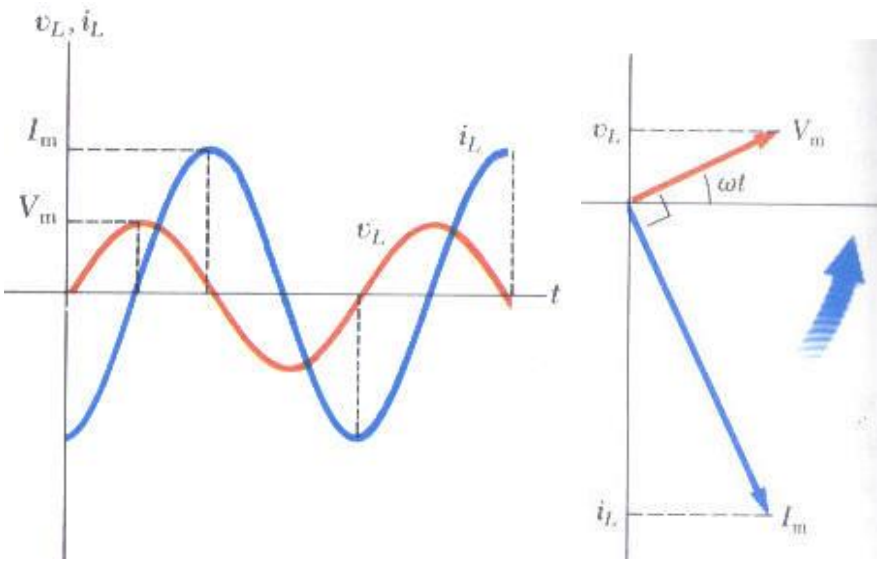
$$i_L = \frac{V_m}{L}\int \sin \omega t \, dt = -\frac{V_m}{\omega L}\cos \omega t$$

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،

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

المعا وقه الحثيه $X_L = \omega L$

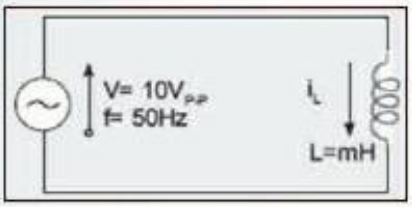
تعطى قيمة فرق الجهد اللحظي بدلالة التيار من خلال المعادلة التالية:

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

مثـــــال

ملف عامل تحريضه الذاتي 10mH وصل مع منبع جهد مقداره Vpp =10V وتردده 50Hz احسب قيمة شدة التيار الفعال المار فيه؟

الحـــــل



$$X_L = 2\pi . f . L$$

$$X_L = 2 \cdot 3{,}14 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 3{,}14 \quad \Omega$$

$$V_{rms} = \frac{V_{pp}}{2\sqrt{2}} = \frac{10}{2\sqrt{2}} = 3.536 \ V$$

$$Irms = \frac{Vrms}{XL} = \frac{3.536}{3.14} = 1.13 \ A$$

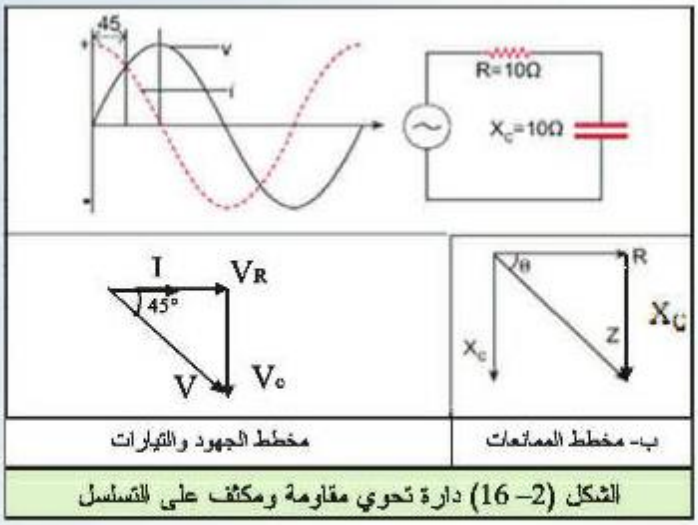
د- دارة تحوي مقاومة ومكثفا

في الدارة المبينة بالشـــكل (2- 16) يتقدم التيار الكلي على الجهد المطبق بـــزاويـــة طور تتراوح بين الصفر و 90° حيث ينطبق الجهد بين طرفي المقاومة على التـــيـــار، ويتأخر الجهد بين طرفي المكثف عن التيار بزاوية 90° كما هو مبين في الشكل (2- 16).

وعندما يكون $X_c=R$ فإن الزاوية بين الجهد المطبق والتيار الكلي تساوي $\theta = 45^\circ$ ونحصل على مخطط الممانعات المبين بالشكل (2- 16) حيث:

$$V_R = I.R \quad , \quad V_c = X_c.I \quad , \quad V = I.Z$$

ومن ثم نختصر قيمة I من القيم التي سنرسمها على المخطط لأن قيمة I متساوية فيها.



الشكل (2– 16) دارة تحوي مقاومة ومكثف على التسلسل

يعطى الجهد الكلي بالعلاقة: $V = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$

وتعطى الممانعة الكلية بالعلاقة: $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$

ومنه فإن عامل النوعية يعطى بالعلاقة: $Q = \frac{X_C}{R} = \frac{1}{W.R.C}$

مثـــــال

في الدارة المبينة في الشكل (2– 16) إذا علمت أن جهد المنبع يساوي 10V أوجد قيمة التيار الكلي المار في الدارة، والزاوية بين الجهد والتيار.

الحـــــل

نوجد قيمة الممانعة Z $Z = \sqrt{R^2 + X_c^2} = \sqrt{200} = 14{,}142 \quad \Omega$

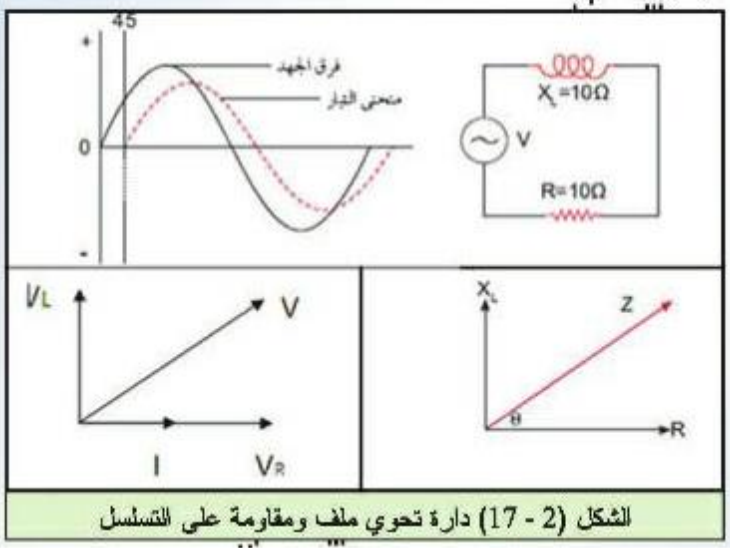
نعوض في معادلة التيار $I = \frac{V}{Z} = \frac{10}{14{,}142} = 0{,}71 \quad A$

وبما أن الدارة سعوية فإن التيار يسبق الجهد بزاوية θ تحسب بالعلاقة:

$$\tan\theta = \frac{X_c}{R} = \frac{10}{10} = 1 \Rightarrow \theta = 45°$$

هـ- دارة تحوي مقاومة وملفاً على

في هذه الدارة يتأخر التيار عن الجهد بزاوية تتراوح بين الصفر و 90° درجة وبالطريقة السابقة نفسها نرسم ما يلي:



الشكل (2 - 17) دارة تحوي ملف ومقاومة على التسلسل

من المخططات المبينة في الشكل(2– 17) نجد أن:

الجهد الكلي يعطى بالعلاقة:

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$

وأن الممانعة الكلية تعطى بالعلاقة:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

وأن عامل النوعية هو:

$$Q = \frac{X_l}{R} = \frac{W_l}{R}$$

مثـــــال

بالاعتماد على القيم المعطاة في الدارة المبينة في الشكل(2– 17) يطلب حساب قيمة التيار الفعال المار في الدارة والزاوية بين جهد المنبع والتيار.

الحـــــل

أولاً :نحسب قيمة الممانعة الكلية للدارة:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \quad = \sqrt{200} = 14{,}1421 \quad \Omega$$

ونحسب التيار باستخدام قانون أوم:

$$V = I \cdot Z$$

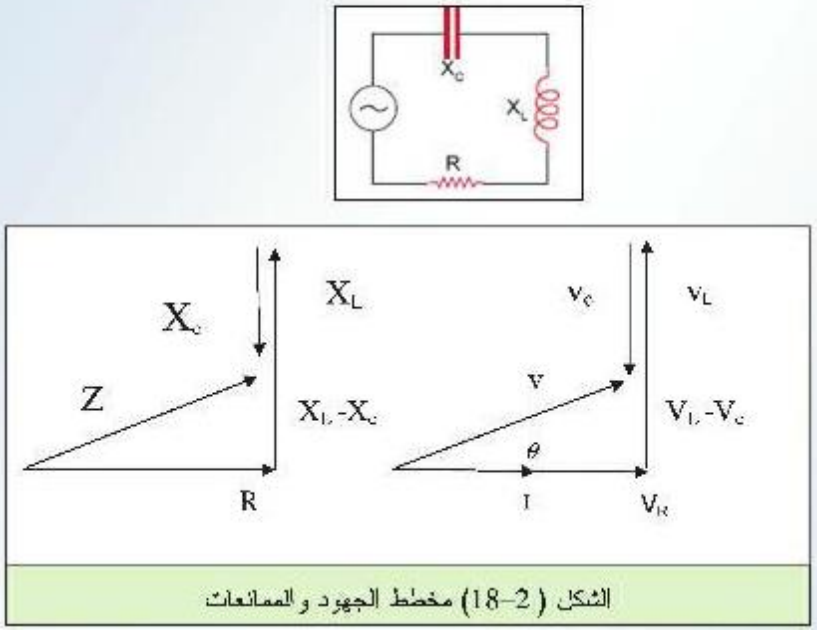
$$\Rightarrow I = \frac{V}{Z} = \frac{10}{14{,}1421} = 0{,}71 \quad A$$

وكما نعلم فإنه في هذه الدارة يتأخر التيار عن الجهد بالزاوية:

$$\tan\theta = \frac{X_L}{R} = \frac{10}{10} = 1 \quad \Rightarrow \theta = 45^0$$

و- دارة تحوي مقاومة وملفاً ومكثفاً على

يفرض $x_c < x_L$ يكون $V_c < V_L$ وبما أن جهد المقاومة ينطبق على التيار، وجهد الملف يتقدم 90° على التيار، وجهد المكثف يتأخر 90° عن التيار، تنتج لدينا المخططات الآتية المبينة في الشكل (2– 18):



الشكل (2–18) مخطط الجهود و الممانعات

نلاحظ من الشكل أعلاه أن الجهد الكلي يسبق التيار الكلي بزاوية θ. وباستخدام قانون فيثاغورث في المخططات السابقة نجد أن:

الجهد الكلي يعطى بالعلاقة:

$$V = I \cdot Z = \sqrt{V_R^2 - (V_L - V_C)^2}$$

وأن الممانعة الكلية تعطى بالعلاقة:

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

ونقول إن الدارة في حالة رنين (Resonance) عندما تكون:

$$X_C = X_L$$

ونرمز لتردد الرنين بالرمز f_r وبتعويض قيم كل من X_C و X_L في المعادلة السابقة نجد:

$$\Rightarrow \frac{1}{2\pi . f . C} = 2\pi . f . L$$

$$\Rightarrow (2\pi)^2 . f^2 . L . C = 1$$

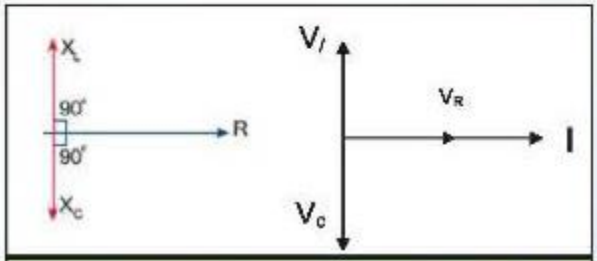
$$fr = \frac{1}{2\pi\sqrt{L . C}}$$

حيث f_r تردد الرنين ويقاس بالـ هرتز [HZ].

وعند f_r الرنين تكون ممانعة الدارة أصغر ما يمكن أي إن: $Z = R$ ويكون :

$$V = I \cdot Z$$

كما أنه عند تردد الرنين فان زاوية الطور بين الجهد والتيار في الدارة تساوي الصفر $\theta = 0^\circ$ ونبيّن ذلك في الشكل (2- 19).

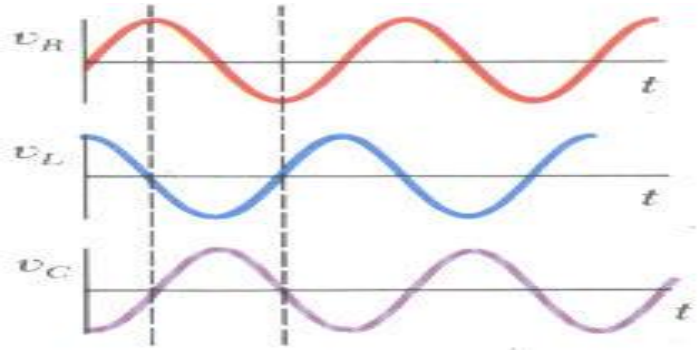


الشكل (2– 19) مخطط الجهود والممانعات عند الرنين

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

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 f.

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:

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

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

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

وتعطى القيم العظمى من خلال المعادلات التالية

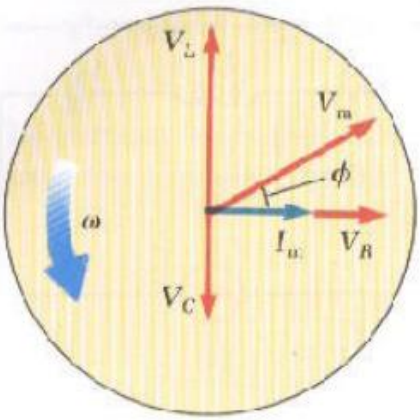
$$V_R = I_m R$$

$$V_L = I_m X_L$$

$$V_C = I_m X_C$$

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

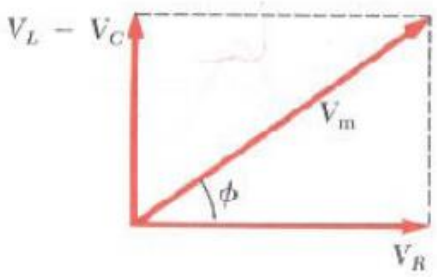
$$v = v_R + v_L + v_C$$



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

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

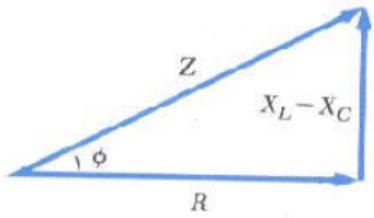
Therefore,

$$V_m = I_m Z$$

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

مثـــال

أوجد الممانعة الكلية والتيار المار في الدارة المبينة في الشكل التالي وذلك عندما نطبق على الدارة جهداً مقداره 220 V؟

الحـــل

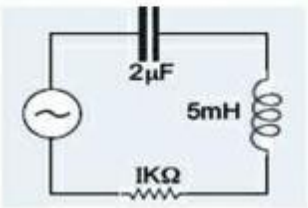
أولاً نحسب X_L من العلاقة :

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

نعوض فنجد:

$$X_L = 2 \cdot 3.14 \cdot 50 \cdot 5 \cdot 10^{-3}$$

$$= 1,571\,\Omega$$



ثانياً نحسب قيمة X_c من العلاقة:

$$X_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2\pi \times 50 \times 2 \times 10^{-6}}$$

$$X_c = 1591,55 \quad \Omega$$

نحسب قيمة الممانعة الكلية من العلاقة:

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

$$Z = \sqrt{(1000)^2 + (1,571 - 1591,55)^2}$$

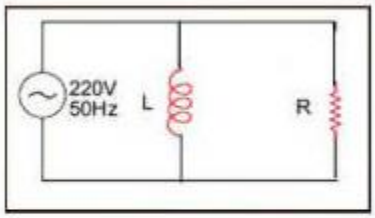
$$Z = 1878 \quad ,31 \quad \Omega$$

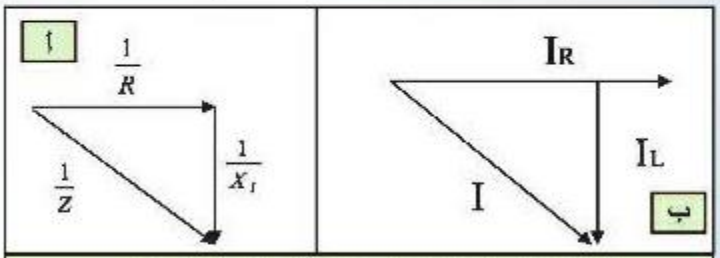
ونحسب التيار وفق الآتي:

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{220}{1878,31} = 0,117 \quad A$$

ز- دارة تحوي مقاومة وملفاً على التفرع

يتساوى في هذه الدارة الجهد على المقاومة مع الجهد على طرفي الملف، ويكون التيار الكلي هو حاصل جمع تياري المقاومة والملف.





الشكل (2– 21) دارة تحوي ملفاً ومقاومة على التفرع

نحصل على المخطط (21– أ) بتعويض قيمة كلٍ من:

$$I_L = \frac{V}{X_L} \qquad I_R = \frac{V}{R}$$

$I = \frac{V}{Z}$ ومن ثم نختصر قيمة V من القيم التي سنرسمها على المخطط لأن قيمة V متساوية فيها فنحصل على:

الناقلية $G = \frac{1}{R}$ ، سماحية الملف $BL = \frac{1}{X_L}$

باستخدام فيثاغورث في المخطط نجد أن:

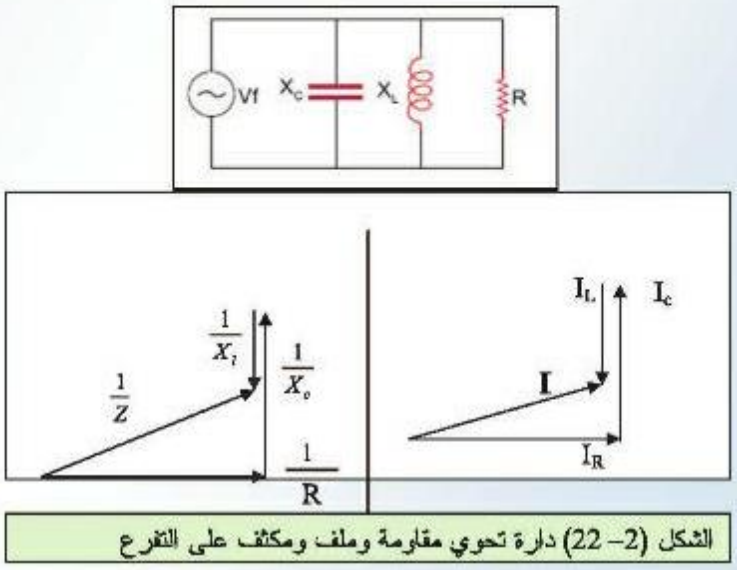
التيار الكلي يعطى بالعلاقة: $I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2}$

والممانعة الكلية تعطى العلاقة: $\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2}} \Rightarrow Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \frac{1}{X_L^2}}}$

وأن عامل الاستطاعة: $\cos\theta = \frac{Z}{R}$

ح- دارة تحوي دارة مقاومة وملفاً ومكثفاً على

تميل هذه الدارة للتصرف كمكثف إذا كان تيار المكثف أكبر من تيار الملف، وتميل للتصرف كملف إذا كان تيار الملف أكبر من تيار المكثف ويبين ذلك الشكل (2– 22).



الشكل (2– 22) دارة تحوي مقاومة وملف ومكثف على التفرع

ونجد أن التيار ينطبق على الجهد في المقاومة، ويتقدم تيار المكثف بزاوية 90° على الجهد، ويتأخر تيار الملف بزاوية 90 ° عن الجهد.

ويفرض $X_L < X_C$ نطبق نظرية فيثاغورث على المخطط فنجد:

التيار الكلي يعطى بالعلاقة: $I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$

وأن الممانعة الكلية تعطى بالعلاقة:

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2} \Rightarrow Z = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R^2} + \left(\frac{1}{X_L} - \frac{1}{X_C}\right)^2}}$$

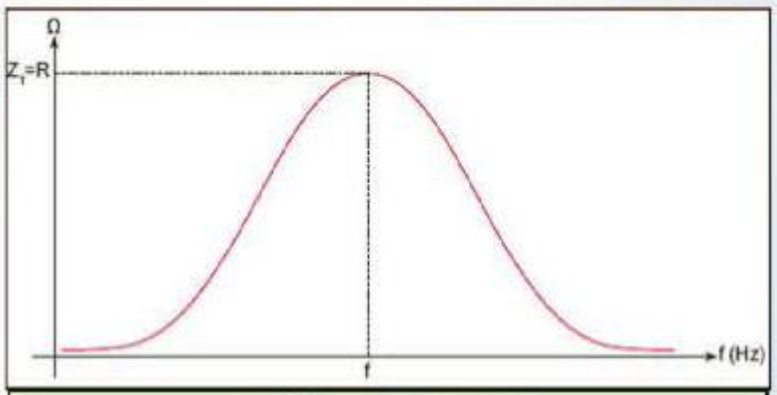
وفي حالة الرنين يكون $X_c = X_l \Rightarrow I_L = I_C \Rightarrow I = I_R$

بالتعويض في العلاقة السابقة نجد أن الممانعة الكلية في حالة الرنين هي: $Z = R$

ويكون تردد الرنين حسب العلاقة:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

يبين الشكل (2– 23) التالي تغير ممانعة الدارة حسب تغير تردد المنبع.



الشكل (2– 23) ممانعة الدارة

2-2-2 الاستطاعة في دارات التيار المتناوب

مقدمة:

تأخذ الاستطاعة المستهلكة في مقاومة مادية شكل الاستطاعة الحرارية ولا ترجع للمنبع وتسمى بالاستطاعة الفعلية (true / Active power) ويرمز لها بالرمز (P) وهي معدل انتقال الاستطاعة من منبع الجهد المتناوب إلى الحمل. أما القدرة المختزنة في مجال مغناطيسي لملف أو في مجال كهربائي متواجد على ألواح المكثف تعود للمنبع عندما يغير التيار اتجاهه وتسمى عندها هذه الاستطاعة بالاستطاعة غير الفعلية أو الخيالية (Reactive / Imaginary power) ويرمز لها بالرمز Q، أما الاستطاعة الكلية في دارة فهي عبارة عن المجموع الشعاعي للاستطاعة الفعلية P وغير الفعلية Q وتسمى بالاستطاعة الظاهرية (Apparent power).

الاستطاعة الفعلية

هي معدل انتقال الاستطاعة الكهربائية من منبع الجهد المتناوب إلى الحمل (المقاومة) وتتحول هذه الاستطاعة الكهربائية إلى شكل آخر من أشكال الاستطاعة مثل الاستطاعة الحرارية، الضوئية، الميكانيكية وكمثال على ذلك:

تتحول في السخان الكهربائي الاستطاعة الكهربائية تماماً إلى حرارة وهي تساوي:

$$P = V_{eff} \cdot I_{eff}$$

حيث:

V_{eff} الجهد الفعال للمنبع.

I_{eff} القيمة الفعالة للتيار المار في الحمل (المقاومة).

وتقاس هذه الاستطاعة بواحدة الواط (watt).

مثـــال

أوجد الاستطاعة الفعلية المستهلكة في سخان يعمل على جهد V 220 ويمر فيه تيار مقداره $10A$؟

الحـــل

$$P = V \cdot I = 220 \times 10 = 2200 \quad Watt$$

الاستطاعة غير الفعلية أو الرد فعلية (الخيالية)

بعض العناصر الكهربائية لها خاصية تخزين الطاقة كالمكثف والملف، فعند توصيلها مع منبع جهد متناوب تنتقل الاستطاعة الكهربائية بين المنبع والحمل في حركة ذهاب وإياب دون تحويلها لشكل آخر من أشكال الاســتطاعة، ويمر عندها تيــار بين المنبع والحمل ويكون هناك جهد كهربائي، وعندها لا تستهلك الاستطاعة فعلياً في الدارة، ويعتبر العنصر حملاً وهمياً.

ويعد حاصل ضرب القيمة الفعالة للجهد بالقيمة الفعالة للتيار في هذه الحالة استطاعة خيالية (أي ليست حقيقية)، ويرمز لها بالرمز Q، ووحدة قياسها الفار(VAR).

$$Q = V . I$$

حيث:

V الجهد الفعال للمنبع.

I القيمة الفعالة للتيار المار في الملف أو المكثف.

الاستطاعة الظاهرية

إذا كان لدينا حمل مركب في دارة (مقاومة ومكثف) فإن الاستطاعة الفعلية المنتقلة من المنبع إلى الحمل تساوي:

$$P = I_R \cdot V$$

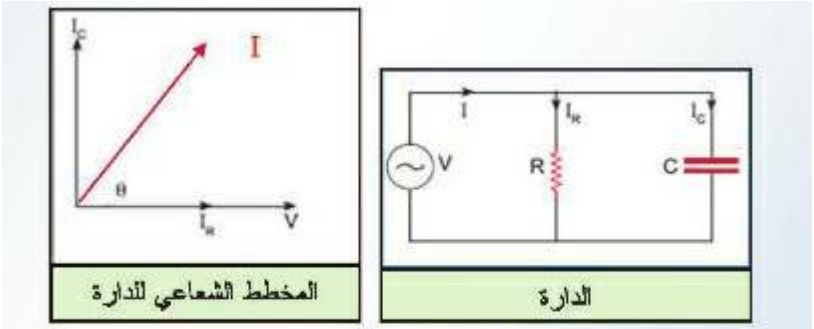
وتكون المقاومة هي العنصر الأساسي المستهلك للاستطاعة في الدارة. بينما يقوم المكثف بأخذ كمية الاستطاعة من المنبع وإرجاعها بشكل متكرر أي:

$$Q = V \cdot I_c$$

وبالتالي فإن الاستطاعة الظاهرية تساوي:

$$S = V \cdot I$$

وواحدة قياسها هو الفولت أمبير ولتوضيح ذلك نأخذ الدارة المبينة في الشكل (2– 24) الآتية :



المخطط الشعاعي للدارة

الدارة

الشكل (2– 24)

نطبق علاقات المثلث القائم على المخطط الشعاعي المبين في الشكل (2– 24):

$$I_R = I.\cos\theta$$

$$I_c = I.\sin\theta$$

وبالتعويض نجد:

1– الاستطاعة الفعلية:

$$P = V.I_R$$
$$= V.I.\cos\theta$$

2– الاستطاعة الردية (غير الفعالة):

$$Q = V.I_c$$
$$= V.I.\sin\theta$$

3– الاستطاعة الظاهرية:

$$S = V.I$$

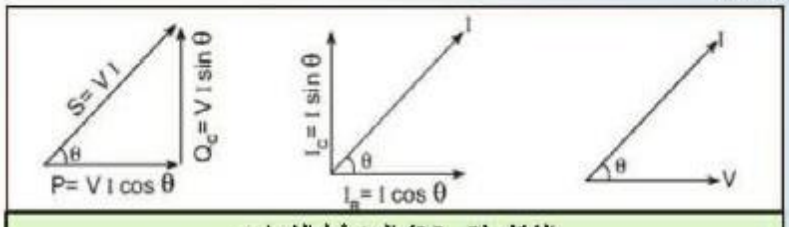
حيث الزاوية θ هي الزاوية بين التيار الكلي وجهد المنبع، ويعطى عامل الاستطاعة

بالمعادلة:

$$\cos\theta = P / S$$

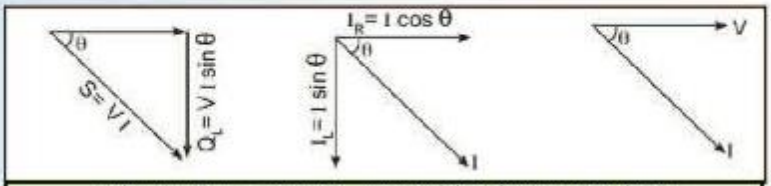
تعتمد قيمة عامل الاستطاعة $\cos\theta$ على عناصر الدارة الكهربائية. وتتراوح قيمته بين الصفر والواحد.

يمكننا رسم المخطط الشعاعي للدارة المبينة بالشكل (2– 24) كما هو مبين في الشكل (2– 25)



الشكل (2– 25) المخطط الشعاعي

كما يمكننا رسم المخطط الشعاعي لدارة تحوي مقاومة وملفاً وفق ما هو مبين في الشكل (2– 26):



الشكل (2– 26) المخطط الشعاعي لدارة تحوي مقاومة وملف

وعندما يكون عامل الاستطاعة يساوي 60% فإنه يعطي قدرة مفقودة بمقدار 40% من القدرة الكلية.

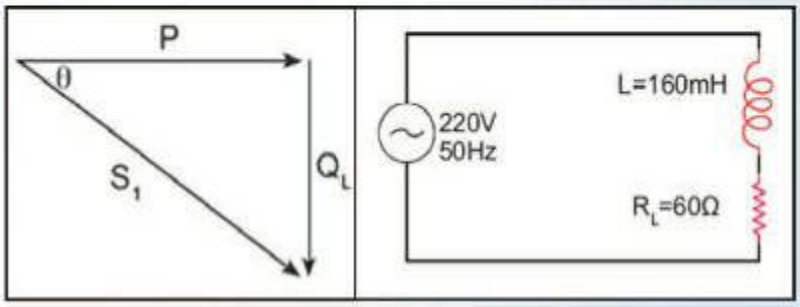
وعندما يكون عامل الاستطاعة مساوياً 85% فإنه يعطي قدرة مفقودة مقدار 15% من القدرة الكلية.

والسؤال الآن الذي يطرح نفسه أيهما أفضل؟

وهنا تبرز الحاجة لتحسين عامل الاستطاعة وذلك لتوفير الطاقة الكهربائية المفقودة في المصانع والورش وفي الأحمال التحريضية المستخدمة في حياتنا اليومية.

مثـــال

المطلوب حساب عامل الاستطاعة للدارة الآتية:



الحـــــل

لحساب الممانعة نطبق العلاقة الآتية: $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$

ولحسابها يجب علينا حساب قيمة X_L من العلاقة:

$$X_L = 2\pi . f . L = 2\pi \times 50 \times 160 \times 10^{-3} = 50.27\ \Omega$$

نعوض الناتج: $Z = \sqrt{60^2 + (50,27)^2} = 78,28\Omega$

نحسب التيار من العلاقة: $I = \frac{V}{Z} = \frac{220}{78,28} = 2,81\ \Omega$

وتحسب الاستطاعة الفعلية كالآتي:

$$P = I^2 \cdot R = (2,81)^2 \times 60 = 473,77 \quad Watt$$

وتحسب الاستطاعة الظاهرية من العلاقة:

$$S = V . I = 220 \times 2,81 = 618,2 \quad VA$$

وتكون قيمة عامل الاستطاعة كالآتي:

$$COS\,\theta = \frac{P}{S} = \frac{473.77}{618.2} = 0.77$$

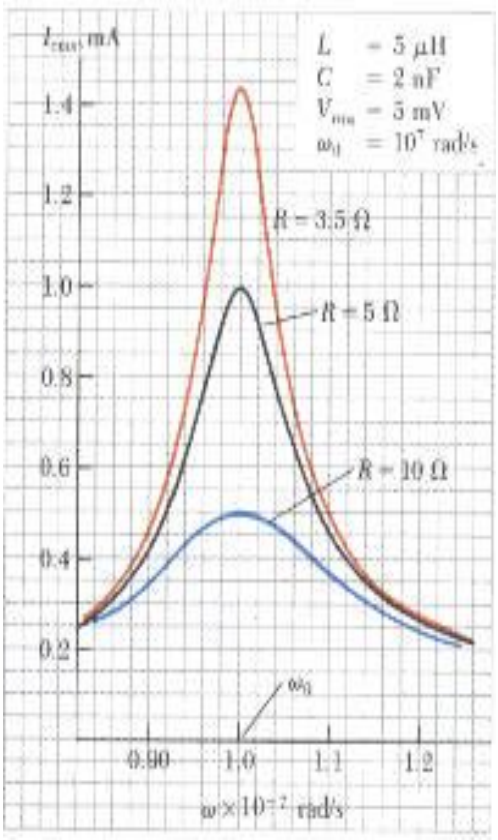
تطبيقات على دوائر التيار المتردد

Resonance | Filters Circuit | Transformer

عندما يكون التيار المتردد المار في دائرة RLC اكبر ما يمكن تكون الدائرة في حالة الرنين Resonance وهذا يعني ان مقاومة الدائرة للتيار اقل مايمكن.

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

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



وحيث أن معاوقة الدائرة Impedance تعتمد على تردد التيار المار في الدائرة.
ومن المعادلة السابقة نلاحظ ان التيار اكبر ما يمكن عندما تكون

X_L-X_C=0. وفي هذه الحالة تكون المعاوقة تساوي المقاومة Z=R. والتردد الذي يجعل ذلك متحقق يسمى تردد الرنين Resonance Frequency w_o.

X_L-X_C=0

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

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

وهذه قيمة ترد الرنين الذي يمر في دائرة الـ RLC بأقل مقاومة. والتيار يصل إلى قيمة عظمى عند التردد w_o

والذي يعتمد على قيمة سعة المكثف C والحث الذاتي للملف L.

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

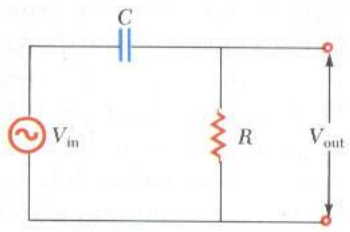
تستخدم دوائر الرنين في اجهزة الاستقبال مثل الراديو والتلفزيون حيث ان لكل محطة اذاعية او تلفزيونية لها تردد محدد وبجهاز الاستقبال نستقبل التردد الذي يمر في دائرة الرنين والذي تكون مقاومته له اقل ما يمكن وباقي الترددات لا تمر لان معاوقة دائرة الاستقبال لها تكون كبيرة وبتغير سعة المكثف (عن طريق ادارة الواح 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.

Filters Circuit

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

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



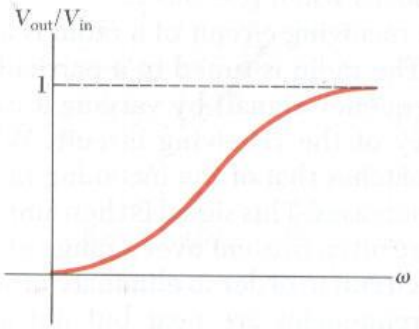
القيمة العظمى للجهد V_{in} تعطى بالعلاقة

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

وقيمة الجهد الناتج على طرفي المقاومة يعطى من خلال قانون اوم

$$V_{out} = I_m R$$

بقسمة المعادلتين نحصل على المعادلة التالية

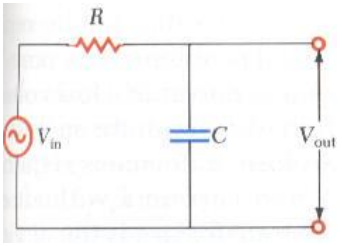


$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

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

Low-pass filter

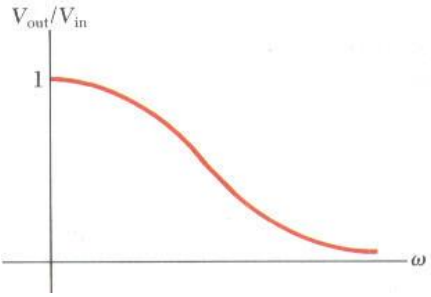
في حالة توصيل المخرج على طرفي المكثف بدلا من المقاومة يصبح عمل المرشح هو تمرير الترددات المنخفضة وحجب الترددات العالية.



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

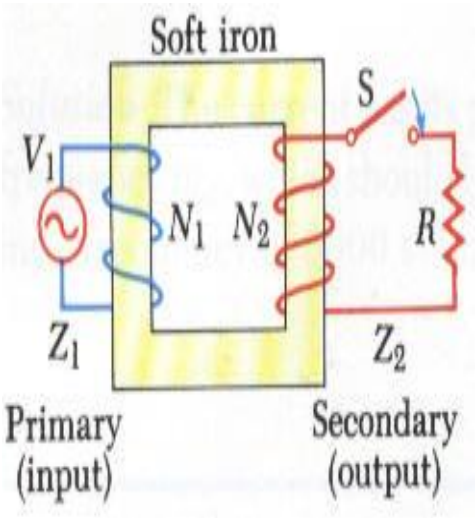


$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1/\omega C}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}}$$

من المعادلة نلاحظ أن عند الترددات المنخفضة تكون قيمتي الجهد Vout و Vin متساويتين بينما عند الترددات المرتفعة قيمة 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.كما يمكن استخدام مقاومة وملف RL Filters للحصول على مرشح يعمل بنفس الفكرة. كما يمكن تصميم مرشح يمرر حزمة من الترددات Band-pass filter

Transformer

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.



يتكون المحول الكهربي Transformer مضلح معدني لنقل الفيض المغناطيسي كما في الشكل المقابل، بين ملفين يسمى الاول الملف الرئيسي Primary ويسمى الثاني بالملف الثانوي Secondary. يتم توصيل الملف 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

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

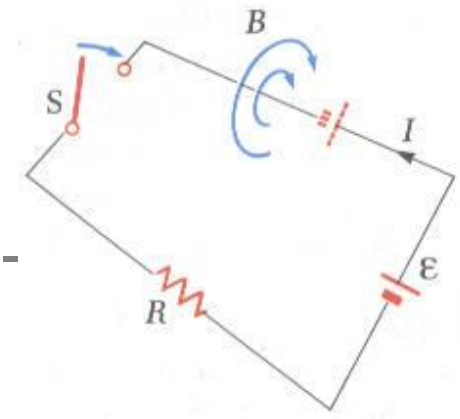
عندما تكون N_2 أكبر من N_1 يكون فرق الجهد الناتج اكبر من فرق جهد المصدر $V_2 > V_1$ وها ما يعرف بمحول رافع الجهد Step-up transformer. بينما يحدث العكس اذا كانت N_2 اقل من N_1 ويكون المحول خافضا للجهد Step-down-transformer.

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 مع الزمن. وفي هذه المحاضرة سندرس الحث الذاتي Self Inductance الذي ينشئ في الدائرة نفسها عند 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 المغناطبيسي 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.

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

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

كما يمكن التعبير عن الحث 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 الكميات الفيزيائية مثل القوة الدافعة الكهربية والتغيير في التيار. وتكون وحدة الحث الذاتي هي الهنري Henry.

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

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

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

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)

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 مجالا مغناطيسياً يؤثر على الملف الثاني وعدد لفاته N_2 بفيض مغناطيسي F_{21} يؤدي إلى تيار حثي في الملف الثاني وقيمته I_2.

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

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

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

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:

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

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

$$\mathcal{E}_1 = -M_{12}\frac{dI_2}{dt}$$

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 $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2$

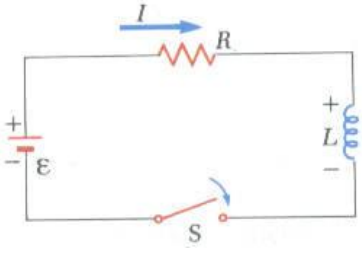
وهذا يعني أن $M_{21}=M_{12}=M$

وتكون قيمة القوة الدافعة الكهربية في الملفين تعطى بـ

$$\mathcal{E}_2 = -M\frac{dI_1}{dt} \qquad \mathcal{E}_1 = -M\frac{dI_2}{dt}$$

وتكون وحدة الحث المتبادل هي الهنري Henry

<u>الطاقة المختزنة في المجال المغناطيسي</u>



درسنا في 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:

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

باعادة ترتيب المعادلة والضرب في التيار I ينتج أن

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

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:

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

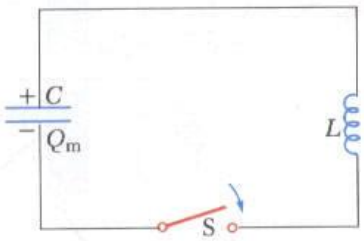
ولايجاد الطاقة الكلية المختزنة في الملف نجري عملية التكامل

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

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

وهذه المعادلة تعطي الطاقة الكلية المختزنة في الملف.

تابع الحث الذاتي والحث المتبادل



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

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

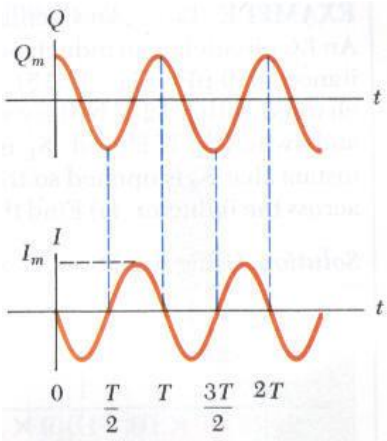
$$\frac{dU}{dt} = \frac{d}{dt}\left(\frac{Q^2}{2C} + \tfrac{1}{2}LI^2\right) = \frac{Q}{C}\frac{dQ}{dt} + LI\frac{dI}{dt} = 0$$

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

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

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

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 وw 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 d 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 $I_m = \omega Q_m$

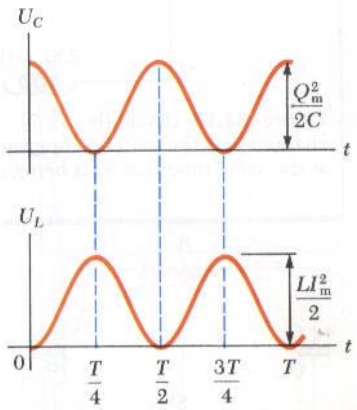
يبين الشكل المقابل علاقة الشحنة Q مع الزمن t وعلاقة التيار I مع الزمن t. لاحظ أن الشحنة تتذبذب بين القيمة Q_m والقيمة في الاتجاه السالب Q_m والتيار يتذبذب بين القيمة I_m والقيمة I_m في الاتجاه السالب، ولكن التيار يختلف في الطور مع الشحنة بزاوية قدرها 90 درجة. أي أن عندما تكون الشحنة قيمة عظمى يكون التيار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

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

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



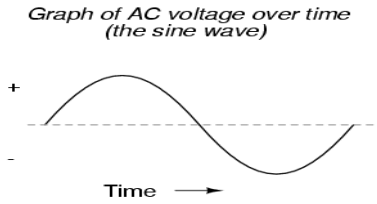
$$\frac{Q_m^2}{2C} = \tfrac{1}{2}LI_m^2$$

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.....

لقوة المحركة الكهربائية المترددة



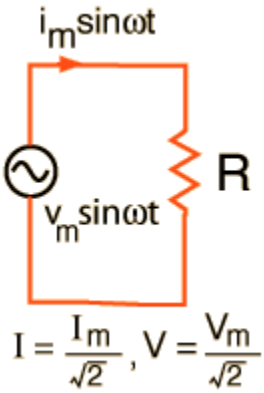
" هي القوة المحركة الكهربائية التأثيرية الناشئة عن دوران ملف في مجال مغناطيسي منتظم مع الزمن طبقًا للمعادلة

الحظية $\varepsilon = \varepsilon_m . \sin \omega t$

حيث يتغير قطبيها كل نصف دورة من دورات الملف. "

التيار المتردد الجيبي

" هو التيار الكهربائي الذي يمر في مقاومة أومية (ذات قيمة ثابتة) عند توصيلها مع مصدر له قوة محركة كهربائية مترددة ." ، حيث تتغير قيمته مع الزمن بنفس الكيفية التي تتغير بها القوة المحركة الكهربائية المترددة ، وتعطى معادلة التيار المتردد الجيبي كالأتي:



الحظية $I = I_m . \sin \omega t$

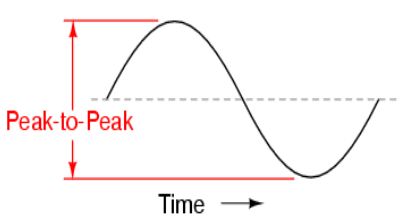
فرق الجهد الكهربائي المتردد

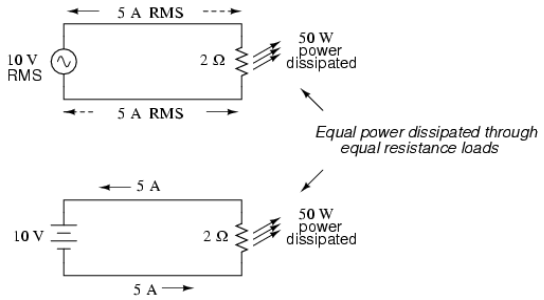
" هو فرق الجهد بين طرفي المقاومة التي تتصل مع مصدر له قوة محركة كهربائية مترددة ." وتعطى معادلته بالعلاقة التالية $. \sin \omega t$

الحظية $V = V_m$

القيمة الفعالة للتيار المتردد

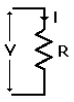
" هو الجذر التربيعي للقيمة المتوسطة لمربع فرق الجهد أو مربع شدة التيار المتردد "





_ أو بتعبير آخر ، هي قيمة التيار المستمر الذي لو مر في نفس المقاومة لأعطى نفس التأثير الحراري للتيار المتردد المار في نفس المقاومة في نفس الفترة الزمنية.

إذن، القدرة الكهربائية (للتيار المستمر) التي تعطى كحرارة للمقاومة R = القدرة الكهربائية (للتيار المتردد) التي تعطى كحرارة للمقاومة R



$P = VI = \frac{V^2}{R} = I^2R$ = $\mathbf{P = VI = V^2 / R = I^2 R}$

للتيار المستمر للتيار المتردد

$I^2 R$ (للمستمر) $= (I_m \sin \omega t)^2 R = I_m^2 (\sin \omega t)^2 R$

وبما أن القيمة المتوسطة للمقدار $\sin \omega t$ هي 0 + 1 / 2

إذن ، I^2 للمستمر $= I_m^2 / 2$ والجذر التربيعي للطرفين يساوي القيمة الفعالة للتيار المتردد التي تكون على الصورة

$V_e = V_m / \sqrt{2}$ وبالمثل $I_e = I_m / \sqrt{2}$

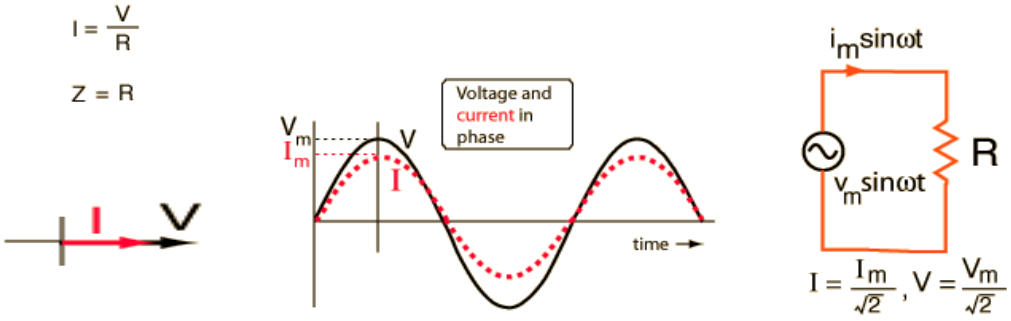
ويمكن للقيم الفعالة للتيار المتردد أن تكون على الصورة التالية أيضًا

$V_{eff} = 0.707\ V_{max}$ $I_{eff} = 0.707\ I_{max}$

تطبيق قانون أوم على دوائر التيار المتردد

أولاً : دائرة مقاومة الصرفة (الأومية) مع مصدر تيار متردد

وهي المقاومة التي ليس لها حث ذاتي $L = 0$ ، ويكون ذلك بلف السلك لفًا مزدوجًا حتي يمر التيار الكهربائي في اتجاهين متعاكسين وتنشأ مجالات مغناطيسية تلغي تأثير بعضها البعض.



التمثيل الطوري الإتجاهي التمثيل البياني

عند توصيل جهازي فولتميتر وأميتر في الدائرة السابقة نجد أن فرق الجهد عبر المقاومة R وشدة التيار المار بها I متفقان في الطور.

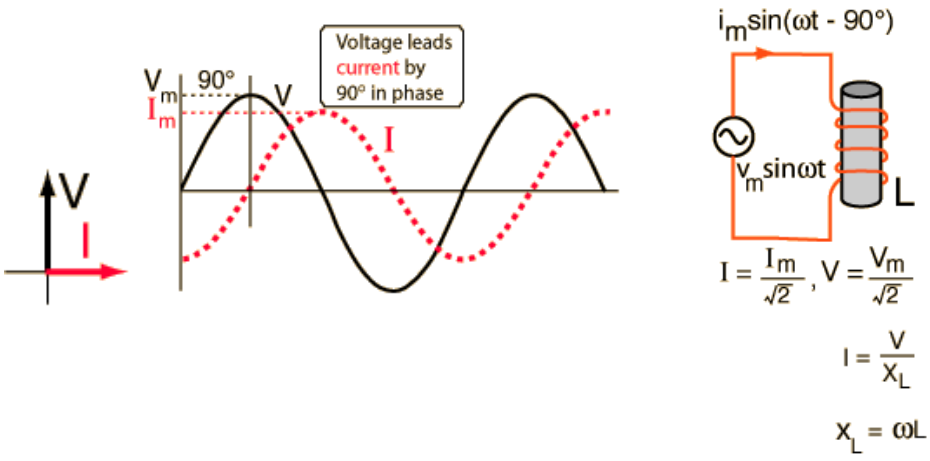
وعند تمثيل التغير بيانيًا يلاحظ أن التغير يتبع منحنى الجيب ، كما أن قيمة فرق الطور بينهما تساوي t = 0 ω ويمكن إيجاد قيمة المقاومة R من العلاقات التالية

$R = (V_m / I_m)$ للمصدر $= (V_R / I_R)$ للمقاومة $= V_e / I_e$

الفعالة (قراءة الأجهزة)

ثانيًا : دائرة محث نقي مع مصدر تيار متردد

" هو الملف الذي له معامل حث ذاتي L وليس له مقاومة أومية R = 0 ، ويتم ذلك باختيار مواد للسلك ذات مقاومة نوعية صغيرة جدًا وسماكة معينة "



يلاحظ من الرسم البياني أن تيار الملف I_L يتأخر عن فرق جهد الملف V_L بفرق طور مقداره $\pi / 2$ ، أي أن

$$V_L = V_m \sin \omega t \qquad I_L = I_m \sin (\omega t - \pi / 2)$$

أو أن فرق جهد الملف V_L يتقدم على تيار الملف I_L بفرق طور مقداره $\pi / 2 = 90°$ ، أي أن

$$I_L = I_m \sin (\omega t) \qquad V_L = V_m \sin (\omega t + \pi / 2)$$

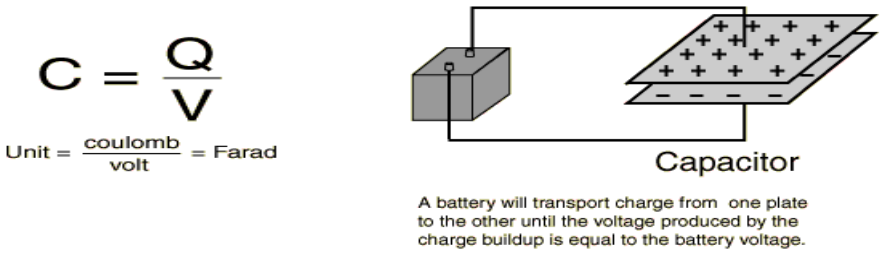
الجدول التالي يوضح تغيرات كلٍ من V_L , I_L , ωt خلال دورة كاملة للعلاقات الأخيرة

t	0.0	T / 4	T / 2	3 T / 4	T
ωt	0.0	$\pi / 2$	π	$3 \pi / 2$	2π
I_L	0.0	I_m	0.0	$- I_m$	0.0
V_L	V_m	0.0	$- V_m$	0.0	V_m

وعندما يمر التيار المتردد في ملف الحث النقي فإنه يبدي مقاومة تسمى " ممانعة حثية X_L تعطى بالعلاقات التالية

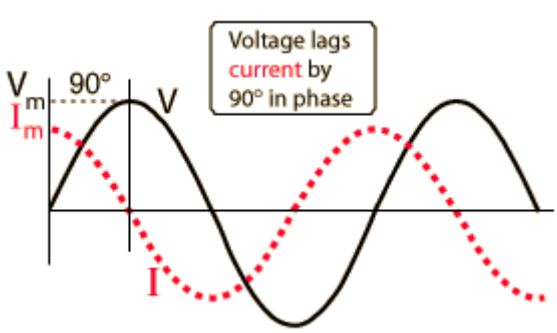
$$X_L = V_m / I_m = V_e / I_e = \omega L = 2 \pi f L$$

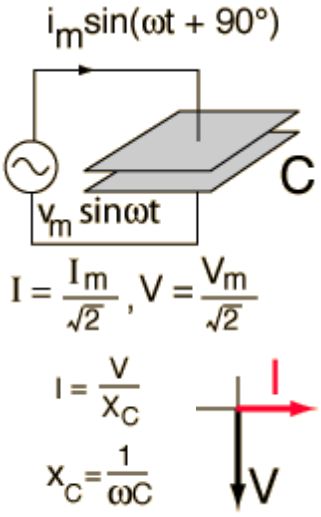
ثالثًا: دائرة مكثف مع مصدر تيار متردد



- عندما يتصل مصدر تيار مستمر مع مكثف في دائرة مغلقة فإن البطارية ستنقل الشحنة من أحد الألواح إلى الأخر في اتجاه واحد فقط حتى يكون فرق الجهد الناشئ بين اللوحين مساويًا لجهد المصدر وعندها يتوقف

تيار الشحن ويصبح تيار الدائرة صفر وذلك بسبب المادة العازلة بين لوحي المكثف التي تكون مقاومة عالية جدا .





- لكن عندما يمر التيار المتردد في دائرة المكثف فإن انعكاس اتجاه التيار كل نصف دورة يقلل من مقاومة المادة العازلة بحيث تستمر الإلكترونات الحرة في الاهتزاز ولا يصل التيار للصفر.

يلاحظ من الرسم البياني أن تيار المكثف I_c يتقدم على فرق جهد المكثف V_c بفرق طور مقداره $\pi / 2$ ، أي أن

$$V_c = V_m \sin \omega t \qquad I_c = I_m \sin (\omega t + \pi / 2)$$

أو أن فرق جهد المكثف V_c يتأخر عن تيار المكثف I_c بفرق طور مقداره $\pi / 2 = 90°$ ، أي أن

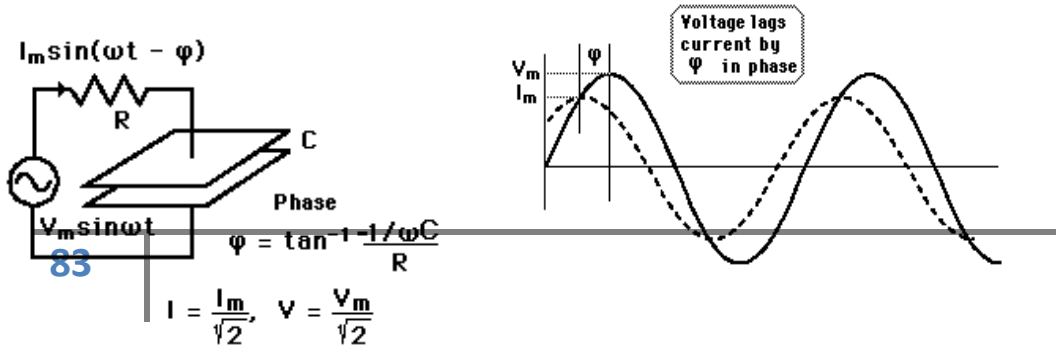
$$I_c = I_m \sin (\omega t) \qquad V_c = V_m \sin (\omega t - \pi / 2)$$

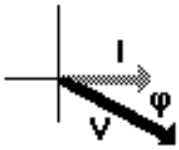
ومع ذلك فإن المكثف يبدي مقاومة لمرور التيار المتردد تسمى الممانعة السعوية X_c تعطى بالعلاقات التالية

$$X_c = V_m / I_m = V_e / I_e = 1 / \omega C = 1 / 2\pi f C$$

رابعًا: دوائر التيار المتردد التي تحوي أكثر من عنصر

أ. دائرة تحوي مكثف ومقاومة صرفة أومية



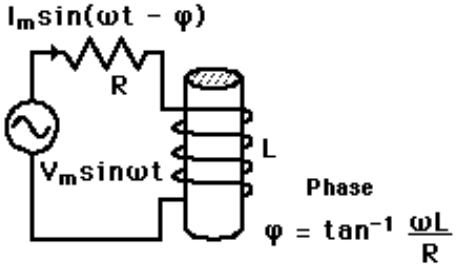


$$I = \frac{V}{Z}$$

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

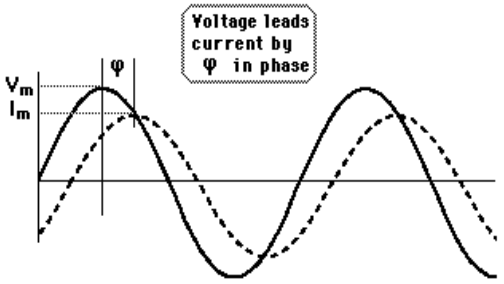
وفيها يتأخر الجهد الكلي عن التيار بفرق طور مقداره ϕ ، وتسمى الممانعة الكلية للدائرة بالمعاوقة Z

ب. دائرة تحوي ملف حث نقي ومقاومة صرفة أومية



Phase

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{\omega L}{R}$$



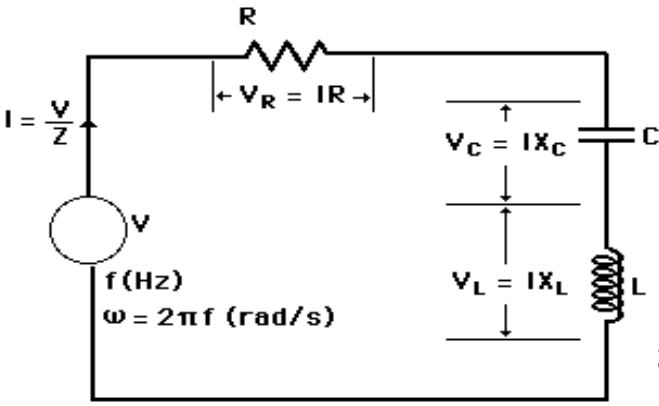
$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \quad V = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$I = \frac{V}{Z}$$

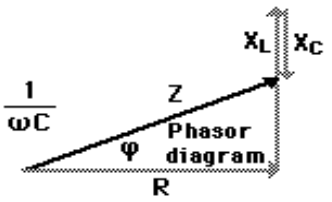
$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

وفيها يتقدم الجهد الكلي عن التيار بفرق طور مقداره ϕ

ج. دائرة تحوي مكثف ومقاومة صرفة أومية وملف حث نقي



$$X_C = \frac{1}{\omega C}$$



$$X_L = \omega L$$

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

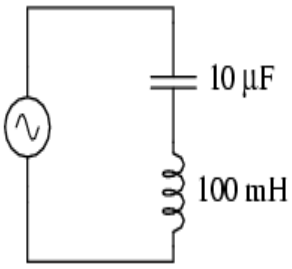
$$\text{Phase} = \varphi = \tan^{-1}\left[\frac{X_L - X_C}{R}\right]$$

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

$Z = R$

$X_C = X_L$ Phase $= \varphi = 0$

دائرة الاهتزاز الكهربائي

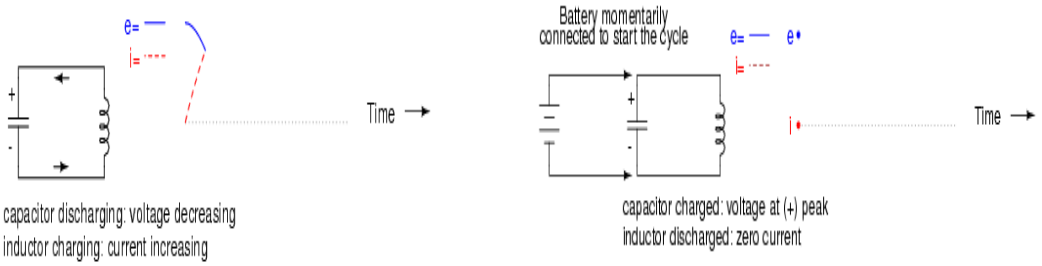


تتكون من مكثف كهربائي يتصل على التوالي مع ملف حثي و مصدر تيار متردد.

- يخزن المكثف الكهربائي الطاقة على هيئة مجال كهربائي وتظهر على شكل جهد كهروستاتيكي.

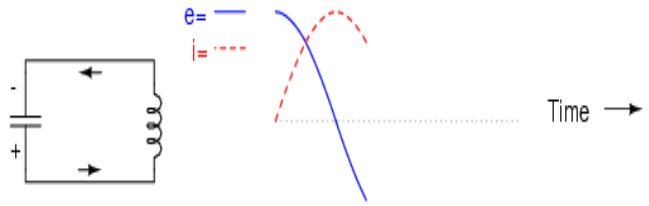
- يخزن الملف الحثي الطاقة على هيئة مجال مغناطيسي وتظهر على شكل طاقة حركة للإلكترونات (تيار كهربائي)

- في الربع الأول من دورة التيار المتردد ،ُيشحن المكثف بسرعة بينما يقاوم الملف التغير في التيار

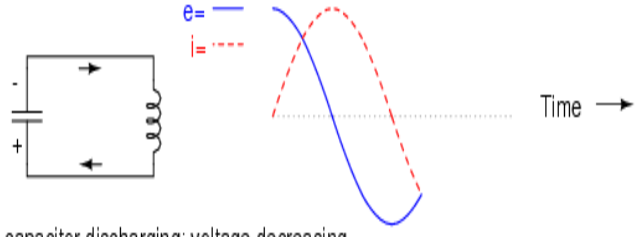


في الربع الثاني للتيار المتردد، يبدأ المكثف في تفريغ شحنته

ويقل جهده الكهربائي ليصل إلى الصفر بينما يعمل الملف الحثي على بناء الشحنة على هيئة مجال مغناطيسي كلما زاد التيار في الدائرة ، ويحافظ الملف على تدفق التيار ويعمل على توليد جهد مشابه لجهد البطارية (القوة المحركة الكهربائية التأثيرية العكسية) والتي تمرر تيارًا في الاتجاه المعاكس للتيار الأصلي ليشحن المكثف بشحنة معاكسة لما كان عليه حتى تمام الشحن.

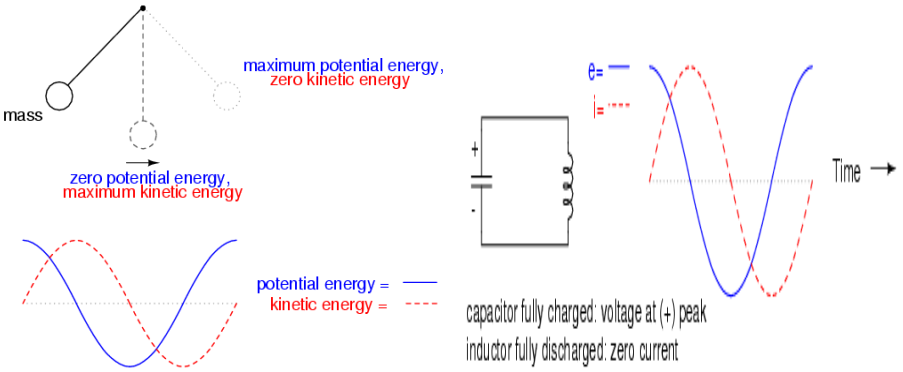


capacitor charging: voltage increasing (in opposite polarity)
inductor discharging: current decreasing



capacitor discharging: voltage decreasing
inductor charging: current increasing

وهكذا يستمر تبادل الطاقة بين الملف الحثي والمكثف باستمرار غلق دائرة التيار المتردد ، ويتبدد جزء من هذه الطاقة على هيئة حرارة بسبب مقاومة الملف فيحدث تخامد (اضمحلال) حيث تقل السعة لهذه الاهتزازات بعد فترة .



capacitor fully charged: voltage at (+) peak
inductor fully discharged: zero current

تشبه منحنيات تبادل الطاقة بين الملف الحثي والمكثف إلى حد كبير منحنيات تبادل الطاقة التي تحدث في الحركة الاهتزازية (اهتزازات البندول البسيط) ولهذا سميت بدائرة الاهتزاز الكهربائي.

ولما كان البندول البسيط يهتز عند التردد الطبيعي له ، فإن دائرة المكثف والملف الحثي يصبح لها أيضًا تردد طبيعي تهتز عنده ويمكن حسابه بناءًا على تساوي قيمة الممانعة السعوية للمكثف مع الممانعة الحثية للملف.

$$X_L = 2\pi fL \qquad X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

. . . setting the two equal to each other, representing a condition of equal reactance (resonance) . . .

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC}$$

Multiplying both sides by f eliminates the f term in the denominator of the fraction . . .

$$2\pi f^2 L = \frac{1}{2\pi C}$$

Dividing both sides by $2\pi L$ leaves f^2 by itself on the left-hand side of the equation . . .

$$f^2 = \frac{1}{2\pi 2\pi LC}$$

Taking the square root of both sides of the equation leaves f by itself on the left side . . .

$$f = \frac{\sqrt{1}}{\sqrt{2\pi 2\pi LC}}$$

. . . simplifying . . .

$$\boxed{f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}}$$

- وعندما يتساوى تردد التيار المتردد للمصدر مع التردد الطبيعي لدائرة الملف الحثي والمكثف تصبح الدائرة في حالة رنين.

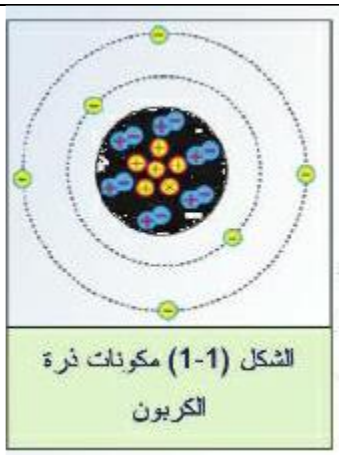
- وفي حالة الرنين تصبح الدائرة السابقة لها أقل مقاومة ممكنة وتصبح معاوقة الدائرة مساوية للمقاومة الأومية (الصرفة)

$$Z = R$$

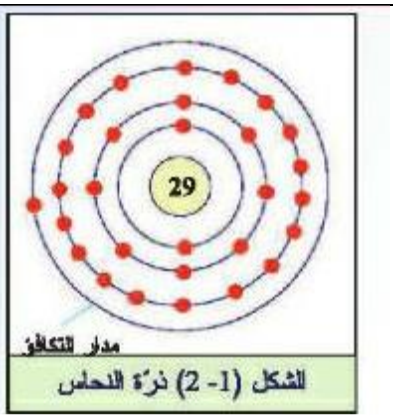
- وبالتالي يمر بها أكبر تيار ممكن.

- يمكن استخدام دائرة الرنين في منع ترددات معينة (أو مدى ترددات معينة) للإشارات الكهربائية والسماح لتردد واحد فقط بالمرور بالدائرة (تردد الرنين) كما في حالتي الاستقبال التلفزيوني والإذاعي.

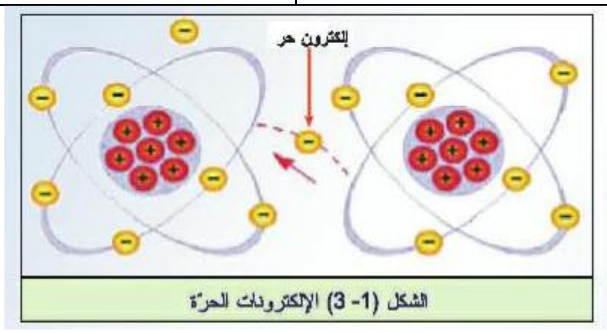
مراجعة لما تم دراسته



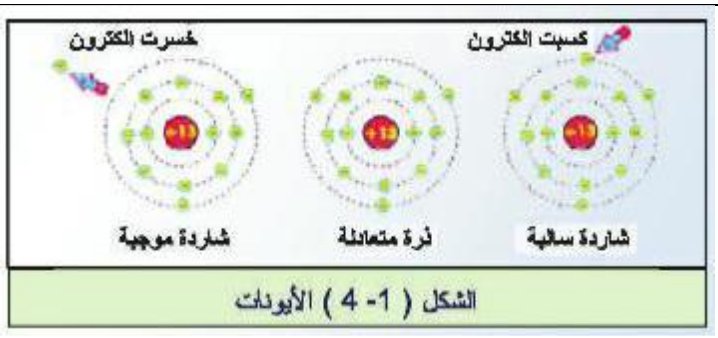
الشكل (1-1) مكونات ذرة الكربون



الشكل (1- 2) ذرّة النحاس

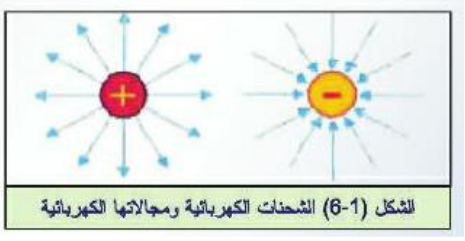


الشكل (1- 3) الإلكترونات الحرّة

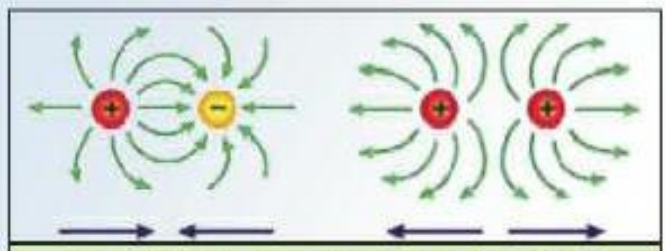


الشكل (1- 4) الأيونات

الشكل (1 - 5) الشحن بالدلك

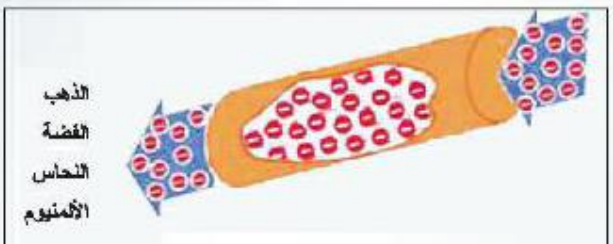


الشكل (1-6) الشحنات الكهربائية ومجالاتها الكهربائية

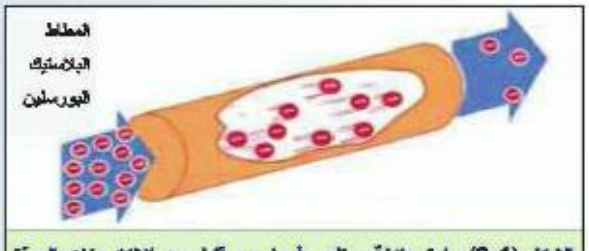


الشكل (1-7) تنافر وتجاذب الشحنات الكهربائية

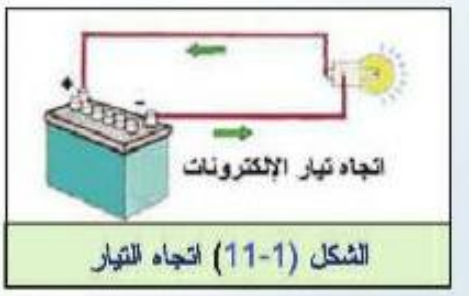
$$F_{12} = \frac{q_1 \cdot q_2}{4 \pi \varepsilon r^2}$$



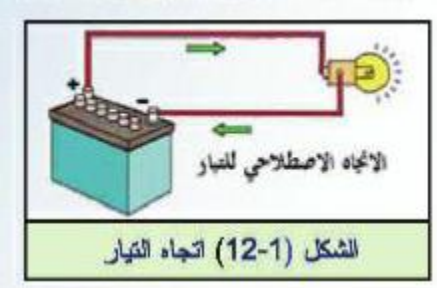
الشكل (1-8) الإلكترونات الحرة القابلة للحركة في ناقل



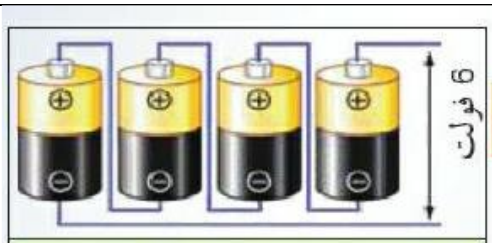
الشكل (1-9) مادة عازلة ويظهر فيها عدد قليل من الإلكترونات الحرة



الشكل (1-11) اتجاه التيار



الشكل (1-12) اتجاه التيار

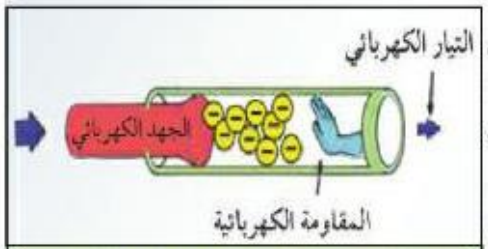


$V_t=V_1+V_2+V_3+...$
$I_t=I_1=I_2=I_3=...$

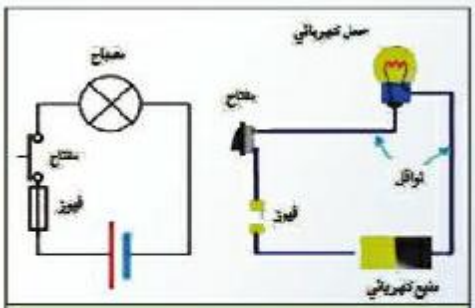
الشكل (1 20) توصيل البطاريات على التسلسل

$I_t=I_1+I_2+I_3+...$
$V_t=V_1=V_2=V_3=...$

الشكل (1 – 21) توصيل البطاريات على التفرع



الشكل (1 – 24) تفسير المقاومة الكهربائية



الشكل (1 – 23) المخطط التمثيلي والرمزي
لدارة كهربائية بسيطة

1-5-1 قانون كيرشوف الأول للتيار

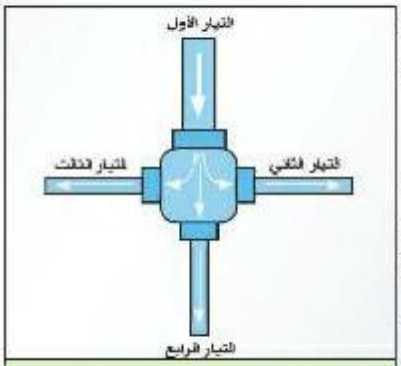
ينص هذا القانون على أن:

" **المجموع الجبري للتيارات الكهربائية في أي عقدة كهربائية يساوي صفراً.** ويمكن صياغة القانون بصورة أبسط، حيث يمكن القول إن **مجموع التيارات الداخلة إلى عقدة معينة يساوي مجموع التيارات الخارجة من العقدة نفسها** " . يعبر عن قانون كيرشوف الأول بالعلاقة التالية:

$$\sum I = 0$$

يشير المصطلح **المجموع الجبري** الوارد في قانوني كيرشوف إلى ضرورة الانتباه لنوع القطبية التي يتمتع بها كل تيار أو جهد كهربائي، وذلك بإعطائها الإشارة المناسبة لها: إما إن تكون موجبة (+) أو تكون سالبة (−) .

لفهم قانون كيرشوف الأول انظر الشكل (1 – 28) . لاحظ هنا أن التيار *الأول* هو الوحيد الداخل إلى العقدة، بينما هنالك ثلاثة تيارات (الثاني، الثالث ، والرابع) خارجة من العقدة نفسها . أي إنه



الشكل (1 – 28) قانون كيرشوف

يوجد له طريق آخر سوى التفرع والخروج من العقدة، ويمكن كتابة ذلك بمعادلة كما يلي:

التيار 1 = التيار 2 + التيار 3 + التيار 4

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4$$

$$I_1 - I_2 - I_3 - I_4 = 0$$

لاحظ هنا أننا اعتبرنا التيار الداخل إلى العقدة موجباً والتيار الخارج من العقدة سالباً.

2-5-1 قانون كيرشوف الثاني للجهد

ينص هذا القانون على أن :

" المجموع الجبري للقوى المحركة الكهربائية المطبقة على حلقة مغلقة من دارة كهربائية يدور فيها التيار بجهة دوران واحدة، يساوي المجموع الجبري لحاصل جداء مقاومة كل جزء من هذه الحلقة في شدة التيار الذي يمر فيه ".

ويعبر عن قانون كيرشوف الثاني للجهد بالعلاقة التالية:

$$\sum E = \sum (R \times I)$$

ويمكن صياغة هذا القانون بصورة أبسط:

المجموع الجبري للقوى المحركة الكهربائية وفروق الجهود الكهربائي في أي حلقة مغلقة من دارة كهربائية ما يساوي صفراً .

ويعبر عن ذلك بالعلاقة الرياضية:

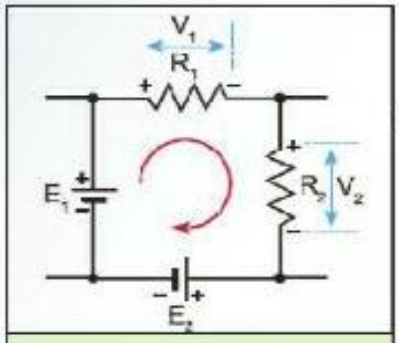
$$\sum E - \sum (R \times I) = 0$$

ملاحظة

يجب الانتباه إلى الإشارات الجبرية أثناء تطبيق هذا القانون. ويُعد اتجاه القوة المحركة الكهربائية للبطارية من القطب السالب إلى القطب الموجب لها بغض النظر عن اتجاه التيار في البطارية . أما اتجاه فرق الجهد بين طرفي المقاومة فهو اتجاه التيار نفسه فيها. فإذا افترضنا أن اتجاه دوران عقارب الساعة، هو الاتجاه الدوراني الموجب، فإن كل قوة محركة كهربائية وتيار كهربائي في اتجاه عقارب الساعة يكون موجباً وكل ما خالف ذلك يكون سالباً.

مثال 2:

طبق قانون كيرشوف الثاني للجهد على الحلقة المبينة في الشكل (1 – 30) .



الشكل (1 – 30)

الحل:

$$E_1 - E_2 = V_1 + V_2$$

$$E_1 - E_2 = I\,(R_1 + R_2)$$

2-6-1 الطاقة الكهربائية المستهلكة (Electrical Energy)

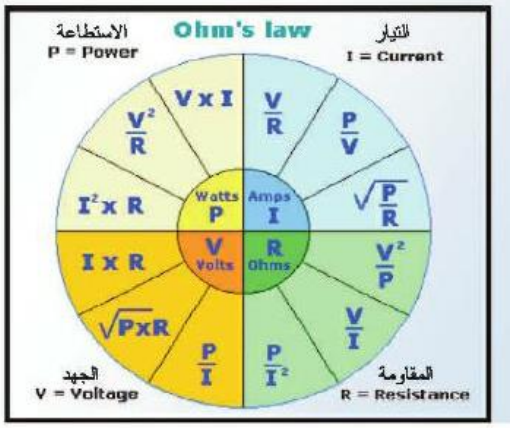
تحسب الطاقة الكهربائية المستهلكة (W) بمعرفة الاستطاعة الكهربائيـة وزمـن استخدامها وفقاً للعلاقة:

$$W = P \times t$$

حيث:

- W الطاقة وتقاس بواحدة الكيلوواط في الساعة ويرمز لها بالرمز $[KWh]$.
- P الاستطاعة وتقاس بالكيلوواط $[KW]$.
- t الزمن ويقاس بالساعة $[h]$.

الجهاز	الاستطاعة الكهربائية
مصابيح الإضاءة	(100 — 10) واط
المكاوي الكهربائية	(2000 — 1000) واط
الثلاجة المنزلية	(300) واط
المدفأة الكهربائية	(2200) واط
الأفران الكهربائية	(3000) واط
جهاز التلفزيون	(80) واط



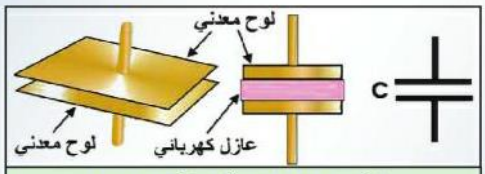
المادة	المقاومة النوعية ($\Omega.mm^2/m$)
الفضة	0.0149
النحاس	0.0178
الذهب	0.021
الألمنيوم	0.0241
الحديد	0.14
سبيكة النيكروم (نيكل، كروم، حديد)	1.9

الشكل (1 – 32) العوامل المؤثرة على مقاومة الناقل

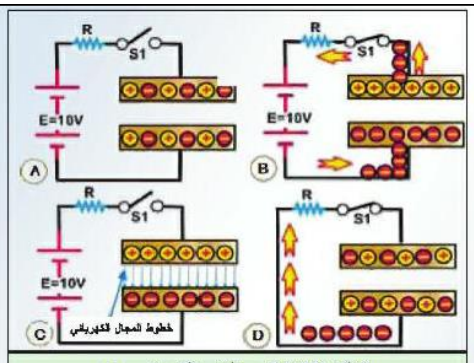
$$R = \rho \frac{L}{A}$$

1-8-1 تركيب المكثف

يتكون المكثف في أبسط أشكاله من لبوسين (لوحين) معدنيين متوازيين، تفصل بينهما مادة عازلة، مثل الهواء أو الورق المشبع بالزيت أو مواد من البلاستيك أو الميكا أو مواد من السيراميك. ويوصل بكل لبوس من لبوسي المكثف طرف توصيل. ويبين الشكل (1 – 57) طريقة تركيب المكثف بأبسط أشكاله ورمزه في الدارات الكهربائية.



الشكل (1-57) تركيب المكثف الكهربائي ورمزه



الشكل (49) تركيب المكثف الكهربائي ورمزه

3-8-1 السعة الكهربائية للمكثف (C)

هي خاصية للمكثف وتحدد مقدار الشحنة الكهربائية التي يستطيع أن يختزنها مكثف عند تطبيق جهد محدد بين طرفيه وتعطى بالعلاقة:

$$C = \frac{Q}{V}$$

حيث:

- C سعة المكثف وتقاس بالفاراد [F]
- Q شحنة المكثف وتقاس بالكولون [C] .
- V فرق الجهد بين طرفي المكثف ويقاس بالفولت [V] .

الفاراد [F]: هو سعة مكثف إذا شحن بشحنة مقدارها (1) كولون كان فرق الجهد بين طرفيه (1) فولت.

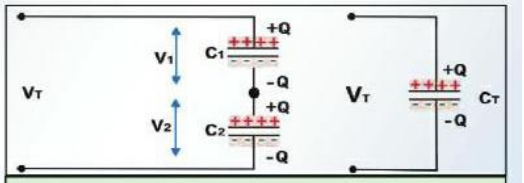
$$W_C = \frac{1}{2} C V^2$$

حيث :

- W_C قيمة الطاقة المختزنة وتقاس بالجول [J] .
- C السعة وتقاس بالفاراد [F] .
- V الجهد بين طرفي المكثف ويقاس بالفولت [V] .

يمكن تقسيم المكثفات إلى قسمين أساسيين:

- مكثفات ثابتة القيمة.
- مكثفات متغيرة القيمة.



الشكل (1-63) توصيل المكثفات على التسلسل

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$\frac{Q}{C_T} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

وبما أن الشحنة الكهربائية للمكثفات متساوية فيمكن كتابة العلاقة السابقة كما يلي:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

وبمعنى آخر، في حالة التوصيل التسلسلي لعدة مكثفات، فإن مقلوب السعة المكافئة الناتجة يساوي مقلوب كل من السعات المختلفة للمكثفات المنفردة. وتكون السعة المكافئة أقل من سعة أصغر المكثفات في المجموعة.

إذا وصل عدد n من المكثفات على التسلسل، فإن مقلوب قيمة السعة المكافئة تعطى بالعلاقة التالية:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + ... + \frac{1}{C_n}$$

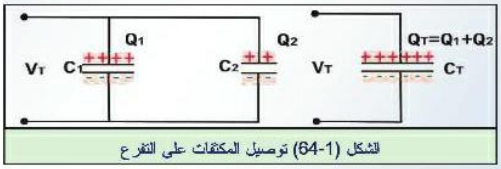
ونلاحظ أن لهذه المعادلة الشكل ذاته الذي كان لمعادلة حساب المقاومات على التفرع.

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$

$$C_T V_T = C_1 V_T + C_2 V_T$$

وبما أن الجهد المطبق في دارة التفرع يساوي جهد المنبع، فيمكن كتابة العلاقة السابقة كما يلي:

$$C_T = C_1 + C_2$$

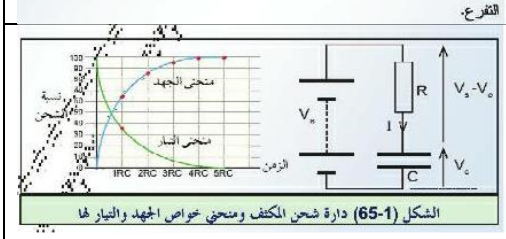


الشكل (1-64) توصيل المكثفات على التفرع

وبمعنى آخر، في حالة التوصيل التفرعي لعدة مكثفات، فإن السعة المكافئة تساوي مجموع سعات كل منها.

إذا وصل عدد (n) من المكثفات على التفرع، فإن قيمة السعة المكافئة تعطى بالعلاقة:

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + ... + C_n$$



الشكل (1-65) دارة شحن المكثف ومنحنى خواص الجهد والتيار لها

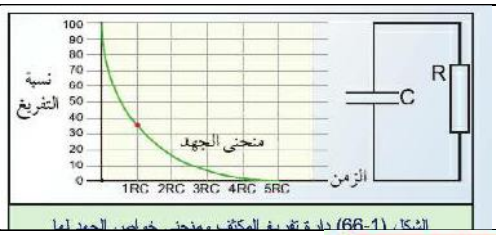
الثابت الزمني للشحن:

يعرف الزمن اللازم لشحن المكثف إلى أن يصل فرق الجهد بين طرفيه إلى 63 % من قيمة جهد المصدر بالثابت الزمني لشحن المكثف، وتعطى قيمته بالمعادلة التالية:

$$\tau = RC$$

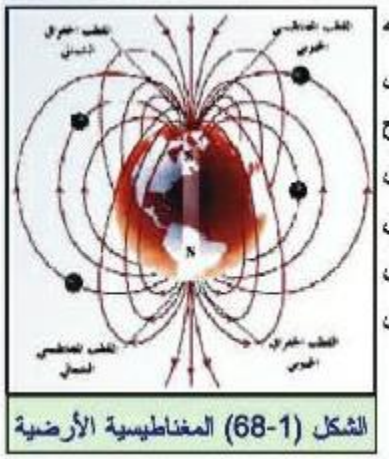
حيث إن:

- τ الثابت الزمني بالثانية.
- R المقاومة بالأوم.
- C سعة المكثف بالفاراد.



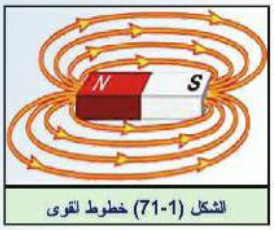
الشكل (1-66) دارة تفريغ المكثف ومنحنى خواص الجهد لها

المبادئ الأساسية للمغناطيسية



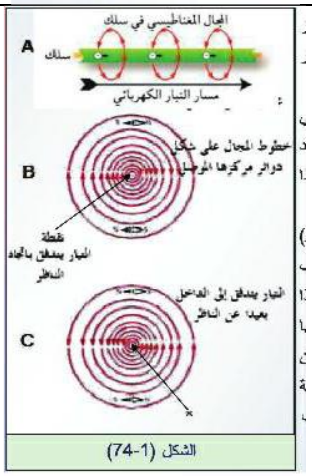
الشكل (1-68) المغناطيسية الأرضية

الشكل (1-69) المغناطيسية الأرضية

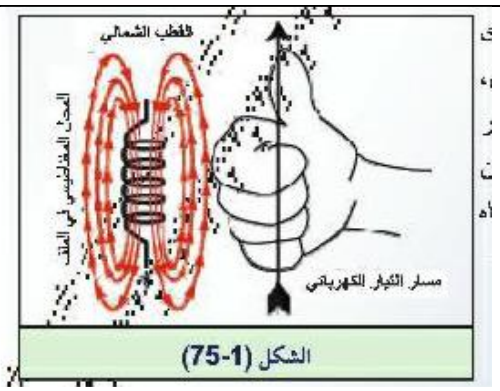


الشكل (1-71) خطوط لقوى

الشكل (1-70) المجال المغناطيسي



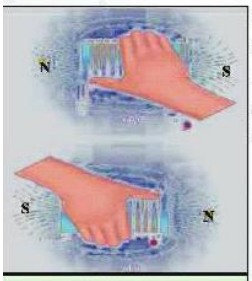
الشكل (1-74)



الشكل (1-75)

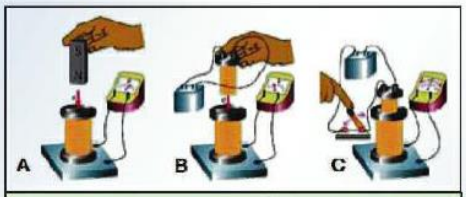
رابعاً: قاعدة اليد اليمنى لتحديد قطبية الملف

تستخدم هذه القاعدة لتحديد قطبية أي ملف يمر فيه تيار كهربائي، ويوضح الشكل (1 – 78) هذه القاعدة، حيث تتخيل بأنك تقبض بيدك اليمنى على محور الملف، بحيث تتجه أصابع يدك باتجاه سريان التيار المار في الملف، عندئذ يكون امتداد إصبع الإبهام دالاً على القطب الشمالي، ويكون الطرف الآخر هو القطب الجنوبي.



الشكل (1-78)

لكتشف العالم فاراداي عام (1831) مبدأ توليد القوة المحركة الكهربائية (*Electro Motive Force*) التي يرمز إليها بالأحرف (*EMF*)، ولقد استعان هذا العالم بناقل على شكل ملف يتصل بجهاز غلفانوميتر لقياس التيار الكهربائي، ويتحرك هذا الملف في مجال مغناطيسي ناتج عن مغناطيس دائم كما موضح في الشكل (1 – 81) .



الشكل (1-81) مبدأ توليد القوة المحركة الكهربائية

لاحظ العالم فاراداي أنه عندما يتحرك الناقل ويقطع خطوط الحقل المغناطيسي، يتحرك مؤشر الغلفانوميتر دالاً على توليد قوة محركة كهربائية لحظية في هذا الناقل ناتجة بالتأثير، وعندما تتوقف حركة الملف يعود مؤشر الغلفانوميتر إلى نقطة الصفر دالاً على زوال هذه القوة. ويمكن الحصول على النتيجة نفسها، إذا استخدم مغناطيس كهربائي بدلاً من المغناطيس الدائم، كما هو مبين في الشكل (B-81-1) كما يمكن تثبيت الناقل وتحريك المغناطيس أو تقطيع التيار المار في ملف المغناطيس الكهربائي بواسطة مفتاح للحصول على مغناطيسي متغير كما هو مبين في الشكل(C-81-1) .

وتعرف هذه الظاهرة بالتحريض الكهرومغناطيسي، أي توليد جهد كهربائي في الناقل ناتج عن وجود حركة نسبية بينه وبين مجال مغناطيسي معين.

سادساً: قاعدة اليد اليسرى

هناك قاعدة معروفة لتحديد اتجاه القوة المؤثرة على ناقل في مجال مغناطيسي، تعرف بقاعدة اليد اليسرى. ويوضح الشكل (1 – 80) هذه القاعدة، حيث يشير إصبع الوسطى إلى اتجاه التيار في الناقل، ويشير إصبع السبابة متعامداً على الوسطى إلى اتجاه خطوط المجال، وإصبع الإبهام متعامداً على الوسطى والسبابة إلى اتجاه القوة المؤثرة على الناقل.

الشكل (1-80) قاعدة اليد اليسرى

أولاً: القوة المحركة الكهربائية المتولدة بالتحريض (EMF)

تعتمد قيمة القوة المحركة الكهربائية المتولدة بالتحريض في الناقل، على العوامل الآتية:

- كثافة المجال المغناطيسي الذي يتحرك فيه الناقل (*B*).
- السرعة التي يقطع بها الناقل خطوط المجال المغناطيسي (*V*).
- طول الناقل (*L*) .
- الزاوية التي يقطع بها الناقل خطوط المجال المغناطيسي (θ).

وتعطى قيمة القوة المحركة الكهربائية المتولدة بالتحريض في الناقل بالعلاقة الآتية:

$$E = V \times L \times B \times Sin\,\theta$$

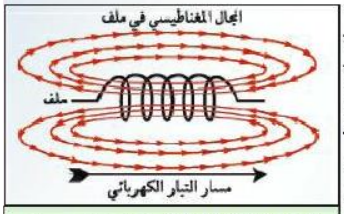
ثانياً: اتجاه القوة المحركة الكهربائية المتولدة بالتحريض(EMF)

إن قطبية القوة المحركة الكهربائية المتولدة في الناقل بالتحريض وبالتالي اتجاه التيار الناتج عنها، تعتمد على اتجاه الحركة النسبية بين الناقل وخطوط المجال المغناطيسي، أي الاتجاه الذي يقطع به الناقل خطوط المجال المغناطيسي. ولتعيين اتجاه القوة المحركة الكهربائية، تطبق قاعدة اليد اليمنى ، التي تنص على الآتي: إذا كان إصبع الإبهام يشير إلى اتجاه حركة الناقل، وإصبع السبابة يشير إلى اتجاه المجال المغناطيسي، فإن الإصبع الأوسط المتعامد على الإبهام والسبابة يشير إلى اتجاه القوة المحركة الكهربائية المتولدة في الناقل، كما هو موضح في الشكل (1 – 82) .

الشكل (1-82) قاعدة اليد اليمنى

1-10-1 الملف (Coil)

عند لف سلك كهربائي معزول على قلب هوائي أو قلب حديدي أو قلب فيرايت (برادة الحديد) أو أي مادة أخرى نحصل على ما يسمى بالملف. عندما يمر تيار كهربائي في سلك، يتولد مجال مغناطيسي حول الملف تتناسب شدته مع شدة التيار الكهربائي المار في الملف كما في الشكل (1 – 83) .



الشكل (1-83) خطوط المجال المغناطيسي حول

وهكذا فإن الملف يعمل على تحويل القدرة الكهربائية إلى قدرة مغناطيسية يختزنها داخل المجال المغناطيسي المحيط به والذي يمكن تركيزه في القلب. عند حدوث تغيير (زيادة أو نقصان) في شدة التيار الكهربائي المار في الملف، تتأثر شدة المجال المغناطيسي المحيط بهذا الملف. فعندما تزداد شدة التيار المار في الملف، تزداد شدة المجال المغناطيسي. وعندما تنخفض شدة التيار تقل شدة المجال المغناطيسي. إن التغير في شدة المجال المغناطيسي يمكن تخيله على شكل وجود خطوط مجال مغناطيسي متحركة تقطع لفات الملف نفسه، وحسب قانون فاراداي فإن هذا يؤدي إلى توليد قوة محركة كهربائية تؤدي بالتالي إلى توليد تيار كهربائي ذي اتجاه يعاكس أي تغير في شدة التيار الأصلي المار في الملف. إتجاه هذا التيار يعطى حسب قانون لينز الذي ينص على أن: " **القوة المحركة الكهربائية التحريضية تولد تياراً يعمل على توليد مجال مغناطيسي يعاكس تأثير المجال المغناطيسي الذي أدى إلى توليد هذا التيار**" .

2-10-1 معامل التحريض الذاتي

إن الظاهرة التي تعمل على منع التغيير في شدة التيار الكهربائي المار في الملف تسمى بالتحريض الذاتي للملف ويرمز لمعامل التحريض الذاتي بالرمز (L). يمكن تعريف التحريض الذاتي بطريقة أخرى بأنه عندما تتغير شدة المجال المغناطيسي خلال دارة كهربائية فإنه تتولد فيها قوة محركة كهربائية تحريضية يتناسب مقدارها مع معدل تغير التدفق بالنسبة للزمن.

يقاس التحريض الذاتي للملف بوحدة قياس تسمى هنري $[H]$ نسبة إلى العالم الأمريكي(*Joseph Henry*) ويعرّف الهنري بانه التحريض الذاتي لملف تتولد فيه قوة محركة كهربائية تحريضية مقدارها $1/V$ فولت عندما تتغير شدة التيار المار فيه بمعدل $1/A$ أمبير في ثانية. والهنري وحدة كبيرة بالنسبة للدارات الإلكترونية ولهذا نستخدم أجزاء الهنري وهي:

الميلي هنري $[mH]$: $1[mH]=10^{-3}[H]$

الميكروهنري $[\mu H]$: $1[\mu H]=10^{-6}[H]$

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

حيث أن:

- L عامل التحريض الذاتي مقاساً بالهنري $[H]$.
- N عدد لفات الملف (للسلك المستقيم $N=1$).
- μ معامل النفاذية لمادة القلب.
- A مساحة مقطع الملف بالمتر المربع.
- l متوسط طول الملف مقاساً بالمتر

تعطى قيمة القوة المحركة الكهربائية التحريضية المتولدة بالتحريض في ملف بالعلاقة الآتية:

$$emf=-N\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

حيث :

- N عدد لفات الملف.
- $\Delta\phi$ تمثل مقدار التغير في التدفق (الفيض) المغناطيسي.
- Δt تمثل مقدار التغير في الزمن.

وحيث أن التغير في شدة المجال المغناطيسي ناتج عن التغير في شدة التيار Δi فيمكن اعتبار أن التغير في شدة التيار الكهربائي خلال الزمن يتناسب طرداً مع القوة المحركة الكهربائية التحريضية المتولدة ويعبر عن ذلك بالعلاقة الآتية:

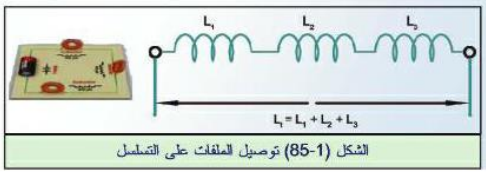
$$emf=-L\frac{\Delta i}{\Delta t}$$

حيث :

- L معامل التحريض الذاتي للملف ويقاس بالهنري [H].

أولاً: توصيل الملفات على التسلسل

$$L_t=L_1+L_2+L_3$$



الشكل (1-85) توصيل الملفات على التسلسل

7-10-1 الطاقة المختزنة في الملف

تعطى الطاقة المغناطيسية المختزنة في الملف بالعلاقة الآتية:

$$E=\frac{1}{2}L\cdot I^2$$

المراجع

1- أساسيات الفيزياء الكلاسيكية والمعاصرة رأفت كامل واصف دار النشر للجامعات ، 2005
2- المغناطيسية والتيار المتردد د. حازم فلاح سكيك جامعة الأزهر – غزة
3- دوائر التيار المتردد لمهنة الالكترونيات والاتصالات – وزارة التربية – سوريا – 2013
4- نظرية الدارات الكهربية د عبدالوهاب ترجمان
5- اسس الهندسة الكهربية د محمد على عثمان و د سميح الجابى
6- by R.A. Seaway Physics for scientists and engineering physics
7- د /اسعد عبدالخالق محاضرات فى الكهرومغناطيسية جامعة الملك سعود
8-