الدرس الأول

الحثّ الكهرومغناطيسي

تمهيد ....

يمكن استخدام بطاريّة لإضاءة مصباح يدويّ، لكن إضاءة شارع أو مدينة تحتاج إلى مصدر طاقة كهربائيّة ذي قدرة أكبر، يعتمد في عمله على الحثّ الكهرومغناطيسي، الذي يرتبط بمفهوم التدفّق المغناطيسي.

1 التدفق المغناطيسي

التعريف

التدفق المغناطيسي: هو ناتج الضرب القياسي لمتّجه المجال المغناطيسي (B) ومتّجه المساحة (A)، ويُعبَّر عن مقداره بالعلاقة الآتية:

$$\Phi_B = B \bullet A = BA\cos\theta$$

ملاحظات هامة...

(1) التدفّق المغناطيسي كميّة قياسيّة، يُقاس بوحدة ($T.m^2$) وتسمّى ويبر (Wb) بحسب النظام الدوليّ للوحدات.

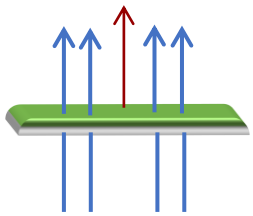
(2) متّجه المساحة(A): هو متجهة مقداره يساوي مساحة سطح الملفّ، واتّجاهه يكون عموديًّا على السطح.

(3) الزاوية (θ) هي الزاوية المحصورة بين متّجَهي المجال المغناطيسي والمساحة.

(4) عندما يميل المجال المغناطيسي عن السطح بزاوية (α) فإنه يميل عن متجه المساحة بزاوية $(\theta = 90 - \alpha)$

☑ **حالات التدفق المغناطيسي الاساسية:**

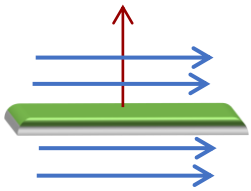
(1) أكبر قيمة للتدفق عندما يكون:



المجال عمودي على السطح == المجال يوازي متجه المساحة $\Leftarrow (\theta = 0)$

$$\Phi = BA$$

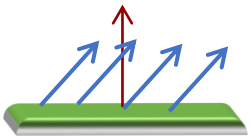
(2) أقل قيمة للتدفق عندما يكون:



المجال يوازي السطح == المجال عمودي على متجه المساحة $\Leftarrow (\theta = 90)$

$$\Phi = 0$$

(3) نصف القيمة العظمى للتدفق عندما يكون:

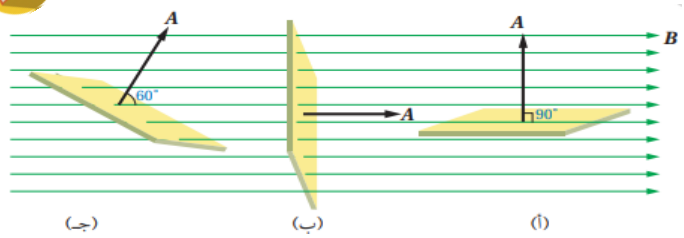


المجال يميل عن السطح بزاوية (30)

== المجال يميل عن متجه المساحة بزاوية $(60) \Leftarrow (\theta = 60)$

$$\Phi = \frac{1}{2}BA$$

مثال (1)



يوضّح الشكل التالي ثلاثة سطوح متماثلة موضوعة في المجال المغناطيسي نفسه. فأيُّ السطوح يخترقه أكبر تدفّق مغناطيسي؟ وأيّها يخترقه أقلّ تدفّق مغناطيسيّ؟

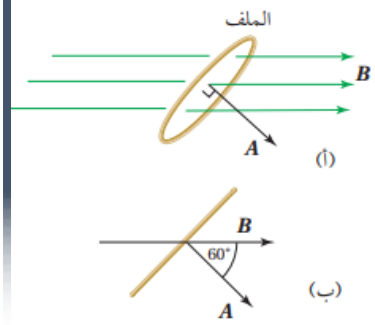
الحل

السطح (أ) : له أقل تدفق مغناطيسي (خطوط المجال لا تخترق السطح)

السطح(ب): له أكبر تدفق مغناطيسي

السطح(ج): مقدار التدفق عليه يساوي نصف القيمة العظمى

مثال (2)



حلقة دائريّة مساحتها $\left(3\times10^{-4}m^2\right)$ موضوعة في مجال مغناطيسي منتظم مقداره $(120\,\mathrm{mT})$ على نحو ما هو موضّح في الشكل المجاور، حيث الزاوية المحصورة بين متّجهي المجال المغناطيسي والمساحة 60° أحسب التدفّق المغناطيسيّ عبر الحلقة:

أ. على نحو ما هي موضّحة في الشكل

ب. عندما يكون مستوى الحلقة عموديًّا على اتجاه المجال المغناطيسي.

ج. عندما يكون مستوى الحلقة موازيًا لاتجاه المجال المغناطيسي.

الحل

المعطيات: $\mathrm{A}=3\times10^{-4}\,\mathrm{m}^2\ ,\ \mathrm{B}=120\times10^{-3}\,\mathrm{T}\ ,\ \theta_{\mathrm{A}}=60^\circ\ ,\ \theta_{\mathrm{B}}=0^\circ\ ,\ \theta_{\mathrm{C}}=90^\circ$

أ)

$$\Phi_{\mathrm{B}}=\mathrm{BA}\cos\theta=\left(120\times10^{-3}\right)\left(3\times10^{-4}\right)\cos\left(60\right)=180\times10^{-7}\mathrm{Wb}$$

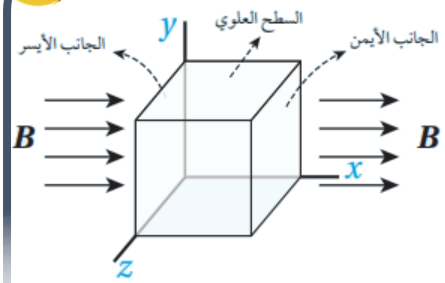
ب)

$$\Phi_{\mathrm{B}}=\mathrm{BA}\cos\theta=\left(120\times10^{-3}\right)\left(3\times10^{-4}\right)\cos\left(0\right)=360\times10^{-7}\mathrm{Wb}$$

ج)

$$\Phi_{\mathrm{B}}=\mathrm{BA}\cos\theta=\left(120\times10^{-3}\right)\left(3\times10^{-4}\right)\cos\left(90\right)=0$$

مثال (3)



مكعب طول ضلعه $(2cm)$ موضوع في مجال مغناطيسي منتظم مقداره $(1.5\mathrm{T})$ على نحو ما هو موضَّح في الشكل المجاور أحسب التدفّق المغناطيسيّ الكلي عبر المكعّب.

ملاحظة....

عندما نرسم متجه المساحة نرسمه خارجاً من السطح

الحل

المعطيات: $h=2\times10^{-2}\,m\ ,\ B=1.5T$

مساحة السطح = (طول الضلع)^2

$$A=h^2=\left(2\times10^{-2}\right)^2=4\times10^{-4}m^2$$

التدفق الكلي عبر المكعب يساوي مجموع التدفق عبر جميع أسطحه

التدفق عبر السطح العلوي والسفلي:

$$\Phi_{B(1,2)}=BA\cos\theta=(1.5)\left(4\times10^{-4}\right)\cos(90)=0$$

التدفق عبر الاسطح الجانبية:

$$\Phi_{B(3,4)}=BA\cos\theta=(1.5)\left(4\times10^{-4}\right)\cos(90)=0$$

التدفق عبر السطح الايسر

$$\Phi_{B(5)}=BA\cos\theta=(1.5)\left(4\times10^{-4}\right)\cos(180)=-6\times10^{-4}Wb$$

التدفق عبر السطح الايمين

$$\Phi_{B(6)}=BA\cos\theta=(1.5)\left(4\times10^{-4}\right)\cos(0)=+6\times10^{-4}Wb$$

التدفق الكلي:

$$\Phi_{B(Total)}=\Phi_{B(1,2)}+\Phi_{B(4,3)}+\Phi_{B(5)}+\Phi_{B(6)}=0+0-6\times10^{-4}+6\times10^{-4}=0$$

استنتاج هام....

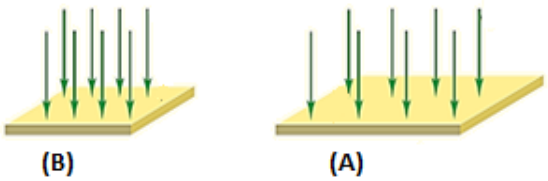
التدفق الكلي على أي جسم مغلق (مجسم) مغمور كليا في مجال مغناطيسي يساوي (صفر) لإن عدد خطوط المجال الداخلة إلى المجسم تساوي عدد خطوط المجال الخارجة من المجسم.

☑ التدفق المغناطيسي وخطوط المجال

- يتناسب التدفق المغناطيسي عبر سطح ما طرديًّا مع عدد خطوط المجال التي تخترق هذا السطح
- يتناسب مقدار المجال المغناطيسي طردياً مع كثافة خطوط المجال (عدد خطوط المجال التي تخترق عموديًّا وحدة المساحة)

مثال (4)

في الشكل المجاور سطحان (A , B) يخترق كل منهما مجال مغناطيسي منتظم، اعتمادا على الشكل أجب عما يلي:



1) في أي الحالتين يكون المجال المغناطيسي أكبر ؟
2) قارن التدفق المغناطيسي عبر السطحين

الحل

1) المجال المغناطيسي عبر السطح (B) أكبر منه عند السطح (A) لإن كثافة خطوط المجال المغناطيسي في (B) أكبر منها في (A)
2) التدفق المغناطيسي متساوي عبر السطحين

☑ التغير في التدفق المغناطيسي

عند حدوث تغير في مقدار أي من عوامل التدفق (مجال، مساحة، زاوية) فإن مقدار التدفق يتغير ويمكن إيجاد مقدار التغير في التدفق باستخدام القانون التالي:

$$\Delta\Phi = \Phi_f - \Phi_i$$

حالة خاصة

إذا تغير عامل واحد فقط من عوامل التدفق يمكن إيجاد التغير في التدفق بالقوانين التالية

1) تغير المجال فقط ⟸⟸ $\Delta\Phi = \Delta B A\cos\theta = (B_2 - B_1)A\cos\theta$

2) تغيرت المساحة فقط ⟸⟸ $\Delta\Phi = B\Delta A\cos\theta = B(A_2 - A_1)\cos\theta$

2) تغيرت الزاوية فقط ⟸⟸ $\Delta\Phi = BA\,\Delta\cos\theta = BA(\cos\theta_2 - \cos\theta_1)$

مثال (5)

مجال مغناطيسي مقداره $(20T)$ يؤثر في ملف مساحته $(5m^2)$ باتجاه عمودي على سطح الملف، جد مقدار كلاً من التغير في التدفق المغناطيسي والمعدل الزمني للتغير في التدفق في الحالات التالية:

1) إذا تغير مقدار المجال المغناطيسي بحيث يصبح $(40T)$ خلال $(2s)$
2) إذا أصبحت مساحة الملف تساوي $(3m^2)$ خلال $(4s)$
3) إذا تغير اتجاه المجال بحيث أصبح يميل عن السطح بزاوية مقدارها (30) خلال $(5s)$
4) إذا أصبح مقدار المجال $(10T)$ واتجاهه يميل عن متجه المساحة بزاوية (60) خلال $(2s)$

الحل

1)

$$\Rightarrow \Delta\Phi = (B_2 - B_1)A\cos\theta = (40-20)(5)\cos 0 = +100Wb$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{100}{2} = 50Wb/s$$

2)

$$\Delta\Phi = B(A_2 - A_1)\cos\theta = (20)(3-5)\cos 0 = -40Wb$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{-40}{4} = -10Wb/s$$

3)

$$\Delta\Phi = BA(\cos\theta_2 - \cos\theta_1) = (20)(5)(\cos 60 - \cos 0) = -50Wb$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{-50}{5} = -10Wb/s$$

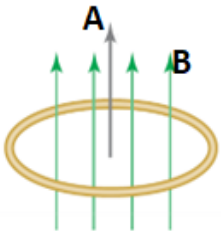
4)

$\Phi_i = BA\cos\theta = 20\times5\times\cos0 = 100Wb$ ، $\Phi_f = BA\cos\theta = 10\times5\times\cos60 = 25Wb$

$\Rightarrow \Delta\Phi = \Phi_f - \Phi_i = 25-100 = -75Wb$

$\Rightarrow \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{-75}{2} = -37.5Wb/s$

مثال (6)



غمر ملف في مجال مغناطيسي منتظم كما في الشكل المجاور فكان التدفق المغناطيسي عبر الملف يساوي $0.6Wb$ احسب:

1) التغير في التدفق المغناطيسي عندما ينعكس اتجاه المجال المغناطيسي المؤثر في الملف
2) التغير في التدفق المغناطيسي إذا تلاشى المجال المغناطيسي المؤثر في الملف

الحل

1) عندما ينعكس اتجاه المجال تصبح الزاوية بين المجال ومتجه المساحة $\theta_2 = (\theta_1 + 180)$ لذلك تنعكس إشارة جيب التمام وعليه تصبح قيمة التدفق الجديد سالبة.

$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = -0.6 - 0.6 = -1.2Wb$

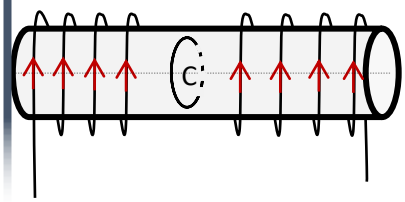
2) عندما يتلاشى المجال $(B=0)$ تصبح قيمة التدفق $(\Phi_2 = 0)$

$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = 0 - 0.6 = -0.6Wb$

استنتاج هام....

إذا كان مقدار التدفق على ملف (Φ_i) وعكس اتجاه المجال فإن مقدار التغير في التدفق $(\Delta\Phi = -2\Phi_i)$

مثال (7)



ملف لولبي عدد لفاته (20) لفة وطوله $(20\pi\ cm)$ يمر فيه تيار كهربائي مقداره $(2A)$ وضع داخله حلقة دائرية مساحتها $(4\times10^{-2}m^2)$ بحيث تكون معرضة لمجال الملف اللولبي إذا زيد تيار الملف اللولبي ليصبح $(6A)$ خلال $(4s)$ فاحسب المعدل الزمني لتغير التدفق المغناطيسي عبر الحلقة

الحل

أولاً نجد مقدار المجال المغناطيسي قبل تغير التيار وبعده

$B_1 = \frac{N\mu I_1}{\ell} = \frac{20(4\pi\times10^{-7})(2)}{20\pi\times10^{-2}} = 8\times10^{-5}T$

$B_2 = \frac{N\mu I_2}{\ell} = \frac{20(4\pi\times10^{-7})(6)}{20\pi\times10^{-2}} = 24\times10^{-5}T$

$\Rightarrow \Delta\Phi = (B_2 - B_1)A\cos\theta = (24\times10^{-5} - 8\times10^{-5})(4\times10^{-2})\cos0 = 64\times10^{-7}Wb$

$\Rightarrow \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{64\times10^{-7}}{4} = 16\times10^{-7}Wb/s$

أسئلة نظرية

سؤال(1): وضح المقصود بالتدفق المغناطيسي؟
الجواب: هو ناتج الضرب القياسي لمتّجه المجال المغناطيسي (B) ومتّجه المساحة (A)

سؤال(2): اذكر العوامل التي يعتمد عليها التدفق المغناطيسي عبر سطح محدد؟
الجواب: 1) مقدار المجال المغناطيسي
2) مقدار المساحة التي أحسب التدفّق عبرها
3) جيب تمام الزاوية المحصورة بين متّجهي المجال المغناطيسيّ والمِساحة

سؤال(3): يمكن تغير التدفق المغناطيسي الذي يخترق ملف بثلاث طرق. اذكرها ؟
الجواب: 1) تغير مقدار المجال المغناطيسي الذي يخترق السطح
2) تغير مقدار مساحة السطح
3) تغير مقدار جيب تمام الزاوية المحصورة بين متّجهي المجال المغناطيسيّ والمِساحة

سؤال(4): وضح ما المقصور بالويبر ؟
الجواب : هو التدفق المغناطيسي عبر وحدة المساحة من سطح ما عندما يخترقه عموديا مجال مغناطيسي مقداره $(1T)$

سؤال(5): ماذا نعني بقولنا إن التدفق المغناطيسي عبر سطح مغمور في مجال مغناطيسي ما يساوي $(5Wb)$
الجواب : أي أن مجال مغناطيسي مقداره $(5T)$ يخترق سطحاً مساحته $(1m^2)$ باتجاه عموديا عليه.

سؤال(6): علل: التدفق المغناطيسي خلال أي سطح مغلق يساوي صفرا
الجواب : لأن عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تخترق السطح من الداخل إلى الخارج يساوي عدد خطوط المجال التي تخترق السطح الجسم نفسه من الخارج إلى الداخل

2 الحث الكهرومغناطيسي

تمهيد....

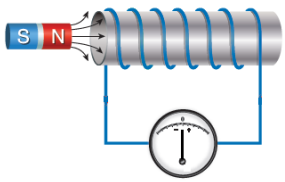
اكتشف العالمان الأمريكي جوزيف هنري والإنجليزي مايكل فارادي عام (1831 م) بشكل مستقل أنّه يُمكن توليد تيار كهربائي في دارة كهربائيّة مغلقة عند تغيير التدفّق المغناطيسي الذي يخترقها. وعرفت هذه الظاهرة باسم ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي.

التعريف

ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي: هي ظاهرة توليد تيار كهربائي حثي في دارة كهربائية(ملف) نتيجة تغير التدفق المغناطيسي عبرها

☑خطوات توليد تيار كهربائي حثي

الشكل المجاور يبين ملف لولبي متصل بغلفانوميتر "دارة مغلقة" وبالقرب منه مغناطيس يتدفق مجاله عبر سطح الملف اللولبي.

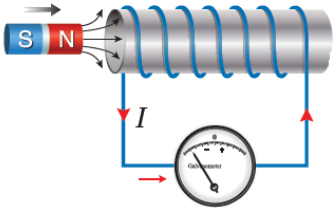


أثناء اقتراب المغناطيس من الملف

1) يتغير التدفق المغناطيسي عبر الملف بسبب زيادة كمية المجال التي تخترقه

2) تتولد قوة دافعة حثية (ε) على الملف اللولبي

3) يتولد تيار كهربائي حثي في الملف ويسري عبر الغلفانوميتر كما في الشكل المجاور

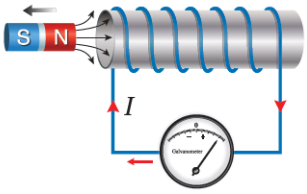


أثناء ابتعاد المغناطيس عن الملف

1) يتغير التدفق المغناطيسي عبر الملف بسبب نقصان كمية المجال التي تخترقه

2) تتولد قوة دافعة حثية (ε) على الملف اللولبي

3) يتولد تيار كهربائي حثي في الملف ويسري عبر الغلفانوميتر كما في الشكل المجاور



تغير التدفق المغناطيسي $(\Delta\Phi)$ ⟸⟸ قوة دفعة حثية (ε') ⟸⟸ تيار حثي (I')

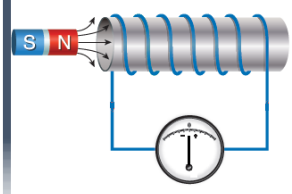
ملاحظات هامة...

1) اتجاه التيار الحثي المتولد في الملف يعتمد على نوع التغير في التدفق (زيادة أو نقصان)

2) يستمر سريان التيار الحثي خلال فترة تغير التدفق وعندما يتوقف المغناطيس عن الحركة يثبت التدفق وتصبح قيمة التيار الحثي صفراً

3) الغلفانوميتر: جهاز يستخدم للكشف عن التيار الكهربائي

مثال (1)

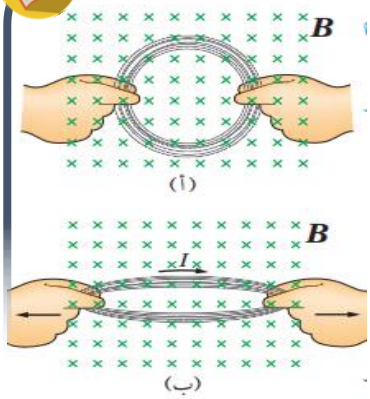


في الشكل المجاور هل ينحرف مؤشر الغلفانوميتر عند تحريك المغناطيس والملف معًا بالاتجاه نفسه بمقدار السرعة نفسه؟

الحل

لا، وذلك لإن التدفق المغناطيسي عبر الملف اللولبي لم يتغير.

مثال (2)



يوضّح الشكل المجاور ملفًّا دائريًّا مغمورًا في مجال مغناطيسيّ منتظم عموديّ على سطح الملف. هل يتولّد تيار كهربائيّ حثّي:

أ. عند تحريك الملف نحو اليسار أو نحو اليمين مع بقائه داخل المجال كما في الشكل (أ)

ب. في أثناء تغيير شكل الملف كما في الشكل (ب)

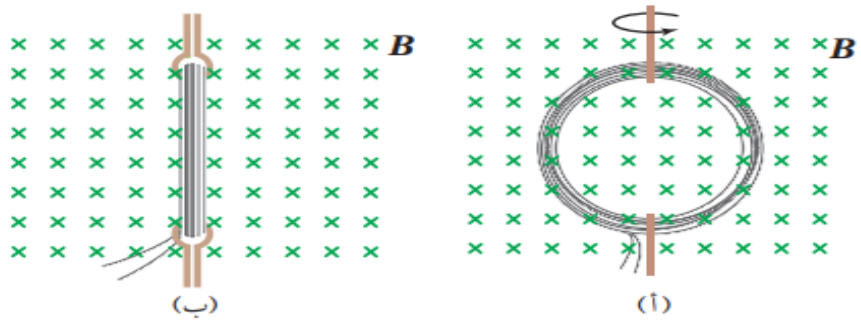
الحل

أ) لا، لإن التدفق المغناطيسي لم يتغير

ب) نعم، لإن التدفق المغناطيسي سيتغير(يقل مقدار التدفق) بتغير مساحة الملف

مثال (3)

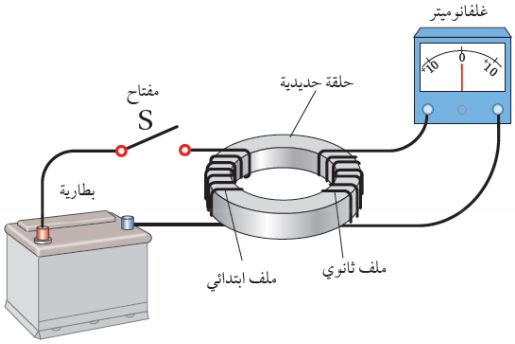
يوضّح الشكل المجاور ملفًّا دائريًّا مغمورًا في مجال مغناطيسيّ منتظم عموديّ على سطح الملف. أُفسّر ما يحدث في أثناء تدوير الملف في المجال المغناطيسيّ ، على نحو ما هو موضَّح في الشكل (ب)



الحل

أثناء دوران الملف تتغير الزاوية المحصورة بين المجال المغناطيسي ومتجه المساحة بحيث يقل التدفق، مما يعني تغير مقدار التدفق وبتالي توليد قوة دافعة حثية وتيار حثي في الملف

مثال (4)



الشكل المجاور يبين دارة كهربائي تتكون من ملف ابتدائي متصل ببطارية ومفتاح (S) وملف ثانوي متصل بغلفانوميتر، وضح ماذا يحدث لمؤشر الغلفانوميتر مفسراً اجابتك :

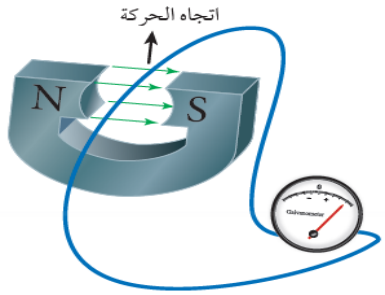
1) لحظة غلق المفتاح.
2) لحظة فتح المفتاح

الحل

1) لحظة غلق المفتاح يسري تيار كهربائي (ناتج من البطارية) في الملف الابتدائي فيتولد مجال مغناطيسي في الملف الابتدائي يعبر الحلقة الحديدية فيخترق الملف الثانوي مما يؤدي إلى زيادة التدفق عبر الملف الثانوي فتتولد قوة دافعة حثية وتيار حثي في الملف الثانوي مما يؤدي إلى انحرف مؤشر الغلفانوميتر، ثم يعود ليستقر عند الصفر بعد ثبات مقدار التدفق المغناطيسي عبر الملف الثانوي

2) لحظة فتح المفتاح يتوقف مرور التيار الكهربائي في الملف الابتدائي فتلاشى المجال مغناطيسي عبر الحلقة الحديدية مما يؤدي إلى نقصان التدفق عبر الملف الثانوي فتتولد قوة دافعة حثية وتيار حثي في الملف الثانوي مما يؤدي إلى انحرف مؤشر الغلفانوميتر ولكن بعكس اتجاهه في الفرع السابق، ثم يعود ليستقر عند الصفر بعد ثبات مقدار التدفق المغناطيسي عبر الملف الثانوي

مثال (5)



الشكل المجاور يمثل ملف كهربائي متصل بغلفانوميتر وموضوع في مجال مغناطيسي ناشئ عن مغناطيس على شكل حذوة فرس بين ماذا يحدث لقراءة الغلفانوميتر في الحالات التالية:

1) عند تحريك المغناطيس نحو الأعلى كما في الشكل
2) عند تحريك الموصل بموازاة طوله

الحل

1) عند تحريك المغناطيس إلى الأعلى تقل مساحة سطح الملف المعرض للمجال المغناطيسي فيقل التدفق مما يؤدي إلى توليد قوة دافعة حثية وتيار حثية فيتحرك مؤشر الغلفانوميتر

2) عند تحريك الموصل بموازاة طوله فإن مقدار التدفق لا يتغير وذلك لعدم تغير أي من المجال المؤثر في الملف أو مساحة الملف المعرضة للمجال أو الزاوية بين متجهي المجال والمساحة ولذلك لن ينشأ تيار حثي وبتالي لن يتحرك مؤشر الغلفانوميتر.

أسئلة نظرية

سؤال(1): وضح المقصود بكل من:
1) الحث الكهرومغناطيسي 2) التيار الحثي

الجواب: 1) الحث الكهرومغناطيسي: هي ظاهرة توليد تيار حثي في ملف نتيجة تغير التدفق المغناطيسي عبره.
2) التيار الحثي : هو التيار الكهربائي الناشئ في دارة كهربائية نتيجة تغيير التدفّق المغناطيسي الذي يخترقها

سؤال(2): هل يمكن توليد تيار كهربائي في موصل باستخدام المجال المغناطيسي

الجواب: نعم، وذلك عن طريق تغير التدفق عبر الموصل شريطة ان يكون الموصل يشكل دارة مغلقة(ملف)

السؤال(3): اذكر طرقا عملية يمكن من خلالها توليد تيار حثي في ملف من سلك توصيل.

الجواب : 1) بتقريب أو إبعاد مغناطيس من ملف كهربائي.
2) بتقريب أو إبعاد ملف أو موصل يسري فيه تيار كهربائي من ملف كهربائي
" أحدهما يولد مجال مغناطيسي والأخر يتأثر به"
3) بتغير مقاومة دارة كهربائية أو فتح تلك الدارة أو إغلاقها بالقرب من ملف كهربائي.
" تغير مقاومة الدارة أو فتح الدارة أو إغلاقها يغير في مقدار التيار الكهربائي المار في الدارة وبتالي يتغير المجال المغناطيسي المتولد حول موصلات تلك الدارة ويتغير التدفق المغناطيسي المؤثر في الملف القريب من الدارة الكهربائية
4) بتغير مساحة سطح الملف المعرض للمجال المغناطيسي
5) بتدوير الملف داخل المجال المغناطيسي بحيث تتغير الزاوية بين متجهي المجال والمساحة.

ملخص: أثر تغير التدفق المغناطيسي عبر ملف

عندما يتغير التدفق المغناطيسي عبر ملف $(\Delta\Phi)$

تنشأ قوة دافعة كهربائية حثية (ε')
- مقدارها: يحسب من قانون فاراداي ← الدرس الثالث
- قطبيتها: بمعرفة اتجاه التيار الحثي

فيتولد تيار كهربائي حثي (I')
- مقداره: باستخدام قانون أوم
- اتجاهه: باستخدام قاعدة اليد اليمنى وقانون لنز

ينشأ عنه مجال مغناطيسي حثي (B')
- مقداره: باستخدام قوانين المجال في الوحدة السابقة
- اتجاهه: باستخدام قانون لنز ← الدرس الرابع

3 قانون فارادي

صاغ العالم فارادي نتائج تجاربه في الحث الكهرومغناطيسي على شكل قانون، سُمّي قانون فارادي في الحثّ

نص القانون

«مقدار القوّة الدافعة الكهربائيّة الحثّيّة المتولّدة في دارة كهربائيّة يتناسب طرديًّا مع المعدل الزمنيّ لتغيّر التدفّق المغناطيسيّ الذي يخترقها ». ويُعبَّر عنه رياضيًّا على النحو الآتي:

$$\varepsilon' = -N\frac{d\Phi}{dt}$$

ملاحظات هامة...

1) عندما يحدث التغيّر في التدفّق المغناطيسيّ $(\Delta\Phi)$ خلال مدّة زمنيةٍ (Δt) فإنّه يُمكن كتابة قانون فارادي في الحثّ على النحو الآتي لحساب القوة الدافعة الكهربائيّة الحثّيّة المتوسطة:

$$\overline{\varepsilon'} = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

سنتعامل خلال دراستنا مع هذا القانون

2) وحدة قياس القوة الدافعة الحثية هي (Wb/s) والتي تكافئ الفولت(V)

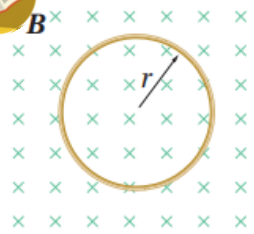
3) المعنى الفيزيائيّ للإشارة السالبة سيتضّح عند دراسة قانون لنز.

4) بعد معرفة مقدار القوة الدافعة الحثية من قانون فارادي يمكن حساب مقدار التيار الكهربائي الحثي باستخدام قانون أوم على النحو التالي:

$$I = \left|\frac{\varepsilon'}{R}\right|$$

حيث (R) تمثل مقدار مقاومة الملف

مثال (1)



ملفّ دائري عدد لفّاته (20) لفة، متوسط نصف قُطر اللفّة الواحدة $(1cm)$ موضوع في مجال مغناطيسيّ منتظم مقداره $(120mT)$ ، على نحو ما هو موضّح في الشكل المجاور سُحِب الملفُّ خارج المجال المغناطيسيّ خلال زمن مقداره $(0.2s)$ أحسبُ القوّة الدافعة الكهربائيّة الحثّيّة المتوسطة المتولّدة في الملفّ.

الحل

المعطيات: $N = 20\ ,\ r = (1\times10^{-2}m)\ ,\ B = (120\times10^{-3})T\ ,\ \Delta t = (2\times10^{-1})s$

مساحة الملف:

$$A = \pi r^2 = \pi(1\times10^{-2})^2 = \pi\times10^{-4}m^2$$

عند خروج الملف من المجال المغناطيسي فإن مقدار المجال المؤثر عليه يصبح صفر وبتالي فإن التدفق يتغير على النحو التالي:

$$\Delta\Phi_B = \Delta B\, A\cos\theta$$
$$= (B_2 - B_1)A\cos\theta = (0 - 120\times10^{-3})(\pi\times10^{-4})\cos 0 = -120\pi\times10^{-7}\ \text{Wb}$$

الان يمكن إيجاد القوة الدافعة الحثية

$$\bar{\varepsilon}' = -N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -(20)\times\frac{(-120\pi\times10^{-7})}{(2\times10^{-1})} = 120\pi\times10^{-5}\ \text{V}$$

مثال (2)

ملفّ دائريّ عدد لفّاته (100) لفة، ومِساحة مقطعه العرضي $(1.2\times10^{-4}\,\text{m}^2)$ ، موضوع في مجال مغناطيسيّ منتظم مقداره (1T) على نحو ما هو موضّح في الشكل المجاور. بداية، مستوى الملف موازٍ لخطوط المجال المغناطيسي، ثمّ دار الملف بزاوية مقدارها (90°) حول محور رأسيّ بحيث أصبح مستواه عموديًّا على اتّجاه المجال المغناطيسيّ خلال $(0.5s)$. أحسب ما يأتي:

أ. التغيّر في التدفّق المغناطيسيّ عبر مقطع الملف.

ب. القوّة الدافعة الكهربائيّة الحثّيّة المتوسطة المتولدة عبر الملف.

ج. التيّار الكهربائيّ الحثّي المتوسط المارّ في الملف، إذا علمت أنّ المقاومة الكهربائيّة للملف (4Ω)

الحل

المعطيات: $N=100\ ,\ A=(1.2\times10^{-4}\,\text{m}^2)\ ,\ B=(1)\text{T}\ ,\ \theta_1=90\ ,\ \theta_2=0\ ,\ \Delta t=(5\times10^{-1})\text{s}\ ,\ R=4\Omega$

أ)

$$\Delta\Phi_B = B\,A\,\Delta\cos\theta$$
$$= BA(\cos\theta_2 - \cos\theta_2) = (1)(1.2\times10^{-4})(\cos 0 - \cos 90) = 1.2\times10^{-4}\ \text{Wb}$$

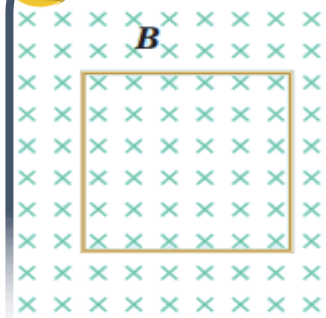
ب)

$$\bar{\varepsilon}' = -N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -(100)\times\frac{(1.2\times10^{-4})}{(5\times10^{-1})} = -2.4\times10^{-2}\ \text{V}$$

ج)

$$I = \left|\frac{\varepsilon'}{R}\right| = \left|\frac{-2.4\times10^{-2}}{4}\right| = 6\times10^{-3}\,\text{A} = 6\text{mA}$$

مثال (3)



حلقة مربّعة الشكل مقاومتها (10Ω) موضوعة في مجال مغناطيسيّ منتظم، حيث مستواها عموديٌّ على اتّجاه المجال المغناطيسيّ على نحو ما هو موضّح في الشكل المجاور. إذا تغيّر التدفّق المغناطيسي الذي يخترق الحلقة من قيمة ابتدائية (0.15wb) إلى (0.10wb) خلال $(0.01s)$ ، أحسب ما يأتي:

أ . القوة الدافعة الكهربائية الحثّيّة المتوسطة المتولّدة في الحلقة.

ب. التيار الكهربائي الحثّي المتوسط المار في الحلقة.

الحل

المعطيات: $R=10\Omega,\ \theta_1=0\ ,N=1\ ,\ \Phi_{B1}=0.15\text{Wb}\ ,\ \Phi_{B2}=0.1\text{Wb}\ ,\ \Delta t=\left(1\times10^{-2}\right)\text{s}$

أ)

$$\Delta\Phi_B=\Phi_{B2}-\Phi_{B1}=(0.1)-(0.15)$$
$$=-0.05\text{Wb}=-5\times10^{-2}\text{Wb}$$
$$\vec{\varepsilon}'=-N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}=-(1)\times\frac{\left(-5\times10^{-2}\right)}{\left(1\times10^{-2}\right)}=5\text{V}$$

ب)

$$I=\left|\frac{\varepsilon'}{R}\right|=\left|\frac{5}{10}\right|=0.5\text{A}$$

مثال (4)

حلقة دائرية موصلة نصف قطرها (0.1m) ، موضوعة في مجال مغناطيسي منتظم مقداره (0.15T) ، على أن يكون مستواها عموديًّا على اتجاه المجال المغناطيسي. سحبت الحلقة من طرفين متقابلين فيها، فتغيّر شكلها، وأصبحت مساحتها $\left(3\times10^{-2}\text{m}^2\right)$ خلال (0.2s) . أحسب القوة الدافعة الكهربائيّة الحثّية المتوسطة المتولّدة في الحلقة خلال هذه المدّة الزمنية.

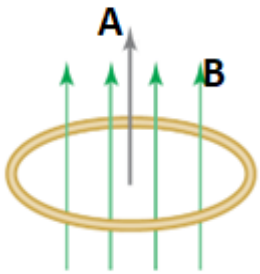
الحل

المعطيات: $r=0.1\text{m}\ ,\ B=0.15\text{T}\ ,\ \theta=0\ ,\ A_2=3\times10^{-2}\text{m}^2\ ,\ \Delta t=0.2\text{s}$

مساحة الحلقة قبل تغير الشكل

$$A_1=\pi r^2=\pi\left(1\times10^{-1}\right)^2=\pi\times10^{-2}\text{m}^2\approx3.14\times10^{-2}\text{m}^2$$
$$\Delta\Phi_B=B(A_2-A_1)\cos\theta$$
$$=\left(15\times10^{-2}\right)\left(3\times10^{-2}-3.14\times10^{-2}\right)\cos0$$
$$=-2.1\times10^{-4}\text{Wb}$$
$$\varepsilon'=-N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}=-(1)\frac{\left(-2.1\times10^{-4}\right)}{\left(2\times10^{-1}\right)}=+1.05\times10^{-3}\text{V}$$

مثال (5)



غمر ملف عدد لفاته (5000)لفة في مجال مغناطيسي منتظم كما في الشكل المجاور فكان التدفق المغناطيسي عبر الملف يساوي $(0.6\,\text{Wb})$ احسب:

1) متوسط القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في الملف عندما ينعكس اتجاه المجال المغناطيسي المؤثر في الملف خلال $(0.2s)$

2) متوسط القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في الملف إذا تلاشى المجال المغناطيسي المؤثر في الملف خلال $(0.3s)$

3) المعدل الزمني لتغير التدفق مغناطيسي عندما يصبح متوسط القوة الدافعة كهربائية الحثية $(-1000\,\text{V})$

الحل

1)

$$\Phi_f = -\Phi_i \quad \Rightarrow\Rightarrow \Delta\Phi = \Phi_f - \Phi_i = -2\Phi_i = -1.2\text{Wb}$$

$$\varepsilon' = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -5000\frac{(-1.2)}{0.2} = +30000\,\text{V}$$

2)

$$\Phi_f = 0 \quad \Rightarrow\Rightarrow \Delta\Phi = \Phi_f - \Phi_i = -\Phi_i = -0.6\text{Wb}$$

$$\varepsilon' = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -5000\frac{(-0.6)}{0.3} = +10000\,\text{V}$$

3)

$$\varepsilon' = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$-1000 = -5000\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \Rightarrow \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 0.2\text{Wb/s}$$

مثال (6)

ملف مستطيل أبعاده $(5\text{cm},8\text{cm})$ موضوع في مجال مغناطيسي بحيث يكون مستواه عمودياً على اتجاه خطوط المجال إذا علمت أن عدد لفات الملف (100) لفة ومقاومته (10Ω) **فاحسب المعدل الزمني للتغير في المجال المغناطيسي** اللازم لإحداث تيار حثي في الملف مقداره (0.1A)

الحل

أولاً نجد مساحة الملف

$$\text{A} = \text{W}\times\text{L} = \left(5\times10^{-2}\right)\left(8\times10^{-2}\right) = 4\times10^{-3}\,\text{m}^2$$

نجد مقدار القوة الدافعة الحثية من خلال قانون أوم..

$$\varepsilon' = \text{I}\times\text{R} = 0.1\times10 = 1\text{V}$$

$$\varepsilon' = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad \varepsilon' = -N\times\frac{\Delta B}{\Delta t}\text{A}\cos\theta$$

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{\varepsilon'}{-\text{NA}\cos\theta} = \frac{1}{-100\times4\times10^{-3}\times1} = -2.5\,\text{T/s}$$

مثال (7)

ملف عدد لفاته (100) لفة مغمور في مجال مغناطيسي احسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثية في الملف لكل من الحالات التالية:

1) إذا تزايد التدفق عبر سطح الملف بمقدار $(8Wb/s)$

2) إذا تناقص التدفق عبر سطح الملف بمقدار $(4Wb/s)$

3) إذا تعرض الملف لتدفق مغناطيسي مقداره $(5Wb)$ لمدة $(4s)$

الحل

1)

$$\varepsilon' = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -100\times(+8) = -800V$$

2)

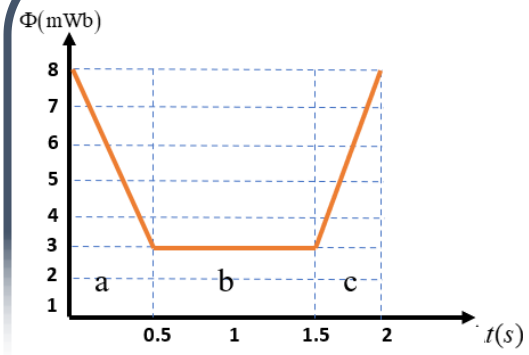
$$\varepsilon' = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -100\times(-4) = +400V$$

3)

التدفق بقي ثابت ولم يتغير إذا $(\Delta\Phi = 0)$ وبتالي لا تتولد قوة دافعة حثية

مثال (8)

ملف عدد لفاته (200) ومقاومته (5Ω) يشكل دارة مقفلة يتغير التدفق المغناطيسي الذي يعبره خلال ثانيتين حسب الرسم البياني المجاور معتمدا على الرسم أجب عما يأتي:



1) احسب القوة الدافعة الحثية المتولدة خلال كل فترة من الفترات (a,b,c)

2) احسب مقدار التيار الحثي المتولد في الملف خلال الفترة (a)

3) مثل بيانيا العلاقة بين القوة الدافعة الحثية والزمن خلال ثانيتين

الحل

1)

$$\varepsilon' = -N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

$$\varepsilon'_a = -(200)\frac{(3-8)\times10^{-3}}{(0.5-0)} = 2V$$

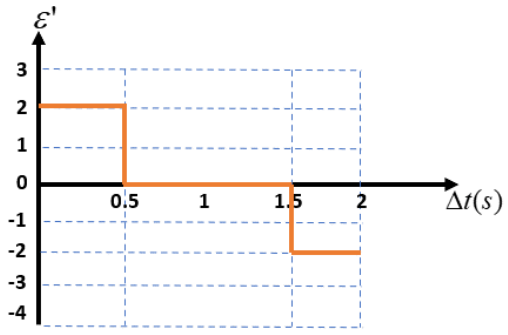
$$\varepsilon'_b = -(200)\frac{(3-3)\times10^{-3}}{(1.5-0.5)} = 0V$$

$$\varepsilon'_c = -(200)\frac{(8-3)\times10^{-3}}{(2-1.5)} = -2V$$

2)

$$I = \left|\frac{\varepsilon}{R}\right| = \left|\frac{2}{5}\right| = 0.4A$$

3)



واجبات (اختبر نفسك)

السؤال الأول — كتاب

حلقة فلزّية مساحة مقطعها العرضي $(10cm^2)$ موضوعة في مجال مغناطيسي منتظم على أن يكون مستواها عموديًّا على اتّجاه المجال المغناطيسي. إذا ازداد مقدار المجال المغناطيسي ازديادًا منتظمًا من $(0.5T)$ إلى $(2.5T)$ خلال $(1s)$ ، فأحسبُ التيار الكهربائي الحثّي المتولّد في الحلقة إذا علمتُ أنّ مقاومتها (1Ω)

الحل

المعطيات: $A=10\times10^{-4}m^2 \ , \ B_1=0.5T \ , B_2=2.5T \ , \ \Delta t=1s \ , \ R=1\Omega$

$$\Delta\Phi_B=(B_2-B_1)A\cos\theta$$
$$=(2.5-0.5)(10\times10^{-4})\cos0$$
$$=20\times10^{-4}\ Wb$$
$$\varepsilon'=-N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}=-(1)\frac{(20\times10^{-4})}{(1)}=-2\times10^{-3}\ V$$
$$I=\left|\frac{\varepsilon'}{R}\right|=\left|\frac{-2\times10^{-3}}{1}\right|=2\times10^{-3}A$$

السؤال الثاني — كتاب

ملفّ من سلك موصِل عدد لفّاته (400) ، ومقاومته الكهربائيّة (50Ω) ، ومساحة مقطعه العرضي $(0.25m^2)$. وضع الملف داخل مجال مغناطيسي منتظم مقداره $(2T)$ ، حيث مستوى الملف عموديّ على اتجاه المجال المغناطيسي. فإذا تلاشى المجال المغناطيسي خلال $(0.5s)$ ، أحسب ما يأتي:

أ. القوّة الدافعة الكهربائيّة الحثّية المتوسطة المتولّدة في الملف.

ب. التيار الكهربائي الحثّي المتولّد في الملف.

الحل

المعطيات: $N=400 \ , R=50\Omega \quad A=0.25m^2 \quad B_1=2T \quad , B_2=0 \ , \ \Delta T=0.5s$

أ)

$$\Delta\Phi_B=(B_2-B_1)A\cos\theta$$
$$=(0-2)(0.25)\cos0$$
$$=-0.5\ Wb$$
$$\varepsilon'=-N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}=-(400)\frac{(-0.5)}{(0.5)}=400\ V$$

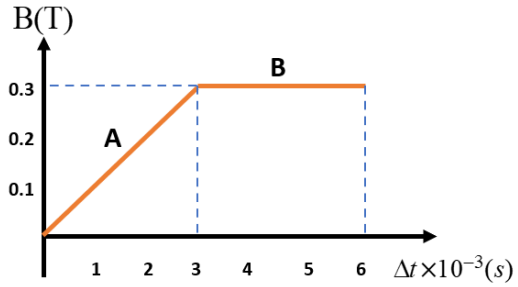
ب)

$$I=\left|\frac{\varepsilon'}{R}\right|=\left|\frac{400}{50}\right|=8A$$

السؤال الثالث

سنوات سابقة

يمثل الرسم البياني المجاور تغير المجال المغناطيسي بالنسبة للزمن إذا كان هذا المجال يخترق ملف عدد لفاته (600) ومساحة اللفة الواحدة $\left(2\times10^{-4}\,\mathrm{m}^2\right)$ بحيث يكون مستوى الملف عمودي على المجال احسب:



1) التغير في التدفق المغناطيسي عبر الملف في المرحلتين (a,b)

2) القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتوسطة المتولدة في المرحلتين (a,b)

الحل

1)

$$\Delta\Phi_B=(B_2-B_1)\mathrm{A}\cos\theta$$

$$\Delta\Phi_{B(a)}=(0.3-0)\left(2\times10^{-4}\right)(1)=6\times10^{-5}\,\mathrm{Wb}$$

$$\Delta\Phi_{B(b)}=(0.3-0.3)\left(2\times10^{-4}\right)(1)=0\,\mathrm{Wb}$$

2)

$$\varepsilon'=-N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

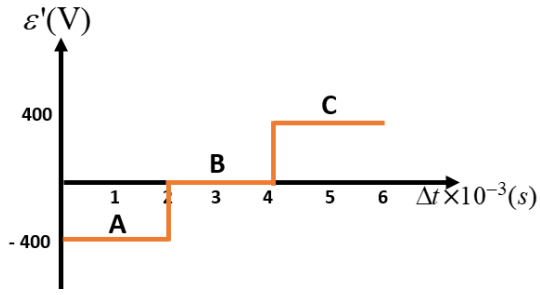
$$\varepsilon'_a=-(600)\frac{\left(6\times10^{-5}\right)}{(3-0)\times10^{-3}}=-12\,\mathrm{V}$$

$$\varepsilon'_b=-(600)\frac{(0)}{(6-3)\times10^{-3}}=0\,\mathrm{V}$$

السؤال الرابع

سنوات سابقة

يمثل الرسم البياني المجاور العلاقة بين القوة الدافعة الكهربائية الحثية والزمن لملف دائري عدد لفاته (10^3) لفة مستواه يتغير باستمرار من وضع يكون فيه موازٍ لخطوط المجال المغناطيسي إلى وضع يكون مستواه عمودي على خطوط المجال المغناطيسي مستعينا بالقيم المثبتة على الرسم أجب عما يلي:



1) احسب التغير في التدفق المغناطيسي في كل مرحلة من المراحل (a,b,c)

2) ارسم خطا بيانيا يوضح العلاقة بين التدفق المغناطيسي والزمن

الحل

1)

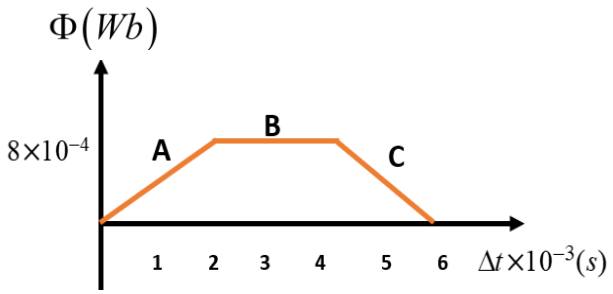
$$\varepsilon'=-N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}\quad\Rightarrow\Delta\Phi_B=\frac{\varepsilon'\times\Delta t}{-N}$$

$$\Delta\Phi_{B(a)}=\frac{-400\times(2-0)\times10^{-3}}{-\left(10^3\right)}=8\times10^{-4}\,\mathrm{Wb}$$

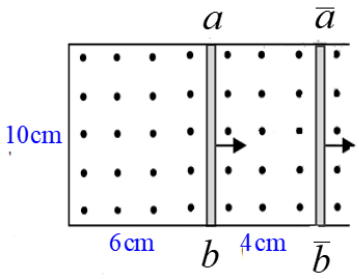
$$\Delta\Phi_{B(b)}=\frac{0\times(4-2)\times10^{-3}}{-\left(10^3\right)}=0\,\mathrm{Wb}$$

$$\Delta\Phi_{B(c)}=\frac{400\times(6-4)\times10^{-3}}{-\left(10^3\right)}=-8\times10^{-4}\,\mathrm{Wb}$$

2)



السؤال الخامس — سنوات سابقة



انزلق السلك (ab) إلى الموضع $(\bar{a}\bar{b})$ بسرعة ثابتة كما في الشكل المجاور خلال $(0.1s)$ في مجال مغناطيسي مقداره $(0.2T)$ مستعينا بالبيانات على الشكل احسب:

1) التغير في التدفق المغناطيسي عبر الحلقة المكونة من المجرى والسلك
2) القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في السلك أثناء حركته
3) اتجاه التيار الحثي المتولد في السلك أثناء حركته (**يحل بعد دراسة قانون لنز**)

الحل

1)

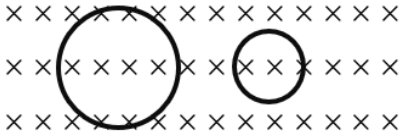
$$\Delta\Phi_B = B(A_2 - A_1)\cos\theta$$
$$= (0.2)(100\times10^{-4} - 60\times10^{-4})(1) = 8\times10^{-4}\ \text{Wb}$$

2)

$$\varepsilon' = -N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -(1)\frac{(8\times10^{-4})}{0.1} = -8\times10^{-3}\ \text{V}$$

3) اتجاه التيار مع عقارب الساعة

السؤال السادس



تم وضع ملفان دائريان في مجال مغناطيسي كما في الشكل المجاور اعتماد على الشكل أي الملفان يتكون فيه تيار حثي أكبر الملف الكبير أم الملف الصغير

الحل

لن يتكون تيار حثي في أي من الملفين لإن الملفين ساكنين وبتالي فإن التدفق عليهما ثابت (التغير في التدفق يساوي صفر)

4 قانون لنز

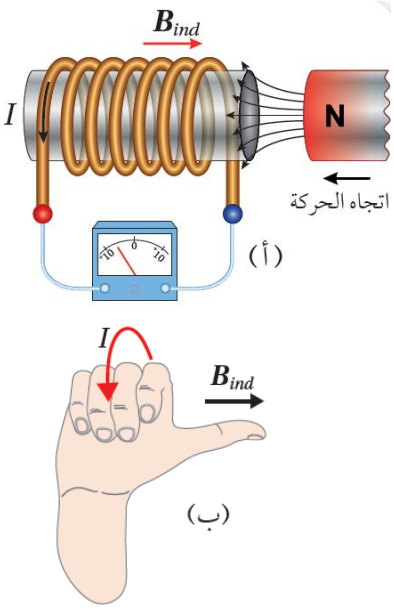
نص القانون

«القوة الدافعة الكهربائيّة الحثّية المتولّدة تكون في الاتّجاه الذي يُقاوم التغيّر في التدفّق المغناطيسي الذي يؤدّي إلى توليدها»

☑ تفسير قانون لينز

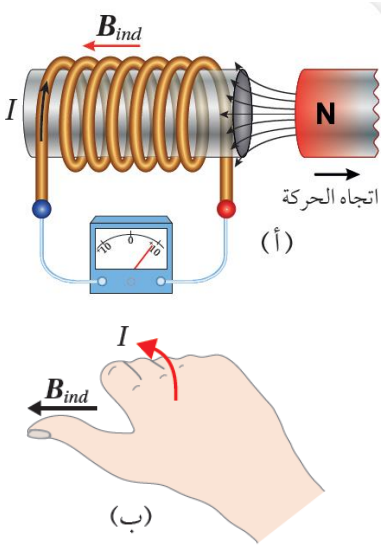
1) عند **تقريب** المغناطيس من الملف

- **يزداد** التدفق المغناطيسي عبر الملف
- فينشأ تيار حثي في الملف يتولد عنه مجال مغناطيسي حثي (B_{ind}) **بعكس** اتجاه المجال المؤثر **ليقاوم** الزيادة في التدفق المغناطيسي
- باستخدام **قاعدة اليد اليمنى** نحدد اتجاه التيار الحثي كما في الشكل المجاور
- ينشأ على طرف الملف القريب من المغناطيس قطب مغناطيسي حثي **مشابه** للقطب المغناطيسي المقترب من الملف " **يحدث تنافر** "



2) عند **ابتعاد** المغناطيس عن الملف

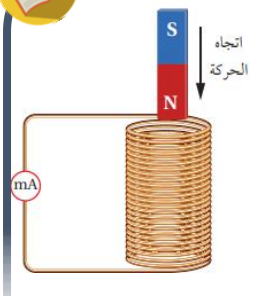
- **يقل** التدفق المغناطيسي عبر الملف
- فينشأ تيار حثي في الملف يتولد عنه مجال مغناطيسي حثي (B_{ind}) **بنفس** اتجاه المجال المؤثر **ليقاوم** النقصان في التدفق المغناطيسي
- باستخدام **قاعدة اليد اليمنى** نحدد اتجاه التيار الحثي كما في الشكل المجاور
- ينشأ على طرف الملف القريب من المغناطيس قطب مغناطيسي حثي **مخالف** للقطب المغناطيسي المبتعد عن الملف " **يحدث تجاذب** "



💡 نتيجة....

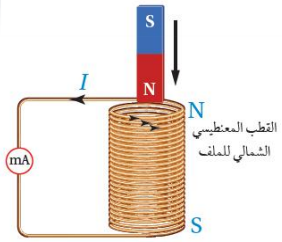
1) عند **تقريب** مغناطيس من طرف ملف كهربائي يتولد قطب مغناطيسي حثي على هذا الطرف **يشابه** القطب المغناطيسي المقترب
2) عند **إبعاد** مغناطيس عن طرف ملف كهربائي يتولد قطب مغناطيسي حثي على هذا الطرف **مخالف** للقطب المغناطيسي المبتعد
3) عند تقريب أو ابعاد مغناطيس من ملف يتولد تيار حثي في الملف يؤثر على حركة المغناطيس، بحيث تتولد **مقاومة لحركة** المغناطيس بالنسبة للملف

مثال (1)



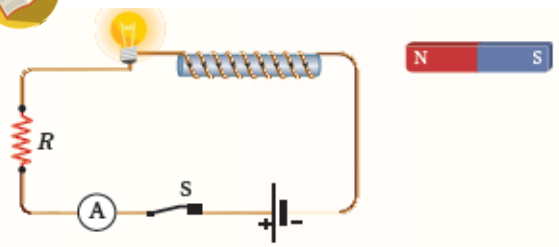
يقترب القطب الشمالي لمغناطيس من ملف، فيتحرك مؤشّر الملي أميتر المتصل به.
ويوضّح الشكل المجاور منظرًا جانبيًّا للمغناطيس في أثناء اقترابه من الملف. ما اتجاه التيار الحثي المتولد في الملف عند النظر إلى الملف من الأعلى؟

الحل



عند اقتراب المغناطيس من الملف يزداد التدفق المغناطيسي عبر الملف، وحسب قانون لنز ينشأ مجال مغناطيسي حثي اتجاهه نحو الأعلى (قطب شمالي حثي على طرف الملف القريب من المغناطيس) ليقاوم التغير في التدفق، وباستخدام قاعدة اليد اليمنى فإن اتجاه التيار الحثي عند النظر إلى الملف من الأعلى يكون بعكس اتجاه عقارب الساعة كما في الشكل المجاور.

مثال (2)



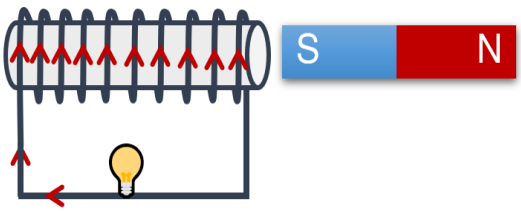
يوضّح الشكل المجاور دارة كهربائيّة مغلقة. أتوقّع ما يحدث لإضاءة المصباح في أثناء:
أ) تقريب القطب الشمالي للمغناطيس من الملف اللولبي.
ب) تقريب القطب الجنوبي للمغناطيس من الملف اللولبي.

الحل

أ) عند اقتراب المغناطيس من الملف يزداد التدفق المغناطيسي عبر الملف، وحسب قانون لنز ينشأ مجال مغناطيسي حثي اتجاهه نحو اليمين (قطب شمالي حثي على طرف الملف القريب من المغناطيس) ليقاوم التغير في التدفق، وباستخدام قاعدة اليد اليمنى فإن اتجاه التيار الحثي بنفس اتجاه تيار البطارية، فتزداد إضاءة المصباح

ب) عند اقتراب المغناطيس من الملف يزداد التدفق المغناطيسي عبر الملف، وحسب قانون لنز ينشأ مجال مغناطيسي حثي اتجاهه نحو اليسار (قطب جنوبي حثي على طرف الملف القريب من المغناطيس) ليقاوم التغير في التدفق، وباستخدام قاعدة اليد اليمنى فإن اتجاه التيار الحثي بعكس اتجاه تيار البطارية، فتقل إضاءة المصباح

مثال (3)

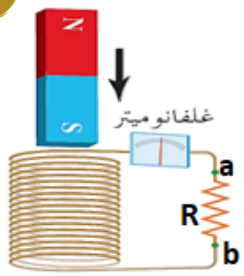


في الشكل المجاور أثناء تحريك المغناطيس تكون تيار حثي في الملف في الإتجاه المبين في الشكل, إعتماد على الشكل حدد إتجاه حركة المغناطيس بالنسبة للملف, هل كان مقترب منه أم مبتعد عنه.

الحل

حسب قاعدة اليد اليمنى يكون اتجاه المجال المغناطيسي الحثي نحو اليسار (أي أن القطب القريب من المغناطيس هو قطب جنوبي والقطب البعيد عن المغناطيس هو قطب شمالي)، وهذا المجال لا ينشئ إلا إذا كان المغناطيس مقترباً من الملف حسب قاعدة لنز ليقاوم الزيادة في التدفق.

مثال (4)



أسقط طالب مغناطيساً داخل ملف كما في الشكل المجاور فتحرك المغناطيس بتسارع اقل من تسارع الجاذبية الأرضية فافترض الطالب أنه توجد قوة معاكسة لقوة الجاذبية الأرضية تؤثر في حركة المغناطيس اجب عما يأتي:

1) أثبت صحة هذه الفرضية.
2) إذا اسقطت قطعة حديد غير ممغنطة فهل تسقط اسرع من المغناطيس أم ابطاء ولماذا ؟

الحل

(1

عند اقتراب المغناطيس من الملف يزداد التدفق المغناطيسي عبر الملف، وحسب قانون لنز ينشأ مجال مغناطيسي حثي اتجاهه نحو الاسفل (قطب جنوبي حثي على طرف الملف القريب من المغناطيس) ليقاوم التغير في التدفق، ولذلك تنشئ قوة تنافر بين القطب الجنوبي للمغناطيس والقطب الجنوبي الحثي للملف، فتحدث إعاقة لحركة المغناطيس فيدخل إلى الملف بتسارع اقل من تسارع الجاذبية

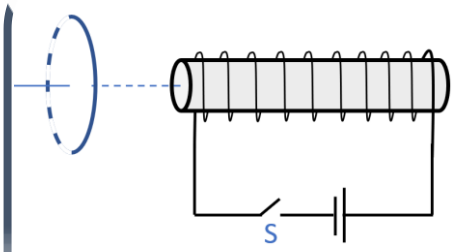
وعند خروج المغناطيس من الملف من الطرف المقابل يقل التدفق المغناطيسي عبر الملف، وحسب قانون لنز ينشأ مجال مغناطيسي حثي اتجاهه نحو الاسفل (قطب جنوبي حثي على طرف الملف السفلي) ليقاوم التغير في التدفق، ولذلك تنشئ قوة تجاذب بين القطب الشمالي للمغناطيس والقطب الجنوبي الحثي للملف، فتحدث إعاقة لحركة المغناطيس فيخرج من الملف بتسارع اقل من تسارع الجاذبية

(2

سوف تسقط بشكل حر أسرع من المغناطيس لإنها لا تواجه ممانعة لحركته.

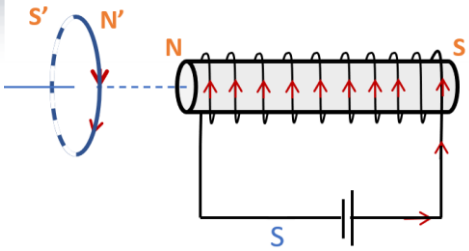
مثال (5)

وزاري



حلقة فلزية مستواها عمودي على هذه الورقة ومجاورة لدارة كهربائية لاحظ الشكل المجاور. عند غلق المفتاح (S) حدد على الحلقة اتجاه التيار الحثي المتولد فيها

الحل

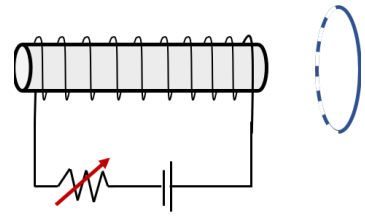


لحظة غلق المفتاح يسري تيار كهربائي في الملف اللولبي ينشئ عنه مجال مغناطيسي اتجاهه نحو اليسار فيزداد التدفق المغناطيسي عبر الحلقة ، وحسب قانون لنز ينشأ مجال مغناطيسي حثي اتجاهه نحو اليمين (قطب شمالي حثي على طرف الملف القريب من المغناطيس) ليقاوم التغير في التدفق، وباستخدام قاعدة اليد اليمنى فإن اتجاه التيار الحثي بعكس حركة عقارب الساعة عند النظر إلى الحلقة من اليمين، كما في الشكل المجاور

مثال (6)

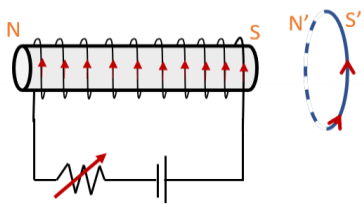
وزاري

بيّن على الحلقة اتجاه التيار الحثي المتولد فيها خلال زيادة المقاومة المتغيرة في الشكل . مع تعليل إجابتك



الحل

عند زيادة مقدار المقاومة يقل مقدار التيار كهربائي في الملف اللولبي فيقل المجال المغناطيسي الناشئ عنه مما يؤدي إلى نقصان التدفق المغناطيسي عبر الحلقة ، وحسب قانون لنز ينشأ مجال مغناطيسي حثي اتجاهه نحو اليسار (قطب شمالي حثي على طرف الملف القريب من المغناطيس) ليقاوم التغير في التدفق، وباستخدام قاعدة اليد اليمنى فإن اتجاه التيار الحثي باتجاه حركة عقارب الساعة عند النظر إلى الحلقة من اليمين، كما في الشكل المجاور



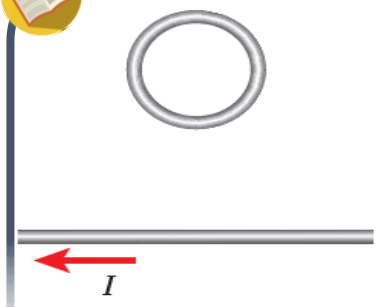
مثال (7)

حلقة موصلة وضعت بالقرب من سلك موصل مستقيم يسري فيه تيار كهربائي (I) لجهة اليسار على نحو ما هو مبين في الشكل المجاور. أُحدّد لكل حالة من الحالات الآتية، هل يمر تيار كهربائي حثّي في الحلقة أم لا ؟ وأحدّد اتجاهه.

أ. عندما تتحرك الحلقة رأسيًّا إلى الأسفل باتجاه السلك.

ب. أثناء إنقاص التيار الكهربائي المارّ في السلك مع بقاء الحلقة ثابتة.

ج. عندما تتحرك الحلقة أُفقيًّا بموازاة طول السلك لجهة اليسار .



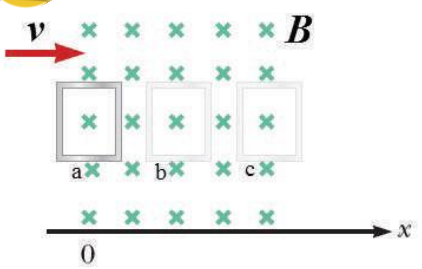
الحل

أ) عند اقتراب الحلقة من الموصل يزداد مقدار المجال المغناطيسي عبر الحلقة فيزداد مقدار التدفق المغناطيسي ، وحسب قانون لنز ينشأ مجال مغناطيسي حثي اتجاهه بتجاه خارج من الصفحة (عكس اتجاه المجال المؤثر عليها) ليقاوم التغير في التدفق، وباستخدام قاعدة اليد اليمنى فإن اتجاه التيار الحثي بعكس حركة عقارب الساعة

ب) عند إنقاص تيار الموصل يقل مقدار المجال المغناطيسي عبر الحلقة فيقل مقدار التدفق المغناطيسي ، وحسب قانون لنز ينشأ مجال مغناطيسي حثي اتجاهه باتجاه داخل إلى الصفحة (بنفس اتجاه المجال المؤثر عليها) ليقاوم التغير في التدفق، وباستخدام قاعدة اليد اليمنى فإن اتجاه التيار الحثي باتجاه حركة عقارب الساعة

ج) لا يتغير التدفق المغناطيسي الذي تتعرض له الحلقة وبتالي لا يتولد تيار حثي

مثال (8)



حلقة فلزّية مستطيلة الشكل تقع في المستوى (xy) ، وتتحرك باتجاه محور $(x+)$ بسرعة متجهة ثابتة، فتدخل منطقة مجال مغناطيسي منتظم باتجاه محور $(z-)$ على نحو ما هو موضّح في الشكل المجاور.
وتُمثّل الرموز a و b و c مرحلة دخول الحلقة منطقة المجال المغناطيسي، ومرحلة حركتها بداخله، ومرحلة خروجها من منطقة المجال المغناطيسي، على الترتيب. أجب عمّا يأتي:

أ . أيّ المراحل الثلاث يتولّد فيها قوة دافعة كهربائية وتيار كهربائي حثّي في الحلقة؟ أُفسّر إجابتي.

ب. أُحدّد اتجاه التيار الكهربائي الحثّي المتولّد في كل مرحلة إن وُجِد، مفسِّرًا إجابتي.

الحل

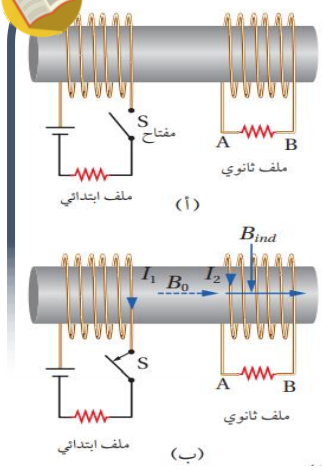
أ) أثناء مرحلة دخول وخروج الحلقة من منطقة المجال يتولد تيار حثي بسبب تغير التدفق المغناطيسي عبر الحلقة أم أثناء حركتها داخل المجال المغناطيسي (b) لا يتولد تيار حثي بسبب ثبات التدفق المغناطيسي عبر الحلقة

ب)

أثناء المرحلة (a) يزداد مقدار التدفق المغناطيسي عبر الحلقة، وحسب قانون لنز ينشأ مجال مغناطيسي حثي اتجاهه نحو الخارج (عكس اتجاه المجال المؤثر عليها) ليقاوم التغير في التدفق، وباستخدام قاعدة اليد اليمنى فإن اتجاه التيار الحثي بعكس اتجاه حركة عقارب الساعة

أثناء المرحلة (C) يقل مقدار التدفق المغناطيسي عبر الحلقة، وحسب قانون لنز ينشأ مجال مغناطيسي حثي اتجاهه نحو الداخل (بنفس اتجاه المجال المؤثر عليها) ليقاوم التغير في التدفق، وباستخدام قاعدة اليد اليمنى فإن اتجاه التيار الحثي باتجاه حركة عقارب الساعة

مثال (9)



لُفّ ملفّان عدد لفات كلٍّ منهما (100) لفة، ومساحة المقطع العرضي لكلّ منهما $(3\times10^{-4}\,m^2)$ ، على قلب حديدي على نحو ما هو موضّح في الشكل (أ). عند إغلاق مفتاح دارة الملف الابتدائيّ يتولّد مجال مغناطيسي داخله مقدارُه $(B_o=180mT)$ ينتقل عبر القلب الحديدي، على نحو ما هو موضّح في الشكل (ب)، وعند فتح الدارة الكهربائيّة يتلاشى هذا المجال المغناطيسيّ خلال $(0.1s)$
أُجيب عمّا يأتي:

أ . احسب القوة الدافعة الكهربائيّة الحثّية المتوسطة المتولّدة في الملف الثانويّ لحظة فتح المفتاح S.

ب. أُحدّد اتجاه سريان التيار الكهربائيّ الحثّي في المقاومة الكهربائيّة في الملف الثانويّ لحظة فتح المفتاح

الحل

المعطيات: $A=3\times10^{-4}\,m^2$, $B_\circ=180\times10^{-3}T$, $B_f=0$, $\Delta t=1\times10^{-1}s$

أ)

$$\Delta\Phi_B=\Delta B\,A\cos\theta$$

$$=(B_2-B_1)A\cos\theta=\left(0-180\times10^{-3}\right)\left(3\times10^{-4}\right)\cos0=-540\times10^{-7}\ Wb$$

الان يمكن إيجاد القوة الدافعة الحثية

$$\varepsilon'=-N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}=-(100)\times\frac{\left(-540\times10^{-7}\right)}{\left(1\times10^{-1}\right)}=540\times10^{-4}\ V$$

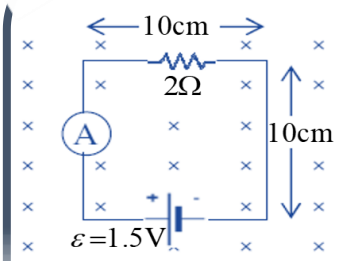
ب)

لحظة فتح المفتاح يقل مقدار التدفق المغناطيسي عبر الملف الثانوي ، وحسب قانون لنز ينشأ مجال مغناطيسي حثي اتجاهه نحو اليمين (بنفس اتجاه المجال المؤثر) ليقاوم التغير في التدفق، وباستخدام قاعدة اليد اليمنى فإن اتجاه التيار الحثي عبر المقاومة باتجاه $(A\leftarrow B)$

مثال (10)

وزاري

يبين الشكل المجاور دارة كهربائية بسيطة مغمورة كليا في مجال مغناطيسي منتظم (B) إذا تناقص المجال المغناطيسي بمعدل $(200\,T/s)$ ومعتمدا على الشكل وبياناته احسب قراءة الأميتر (A)



الحل

$$A=\left(10\times10^{-2}\right)\left(10\times10^{-2}\right)=1\times10^{-2}\ m^2$$

$$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{\Delta B}{\Delta t}A\cos\theta=(-200)\left(1\times10^{-2}\right)(1)=-2\ Wb/s$$

$$\varepsilon'=-N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=-(1)(-2)=2\ V$$

حسب قاعدة لينز سيكون اتجاه التيار الحثي (باتجاه عقارب الساعة) أي باتجاه التيار الكهربائي الناشئ عن البطارية لذلك تكون قطبية القوة الدافعة الحثية بنفس قطبية البطارية وعليه

$$I=\left|\frac{\varepsilon'+\varepsilon}{R}\right|=\left|\frac{2+1.5}{2}\right|=1.75\ A$$

أسئلة نظرية

سؤال(1): اذكر نص قانون كلاً من فارادي ولنز ؟

الجواب:

قانون فاردي: مقدار القوّة الدافعة الكهربائيّة الحثّيّة المتولّدة في دارة كهربائيّة يتناسب طرديًّا مع المعدل الزمنيّ لتغيّر التدفّق المغناطيسيّ الذي يخترقها

قانون لنز : القوة الدافعة الكهربائيّة الحثّية المتولّدة تكون في الاتّجاه الذي يُقاوم التغيّر في التدفّق المغناطيسي الذي يؤدّي إلى توليدها

سؤال(2): على ماذا يعتمد مقدار القوة الدافعة الحثية المتولدة في ملف كهربائي

الجواب: 1) عدد لفات الملف " طرديا "

2) المعدل الزمني لتغير التدفق المغناطيسي عبر سطح الملف " طرديا "

سؤال(3): اشتق وحدة قياس القوة الدافعة الحثية من قانون فارادي

الجواب:

$$[\varepsilon'] = -N\frac{[\Delta\Phi]}{[\Delta t]} \Rightarrow\Rightarrow [\varepsilon'] = \frac{Wb}{s} = Wb/s$$

والتي تكافئ وحدة قياس فرق الجهد "" فولت ""

سؤال(4): ما أهمية قانون لينز في الحث الكهرومغناطيسي ؟

الجواب: تكمن أهمية قانون لينز في تحدد اتجاه التيار الحثي المتولد في ملف نتيجة تغير التدفق المغناطيسي عبر ذلك الملف

سؤال(5): ما هي دلالة الإشارة السالبة في قانون فارادي في الحث الكهرومغناطيسي ؟

الجواب: تدل الإشارة السالبة على أن القوة الدافعة الحثية تنشأ بحيث تقاوم التغير في التدفق المغناطيسي الذي كان سببا في تولدها

سؤال(6): كيف أُحدّد التيار الكهربائيّ الحثّي المتولّد في ملفّ عند تغيّر التدفّق الذي يخترقه؟

الجواب:

1) نحدد اتجاه المجال المغناطيسي الحثي بحيث يقاوم التغير في التدفق المغناطيسي

2) نستخدم قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه التيار الحثي بحيث يشير الابهام إلى اتجاه المجال وتشير باقي أصابع اليد إلى اتجاه التيار

سؤال(7): اذكر اسم القاعدة المستخدمة في إيجاد كلاً من :

1) اتجاه المجال المغناطيسي الحثي

2) اتجاه التيار الحثي

الجواب:

1) قانون لنز 2) قاعدة اليد اليمنى

واجبات (اختبر نفسك)

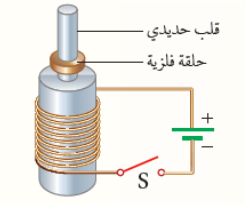
السؤال الأول — كتاب

يستخدم النيوديميوم لصنع مغانط قويّة. لديّ قطعتا نيوديميوم متماثلتان، إحداهما ممغنطة والأخرى غير ممغنطة، وأُنبوب نحاسيّ طوله (L). عندما أُمسك بالقطعة الممغنطة على ارتفاع معيّن فوق الأنبوب النحاسيّ، ثم أُسقطها بداخله فإنّها تستغرق زمنًا (t) لتخرج من فوّهته المقابلة. إذا أسقطت قطعة النيوديميوم غير الممغنطة خلال الأنبوب نفسه من الارتفاع نفسه، فهل تستغرق زمنًا أكبر من الزمن (t) أم أقلّ منه لتخرج من فوّهته المقابلة؟ أُفسّر إجابتي

الحل

سوف تستغرق زمناً أقل وذلك لإن القطعة الأولى عندما تقترب تزيد من التدفق المغناطيسي عبر الأنبوب النحاسي مما يؤدي إلى توليد قوة دافعة حثية تولد تيار حثي يتولد عنه مجال مغناطيسي يقاوم تلك الزيادة في التدفق حسب قانون لنز وبتالي يصبح الطرف القريب من المغناطيس له قطب مغناطيسي حثي مشابه للقطب الساقط ويحدث العكس عند خروجه من الأنبوب النحاسي أما القطعة الأخرى فلا يحدث أي مما سبق ذكره.

السؤال الثاني — كتاب

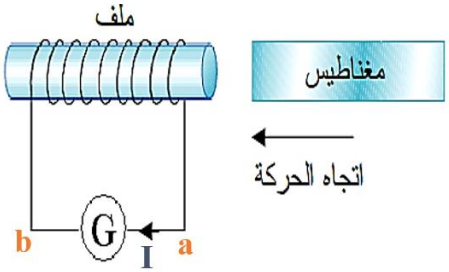


ملفّ لولبيّ ملفوف على قلب حديديّ، وفوقه حلقة فلزيّة حرّة الحركة، على نحو ما هو موضّح في الشكل المجاور. عند إغلاق المفتاح (S) تقفز الحلقة الفلزيّة إلى أعلى. أُفسّر هذا السلوك للحلقة.

الحل

عند غلق المفتاح يتولد تيار كهربائي في الملف اللولبي ينتج عنه مجال مغناطيسي نحو الأعلى حسب قاعدة اليد اليمنى وبتالي فإن هذا المجال يزيد من مقدار التدفق المغناطيسي عبر الحلقة العلوية فيتكون تيار حثي ليقاوم تلك الزيادة فينشأ عنه مجال مغناطيسي نحو الأسفل بحيث يتكون قطب شمالي في الجهة القريبة من الملف اللولبي حسب قانون لنز وبتالي يحدث تنافر بين الملف اللولبي والحلقة الدائرية لذلك فإن الحلقة الدائرية تقفز نحو الأعلى

السؤال الثالث — سنوات سابقة



في الشكل لحظة تقريب المغناطيس من الطرف الأيمن للملف يتولد تيار حثي خلال الغلفانوميتر (G) يكون اتجاهه من (a) إلى (b) أجب عما يأتي:

أولا: 1) ما سبب تولد التيار الحثي في دارة الملف
2) ما نوع قطب المغناطيس الأيسر (القريب من الملف)

ثانيا: ما اسم القاعدة التي استخدمتها في تحديد كل من :
1) قطب المغناطيس الأيسر 2) قطبي الملف

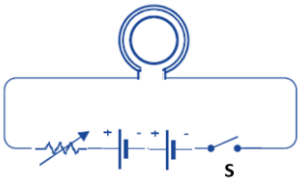
الحل

أولا :
1) بسبب التغير في التدفق المغناطيسي 2) جنوبي

ثانيا:
1)قاعدة لينز 2) قاعدة اليد اليمنى

السؤال الرابع سنوات سابقة

وضع ملف دائري داخل ملف دائري أكبر كما في الشكل المجاور اذكر ثلاث طرق تستطيع من خلالها توليد تيار حثي في الملف الدائري الداخلي

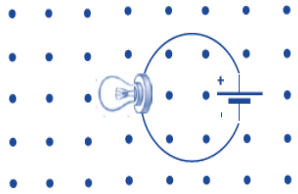


الحل

1) عند غلق المفتاح
2) عند عكس قطبية البطارية
3) عند فتح المفتاح
4) عند تقليل المقاومة والدارة مغلقة
5) عند زيادة المقاومة و الدارة مغلقة

السؤال الخامس سنوات سابقة

مصباح مضيئ يتصل مع حلقة دائرية مغمورة في مجال مغناطيسي منتظم عموديا على مستوى الحلقة كما في الشكل المجاور، ماذا يحدث لإضاءة المصباح مفسرا إجابتك في الحالتين الأتيتين :



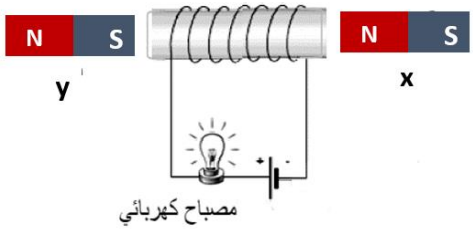
1) عند حركة الحلقة داخل المجال بحيث يبقى مستواها عموديا في المجال
2) أثناء خروج الحلقة من منطقة المجال

الحل

1) لا تتغير إضاءة المصباح، لأن التدفق ثابت
2) تزداد الإضاءة لان التدفق الذي يجتاز الحلقة يقل فيتولد تيار حثي ليقاوم النقص في التدفق حسب قانون لينز بنفس اتجاه التيار الأصلي حسب قاعدة اليد اليمنى

السؤال السادس سنوات سابقة

يبين الشكل المجاور ملف لولبي موصول ببطارية ومصباح كهربائي ويوجد على جانبيه وبنفس البعد عنه مغناطيسين متماثلين $(x\ ,\ y)$ بين مع التفسير ماذا يحدث لإضاءة المصباح في الحالات التالية :



1) إذا تحرك المغناطيسان بنفس اللحظة وبنفس السرعة نحو الملف
2) إذا تحرك المغناطيسان بنفس اللحظة وبنفس السرعة بعيدا عن الملف
3) إذا تحرك المغناطيسان بنفس اللحظة وبنفس السرعة بحيث (x) مقتربا و (y) مبتعدا عن الملف

الحل

1) تقل إضاءة المصباح ويصبح طرف الملف القريب من (x) قطب شمالي والقريب من (y) قطب جنوبي حسب قاعدة لينز وحسب قاعدة اليد اليمنى يكون التيار الحثي عكس التيار الأصلي في المصباح

2) تزداد إضاءة المصباح ويصبح الطرف القريب من (x) قطب جنوبي والقريب من (y) قطب شمالي حسب قاعدة لينز وحسب قاعدة اليد اليمنى يكون التيار الحثي بنفس اتجاه تيار المصباح

3) لن تتأثر الإضاءة في المصباح، يصبح الطرف القريب من (x) قطب شمالي والقريب من (y) قطب شمالي حسب قانون لينز، فيلغيان تأثير بعضهم لانهما متماثلان

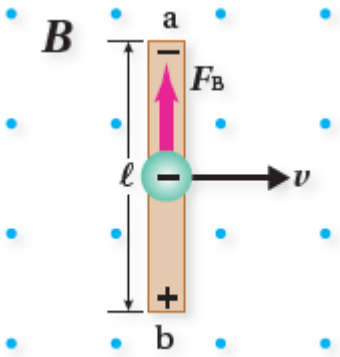
5 القوّة الدافعة الكهربائيّة الحثّية في موصل متحرّك

تمهيد ....

تعلمت سابقاً أن القوة الدافعة الحثية تنشأ على ملف (دارة مغلقة) اثناء تغير التدفق المغناطيسي عبرها، وفي هذا الدرس سنتعلم طريقة جديدة لتوليد القوة الدفعة الحثية على موصل متحرك في مجال مغناطيسي

☑ تفسير القوة الدافعة الحثية على موصل متحرك

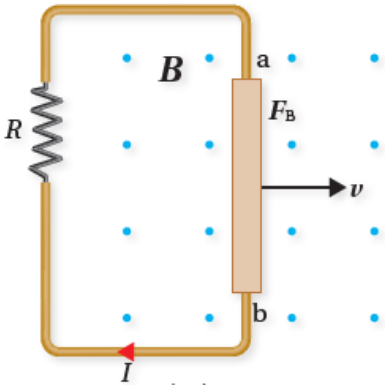
عندما يتحرك الموصل داخل مجال مغناطيسي منتظم كما في الشكل المجاور



- تتحرك الإلكترونات الحرة بداخله بنفس اتجاه حركة الموصل.
- فتتأثر بقوة مغناطيسية نحو الأعلى حسب قاعدة اليد اليمنى
- مما يؤدي إلى تجمع الشحنات السالبة (الإلكترونات)على الطرف العلوي والشحنات الموجبة على الطرف السفلي
- فتتولد قوة دافعة كهربائية حثية نتيجة فصل الشحنات عن بعضها على طرفي الموصل يعطى مقدارها بالقانون التالي:

$$\varepsilon' = B\ell v$$

حيث (B) مقدار المجال المغناطيسيّ
(ℓ) طول الموصل المتحرك ضمن المجال المغناطيسيّ
(v) مقدار سرعة حركة الموصل.



- ولا ينشئ تيار حثي في الموصل إلا إذا كان جزءاً من دارة كما في الشكل المجاور، بحيث يتحرك هذا التيار **داخل الموصل** من القطب السالب إلى الموجب

ملاحظات هامة...

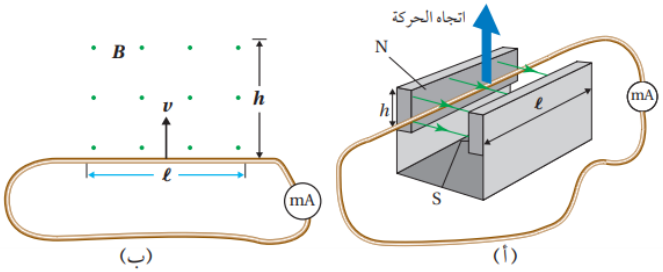
1) طول الموصل المطلوب في القانون ليس طول الموصل الكلي وإنما الطول المعرض للمجال فقط.
2) بعد سريان التيار في الموصل يتأثر الموصل بقوة مغناطيسية بسبب وجوده في المجال.
3) اتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة على الموصل بعكس اتجاه حركة الموصل دائماً
4) إذا تحرك الموصل بسرعة ثابتة فإن مقدار القوة الخارجية التي حركته مساوية لمقدار القوة المغناطيسية.
5) طرف الموصل الموجب جهده أعلى من طرف الموصل السالب.

مثال (1)

يتقابل القطبان الشماليّ (N) والجنوبيّ (S) لمغناطيسين، طول كلٍّ منهما $(\ell = 20\,cm)$ وارتفاع كل منهما $(h = 6\,cm)$ بينهما مجال منتظم مقداره $(54\,mT)$ لاحظ الشكل (أ) حُرِّك سلكٌ مشدودٌ موصولٌ بملي أميتر من الطرف السفلي للمغناطيسين إلى الطرف العلويّ عموديًّا على اتّجاه خطوط المجال المغناطيسيّ خلال مدّة زمنيّة مقدارها $(0.2s)$ على نحو ما هو موضح في الشكل (ب). أحسب ما يأتي:

أ. القوة الدافعة الكهربائيّة الحثّيّة المتولّدة في السلك.

ب. التيّار الكهربائيّ الحثّي المارّ في الملي أميتر إذا علمت أنّ المقاومة الكهربائيّة للدارة (2Ω)



الحل

المعطيات: $(R = 2\Omega)$, $(\Delta t = 2\times10^{-1}s)$, $(B = 54\times10^{-3}T)$, $h = (6\times10^{-2}m)$, $\ell = (2\times10^{-1}m)$

أ)

أولا نجد مقدار السرعة التي تحرك بها الموصل:

$$v = \frac{h}{\Delta t} = \frac{6\times10^{-2}}{2\times10^{-1}} = 3\times10^{-1}\,m/s$$

الان يمكن حساب مقدار القوة الدافعة الحثية

$$\varepsilon' = B\ell v = (54\times10^{-3})(2\times10^{-1})(3\times10^{-1}) = 324\times10^{-5}\,V$$

ب)

$$I = \left|\frac{\varepsilon'}{R}\right| = \left|\frac{324\times10^{-5}}{2}\right| = 162\times10^{-5}\,A = 1.62mA$$

مثال (2)

تُحلّق إحدى طائرات الخطوط الجويّة الملكيّة الأردنيّة أفقيًّا بسرعة مقدارها $(200m/s)$ في منطقة، المُركّبة الرأسيّة للمجال المغناطيسي الأرضي فيها تساوي $(50\mu T)$. أتأمّل الشكل المجاور. إذا علمت أن طول جناحي الطائرة معًا يساوي $(60m)$ ، فأحسب القوة الدافعة الكهربائيّة الحثّية المتوسطة المتولّدة بين طرفي جناحي الطائرة.

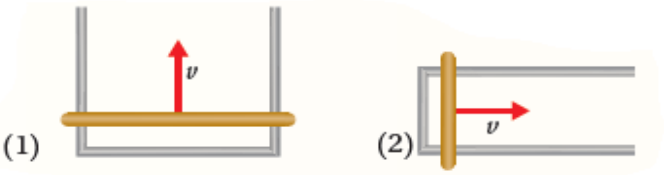
الحل

المعطيات: $v = 200\,m/s$, $\ell = 60m$, $B = 50\times10^{-6}T$

$$\varepsilon' = B\ell v = (50\times10^{-6})(6\times10^{1})(2\times10^{2}) = 6\times10^{-1}\,V$$

مثال (3)

يبيّن الشكل المجاور دارتين موضوعتين في مجال مغناطيسي منتظم مقداره (B) ، الموصل المستقيم في الدارة (1) طوله (2ℓ) وفي الدارة (2) طوله (ℓ). الموصلان المستقيمان تحرّكا بمقدار السرعة نفسه (v) فتولّد في الدارة (1) تيار كهربائي حثّي باتجاه حركة عقارب الساعة. أُجيب عمّا يأتي:



أ. ما اتجاه المجال المغناطيسي (B)

ب. ما اتجاه التيار الكهربائي الحثّي في الدارة (2) ؟

ج. هل مقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثّيّة المتولّدة في الدارة (1) أكبر أم أقل أم مساويًا لمقدار القوة الدافعة الكهربائية الحثّيّة المتولّدة في الدارة (2) ؟ أفسر إجابتي.

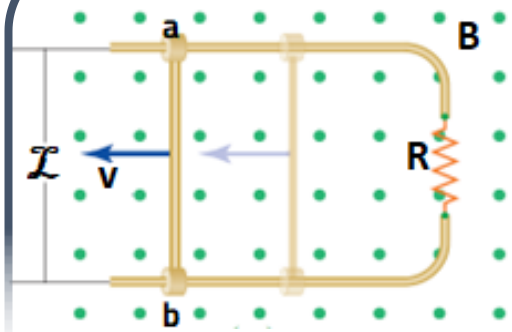
الحل

أ) حسب اتجاه التيار المار في الدارة الأولى فإن القطب الموجب للموصل على الجهة اليمنى والقطب السالب على الجهة اليسرى وحسب قاعدة اليد اليمنى فإن اتجاه المجال المغناطيسي خارج من الصفحة.

ب) حسب قاعدة اليد اليمنى فإن الجزء السفلي من الموصل يصبح قطباً موجبا والجزء العلوي يصبح قطباً سالباً مما يعني ان اتجاه التيار المار في الدارة سيكون باتجاه حركة عقارب الساعة

ج) حسب القانون $\varepsilon' = B\ell v$ فإن القوة الدافعة الحثية المتولدة في الدارة الأولى ستكون أكبر منها في الدارة الثانية وذلك لإن طول الموصل في الدارة الأولى ضعفي طوله الموصل في الدارة الثانية

مثال (4)



في الشكل المجاور موصل مستقيم طوله (40cm) ويتعامد مع مجال مغناطيسي منتظم مقداره (2T) إذا تحرك الموصل بسرعة مقدارها (80cm/s) عموديا على طوله وعلى المجال المغناطيسي فأجب عما يلي:

1) احسب متوسط القوة الدافعة الحثية المتولدة في الموصل

2) احسب مقدار التيار الحثي المتولد فيه إذا كان مقدار المقاومة (0.8Ω) وحدد اتجاهه.

3) احسب القوة المغناطيسية المؤثرة في الموصل أثناء حركته

الحل

1)

$$\varepsilon' = B\ell v = (2)\left(40\times10^{-2}\right)\left(80\times10^{-2}\right) = 64\times10^{-2}\,\text{V}$$

2)

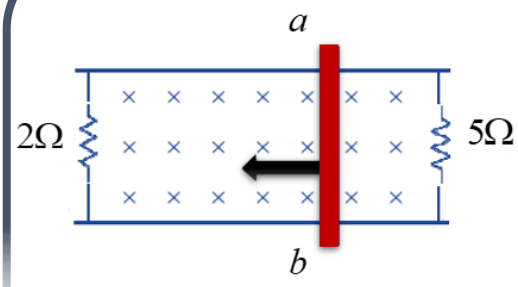
$$\text{I} = \frac{\varepsilon'}{\text{R}} = \frac{64\times10^{-2}}{8\times10^{-1}} = 0.8\text{A}$$

واتجاه التيار من (b) إلى (a) عبر الموصل. أو "" باتجاه حركة عقارب الساعة""

3)

$$\text{F}_\text{B} = \text{I}\ell\text{B}\sin\theta = \left(8\times10^{-1}\right)\left(4\times10^{-1}\right)(2) = 64\times10^{-2}\,\text{N}\ ,(\text{x}+)$$

مثال (5)



أثرت قوة على موصل (ab) طوله (20cm) ينزلق على موصلين متوازيين فحركته بسرعة ثابتة $(8m/s)$ باتجاه عمودي على مجال مغناطيسي منتظم (2.5T) كما في الشكل احسب:

1) التيار الكهربائي الحثي المتولد في كل من المقاومتين (5Ω) و (2Ω)

2) مقدار القوة المغناطيسية المؤثرة في الموصل (ab) واتجاهها

الحل

1)

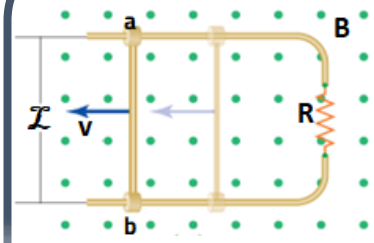
$$\varepsilon' = B\ell v = (2.5)(20\times10^{-2})(8) = 4\text{V}$$

$$I = \frac{\varepsilon'}{R} \quad \Rightarrow I_{5\Omega} = \frac{4}{5} = 0.8\text{A} \quad , \quad I_{2\Omega} = \frac{4}{2} = 2\text{A}$$

2)

$$F_B = I\ell B\sin\theta$$
$$= (2+0.8)(20\times10^{-2})(2.5)(1)$$
$$= 1.4\text{N} \quad , (x+)$$

مثال (6)



موصل مستقيم طوله (0.8m) يلامس سكة معدنية مقومتها (R) مغمور في مجال مغناطيسي منتظم مقداره (0.4T) كما في الشكل المجاور أثرت قوة خارجية مقدارها (1.6N) في الموصل فحركته باتجاه $(x-)$ بسرعة مقدارها $(5m/s)$ احسب

1) مقدار واتجاه التيار الحثي المار في الموصل

2) مقدار المقاومة (R)

الحل

(1

مقدار القوة الخارجية يساوي مقدار القوة المغناطيسية التي يتأثر بها الموصل نتيجة مرور تيار حثي فيه لذلك.

$$F_{ext} = F_B = IB\ell\sin\theta$$

$$1.6 = I(0.4)(0.8)\sin 90 \quad \Rightarrow\Rightarrow \text{I} = 5\text{A}$$

اما اتجاه التيار فيكون باتجاه عقارب الساعة

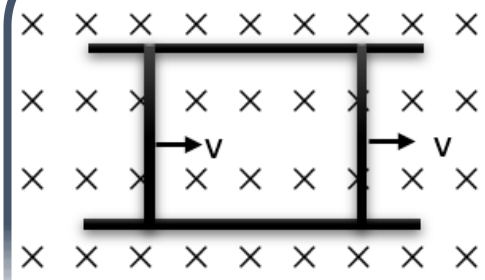
(2

$$\varepsilon' = B\ell v = 0.4\times0.8\times5 = 1.6V$$

$$R = \frac{\varepsilon'}{I} = \frac{1.6}{5} = 0.32\Omega$$

مثال (7)

في الشكل المجاور تحرك موصلان متماثلان لهما نفس الطول على نفس السكة المعدنية وبنفس السرعة في الاتجاه المبين في الشكل، هل يتولد تيار حثي في هذه الدارة.

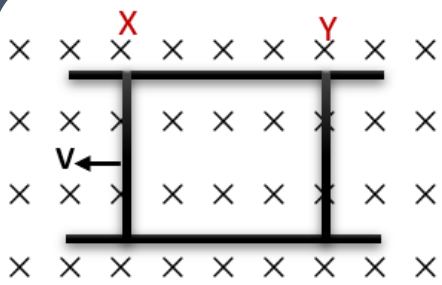


الحل

في هذه الحالة يكتسب كل من الموصلين نفس المقدار من القوة الدافعة الحثية وبتالي لن يتولد تيار كهربائي حثي بينهما.

مثال (8)

في الشكل المجاور إذا تم تحرك الموصل (x) بفعل قوة خارجية بإتجاه $(-x)$ إعتماد على الشكل حدد إتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في الموصل (y).



الحل

عند تحريك الموصل (x) باتجاه $(-x)$ ينشأ تيار حثي في الدارة بعكس عقارب الساعة بحيث يدخل إلى الموصل (y) باتجاه $(+y)$ وبذلك يتأثر الموصل (y) بقوة مغناطيسية نتيجة مرور تيار كهربائي حثي فيه وهو مغمور في مجال مغناطيسي وحسب قاعدة اليد اليمنى فإن اتجاه القوة المؤثرة على الموصل تكون باتجاه محور $(-x)$

أسئلة نظرية

سؤال(1): فسر منشأ القوة الدفعة الحثية على موصل متحرك في مجال مغناطيسي.

الجواب: تنشأ القوة الدافعة الحثية نتيجة فصل الشحنات الموجبة والسالبة عن بعضها على أطرف الموصل نتيجة تأثرها بقوة مغناطيسية

سؤال(2): عدد العوامل التي يعتمد عليها مقدار القوة الدافعة الحثية المتولدة على موصل متحرك في مجال مغناطيسي.

الجواب: 1) مقدار المجال المغناطيسي
2) مقدار طول الموصل المعرض للمجال المغناطيسي
3) مقدار سرعة حركة الموصل

سؤال(3): هل يمكن أن تتولد على الموصل قوة دافعة حثية إذا تحرك باتجاه المجال المغناطيسي.

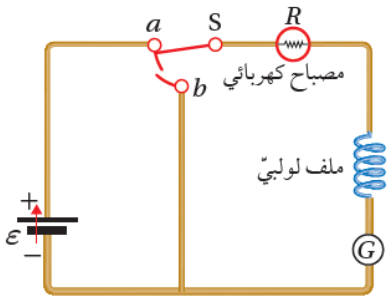
الجواب: لا يمكن ذلك لإن الشحنات بداخله لن تتأثر بقوة مغناطيسية

6 الحث الذاتي

التعريف

الحثّ الذاتيّ: هي ظاهرة تولّد قوة دافعة كهربائيّة حثّية ذاتيّة في دارة كهربائيّة مغلقة نتيجة تغيّر التدفّق المغناطيسيّ بسبب تغيّر مقدار تيار الدارة نفسها

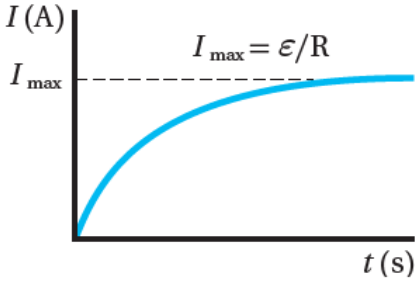
ترتبط ظاهرة الحث الذاتي بالملف اللولبي " محث "



☑ تفسير الظاهرة..

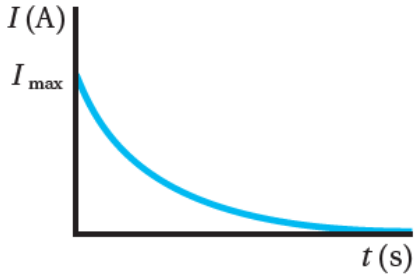
◈ لحظة غلق الدارة (بوضع المفتاح عند الموضع "a")

- يسري التيار الكهربائيّ في الدارة الكهربائيّة
- فيتولّد مجال مغناطيسيّ في الملف اللولبيّ
- يزداد التدفّق المغناطيسيّ الذي يخترق الملف
- بحسب قانون لنز، ينشأ فيه قوة دافعة كهربائيّة حثّية ذاتيّة (ε)تعاكس القوة الدافعة الكهربائيّة للبطارية
- مما يؤدّي إلى نموّ التيار الكهربائي إلى قيمته العظمى تدريجيًّا وليس لحظيًّا كما في الشكل المجاور



◈ لحظة فتح الدارة (بوضع المفتاح عند الموضع "b")

- تفصل البطارية عن الدارة وينقطع مرور التيار
- يقل مقدار المجال مغناطيسيّ في الملف اللولبيّ
- فيقل التدفّق المغناطيسيّ الذي يخترق الملف
- بحسب قانون لنز، ينشأ فيه قوة دافعة كهربائيّة حثّية ذاتيّة (ε)بنفس اتجاه القوة الدافعة الكهربائيّة للبطارية
- مما يؤدّي إلى تلاشي التيار الكهربائي تدريجيًّا وليس لحظيًّا كما في الشكل المجاور



ملاحظات هامة...

في الدارة السابقة نلاحظ أن..

1) شدة إضاءة المصباح تزداد تدريجيا ثم تثبت عند غلق الدارة وتقل تدريجياً لحظة فتح الدارة.

2) وجود الملف اللولبي (المحث) قد أعاق (نمو/اضمحلال) التيار

3) القيمة العظمى للتيار المار في الدارة يعطى بالقانون $I_{max} = \frac{\varepsilon}{R}$ (نستبدل المحث بموصل مستقيم ونطبق قوانين الدارات لإيجاد التيار)

☑ القوة الدافعة الحثية الذاتية

يمكن إيجاد مقدار القوة الدافعة الحثية الذاتية في الملف اللولبي باستخدام قانون فارادي:

$$\varepsilon' = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

ولإن التغير في التدفق المغناطيسي $(\Delta\Phi)$ ينشئ نتيجة التغير في المجال المغناطيسي (ΔB) الذي ينشئ نتيجة تغير مقدار التيار الكهربائي الذي يمر في المحث، فيمكن اشتقاق قانون خاص بالقوة الدافعة الحثية الذاتية.

$$\varepsilon' = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

حيث إن

(L): معامل الحثي الذاتي (محاثة المحث)

$\frac{\Delta I}{\Delta t}$: المعدل الزمني للتغير في التيار الكهربائي

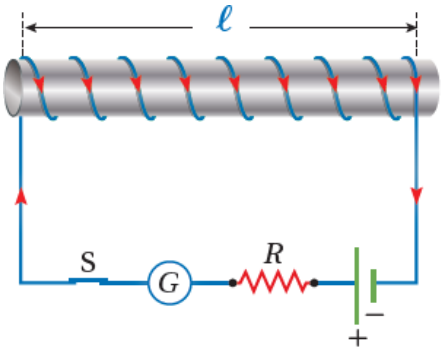
ملاحظات هامة...

1) تمثل محاثة المحث (L) مقياساً لممانعة المحثّ للتغيّر في مقدار التيار الكهربائيّ المارّ فيه

2) كلما زاد مقدار (L) زادت ممانعة المحث للتغير التيار (احتاج التيار زمناً أكبر للنمو أو للتلاشي)

3) وحدة قياس المحاثة هي $(\mathrm{V.s/A})$ وتسمى هنري (H) حسب النظام الدوليّ للوحدات

☑ معامل الحث الذاتي



يعتمد معامل الحث الذاتي (محاثة المحث) على كلاً من أبعاده الهندسية وعدد لفاته ونوع مادة قلب المحث ويمكن حسب مقداره باستخدام القانون التالي:

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

واعتماداً على قوانين القوة الدفعة الحثية الذاتي يمكن اشتقاق القانون التالي:

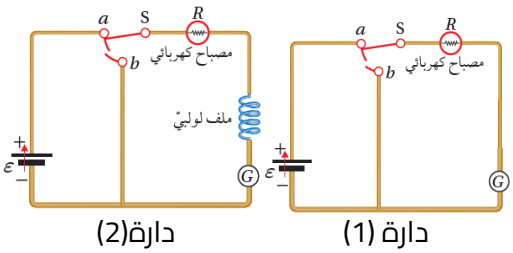
$$\mathrm{L} = \mathrm{N}\frac{\Delta\Phi}{\Delta\mathrm{I}}$$

قوانين الحث الذاتي

القوة الدافعة الحثية الذاتية:	محاثة المحث	التدفق المغناطيسي
$\varepsilon' = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$	$L = \frac{N^2 \mu A}{\ell}$	$\Phi = \frac{LI}{N}$ // $\Delta\Phi = \frac{L\Delta I}{N}$
$\varepsilon' = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$	$L = N\frac{\Delta\Phi}{\Delta I}$ // $L = N\frac{\Phi}{I}$	أو باستخدام قوانين التدفق في الدرس الأول

مثال (1)

في الشكل المجاور دارتان كهربائيتان إذا علمت أن مقدار مقاومة المصباح في كلتا الدارتين $(R = 5\Omega)$ وأن مقدار القوة الدافعة الكهربائية للبطارية في كلتا الدارتين $(\varepsilon = 10V)$ فأجب عما يلي:



1) في أي الدارتين يضئ المصباح أسرع لحظة غلق المفتاح
2) جد مقدار أكبر قيمة ممكنة للتيار في كلتا الدارتين
3) مثل مقدار التيار المار في كلتا الدارتين بيانياً مع الزمن.
4) إذا استبدلنا المحث في الدارة(2) بمحث اخر محاثته أكبر ماذا يحدث للتيار المار في الدارة(2)

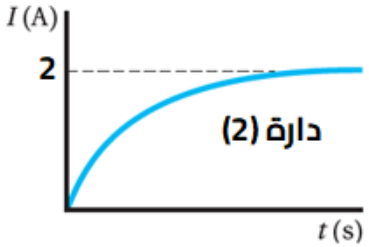
الحل

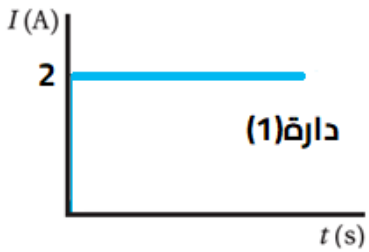
1) في الدارة (1) وذلك لإن وجود المحث في دارة (2) يبطئ من نمو التيار المار في المصباح
2) القيمة العظمى للتيار في كلتا الدارتين متساوي وقيمته:

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{10}{5} = 2A$$

ملاحظة: دائما لإيجاد مقدار القيمة العظمى للتيار المار في دارة تحتوي على محث نستبدل المحث بموصل كما في الدارة (1) ثم نجد التيار باستخدام قوانين الدارات

3)





4) سوف يحتاج التيار إلى فترة زمنية أطول للوصول إلى القيمة العظمى للتيار (2A) فقط.

مثال (2)

محثّ معامل حثّه الذاتيّ $(4\times10^{-4}\,H)$ ، وعدد لفاته (100) لفة موصول بدارة كهربائيّة. إذا تغيّر مقدار التيار الكهربائيّ المارّ فيها من $(0A)$ إلى $(8A)$ خلال $(0.1s)$ جد ما يلي:

1) القوة الدافعة الكهربائيّة الحثّية الذاتيّة المتوسطة المتولّدة في المحث
2) مقدار التغير في التدفق المغناطيسي عبر المحث

الحل

المعطيات: $L=4\times10^{-4}\,H \;,\; I_1=0 \;,I_2=8A \;,\; \Delta t=1\times10^{-1}s$

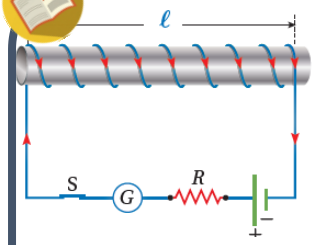
1)

$$\bar{\varepsilon}=-L\frac{(I_2-I_1)}{\Delta t}=-(4\times10^{-4})\frac{(8-0)}{(1\times10^{-1})}=-32\times10^{-3}V$$

2)

$$\Delta\Phi=\frac{L\Delta I}{N}=\frac{(4\times10^{-4})(8-0)}{1\times10^{2}}=32\times10^{-6}\,Wb$$

مثال (3)



إذا علمت أنّ طول المحثّ الموضّح في الشكل المجاور يساوي $(20cm)$ ، ومساحة مقطعه العرضي $(2.5\times10^{-5}\,m^2)$ وعدد لفّاته (200) لفة، والمحثّ ملفوف حول أنبوب كرتونيّ يملؤوه الهواءُ، ويسري فيه تيارٌ كهربائيّ $(5A)$ ، أحسب ما يأتي:

أ. معامل الحثّ الذاتيّ للمحثّ.

ب. التدفّق المغناطيسيّ الذي يخترق المحثّ

ج. القوة الدافعة الكهربائيّة الحثّية الذاتيّة المتوسطة المتولّدة في المحثّ إذا عكست اتجاه التيار الكهربائي المارّ فيه خلال $(0.1s)$

الحل

المعطيات: $\ell=2\times10^{-1}m \;,\; A=2.5\times10^{-5}m^2 \;,\; N=200 \;,\; \mu_\circ=4\pi\times10^{-7} \;,\; I=5A$

أ)

$$L=\frac{\mu N^2A}{\ell}=\frac{(4\pi\times10^{-7})(200)^2(2.5\times10^{-5})}{2\times10^{-1}}=20\pi\times10^{-7}\,H$$

ب)

$$\Phi_B=\frac{LI}{N}=\frac{(20\pi\times10^{-7})(5)}{200}=0.5\pi\times10^{-7}\,Wb$$

ج) عند عكس اتجاه التيار الكهربائي يصبح مقداره $(I_2=-5A)$

$$\bar{\varepsilon}=-L\frac{(I_2-I_1)}{\Delta t}=-(20\pi\times10^{-7})\frac{(-5-5)}{(1\times10^{-1})}=20\pi\times10^{-5}\,V$$

مثال (4)

تغير التيار المار في دارة محث من $(3A)$ إلى $(7A)$ خلال $(0.02s)$ فإذا كانت محاثة المحث $(20H)$ وعدد لفاته (1000) فاحسب في أثناء المدة الزمنية التي تغير فيها التيار الكهربائي:

1) القوة الدافعة الكهربائية الحثية الذاتية العكسية المتولدة في المحث
2) التغير في التدفق المغناطيسي عبر المحث.

الحل

1)

$$\varepsilon' = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} = -20\times\frac{(7-3)}{2\times10^{-2}} = -4000V$$

2)

$$\varepsilon' = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$-4000 = -1000\frac{\Delta\Phi}{2\times10^{-2}} \Rightarrow \Delta\Phi = 0.08Wb$$

مثال (5)

محث محاثته $(0.4H)$ وعدد لفاته (200) لفة أغلقت دارته فاستغرق التيار زمنا مقداره $(0.04s)$ للوصول إلى قيمته العظمى، وخلال هذه المدة الزمنية تولدت قوة دافعة كهربائية حثية ذاتية عكسية مقدارها $(-2V)$

1) احسب القيمة العظمى للتيار الذي يمر فيه
2) المعدل الزمني للتغير في التدفق المغناطيسي خلال تلك المدة.

الحل

1)

$$\varepsilon' = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$-2 = -0.4\times\frac{(I_f - I_i)}{4\times10^{-2}} \quad , I_i = 0$$

$$\Rightarrow I_f = 0.2A$$

2)

$$\varepsilon' = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$-2 = -200\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 0.01Wb/s$$

مثال (6)

ملف لولبي يتكون من (450) لفة ومساحة مقطعه $(150cm^2)$ وطوله $(20cm)$ يمر فيه تيار كهربائي مقداره $(40mA)$ احسب ما يلي :

1) مقدار المجال المغناطيسي الناشئ داخل الملف اللولبي
2) مقدار التدفق المغناطيسي عبر إحدى لفات الملف
3) محاثة الملف اللولبي

الحل

1)

$$B=\frac{N\mu I}{\ell}$$

$$=\frac{(450)(4\pi\times10^{-7})(40\times10^{-3})}{20\times10^{-2}}$$

$$=36\pi\times10^{-6}T$$

2)

$$\Phi=BA\cos\theta=(36\pi\times10^{-6})(150\times10^{-4})(1)=54\pi\times10^{-8}\,Wb$$

3)

$$L=\frac{N^2\mu A}{\ell}=\frac{(450^2)(4\pi\times10^{-7})(150\times10^{-4})}{20\times10^{-2}}=6.075\pi\times10^{-3}H$$

مثال (7)

ملف لولبي عدد لفاته (200) لفة وطوله $(20cm)$ ومساحة مقطعه $(5cm^2)$ احسب:

1) محاثة المحث

2) القوة الدافعة الكهربائية الحثية الذاتية المتولد فيه إذا تناقص التيار المار فيه بمعدل $(50A/s)$

الحل

1) $$L=\frac{N^2\mu A}{\ell}=\frac{(200^2)\times(4\pi\times10^{-7})\times(5\times10^{-4})}{20\times10^{-2}}=4\pi\times10^{-5}H$$

2) $$\varepsilon'=-L\frac{\Delta I}{\Delta t}=-(4\pi\times10^{-5})(-50)=2\pi\times10^{-3}V$$

مثال (8)

ملف محاثته $(2H)$ يسري فيه تيار شدته $(0.5A)$ احسب القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولد في الملف في كل من الحالات التالية:

1) إذا فتحت الدارة وتلاشى التيار خلال $(0.1s)$

2) إذا عكس تيار المحث خلال $(0.2s)$

الحل

1) $I_f=0\ ,\ \Delta t=0.1$

$$\varepsilon'=-L\frac{\Delta I}{\Delta t}=-(2)\frac{(0-0.5)}{0.1}=10V$$

2) $I_f=-0.5\ ,\ \Delta t=0.2$

$$\varepsilon'=-L\frac{\Delta I}{\Delta t}=-(2)\frac{(-0.5-0.5)}{0.2}=10V$$

مثال (9)

ملف لولبي عدد لفاته (100) لفة يمر فيه تيار كهربائي مقداره $(5A)$ فيحدث تدفق مغناطيسي مقداره $(0.01Wb)$ يخترق لفات الملف إذا عكس اتجاه التيار خلال زمن مقداره $(0.5s)$ فاحسب:

1) القوة الدافعة الكهربائية الحثية الذاتية المتولدة في الملف
2) معامل الحث الذاتي للملف

الحل

1) $\Phi_f = -0.01 \ , \ \Delta t = 0.5$

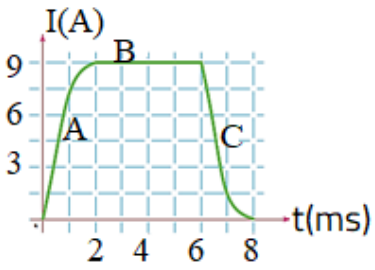
$$\varepsilon' = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -(100)\frac{(-0.01-0.01)}{0.5} = 4V$$

2)

$$L = N\frac{\Phi}{I} = (100)\frac{0.01}{5} = 0.2H$$

مثال (10)

يتغير التيار الكهربائي في دارة محث محاثته $(0.2H)$ من لحظة إغلاق دارته حتى تلاشي التيار فيها بعد فتح الدارة كما في الشكل المجاور، اعتمادا على الشكل أجب عما يلي:



1) ماذا تمثل كل من الفترات (a,b,c)
2) احسب متوسط القوة الدافعة الكهربائية الحثية الذاتية المتولدة في كل من الفترات الثلاث (a,b,c)

الحل

1) الفترة (A): فترة نمو التيار عند غلق الدارة.
الفترة(B) : فترة ثبات التيار
الفترة(C) : فترة تلاشي التيار عند فتح الدارة.

2)

$$\varepsilon' = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\varepsilon'_a = -0.2\frac{(9-0)}{(2-0)\times10^{-3}} = -900V$$

$$\varepsilon'_b = -0.2\frac{(9-9)}{(6-2)\times10^{-3}} = 0V$$

$$\varepsilon'_c = -0.2\frac{(0-9)}{(8-6)\times10^{-3}} = +900V$$

قسم أسئلة الاثباتات

مثال (11)

أثبت أن محاثة المحث اللولبي تعطى بالقانون التالي: $L=\frac{N^2\mu A}{\ell}$

الحل

يعطى مقدار القوة الدافعة الحثية الذاتية المتولدة بالقانونين التاليين:

$$\varepsilon'=-L\frac{\Delta I}{\Delta t} \qquad \varepsilon'=-N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

وبمساواة القانونين السابقين فإن

$$N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=L\frac{\Delta I}{\Delta t} \quad \Rightarrow N\Delta\Phi=L\Delta I$$

وبفرض أن القيم الابتدائية للتيار والتدفق صفر فإن

$$N\Phi=LI$$

ولإن خطوط المجال تكون عامودية على سطح الملف فإن

$$\Phi=BA \quad \Rightarrow\Rightarrow \quad NBA=LI$$

حيث أن مقدار المجال المغناطيسي للملف اللولبي يعطى بالقانون

$$B=\frac{\mu NI}{\ell}$$

فإن :

$$N\frac{\mu NI}{\ell}A=LI \qquad \Rightarrow \qquad L=\frac{\mu N^2A}{\ell}$$

مثال (12)

أثبت أن القوة الدافعة الحثية الذاتية تعطى بالقانون التالي $\varepsilon'=-L\frac{\Delta I}{\Delta t}$

الحل

عند تغير مقدار التيار الكهربائي المار في الملف اللولبي يتغير مقدار المجال المغناطيسي له ويعطى مقداره بالقانون التالي:

$$\Delta B=\frac{\mu N\Delta I}{\ell}$$

وبتالي فإن مقدار التغير في التدفق المغناطيسي على الملف يكون

$$\Delta\Phi=\Delta BA\cos\theta=\frac{\mu N\Delta I}{\ell}A\cos 0=\frac{\mu N\Delta IA}{\ell}$$

وحسب قانون فاردي تتولد قوة دافعة حثية مقدارها

$$\varepsilon'=-N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=-N\frac{\frac{\mu N\Delta IA}{\ell}}{\Delta t}=-\left(\frac{\mu N^2A}{\ell}\right)\frac{\Delta I}{\Delta t} \qquad \Rightarrow \qquad \varepsilon'=-L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

واجبات (اختبر نفسك)

السؤال الأول

ما مقدار التدفق المغناطيسي خلال ملف لولبي عدد لفاته (100) لفة ومحاثته $\left(3\times10^{-3}\mathrm{H}\right)$ عندما يمر تيار مقداره $(0.2\mathrm{A})$

$$\Phi=\frac{LI}{N}=\frac{\left(3\times10^{-3}\right)\left(2\times10^{-1}\right)}{1\times10^{2}}=6\times10^{-6}\mathrm{Wb}$$

السؤال الثاني

ملف لولبي عدد لفاته (100) لفة وطوله $(31.4\mathrm{cm})$ ومساحة مقطعه $\left(2\mathrm{cm}^2\right)$ يخترقه مجال مغناطيسي عمودي على مساحة مقطعه فإذا تغير المجال المغناطيسي من $(2\mathrm{T})$ إلى $(6\mathrm{T})$ خلال $(0.1\mathrm{s})$ فاحسب

1) القوة الدافعة الحثية المتولد أثناء تغير المجال.
2) محاثة المحث
3) المعدل الزمني لتغير التيار الكهربائي

الحل

1)

$$\Delta\Phi=\left(B_2-B_1\right)A\cos\theta=(6-2)\left(2\times10^{-4}\right)(1)=8\times10^{-4}\mathrm{Wb}$$

$$\varepsilon'=-N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=-100\frac{\left(8\times10^{-4}\right)}{1\times10^{-1}}=-0.8\mathrm{V}$$

2)

$$L=\frac{N^2\mu A}{\ell}=\frac{\left(100^2\right)\left(4\pi\times10^{-7}\right)\left(2\times10^{-4}\right)}{3.14\times10^{-1}}\quad,\ \pi=3.14$$

$$=8\times10^{-6}\mathrm{H}$$

3)

$$\varepsilon'=-L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$-0.8=-\left(8\times10^{-6}\right)\frac{\Delta I}{\Delta t}\qquad\Rightarrow\Rightarrow\frac{\Delta I}{\Delta t}=1\times10^{5}\mathrm{A/s}$$

السؤال الثالث

ملف لولبي عدد لفاته (150) لفة ويمر فيه تيار كهربائي مقداره $(3\mathrm{A})$ وعند فتح الدارة الكهربائية التي تزوده بالتيار الكهربائي وجد أن هذا التيار يتلاشى خلال زمن مقداره (Δt) وأن التدفق المغناطيسي في الملف يتغير بمقدار $\left(10^{-3}\mathrm{Wb}\right)$ فاحسب معامل الحث الذاتي لهذا الملف.

الحل

$$L = N\frac{\Delta\Phi}{\Delta I} = 150\frac{\left(-10^{-3}\right)}{(0-3)} = 0.05H$$

السـؤال الرابع

ملف لولبي طوله $(5cm)$ وعدد لفاته (200) ومحاثته $(0.4H)$ ملفوف على ساق أسطواني معدني مصمت مساحة مقطعه $\left(4\times10^{-4}m^2\right)$ يمر به تيار كهربائي مقداره $(2A)$ أذا انعدم التيار المار في الملف خلال $(0.1s)$ فاحسب:

1) النفاذية المغناطيسية للساق المعدني
2) متوسط القوة الدافعة الحثية المتولد في الملف
3) المعدل الزمني للتغير في التدفق المغناطيسي

الحل

1)

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

$$0.4 = \frac{\left(200^2\right)(\mu)\left(4\times10^{-4}\right)}{5\times10^{-2}} \Rightarrow \mu = 1.25\times10^{-3}\,Wb/A$$

2)

$$\varepsilon' = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} = -(0.4)\frac{0-2}{0.1} = 8V$$

3)

$$\varepsilon' = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \Rightarrow 8 = -200\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \Rightarrow \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -0.04Wb/s$$

السـؤال الخامس

ملف عدد لفاته (500) لفة ومقاومة أسلاكه (4Ω) ومحاثته $(2H)$ يتزايد التدفق المغناطيسي خلال كل لفة من لفاته بمعدل $\left(4\times10^{-3}Wb/s\right)$ احسب

1) مقدار التيار الحثي المتولد في الملف
2) المعدل الزمني لتغير التيار المار في الملف

الحل

1)

$$\varepsilon' = -N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -500\times\left(4\times10^{-3}\right) = -2V$$

$$I' = \left|\frac{\varepsilon'}{R}\right| = \left|\frac{-2}{4}\right| = 0.5A$$

2)

$$\varepsilon' = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} \Rightarrow -2 = -2\frac{\Delta I}{\Delta t} \Rightarrow \frac{\Delta I}{\Delta t} = 1A/s$$

السؤال السادس

ملف لولبي عدد لفاته (1000) لفة ومساحة كل منها $(3\times10^{-2}m^2)$ مر به تيار كهربائي مقدار $(2A)$ فنشأ عنه مجال مغناطيسي مقداره $(4\times10^{-2}T)$ إذا انعكس اتجاه التيار في الملف خلال $(0.3s)$ احسب:

1) محاثة المحث
2) متوسط القوة الدافعة الحثية المتولد في الملف أثناء انعكاس التيار
3) طول الملف اللولبي

الحل

1)

$$\Phi = BA\cos\theta = (4\times10^{-2})(3\times10^{-2})(1) = 12\times10^{-4}Wb$$

$$L = N\frac{\Phi}{I} = (1000)\frac{12\times10^{-4}}{2} = 6\times10^{-1}H$$

2)

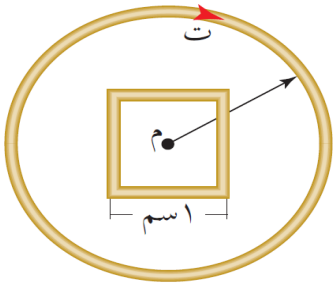
$$\varepsilon' = -L\frac{\Delta I}{\Delta t} = -(6\times10^{-1})\frac{(-2-2)}{(3\times10^{-1})} = 8V$$

3)

$$L = \frac{N^2\mu A}{\ell} \Rightarrow 6\times10^{-1} = \frac{(1000^2)(4\pi\times10^{-7})(3\times10^{-2})}{\ell} \Rightarrow \ell = 2\pi\times10^{-2}$$

السؤال السابع

يبين الشكل المجاور مقطعا لملف لولبي طوله $(22cm)$ ومساحة مقطعه $(30cm^2)$ وعدد لفاته (1000) لفة ويمر فيه تيار كهربائي $(7A)$ وضع في مركزه حلقة معدنية مربعة طول ضلعها $(1cm)$ ومقاومتها الكهربائية (0.2Ω) احسب



1) مقدار واتجاه المجال المغناطيسي الناشئ داخل الملف اللولبي
2) التدفق المغناطيسي عبر الحلقة المربعة
3) متوسط القوة الدافعة الحثية المتولدة في الحلقة المربعة إذا تلاشى التيار الكهربائي في الملف اللولبي خلال $(0.1s)$
4) التيار الحثي المتولد في الحلقة المربعة وحدد اتجاهه

الحل

1)

$$B=\frac{N\mu I}{\ell}=\frac{(1000)\left(4\left(\frac{22}{7}\right)\times10^{-7}\right)(7)}{22\times10^{-2}}=4\times10^{-2}T\ ,\ (z-)$$

2)

$$\Delta\Phi=(B_2-B_1)A\cos\theta=(0-4\times10^{-2})(1\times10^{-4})(1)=4\times10^{-6}Wb$$

$$\varepsilon'=-N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=-(1)\frac{(0-4\times10^{-6})}{1\times10^{-1}}=4\times10^{-5}V$$

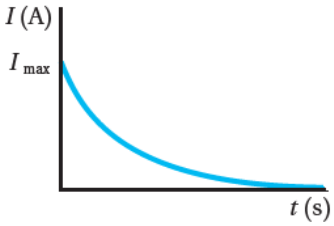
4)

$$I=\left|\frac{\varepsilon}{R}\right|=\left|\frac{-4\times10^{-5}}{2\times10^{-1}}\right|=2\times10^{-4}A$$

باتجاه عقارب الساعة.

السـؤال الثامن

الشكل المجاور يمثل مقدار التيار المار في دارة تحتوي على محث لحظة فتح المفتاح، لماذا يتلاشى التيار الكهربائي تدريجيًّا ولا يصل مقداره إلى الصفر مباشرة؟



الحل

عند فتح المفتاح يقل مقدار التدفق المغناطيسي الحاصل على الملف اللولبي(المحث) وحسب قانون لنز تتولد قوة دافعة حثية ليتولد تيار حثي ينشأ عنه مجال مغناطيسي حثي بنفس اتجاه المجال الأصلي ليقاوم النقصان في التدفق المغناطيسي على الملف اللولبي لذلك يقل التيار المار في الدارة بشكل تدريجي بسبب وجود تيار حثي في الدارة عند فتح الدارة.

أسئلة نظرية

سؤال(1): وضح المقصود بكل مما يأتي:

1) معامل الحث الذاتي (محاثة المحث) 2) هنري

الجواب: 1) هي نسبة القوة الدافعة الكهربائيّة الحثّية الذاتيّة المتولّدة بين طرفي محثّ إلى المعدل الزمني للتغيّر في مقدار التيار الكهربائيّ المارّ فيه

2) محاثّة محثّ تتولّد بين طرفيه قوة دافعة كهربائيّة حثّية ذاتيّة مقدارها $(1V)$، عندما يكون المعدّل الزمني للتغيّر في مقدار التيار الكهربائيّ المارّ فيه $(1A/s)$.

سؤال(2): عدد العوامل التي تعتمد عليها محاثة المحث

الجواب: 1) الابعاد الهندسية للمحث (طول ، مساحة المقطع)
2) عدد لفات المحث
3) النفاذية المغناطيسية لمادة قلب المحث

سؤال(3): هل تتغير محاثة المحث بتغير مقدار التيار المار فيه أو مقدار التدفق الذي يتعرض له

الجواب: لا، لإنها ثابت للمحث الواحد ولا تتغير إلا بتغير ابعاده الهندسية أو عدد لفاته أو النفاذية المغناطيسية للمادة قلب المحث

سؤال(4): ما معنى الإشارة السالبة في قانون القوة الدفعة الحثية الذاتية.

الجواب: أي أن القوة الدافعة الكهربائية الحثية الذاتية تنشأ بحيث تقاوم التغير في التدفق المغناطيسي المسبب لها وفق قانون لنز

سؤال(5): ماذا نعني بقولنا إن محاثة المحث تساوي $(4H)$

الجواب: أي أن هذا المحث تتولّد بين طرفيه قوة دافعة كهربائيّة حثّية ذاتيّة مقدارها $(4V)$ ، عندما يكون المعدّل الزمني للتغيّر في مقدار التيار الكهربائيّ المارّ فيه $(1A/s)$.

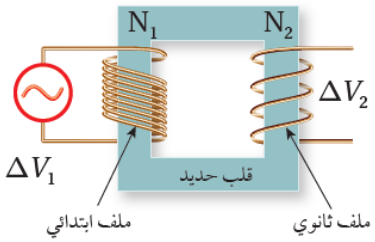
7 المحول الكهربائي

◈ تمهيد ....

درسنا سابقاً في وحدة التيار الكهربائي أن الموصلات لها مقاومة تزداد بزيادة طول الموصل، واثناء سريان التيار في الموصل فإن هذه الموصلات تستهلك جزءاً من الطاقة الكهربائية المارة في الموصل على شكل حرارة (طاقة مفقودة) حيث إن مقدار الطاقة المفقودة يتناسباً طردياً مع مربع التيار، ولتقليل من مقدار الطاقة المفقودة نستخدم المحول الكهربائي.

☑ مكونات المحول الكهربائي.

1) ملفّين من الأسلاك الموصلة



A) الملف الابتدائي: يتكون من (N_1) لفة ويتصل بمصدر فرق جهد متغير مقدارًا واتجاهًا يُسمّى مصدر فرق الجهد المتردّد

B) الملف الثانوي: يتكون من (N_2) لفة ويتصّل بجهاز مستهلك للطاقة، مثل مقاومة أو مصباح

2) قلب حديدي مشترك للملفين

☑ مبدأ عمل المحول الكهربائي.

يعتمد المحول الكهربائي في مبدأ عمله على الحث الكهرومغناطيسي، على النحو التالي:

- يولّد مصدر فرق الجهد المتردّد تيارًا كهربائيًّا متردّدًا (متغيرًا في المقدار والاتجاه)
- فيتولّد في الملف الابتدائي مجال مغناطيسي متغيّر مع الزمن داخل الملف
- فيتغيّر التدفّق المغناطيسي، وبتطبيق قانون فارادي في الحثّ، فإنّ فرق الجهد يُعبَّر عنه بالعلاقة:

$$\Delta V_1 = -N_1 \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

- ينتقل التدفق الناشئ من الملف الابتدائي عبر القلب الحديدي إلى الملف الثانوي.
- بافتراض المحول مثالي (لا يوجد ضياع في الطاقة) فإن مقدار فرق الجهد المتولد على الملف الثانوي يعطى بالعلاقة التالية

$$\Delta V_2 = -N_2 \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

- بتعويض التدفق في المعادلة الأولى في الثانية نجد أن

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

ملاحظات هامة...

1) في المحول المثالي مقدار القدرة الداخلة إلى الملف الابتدائي مساوية لمقدار القدرة الناتجة في الملف الثانوي

$$P_1 = P_2 \Longrightarrow I_1\Delta V_1 = I_2\Delta V_2$$

2) نستنتج مما سبق أن

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

3) مقدار التغير في التدفق المغناطيسي على كلا الملفين متساوي بسبب القلب الحديدي

☑ أنواع المحول الكهربائي.

1) محول رافع للجهد.

عدد اللفات (N_2) في الملف الثانوي أكبر من عدد اللفات (N_1) في الملف الابتدائي، فإنّ $(\Delta V_2 > \Delta V_1)$

2) محول خافض للجهد.

عدد اللفات (N_2) في الملف الثانوي أقل من عدد اللفات (N_1) في الملف الابتدائي، فإنّ $(\Delta V_2 < \Delta V_1)$

ملاحظات هامة...

1) المحول رافع الجهد يكون خافض للتيار الكهربائي.

2) المحول خافض الجهد يكون رافعاً للتيار الكهربائي.

☑ الربط مع الحياة العملية.

عند نقل الطاقة عبر مسافات طويلة تستخدم شركات توليد الكهرباء أسلاك توصيل ذات مقطع عرضي صغير نسبيًّا لتقليل الكلفة المالية، لكن هذا يؤدي إلى مقاومة كبيرة، لذلك يجب خفض قيمة التيار لتقليل الطاقة المفقودة. ولتحقيق ذلك، يُستخدم محوّل رافع للجهد في محطات توليد الطاقة لرفع الجهد إلى نحوِ $(230KV)$ مع ثبات قيمة القدرة؛ ما يؤدّي إلى خفض قيمة التيار الكهربائي في خطوط نقل الطاقة، ثمّ تُستخدم محوّلات خافضة للجهد حتى تصل قيمة فرق الجهد في الأحياء السكنية إلى $(230V)$ والمحوّلات المستخدمة عمليًا لا تكون مثالية، إذ إنّ القدرة التي نحصل عليها من الملف الثانوي تكون أقلّ من القدرة التي يُزوّد بها الملف الابتدائي للمحوّل

مثال (1)

يُستخدم في شبكات توزيع الكهرباء محوّل خافض للجهد، عدد لفات ملفّه الابتدائي (6900) والثانوي (600) ، فما مقدار فرق الجهد بين طرفي ملفّه الثانوي، إذا كان فرق الجهد بين طرفي الملف الابتدائي (230kv) ؟

الحل

المعطيات: $N_2 = 600 \quad , \quad N_1 = 6900 \quad , \quad \Delta V_1 = 230\times10^3\,V$

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

$$\frac{230\times10^3}{\Delta V_2} = \frac{6900}{600} \quad \Rightarrow \quad \Delta V_2 = 20\times10^3\,V = 20\,KV$$

مثال (2)

محوّل كهربائي مثالي خافض للجهد يتصل ملفّه الابتدائي بمصدر فرق جهد $(240\,V)$ ، ويتصل ملفّه الثانوي بمصباح كهربائي مقاومته (2Ω) ، وعدد لفّات الملف الابتدائي (1200) لفة، ولفّات الملف الثانوي (30) لفة.

أ . أحسب فرق الجهد بين طرفي الملف الثانوي.

ب. أحسب التيار في الملف الابتدائي.

الحل

المعطيات: $N_2 = 30 \quad , N_1 = 1200 \quad , R = 2A \quad , \Delta V_1 = 240V$

أ)

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

$$\frac{240}{\Delta V_2} = \frac{1200}{30} \quad \Rightarrow\Rightarrow \quad \Delta V_2 = 6V$$

ب) أولاً نجد التيار المار في الملف الثانوي:

$$I_2 = \frac{\Delta V_2}{R} = \frac{6}{2} = 3A$$

بما أن المحول مثالي فإن القدرة في الملف الابتدائي تساوي القدرة في الملف الثانوي وبتالي:

$$I_1\Delta V_1 = I_2\Delta V_2$$

$$I_1(240) = (3)(6) \quad \Rightarrow \quad I_1 = \frac{18}{240} = 0.75\times10^{-1}A$$

أسئلة نظرية

سؤال(1): ما هي وظيفة المحول الكهربائي، وبين ما أهميتها في الحياة العملية.
الجواب: يعمل المحول الكهربائي إما على (رفع الجهد وخفض التيار) أو (خفض الجهد ورفع التيار) وتكمن أهميته في تقليل مقدار الطاقة المفقودة في الموصلات أثناء نقل الطاقة الكهربائية مسافات طويلة

سؤال(2): ما المبدأ الفيزيائي الذي يعتمد عليه المحول الكهربائي.
الجواب: الحث الكهرومغناطيسي.

سؤال(3): ما هي وظيفة القلب الحديدي في المحول الكهربائي.
الجواب: يعمل القلب الحديدي على زيادة المجال المغناطيسي داخل الملف الابتدائي، وتدفّق أكبر عددٍ ممكن من خطوط المجال المغناطيسي إلى الملف الثانوي.

سؤال(4): أوضّح كيف تنتقل الطاقة الكهربائية بين ملفّي المحوّل..
الجواب:
1) يتم وصل مصدر فرق جهد متردد مع الملف الابتدائي وجهاز يستهلك الطاقة مع الملف الثانوي
2) يتولد مجال مغناطيسي متغير في الملف الابتدائي مما يؤدي إلى تغير في التدفق المغناطيسي عبر الملف الابتدائي ويتولد عليه فرق جهد يعطى حسب قانون فارادي : $\Delta V_1 = -N_1 \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$
3) ينتقل المجال المغناطيسي إلى الملف الثانوي عبر القلب الحديدي ليحدث تدفق مغناطيسي متغير عبر الملف الثانوي مما يؤدي إلى توليد قوة دافعة حثية تعطى بالعلاقة $\Delta V_2 = -N_2 \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$
4) إذا كان المحول الكهربائي مثالي فإن مقدار التغير في التدفق المغناطيسي على كلا الملفين متساوي وبتعويض احدى المعادلتين السابقتين في الاخر نستنتج ان : $\frac{\Delta V_1}{\Delta V_2} = \frac{N_1}{N_2}$
وبذلك تكون الطاقة الكهربائية انتقلت من الملف الابتدائي إلى الثانوية عبر المجال المغناطيسي المار خلال القلب الحديدي

سؤال(5): توجد نهاية قصوى لرفع الجهد الكهربائي، عند نقل الطاقة الكهربائية، يؤدي تجاوزها إلى تأيين جزيئات الهواء. فما الذي ينتج عن تأيين الهواء حول خطوط النقل (الاسلاك).

الجواب:
يؤدي تأيين جزيئات الهواء حول خطوط النقل (عند رفع جهدها الكهربائي إلى مقادير أكبر من النهاية القصوى للجهد المسموح) الى جعل الهواء موصلاً للكهرباء فينتقل خلاله تيار كهربائي على شكل شرار من الاسلاك إلى الأجسام المحيطة، مثل الأبراج التي تحمل الاسلاك، وهذا بدوره يشكل خطورة ينتج عنها حدوث الحرائق، إضافة إلى فقدان الطاقة الكهربائية ايضاً.

الدرس الثاني

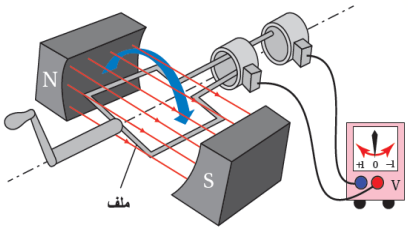
دارات التيار الكهربائي المتردد

تمهيد ....

في علم الكهرباء يقسم التيار الكهربائي(والجهد) إلى نوعين إما مباشر (ثابت في المقدار والاتجاه) أو متردد (متغير المقدار لحظياً والاتجاه دورياً) كما سنتعلم خلال هذا الدرس

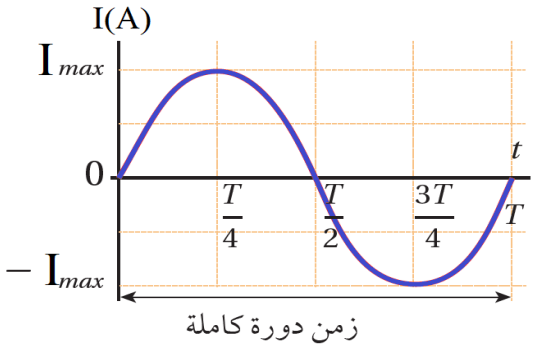
1 مفهوم التيار المتردد

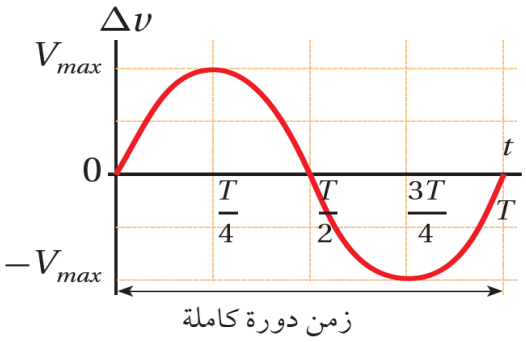
☑ مصدر التيار المتردد



نحصل على التيار المتردّد من المولّد الكهربائيّ الذي يتكوّن في أبسط أشكاله من ملفّ أحاديّ مصنوع من سلك فلزّي معزول كما في الشكل المجاور على النحور التالي:

- عندما يدور الملف داخل المجال المغناطيسي
- تتغير الزاوية بين متجهي المجال والمساحة
- فيتغير التدفق المغناطيسي عبر الملف باستمرار
- فتتولد قوة دافعة حثية وتيار حثي عبر الملف
- ونتيجة لتغير المستمر للتدفق فإن مقدار واتجاه التيار والقوة الدافعة الحثية يتغير باستمرار كما في الشكل ادناه





ويمكن التعبير عن كلاً من التيار وفرق الجهد(القوة الدافعة الحثية) السابقين باستخدام قانون جيبي كما يلي:

$$\Delta i = I_{max} \sin \omega t \qquad \Delta v = V_{max} \sin \omega t$$

حيث إن ..

I_{max} , V_{max} : تمثلاً القيم العظمى للتيار والجهد كما في الرسم البياني السابق.

ω : التردد الزاوي ويقاس بوحدة (rad/s)

ويمكن إيجاد مقدار التردد الزاوي بمعرفة التردد (f) او الزمن الدوري (T) حيث إن

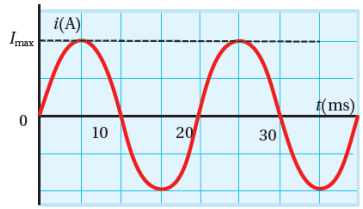
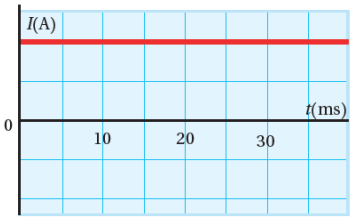
$$f = \frac{1}{T} \quad , \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

ملاحظات هامة...

1) عندما تصبح قيمة التيار سالبة فهذا يعني أن اتجاه التيار انعكس اما عندما تصبح قيمة الجهد سالبة فهذا يعني أن قطبيتها انعكست
2) مقدار التيار المتردد يتغير لحظياً اما اتجاهه يتغير دورياً
3) تعمل مولدات الكهربائي في المحطات الكهربائية على تحويل الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية على شكل تيار وجهد متردد، حيث ان مصدر الطاقة الحركية يختلف باختلاف نوع المحطة (محطات بخارية حرارية، محطات رياح،.....)
4) راسم الموجات: هو الجهاز المستخدم لرسم شكل التيار المتردد والجهد المتردد.
5) عدد المرات التي يصل فيها التيار/الجهد إلى الصفر خلال ثانية واحدة يساوي $(2f+1)$

☑ المقارنة بين التيار الكهربائي المتردد والتيار الكهربائي المستمر (المباشر)

الجدول التالي يبين الفرق بين التيار المتردد والمستمر

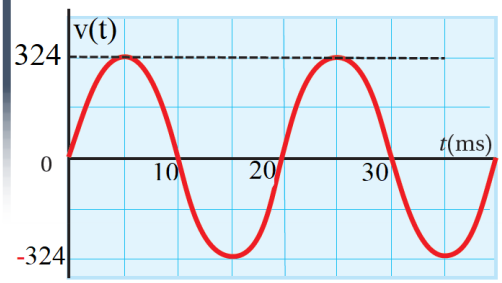
وجه المقارنة	التيار المستمر	التيار المتردد
المقدار	ثابت	متغير لحظياً
الاتجاه	ثابت	متغير دورياً
المصدر	البطارية	المولد الكهربائي
أمثلة	حاسوب، تلفاز ، هاتف	غسالة، ثلاجة، مدفأة
الرمز	(I)	(i)
الرسم البياني		

ملاحظة مهمة....
تزودنا شركات الكهرباء بالتيار المتردد فقط وحتى تعمل الأجهزة الكهربائي التي تحتاج إلى مصدر تيار مستمر فإنها تكون مزودة بدارات كهربائية تقوم بتحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر كما سندرس في الدرس التالي

مثال (1)

القيمة العظمى لفرق الجهد الكهربائي المتردّد في الأردن $(324V)$ ، وتردّده $(50Hz)$. مثّل فرق الجهد المتردّد بمنحنى بيانيّ، مبيّنًا عليه تدريج الزمن والقيمة العظمى لفرق الجهد.

الحل

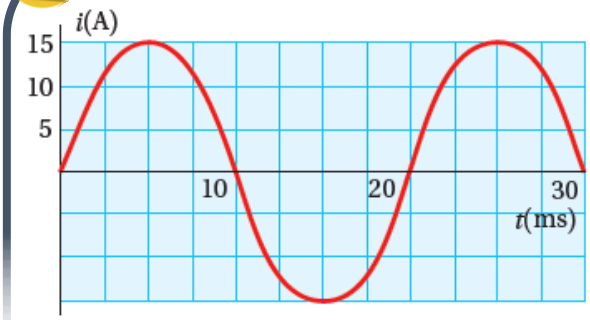


من خلال التردد نجد مقدار الزمن الدوري

$$T=\frac{1}{f}=\frac{1}{50}=0.02s=20ms$$

مثال (2)

معتمدًا على العلاقة البيانيّة المجاورة التي تمثل مقدار التيار المتردد الصادر عن مولد كهربائي، جد ما يلي:



1) القيمة العظمى للتيار
2) الزمن الدوري
3) تردد التيار
4) التردّد الزاويّ للتيار
5) عدد المرات التي يصل فيها التيار إلى الصفر خلال ثانية واحدة

الحل

1) $I_{max}=15\,A$
2) $T=20\,ms=0.02\,s$
3) $f=\frac{1}{T}=\frac{1}{0.02}=50Hz$
4) $\omega=2\pi f=100\pi\,rad/s$
5) $n=2f+1=2\times50+1=101$

مثال (3)

يُزوّدنا مولّد كهربائي بفرق جهد متردّد، قيمته العظمى تساوي $(310\,V)$، وتردّده $(50Hz)$. أكتب معادلة فرق الجهد المتردّد، ثمّ أجد مقدار فرق الجهد عند اللحظة $\left(t=\frac{1}{600}s\right)$

الحل

المعطيات: $V_{max}=310$, $f=50Hz$, $t=\frac{1}{600}$

الصورة العامة لفرق الجهد المتردد هي:

$$\Delta v=V_{max}\sin\omega t$$

حيث :

$$\omega=2\pi f=2\pi(50)=100\pi\,rad$$

$$\Rightarrow \Delta\nu = 310\sin 100\pi t$$

$$at\ldots t = \frac{1}{600}$$

$$\Delta\nu = 310\sin\frac{100\pi}{600} = 310\times\frac{1}{2} = 155V$$

مثال (4)

صف اتجاه المجال المغناطيسي الذي يولّده مرور تيار متردّد في محثّ، وأقارنه بالمجال الذي يولّده مرور تيار مستمر فيه.

الحل

اتجاه المجال المغناطيسي يعتمد على اتجاه التيار المار فيه لذلك يكون اتجاه المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار مستمر في الملف ثابت في اتجاه محدد اما عند مرور تيار متردد فإن اتجاه المجال المغناطيسي يتغير كل نصف دورة وذلك بسبب انعكاس اتجاه التيار كل نصف دورة

أسئلة نظرية.

سؤال(1): وضح المقصود بكل مما يأتي:

1) التيار المتردد 2) فرق الجهد المتردد

الجواب: 1) التيار المتردد: تيار يسري في دارة كهربائيّة مغلقة يتغيّر مقداره واتجاهه بالنسبة إلى الزمن وفقًا لعلاقة جيبيّة.

2) فرق الجهد المتردد : فرق جهد يتغيّر في المقدار والاتجاه بالنسبة إلى الزمن وفقًا لعلاقة جيبيّة.

سؤال(2): اذكر العوامل التي يعتمد عليه مقدار القوة الدافعة الحثية المتولد على طرفي المولد (فرق الجهد المتردد)

الجواب: 1) مقدار المجال المغناطيس الذي يتعرض له ملف المولد 2) مساحة مقطع ملف المولد

3) عدد لفات ملف المولد 4) التردد الزاوية (ω)

سؤال(3): علل: يتذبذب مؤشر غلفانوميتر متصل بمولد كهربائي يميناً ويساراً أثناء دوران المولد الكهربائي

الجواب: وذلك لإن اتجاه التيار المار في المولد الكهربائي ينعكس كل نصف دورة بسبب انعكاس قطبية القوة الدافعة الحثية المتولد على أطرف المولد

سؤال(4): لماذا لا ألاحظ تغيّر سطوع إضاءة مصباح كهربائيّ مع الزمن، عندما يعمل باستخدام تيار متردّد؟

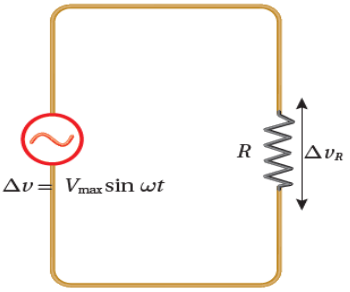
الجواب: لإن التيار المتردد يعمل بتردد عالي نسبياً بحيث لا يمكن لعين الانسان أن تلاحظ أي تغير في سطوع الضوء، حيث إنه من المفترض أن يتغير سطوع الضوء من اقل قيمة (الضوء لا يعمل) إلى أعلى سطوع له تقريبا (50) أو (60) مرة تقريباً في الثانية الواحدة

سؤال(5): أصف فرق الجهد الكهربائيّ المتردّد، موضّحًا ما يميزه عن فرق الجهد الذي أحصل عليه من البطارية

الجواب: يتولد فرق الجهد الكهربائي المتردد من المولدات الكهربائية بحيث أن مقدار الجهد يتغير بشكل مستمر من الصفر حتى القيمة العظمى ثم يعاود الهبوط إلى الصفر خلال النصف الأول من دورة المولد الكهربائي ومن ثم يصبح سالب مما يدل على انعكاس قطبية الجهد بين طرفي المولد بحيث يزداد الجهد بالسالب من الصفر إلى قيمته العظمى ثم يعاود الهبوط إلى الصفر مرة أخرى خلال النصف الثاني من دورة المولد الكهربائي بحيث يكون شكل تغير الجهد المتردد على شكل اقتران جيبي.

2 دارات التيار المتردد البسيطة

☑ مقاومة في دارة تيار متردد



ابسط اشكال دارات التيار المتردد هي دارة تحتوي على مقاومة ومصدر جهد متردد فقط كما في الشكل المجاور

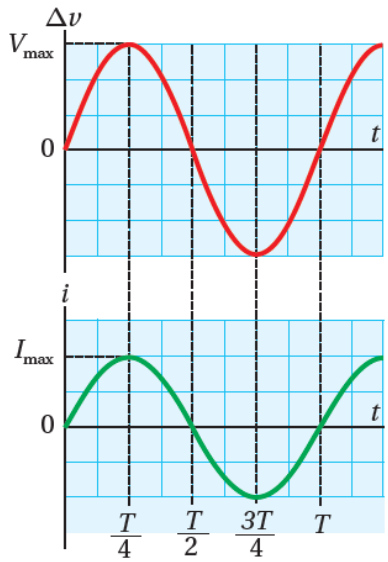
بتطبيق قانون كيرشوف الثاني على الدارة نجد أن جهد المقاومة يساوي جهد المصدر

$$\Delta v_R = V_{max} \sin \omega t$$

وبتطبيق قانون أوم نجد أن مقدار تيار المار في المقاومة يساوي:

$$i = I_{max} \sin \omega t$$

حيث إن $\left(I_{max} = \frac{V_{max}}{R} \right)$



والشكل المجاور يبين التمثيل البياني للتيار المتردد وفرق الجهد المتردد على المقاومة

ولإيجاد مقدار القدرة المتوسطة المستهلكة في المقاومة نحتاج إلى قيمة ثابتة للتيار والجهد تكافئ مقدار التيار والجهد المتردد وتسمى هذه القيمة **بالقيمة الفعالة** (r.m.s) حيث إن

$$V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} = 0.71 V_{max} \quad , \quad I_{rms} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = 0.71 I_{max}$$

توضيح

القيمة الفعالة (I_{rms}) هي قيمة التيار **الثابت** الذي إذا مر في المقاومة فإنها ستستهلك مقدار من الطاقة مساوي تماماً لمقدار الطاقة المستهلكة إذا كان التيار المار **متردد**. حيث إن هذه القيمة تستخدم لتسهيل حساب مقدار القدرة والطاقة في دارات التيار المتردد

الان يمكن إيجاد القدرة المستهلكة في المقاومة باستخدام احدى القوانين التالية:

$$\overline{P} = V_{rms} \times I_{rms} \quad , \quad \overline{P} = I_{rms}^2 \times R \quad , \quad \overline{P} = \frac{V_{rms}^2}{R}$$

معلومة مهمة جدا...

عند استخدام أجهزة القياس (أميتر وفولتميتر) في دارات التيار المتردد فإنها تقيس القيمة الفعالة (rms)

مثال (1)

جهاز كهربائيّ مقاومته (65Ω) ، وُصِل بمصدر فرق جهد متردّد، إذا علمت أنّ القيمة العظمى لفرق الجهد المتردّد بين طرفيه $(325V)$ ، وتردّده $(60Hz)$ ، أُحدّد:

1) الزمن الدوريّ لفرق الجهد المتردّد.
2) القيمة العظمى للتيار المتردّد الذي يسري في الجهاز.
3) الاقتران الذي يعبّر عن التيار المتردّد بدلالة الزمن (t)

الحل

1)

$$T=\frac{1}{f}=\frac{1}{60}s$$

2)

$$I_{max}=\frac{V_{max}}{R}=\frac{325}{65}=5A$$

3)

$$\omega=2\pi f=2\pi(60)=120\pi\ rad/s$$

$$i=I_{max}\sin\omega t$$

$$i=5\sin 120\pi t$$

مثال (2)

القيمة العظمى لمصدر فرق الجهد المتردّد في دارة كهربائيّة $(56V)$ والقيمة العظمى للتيار المتردّد $(2.8A)$.

أحسب

1) القيمتين الفعّالتين (I_{rms},V_{rms}) للجهد والتيار في الدارة
2) المقدار المتوقّع لمقاومة الدارة؟
3) مقدار متوسط القدرة المستهلكة في الجهاز

الحل

1)

$$I_{rms}=\frac{I_{max}}{\sqrt{2}}=0.71I_{max}=0.71\times 2.8=1.998\approx 2A$$

$$V_{rms}=\frac{V_{max}}{\sqrt{2}}=0.71V_{max}=0.71\times 56=39.76\approx 40V$$

2)

$$R=\frac{V_{rms}}{I_{rms}}=\frac{40}{2}=20\Omega$$

3)

$$\overline{P}=V_{rms}\times I_{rms}=40\times 2=80\,W$$

أو

$$\overline{P}=I_{rms}^2\times R=(2^2)\times 20=80\,W$$

أو

$$\overline{P}=\frac{V_{rms}^2}{R}=\frac{40^2}{20}=80\,W$$

مثال (3)

ما القيمة الفعّالة لفرق الجهد التي نحصل عليها من المقابس الجدارية في الأردن، علمًا أن القيمة العظمى لفرق الجهد $(324V)$

الحل

$$V_{rms}=\frac{V_{max}}{\sqrt{2}}=0.71V_{max}=0.71\times 324=230V$$

مثال (4)

مدفأة كهربائيّة مقاومتها (40Ω) تعمل على فرق جهد متردّد بوحدة الفولت مُعبَّر عنه بالعلاقة: $(310\sin\omega t)$ حيث (t) بوحدة الثانية، أحسب:

1) مقدار القيمة الفعّالة للتيار الذي يسري في المدفأة.

2) القدرة الكهربائية المتوسطة المستهلكة في مقاومة المدفأة.

الحل

1)

$$I_{max}=\frac{V_{max}}{R}=\frac{310}{40}=7.75A$$

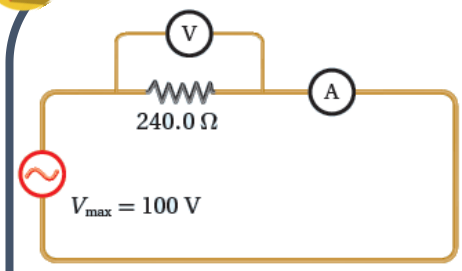
$$I_{rms}=\frac{I_{max}}{\sqrt{2}}=0.71I_{max}=0.71\times 7.75=5.5A$$

2)

$$\bar{P}=I_{rms}^2R$$
$$=(5.5)^2(40)$$
$$=1210\ watt$$

مثال (5)

يبيّن الشكل المجاور دارة كهربائية تتكوّن من مقاومة مقدارها (240Ω) ، وصلت بمصدر فرق جهد متردّد، حيث القيمة العظمى لفرق الجهد بين طرفيه $(100\,V)$. أُستخدم أميتر وفولتميتر مثاليين لقياس التيار وفرق الجهد بين طرفي المقاومة. أحسب قراءة كلّ من الأميتر والفولتميتر



الحل

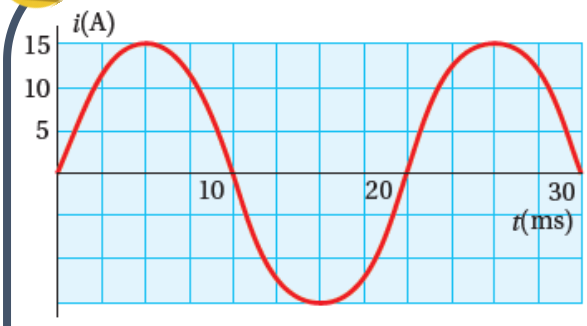
نذكر أن الأميتر والفولتميتر يقيسان القيمة الفعالة

$$I_{max}=\frac{V_{max}}{R}=\frac{100}{240}=\frac{5}{12}A$$

$$V_{rms}=\frac{V_{max}}{\sqrt{2}}=\frac{100}{\sqrt{2}}V$$

$$I_{rms}=\frac{I_{max}}{\sqrt{2}}=\frac{5}{12\sqrt{2}}A$$

مثال (6)



معتمدًا على العلاقة البيانيّة المجاورة لتغيّر التيار الذي يسري في دارة مقاومة فقط مقدارها (40Ω) ، أجد:

1) القيمتين العظمى والفعّالة للتيار.
2) التردّد الزاويّ للتيار.
3) القيمة الفعّالة لفرق الجهد.
4) القدرة الكهربائية المستهلكة في المقاومة.

الحل

1) $I_{max}=15\,A \qquad I_{rms}=I_{max}\times 0.71=15\times 0.71=10.65\,A$

2) $\omega=\dfrac{2\pi}{T}=\dfrac{2\pi}{20\times10^{-3}}=100\pi\,rad/s$

3) $V_{rms}=I_{rms}\times R=10.65\times 40=426\,V$

4) $P=I_{rms}^2\times R=\left(\dfrac{15}{\sqrt{2}}\right)^2\times 40=4500\,watt$

مثال (7)

يسري تيار متردّد في مقاومة (200Ω) ، إذا كانت قيمته العظمى $(2.8A)$ ، فما القدرة المتوسطة المستهلَكة في هذه المقاومة؟

الحل

$$P=I_{rms}^2\times R=\left(\frac{2.8}{\sqrt{2}}\right)^2\times 200=784\,watt$$

مثال (8)

تنقل شركة الكهرباء طاقة كهربائية بقدرة مقدارها $(500\,MW)$ إلى مدينة تبعد عن محطة توليد الكهرباء مسافة $(30\,Km)$ ، فإذا كانت مقاومة أسلاك الخطوط الناقلة تساوي $(0.2\Omega/Km)$ ، أحسب ما يأتي:

1) مقدار القدرة الضائعة في خطوط النقل عند نقل الطاقة باستخدام فرق جهد متردّد قيمته الفعّالة $(240\,V)$.

2) مقدار القدرة الضائعة في خطوط النقل عند استخدام محوّل رافع يرفع القيمة الفعّالة للجهد إلى $(32\,KV)$.

الحل

المعطيات: $P=500\times10^{-6}\,W \quad ,d=30Km \quad ,\dfrac{R}{d}=0.2\Omega/Km \quad V_{1(rms)}=240V \quad V_{2(rms)}=32000V$

1)

أولاً نجد مقدار مقاومة الاسلاك

$$R=\frac{R}{d}\times d=0.2\times 30=6\Omega$$

ثم نجد مقدار التيار المار في الاسلاك

$$P=I_{rms}\times V_{rms} \quad \Rightarrow\Rightarrow 500\times10^6=I_{rms}\times 240 \quad \Rightarrow\Rightarrow I_{rms}=2.1\times10^6\,A$$

الان يمكن إيجاد الطاقة الضائعة في الاسلاك

$$P_{loss}=I_{rms}^2\times R=\left(2.1\times10^6\right)^2\times 6=26.46\times10^{12}\,W$$

2)

عند استخدام المحول

نجد مقدار التيار المار في الاسلاك

$$P = I_{rms} \times V_{rms} \quad \Rightarrow\Rightarrow 500\times10^{6} = I_{rms} \times 32000 \quad \Rightarrow\Rightarrow 15625\,A$$

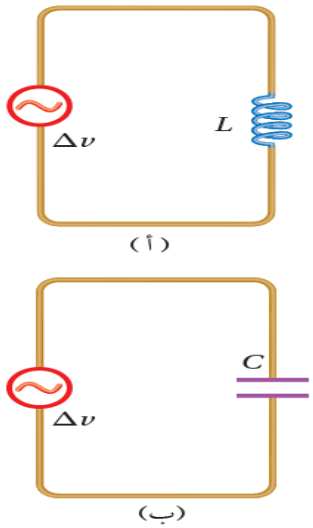
الان يمكن إيجاد الطاقة الضائعة في الاسلاك

$$P_{loss} = I_{rms}^{2} \times R = (15625)^{2} \times 6 = 1464843750\,W = 0.00146484375 \times 10^{12}\,W$$

لاحظ عزيزي الطالب مقدار النقص الهائل في الطاقة الضائعة عند استخدام المحول الكهربائي.

☑ دارة محث ودارة مواسع

الشكل المجاور يبين دارتين كهربائيتين يسري فيهما تيار متردد أحدهما وصل مع المصدر محث فقط والأخرى وصل مع المصدر مواسع فقط



- تقوم هذه العناصر (المحث ، المواسع) على ممانعة مرور التيار الكهربائي.
- حيث انهما يمتلكان خاصية مشابهة لخاصية المقاومة تسمى المعاوقة
- إلا أن مقدار ممانعتهما لمرور التيار الكهربائي المتردد تعتمد على مقدار تردد المصدر
- معاوقة المحث (المعاوقة المحثية) تعطى بالقانون:

$$X_L = \omega L = 2\pi fL$$

- ومعاوقة المواسع(معاوقة المواسعية) تعطى بالقانون:

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC}$$

ملاحظات هامة...

1) المعاوقة: هي الممانعة التي تبديها عناصر الدارة (المحث والمواسع) لمرور التيار الكهربائي فيها.

2) تقاس المعاوقة بوحدة (Ω)

3) كلما زاد تردد المصدر زادت معاوقة المحث، ولكن تقل معاوقة المواسع

4) تنطبق قوانين الدارات (اوم ، والقيمة الفعالة) على المواسع والمحث كما الحال في المقاومة والجدول التالي يبين هذه القوانين

عنصر الدارة	المقاومة/المعاوقة	(I_{max})	(I_{rms})
مقاومة	R	$I_{max}=\frac{V_{max}}{R}$	$I_{rms}=\frac{V_{rms}}{R}$
محث	$X_L=\omega L$	$I_{max}=\frac{V_{max}}{X_L}$	$I_{rms}=\frac{V_{rms}}{X_L}$
مواسع	$X_C=\frac{1}{\omega C}$	$I_{max}=\frac{V_{max}}{X_C}$	$I_{rms}=\frac{V_{rms}}{X_C}$

مثال (9)

ما مقدار معاوقة كلٍّ من المحث والمواسع عندما يكون تردّد التيار الكهربائي صفرًا، وعندما يكون تردّده كبيرًا جدًا؟

الحل

التردد	المعاوقة المحثية	المعاوقة المواسعية
صفر	صفر	لا نهائية
كبير جداً	لا نهائية	صفر

مثال (10)

ما القيمة العظمى والقيمة الفعالة للتيار المتردّد في دارة (AC) تحتوي على مواسع مواسعته $(5\mu F)$ ، ومصدر فرق جهد قيمته العظمى $(250\,V)$ وتردّده $\left(\frac{200}{\pi}Hz\right)$

الحل

$$\omega=2\pi f=2\pi\frac{200}{\pi}=400rad/s$$

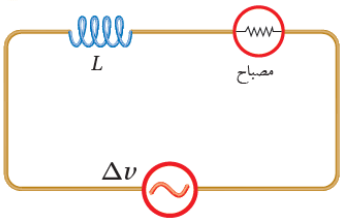
$$X_C=\frac{1}{\omega C}=\frac{1}{(400)(5\times10^{-6})}=500\Omega$$

$$I_{max}=\frac{V_{max}}{X_C}=\frac{250}{500}=0.5A$$

$$I_{rms}=0.71I_{max}=0.71\times0.5=0.355A$$

مثال (11)

يبيّن الشكل المجاور دارة يتصل فيها محثّ ومصباح بمصدر فرق جهد متردّد، ماذا يحدث لإضاءة المصباح عند نقصان تردّد المصدر مع بقاء القيمة العظمى لفرق الجهد ثابتة.

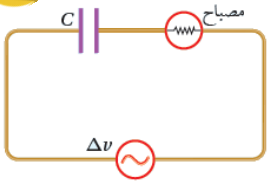


الحل

عند نقصان تردد المصدر تقل معاوقة المحث مما يؤدي إلى ارتفاع مقدار التيار المار في الدارة الكهربائية وبتالي زيادة في إضاءة المصباح

مثال (12)

يبيّن الشكل المجاور دارة يتصل فيها مواسع ومصباح بمصدر فرق جهد متردّد، ماذا يحدث لإضاءة المصباح عند نقصان تردّد المصدر مع بقاء القيمة العظمى لفرق الجهد ثابتة؟ فسّر إجابتك.



الحل

عند نقصان تردد المصدر فإن معاوقة المواسع تزداد مما يؤدي إلى زيادة الممانعة التي يبديها المواسع لمرور التيار مما يعني نقصان القدرة المستهلكة في المصباح وبتالي نقصان إضاءة المصباح

مثال (13)

دارتان كهربائيتان، تتكوّن الأولى من مواسع ومصدر فرق جهد متردّد، وتتكوّن الثانية من محثّ ومصدر فرق جهد متردّد، فإذا كان المصدران متماثلين من حيث فرق الجهد والتردّد، كيف تتغير القيمة الفعالة للتيار في كل دارة إذا تضاعف التردد الزاوي لمصدر فرق الجهد بمقدار 5 أضعاف؟

الحل

عندما يتضاعف التردد الزاوي بمقدار 5 اضعاف فإن المعاوقة المحثية تتضاعف 5 مرات $X_L = 5\omega L$ وبتالي فإن مقدار التيار المار في المحث يقل بمقدار 5 مرات ليصبح $\frac{I_{rms}}{5}$

اما المعاوقة المواسعية فإنها تقل بمقدار 5 مرات $X_C = \frac{1}{5\omega C}$ وبتالي فإن مقدار التيار المار في المحث يزداد بمقدار 5 مرات ليصبح $5I_{rms}$

الأسئلة النظرية

سؤال(1): وضح المقصود بـ:

1) القيمة الفعالة لفرق الجهد المتردد
2) القيمة الفعالة للتيار المتردد
3) المعاوقة المحثية
4) المعاوقة المواسعية

الجواب: 1) ناتج قسمة القيمة العظمى لفرق الجهد على $\sqrt{2}$

2) ناتج قسمة القيمة العظمى للتيار المتردد على $\sqrt{2}$

3) المقاومة الكهربائية التي يواجهها التيار المتردّد عند مروره بين طرفي محثّ، وتساوي حاصل ضرب محاثّة المحثّ في التردّد الزاويّ لفرق الجهد.

4) المقاومة الكهربائيّة التي يواجهها التيار المتردّد عند مروره بين طرفي مواسع، وتساوي مقلوب حاصل ضرب المواسعة في التردّد الزاويّ لفرق الجهد.

سؤال(2): عدد العوامل التي تعتمد عليها معاوقة المحث

الجواب: 1) مقدار محاثة المحث " طردياً "

2) التردد الزاوي لمصدر فرق الجهد " طردياً "

سؤال(3): عدد العوامل التي تعتمد عليها معاوقة المواسع

الجواب: 1) مقدار مواسعة المواسع " عكسياً "

2) التردد الزاوي لمصدر فرق الجهد " عكسياً "

سؤال(4): كيف يمكن حساب القدرة الكهربائيّة التي تستهلكها مقاومة كهربائيّة عندما تعمل بتيار متردّد، ومقارنتها بقدرتها في حالة عملها بالتيار المستمر؟

الجواب: تحسب القدرة المستهلك في مقاومة تعمل بالتيار المتردد باستخدام القيمة الفعالة للتيار المتردد والتي تساوي القيمة العظمى للتيار المتردد مقسومة على جذر 2 وهي تساوي نفس القدرة التي تستهلكها المقاومة عندما تعمل بتيار مستمر له نفس مقدار القيمة الفعالة للتيار المتردد

سؤال(5): أوضّح المقصود بالقيمة العظمى والقيمة الفعّالة لفرق الجهد المتردّد.

الجواب: **القيمة العظمى** هي أعلى قيمة يصل إليها فرق الجهد الكهربائي لمصدر فرق الجهد
القيمة الفعالة هي القيمة المساوية لمقدار الجهد القادر على إحداث نفس مقدار القدرة الصادرة عن مصدر فرق جهد مستمر وتساوي القيمة العظمى مقسومة على جذر 2

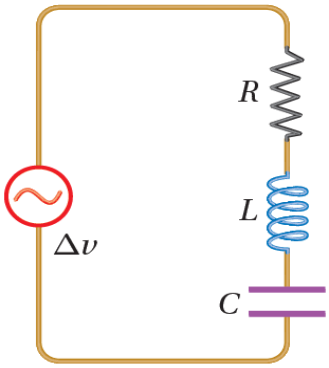
سؤال(6): وضّح لماذا ينعدم التيار المتردّد في دارة (AC) تحتوي على مواسع فقط عند الترددات المنخفضة جدًّا. ووضّح لماذا ينعدم التيار في دارة (AC) تحتوي على محثّ فقط عند الترددات العالية جدًّا.

الجواب: في الدارات التي تحتوي على المواسع فإن معاوقة المواسع تزداد بشكل كبير جداً عند الترددات المنخفضة لإنها تتناسب عكسياً مع التردد وبتالي يقل مقدار التيار لدرجة الإهمال.
في الدارات التي تحتوي على محث فقط فإن معاوقة المحث تزداد بشكل كبير جداً عند الترددات المرتفعة لإنها تتناسب طردياً مع التردد وبتالي يقل مقدار التيار لدرجة الإهمال.

سؤال(7): صف اتجاه المجال المغناطيسي الذي يولّده مرور تيار متردّد في محثّ، وأقارنه بالمجال الذي يولّده مرور تيار مستمر فيه.

الجواب: أثناء مرور تيار مستمر في محث يتولد مجال مغناطيسي ثابت في المقدار والاتجاه كما تعلمنا سابقاً، ولكن عند مرور تيار متردد ولإن التيار المتردد له مقدار واتجاه متغيران مع الزمن فإن المجال المغناطيسي الناشئ عنه يكون متغير في المقدار والتجاه بشكل دائم.

3 دارة مقاومة ومحث ومواسع



الشكل المجاور يمثل دارة تيار متردد تحتوي على مقاومة ومحث ومواسع موصولة جميعها على التوالي حيث إن:

- جميع عناصر الدارة تقوم بممانعة مرور التيار الكهربائي خلالها
- ويمكن إيجاد مقدار الممانعة الكلية التي تبديها الدارة من خلال القانون التالي

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

- وتكون القيمة الفعالة للتيار المار في الدارة تساوي

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

☑ حالة الرنين في دارة RLC

من خلال قانون التيار المار في دارة (RLC) نستنتج أن مقدار التيار المار في الدارة يعتمد على مقدار تردد مصدر الدارة وذلك لإن مقدار المعاوقة الكلية للدارة تعتمد على مقدار التردد وعند تردد معين يسمى **تردد الرنين** فإن:

- معاوقة المحث تساوي معاوقة المواسع $\left(X_L=X_C\right)$
- تكون المعاوقة الكلية للدارة تساوي $Z=R$
- وتكون هذه اقل قيمة لمعاوقة الدارة وعندها يمر أكبر مقدار للتيار في الدارة
- يمكن إيجاد مقدار تردد الرنين الزاوي من العلاقة التالية:

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

مثال (1)

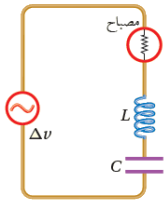
ماذا تمثّل حالة الرنين في دارة مقاومة ومحثّ ومواسع؟

الحل

هي الحالة التي تكون فيها المعاوقة المحثية تساوي المعاوقة المواسعية وعندها يمكن الحصول على أكبر قيمة ممكن للتيار المار في الدارة الكهربائية

مثال (2)

في الدارة المبيّنة في الشكل، ما الشرط اللازم توافره كي يضيء المصباح بأكبر شدّة ممكنة؟



الحل

أن تكون معاوقة المحث مساوية لمعاوقة المواسع. أو أن يكون تردد مصدر الدارة مساوياً لتردد الرنين

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

مثال (3)

دارة (AC) تحتوي على مصدر فرق جهد متردّد قيمته الفعّالة $(150V)$ وتردّده $\left(\frac{700}{11}Hz\right)$ ، يتّصل على التوالي بمقاومة (400Ω) ومحثّ محاثّته $(1H)$ ، ومواسع مواسعته $(25\mu F)$. أجد كلًّ من:

أ . المعاوقة المحثّية، والمعاوقة المواسعيّة، والمعاوقة الكليّة للدارة.

ب. القيمة الفعّالة للتيار المتردّد.

الحل

أ)

$$\omega = 2\pi f = 2\left(\frac{22}{7}\right)\times\frac{700}{11} = 400rad/s$$

$$X_L = \omega L = (400)(1) = 400\Omega$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{(400)(25\times10^{-6})} = 100\Omega$$

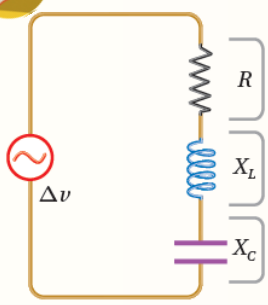
$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(400)^2 + (400-100)^2} = 500\Omega$$

ب)

$$I_{rms} = \frac{V_{rms}}{Z} = \frac{150}{500} = 0.3A$$

مثال (4)

عند مضاعفة تردّد مصدر فرق الجهد إلى مثليه، في دارة تيار متردّد تحتوي (RLC) ، على نحو ما هو مبيَّن في الشكل، ماذا يحدث لكلٍّ من: R , X_L , X_C



الحل

مقدار المقاومة لا يتأثر بتردد مصدر فرق الجهد

معاوقة المواسع تقل لإنها تعتمد على التردد عكسياً

معاوقة المحث تزداد لإنها تعتمد على التردد طردياً

مثال (5)

عند أيّ تردّد زاويّ تتساوى المعاوقة المحثّية لمحثّ $(57\mu H)$ مع المعاوقة المواسعيّة لمواسع $(57\mu F)$ في دارة تيار متردّد؟ وماذا يُسمّى هذا التردّد؟

الحل

تتساوي المعوقتان عند تردد الرنين

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{(57\times10^{-6})((57\times10^{-6}))}} = \frac{1}{57\times10^{-6}} rad/s$$

مثال (6)

دارة (RLC) تتكوّن من مقاومة (80Ω) ومواسع $(5\mu F)$ ، ومحث، موصولة على التوالي بمصدر فرق جهد متردّد، جهده الفعّال $(40\,V)$ ، وتردّده الزاويّ $(2000 rad/s)$.جد محاثّة المحثّ التي تجعل للتيار الفعّال أكبر قيمة، ثمّ جد أكبر قيمة للتيار الفعّال.

الحل

تكون قيمة التيار أكبر ما يمكن عند تردد الرنين

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Rightarrow\Rightarrow \omega_o^2 = \frac{1}{LC}$$

$$\Rightarrow L = \frac{1}{\omega_o^2 C} = \frac{1}{(2\times10^3)^2(5\times10^{-6})} = \frac{1}{20} = 0.05H$$

أكبر قيمة للتيار الفعال تعطى بالقانون.

$$I_{rms(\max)} = \frac{V_{rms}}{R} = \frac{40}{80} = 0.5\,A$$

مثال (7)

تحتوي دارة (RLC) على مقاومة (150Ω) ومحثّ $(3H)$ ومواسع $(100\mu F)$ موصولة على التوالي بمصدر فرق جهد متردّد قيمته الفعّالة $(120V)$ ، وتردّده $\left(\frac{50}{\pi}Hz\right)$ ، أحسب:

أ . مقدار المعاوقة الكليّة للدارة.

ب. التردّد الطبيعي للدارة الذي يحدث عنده الرنين.

الحل

1)

$$\omega = 2\pi f = 2\pi\times\frac{50}{\pi} = 100 rad/s$$

$$X_L = \omega L = (100)(3) = 300\Omega$$

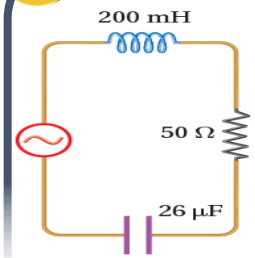
$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{(100)(100\times10^{-6})} = 100\Omega$$

$$Z=\sqrt{R^2+\left(X_L-X_C\right)^2}=\sqrt{(150)^2+(300-100)^2}=250\Omega$$

2)

$$\omega_o=\frac{1}{\sqrt{LC}}=\frac{1}{\sqrt{3\times100\times10^{-6}}}=\frac{100}{\sqrt{3}}rad/s$$

مثال (8)



دارة (RLC) تحتوي على مقاومة ومحثّ ومواسع مبيَّنة قيمها في الشكل المجاور، تتصل بمصدر فرق جهد متردّد قيمته العظمى (210V) ، وتردّده (50Hz) أحسب:

1) المعاوقة المحثّية والمعاوقة المواسعيّة والمعاوقة الكليّة للدارة.
2) القيمة العظمى للتيار المتردّد.

الحل

أ)

$$\omega=2\pi f=2\pi\times50=314rad/s$$

$$X_L=\omega L=(314)\left(200\times10^{-3}\right)=62.8\Omega$$

$$X_C=\frac{1}{\omega C}=\frac{1}{(314)\left(26\times10^{-6}\right)}=122.5\Omega$$

$$Z=\sqrt{R^2+\left(X_L-X_C\right)^2}=\sqrt{(50)^2+(62.8-122.5)^2}=77.9\Omega$$

ب)

$$I_{rms}=\frac{V_{rms}}{Z}=\frac{210}{77.9}=2.7\,\mathrm{A}$$

4 تطبيقات تكنولوجية

◈ جهاز كشف الفلزّات

يمثل الشكل المجاور بوابة إلكترونية لكشف المعادن، تعتمد في طريقة عملها على دارة الرنين على النحو التالي:

- يحتوي الباب على ملف نحاسي يمثل محثاً في دارة الرنين
- تكون الدارة متصلة بمصدر جهد متردد تردده يساوي تردد الرنين
- اثناء مرور شخص يحمل معدن فلزي ما فإن مقداره المحاثة يزداد
- فيتغير مقدار المعاوقة المحثية في الدارة وتصبح أكبر من المعاوقة المواسعية
- فتنعدم حالة الرنين ويقل مقدار التيار المار في الدارة
- ثم تحول دارة إلكترونية إشارة الهبوط في التيار إلى إشارة صوتية ومرئية.

◈ أجهزة المذياع والاتصال اللاسلكي

دارات الاستقبال في أجهزة المذياع وأجهزة الاتصال اللاسلكي، تُعدّ مثالاً مهمّا على دارة الرنين، والتي تعمل على النحو التالي:

- تبث محطات الإذاعة برمجها على شكل موجات كهرومغناطيسية حيث يوجد تردّد محدّد لكل إذاعة
- عندما يضبط أحدُنا مفتاح الموجة في المذياع على إذاعة معينة، فإنّه يغيّر من مواسعة المواسع في دارة الرنين داخل المذياع
- ما يغيّر من تردّد الرنين لدارة الاستقبال ليصبح مطابقًا لتردّد موجات الإذاعة
- ثم تُمرّر هذه الموجات بعد تكبيرها إلى مكبّر الصوت في المذياع فنسمعها بوضوح
- في حين تتلاشى موجات الإذاعات الأخرى التي يختلف تردّدها عن تردّد الرنين.

ملاحظة : تعمل أجهزة الاتصال اللاسلكية بنفس الطريقة التي يعمل بها المذياع

مثال (1)

تتكوّن دارة استقبال (RLC) في جهاز مذياع من مقاومة ومحثّ محاثّته (1.4mH) ومواسع. أجد مواسعة المواسع المستخدم لضبط المذياع على استقبال موجات محطة إذاعة عمان (FM) وتردّدها $(99MHz)$.

الحل المعطيات: $L=1.4\times10^{-3}H \quad , \quad f=99\times10^{6}Hz$

$$\omega_{\circ}^{2}=\frac{1}{LC}$$

$$C=\frac{1}{\omega_{\circ}^{2}L}=\frac{1}{(2\pi f)^{2}L}=\frac{1}{\left(2\pi\left(99\times10^{6}\right)\right)^{2}\left(1.4\times10^{-3}\right)}=1.88\times10^{-15}F$$

مثال (2)

تحتوي دارة استقبال في جهاز مذياع على مقاومة (120Ω) ، ومحثّ محاثّته $(0.1mH)$ ، ومواسع متغيّر المواسعة. يمكن ضبط الدارة لكي تستقبل موجات بتردّدات مختلفة، عن طريق إحداث الرنين. أحدّد مجال القيم التي تتغيّر بينها مواسعة المواسع لاستقبال مدى التردّدات $\left(\frac{2000}{\pi}KHz - \frac{5000}{\pi}KHz\right)$

الحل

$$\omega_\circ^2 = \frac{1}{LC}$$

$$C_1 = \frac{1}{\omega_\circ^2 L} = \frac{1}{(2\pi f)^2 L} = \frac{1}{\left(2\pi\left(\frac{2000\times10^3}{\pi}\right)\right)^2 (0.1\times10^{-3})} = 6.25\times10^{-10}F$$

$$C_2 = \frac{1}{\omega_\circ^2 L} = \frac{1}{(2\pi f)^2 L} = \frac{1}{\left(2\pi\left(\frac{5000\times10^3}{\pi}\right)\right)^2 (0.1\times10^{-3})} = 1\times10^{-10}F$$

مثال (3)

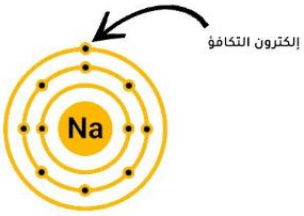
لدى أحمد جهاز مذياع يستمع خلاله لإرسال المحطات على الموجة المتوسطة، وعندما يضع المؤشر على التردد $(801KHz)$ يستمع إلى إذاعة المملكة الأردنية الهاشمية من عمان. وبسبب حدوث عطل في الجهاز، حاول إصلاحه فوجد داخله ملفًا لولبيًا (محثًّا)، قام بوضع ملف آخر بدلً منه، لكن فوجئ عند تشغيل الجهاز بأن المحطات الإذاعية لم تعد في أماكنها على اللوحة. أفسر ما الذي أحدثه أحمد في دارة الاستقبال في جهاز المذياع

الحل

عندما بدّل أحمد المحث في جهاز المذياع تغيّرت المعاوقة المحثية لدارة الاستقبال، فتغيرت حالة الرنين، وبذلك أصبح عند اختياره للتردد $(801KHz)$ على اللوحة لا يحصل على تردد رنين يوافق تردد إذاعة المملكة الأردنية الهاشمية

الدرس الثالث

أشباه الموصلات



◈ تمهيد ....

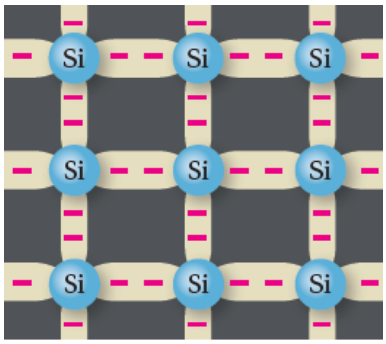
تتكون المواد من وحدات بناء أساسية تسمى الذرات وتحتوي الذرات بداخلها على نواة موجبة الشحنة وإلكترونات تدور حول النواة في مدارات تسمى مستويات الطاقة، وتسمى الإلكترونات في المدار الأخير بإلكترونات التكافؤ والتي تحدد كثير من خصائص المادة منها التوصيل الكهربائي والتوصيل الحراري.

1 تصنيف المواد

بناءً على عدد إلكترونات التكافؤ في ذرات المادة يمكن تصنيف المواد إلى مواد موصلة ومواد عازلة ومواد شبه موصلة والجدول التالي يبين خصائص كل منها.

وجه المقارنة	مواد موصلة	مواد عازلة	مواد شبه موصلة
عدد إلكترونات التكافؤ	أقل من أربعة	أكثر من أربعة	تساوي أربعة
مقدار قوة ارتباط إلكترونات التكافؤ بالذرات	قوة كهربائية ضعيفة	قوة كهربائية كبيرة	تعتمد على درجة الحرارة
عدد الإلكترونات الحرة	كبير جداً	قليل جدا	يعتمد على درجة الحرارة
أمثلة عليها	توجد على شكل عناصر منفردة، مثل الحديد والنحاس والفضة	توجد على شكل مركبات، مثل المطاط والباكليت والزجاج	الجرمانيوم (Ge) السليكون (Si)

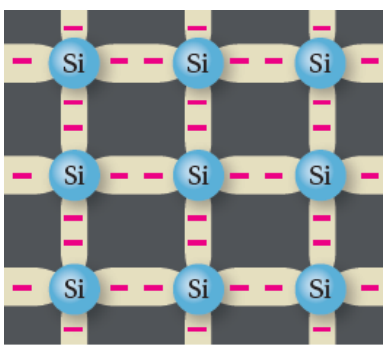
☑ التركيب الكيميائي لأشباه الموصلات



ترتبط كل ذرة من ذرات المادة شبه الموصلة (السيليكون مثلاً) بأربع ذرات أخرى مجاورة لها كما في الشكل المجاور

- تسمى الروابط الناتجة من ارتباط الذرات ببعضها البعض بالروابط التساهمية
- نتيجة ارتباط الذرات ببعضها تتكون بلورة من المادة شبه الموصلة

☑ آلية انتقال الكهرباء في اشباه الموصلات

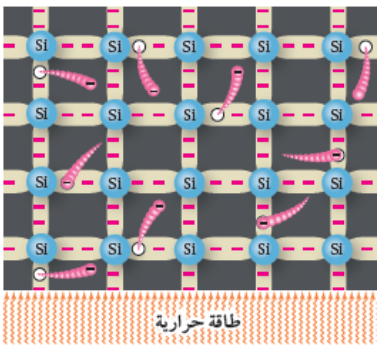


تعتمد موصلية المواد شبه الموصلة على حرارتها حيث إنها

☑ عند درجة حرارة الصفر المطلق

- تكون جميع إلكترونات التكافؤ مقيدة نتيجة للروابط التساهمية
- لا يوجد إلكترونات حرّة لنقل التيار الكهربائي
- لذلك فإنها تشبه المواد العازلة في هذه الحالة.

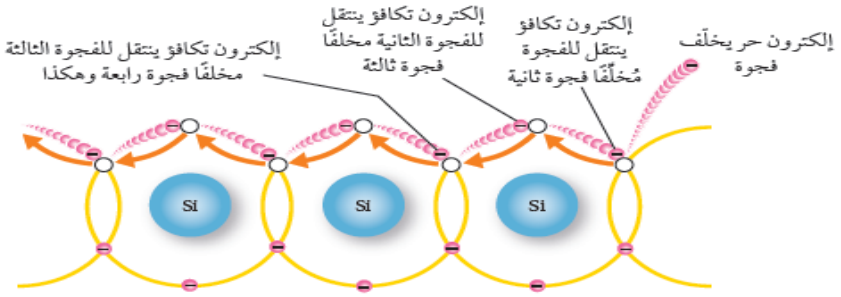
☑ عند درجة حرارة أكبر من الصفر المطلق (درجة حرارة الغرفة مثلاً 25)



- تمتصّ بعض الإلكترونات طاقة حرارية تؤدي إلى كسر الروابط التساهمية
- فتتحرر الإلكترونات من الروابط التساهمية وتغادر مكانها
- يترك الإلكترون مكانه فراغاً يسمى الفجوة
- نستنتج مما سبق أن عدد الإلكترونات يساوي عدد الفجوات

ملاحظات هامة...

1) يطلق على الإلكترونات المتحررة من الروابط التساهمية إلكترونات التوصيل
2) يطلق على الإلكترون والفجوة مسمى زوج إلكترون - فجوة
3) الفجوة عبارة عن فراغ نتيجة مغادرة الإلكترون للذرة ويبدو وكأنه موجب الشحنة بسبب نقص الشحنة السالبة للذرة
4) ينتج التيار الكهربائي نتيجة حركة كلاً من الإلكترونات والفجوات !!
5) عندما يكسر الإلكترون الرابطة التساهمية تنتج فجوة ويصبح من السهل لإلكترون ذرة مجاورة أن ينتقل إلى تلك الفجوة، فتبدو الفجوات وكأنها شحنات موجبة تتحرك بعكس اتجاه حركة الإلكترونات وعليه يمكن اعتبار حركة الفجوات تيار كهربائي يسري بعكس اتجاه تيار الإلكترونات كما في الشكل التالي.



☑ أشباه الموصلات من النوع n والنوع p

أشباه الموصِلات النقيّة لا توصل التيار الكهربائي جيدًا، لكن يمكن زيادة موصليتها الكهربائية بإضافة بعض الموادّ إليها تُسمّى شوائب.

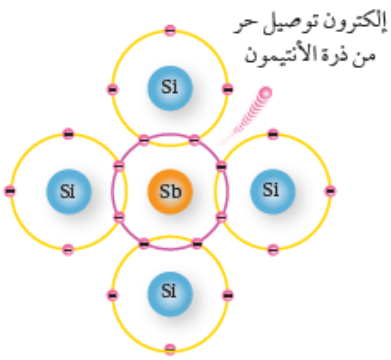
التعريف

الإشابة: زيادة الموصليّة الكهربائيّة لأشباه الموصلات، بإضافة بعض الموادّ إليها تُسمّى شوائب

تعمل عملية الإشابة إما على زيادة الإلكترونات الحرة أو على زيادة الفجوات ولذلك يمكن تقسيم المواد شبه الموصلة المشابة إلى نوعين بلورة سالبة (النوع n) وبلورة موجبة (النوع p)

☑ بلورة سالبة (النوع n)

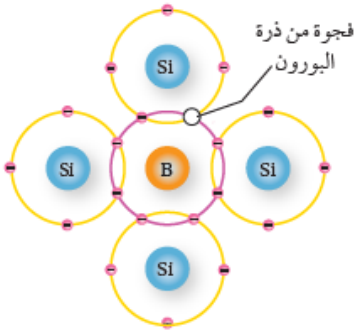
وهي مادة شبه موصلة تمتلك عدد إلكترونات أكبر من عدد الفجوات ويمكن الحصول عليه بالطريقة التالية:



- يُضاف إلى المادة شبه الموصلة عنصر **خماسيُّ التكافؤ** (يملك خمس إلكترونات تكافؤ في غلافه الأخير) مثل، الأنتيمون أو الفسفور أو الزرنيخ
- تشكل ذرات المادة المضافة أربع روابط تساهمية مع ذرات المادة شبه الموصلة.
- يتبقى إلكترون واحد من إلكترونات ذرة المادة المضافة حراً
- وبذلك يزداد عدد الإلكترونات الحرة في المادة شبه الموصلة
- ويصبح عدد الإلكترونات الحرة أكبر من عدد الفجوات

☑ بلورة موجبة (النوع P)

وهي مادة شبه موصلة تمتلك عدد فجوات أكبر من عدد الإلكترونات ويمكن الحصول عليه بالطريقة التالية:



- يُضاف إلى المادة شبه الموصلة عنصر **ثلاثي التكافؤ** (يملك ثلاث إلكترونات تكافؤ في غلافه الأخير) مثل، الغاليوم أو البورون.
- تشكل ذرات المادة المضافة ثلاث روابط تساهمية مع ذرات المادة شبه الموصلة.
- اما الرابطة التساهمية الرابعة فينقصها إلكترون واحد (يشكل فجوة)
- وبذلك يزداد عدد الفجوات في المادة شبه الموصلة
- ويصبح عدد الفجوات أكبر من عدد الإلكترونات

ملاحظات هامة...

1) عند توصيل البلّورة الموجبة (p) أو السالبة (n) بفرق جهد فإنّ تيارًا كهربائيًّا يسري فيها، وهذا التيار ينتج عن حركة الفجوات والإلكترونات
2) وتُسمّى الفجوات والإلكترونات بناقلات التيار
3) توصف الإلكترونات بانها ناقلات الأغلبية والفجوات بناقلات الأقلية في البلورة السالبة
4) توصف الفجوات بانها ناقلات الأغلبية والإلكترونات بناقلات الأقلية في البلورة الموجبة
5) الشحنة الكليّة للبلورة السالبة أو البلورة الموجبة تساوي صفرًا؛ لأنّ عدد الشحنات الموجبة فيها يساوي عدد الشحنات السالبة.

سؤال؟

وضّح المقصود بناقلات التيار الأغلبيّة، وناقلات التيار الأقليّة في البلّورة الموجبة (P) والبلورة السالبة (n)

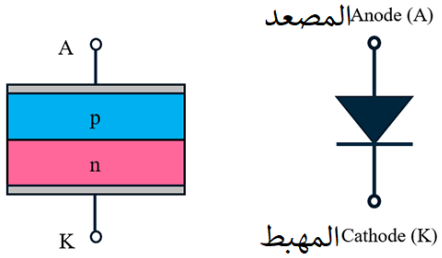
الحل

في البلورة الموجبة تكون ناقلات الأغلبية هي الفجوات وناقلات الأقلية هي الإلكترونات
في البلورة السالبة تكون ناقلات الأغلبية هي الإلكترونات وناقلات الأقلية هي الفجوات

2 الثنائي البلّوري Diode

التعريف

الثنائي البلوري: هو التركيب الناتج من تلامس بلورتين شبه موصلتين إحداهما من النوع (P) والأخرى من النوع (n)



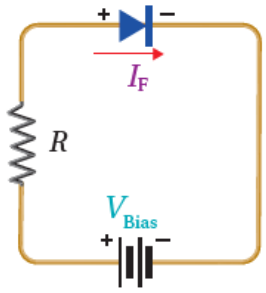
الشكل المجاور يبين تركيب الثنائي البلوري ورمزه المستخدم في الدارات الكهربائية، حيث ان البلورة الموجبة تسمى **مصعد** والبلورة السالبة تسمى **المهبط**

☑ الانحياز

يقصد بالانحياز هو حالة عمل الثنائي عند توصليه بمصدر فرق جهد ثابت، حيث إن الثنائي البلوري له حالتين للانحياز وهما:

1) الانحياز الامامي

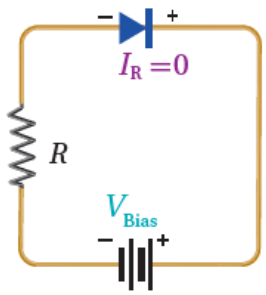
- يحدث عند وصل المصعد بالقطب الموجب للبطارية والمهبط بالقطب السالب
- ويشترط أن يكون جهد المصدر أكبر من أو يساوي جهد معين يسمى **حاجز الجهد الثنائي**
- عندئذ يسمح البلوري الثنائي بمرور تيار كهربائي من خلاله



أ) انحياز أمامي

2) الانحياز العكسي

- يحدث عند وصل المصعد بالقطب السالب للبطارية والمهبط بالقطب الموجب
- عندئذ تصبح مقاومة الثنائي كبيرة جداً ولا يسمح بمرور التيار من خلاله
- إذا زاد فرق الجهد عن قيمة محددة تسمى جهد الانهيار (V_{BR}) فإنّ مقاومة الثنائي تنهار، ويسري فيه تيار كبير يؤدّي إلى تلف الثنائي البلوري.

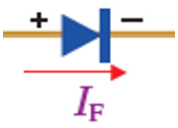


ب) انحياز عكسي

ملاحظات هامة...

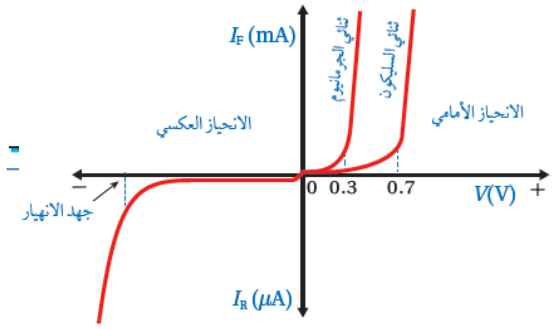
1) تعتمد قيمته **حاجز الجهد الثنائي** على مادّة البلورة؛ فعند درجة حرارة $(25C^0)$ ، يكون $(0.7V)$ في بلورة السليكون، في حين يساوي $(0.3V)$ في بلورة الجرمانيوم.
2) في الانحياز الامامي يجب توصيل الثنائي بمقاومة لمنع سريان تيار كبير فيه ما يؤدي إلى تلفه.
3) تكون مقاومة الثنائي صغيرة جداً في حالة الانحياز الامامي وتكون كبيرة جداً في حالة الانحياز العكسي
4) تعد مقاومة الثنائي مقاومة لا أومية وذلك لإنها تتغير مع فرق الجهد

استنتاج



لا يسمح الثنائي البلوري بمرور التيار الكهربائي من خلاله إلا باتجاه واحد وهو من المصعد إلى المهبط

☑ منحنى (التيار – الجهد) للثنائي



الشكل المجاور يبين العلاقة بين مقدار التيار المار في الثنائي وفرق الجهد المطبق عليه في حالة الانحياز الامامي والعكسي

انتبه: ميل المنحنى يمثل مقلوب مقاومة الثنائي

☑ خطوات إيجاد التيار المار في دارة تحتوي على ثنائي بلوري

1) نحدد انحياز الثنائي (امامي ام عكسي)
2) إذا كان الانحياز امامي يستبدل الثنائي ببطارية قوتها الدافعة تساوي حاجز جهد الثنائي ثم نطبق قوانين الدارات
3) إذا كان الانحياز عكسي يستبدل الثنائي بدارة مفتوحة ثم نستخدم قوانين الدارات

مثال (1)

إنّ حاجز الجهد للثنائي المصنوع من السليكون أكبر منه للثنائي المصنوع من الجرمانيوم. أناقش أفراد مجموعتي في ذلك اعتمادًا على التركيب الذرّي لكلٍّ منهما. حيث تحتوي ذرة الجرمانيوم المتعادلة على عدد أكبر من الإلكترونات.

الحل

تحتوي ذرة الجرمانيوم المتعادلة على عدد أكبر من الإلكترونات من ذرة السليكون المتعادلة؛ لذا فإن إلكترونات التكافؤ في ذرة الجرمانيوم تكون أبعد عن النواة ويسهل انتزاعها من الذرة، لذلك فحاجز الجهد للجرمانيوم أقل من حاجز الجهد للسليكون.

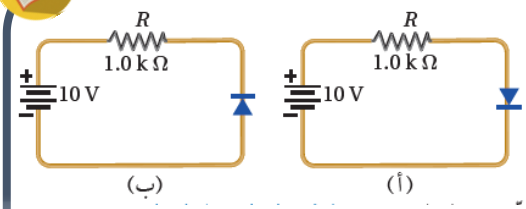
مثال (2)

أقارن بين توصيل الثنائي بوضعيّة الانحياز الأمامي ووضعيّة الانحياز العكسي من حيث التوصيل بمصدر فرق الجهد، والتيار الكهربائي المارّ في كل حالة.

الحل

وجه المقارنة	الانحياز الامامي	الانحياز العكسي
التوصيل مع مصدر فرق الجهد	المصعد مع الموجب	المهبط مع الموجب
التيار الكهربائي	يمر	لا يمر

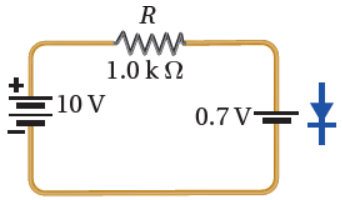
مثال (3)



اعتمادًا على الدارة في الشكل المجاور ، علمًا أن الثنائي مصنوع من مادة **السليكون**، والمقاومة الداخلية لمصدر فرق الجهد مهملة، أجد لكلٍّ من الشكلين (أ) و (ب) ، فرق الجهد على طرفي الثنائي، وفرق الجهد على طرفي المقاومة ΔV_R ، والتيار الكهربائي المارّ في المقاومة.

الحل

الحالة (أ):



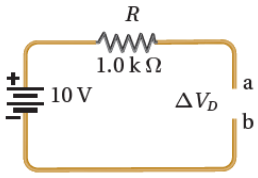
الثنائي في حالة انحياز امامي لإن المهبط متصل مع القطب السالب ويمكن استبداله ببطارية جهدها (0.7) لأنه مصنوع من السيلكون كما في الشكل المجاور

باستخدام قاعدة كيرشوف الثانية:

$$+10-I\left(1\times10^{3}\right)-0.7=0 \quad \Rightarrow I=9.3mA$$

$$\Delta V_R = IR = \left(9.3\times10^{-3}\right)\left(1\times10^{3}\right)=9.3V$$

الحالة(ب)



الثنائي في حالة انحياز عكسي لإن المصعد متصل مع القطب السالب ويمكن استبداله بمفتاح مفتوح كما في الشكل المجاور

$$I=0$$

$$\Delta V_R = 0$$

باستخدام قاعدة كيرشوف الثانية:

$$+10-IR-\Delta V_D=0$$

$$+10-(0)R-\Delta V_D=0 \quad \Rightarrow \Delta V_D=10V$$

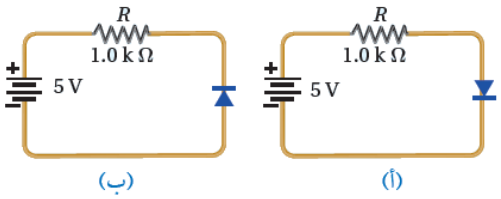
مثال (4)

اعتمادًا على الدارة الموضّحة في الشكل المجاور حيث إنّ الثنائي مصنوع من مادة **الجرمانيوم**، وبإهمال المقاومة الداخلية للبطارية، أجد لكلٍّ من الشكلين (أ) و (ب):

1 . فرق الجهد على طرفي الثنائي .

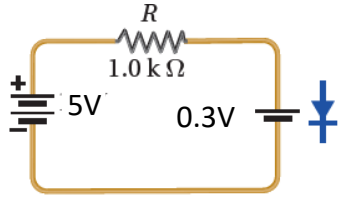
2 . فرق الجهد على طرفي المقاومة.

3 . التيار المارّ في المقاومة.



الحل

الحالة (أ):



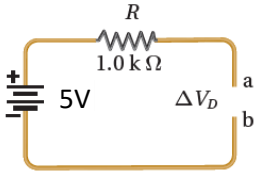
الثنائي في حالة انحياز امامي لإن المهبط متصل مع القطب السالب ويمكن استبداله ببطارية جهدها (0.3) لأنه مصنوع من الجرمانيوم كما في الشكل المجاور

باستخدام قاعدة كيرشوف الثانية:

$$+5-I\left(1\times10^{3}\right)-0.3=0 \quad \Rightarrow I=4.7mA$$

$$\Delta V_R = IR = \left(4.7\times10^{-3}\right)\left(1\times10^{3}\right)=4.7V$$

الحالة(ب)



الثنائي في حالة انحياز عكسي لإن المصعد متصل مع القطب السالب ويمكن استبداله بمفتاح مفتوح كما في الشكل المجاور

$I=0$

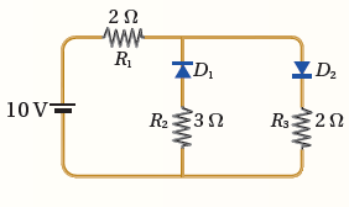
$\Delta V_R=0$

باستخدام قاعدة كيرشوف الثانية:

$+10-IR-\Delta V_D=0$

$+5-(0)R-\Delta V_D=0 \Rightarrow \Delta V_D=5V$

مثال (5)



اعتماداً على الشكل، وبإهمال فرق الجهد على طرفي الثنائي في حالة الانحياز الأمامي:

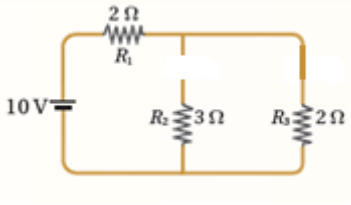
أ . أيّ الثنائيّين في حالة انحياز أمامي؟ وأيّهما في حالة انحياز عكسي؟

ب. أجد التيار المارّ في كلّ مقاومة.

ج. إذا عُكست أقطاب البطارية أجد التيار المارّ في كلّ مقاومة.

الحل

أ) الثنائي (D_1) في حالة انحياز عكسي والثنائي (D_2) في حالة انحياز امامي

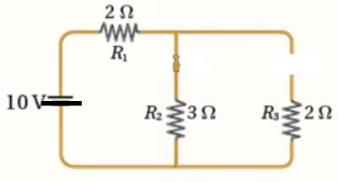


ب) يمكن إعادة رسم الدارة كما في الشكل المجاور:

الدارة تكون بسيطة والتيار المار في المقومتين $(R_1),(R_3)$ يساوي:

$$I=\frac{V}{\sum R}=\frac{10}{2+2}=2.5A$$

اما المقاومة R_2 لا يمر فيها تيار كهربائي.



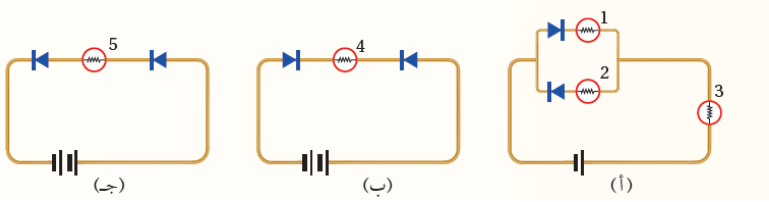
ج)

الدارة تكون بسيطة والتيار المار في المقومتين $(R_1),(R_2)$ يساوي

$$I=\frac{V}{\sum R}=\frac{10}{2+3}=2A$$

اما المقاومة R_3 لا يمر فيها تيار كهربائي.

مثال (6)



اعتماداً على الشكل المجاور أيُّ المصابيح يضيء، وأيُّها لا يضيء؟

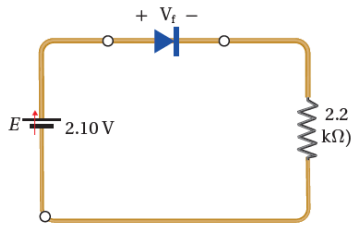
الحل

المصابيح التي تضيء هي : (5) , (2) , (3)

المصابيح التي لا تضيء هي : (4) , (1)

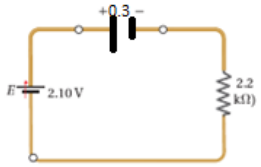
مثال (7)

وُصِل ثنائيٌّ من **الجرمانيوم** على التوالي بمقاومة على نحو ما هو موضّح في الشكل المجاور، اعتمادًا على البيانات المثبتة على الشكل، أجد فرق الجهد على طرفي الثنائي، وفرق الجهد على طرفي المقاومة (ΔV_R) ، والتيار المارّ في المقاومة .



الحل

الثنائي في حالة انحياز امامي لإن المصعد متصل بالقطب الموجب للبطارية وجهد البطارية أكبر من حاجز الجهد للثنائي وعليه يمكن استبدال الثنائي ببطارية كما في الشكل المجاور



فرق الجهد على طرفي الثنائي يساوي $(0.3V)$ لأنه مصنوع من الجرمانيوم

باستخدام قانون كيرشوف الثاني

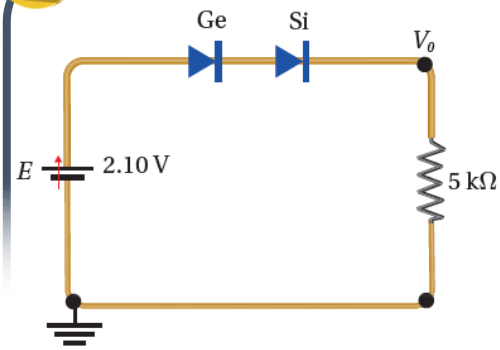
$$+2.1-0.3+2200I_R=0 \qquad I_R=0.818\text{mA}$$

فرق الجهد على طرفي المقاومة يساوي

$$\Delta V_R=IR=\left(0.818\times10^{-3}\right)\times\left(2200\right)=1.8\text{V}$$

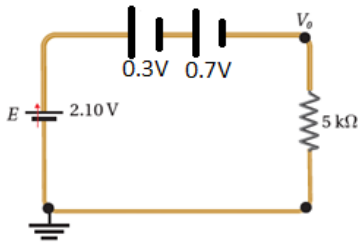
مثال (8)

وُصِل ثنائيّان من السليكون (si) والجرمانيوم (Ge) على التوالي بمقاومة على نحو ما هو مبيَّن في الشكل المجاور، اعتمادًا على البيانات المثبتة على الشكل أجدُ الجهد الناتج $(V_\circ)$



الحل

الثنائيان في حالة انحياز امامي لذلك يمكن استبدالهما ببطاريتين أحدهما $(0.7V)$ والأخرى $(0.3V)$ كما في الشكل المجاور



باستخدام قانون كيرشوف الثاني

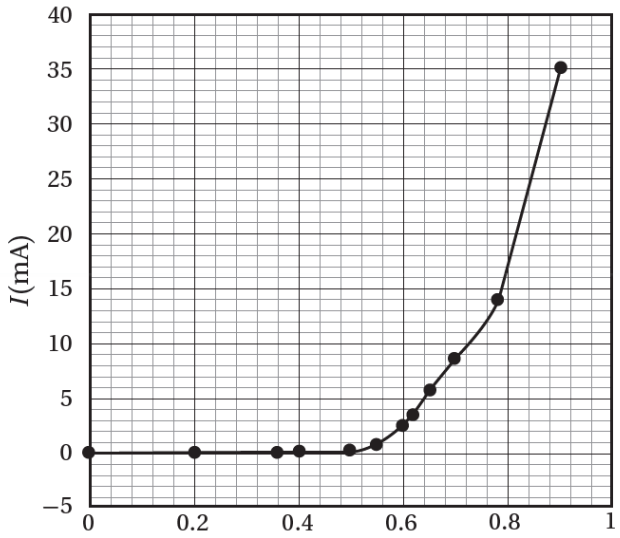
$$0+2.1-0.3-0.7+V_o=0$$

$$\Rightarrow\Rightarrow V_o=1.1\text{V}$$

ملاحظة هامة....

تذكر عزيزي الطالب أن مقدار جهد البطارية يجب أن يكون أكبر من حاجز الجهد الثنائي للثنائي لكي يكون الثنائي في حالة انحياز امامي لذلك في السؤال السابق إذا كان جهد البطارية أقل من واحد فولت (مجموع جهدي الثنائيين) فإن التيار الكهربائي لن يسري في الدارة

مثال (9)



حصلت شذى على الرسم البياني الموضّح خال دراستها للعلاقة بين التيار الكهربائي المارّ في الثنائي وفرق الجهد على طرفيه.

1) ما مقدار حاجز الجهد للثنائي؟
2) أتوقّع: هل الثنائي مصنوع من السليكون أم من الجرمانيوم؟
3) ما مقدار مقاومة الثنائي عندما يكون فرق الجهد بين $(0.8\text{V}-0.9\text{V})$ ؟
4) هل الثنائي في حالة انحياز أمامي أم عكسي؟
5) فسّر عدم مرور تيار عند فرق جهد أقل من (0.5V)

الحل

1) حاجز الجهد بين $(0.6\text{V}-0.7\text{V})$ تقريباً
2) بالاعتماد على قيمة حاجز جهد الثنائي في الفرع السابق فإن الثنائي مصنوع من السيليكون
3) نجد الميل من الشكل

$$slope=\frac{\Delta I}{\Delta V}=\frac{(35-17)\times10^{-3}}{0.9-0.8}=180\times10^{-3}\,\frac{1}{\Omega}\qquad\Rightarrow\Rightarrow R=\frac{1}{180\times10^{-3}}=5.5\Omega$$

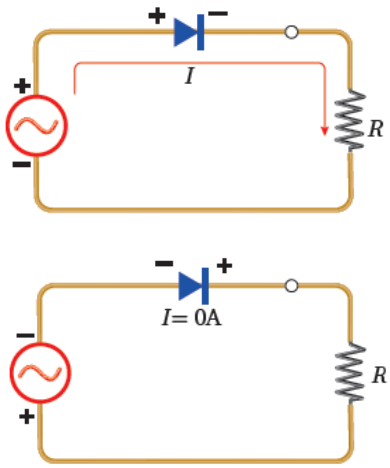
4) في حالة انحياز امامي لأنه سمح بمرور التيار من خلاله
5) لأن فرق الجهد في هذه الحالة يكون أقل من حاجز الجهد للثنائي

☑ الثنائي بوصفه مقوّمًا للتيار المتردّد

◈ تمهيد....

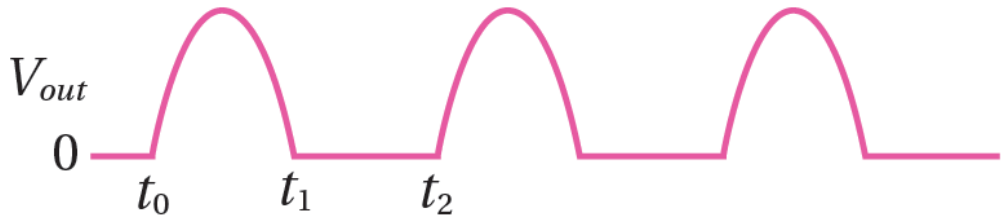
تعلّمت سابقاً، أنّ المقابس في المنازل تزوّدنا بتيار متردّد، وبعض الأجهزة الكهربائية تعمل على تيار مستمر، وحتى تعمل هذه الأجهزة بشكل سليم فإنها تحتوي على دارة داخلية تعمل على تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر تسمى دارة المقوم والتي تعتمد في مبدأ عملها على الثنائي البلوري.

◈ آلية عمل دارة تقويم نصف موجة



- يتم وصل مصدر فرق الجهد المتردد بالثنائي كما في الشكل المجاور
- عندما تكون موجة الجهد موجبة فإن المقوم يكون في حالة انحياز امامي فيسمح بمرور التيار الكهربائي من خلاله إلى المقاومة كما في الشكل

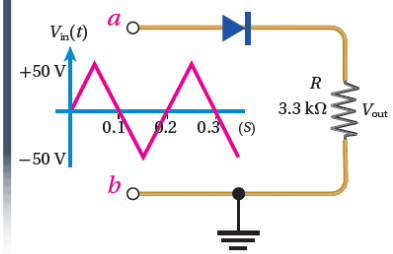
- ولكن عندما تصبح موجة الجهد في النصف السالب فإن الثنائي يكون في حالة انحياز عكس مما لا سمح بمرور التيار إلى المقاومة
- وهذا يعني أن المقاومة لن يصل إليها التيار الكهربائي والجهد إلى خلال النصف الموجب من موجة الجهد وبذلك فإن التيار المار عبر المقاومة يتحرك في اتجاه واحد (تيار مستمر)
- والشكل التالي يبين شكل موجة الجهد التي تتعرض لها المقاومة في الدارة السابقة:



- تسمى الدارة السابقة بدارة تقويم نصف موجة، وفي هذه الحالة يكون تردّد الموجة الناتجة مساويًا لتردّد الموجة الداخلة

انتبه....
تعمل دارة مقوم نصف الموجة على تمرير نصف موجة الجهد الداخلة وتمنع مرور النصف الأخر وليس شرطا أن تمرر دائما النصف الموجب للموجة، إنما تمرر نصف الموجة الذي يكون في الثنائي في حالة انحياز امامي

مثال (10)



يمثّل الشكل المجاور دارة مقوِّم نصف موجة، إذا كانت الموجة الكهربائية الداخلة مثلثّة الشكل على نحو ما هو موضّح في الشكل، بإهمال فرق الجهد على الثنائي أجيب عمّا يأتي:

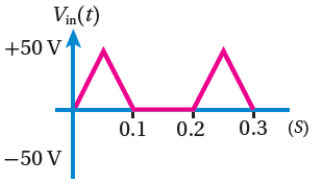
أ . في أيّ الفترات الزمنيّة يكون الثنائي في حالة انحياز أماميّ؟ وفي أيّها يكون في حالة انحياز عكسيّ

ب. أرسم شكل الموجة الناتجة على المقاومة

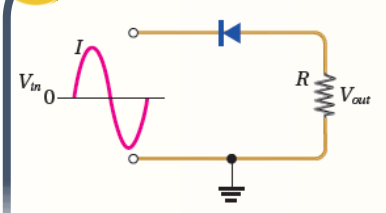
الحل

أ) في الفترات $(0 \to 0.1s)$ و $(0.2 \to 0.3s)$ يكون الثنائي في حالة انحياز امامي لإن المصعد يكون موصول بجهد موجب اما في الفترة $(0.1 \to 0.2s)$ يكون الثنائي في حالة انحياز عكسي

ب) أثناء الانحياز الامامي تمر الموجة أما في الانحياز العكسي لا تمر وبذلك فإن الموجة الناتجة تكون على الشكل التالي:

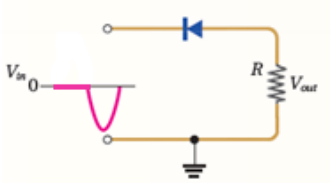


مثال (11)



اعتمادًا على الدارة الموضّحة في الشكل، أرسم شكل الموجة الناتجة. هل سيتغير شكل الموجة الناتجة إذا عُكس الثنائي؟ أفسّر إجابتي.

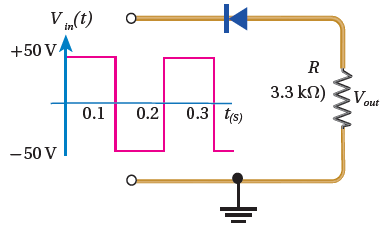
الحل



في النصف الموجب للموجة يكون الثنائي في حالة انحياز عكس لذلك لا تمر الموجة أما في النصف السالب يكون الثنائي في حالة انحياز امامي لذلك تمر الموجة، وإذا عكس الثنائي تكون الموجة الناتجة عكس ما هو مرسوم جانباً

مثال (12)

أحضر باسم دارة متكاملة تستخدم للتوقيت تنتج إشارة مربعة، وقام هو وأفراد مجموعته بتوصيلها بثنائي ومقاومة على نحو ما هو مبيَّن في الشكل المجاور، اعتمادًا على البيانات الموضّحة على الشكل:



أ . أُناقش وأفراد مجموعتي الإشارة الخارجة، وأمثّل بيانيًّا (V_{out}) بالنسبة إلى الزمن.

ب. إذا استخدمت بدلاً من المقاومة مصباحًا له نفس مقدار المقاومة، أناقش وأفراد مجموعتي عدد المرات التي سيضيئ فيها المصباح في الثانية الواحدة (على افتراض أنّ المصباح لا يعمل بمجرد انقطاع التيار عنه).

الحل

1)

خلال النصف الموجب للموجة يكون الثنائي في حالة انحياز عكسي لذلك لا تمر أما خلال النصف السالب يكون الثنائي في حالة انحياز امامي فتمر الموجة ويمكن تمثيل الموجة الناتجة مع الزمن كما في الشكل المجاور

2) من الشكل يكون تردد الموجة يساوي: $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.2} = 5Hz$

أي أن الموجة ستتكرر 5 مرات خلال الثانية الواحدة مما يعني أن المصباح سيضيئ 5 مرات خلال الثانية الواحدة

3 الترانزستور Transistor

تمهيد ....

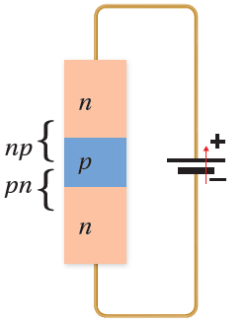
الترانزستور Transistor هو أحد أهم عناصر الدارات الإلكترونية، ويدخل في تركيب الأجهزة الإلكترونية كلها. فالهاتف النقال يحوي مئات الآلاف من الترانزستورات.

يُصنع الترانزستور من موادّ شبه موصلة مثل، السليكون أو الجرمانيوم.

يعمل الترانزستور
1) كمُضخّم للتيار الكهربائي أو الجهد الكهربائيّ أو القدرة الكهربائية
2) كمفتاح سريع الفتح والإغلاق

أنواع الترانزستور
1) الترانزستور ثنائي القطبية Bipolar Junction Transistor (BJT)
2) ترانزستور تأثير المجال Field Effect Transistor (FET)

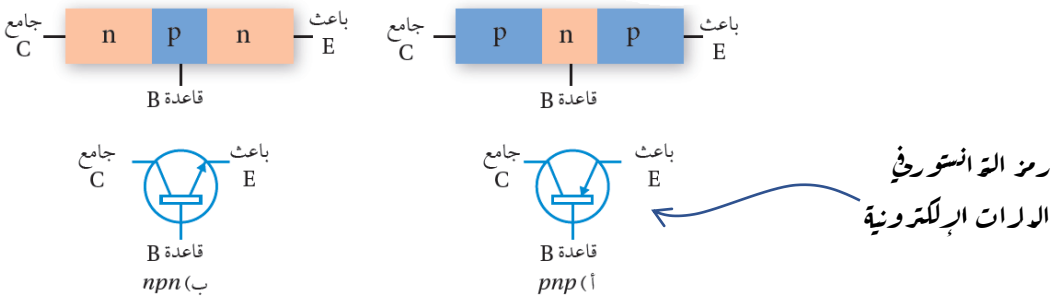
☑ الترانزستور ثنائي القطبيّة



مكونته: يتكوّن من ثلاث طبقات شبه موصِلة، حيث تختلف الطبقة الوسطى في النوع عن الطبقتين الأخريين

أنواعه: (pnp): تكون الطبقة الوسطة من النوع (n) والطبقتين الاخريين من النوع (p)
(npn): تكون الطبقة الوسطة من النوع (p) والطبقتين الاخريين من النوع (n)

رمزه في الدارات الكهربائية كما في الشكل التالي حيث إن الطبقة الوسطى تسمى **القاعدة** (B) والطبقتين الاخريين احداهما تسمى **الباعث** (E) والأخرى تسمى **الجامع** (C)



ملاحظات هامة...

1) اتجاه السهم على رمز الترانزستور يشير إلى اتجاه التيار الاصطلاحي وهو دائما نحو الطبقة السالبة (n)
2) يمكن تشبيه الترانزستور على انه عبارة عن ثنائيين متصلان ببعضهما البعض بحيث تكون دائما قاعدته رقيقة مقارنة بالطبقتين الاخريين
3) تركيز الفجوات في القاعدة من النوع (P) يكون قليل

مثال (1)

أرادت الطالبة سماح تصميم دارة تحوي مصباحين صغيرين على أن يُضيئا ويُطفِئا على التناوب، وكان من ضمن القطع الإلكترونية التي تحتاج إليها ترانزستوران ، فهل يجب استخدام الترانزستورين بوصفهم مُضخِّمين أم بوصفهما مفتاحين، ولماذا؟

الحل

يجب استخدامهما بوصفهما مفتاحين ليعملا على إيصال وقطع التيار المار في كل مصباح بشكل متناوب

مثال (2)

أذكرُ عدد الطبقات التي يتكوّن منها الترانزستور، واستخداماته في الدارات الكهربائية

الحل

يتكون الترانزستور من 3 طبقات على ان تكون الطبقة الوسطى مختلفة في النوع عن الطبقتين الاخريين ويستخدم في الدارات الإلكترونية إما

1) كمضخم للتيار أو الجهد او القدرة
2) كمفتاح سريع الفتح و الاغلاق

الإثراء والتوسع: البوابات المنطقية

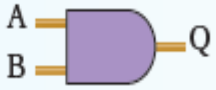
البوابات المنطقية عبارة عن دارات إلكترونية يستخدم فيها الترانزستور بوصفه مفتاحًا سريع الفتح والإغلاق. ولتبسيط مبدأ عملها سندرس الدارة الموضّحة في الشكل المجاور، وسنرمز إلى المفتاح المفتوح بالرمز (0)، وإلى المفتاح المغلق بالرمز (1)، وإضاءة المصباح (Q) بالرمز (1)، وعدم إضاءة المصباح بالرمز (0). ويمكن أن نعدّ المفتاحين (A) و (B) معاً بوابة منطقية. لن يضيء المصباح إلا إذا أُغلق المفتاحان معاً، ويمكن تلخيص ذلك في الجدول المجاور، ويُسمّى مثل هذا الجدول بجدول الحقيقة .Truth table وهذا السلوك للدارة السابقة يوصف بالسلوك المنطقي Logic ، حيث يُعبَّر عن المدخلات والمخرجات بالرقمين (1) و (0). صُمّم العديد من الدارات الإلكترونية التي يُستخدم فيها ترانزستور أو أكثر بالإضافة إلى عناصر إلكترونية أخرى(مثل، المواسعات والمقاومات) لتتصرّف تصرّفًا منطقيًّا على نحو ما في الدارة السابقة التي تُعدّ تبسيطاً لبوابة منطقية تُسمّى بوابة (AND)، ويرمز إليها بالرمز الموضَّح في الشكل المجاور. ومن الأمثلة الأخرى البوابة العاكسة Inverter gate (NOT) ومخرج واحد (Q). ومن الأمثلة الأخرى على البوابات المنطقية الأساسية بوابة (OR). يتضح مما سبق أنّ البوابة المنطقية Logic gate عبارة عن مجموعة ترانزستورات ومقاومات وعناصر إلكترونية أخرى تقوم بعملية منطقية على مدخل واحد أو أكثر، وتخرج مخرجًا منطقيًّا واحدًا. الأجهزة الإلكترونية المعتمدة في تصميمها على البوابات المنطقية تُسمّى إلكترونيات رقمية، حيث تأخذ القيم (1) أو (0) لمدخلاتها ومخرجاتها. وتمتاز أنظمة الإلكترونيات الرقمية كونها أسهل نسبيًّا في التصميم وإمكانية برمجتها، ومناعتها ضد الضوضاء والتشويش، وسهولة تخزينها للبيانات، وسهولة تصنيعها على شكل دارة متكاملة (Integrated circuit (IC، ما يؤدي إلى تصميم دارات تقوم بوظائف أكثر تعقيدًا وبحجم أصغر.

تمثيل بسيط لبوابة رقمية.

جدول الحقيقة للدارة السابقة.

Input		Output
A	B	Q
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

A	B	Q
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



بوابة AND رمزها وجدول الحقيقة لها.

مسائل إضافية مهمة

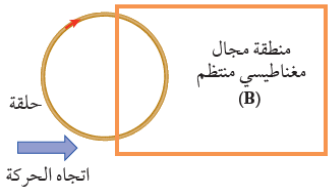
1) وحدة قياس معامل الحثّ الذاتيّ لمحثّ حسب النظام الدوليّ للوحدات، هي

أ) $V.A/s$ ب) $A.s/V$ ج) $V.A.s$ د) $V.s/A$

2) ملف مستطيل الشكل يتكون من لفة واحدة ومساحة سطحه (A) ، مغمور في مجال مغناطيسي (B) بحيث تكون الزاوية بين مستوى الملف وخطوط المجال (30) . إذا تضاعف مقدار المجال المغناطيسي خلال فترة زمنية مقدارها (Δt) ، فإن التغير في التدفق المغناطيسي الذي يخترق الملف خلال تلك الفترة يساوي:

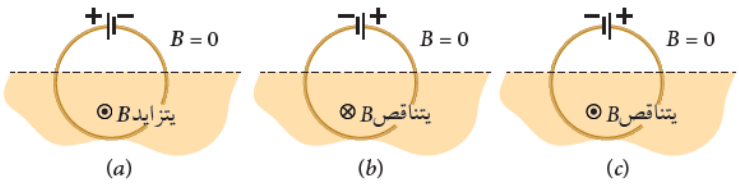
أ) $BA\cos 30^\circ$ ب) $2BA\cos 30^\circ$ ج) $BA\cos 60^\circ$ د) $2BA\cos 60^\circ$

3) أثناء دخول الحلقة المبينة في الشكل إلى منطقة مجال مغناطيسي منتظم (B) يتولد في الحلقة تيار كهربائي حثي بالاتجاه المبين على الشكل، فيكون المجال المغناطيسي (B) باتجاه محور:



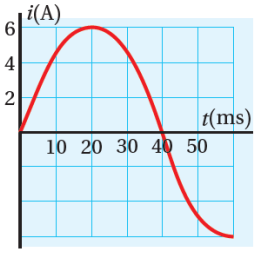
أ) $z+$ ب) $z-$ ج) $x+$ د) $x-$

4) يبين الشكل المجاور حلقة تتصل مع بطارية، ونصفها السفلي موضوع في مجال مغناطيسي منتظم؛ اتجاهه قد يكون عمودي على الصفحة للداخل أو للخارج، ومقداره قد يتزايد أو يتناقص. في أي الحالات الثلاث يكون اتجاه القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في الحلقة باتجاه القوة الدافعة الكهربائية للبطارية؟



أ) (b) فقط ب) (c) فقط ج) (b) و (a) د) (b) و (C)

5) الشكل البيانيّ المجاور يمثّل تغيّر التيار المتردّد بالنسبة إلى الزمن، إنّ التيار اللحظي يُعبَّر عنه بالعلاقة الآتية:

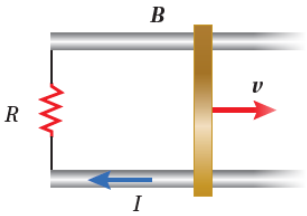


أ) $i = 6\sin 40t$
ب) $i = 6\sin 40\pi t$
ج) $i = 6\sin 12.5\pi t$
د) $i = 6\sin 25\pi t$

6) يُعبَّر عن فرق الجهد المتردّد بالعلاقة $\Delta V = V_{max}\sin 3\pi t$ عند أيّ لحظة زمنية تكون القيمة اللحظيّة لفرق الجهد المتردّد مساوية لنصف قيمته العظمى؟

أ) $\frac{1}{18}s$ ب) $\frac{2}{18}s$ ج) $\frac{3}{18}s$ د) $\frac{6}{18}s$

7) موصل مستقيم طوله (ℓ) مغمور داخل مجال مغناطيسي منتظم. عند سحب الموصل بسرعة ثابتة مقدارها (v) على مجرى فلزّيّ باتجاه محور $(x+)$ يمرّ في المقاومة (R) تيار كهربائي حثّيّ (I) بالاتجاه المبين في الشكل. إنّ مقدار المجال المغناطيسي واتجاهه:



أ) $\frac{\ell v}{IR}$ باتجاه $(z+)$ ب) $\frac{IR}{\ell v}$ باتجاه $(z+)$ ج) $\frac{\ell v}{IR}$ باتجاه $(z-)$ د) $\frac{IR}{\ell v}$ باتجاه $(z-)$

8) عند توصيل طرفي فولتميتر بطرفي مصدر فرق جهد متردّد قيمته العظمى $(310\,V)$ ، فإنّ قراءة الفولتميتر تساوي:

أ) 31 ب) 155 ج) 220 د) 310

9) ما مقدار مقاومة متصلة بمصدر فرق جهد متردّد قيمته العظمى $(69\,V)$ ، عندما يسري فيها تيار متردّد قيمته الفعّالة $(3.5\,A)$ ؟

أ) 7Ω ب) 14Ω ج) 20Ω د) 28Ω

10) الموادّ النقيّة التي لها العدد الأكبر من الإلكترونات الحرّة هي

أ) مواد موصلة ب) مواد عازلة ج) مواد شبه موصلة د) بلورة من نوع (p)

11) عند إشابة بلّورة السليكون بعنصر خماسي التكافؤ ينتج:

أ) بلورة من نوع (p) ب) بلورة من نوع (n) ج) ثنائي بلوري د) ترانزستور

12) حتى يكون الثنائيّ البلّوري في حالة انحياز أمامي، يجب أن:

أ) يُطبّق فرقُ جهد خارجي موجب على مصعده، وآخرُ سالب على مهبطه

ب) ب. يُطبّق فرقُ جهد خارجي سالب على مصعده، وآخرُ موجب على مهبطه.

ج) يكون جهد مصعده أقلّ من جهد مهبطه.

د) يكون جهد مصعده أكبر من جهد مهبطه بما لا يزيد على $(0.1V)$.