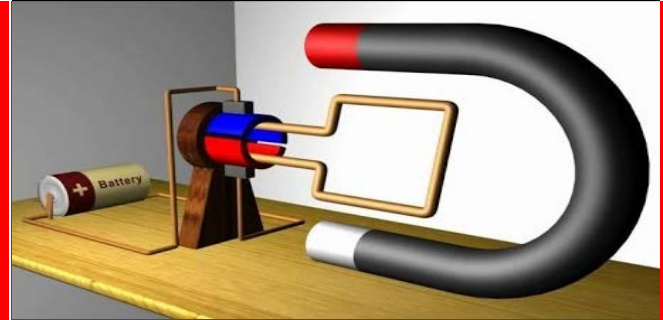
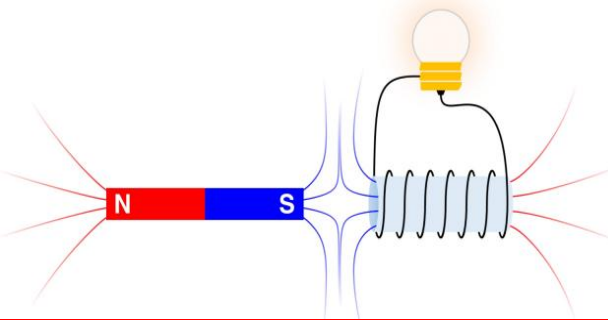
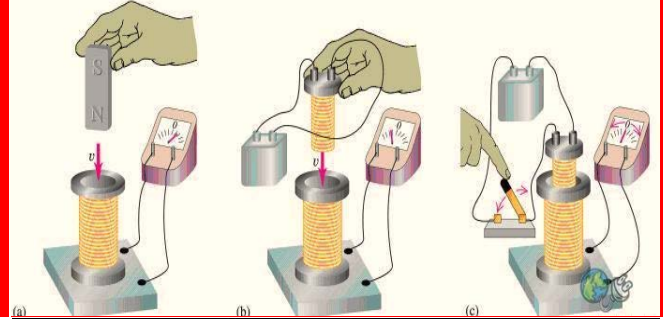
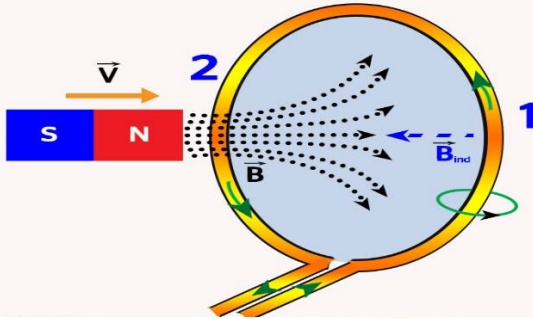
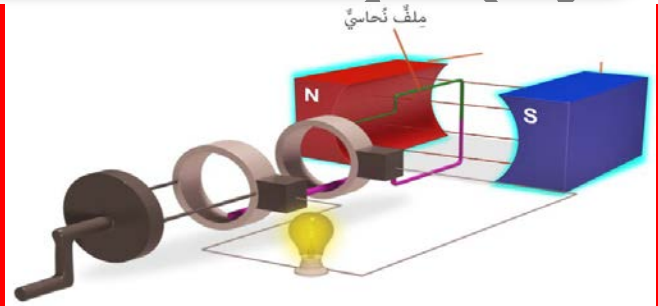
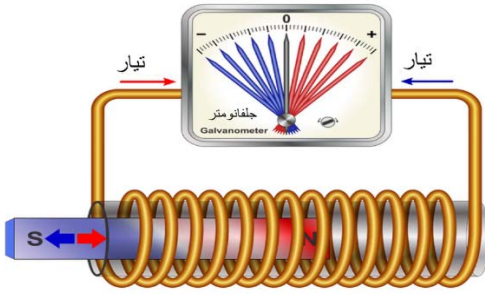


الفصل الدراسي الثالث .. الوحدة التاسعة

الحث الكهرومغناطيسي



إعداد: الأستاذ

فكري محمود محمد

العام الدراسي 2019/2020

فيزياء 12 متقدم

9.1 تجارب فاراداي

مقدمة: العالم (هنري - فاراداي) .. توصل إلى أنه إذا قطع موصلاً مجالاً مغناطيسياً قطعاً متغيراً فإنه يتولد بين طرفيه فرق جهد مستحث ينتج عنه تياراً مستحثاً. [استطاع تحويل الطاقة المغناطيسية إلى طاقة كهربائية].

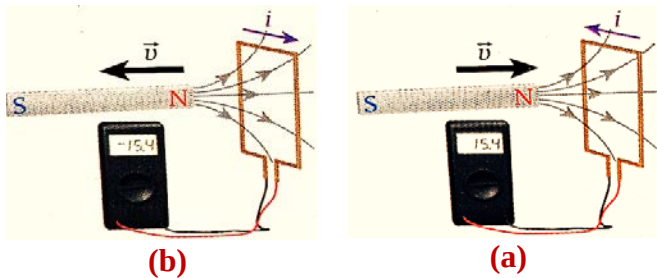
ظاهرة الحث: هي عملية توليد فرق جهد مستحث ينتج عنه تيار كهربائي مستحث في دائرة كهربائية مغلقة عند قطعه مجالاً مغناطيسياً قطعاً متغيراً أو بسبب الحركة النسبية له في المجال المغناطيسي.

طرق الحصول على تيار مستحث في موصل

① الحركة النسبية للموصل أو المغناطيسي بحيث يتم قطع خطوط المجال المغناطيسي قطع متغير.

② تغير التدفق المغناطيسي (زيادة أو نقصان) الذي يخترق الملف.

★ **التدفق المغناطيسي Φ_B :** هو عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تمر عمودياً خلال وحدة المساحات.

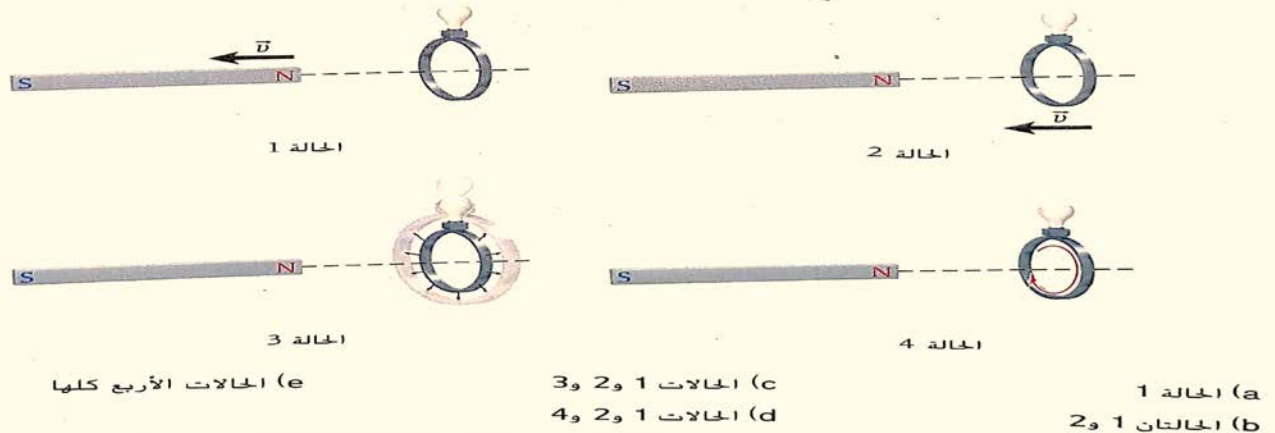


ملاحظة هامة

اتجاه التيار المستحث المتولد في الملف يتوقف على معدل التدفق المغناطيسي الذي يخترق الملف حيث يتغير اتجاه التيار بزيادة التدفق المغناطيسي في (الشكل a) أو بنقصان التدفق المغناطيسي في (الشكل b)

مراجعة المفاهيم 9.1

تبين الأشكال الأربعة قضيباً مغناطيسياً ومصباحاً ضوئياً منخفض الجهد متصلاً بطرفي حلقة توصيل. مستوى الحلقة عمودي على الخط المتقطع. في الحالة 1، تكون الحلقة ثابتة وتحرك المغناطيس مبتعداً عنها. في الحالة 2، يكون المغناطيس ثابتاً وتحرك الحلقة في اتجاهه. في الحالة 3، يكون كل من المغناطيس والحلقة ثابتين. ولكن تزداد مساحة الحلقة. في الحالة 4، يكون المغناطيس ثابتاً وتدور الحلقة حول مركزها. في أي حالة من هذه الحالات سيضيء المصباح؟



الحل: 1- الحالة (1) : يقل معدل التدفق المغناطيسي مما يولد تيار ويضيء المصباح.

2- الحالة (2) : يزداد معدل التدفق المغناطيسي مما يولد تيار ويضيء المصباح.

3- الحالة (3) : يزداد معدل التدفق المغناطيسي مما يولد تيار ويضيء المصباح.

4- الحالة (4) : ثبات معدل التدفق المغناطيسي وهذا لا يولد تيار فلا يضيء المصباح.

9.2 قانون فاراداي للحث الكهرومغناطيسي

★ **ينص على :** يستحث فرق الجهد عندما يتغير عدد خطوط المجال المغناطيسي المارة عبر الحلقة بمرور الزمن.

👉 **ملحوظة :** توليد فرق جهد مستحث يعني أن المجال المغناطيسي المتغير ينتج مجالاً كهربياً حول الحلقة حيث يوجد طريقتان لإنتاج مجال كهربى

① **من الشحنات الكهربائية :** ستكون القوة الناتجة المؤثرة في الشحنة قوة محافظة ولا تبدل شغلاً.

② **من المجال المغناطيسي المتغير :** ستكون القوة الناتجة قوى كهربائية غير محافظة وبالتالي يتم بذل شغل.

مقدار الشغل المبذول يحسب من العلاقة : $W = q \cdot \Delta V$

التدفق المغناطيسي : هو التكامل السطحي للمجال المغناطيسي المار عبر عنصر مساحة تفاضلي.

$$\Phi_B = \iint \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

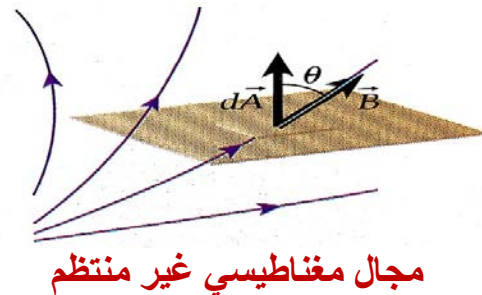
حيث يشير متجه المساحة التفاضلي $d\vec{A}$ دائماً إلى خارج الحجم المغلق ويكون متعامداً على السطح في كل مكان ويكون ناتج تكامل التدفق المغناطيسي عبر سطح مغلق = صفر. $\oiint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$ وذلك بسبب .. (عدم وجود شحنات مغناطيسية حرة أو أقطاب مغناطيسية أحادية)

ويطلق على هذه النتيجة **قانون جاوس للمجالات المغناطيسية** (خطوط المجال المغناطيسي ليست لها بداية أو نهاية لكنها تشكل حلقة مغلقة مستمرة)

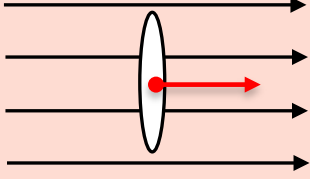
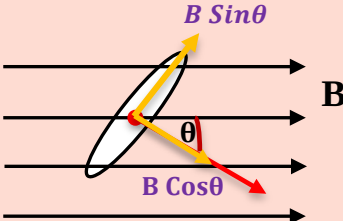
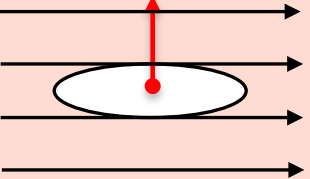
$$\Phi_B = BA \cdot \cos\theta$$

★ **حساب التدفق المغناطيسي :**

θ : هي الزاوية المحصورة بين خطوط المجال المغناطيسي والعمودي على مستوى الحلقة أو الملف



حالات المجال المغناطيسي بالنسبة للعمودي على مستوى الملف (الحلقة)

مستوى الملف عمودي على المجال	مستوى الملف يميل على المجال	مستوى الملف موازي للمجال
		
$\theta = 0^\circ, 180^\circ$ $\cos \theta = 1$	$0 < \theta < 90^\circ$	$\theta = 90^\circ$ $\cos 90 = 0$
$\Phi_B = BA$	$\Phi_B = BA \cdot \cos \theta$	$\Phi_B = 0$

العوامل التي يتوقف عليها مقدار فرق الجهد المستحث (ΔV_{ind}) المتولد في ملف

1 المعدل الزمني الذي يقطع به الملف خطوط الفيض المغناطيسي : فإذا فرضنا أن $d\Phi_B$ التغير في

خطوط التدفق المغناطيسي المقطوعة في فترة زمنية قدرها dt فإن : $\Delta V_{ind} \propto \frac{d\Phi_B}{dt}$

وهذا المعدل الزمني يتوقف على :
- شدة المجال المغناطيسي
- سرعة حركة المغناطيس
- عدد لفات الملف .

2 عدد لفات الملف الذي يقطع خطوط الفيض : يلاحظ أن $\Delta V_{ind} \propto N$. . .

$$\Delta V_{ind} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} \quad \text{مما سبق ينتج أن :}$$

ملحوظة : الإشارة السالبة تدل على أن اتجاه فرق الجهد المستحث وبالتالي اتجاه التيار المستحث يكون بحيث يقاوم أو يعاكس التغير المسبب له . وتعرف العلاقة السابقة بقانون فاراداي .

☆ حساب مقدار فرق الجهد المستحث المتولد في حلقة دائرية موصلة داخل مجال مغناطيسي

$$\Delta V_{ind} = - \frac{d\Phi_B}{dt} = \frac{d}{dt} (AB \cos \theta)$$

☆ حالات خاصة لفرق الجهد المستحث أو القوة الدافعة الكهربائية المستحثة

1 تغيير المجال المغناطيسي بمرور الزمن مع بقاء المساحة والزاوية ثابتان

$$\Delta V_{ind} = -N A \cos \theta \frac{dB}{dt} \quad (A, \theta) \text{ Constant}$$

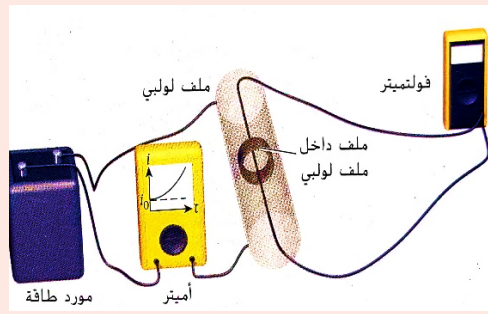
2 تغيير مساحة الحلقة المعرضة للمجال المغناطيسي مع بقاء المجال والزاوية ثابتان

$$\Delta V_{ind} = -N B \cos \theta \frac{dA}{dt} \quad (B, \theta) \text{ Constant}$$

3 تغيير الزاوية كدالة زمن مع بقاء المساحة والمجال ثابتان $\omega = d\theta/dt$

$$\Delta V_{ind} = -NAB \omega \sin \theta \quad (A, B) \text{ Constant}$$

مثال 9.1 : فرق الجهد المستحث بواسطة مجال مغناطيسي متغير



يتدفق تيار يبلغ 600mA في ملف لولبي نموذجي فينتج عنه مجالاً مغناطيسياً يبلغ 0.025T داخل الملف اللولبي ثم يزداد التيار مع مرور الزمن وفق $i(t) = i_0[1 + 2.4s^{-2} t^2]$ **المسألة :** إذا وجد ملف دائري نصف قطره 3.4cm وعدد لفاته 200 لفة داخل الملف اللولبي بحيث يكون متجهه العمودي موازياً للمجال المغناطيسي فأوجد فرق الجهد المستحث في الملف عندما يكون $t = 2 \text{ sec}$.

الحل: التغير في شدة التيار Δi يصاحبه تغيراً في المجال المغناطيسي ΔB

$$B = \mu_0 n i$$

لأن

$$\Delta B \propto \Delta i$$

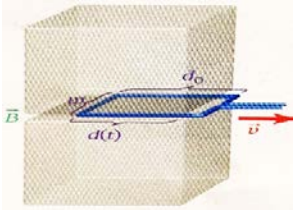
$$B(t) = B_0[1 + 2.4s^{-2} t^2]$$

$$B(t) = B_0 + 2.4B_0 t^2$$

$$\frac{dB}{dt} = 2(2.4B_0 t) = 4.8B_0 t$$

$$\Delta V_{ind} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -NA \frac{dB}{dt}$$

$$\Delta V_{ind} = -N \cdot \pi r^2 \times [4.8B_0 t] = -200 \times \pi (3.4 \times 10^{-2})^2 \times 4.8 \times 0.025 \times 2 = -0.17 \text{ v}$$



① يتم سحب حلقة سلكية مستطيلة عرضها $w=3.1\text{cm}$ وعمقها $d=4.8\text{cm}$ من الفجوة بين مغناطيسين دائمين كما يوجد مجال مغناطيسي مقداره 0.073T في كل مكان في الفجوة إذا تمت إزالة الحلقة بسرعة ثابتة تبلغ 1.6cm/s فأوجد الجهد المستحث في الحلقة كدالة زمن؟

الحل: حيث أن المساحة $A = \text{الطول} \times \text{العرض} = d \times w$

$$A = v \cdot t \times w$$

$$V_{ind} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -NB \frac{dA}{dt}$$

$$V_{ind} = -N \cdot B \cdot v \cdot w$$

$$V_{ind} = 1 \times 0.073 \times 1.6 \times 10^{-2} \times 3.1 \times 10^{-2} = -0.18 \text{ v}$$

الإجابة: C

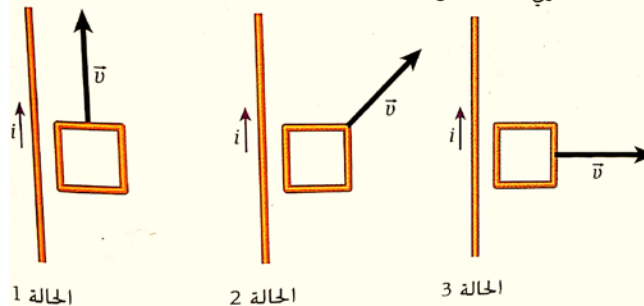
حيث أن:

الحالة (1) : لا يوجد تغير في المجال كما أن الحلقة ذات بعد ثابت

الحالة (2) ، والحالة (3) : الحلقة تبتعد والمجال يتغير.

مراجعة المفاهيم 9.3

يحمل سلك طويل تياراً i ، كما يوضح الشكل. وتتحرك حلقة مربعة الشكل في المستوى نفسه الذي يتحرك فيه السلك، كما هو موضح. في أي من الحالات ستحتوي الحلقة على تيار مستحث؟



(a) الحالتان 1 و 2

(b) الحالتان 1 و 3

(c) الحالتان 2 و 3

(d) لن تحتوي أي من الحلقات على تيار مستحث.

(e) ستحتوي الحلقات كلها على تيار مستحث.

② ملف عدد لفاته 500 ومساحة مقطعها 0.25m^2 إذا كانت شدة المجال المغناطيسي تتغير من 0.1T إلى 0.4T في زمن قدره 0.06sec احسب فرق الجهد المستحث المتولد في الملف.

الحل:

$$V_{ind} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -NA \frac{dB}{dt}$$

$$V_{ind} = -NA \frac{B_2 - B_1}{dt} = -\frac{500 \times 0.25 \times (0.4 - 0.1)}{0.06} = -625\text{v}$$

③ لوحظ تولد فرق جهد مستحث قدره $5.5 \times 10^{-3}\text{V}$ بين طرفي عقرب الثواني في ساعة إحدى الميادين نتيجة لتعرضه لمجال مغناطيسي عمودي عليه فإذا علمت أن التغير في المساحة القاطعة لخطوط المجال نتيجة دوران عقرب الثواني دورة كاملة هو $\frac{11}{14}\text{m}^2$ احسب شدة المجال المغناطيسي المؤثر.

الحل:

$$V_{ind} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{B \cdot dA}{dt}$$

$$B = \frac{V_{ind} \cdot dt}{dA} = \frac{5.5 \times 10^{-3} \times 60}{11/14} = 0.42\text{T}$$

④ قرص معدني قطره 30cm يدور حول محوره بمعدل $60 \frac{\text{دورة}}{\text{sec}}$ بحيث كان مستواه عمودي على مجال مغناطيسي شدته 0.49T فاحسب فرق الجهد المستحث الناشئ بين محيط القرص ومركزه

الحل:

$$V_{ind} = -\frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{B \cdot dA}{dt}$$

$$V_{ind} = -\frac{NAB}{dt} = -\frac{1 \times \pi \times (0.15)^2 \times 0.49}{1/60} = -2.078\text{v}$$

⑤ ملف مكون من 50 لفة ومساحة مقطعه $3 \times 10^{-3}\text{m}^2$ ومقاومته الكهربية 5Ω وضع الملف في مجال مغناطيسي بحيث كان اتجاه المجال عمودياً على مستوى الملف فإذا تغيرت شدة المجال من $+0.2\text{T}$ إلى -0.15T خلال 0.2sec فاحسب متوسط شدة التيار المستحث المتولد في الملف.

الحل:

$$V_{ind} = -N \frac{d\Phi_B}{dt}$$

$$V_{ind} = -N \cdot A \cdot \cos\theta \frac{B_2 - B_1}{dt} = -50 \times 3 \times 10^{-3} \times \cos 0 \times \frac{-0.15 - 0.2}{0.2} = +0.26\text{v}$$

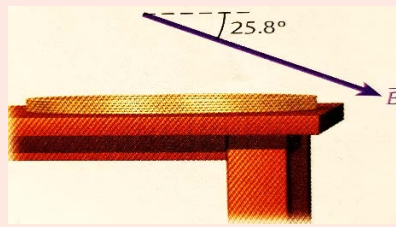
$$i = \frac{V_{ind}}{R} = \frac{0.26}{5} = 0.05\text{ A}$$

⑥ ملف مكون من 300 لفة مساحة كل منها 0.02m^2 يدور في مجال منتظم شدته B من وضع يكون فيه سطح الملف عمودياً على خطوط المجال إلى وضع يكون فيه سطح الملف موازياً لخطوط المجال خلال 0.2sec احسب شدة المجال B إذا كان فرق الجهد المستحث في الملف 2v .

الحل:

$$V_{ind} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{N \cdot B \cdot A (\cos\theta_2 - \cos\theta_1)}{dt}$$

$$B = -\frac{V_{ind} \cdot dt}{N \cdot B \cdot A (\cos\theta_2 - \cos\theta_1)} = -\frac{2 \times 0.2}{300 \times 0.02 \times (\cos 90 - \cos 0)} = 0.07\text{T}$$



9.28 يوضع ملف سلكي دائري يتكون من 20 لفة ونصف قطره 40cm في وضع مسطح على سطح منضدة أفقية كما بالشكل كما يوجد مجال مغناطيسي منتظم يمتد فوق الطاولة بأكملها مقداره 5T وبالاتجاه الموضح على الشكل ما مقدار التدفق المغناطيسي المار عبر الملف.

الحل:

$$A = (\pi r^2) \times N = \pi(40 \times 10^{-2})^2 \times 20 = 10.05 \text{ m}^2$$

$$\Phi_B = BA \cdot \cos\theta = 5 \times 10.05 \times \cos(90 - 25.8) = 21.9 \text{ web}$$

9.29 عندما يتم إيقاف تشغيل مغناطيس في التصوير فجأة . يقال أن المغناطيس تم إخماده يمكن حدوث الإخماد في أقل من 20sec بفرض أنه تم إخماد مغناطيس ذي مجال مغناطيسي أولي قدره 1.2T في زمن قدره 20s والمجال النهائي يساوي صفر بموجب هذه الشروط كم يبلغ متوسط فرق الجهد المستحث حول حلقة توصيل نصف قطرها 1cm متعامدة مع المجال؟

الحل:

$$V_{ind} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -N \cdot A \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t} = -N \cdot \pi r^2 \cdot \frac{B_2 - B_1}{dt}$$

$$V_{ind} = -1 \times \pi (1 \times 10^{-2})^2 \times \frac{0 - 1.2}{20} = 1.89 \times 10^{-5} \text{ v}$$

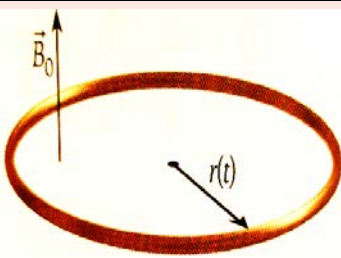
9.30 يحتوي ملف مكون من 8 لفات على حلقة مربعة طول ضلعها 0.2m ومقاومتها 3 Ω، يوضع في مجال مغناطيسي يصنع زاوية قدرها 40° مع مستوى الحلقة . يختلف المجال مع الوقت وفق المعادلة $B = 1.5t^3$ حيث يقاس t بالثانية ، B بوحدت تسلا. ما مقدار التيار المستحث في الملف عندما يكون t=2sec؟

الحل:

$$V_{ind} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -N \cdot A \cdot \cos\theta \frac{dB}{dt} = -8 \times 0.2 \times 0.2 \times \cos 50^\circ \times (3 \times 1.5t^2)$$

$$V_{ind} = -8 \times 0.2 \times 0.2 \times \cos 50^\circ \times 3 \times 1.5(2)^2 = 3.69 \text{ v}$$

$$i = \frac{V_{ind}}{R} = \frac{3.69}{3} = 1.23 \text{ A}$$



9.38 تتوسع حلقة توصيل دائرية مرنة بمعدل ثابت بمرور الزمن بحيث يُحدد نصف قطرها بواسطة $r(t) = r_0 + vt$ بواسطة $v = 0.015 \text{ m/s}$ ، $r_0 = 0.1 \text{ m}$ ، $R = 12 \Omega$ وتوضع في مجال مغناطيسي منتظم مقداره $B_0 = 0.75 \text{ T}$ عمودياً على مستوى الحلقة كما بالشكل احسب مقدار واتجاه التيار المستحث i عند t=5sec

الحل:

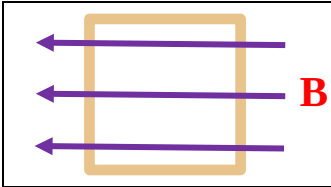
$$A = \pi r^2 = \pi(r_0 + vt)^2$$

$$\frac{dA}{dt} = 2\pi(r_0 + vt) \times v$$

$$\frac{dA}{dt} = 2\pi(0.1 + 0.015 \times 5) \times 0.015 = 0.0165 \text{ m}^2$$

$$V_{ind} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -\frac{N \cdot B \cdot dA}{dt} = -1 \times 0.75 \times 0.0165 = -0.0124 \text{ v}$$

$$i = \frac{V_{ind}}{R} = \frac{0.0124}{12} = 0.001 \text{ A}$$



9.31 حلقة معدنية مساحتها 0.1m^2 موضوعة في وضع مُسطح على الأرض ، يوجد مجال مغناطيسي منتظم يشير نحو الغرب يبلغ المقدار الأولي للمجال 0.123T ينخفض بثبات ليصل إلى 0.075T خلال فترة تبلغ 0.579s أوجد فرق الجهد المستحث في الحلقة خلال هذا الوقت

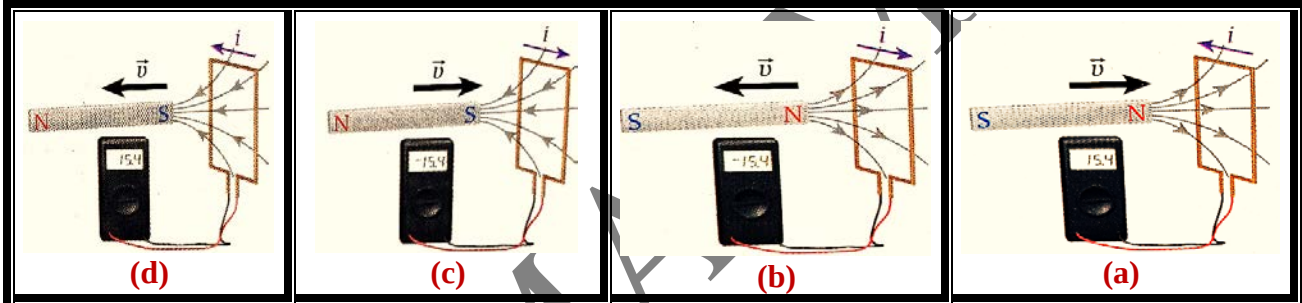
$$V_{ind} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -N \cdot A \cdot \cos\theta \frac{dB}{dt} = -N \cdot A \cdot \cos 90^\circ \frac{dB}{dt} = 0\text{V}$$

الحل:

9.3 قانون لينز

ينص على : يكون للتيار المستحث اتجاه بحيث يكون المجال المغناطيسي الناتج عن التيار المستحث مقاوماً للتغير في التدفق المغناطيسي.

توضيح قاعدة لنز : خذ ملف من سلك نحاسي معزول وملفوف على أسطوانة من مادة عازلة مع توصيل طرفيه بجلفانومتر حساس



أولاً : عند التقريب : عند تقريب القطب الشمالي للمغناطيس من أحد أوجه ملف (a) يتصل كلتا طرفيه بدائرة مغلقة تحتوي على جلفانومتر صفر تدريجه في المنتصف يحدث تغير في معدل قطع خطوط المجال التي تقطع لفات الملف (بالزيادة) ويؤدي ذلك إلى تولد V_{ind} وكذلك i_{ind} يمكن الاستدلال عليه من خلال انحراف مؤشر الجلفانومتر وتبعاً لاتجاه التيار في الملف وبتحديد قطبية الملف نجد أن وجه الملف المقابل للمغناطيس أصبح قطباً مشابهاً له (شمالي) وبالتالي يعمل على مقاومة التقريب (تنافر) أي يكون اتجاه التيار بحيث يعمل على مقاومة التغير المسبب له **كما يكتسب الملف** صفات المغناطيس نتيجة لمرور التيار المستحث فيه حيث ينشأ عنه مجال مغناطيسي يكون اتجاهه في عكس اتجاه المجال المغناطيسي الأصلي الناشئ عن المغناطيس فيعمل المجال المغناطيسي المضاد على مقاومة تزايد قطع الملف لخطوط المجال المغناطيسي الأصلي .

ثانياً : عند الإبعاد : عند إبعاد القطب الشمالي للمغناطيس عن أحد أوجه الملف يحدث تغير في معدل قطع خطوط المجال المغناطيسي التي تقطع لفات الملف (بالنقص) ويؤدي ذلك إلى تولد V_{ind} وكذلك i_{ind} يمكن الاستدلال عليه من خلال انحراف مؤشر الجلفانومتر وتبعاً لاتجاه التيار في الملف وبتحديد قطبية الملف نجد أن وجه الملف المقابل للمغناطيس أصبح قطباً مخالفاً له (جنوبي) وبالتالي يعمل على مقاومة حركة الإبعاد (قوة تجاذب) أي يكون اتجاه التيار بحيث يعمل على مقاومة التغير المسبب له **كما يكتسب الملف** صفات المغناطيس نتيجة لمرور التيار المستحث فيه حيث ينشأ عنه مجال مغناطيسي يكون اتجاهه في نفس اتجاه المجال المغناطيسي الأصلي الناشئ عن المغناطيس بحيث يعمل على تعويض النقص في قطع خطوط الفيض للفات الملف أي يعمل على مقاومة تناقص قطع خطوط الفيض الحادث للملف .

ثالثاً : إذا كرر العمل السابق بتقريب القطب الجنوبي للمغناطيس حصلنا على نفس النتائج أى يتكون عند وجه الملف القريب قطباً جنوبياً عند لحظات تقريب المغناطيس وشمالياً عند لحظات الإبعاد .

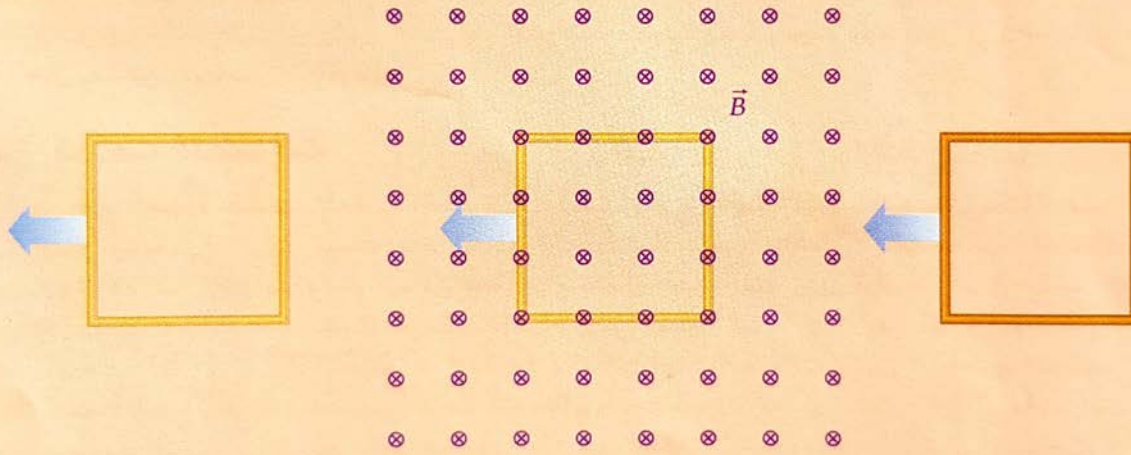
ملحوظة هامة :

١- قانون فاراداي : يحسب مقدار الـ V_{ind} .

٢- قانون لنز : يعين اتجاه الـ V_{ind} .

سؤال الاختبار الذاتي 9.2

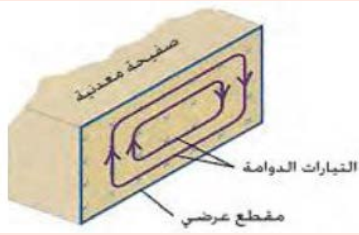
يتم تحريك حلقة سلكية مربعة توصيل مقاومتها صغيرة جداً بسرعة ثابتة من منطقة خالية من المجال المغناطيسي مروراً بمنطقة ذات مجال مغناطيسي ثابت، ثم إلى منطقة خالية من المجال المغناطيسي، كما يوضح الشكل. ماذا كان اتجاه التيار المستحث عند دخول الحلقة في المجال المغناطيسي؟ وماذا كان اتجاه التيار المستحث عند خروج الحلقة من المجال المغناطيسي؟



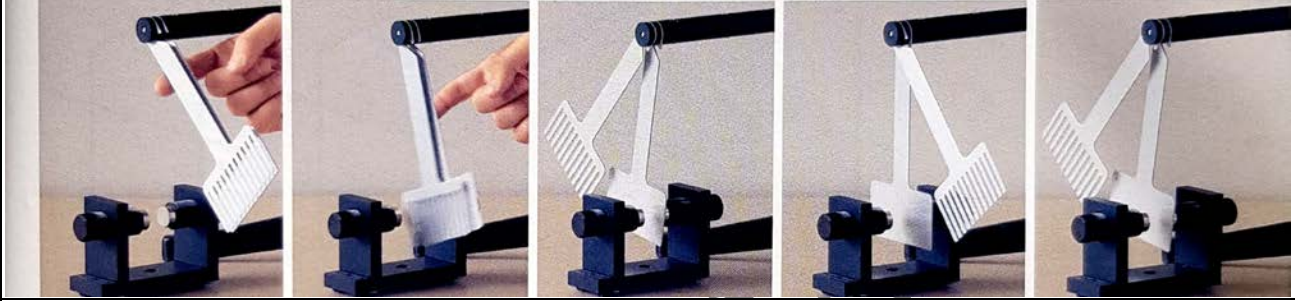
لحظة خروج الحلقة : يقل معدل تدفق الفيض المغناطيسي الذي يقطع الحلقة مما يؤدي إلى تولد تيار مستحث طردي يكون في اتجاه عقارب الساعة

لحظة دخول الحلقة : يزداد معدل تدفق الفيض المغناطيسي الذي يقطع الحلقة مما يؤدي إلى تولد تيار مستحث عكسي في اتجاه عكس عقارب الساعة

التيارات الدوامية المستحثة



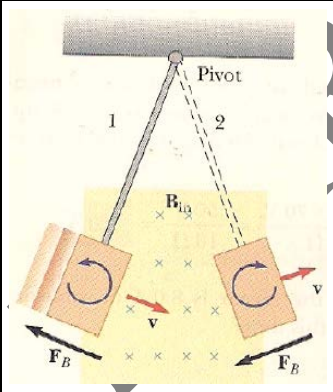
★ **تمهيد :** إذا تعرضت صفيحة معدنية لمجال مغناطيسي متغير وذلك عن طريق تحريكها في مجال مغناطيسي ثابت أو تعرضها لمجال مغناطيسي متغير فإنه يتولد في الصفيحة المعدنية تيارات كهربائية مستحثة تمر على هيئة مسارات دائرية مغلقة عمودية على اتجاه المجال المغناطيسي تسمى **بالتيارات الدوامية**.



التجربة : بندولان متماثلان يتكون كل منهما من صفيحة مصنوعة من مادة موصلة ومثبتة بطرف ساق خفيفة من المادة نفسها إحدى هاتين الصفيحتين مقطعة بشكل شرائح معزولة عن بعضها مثل أسنان المشط والأخرى كاملة (غير مقطعة) ، ومغناطيس قوي .

الخطوات : نزيج الصفيحتين بازاحة متساوية إلى أحد جانبي موضع اتزانهما ثم نتركهما يهتزان في أن واحد بحرية بين قطبي المغناطيسي.

المشاهدة : نجد أن البندول الذي يتألف من الصفيحة الكاملة (غير المقطعة) يتوقف عن الحركة في أثناء مروره خلال الفجوة بين القطبين المغناطيسيين في حين أن الصفيحة المقطعة تستمر في الاهتزاز بين القطبين المغناطيسيين ذهاباً وإياباً ولكن بتباطؤ قليل.



الاستنتاج : تتولد تيارات دوامية كبيرة المقدار في الصفيحة غير المقطعة عند اللحظات التالية

- لحظة دخولها المجال المغناطيسي بين القطبين وتكون باتجاه معين **نتيجة** حدوث تزايد في معدل قطع خطوط الفيض الذي تخترقها (طبقاً لقانون فاراداي)
- لحظة خروجها من المجال بسبب تناقص معدل قطع خطوط الفيض المغناطيسي وتكون باتجاه معاكس فتتولد في الحاليتين قوة مغناطيسية تعرقل حركة الصفيحة (طبقاً لقانون لنز)

ونتيجة لذلك تتلاشي سعة اهتزاز الصفيحة وتتوقف عن الاهتزاز في حين أن التيارات الدوامية المتولدة في الصفيحة المقطعة بشكل شرائح تكون صغيرة المقدار جداً فيكون تأثيرها في اهتزاز الصفيحة ضعيفاً جداً.

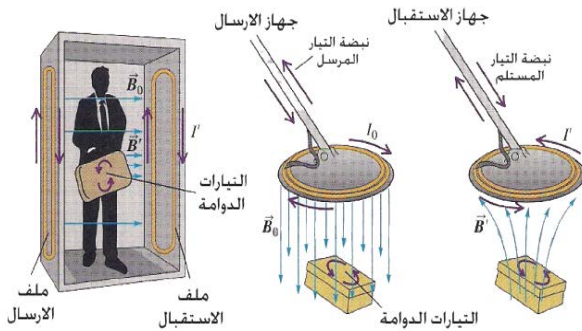
★ التطبيقات على التيارات الدوامية

- ١- مكابح بعض القطارات الحديثة لإيقافها
- ٢- أفران صهر الفلزات الثمينة كالذهب والفضة
- ٣- كاشف المعادن في المطارات والمنافذ الحدودية لكشف المعادن مع المسافرين
- ٤- التحكم في إشارات المرور
- ٥- في صناعة الطباخ الحثي
- ٦- الكشف عن الكنوز الدفينة تحت سطح الأرض

① كاشف المعادن:

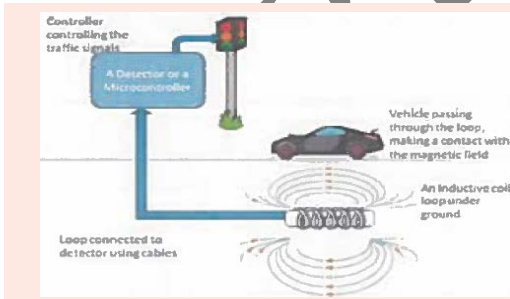
تركيبه : ملفين سلكيين أحدهما يستعمل كمرسل والآخر كمستقبل

شرح عمله : يمرر تيار متردد على طرفي ملف الإرسال فيتولد في الملف فيض مغناطيسي متغيراً وهذا التغير في الفيض يولد تيار مستحثاً في ملف الاستقبال [يقاس مقدار هذا التيار ابتداءً في الحالة التي لا تتوافر عندها أية مادة بين الملفين عدا الهواء]



وعند مرور أي جسم معدني موصل (لا يشترط أن يكون بشكل صفيحة) بين المرسل والمستقبل ستتولد تيارات دوامية في ذلك الجسم المعدني والتي تعمل على عرقلة التغير الحادث في الفيض المغناطيسي المتولد في ملف الإستقبال وهذا يتسبب في تقليل التيار الابتدائي المقاس في المستقبل في حالة وجود الهواء بين الملفين ، وبهذا التأثير يمكن الكشف عن وجود القطع المعدنية في الحقائب اليدوية أو في ملابس الشخص.

② التحكم في إشارات المرور



حيث يتم وضع حلقة سلكية مستطيلة تعمل كمف إرسال واستقبال معاً (على سطح الطريق) .

- يتم امرار نبضة من التيار عبر الحلقة فتستحث تيارات دوامية عند مرور أي سيارة على الطريق (فلز) بالقرب من الحلقة ويقاس ذلك التيار المار بالحلقة بعد اكتمال النبضة .

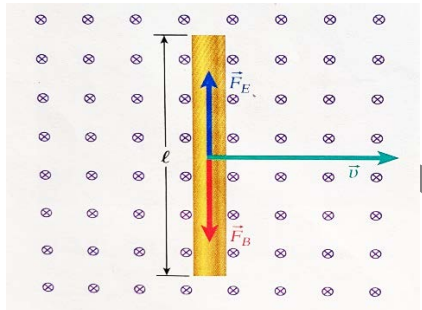
- عند مرور السيارة فوق سطح الطريق وعلى الحلقة تتسبب التيارات الدوامية المستحثة في فلز السيارة وبالتالي يتم قياس تيار مستحث قيمته مختلفة عن التيار الأصلي مما يحفز إشارة المرور للتحول إلى اللون الأخضر بعد فترة زمنية معينة.

معلومات إثرائية :



الطبخ الحثي: حيث يوضع تحت السطح العلوي للطبخ ملف سلكي يمر فيه تيار متردد فيولد ذلك التيار مجالاً مغناطيسياً متغيراً ينتشر نحو الخارج وعندما يقطع هذا المجال المتغير قاعدة الإناء إذا كان مصنوعاً من المعدن تتولد تيارات دوامية في قاعدة الإناء المعدني وبذلك تسخن قاعدة الإناء فيغلي الماء الذي يحتويه .. أما إذا كان الوعاء مصنوعاً من الزجاج فلا تتولد تيارات دوامية في قاعدته لأن الزجاج مادة عازلة وبالتالي لا يسخن الماء الذي يحويه بداخله المدهش .. أنك لو لمست السطح العلوي للطبخ الحثي لا تشعر بسخونة السطح

٩٠ فرق الجهد المستحث V_{ind} المؤثر في سلك مستقيم متحرك في مجال مغناطيسي



بفرض أن لدينا سلك طوله (L) ويتحرك بسرعة متجهة ثابتة ($\vec{v}$) عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم ($\vec{B}$) فإن السلك تتولد فيه قوة مغناطيسية $\vec{F}_B$ حسب قاعدة كف اليد اليمنى والتي تعمل على تحريك الإلكترونات الحرة من أحد طرفي الموصل إلى الطرف الآخر فيصبح الطرف الأول موجب الجهد لإنتقال الإلكترونات منه بينما يصبح الطرف الآخر سالب الجهد لإنتقال الإلكترونات إليه مما يؤدي إلى تولد مجال كهربائي ينتج عنه قوة كهربائية $\vec{F}_E$ معاكسة لاتجاه القوة المغناطيسية (والتي تعمل على تحريك الإلكترونات إلى الطرف الموجب) وباستمرار حركة السلك في المجال يزداد المجال الكهربائي وبالتالي القوة الكهربائية إلى أن تصبح مساوية للقوة المغناطيسية بحيث تكون محصلة القوتان الكهربائية والمغناطيسية = 0

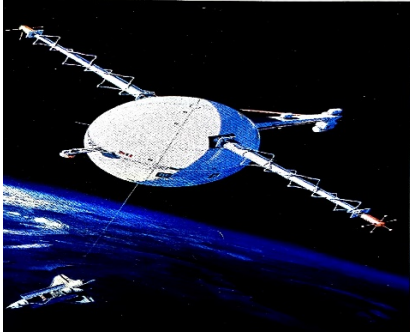
ونتيجة لذلك يتولد بين طرفي السلك قوة دافعة كهربائية مستحثة ينتج عنها تيار كهربائي مستحث إذا كان السلك ضمن دائرة كهربائية مغلقة.

$$W_{\text{الشغل}} = F_B \cdot l \cdot \cos 0$$

$$W_{\text{الشغل}} = (q \cdot v \cdot B \cdot \sin \theta) \cdot l$$

$$V_{ind} = \frac{W}{q} = \frac{q \cdot v \cdot B \cdot l \cdot \sin \theta}{q} = B \cdot l \cdot v \cdot \sin \theta$$

★ قمر صناعي مربوط بمكوك فضائي

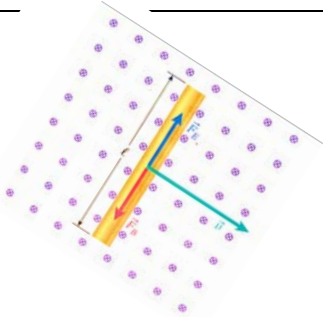


مثال: أطلق مكوك فضائي قمراً صناعياً بسلك طوله 20Km ثم تم توجيه السلك عمودياً على المجال المغناطيسي للأرض $B = 5.1 \times 10^{-5} T$ وكان المكوك يسافر بسرعة 7.6Km/s كم يبلغ فرق الجهد المستحث بين طرفي السلك؟

الحل:

$$V_{ind} = B \cdot l \cdot v \cdot \sin \theta$$

$$V_{ind} = 5.1 \times 10^{-5} \times 20 \times 10^3 \times 7.6 \times 10^3 = 7752 \text{ V}$$



① سلك مستقيم طوله 0.2 m وموضوع داخل مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.45 T ، عند تحرك السلك بسرعة ثابتة كما في الشكل المقابل يتولد بين طرفيه فرق جهد مستحث مقداره 1.35 v

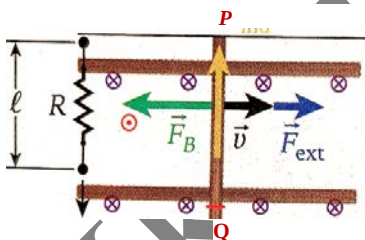
- حدد اتجاه التيار في السلك
- احسب سرعته السلك

الحل:

$$V_{ind} = B \cdot l \cdot v$$

$$1.35 = 0.45 \times 0.2 \times v$$

$$v = 15 \text{ m/s}$$



② في الشكل السلك (PQ) طوله 0.5m و يتحرك بسرعة ثابتة نحو اليمين مقدارها 4 m/s فإذا كان مقدار المجال المغناطيسي 0.15 T وكانت المقاومة 10Ω فأجب عما يلي :

- احسب شدة التيار المستحث في الدائرة و حدد اتجاهه
- احسب مقدار القوة الدممة لتحريك السلك PQ بسرعة ثابتة

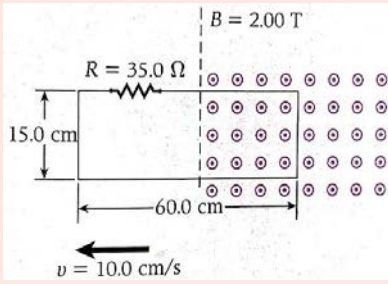
الحل:

$$V_{ind} = B \cdot l \cdot v$$

$$V_{ind} = 0.15 \times 0.5 \times 4 = 0.3 \text{ V}$$

$$i_{ind} = \frac{V_{ind}}{R} = \frac{0.3}{10} = 0.03 \text{ A}$$

$$F_B = B \cdot i \cdot L \sin \theta = 0.15 \times 0.03 \times 0.5 = 2.25 \times 10^{-3} \text{ N}$$



- 3 حلقة مستطيلة طولها 60cm وعرضها 15cm ومقاومتها 35Ω وضعت في مستوى الصفحة (xy) بحيث أن نصفها يتأثر بمجال مغناطيسي منتظم مقداره 2T ، تحركت الحلقة بسرعة ثابتة مقدارها 10cm/s نحو اليسار
- احسب شدة التيار المار في الحلقة
 - احسب القدرة المستهلكة في المقاومة R

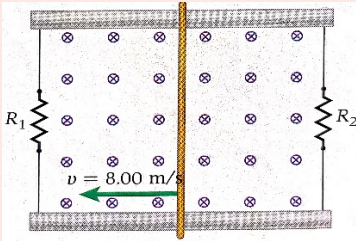
الحل:

$$V_{ind} = B \cdot l \cdot v$$

$$V_{ind} = 2 \times 0.15 \times 0.1 = 0.03 \text{ v}$$

$$i_{ind} = \frac{V_{ind}}{R} = \frac{0.03}{35} = 8.57 \times 10^{-4} \text{ A}$$

$$P = i \cdot V_{ind} = 8.57 \times 10^{-4} \times 0.03 = 2.57 \times 10^{-5} \text{ Watt}$$



- 4 سلك مستقيم ab طوله 50 cm ينزلق بسرعة ثابتة 8m/s كما في الشكل المقابل ، يؤثر على السلك مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.1T فإذا علمت ان:

$$(R_2 = 200\Omega, R_1 = 100\Omega)$$

- احسب شدة التيار المار في السلك ab وحدد اتجاهه
- احسب القوة اللازمة لتحريك السلك ab بسرعة ثابتة 8m/s

الحل:

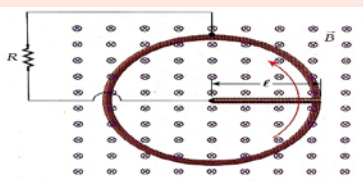
$$V_{ind} = B \cdot l \cdot v$$

$$V_{ind} = 0.1 \times 0.5 \times 8 = 0.4 \text{ v}$$

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{100 \times 200}{100 + 200} = 66.67\Omega$$

$$i_{ind} = \frac{V_{ind}}{R_T} = \frac{0.4}{66.67} = 5.99 \times 10^{-3} \text{ A}$$

$$F_B = B \cdot i \cdot L \sin \theta = 0.1 \times 5.99 \times 10^{-3} \times 0.5 = 3 \times 10^{-4} \text{ N}$$



- 5 في الشكل المقابل سلك مستقيم طوله 1.2 m موضوع في مجال مغناطيسي 1.5T بدأ السلك بالدوران حول أحد طرفيه بسرعة مقدارها 360 rpm (دورة لكل دقيقة) احسب فرق الجهد المستحث في السلك علماً بأن $v = 2\pi fr$

الحل:

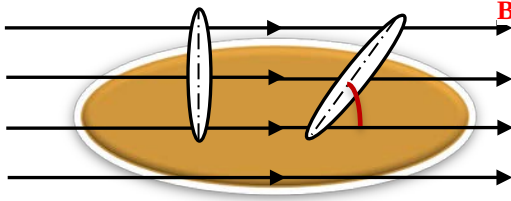
$$L_{\text{طول السلك}} = r$$

$$f = \frac{\text{عدد الدورات}}{t} = \frac{360}{60} = 6 \text{ Hz}$$

$$v = 2\pi fr$$

$$v = 2\pi \times 6r = 37.7r$$

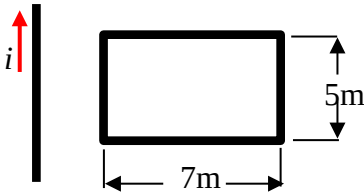
$$V_{ind} = \int_0^{1.2} v \cdot B \cdot dr = 37.7r \times 1.5dr = 569.6 \int_0^{1.2} r dr = 56.6 \frac{r^2}{2} \Big|_0^{1.2} = 40.7 \text{ v}$$



6 في الشكل المقابل اذا كانت مساحة سطح الحلقة (M) مثلي مساحة سطح الحلقة (P) احسب نسبة التدفق الذي يجتاز سطح الحلقة (M) إلى التدفق الذي يجتاز السطح (P)

$$\frac{\Phi_M}{\Phi_P} = \frac{2A_P B \cos 30}{A_P B \cos 0} = \frac{2 \cos 30}{\cos 0} = 1.732 \text{ web}$$

الحل:



7 سلك طويل مستقيم يحمل تيار 4A في اتجاه محور y الموجب ، وضعت حلقة سلكية في المستوى (xy) كما في الشكل فاذا كان الطرف الأيسر للحلقة يبعد عن السلك 1m فاحسب التدفق المغناطيسي الذي يجتاز سطح الحلقة

$$\Phi_B = \iint B \cdot dA = \iint \frac{\mu_0 i}{2\pi r} 5 \cdot dr$$

$$\Phi_B = \frac{5 \times \mu_0 \cdot i}{2\pi} \int \frac{dr}{r}$$

$$\Phi_B = \frac{5 \times \mu_0 \cdot i}{2\pi} [\ln x]_1^8 = 8.82 \times 10^{-6} \text{ web}$$

الحل:

8 حلقة مساحتها 0.4 m^2 ومقاومتها 19Ω وضعت بشكل يكون فيه مستواها عمودياً على مجال مغناطيسي يتغير مقداره وفق المعادلة التالية : $B = 0.2t^3 - 0.5t + 2$:
 - احسب مقدار شدة التيار المستحث في الملف عندما تكون $t=2\text{sec}$
 - احسب التدفق المغناطيسي عبر الحلقة عند $t=0$

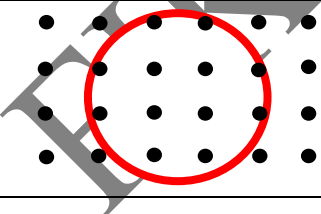
$$\Delta V_{ind} = -N A \cos \theta (0.6t^2 - 0.5)$$

$$\Delta V_{ind} = -1 \times 0.4 \times \cos 0 (2.4 - 0.5) = 0.76 \text{ v}$$

$$i_{ind} = \frac{V_{ind}}{R} = \frac{0.76}{19} = 0.04 \text{ A}$$

$$\Phi_B = B \cdot A \cos \theta = 2 \times 0.4 \cos 0 = 0.8 \text{ web}$$

الحل:



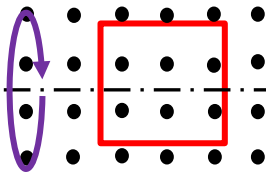
9 حلقة دائرية مرنة موضوعة في مجال مغناطيسي منتظم مقداره 5T كما في الشكل المقابل فإذا كان نصف قطر الحلقة يتغير مع الزمن وفق المعادلة $r = 0.2 + 0.05t$ حيث r بالمتر و t بالثانية ، احسب متوسط فرق الجهد المستحث في الحلقة عند اللحظة $t = 3 \text{ sec}$.

$$A = \pi \cdot r^2$$

الحل:

$$\frac{dA}{dt} = \pi (0.2 + 0.05t)^2 = 2\pi \times 0.05 (0.2 + (0.05 \times 3)) = 0.1099 \text{ m}^2$$

$$\Delta V_{ind} = -NB \cos \theta \frac{dA}{dt} = -1 \times 5 \times \cos 0 \times 0.1099 = 0.55 \text{ v}$$



10- حلقة دائرية مساحتها 0.2 m^2 موضوع عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم قدره 0.6 T ، بدأت الحلقة بالدوران بسرعة زاوية ثابتة مقدارها $\omega = 20 \text{ Hz}$ كما في الشكل المقابل إحسب فرق الجهد المستحث في الحلقة عندما تكون الزاوية بين المجال و مستوى الحلقة 60° . علماً بأن $\omega = \frac{d\theta}{dt}$

$$\Delta V_{ind} = NAB\omega \sin\theta$$

الحل:

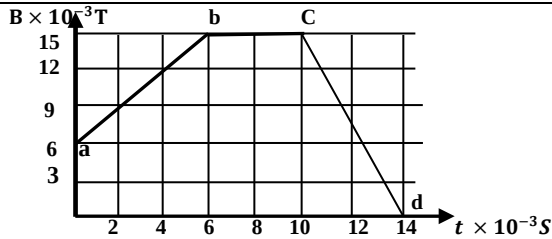
$$\Delta V_{ind} = 0.2 \times 0.6 \times 20 \times \sin 30 = 1.2 \text{ v}$$

11- وضع ملف عدد لفاته 20 لفة ومساحته 0.03 m^2 بحيث يكون مستواه عمودياً على مجال مغناطيسي يتغير مقداره بمعدل 0.05 T/s إحسب متوسط القوة الدافعة المستحثة في الملف ؟

$$V_{ind} = -N A \cos\theta \frac{dB}{dt}$$

الحل:

$$\Delta V_{ind} = -20 \times 0.03 \times \cos 0 \times 0.05 = 0.03 \text{ v}$$



12- ملف مساحته 0.04 m^2 وعدد لفاته 150 لفة ومستواه يعامد مجال مغناطيسي متغير وفق الخط البياني الموضح بالشكل المقابل إحسب متوسط فرق الجهد المستحث في كل مرحلة من مراحل التغير

$$V_{ind} = -N A \times \text{slope}$$

الحل:

$$V_{ab} = -150 \times 0.04 \times \frac{(15 - 6) \times 10^{-3}}{6 \times 10^{-2}} = -0.9 \text{ v}$$

$$V_{bc} = 0 \text{ v}$$

$$V_{cd} = -150 \times 0.04 \times \frac{(0 - 15) \times 10^{-3}}{4 \times 10^{-2}} = -2.25 \text{ v}$$

13- ملف دائري نصف قطره 4 cm مكون من 80 لفة مستواه يصنع زاوية 40° مع مجال مغناطيسي مقداره 0.18 T احسب متوسط فرق الجهد المستحث في الملف في الحالات التالية

- اذا تغير مقدار المجال من 0.18 T إلى 0.12 T خلال زمن 0.1 Sec
- اذا تلاشى المجال تدريجياً حتى انعدم خلال زمن قدره 0.15 Sec .
- اذا انعكس المجال المغناطيسي في الملف خلال زمن قدره 0.4 Sec .

$$V_{ind} = - \frac{N A \cos\theta (B_2 - B_1)}{dt}$$

الحل:

$$V_{ind} = - \frac{80 \times 5 \times 10^{-3} \times \cos 50 \times (0.12 - 0.18)}{0.1} = 0.15 \text{ v}$$

$$V_{ind} = - \frac{80 \times 5 \times 10^{-3} \times \cos 50 \times (0 - 0.18)}{0.15} = 0.31 \text{ v}$$

$$V_{ind} = - \frac{80 \times 5 \times 10^{-3} \times \cos 50 \times (-0.18 - 0.18)}{0.4} = 0.23 \text{ v}$$

14- ملف فيه 500 لفة مساحة كل منها 0.01m^2 ويدور في مجال مغناطيسي منتظم شدته B بسرعة ثابتة من وضع يكون فيه مستوى الملف عمودياً على خطوط المجال إلى وضع يكون فيه مستوى الملف موازياً لخطوط المجال خلال زمن قدره 0.2Sec إحسب مقدار المجال B إذا كان متوسط فرق الجهد المستحث في الملف يساوي 2v .

الحل:

$$V_{\text{ind}} = - \frac{N d\Phi}{dt} = - \frac{N A B (\cos\Phi_2 - \cos\Phi_1)}{dt}$$

$$2 = - \frac{500 \times 0.01 \times B \times (\cos 90 - \cos 0)}{0.2}$$

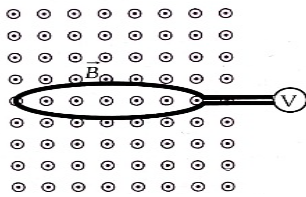
$$B = 0.08 \text{ T}$$

15- ملف لولبي عدد لفاته 200 لفة ومساحة مقطعه العرضي 60cm^2 ويمر فيه تيار كهربائي يولد داخل الملف مجال مغناطيسي يتغير بمعدل قدره 0.2T/sec ما مقدار فرق الجهد المستحث في الملف اللولبي

الحل:

$$V_{\text{ind}} = -N A \cos\theta \frac{dB}{dt}$$

$$\Delta V_{\text{ind}} = -200 \times 60 \times 10^{-4} \times \cos 0 \times 0.2 = 0.24\text{v}$$



16- حلقة دائرية موضوعة في مجال مغناطيسي مقداره 0.5T ينخفض المجال المغناطيسي حتى يصل إلى الصفر بمعدل ثابت في زمن قدره 0.25sec ويبلغ متوسط فرق الجهد المستحث في الحلقة 1.24v .
- احسب نصف قطر الحلقة

الحل:

$$V_{\text{ind}} = -N A \cos\theta \frac{dB}{dt}$$

$$1.24 = -1 \times \pi \times r^2 \times \cos 0 \times \frac{0.5}{0.25}$$

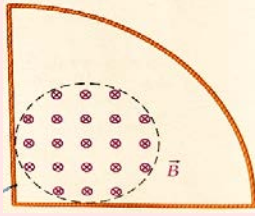
$$r = 0.44\text{m}$$



17- تم إسقاط مغناطيس داخل أنبوب ألومنيوم طويل كما في الشكل المقابل
- كيف يؤثر التيار المستحث في حركة المغناطيس (يسرعها أم يبطئها) ولماذا؟
- هل يسقط المغناطيس بعجله السقوط الحر نفسها أم بأقل منها أم يساويها.
- لو عكست أقطاب المغناطيس هل يؤثر ذلك على الإجابات السابقة؟

الحل:

- يبطئها لأن التيار الحثي المتولد في أنبوب الألومنيوم يقاوم حركة المغناطيس.
- أقل
- لا

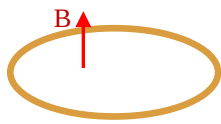


9.35 حلقة التوصيل في ربع الدائرة الموضحة في الشكل لها نصف قطر 10cm ومقاومة 0.2Ω ، شدة المجال الأولى في الدائرة المنقطة (نصف قطرها 3cm) تبلغ 2T ثم تنخفض شدة المجال إلى 1T خلال 2sec أوجد مقدار واتجاه التيار المستحث في الحلقة

الحل : $V_{ind} = -N \frac{d\Phi_B}{dt} = -N \cdot A \cdot \cos\theta \times \frac{dB}{dt} = -1 \times \pi r^2 \times \cos 0 \times \frac{B_2 - B_1}{dt}$

$$V_{ind} = -1 \times \pi \times (0.03)^2 \times \frac{1 - 2}{2} = 1.4 \times 10^{-3} V$$

$$i = \frac{V_{ind}}{R} = \frac{1.4 \times 10^{-3}}{0.2} = 7.07 \times 10^{-3} A$$



18 تشهد حلقة سلكية دائرية حقلاً مغناطيسياً (مجال متزايد) في الاتجاه إلى الأعلى كما هو موضح بالشكل المقابل . حدد اتجاه التيار المستحث في الحلقة؟

الحل : الزيادة في المجال المغناطيسي تحدث زيادة في التدفق المغناطيسي مما يولد V_{ind} ينتج عنها i_{ind} يتولد عنه B_{ind} يقاوم الزيادة في المجال المغناطيسي وهذا يدلنا على أن اتجاه التيار في اتجاه حركة عقارب الساعة (طبقاً لقاعدة اليد اليمنى)

9.4 المولدات والمحركات

- ★ **المولد الكهربائي :** هو جهاز يحول الطاقة الميكانيكية [طاقة الحركة] إلى طاقة كهربائية .
- ★ **المحرك الكهربائي :** هو جهاز يحول الطاقة الكهربائية [طاقة الحركة] إلى طاقة ميكانيكية .

أولاً : المولدات الكهربائية

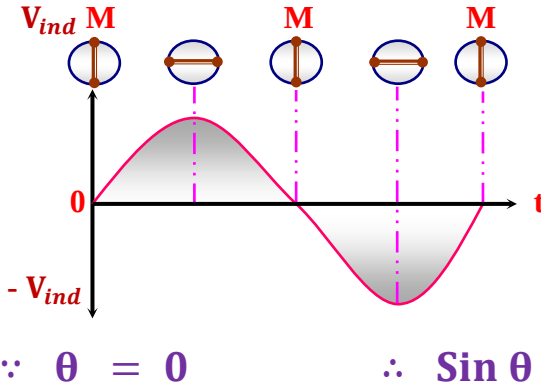


★ **فكرة عمله :** عند دوران ملف بين قطبي مغناطيس بحيث يقطع خطوط الفيض المغناطيسي له فإنه يتولد بين طرفيه V_{ind} و تيار متردد مستحث i_{ind} طبقاً لقوانين الحث الكهرومغناطيسي متغيرة الشدة والاتجاه

ملحوظة : يمكن تدوير الملف بعدة طرق منها التوربين البخاري ، محرك الاحتراق ، التوربينات التي تعمل بواسطة الرياح والماء المنساب

شرح عمل مولد التيار الكهربائي المتردد (الدينامو)

- نفرض أن الملف يدور مع اتجاه دوران عقارب الساعة ونبدأ عندما يكون مستوى الملف عمودياً على خطوط الفيض المغناطيسي [**الوضع الصفري للملف**] ثم نتتبع تغيرات الـ V_{ind} المتولدة في الملف خلال دورة كاملة .
- وبتطبيق قاعدة اليد اليمنى لتحديد اتجاه التيار المستحث في الملف عندما تتولد V_{ind} في الملف .



أولاً . . في نصف الدورة الأول للملف
عندما يكون مستوى الملف رأسياً أي عمودياً على المجال أي وضع الصفر للملف وعند لحظة بداية الدورة تكون حركة الضلعين $[M^-, M]$ موازية لخطوط الفيض المغناطيسي [أي أن أسلاك الملف في هذه الحالة لا تقطع خطوط الفيض وتكون لأن $V_{ind} = 0$

$$[V_{ind}, i_{ind} = 0]$$

ومع بداية دوران الملف تزيد θ وتزيد معها في الاتجاه الموجب $\sin \theta$ فتزداد V_{ind} بالتدريج حتى تصل لأقصى ما يمكن عندما $\theta = 90^\circ$ [أي يكون مستوى الملف موازاً للمجال] .

- **عندما يكون مستوى الملف موازياً للفيض المغناطيسي** تكون حركة الضلعين M^-, M عمودية على خطوط الفيض وفي هذه الحالة يكون معدل قطع هذين الضلعين M^-, M لخطوط الفيض بالنسبة للزمن نهاية عظمى وبالتالي تكون قيمة V_{ind} وكذلك i_{ind} المتولد في الملف نهاية عظمى $[V_{ind} = V_{max}]$

- وبتطبيق قاعدة اليد اليمنى على الضلع M بفرض أن اتجاه حركته إلى أعلى نجد أن التيار يمر في الاتجاه المبين بالشكل حيث يلاحظ أن الفرشاة d_1 تعمل عمل القطب الموجب للدينامو والفرشاة d_2 تعمل عمل القطب السالب أي أن اتجاه التيار في الدائرة الخارجية من $[d_1]$ إلى $[d_2]$ وبزيادة θ من 90° بالتدريج إلى 180° تقل قيم كل من $\sin \theta$ ، V_{ind} في نفس الاتجاه الموجب حتى تنعدم عندما $\theta = 180^\circ$ [أي عندما يكون مستوى الملف عمودياً على المجال]

ثانياً . . في نصف الدورة الثاني للملف

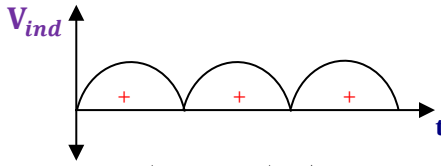
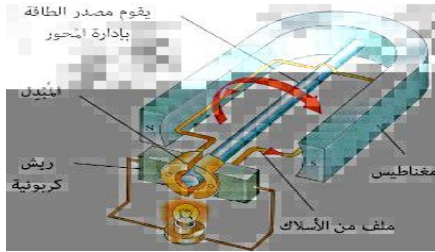
- **عند لحظة عودة الملف إلى الوضع العمودي على خطوط الفيض** أي بعد دوران الملف بزاوية 180° ينعكس وضع الجانبين $[M^-, M]$ وعندها تكون حركة الضلعين $[M^-, M]$ موازية لخطوط الفيض المغناطيسي [أسلاك الملف لا تقطع خطوط الفيض] فتتعدى كل من V_{ind} ، i_{ind} $V_{ind} = 0$
 $\therefore \sin 180 = 0$
 $\theta = 180$

- **ومع بداية دوران الملف بالتدريج حتى 270°** تزيد قيم $[\sin \theta, V_{ind}]$ بالتدريج ولكن في الاتجاه المضاد حتى تكون قيم $\sin \theta$ سالبة حتى تصل V_{ind} إلى أقصى قيمة لها في الاتجاه الجديد المضاد وتصبح $V_{ind} = -V_{max}$

- **وعند لحظة عودة الملف إلى الوضع الموازي لخطوط الفيض** تصبح حركة M إلى أسفل وبتطبيق قاعدة اليد اليمنى نلاحظ انعكاس اتجاه مرور التيار فيه وبذلك تعمل الفرشاة d_2 عمل القطب الموجب للدينامو والفرشاة d_1 عمل القطب السالب [اتجاه التيار في الدائرة الخارجية من d_2 إلى d_1] ومع زيادة دوران الملف من 270° إلى 360° تقل قيم $\sin \theta$ ، V_{ind} عندما تصبح $360^\circ = \theta$

حيث تصبح $V_{ind} = 0$ وهكذا يتضح لنا التيار الناتج من ملف الدينامو متغير الشدة والاتجاه أى أن .. التيار تتغير شدته من [0 إلى max إلى 0] كل ربع دورة ويتغير اتجاهه كل نصف دورة .

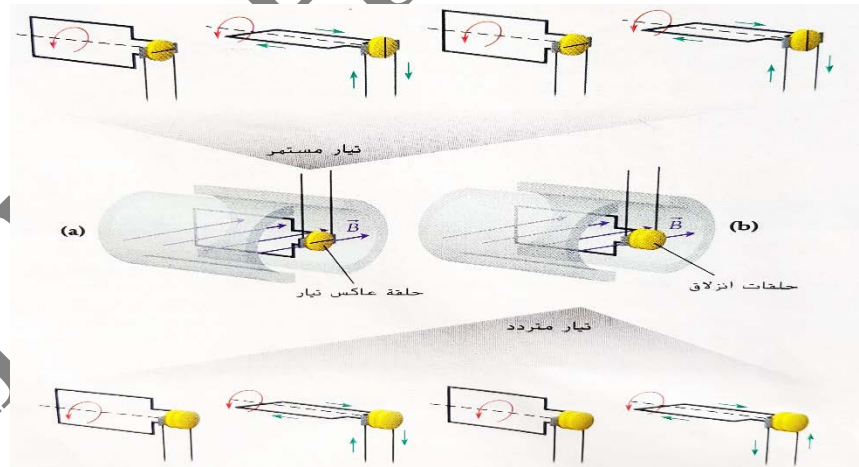
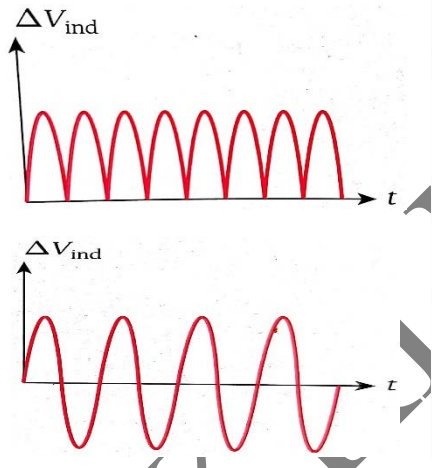
ثانياً : مولد التيار الكهربائي المستمر



يمكن الحصول على تيار كهربائي مستمر (DC) : باستبدال حلقتي الانزلاق بحلقة واحدة مقسومة إلى نصفين معزولين تسمى بالمقوم المعدني ويسمى التيار الناتج بالتيار النبضي حيث تتغير شدته كدالة جيبيية واتجاهه ثابت

التيار الكهربائي الناتج متغير الشدة تتغير شدته كدالة جيبيية ، وموحد الاتجاه

ملحوظة : يمكن استبدال الجهاز السابق للعمل كمحرك إذا تم استبدال المقاومة الخارجية بمصدر قوة دافعة كهربائية بالتالي يمكن تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية.



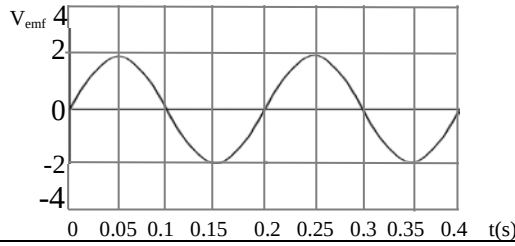
- ١- مولد كهربائي يتكون ملفه من 200 لفة ومساحة سطح كل لفة $7.96 \times 10^{-3} m^2$ ويدور الملف بتردد مقداره 5Hz في مجال مغناطيسي منتظم مقداره 0.4T والمطلوب:
 - احسب أقصى قيمة للقوة الدافعة الكهربائية المتولدة
 - احسب أقصى تيار يتدفق في مقاوم قيمته 5Ω متصل بملف المولد.

الحل:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \times 5 = 31.4 \text{ rad/sec}$$

$$V_{max} = N.A.B.\omega = 200 \times 7.96 \times 10^{-3} \times 0.4 \times 31.4 = 20v$$

$$i = \frac{V}{R} = \frac{20}{5} = 4A$$



٢- ملف مولد يحوي 60 لفة ونصف قطره 0.2m يدور بسرعة زاوية ثابتة في مجال مغناطيسي منتظم معتمداً على الرسم البياني المقابل أجب عما يلي:
- اكتب معادلة القوة الدافعة المترددة بدلالة الزمن
- احسب مقدار المجال المغناطيسي الذي يدور فيه الملف

الحل:

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0.2} = 31.4 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$V_{emf} = V_{max} \cdot \sin \omega t = 2 \times \sin 31.4t$$

$$V_{max} = N \cdot A \cdot B \cdot \omega$$

$$B = \frac{V_{max}}{N \cdot A \cdot \omega} = \frac{2}{60 \times 0.1256 \times 31.4} = 8.45 \times 10^{-3} \text{ T}$$

٣- مولد ملفه يحوي 500 لفة قوة دافعة مترددة حسب المعادلة: $V_{emf} = 120 \sin(377t)$ والمطلوب :

- احسب تردد القوة الدافعة المتولدة.
- احسب مقدار القوة الدافعة الكهربائية عند اللحظة $t = 2 \text{ sec}$.
- احسب القيمة العظمى للتدفق الذي يجتاز سطح الملف .

الحل:

$$377 = 2\pi f$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$V_{emf} = V_{max} \cdot \sin \omega t = 120 \times \sin(377 \times 2) = 2.13 \text{ v}$$

$$\Phi_{max} = A \cdot B$$

$$V_{max} = N \cdot A \cdot B \omega = N \cdot \Phi_{max} \cdot \omega$$

$$120 = 500 \times 377 \Phi_{max}$$

$$\Phi_{max} = 6.4 \times 10^{-4} \text{ web}$$

9.43 يتكون مولد بسيط من حلقة تدور داخل مجال مغناطيسي ثابت إذا كانت الحلقة تدور بتردد f فإنه يمكن تحديد التدفق المغناطيسي بواسطة $\Phi(t) = BA \cdot \cos(2\pi f t)$ إذا كان $B=1 \text{ T}$ ، $A=1 \text{ m}^2$ فكم يجب أن تكون قيمة f حتى يصبح الحد الأقصى لفرق الجهد المستحث 110 v .

الحل:

$$\Delta V = - \frac{d\Phi}{dt} = +2\pi f AB \sin(2\pi f t)$$

$$\Delta V = 2\pi f AB \times 1$$

$$110 = 2\pi f 1 \times 1$$

$$f = 17.5 \text{ Hz}$$

9.5 المجال الكهربائي المستحث

إذا افترضنا أن لدينا شحنة موجبة q تتحرك في مسار دائري نصف قطره r في مجال كهربائي ثابت E (خطوط دائرية وأن الشحنة تتحرك بطول أحد هذه الخطوط وخلال لفة واحدة من الشحنة) فإن الشغل المبذول على الشحنة يساوي

$$\oint \vec{F} \cdot d\vec{S} = \oint q\vec{E} \cdot d\vec{S} = \oint q\cos 0 \cdot E d\vec{S} = qE \oint d\vec{S} = qE(2\pi r)$$

وحيث أن الشغل المبذول بواسطة مجال ثابت $q\Delta V_{ind}$

فتحصل على نتيجة وهي : $\Delta V_{ind} = 2\pi r \cdot E$

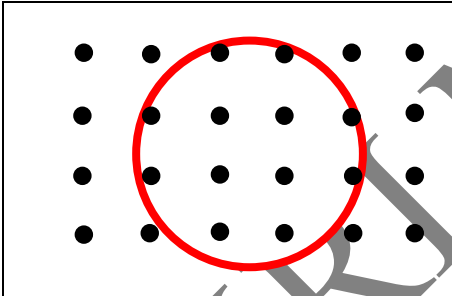
بالتالي يمكن تعميم هذه النتيجة باعتبار أن الشغل المبذول على شحنة q

$$W = \oint \vec{F} \cdot d\vec{S} = q \oint \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

ومنها نحصل على $\Delta V_{ind} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{S}$

ويمكننا التعبير عن فرق الجهد المستحث بطريقة مختلفة $\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$

وتنص هذه المعادلة على أن التدفق المغناطيسي المتغير يستحث مجالاً كهربائياً ويمكن تطبيق هذه المعادلة على أى مسار مغلق حتى ولو لم يوجد موصل في المسار .



- ١- وضعت حلقة سلكية دائرية نصف قطرها 0.2m داخل مجال مغناطيسي يعامد الصفحة كما في الشكل ويزيد مقدار المجال المغناطيسي مع الزمن وفق المعادلة $B = 3t^2$.
- احسب مقدار المجال الكهربائي المستحث داخل سلك الحلقة عند اللحظة $t = 1.2s$.
- حدد اتجاه خطوط المجال الكهربائي المستحث.

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{S} = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad \text{الحل: 1-}$$

$$\vec{E} \oint d\vec{S} = -\frac{A \cdot \cos 0 \cdot dB}{dt}$$

$$\vec{E} \oint (2\pi R) = -\pi R^2 \cdot \cos 0 \cdot (6t)$$

$$\vec{E} = -0.2 \times 1 \times (3 \times 1.2) = -0.72 \frac{V}{m}$$

- ٢- بزيادة B يزداد Φ_B الذي يخترق الحلقة مما يولد V_{ind} ينتج عنه i_{ind} وهذا التيار المتولد يولد B_{ind} (طبقاً لقانون لنز) يقاوم الزيادة في B وهذا يحدث بأن يكون اتجاه i_{ind} مع اتجاه عقارب الساعة وبالتالي يكون المجال الكهربائي E في نفس اتجاه i_{ind} المتولد في الحلقة.

9.6 حث الملف اللولبي

سبق ان درسنا المجال المغناطيسي الناتج عن مرور تيار كهربائي في ملف دائري وأن المجال

المغناطيسي يحسب من العلاقة : $B = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot i}{L}$ ، $\because n = \frac{N}{L}$ ، $B = \mu_0 \cdot n \cdot i$

والذي يعني بصورة مبسطة أن التدفق الكلي يتناسب مع التيار $\Phi_B = \iint \vec{B} \cdot d\vec{A}$

$$\Delta V_{ind} = -N \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t} = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}$$

$$-N \cdot \Delta \Phi_B = L \cdot \Delta i$$

حيث (L) مقدار ثابت ويسمى **معامل الحث** وهو يمثل (التدفق الكلي الناتج عن ملف لولبي لكل وحدة تيار) ووحدته الهنري (H)

وعند التعويض عن قيمة تدفق الفيض المغناطيسي $\Phi_B = A \cdot B \cdot \cos\theta$ واستبدال ($N = nL$) نجد أن : $N \cdot \Delta \Phi_B = (nL) \cdot (BA)$ ومن ثم يتم تحديد معامل الحث الكهربائي بواسطة :

$$L = \frac{N \cdot \Delta \Phi_B}{\Delta i} = \frac{(nl) \cdot (\mu_0 \cdot n \cdot i)(A)}{i}$$

$$L = \mu_0 \cdot n^2 \cdot l \cdot A$$

- تُعد هذه المعادلة لمعامل الحث لملف لولبي جيدة للملفات الطويلة لأن تأثيرات الحافة عند نهاية الملف اللولبي تكون صغيرة .
- يعتمد معامل الحث على الشكل الهندسي للملف : الطول – المساحة – عدد الملفات.
- يتضمن أى ملف لولبي حثاً لذلك يسمى محث عند استخدامه في الدوائر الكهربائية.

9.7 الحث الذاتي والحث المتبادل

الحث الذاتي : يستحث التيار المتغير في الملف فرق جهد في الملف نفسه . فيتغير المجال المغناطيسي الصادر عن ذلك الملف . ويسمى فرق الجهد الناتج فرق الجهد المستحث ذاتياً.

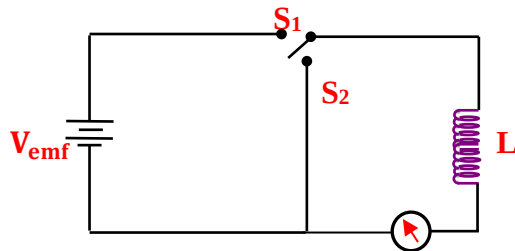
$$\Delta V_{ind} = - \frac{d(N \cdot \Phi_B)}{dt} = - \frac{d(Li)}{dt}$$

$$\Delta V_{ind} = -L \frac{di}{dt}$$

الشكل (b) : نتيجة تناقص التيار بالملف الحثي يتولد تيار مستحث ذاتي طردي وبالتالي فإن فرق الجهد المستحث ذاتيا سيقاوم الزيادة في التيار	الشكل (a) : نتيجة تزايد التيار بالملف الحثي يتولد تيار مستحث ذاتي عكسي وبالتالي فإن فرق الجهد المستحث ذاتيا سيقاوم الزيادة في التيار

★ أثر ظاهرة الحث الذاتي على سرعة نمو وإضمحلال التيار في ملف حثي

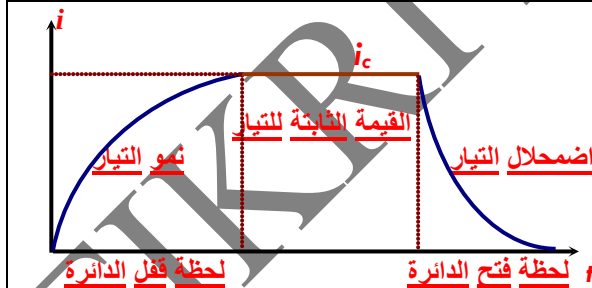
1- نكون دائرة كهربية تحتوي على بطارية ومقاومة R وملف حث L ومفتاح ذي طريقتين S_1 ، S_2 لإدماج أو فصل البطارية من دائرة الملف كالآتي :



- عند تهيئة المفتاح في الوضع S_1 توصل البطارية بالملف ويمر فيه تيار وتسمى هذه اللحظة (لحظة قفل الدائرة)
- عند تهيئة الملف في الوضع S_2 تخرج البطارية من الدائرة وتسمى هذه اللحظة (لحظة فتح الدائرة) ويضمحل التيار في الملف

تفسير نشأة القوة الدافعة الكهربائية الحثية (العكسية والطرديّة)

١- **في لحظة قفل الدائرة الكهربائية** التي تحتوي على ملف بتزايد التيار المار في سلك الملف تدريجيا فيتولد عنه مجال مغناطيسي متزايد وتترايد عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تقطع الملف فتتولد في الملف V_{ind} عكسية لتقاوم التيار (طبقا لقانون لنز) مما يؤدي إلى زيادة الفترة الزمنية التي يستغرقها التيار حتى يصل إلى نهايته العظمى أى تعمل على إبطاء نمو التيار الأصلي في الملف.



٢- **بعد فترة طويلة نسبيا من قفل الدائرة :** تصبح قيمة التيار ثابتة وبالتالي يصبح المجال المغناطيسي ثابتاً وتكون قيمة القوة الدافعة الكهربائية = صفراً

٣- **في لحظة فتح الدائرة الكهربائية** يقل التيار بسرعة حتى يصل الى الصفر وهذا يؤدي الى تلاشي المجال المغناطيسي فيتغير المعدل الزمني الذي تتقاطع فيه خطوط المجال مع اللفات فيتولد في الملف V_{ind} طردية تعمل على منع النقصان في المجال والتيار (طبقا لقانون لنز) مما يؤدي إلى زيادة الفترة الزمنية التي يستغرقها التيار حتى ينعدم أى يبطئ إضمحلال التيار. وتسمى هذه V_{ind} المتولدة في سلك الملف الذي يحمل تياراً متغيراً **الحث الذاتي**

معلومات إثرائية :

- ① - عند فتح دائرة مغناطيس كهربائي قد تحدث شرارة كهربائية عند موضع قطع الدائرة : لأنه عند قطع التيار في الدائرة يتناقص الفيض المغناطيسي الناشئ عنه بسرعة فيتولد في الدائرة بالحث الذاتي V_{ind} كبيرة جداً (طردية) فتتغلب على مقاومة الهواء عند موضع القطع فتتمر الشرارة الكهربائية .
- ② - **للتخلص من الحث الذاتي لملف سلبي يجب أن يكون الملف ملفوفاً لفاً مزدوجاً :** حتى يكون اتجاه التيار المار في أحد فرعي الملف عكس اتجاهه في الفرع الآخر فيكون مجالهما المغناطيسيان متضادين ومتساويين فيعادل كل منهما الآخر وبذلك ينعدم الحث الذاتي للملف ولا يكون له تأثير على التيار الأصلي .
- ③ - **ينمو التيار ببطء في الملف وبسرعة في السلك المستقيم :** في الملف تكون V_{ind} الذاتية العكسية كبيرة عنها في السلك المستقيم لأن V_{ind} للملف = القوة الدافعة الكهربائية للفة الواحدة $\times$ عدد اللفات وبالتالي فهي تقاوم نمو التيار فينمو ببطء أي يستغرق زمن أطول لكي يصل لقيمته العظمى . وفي السلك يكون المجال المتولد حول السلك عمودي عليه ويكاد ينعدم الحث لذلك لا توجد مقاومة تذكر بالنسبة للتيار فينمو بسرعة لكي يصل لقيمته العظمى بسرعة .

	1- ملف لولبي طوله 0.2m وعدد لفاته 10 لفة/cm ونصف قطر مقطعه العرضي 3cm ويمر فيه تيار شدته 4.2A كما في الشكل المقابل المطلوب: - احسب معامل حث الملف - احسب مقدار المجال المغناطيسي داخل الملف وحدد اتجاهه. - احسب التدفق المغناطيسي الذي يجتاز مقطع الملف - احسب التدفق المغناطيسي الكلي في الملف
--	--

الحل: $L = \mu_0 \cdot n^2 \cdot l \cdot A$

$$L = 4\pi \times 10^{-7} \times (0.01)^2 \times 3.14 \times (3 \times 10^{-2})^2 \times 0.2 = 7.1 \times 10^{-14} \text{ H}$$

$$B = \mu_0 \cdot n \cdot i = 4\pi \times 10^{-7} \times 0.01 \times 4.2 = 5.28 \times 10^{-8} \text{ T} \leftarrow$$

$$\Phi_B = A \times B \times \cos 0 = \pi (0.03)^2 \times 5.3 \times 10^{-3} = 7.5 \times 10^{-5} \text{ web}$$

$$\Phi_T = N \cdot \Phi_B = 200 \times 1.5 \times 10^{-5} = 3 \times 10^{-3} \text{ web}$$

	2- ملف لولبي هوائي النواة طوله 0.2m ومعامل حثه الذاتي $1 \times 10^{-4} \text{ H}$ وعدد لفاته 200 لفة - احسب مساحه مقطع الملف - احسب التدفق المغناطيسي الذي يجتاز سطح كل لفة من اللفات عندما يمر فيه تيار شدته 2.5A.
--	--

الحل: $L = \mu_0 \cdot n^2 \cdot l \cdot A$

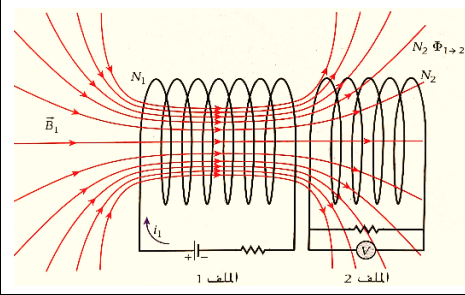
$$A = \frac{L}{\mu_0 \cdot n^2 \cdot l} = \frac{1 \times 10^{-4}}{4\pi \times 10^{-7} \times (1000)^2 \times 0.2} = 3.98 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$L \cdot i = N \cdot \Phi_B$$

$$1 \times 10^{-4} \times 2.5 = 200 \times \Phi_B$$

$$\Phi_B = 1.25 \times 10^{-6} \text{ web}$$

الحث المتبادل بين ملفين :



عند وضع ملف ابتدائي (1) يمر به تيار كهربائي داخل ملف أو بالقرب من ملف ثانوي فإن شدة التيار في الملف الابتدائي سيتولد عنه فيضاً مغناطيسياً متغيراً يؤثر في الملف الثانوي (2) فيتولد فيه V_{ind} ينتج عنها تيار مستحث وهذا التيار يولد هو الآخر فيض مغناطيسي متغير يؤثر في الملف الابتدائي أي يؤثر كلاً من الملفين على الآخر وتسمى هذه الظاهرة **بالحث المتبادل**

أنواع التيار الحثي المتولد في الملف الثانوي بالحث المتبادل

- ◀ **تيار عكسي** : يكون اتجاه تيار الملف الثانوي عكس اتجاه تيار الملف الابتدائي [الأصلي] .
- ◀ **تيار طردي** : يكون اتجاه تيار الملف الثانوي في نفس اتجاه تيار الملف الابتدائي [الأصلي]

حالات تولد تيار مستحث طردي	حالات تولد تيار مستحث عكسي
[أي لحظة تناقص الفيض المغناطيسي المقطوع]	[أي لحظة زيادة الفيض المغناطيسي المقطوع]
① - لحظة إبعاد أو إخراج الملف الابتدائي من الملف الثانوي	① - لحظة تقريب أو إدخال الملف الابتدائي في الملف الثانوي
② - لحظة نقص شدة التيار في الملف الابتدائي	② - لحظة زيادة شدة التيار في الملف الابتدائي
③ - لحظة فتح دائرة الملف الابتدائي أثناء وجوده داخل الملف الثانوي	③ - لحظة قفل دائرة الملف الابتدائي أثناء وجوده داخل الملف الثانوي

★ تفسير حالات تولد تيار مستحث عكسي :

حيث يتم في تلك اللحظات تزايد في معدل قطع خطوط الفيض للفات الملف الثانوي فيتولد بالملف الثانوي تيار مستحث يعمل طبقاً لقانون لينز على مقاومة تزايد قطع خطوط الفيض للفات الملف الثانوي وذلك عن طريق تكوين فيض معاكس للفيض الناتج عن الملف الابتدائي وهذا يتحقق عن طريق مرور تيار مستحث في اتجاه معاكس لاتجاه تيار الملف الابتدائي [أي يكون اتجاه التيار المستحث في الملف الثانوي في عكس اتجاه التيار في الملف الابتدائي] .

★ تفسير حالات تولد تيار مستحث طردي :

حيث يتم في تلك اللحظات تناقص في معدل قطع خطوط الفيض للفات الملف الثانوي فيتولد بالملف الثانوي تيار مستحث يعمل طبقاً لقانون لينز على مقاومة تناقص قطع خطوط الفيض للفات الملف الثانوي وذلك عن طريق تكوين فيض مغناطيسي في نفس اتجاه الفيض الناتج عن الملف الابتدائي وهذا يتحقق عن طريق مرور تيار مستحث في الملف الثانوي له نفس اتجاه التيار في الملف الابتدائي [أي يكون اتجاه التيار المستحث في الملف الثانوي في نفس اتجاه التيار في الملف الابتدائي] أي في الاتجاه الطردي .

⑤ حساب الحث المتبادل بين ملفين :

نفرض ان لدينا ملفين متجاورين محوريهما المركزيين في وضع محاذاة ، يحتوي الملف 1 على عدد لفات N_1 والملف 2 على عدد لفات N_2 حيث ينتج التيار المار في الملف 1 مجالاً مغناطيسياً B_1 والتدفق الكلي في الملف 2 الناتجة عن المجال المغناطيسي في الملف 1 هي $N_2 \cdot \Phi_{1 \rightarrow 2}$ يُعرف معامل الحث المتبادل $M_{1 \rightarrow 2}$ للملف 2 الناتج عن الملف 1 على أنه :

$$M_{1 \rightarrow 2} = \frac{N_2 \cdot \Phi_{1 \rightarrow 2}}{i_1}$$

وبضرب طرفي المعادلة ضرب تبادلي

$$i_1 \cdot M_{1 \rightarrow 2} = N_2 \cdot \Phi_{1 \rightarrow 2}$$

وإذا كان التيار المار في الملف 1 يتغير مع الزمن فيمكننا كتابة المعادلة بتلك الصورة

$$\frac{M_{1 \rightarrow 2} \cdot d i_1}{d t} = \frac{N_2 \cdot \Phi_{1 \rightarrow 2}}{d t}$$

يشبه الجانب الأيمن من هذه المعادلة الجانب الأيمن من قانون فاراداي للحث ومن ثم يمكننا كتابة المعادلة على تلك الصورة :

$$V_{ind,2} = - M_{1 \rightarrow 2} \frac{d i_1}{d t}$$

وإذا عكسنا أدوار الملفين ينتج التيار i_1 في الملف 2 مجالاً مغناطيسياً B_2 والتدفق الكلي في الملف 2 الناتجة عن المجال المغناطيسي في الملف 2 هي $N_1 \cdot \Phi_{2 \rightarrow 1}$ وباستخدام التحليل نفسه الذي طبقناه سابقاً لتحديد معامل الحث المتبادل للملف 2 الناتج عن الملف 1 نجد أن :

$$V_{ind,1} = - M_{2 \rightarrow 1} \frac{d i_2}{d t}$$

حيث .. [$M_{2 \rightarrow 1}$] مقدار ثابت يسمى [معامل الحث المتبادل للملف 1 الناتج عن الملف 2]

ملحوظة : الإشارة السالبة تدل على أن اتجاه V_{ind} (أو اتجاه التيار المستحث) يكون بحيث يقاوم التغير المسبب له حسب قاعدة لنز .

$$M_{1 \rightarrow 2} = M_{2 \rightarrow 1} = M$$

وحيث أن :

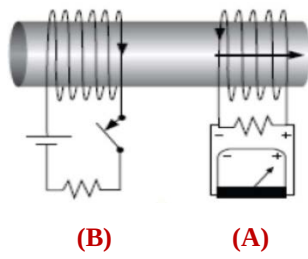
لذا يمكننا كتابة المعادلتين المستخدمتين لحساب ($V_{ind,2}$ ، $V_{ind,1}$) على النحو التالي

$$V_{ind,2} = - M \frac{d i_1}{d t}$$

$$V_{ind,1} = - M \frac{d i_2}{d t}$$

☆ وحدة معامل الحث المتبادل : الهنري (H) وهي تعادل $V \cdot s / A$

$$M = - V_{ind,1} \frac{d t}{d i_1}$$



- 3 في الشكل المقابل دائرتين (B,A) متجاورتين معامل الحث المتبادل بينهما $0.12A$ عندما يفتح مفتاح الدائرة B تتناقص شدة التيار المار فيها (3A) إلى أن تتلاشى كلياً خلال $0.3s$ ويلاحظ انحراف مؤشر الجلفانومتر بتزايد لحظي ثم عودته إلى صفر التدريج أجب عما يلي:
- احسب متوسط ΔV_{ind} التي تولدت في الدائرة (A)
 - فسر مستخدماً قانون لينز زيادة انحراف مؤشر الجلفانومتر في الدائرة A لحظياً ثم عودته إلى صفر التدريج عند فتح مفتاح الدائرة B.

الحل: $V_{ind,A} = -M \frac{di}{dt} = -0.12 \times \frac{0-3}{0.3} = 1.2v$

- عند فتح الدائرة B يتناقص الفيض الذي تولده الدائرة A فيتولد i_{ind} يقاوم النقص في التدفق بحيث يولد مجاًلاً حثياً له اتجاه مجال الملف B (من اليمين إلى اليسار) وبالتالي يكون اتجاه التيار بنفس اتجاه التيار الأصلي في الدائرة A

9.9 الطاقة وكثافة الطاقة لمجال مغناطيسي

نفرض ان لدينا ملف حثي متصلاً بمصدر قوة دافعة كهربائية يبدأ التيار الكهربائي بالتدفق عبر الملف الحثي منتجاً فرق جهد مستحثاً ذاتياً يقاوم الزيادة في التيار كما تقدر القدرة اللحظية التي يوفرها مصدر القوة الدافعة الكهربائية V_{emf} ناتج ضرب التيار والجهد الخاص بمصدر القوة الدافعة الكهربائية باستخدام المعادلة:

$$P = V_{emf} \cdot i = \left(L \frac{di}{dt} \right) \cdot i$$

$$P = \frac{U_B}{t}$$

$$U_B = \int_0^t P \cdot dt = \int_0^t L \frac{di}{dt} \cdot dt \cdot i = \int_0^t L \cdot i di = \frac{1}{2} Li^2$$

فإذا كان لدينا ملف لولبي نموذجي طوله (L) ومساحة مقطعه العرضي (A) وعدد لفاته (n) لكل وحدة طول يحمل تياراً (i) تكون الطاقة المخزنة في المجال المغناطيسي للملف اللولبي هي:

$$U_B = \frac{1}{2} Li^2 = \frac{1}{2} \mu_0 n^2 l \cdot A i^2$$

يشغل المجال المغناطيسي الحجم الذي يتضمنه الملف اللولبي والذي يمكن تحديده بواسطة lA ومن ثم تكون كثافة الطاقة u_B هي للمجال المغناطيسي للملف اللولبي حيث أن **كثافة الطاقة** u_B هي كمية الطاقة المخزنة في نظام ما لكل وحدة الحجم.

$$u_B = \frac{U_B}{V} = \frac{U_B}{A \cdot l}$$

$$L \cdot di = N \cdot d\Phi_B$$

$$L = \frac{N \cdot d\Phi_B}{di}$$

$$\Phi_B = A \cdot B \cos 0 = A \cdot B = A \cdot \mu_0 \cdot n \cdot i$$

$$N = n \cdot l$$

$$L = \frac{\mu_0 n^2 l \cdot A \cdot i}{di} = \mu_0 n^2 l \cdot A$$

$$u_B = \frac{U_B}{A \cdot l} = \frac{1}{2} \frac{L i^2}{A \cdot l} = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 \cdot n^2 l \cdot A \cdot i^2}{A \cdot l} = \frac{1}{2} \mu_0 \cdot n^2 \cdot i^2 = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0}$$

ملاحظة: يمكن تطبيق هذه المعادلة على المجالات المغناطيسية لكل الملفات

① ملف لولبي طويل نصف قطر مقطعه العرضي 8.1cm وطوله 0.54m وعدد لفاته 2×10^4 لفة/m ويحمل تيار كهربائي شدته $4.04 \times 10^{-3} A$ ما مقدار الطاقة المخزنة في المجال المغناطيسي للملف اللولبي

$$U_B = \frac{1}{2} \mu_0 n^2 l \cdot A i^2 \quad \text{الحل:}$$

$$U_B = \frac{1}{2} \times 4\pi \times 10^{-7} \times (2 \times 10^4)^2 \times \pi \times (8.1 \times 10^{-2})^2 \times 0.54 \times (4.04 \times 10^{-3})^2$$

$$U_B = 4.57 \times 10^{-5} J$$

② ملف لولبي يمر فيه تيار شدته 5A ويخزن نتيجة ذلك طاقة مغناطيسية كثافتها $2.52 J/m^3$ احسب عدد اللفات في المتر الواحد من طول الملف.

$$u_B = \frac{1}{2} \mu_0 \cdot n^2 \cdot i^2 \quad \text{الحل:}$$

$$n^2 = \frac{2 \times 2.52}{4\pi \times 10^{-7} \times 25} = 160428.2$$

$$n=400$$

③ ملف لولبي يحمل تياراً كهربائياً ، ماذا يحدث للطاقة المغناطيسية المخزنة فيه إذا تضاعفت شدة التيار المار فيه

$$U_B \propto i^2 \quad \text{الحل:}$$

إذا تضاعفت شدة التيار المار فيه تزيد بمعامل 4

④ ملف لولبي طويل طوله 3m وعدد لفاته 290 لفة/m يمر فيه تيار شدته 3A ، يخزن نتيجة ذلك طاقة مقدارها 2.8J احسب مساحة المقطع العرضي للملف.

$$U_B = \frac{1}{2} \mu_0 n^2 l \cdot A i^2 \quad \text{الحل:}$$

$$A = \frac{2 \times 2.8}{4\pi \times 10^{-7} \times (290)^2 \times 3 \times 9} = 1.96 m^2$$

5 ملف لولبي معامل حثه 0.04H ويخزن طاقة مغناطيسية 0.18J احسب شدة التيار المار في الملف

الحل:

$$U_B = \frac{1}{2} L i^2$$

$$i = \sqrt{\frac{2 \times 0.18}{0.04}} = 3 \text{ A}$$

6 يحمل ملف لولبي يتكون من 100 لفة وطوله 8cm ونصف قطره 6mm تياراً شدته 0.4A تم عكس اتجاه التيار في الملف ، ما مقدار تغير الطاقة المخزنة في المجال المغناطيسي داخل الملف نتيجة عكس التيار؟

الحل:

$$\Delta U_B = 0$$

بسبب انعكاس التيار في الملف يصبح $\Delta U_B = 0$

7 ملف لولبي قطره 1m وطوله 1.5m ومقدار مجاله المغناطيسي المنتظم 3T:
- احسب كثافة الطاقة المغناطيسية في الملف.
- احسب الطاقة المغناطيسية المخزنة في الملف.

الحل:

$$u_B = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} = \frac{9}{2\mu_0} = 3.58 \times 10^6 \text{ J/m}^3$$

$$u_B = \frac{U_B}{2\mu_0}$$

$$V = Al = \pi \times 0.5^2 \times 1.5 = 1.18 \text{ m}^3$$

$$3.58 \times 10^6 = \frac{U_B}{1.18}$$

$$U_B = 4.22 \times 10^6 \text{ T}$$

8 ملف لولبي يخزن طاقه مغناطيسية مقدارها $6 \times 10^{-3} \text{ J}$ ، فإذا كان مقدار المجال المغناطيسي داخل الملف يساوي $2 \times 10^{-4} \text{ T}$ فاحسب حجم الملف اللولبي

الحل:

$$u_B = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu_0} = \frac{U_B}{V}$$

$$\frac{2 \times 10^{-4}}{2\pi \times 10^{-7}} = \frac{6 \times 10^{-3}}{V}$$

$$V = 0.38 \text{ m}^3$$