

الحث الكهرومغناطيسي

12

متقدم

United Arab Emirates
Ministry of Education



الإمارات العربية المتحدة
وزارة التربية والتعليم

9

Electromagnetic Induction

الفيزياء

مع أسامة النحوي

الثاني عشر - متقدم

الفصل الدراسي الثالث

الاسم :

إعداد الأستاذ

أسامة إبراهيم النحوي

0554543232



العام الدراسي 2018-2019



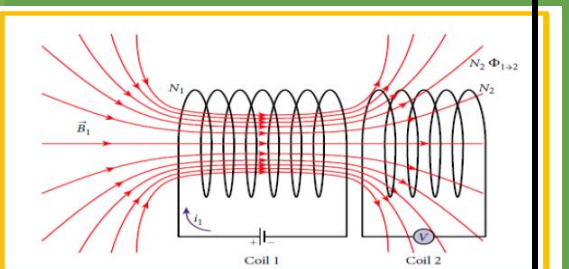
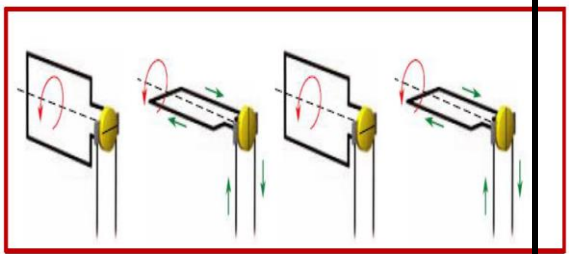
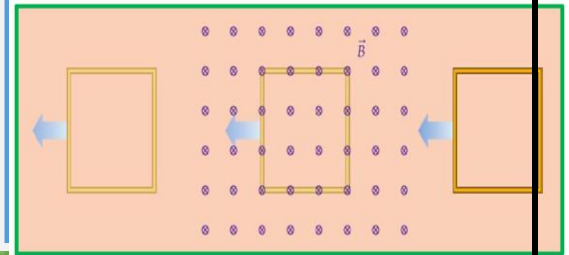
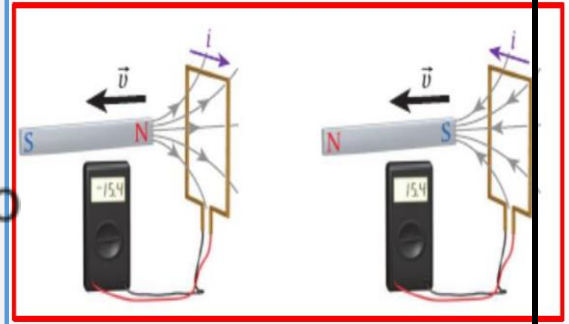
Osama Alnahawi

0554543232



الوحدة التاسعة 9

I ♥ PHYSICS



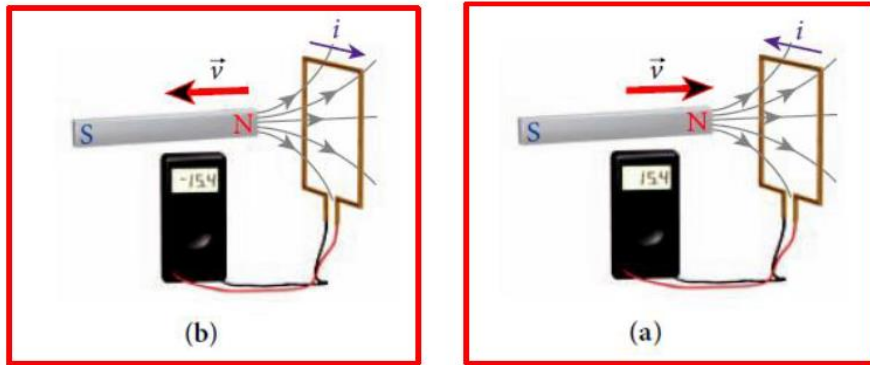
9.1 تجارب فاراداي

أثبتت تجارب (هنري-فاراداي) أن المجال المغناطيسي المتغير يُمكن أن يولد فرق جهد في موصل قوياً بما يكفي لإنتاج تيار كهربائي يسمى بالتيار المُستحث .

وتُعرف ظاهرة الحث بأنها عملية توليد تيار كهربائي في دائرة مغلقة بسبب حركتها النسبية في مجال مغناطيسي ويُطلق على التيار في هذه الحالة بـ التيار الحثي أو المُستحث .
طرق الحصول على تيار مستحث في موصل .

1. الحركة النسبية للموصل أو المغناطيس بحيث تقطع لخطوط المجال المغناطيسي
2. تغير التدفق المغناطيسي (زيادةً أو نقصان) الذي يخترق الملف .

* نلاحظ من الأشكال التالية ان اتجاه التيار المستحث المتولد في الملف يتغير بزيادة التدفق المغناطيسي (الشكل a) او نقصان التدفق المغناطيسي (الشكل b) وسيتم تفسير ذلك عند دراسة قانون لنز .



تذكير:

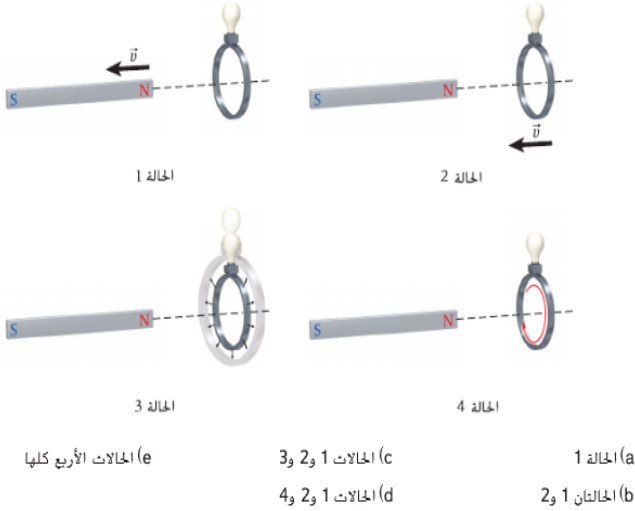
Φ_B التدفق المغناطيسي هو عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تعبر عمودياً وحدة المساحة

9.3 أي مما يلي سيستحث تياراً في حلقة سلكية في مجال مغناطيسي موحد؟

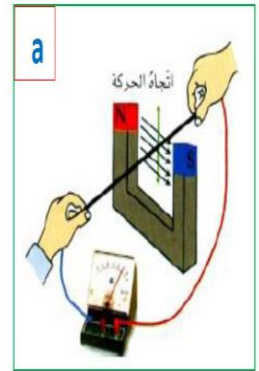
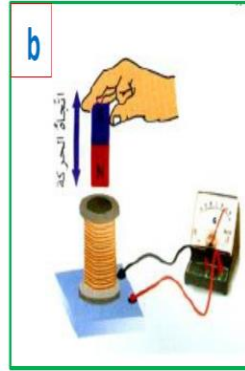
- (a) خفض مقدار المجال
- (b) تدوير الحلقة حول محور مواز للمجال
- (c) تحريك الحلقة داخل المجال
- (d) كل ما سبق
- (e) لا شيء مما سبق

مراجعة المفاهيم 9.1

تبين الأشكال الأربعة قضيباً مغناطيسياً ومصباحاً ضوئياً 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؟



* يتولد التيار المستحث إما عند تحريك الموصل عمودياً على خطوط المجال بحيث يعمل على تقطيع خطوط المجال (الشكل a) أو عندما يتحرك المغناطيس بحيث تتقطع خطوط المجال عند دخولها إلى الملف (الشكل b)



9.2 قانون فاراداي للتغير في التدفق المغناطيسي

نص قانون فاراداي :

يُستحث فرق الجهد في حلقة عندما يتغير عدد خطوط المجال المغناطيسي المارة عبر الحلقة بمرور الزمن .

وجود فرق الجهد يعني أن المجال المغناطيسي المتغير يُنتج مجالاً كهربائياً حول الحلقة .

ويوجد طريقتان لإنتاج مجال كهربائي :

1. من الشحنات الكهربائية : ستكون القوة الناتجة المؤثرة في الشحنة مُحافِظة ولا تبذل شغلاً
2. من المجال المغناطيسي المتغير : ستكون القوة الناتجة قوى كهربائية غير مُحافِظة وسيتم بذل شغل .

* إن مقدار الشغل المبذول هو فرق الجهد المُستحث مضروباً في الشحنة الاختبارية

* يُعرف التدفق المغناطيسي بأنه

التكامل السطحي للمجال المغناطيسي المار عبر عنصر مساحة تفاضلي . $\Phi_B = \iint \vec{B} \cdot d\vec{A}$



** يُشير متجه المساحة التفاضلي $d\vec{A}$ دائماً الى خارج الحجم المغلق ويكون متعامداً على السطح في كل مكان

$$\oiint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$$

وينتج عن تكامل التدفق المغناطيسي عبر سطح مغلق صفر

(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 تُشكل حلقة مستمرة .)

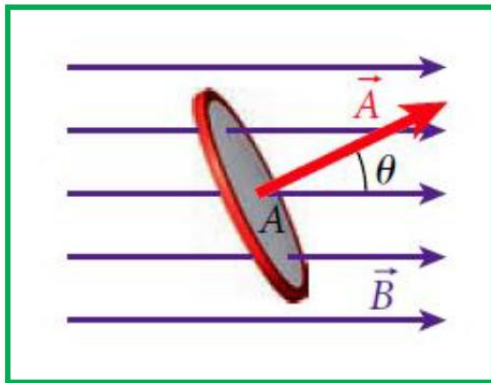
$$\Phi_B = BA \cos \theta$$

يمكن حساب التدفق المغناطيسي من العلاقة التالية

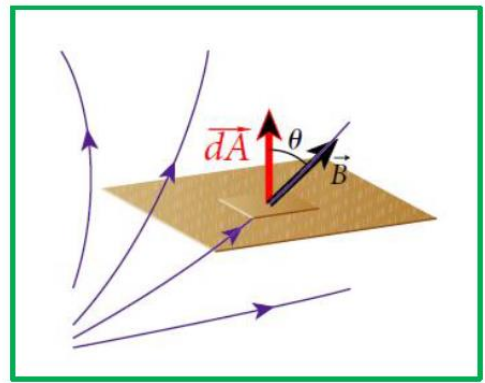
حيث (**B**) المجال المغناطيسي بوحدة تسلا T

(**A**) مساحة السطح بوحدة m^2

(**θ**) الزاوية المحصورة بين خطوط المجال المغناطيسي ومتجه السطح العمودي على مستوى الحلقة



مجال مغناطيسي منتظم



مجال مغناطيسي غير منتظم

حالات خاصة توضيحية :

1. إذا كان المجال متعامداً على مستوى الحلقة تكون $\theta=0$ وبالتالي $\Phi_B = BA$

2. إذا كان المجال موازياً على مستوى الحلقة تكون $\theta=90$ وبالتالي $\Phi_B = 0$

وحدة التدفق المغناطيسي هي $T \cdot m^2$ وتكافئ وِبر (Wb)





يمكن كتابة قانون فاراداي للحث بدلالة التدفق المغناطيسي

مقدار فرق الجهد ΔV_{ind} المستحث في حلقة توصيل يساوي معدل تغير التدفق

المغناطيسي مع الزمن عبر الحلقة .

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

الإشارة السالبة تعني أن فرق الجهد المستحث يولد تياراً مستحثاً يميل مجاله المغناطيسي الى مقاومة تغير التدفق (يشرح لاحقاً في قانون لنز).

يسمى فرق الجهد المستحث بالقوة الدافعة الكهربائية المستحثة (**emf**)

9.4 ينص قانون فاراداي للحث على أن

(a) يستحث فرق جهد في حلقة عند حدوث تغير في التدفق المغناطيسي عبر الحلقة.

(b) التيار المستحث في حلقة بواسطة مجال مغناطيسي متغير يولد مجالاً مغناطيسياً يقاوم هذا التغير في المجال المغناطيسي.

(c) يستحث المجال المغناطيسي المتغير مجالاً كهربائياً.

(d) حث جهاز هو قياس مقاومته للتغيرات في التيار المتدفق خلاله.

(e) التدفق المغناطيسي هو ناتج ضرب متوسط المجال المغناطيسي والمنطقة المتعامدة عليه التي يخترقها.

osama alnahawi

● الحث في حلقة دائرية موصلة داخل مجال مغناطيسي

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

* حالات خاصة لفرق الجهد المستحث أو القوة الدافعة الكهربائية المستحثة

1. تغيير المجال المغناطيسي بمرور الزمن مع بقاء المساحة والزاوية ثابتان

$$A \text{ and } \theta \text{ constant: } \Delta V_{ind} = - A \cos \theta \frac{dB}{dt}$$

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

$$B \text{ and } \theta \text{ constant: } \Delta V_{ind} = - B \cos \theta \frac{dA}{dt} \quad \text{ثابتان}$$

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

$$A \text{ and } B \text{ constant: } \Delta V_{ind} = \omega AB \sin \theta$$

فرق الجهد المستحث إذا كان الملف يحتوي **N** من اللفات .

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





مثال: فرق الجهد المستحث بواسطة مجال مغناطيسي متغير.

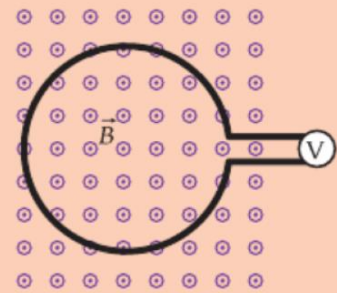
يتدفق تيار يبلغ 600mA في ملف لولبي نموذجي فينتج عنه مجالاً مغناطيسياً يبلغ 0.025T داخل الملف اللولبي ثم يزيد التيار مع مرور الزمن وفق $i(t) = i_0 [1 + (2.4 \text{ s}^{-2})t^2]$.

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 $t = 2.0\text{s}$.

osama alnahawi

سؤال الاختبار الذاتي 9.1

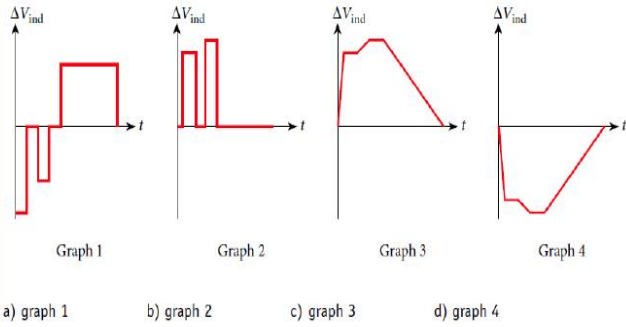
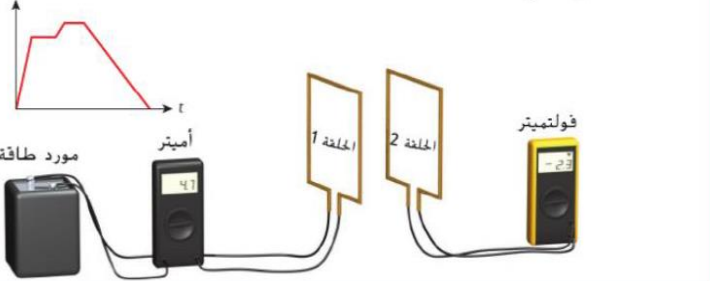
يكون مستوى الحلقة الدائرية الموضحة في الشكل متعامداً على مجال مغناطيسي مقداره $B = 0.500 \text{ T}$. ينخفض المجال المغناطيسي حتى يصل إلى الصفر بمعدل ثابت في زمن قدره 0.250 s . ويبلغ مقدار الجهد المستحث في الحلقة 1.24 V خلال هذا الزمن. فما نصف قطر الحلقة؟



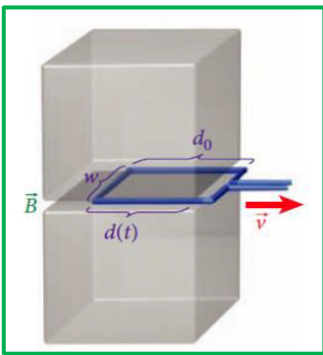


9.2 مراجعة المفاهيم

يتم توصيل مصدر للطاقة بالحلقة 1 وأميتير كما يوضح الشكل. والحلقة 2 قريبة من الحلقة 1 ومتصلة بفولتميتر. كما يوضح الشكل تمثيلاً بيانياً للتيار i المتدفق عبر الحلقة 1 في صورة دالة للزمن، t . أي تمثيل بياني يصف فرق الجهد المستحث، ΔV_{ind} ، في الحلقة 2 كدالة زمن، t ؟



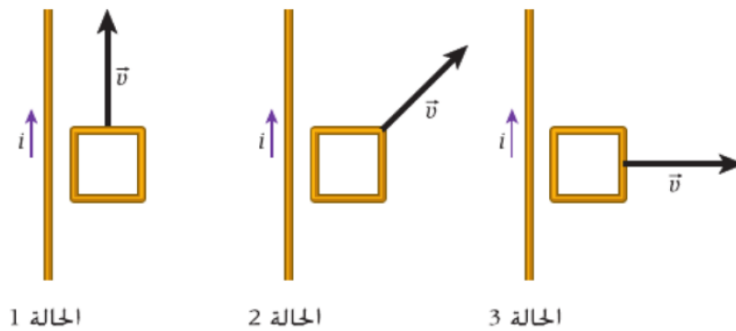
تدريب: يتم سحب حلقة سلكية مستطيلة عرضها $w=3.1\text{cm}$ وعمقها $d=4.8\text{cm}$ من الفجوة بين مغناطيسين دائمين. يوجد مجال مغناطيسي مقداره $B=0.073\text{T}$ في كل مكان في الفجوة. إذا تمت إزالة الحلقة بسرعة ثابتة تبلغ 1.6cm/s فأوجد الجهد المستحث في الحلقة كدالة زمن؟



osama alnahawi

9.3 مراجعة المفاهيم

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.





سؤال (1)

ملف مكون من 50 لفة ومساحة مقطعه $3 \times 10^{-3} \text{m}^2$ ومقاومته الكهربائية 5Ω وضع الملف في مجال مغناطيسي بحيث كان اتجاه المجال عمودي على مستوى الملف . إذا تغيرت شدة المجال من $+0.20\text{T}$ الى -0.15T خلال 0.2s فاحسب متوسط شدة التيار المستحث المتولد في الملف ؟

سؤال (2)

ملف مستطيل الشكل يحوي 240 لفة ومساحة مقطعه $1.2 \times 10^{-3} \text{m}^2$ وضع في مجال مغناطيسي منتظم شدته 0.4T بحيث يكون الملف عمودي على اتجاه المجال . احسب فرق الجهد المستحث في الملف في الحالات التالية :

1. إذا انعكس المجال المغناطيسي في الملف خلال 0.5s .
2. إذا سحب الملف خارج المجال المغناطيسي بالكامل خلال 0.5s .

سؤال (3)

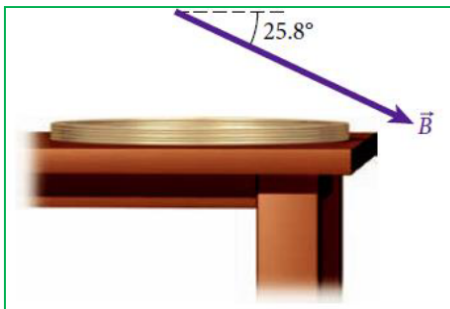
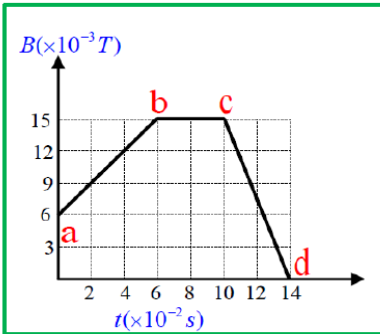
ملف فيه 300 لفة مساحة كل منها 0.02m^2 يُدار في مجال مغناطيسي منتظم شدته (B) من وضع يكون فيه سطح الملف عمودياً على خطوط المجال الى وضع يكون فيه سطح الملف موازياً لخطوط المجال خلال 0.2s . احسب شدة المجال (B) إذا كان متوسط القوة الدافعة الكهربائية المستحثة في الملف تساوي 2V

سؤال (4)

ملف دائري عدد لفاته 200 لفة نصف قطره 0.04m موضوع في مجال مغناطيسي منتظم شدته 0.2T ومستواه يعامد المجال . سُحب الملف من طرفيه بحيث نقصت مساحته الى الربع فكان متوسط القوة الدافعة الكهربية المستحثة في الملف يساوي 1.5V احسب الزمن المستغرق لإنقاص مساحة الملف ؟

سؤال (5)

ملف مساحته 0.04m² وعدد لفاته 150 لفة ومستواه يعامد مجال مغناطيسي متغير وفق الخط البياني الموضح في الشكل احسب متوسط القوة الدافعة الكهربية المستحثة في الملف في كل مرحلة من مراحل التغير ؟



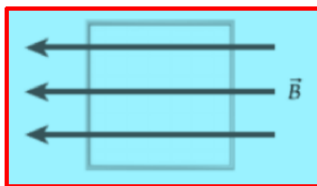
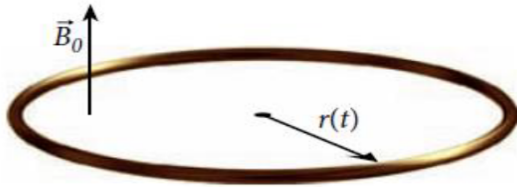
يوضع ملف سلكي دائري يتكون من 20 لفة ونصف قطره 40.0cm في وضع مسطح على سطح منضدة أفقية كما في الشكل . يوجد مجال مغناطيسي منتظم يمتد فوق الطاولة باكملها مقداره 5.0T وبالاتجاه الموضح على الشكل ما مقدار التدفق المغناطيسي المار عبر الملف ؟



9.29 عندما يتم إيقاف تشغيل مغناطيس في التصوير بالرنين المغناطيسي فجأة ، يقال إن المغناطيس تم إخماده يمكن حدوث الإخماد في أقل من 20.0s . بفرض أنه تم إخماد مغناطيس ذي مجال مغناطيسي أولي قدره 1.20T في زمن قدره 20.0s والمجال النهائي يساوي صفر ، بموجب هذه الشروط كم يبلغ متوسط فرق الجهد المستحث حول حلقة توصيل نصف قطرها 1.0cm متعامدة مع المجال ؟

9.30 يحتوي ملف مكون من 8 لفات على حلقات مربعة يبلغ طول ضلعها 0.200m ومقاومتها 3.0Ω . يوضع في مجال مغناطيسي يصنع زاوية قدرها 40.0° مع مستوى الحلقة . يختلف المجال مع الوقت وفق المعادلة $B = 1.50 t^3$ حيث يقاس t بالثانية و B بوحدة تسلا . ما مقدار التيار المستحث في الملف عندما يكون $t = 2.00s$ ؟

تتوسع حلقة توصيل دائرية مرنة بمعدل ثابت بمرور الزمن بحيث يحدد نصف قطرها بواسطة $r(t) = r_0 + vt$. حيث $r_0 = 0.100 m$ و $v = 0.0150 m/s$ الحلقة لها مقاومة ثابتة تبلغ $R = 12.0 \Omega$ وتوضع في مجال مغناطيسي منتظم مقداره $B_0 = 0.750 T$ عمودياً على مستوى الحلقة كما هو موضح في الشكل .
احسب مقدار واتجاه التيار المستحث (i) عند $t = 5.00 s$



9.31 حلقة معدنية مساحتها 0.100m² موضوعة في وضع مُسطح على الأرض يوجد مجال مغناطيسي منتظم يشير نحو الغرب يبلغ المقدار الأولي للمجال 0.123T ينخفض بثبات ليصل الى 0.075T خلال فترة تبلغ 0.579s . أوجد فرق الجهد المستحث في الحلقة خلال هذا الوقت ؟



9.3 قانون لينز

نص القانون :

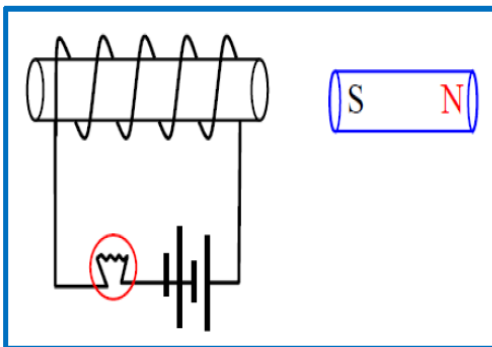
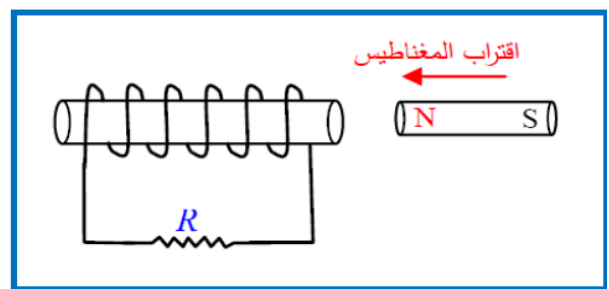
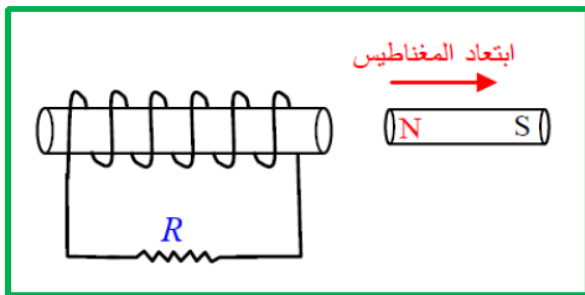
سيكون للتيار المستحث اتجاه بحيث يكون المجال المغناطيسي الناتج عن التيار المستحث **مقاوماً للتغير** في التدفق المغناطيسي .

قواعد مهمة مفيدة للحل :

- (1) تحديد نوع التدفق (زيادة أو نقصان أم ثبات) .
- (2) (a) عند **زيادة التدفق**: ينشأ **قطب مشابه** مقابل القطب المؤثر (ينشأ **مجال معاكس** للمجال الأصلي) .
(b) عند **نقصان التدفق**: ينشأ **قطب مخالف** مقابل القطب المؤثر (ينشأ **مجال بنفس اتجاه** المجال الأصلي) .
(c) عند بقاء التدفق ثابتاً: لا يتولد تيار مستحث .
- (3) تطبيق قاعدة **قبضة اليد اليمنى** (الإبهام مع القطب الشمالي فتكون الأصابع باتجاه التيار المستحث) .

تدريبات متنوعة على قانون لينز:

تدريب (1) حدد على الشكلين التاليين اتجاه التيار المستحث المار في المقاومة (R) .



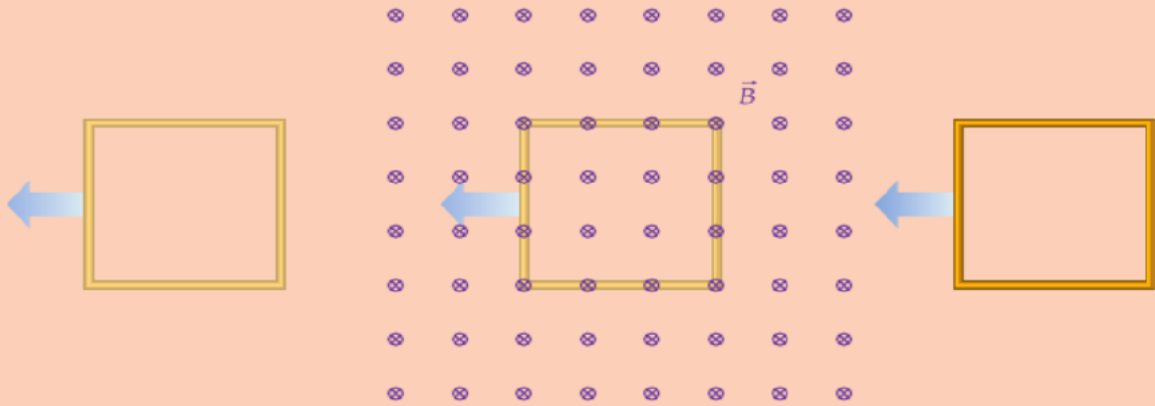
تدريب (2) ماذا يحدث لسطوع المصباح في الحالات التالية مع ذكر السبب :

- (a) عند حركة المغناطيس **باتجاه** الملف بسرعة ثابتة ؟
- (b) عند حركة المغناطيس **بعيداً عن** الملف بسرعة ثابتة ؟



سؤال الاختبار الذاتي 9.2

يتم تحريك حلقة سلكية مربعة توصيل مقاومتها صغيرة جدًا بسرعة ثابتة من منطقة خالية من المجال المغناطيسي مرورًا 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؟



التيارات الدوامية المُستحثة



الصفحة المُصمتة: عند دخولها المجال المغناطيسي وحسب قانون لنز يتولد تيار مستحث فيها لمقاومة التغير في التدفق فينتج مجالاً مغناطيسياً مستحثاً يقاوم المجال الخارجي. فتتفاعل المجالات المستحثة مع المجال الخارجي لايقاف البندول.

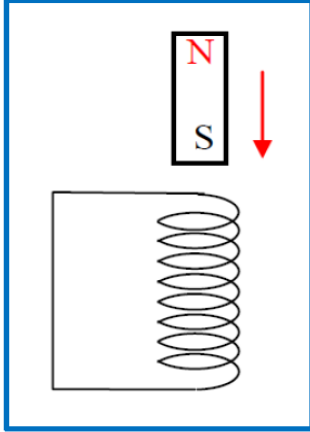
تعمل التيارات الدوامية المستحثة القوية على تحويل طاقة البندول الحركية الى حرارة.

الصفحة المشقوقة: يتم تقسيم التيارات الدوامية المستحثة بواسطة الشقوق فتتباطأ حركتها قليلاً

تعمل التيارات الدوامية المستحثة الأصغر الى تباطؤ في حركة الصفحة المشقوقة الى أن يتم إيقافها في النهاية.



تدريب (1) تم إسقاط مغناطيس قوي داخل ملف حلزوني رأسي طويل كما في الشكل :



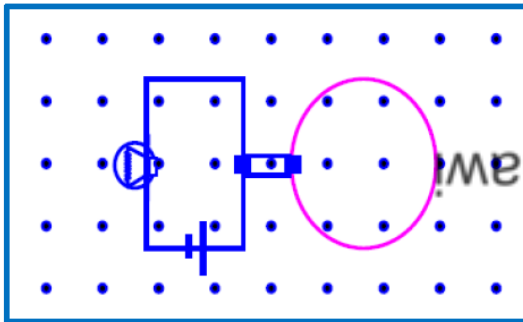
(a) هل يؤدي ذلك الى توليد تيار مستحث في الملف . ولماذا ؟

(b) كيف يؤثر التيار المستحث في حركة المغناطيس (يُسرع أم يبطيء) ولماذا ؟

(c) هل يسقط المغناطيس بعجلة السقوط الحر نفسها أم باقل منها أو بأكبر منها ؟

تدريب (2) حلقة دائرية موصلة قابلة للإتساع والتضييق تتصل بمصباح كهربائي وضعت داخل

مجال مغناطيسي كما في الشكل .



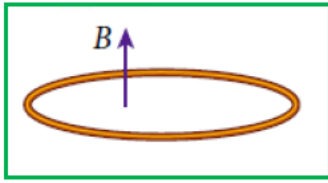
صف ما يحدث لسطوع المصباح عند تضيق الحلقة .

فسر إجابتك ؟

تدريب (3)

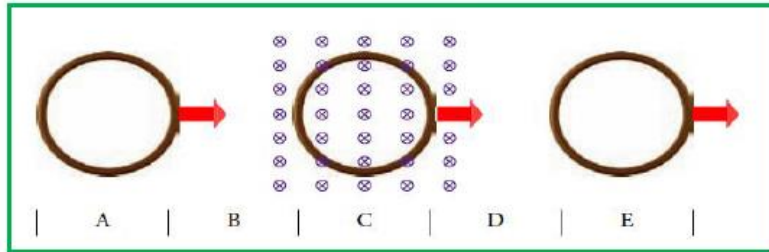
في الشكل المجاور حالات مختلفة لتحديد اتجاه التيار المستحث .

الحالة	قبل	بعد
(1) إدخال حلقة إلى منطقة مجال مغناطيسي		
(2) إخراج حلقة من منطقة مجال مغناطيسي		
(3) تدوير حلقة في مجال مغناطيسي		
(4) انقاص شدة المجال المغناطيسي		



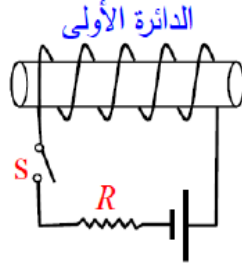
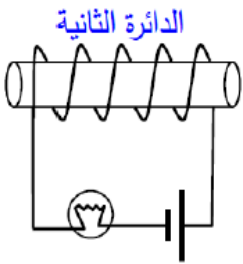
تدريب (4) تشهد حلقة سلكية دائرية حقلاً مغناطيسياً (مجال) **متزائداً** في الاتجاه إلى **الأعلى** . كما هو موضح في الشكل . حدد اتجاه التيار المستحث في الحلقة ؟

تدريب (5) تتحرك حلقة توصيل من اليسار الى اليمين عبر مجال مغناطيسي منتظم . كما في الشكل في أي منطقة (مناطق) يوجد تيار مستحث في الحلقة ؟ حدد اتجاه التيار المستحث في تلك المناطق



osama alnahawi

تدريب (6) ماذا يحدث لسطوع المصباح في الحالات التالية :



(1) عند غلق المفتاح (S) .

(2) عند زيادة قيمة المقاومة (R) .

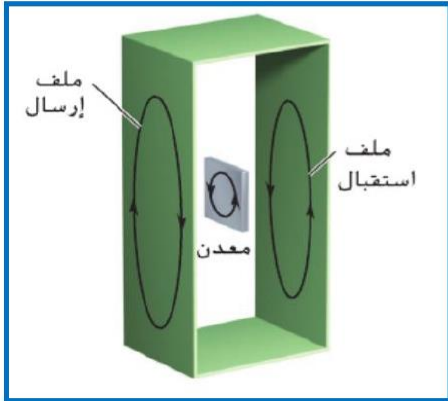
(3) عند فتح المفتاح (S) .

جهاز كشف الفلزات (الحث النبضي)

(a) يُستعمل في المطارات لكشف المعادن مع المسافرين (b) يستعمل في التحكم بإشارات المرور .

التركيب : يتكون من ملف إرسال و ملف استقبال كما هو موضح بالشكل .

مبدأ العمل :



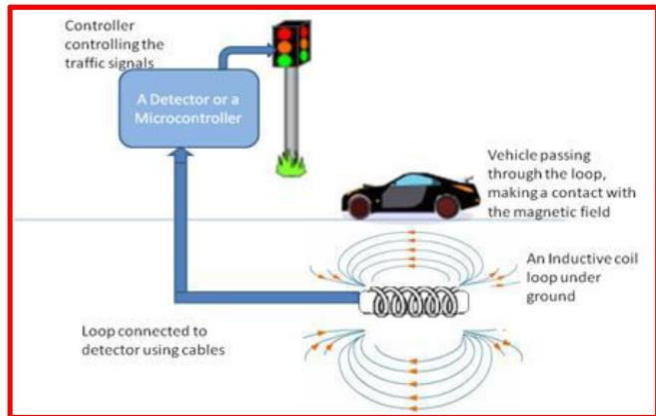
1. يتم تمرير تيار متردد في ملف الإرسال فينتج مجالاً مغناطيسياً وعند زيادة وانخفاض المجال المغناطيسي يتولد تياراً مستحثاً في ملف الاستقبال لمقاومة التغير في التدفق .
2. يتم قياس التيار المستحث في ملف الاستقبال بوجود الهواء بين الملفين .
3. عند تواجد جسم فلزي بين الملفين يُستحث تيار في الجسم الفلزي على شكل

تيارات دوامية لمقاومة التغير في التدفق مما يسبب انخفاض التيار المار في ملف الاستقبال . والذي يعتبر

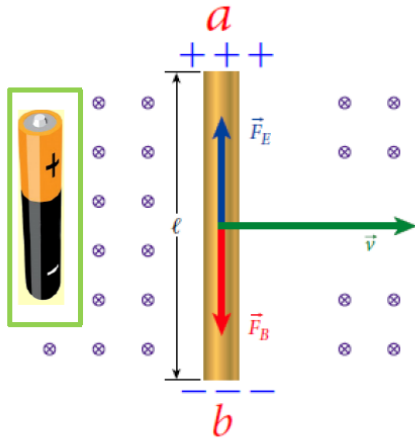
دليلاً على وجود جسم معدني مع المُسافر .

مبدأ عمل إشارات المرور

1. يتم وضع حلقة سلكية مستطيلة تعمل كمرسل ومستقبل في سطح الطريق يتم قياس التيار الحثي في المستقبل بدون وجود اجسام معدنية كالسيارات بالقرب من الملفات .
2. يتم تمرير نبضة من التيار الذي يستحث التيارات الدوامية عند مرور اي سيارة على الطريق (فلز) فينتج تياراً مستحثاً قيمته مختلفة عن التيار الاصيل دلالة على وجود سيارة مما يحفز إشارة المرور على التحول للون الأخضر بعد فترة زمنية معينة .



فرق الجهد المُستحث المؤثر في سلك مستقيم متحرك داخل مجال مغناطيسي



لنفترض وجود سلك طوله (l) ويتحرك بسرعة متجهه ثابتة \vec{v} عمودياً على مجال مغناطيسي ثابت \vec{B} كما في الشكل .

● تعمل القوة المغناطيسية وحسب قاعدة كف اليد اليمنى

(قاعدة رقم 1) على تجميع الشحنات الموجبة اصطلاحاً في الطرف (a) وتتجمع الشحنات السالبة عند (b) بشكل يشبه البطارية .

1. مما يولد مجالاً كهربائياً وقوة كهربائية معاكسة للقوة

المغناطيسية المؤثرة على الالكترتون بحيث ينتجان محصلة قوى = صفر

$$E = vB \quad \text{ومنها} \quad F_B = evB = F_E = eE$$

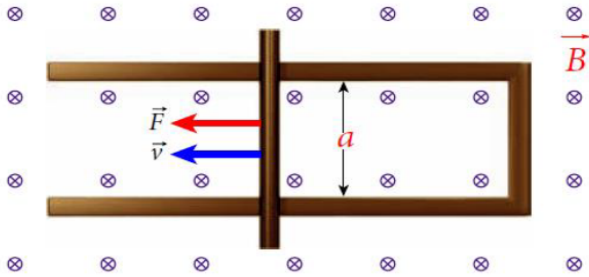
2. توليد فرق جهد بين الطرفين يسمى القوة الدافعة الكهربائية الحثية

$$\Delta V_{\text{ind}} = v\ell B$$

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



مثال : سُحب موصل مستقيم أفقياً بقوة ثابتة قدرها $F=5.00\text{N}$ على طول مجرى



يتكون من سلك على شكل حرف **U** ويبعد طرفا

السلك عن بعضهما مسافة $a = 0.50\text{m}$ ولا يحدث

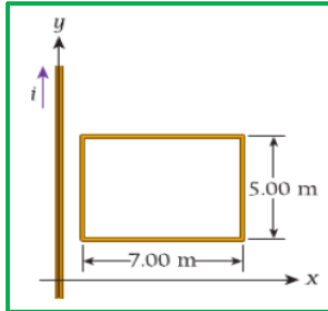
أي احتكاك بين الموصل والمجرى. يتجه مجال

مغناطيسي منتظم مقداره $B = 0.50\text{T}$ الى داخل

الصفحة . ويتحرك الموصل بسرعة ثابتة $v = 5.0\text{m/s}$

أوجد مقدار فرق الجهد المستحث في الدائرة التي يشكلها الموصل والمجرى خلال حركة الموصل ؟

osama alnahawi

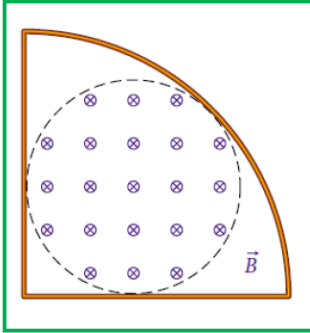


9.41 يتحرك سلك طويل مستقيم على المحور y ، يحمل السلك تياراً في اتجاه y الموجب

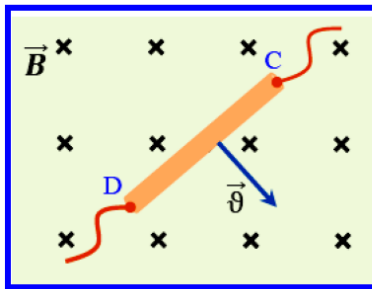
الذي يتغير كدالة زمن وفق $i = 2.00\text{A} + (0.300\text{A/s})t$ توجد حلقة سلكية في

المستوى xy بالقرب من المحور y أبعاد الحلقة هي 5.00m و 7.00m وتبعد عن السلك

مسافة 1.00m كم يبلغ فرق الجهد المستحث في الحلقة السلكية عند $t=10.0\text{s}$ ؟



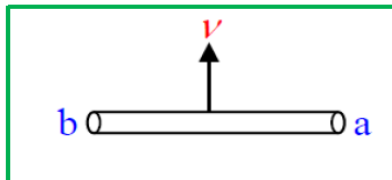
حلقة التوصيل في ربع الدائرة الموضحة في الشكل لها نصف قطر 10.0cm ومقاومة 0.2Ω . شدة المجال الأولي داخل الدائرة المنقطة (نصف قطرها 3.0cm) تبلغ 2.0T ثم تنخفض شدة المجال إلى 1.0T خلال 2.0s أوجد مقدار واتجاه التيار المستحث في الحلقة ؟



يحرك السلك المستقيم (CD) بسرعة مقدارها (2.5 m/s) في مجال مغناطيسي منتظم مقدار شدته (0.20 T) كما في الشكل المجاور. إذا كان طول السلك (0.20 m) . احسب مقدار القوة المحركة الكهربائية المستحثة بين طرفي السلك و حدد قطبيتها.

يبين الشكل المجاور سلكاً موصلًا (ab) يعامد المجال المغناطيسي و طوله (0.2 m) يتم تحريكه بسرعة ثابتة (40 m/s) عمودياً على مجال

مغناطيسي منتظم فتتولد فيه قوة محرقة مستحثة (0.4V) بحيث يكون جهد الطرف (b) أعلى من جهد الطرف (a) أجب عما يلي



- (1) حدد على الرسم اتجاه المجال المغناطيسي .
- (2) في أي اتجاه يمكن تحريك السلك بحيث لا تتولد فيه قوة محرقة مستحثة .
- (3) احسب مقدار المجال المغناطيسي المؤثر على السلك .



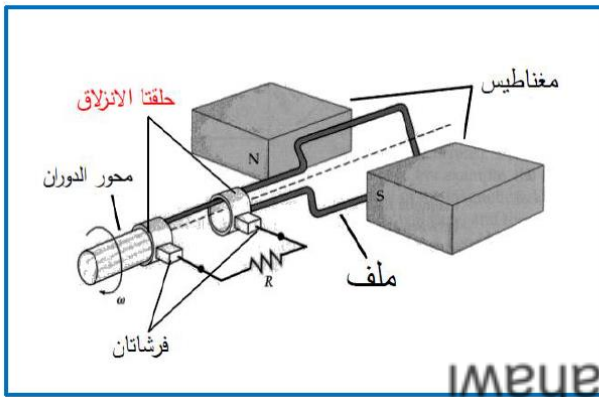
9.4 المولدات والمحركات

المولد الكهربائي : جهاز يحول الطاقة الميكانيكية الى طاقة كهربائية .

المحرك الكهربائي : جهاز يحول الطاقة الكهربائية الى طاقة ميكانيكية .

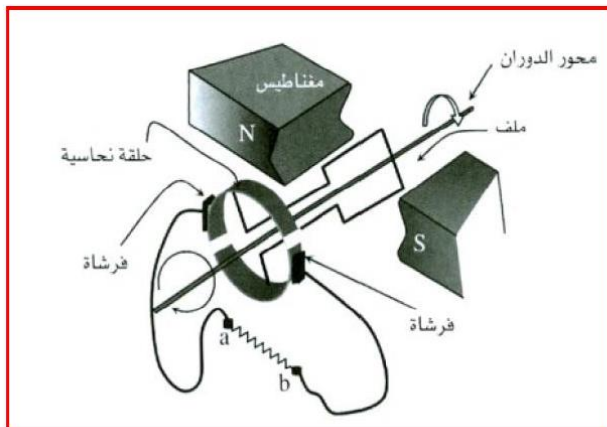
التيار المتردد (AC) هو تيار متغير المقدار والاتجاه بمرور الزمن بين قمم موجبة وسالبة .

مبدأ العمل :



عند دوران الملف أو المغناطيس تتغير الزاوية فيتغير التدفق فيتولد في الملف قوة دافعة كهربائية مستحثة emf . وبالتالي تيار كهربائي متردد مستحث

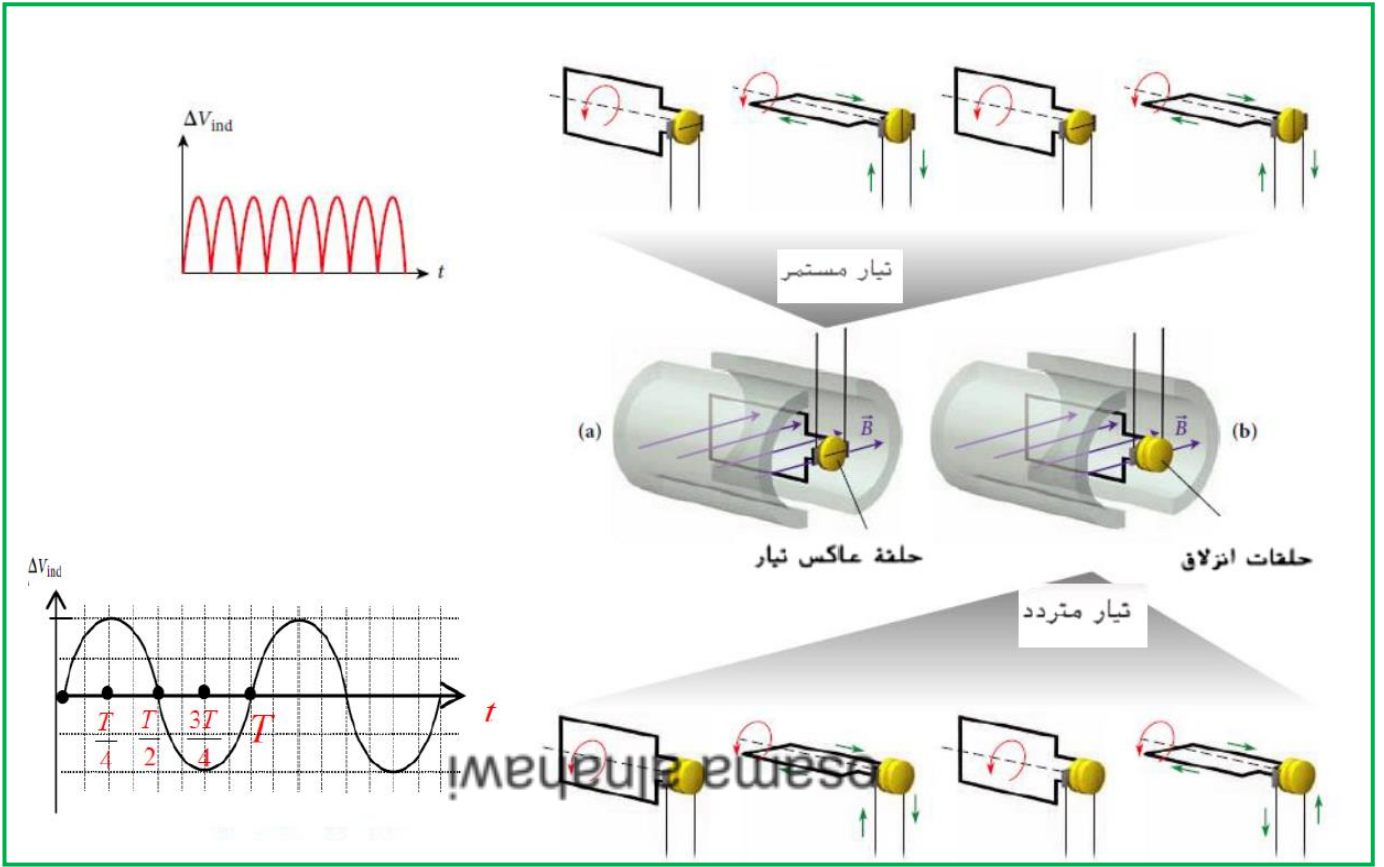
● ويمكن تدوير الملف بعدة طرق منها التوربين البخاري أو محرك الاحتراق أو الطاقة النووية .



● يمكن الحصول على تيار مستمر (DC)

باستبدال حلقتي الانزلاق بحلقة واحدة مقسومة الى نصفين معزولين تسمى المقوم . ويسمى التيار الناتج بالتيار النبضي حيث تتغير شدته كدالة جيبيية واتجاهه ثابت .

❖ يمكن استخدام الاجهزة السابقة **كمحركات** عبر توفير تيار للحلقة فينتج طاقة ميكانيكية (حركية)



$$\Phi(t) = BA \cos(\omega t)$$

$$\Delta V_{\text{ind}} = -\frac{d\Phi}{dt} = \omega BA \sin(\omega t)$$

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

الكبح بالتوليد المعاكس : عند استخدام المكابح في السيارات

العادية تتحول الطاقة الحركية الى حرارة ضائعة في الجو .

أما في المركبات الهجينة تتصل المكابح بمحرك كهربائي يشحن

بطارية السيارة حيث يعمل كمولد حيث يسترد جزء من

الطاقة الحركية للسيارة في أثناء الكبح تستخدم لاحقاً

لتحريك السيارة مما يرفع كفاءتها .

سؤال الاختبار الذاتي 9.4

يعمل مولد من خلال تدوير ملف عدد لقاته N لفة في مجال مغناطيسي ثابت مقداره B بتردد f . ومقاومة الملف R ومساحة مقطعه العرضي A . حدّد ما إذا كانت كل عبارة من العبارات التالية صواباً أم خطأ.

(a) يتضاعف متوسط فرق الجهد المستحث إذا تضاعف التردد f .

(b) يتضاعف متوسط فرق الجهد المستحث إذا تضاعفت المقاومة R .

(c) يتضاعف متوسط فرق الجهد المستحث إذا تضاعف مقدار المجال المغناطيسي B .

(d) يتضاعف متوسط فرق الجهد المستحث إذا تضاعفت المساحة A .





9.43 يتكون مولد بسيط من حلقة تدور داخل مجال مغناطيسي ثابت . إذا كانت الحلقة تدور بتردد f فإنه يمكن تحديد التدفق المغناطيسي بواسطة $\Phi(t) = BA \cos(2\pi ft)$ إذا كان $B=1.0T$ و $A=1.00m^2$ فكم يجب أن تكون قيمة f حتى يصبح الحد الأقصى لفرق الجهد المستحث $110V$

9.5 المجال الكهربائي المستحث

إذا افترضنا وجود شحنة موجبة q تتحرك في مسار دائري نصف قطره r في مجال كهربائي ثابت E (خطوطه دائرية وأن الشحنة تتحرك بطول احد هذه الخطوط وخلال لفة واحدة من الشحنة) فان الشغل المبذول على الشحنة يساوي

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

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

$$\Delta V_{ind} = 2\pi r E$$

فنحصل على نتيجة وهي

يمكن تعميم هذه النتيجة باعتبار ان الشغل المبذول على شحنة q $W = \oint \vec{F} \cdot d\vec{s} = q \oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$

$$\Delta V_{ind} = \oint \vec{E} \cdot d\vec{s}$$

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 أي مسار مغلق حتى ولو لم يوجد موصل في المسار .



9.6 حث الملف اللولبي

عند دراستنا للملف اللولبي سابقاً وجدنا أن المجال المغناطيسي داخل الملف اللولبي يحسب من

$$\Phi_B = \iint \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad \text{والذي يعني بصورة مبسطة أن التدفق الكلي يتناسب مع التيار} \quad B = \frac{\mu_0 i N}{L} \quad \text{و} \quad B = \mu_0 n i$$

ويمكننا التعبير عن هذا التناسب على النحو التالي: $N\Phi_B = Li$

حيث (L) ثابت يسمى معامل الحث ويمثل (التدفق الكلي الناتج عن ملف لولبي لكل وحدة تيار) ووحدته هنري (H)

$$[L] = \frac{[\Phi_B]}{[i]} \Rightarrow 1 \text{ H} = \frac{1 \text{ T m}^2}{1 \text{ A}}$$

وعند تعويض قيمة التدفق $\Phi_B = BA \cos \theta$ واستبدال (N=nℓ) نجد أن $N\Phi_B = (n\ell)(BA)$

ومن ثم يتم تحديد معامل الحث الكهربائي بواسطة $L = \frac{N\Phi_B}{i} = \frac{(n\ell)(\mu_0 n i)(A)}{i}$

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

- * 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 اللفات) .
- * يتضمن أي ملف لولبي حثاً لذلك يسمى محث عند استخدامه في الدوائر الكهربائية .

9.7 الحث الذاتي والحث المتبادل

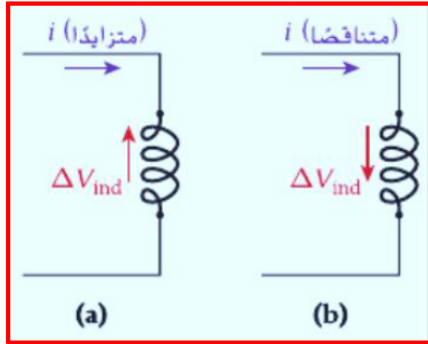
الحث الذاتي: يستحث التيار المتغير في الملف فرق جهد في الملف نفسه. فيتغير المجال المغناطيسي

الصادر عن ذلك الملف . ويسمى فرق الجهد الناتج فرق الجهد المُستحث ذاتياً

$$\Delta V_{\text{ind},L} = - \frac{d(N\Phi_B)}{dt} = - \frac{d(Li)}{dt} = -L \frac{di}{dt}$$

يعتمد فرق الجهد المستحث ذاتياً على

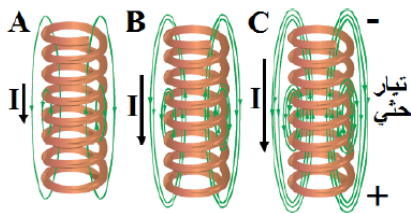
1. معدل تغير التيار مع الزمن
2. معامل حث الملف (L)



الشكل (a) تيار متدفق عبر محث ويتزايد مع الزمن فإن فرق الجهد المستحث ذاتياً سيقاوم الزيادة في التيار .

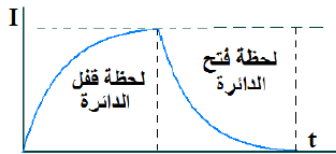
الشكل (b) تيار متدفق عبر محث ويتناقص مع الزمن فإن فرق الجهد المستحث ذاتياً سيقاوم الأنخفاض في التيار .

تفسير نشأة القوة الدافعة الكهربائية العكسية بحسب فاراداي



0- **في لحظة قفل دائرة كهربائية تحتوي على ملف**، يتزايد التيار المار في سلك الملف تدريجياً، فيتولد عنه مجال مغناطيسي متزايد، و تتزايد عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تقطع الملف فتتولد في الملف قوة دافعة كهربائية عكسية لتقاوم نمو التيار، وبالتالي تزيد الفترة الزمنية التي يستغرقها التيار ليصل الى نهايته العظمى.

2- **بعد فترة طويلة نسبياً من قفل الدائرة**: تصبح قيمة التيار ثابتة، وبالتالي يصبح المجال المغناطيسي ثابتاً، وتكون قيمة القوة الدافعة الكهربائية صفراً.



3- **في لحظة فتح الدائرة الكهربائية**: يقل التيار بسرعة حتى يصل الى الصفر، وهذا يؤدي لتلاشي المجال المغناطيسي، فيتغير المعدل الزمني الذي تتقاطع فيه خطوط المجال مع اللفات، فتتولد في الملف قوة دافعة كهربائية حثية طردية تعمل على منع نقصان في المجال و التيار وزيادة الفترة الزمنية التي يستغرقها التيار حتى ينعدم. وتسمى هذه القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في السلك الذي يحمل تيار متغيراً " الحث الذاتي".

معلومات التراسية



للتخلص من الحث الذاتي للملف، يمكن لف الأسلاك لفا مزدوجاً، وبالتالي يكون اتجاه التيار في أحد الفرعين مضاد لاتجاهه في الفرع الآخر، فيلغى مجاليهما المغناطيسي بعضهما الآخر وينعدم الحث الذاتي للملف. وهذا ما يتم عمله في "المقاومات العيارية".

الحث المتبادل: يُنتج التيار المتغير في الملف الأول تدفقاً مغناطيسياً في الملف الثاني .

يُنتج التيار المار في الملف 1 مجالاً مغناطيسياً \vec{B}_1 والتدفق الكلي في الملف 2 الناتجة عن المجال المغناطيسي في الملف 1 هي $N_2\Phi_{1\rightarrow 2}$ ويعرف معامل الحث المتبادل $M_{1\rightarrow 2}$ للملف 2 الناتج عن الملف 1

$$\Delta V_{ind,2} = -M_{1\rightarrow 2} \frac{di_1}{dt} \quad \text{ويمكن كتابة فرق الجهد المستحث} \quad M_{1\rightarrow 2} = \frac{N_2\Phi_{1\rightarrow 2}}{i_1}$$

وبنفس الطريقة سيكون فرق الجهد المستحث من الملف 2 على الملف 1 $\Delta V_{ind,1} = -M_{2\rightarrow 1} \frac{di_2}{dt}$

وإذا كان $M_{1\rightarrow 2} = M_{2\rightarrow 1} = M$ فيمكن إعادة كتابة معادلة الحث المتبادل على النحو الآتي :

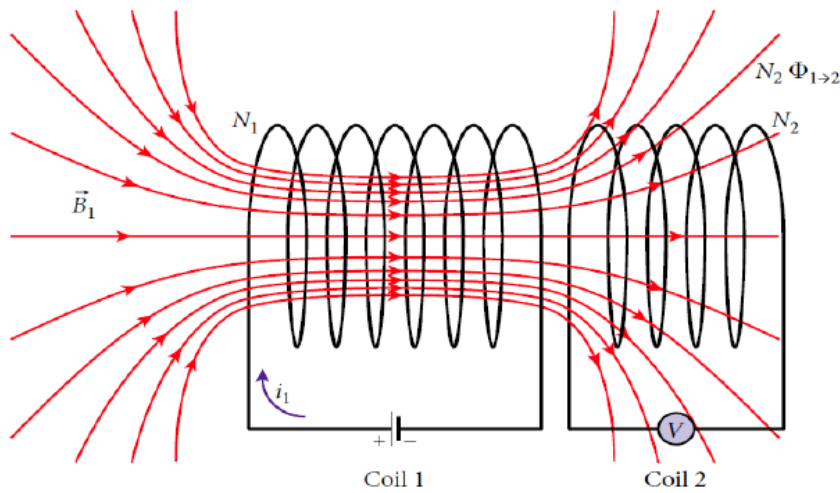




$$\Delta V_{\text{ind},1} = -M \frac{di_2}{dt}$$

$$\Delta V_{\text{ind},2} = -M \frac{di_1}{dt}$$

حيث M هو معامل الحث المتبادل بين الملفين ووحدته قياسه هي هنري H



osama alnahawi

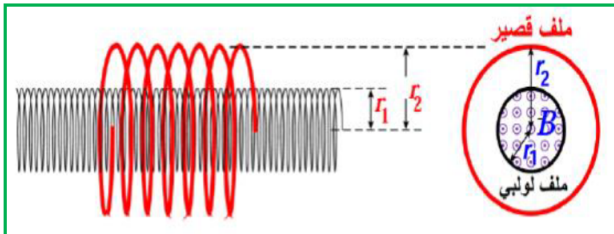
ملف لولبي طويل ذو مقطع عرضي دائري نصف قطره ($r_1=2.8\text{cm}$) و ($n=90$ لفة / cm) داخل ملف قصير

يتضمن مقطعاً عرضياً دائرياً نصف قطره ($r_2=4.9\text{cm}$) و

($N=31$) لفة ومتحد معه في المحور .

كم يبلغ فرق الجهد المستحث في الملف القصير عندما يتغير

التيار بمعدل ثابت من (صفر الى 2.2A) خلال زم ($t=48.0\text{ms}$)





9.8 دوائر الحث والمقاوم (RL)

هذا الدرس 9.8 محذوف وهو للمطالعة الذاتية

9.9 الطاقة وكثافة الطاقة مجال مغناطيسي

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

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

يشغل المجال المغناطيسي الحجم الذي يتضمنه الملف اللولبي والذي يمكن تحديده من (ℓA) ومن ثم

$$u_B = \frac{1}{2} \mu_0 n^2 i^2$$

تكون كثافة الطاقة u_B هي:

وإذا قمنا باستبدال ($B = \mu_0 n i$) للملف اللولبي نحصل على تعبير أبسط لكثافة طاقة المجال

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

المغناطيسي لملف لولبي على الشكل.

ملاحظة: يمكن استخدام هذه المعادلة لكل أنواع الملفات.

مراجعة المفاهيم 9.8

ملف لولبي طويل ذو مقطع عرضي دائري نصف قطره $r = 8.10 \text{ cm}$ وطوله $\ell = 0.540 \text{ m}$ وعدد لفاته $n = 2.00 \times 10^4$ لفة / m. يخزن الملف اللولبي طاقة قدرها 42.5 mJ عندما يحمل تياراً i . فإذا تضاعف التيار إلى $2i$. فإن الطاقة المخزنة في الملف اللولبي

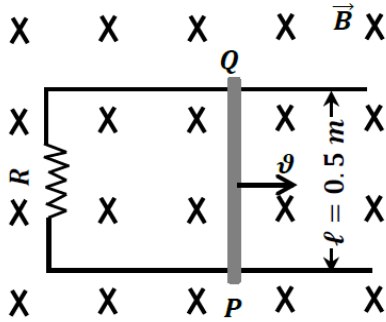
- تقل بمعامل قدره 4.
- تقل بمعامل قدره 2.
- تظل كما هي.
- تزيد بمعامل قدره 2.
- تزيد بمعامل قدره 4.



تدريبات عامة

تدريب (1)

* إذا وُضعت الدائرة المبينة جانباً في مجال مغناطيسي مُنتظم شدته (0.15 T) واتجاهه إلى داخل الصفحة، إذا حُرِّك الموصل (PQ) بسرعة ثابتة نحو اليمين مقدارها (2 m/s)، مُعتمداً على البيانات بالشكل أجب عن الفقرتين (1، 2):

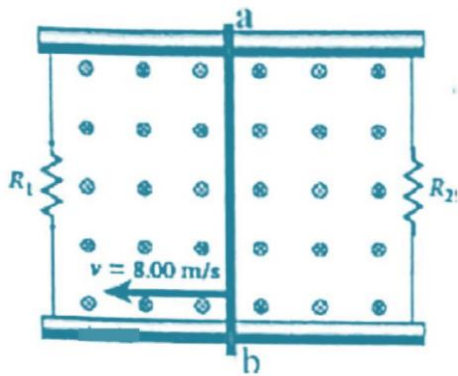
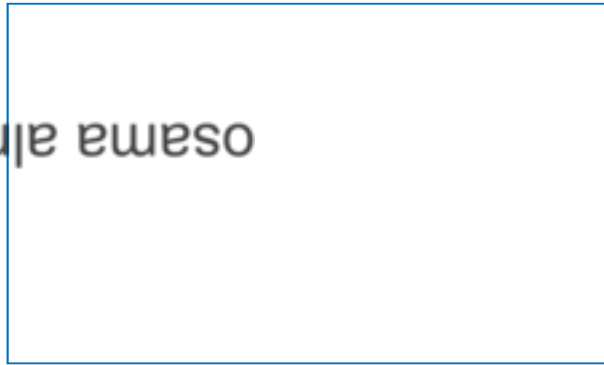
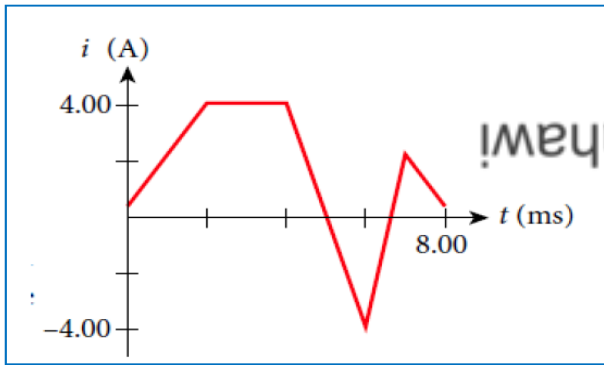


1- حدد على الرسم اتجاه التيار المستحث المار في المقاوم.

2- أوجد مقدار القوة المحركة الكهربائية المستحثة في الدائرة.

يوضح الشكل التيار المار خلال محث حثه 10.0mH خلال فترة زمنية قدرها 8.0ms .

تدريب (2) ارسم رسماً بيانياً يوضح فرق الجهد المستحث ذاتياً $\Delta V_{ind,L}$ لمحث خلال الفترة الزمنية ذاتها .



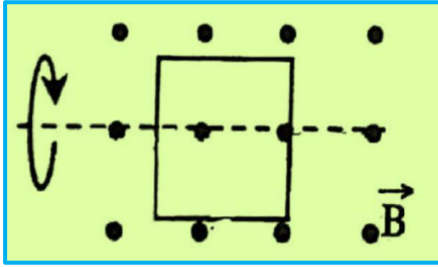
تدريب (3) سلك مستقيم (ab) طوله (50cm) ينزلق بسرعة (8.0m/s)

كما في الشكل، يؤثر على السلك مجال مغناطيسي منتظم مقداره (

0.1T)، إذا علمت أن ($R_1=100\Omega$)، ($R_2=200\Omega$)

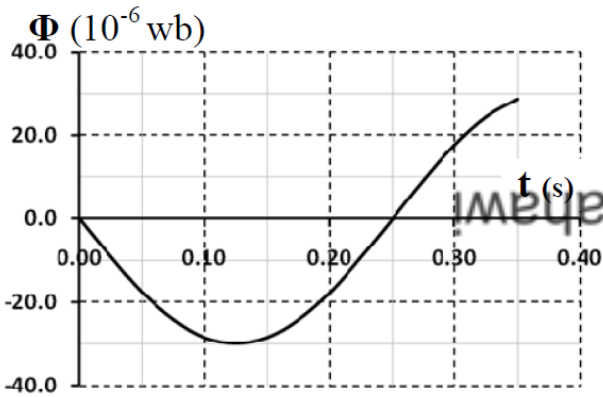
1) احسب شدة التيار المار في السلك (ab) وحدد اتجاهه.

2) احسب القوة اللازمة لتحريك السلك بسرعة ثابتة (8.0m/s).

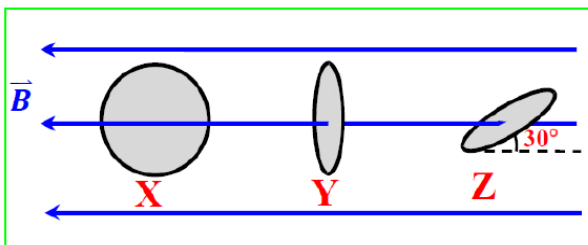


تدريب (4) حلقة دائرية مساحتها $(0.5m^2)$ موضوعة عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم $(0.3T)$ بدأت الحلقة بالدوران بسرعة زاوية ثابتة $(\omega = 15Hz)$ كما في الشكل ، احسب فرق الجهد المستحث في الحلقة عندما تكون الزاوية بين المجال ومستوى الحلقة 35° .

تدريب (5)



يدور ملف مكون من (250) لفة بسرعة زاوية ثابتة في مجال مغناطيسي منتظم اتجاهه عمودي على محور الدوران. مثلت تغيرات التدفق المغناطيسي الذي يجتاز سطح الملف مع الزمن خلال فترة زمنية فكانت كما في الشكل المجاور .
جد القيمة العظمى للقوة المحركة الكهربائية المتولدة في الملف .



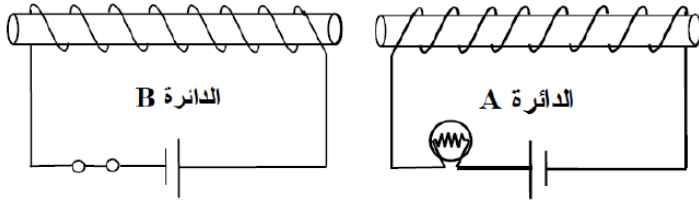
تدريب (6) : يُظهر الشكل المجاور ثلاث حلقات نحاسية متماثلة (X, Y, Z) في مجال مغناطيسي منتظم .
اعتماداً على الشكل
1- فسر انعدام التدفق المغناطيسي الذي يجتاز سطح الحلقة (X) .

2- جد نسبة التدفق المغناطيسي الذي يجتاز سطح الحلقة Y إلى التدفق المغناطيسي الذي يجتاز سطح الحلقة Z .





تدريب (7) يبين الشكل المجاور دائرتين (A و B) متجاورتين معامل الحث المتبادل بينهما $(0.12H)$. عندما يُفتح مفتاح الدائرة (B) تتناقص شدة التيار الكهربائي المار فيها



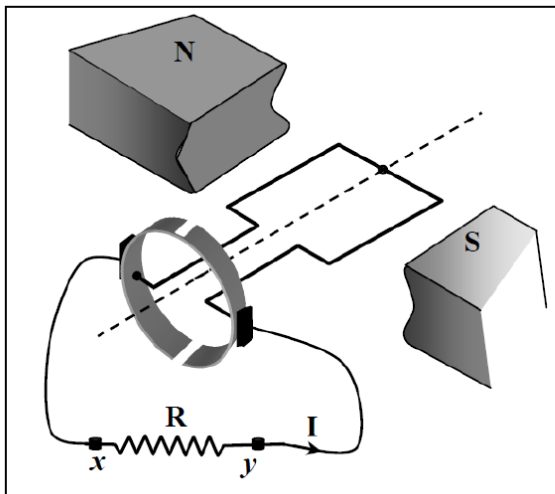
(3.0A) إلى أن تتلاشى كلياً خلال $(0.30s)$ ويلاحظ أن درجة سطوع المصباح في الدائرة (A) تزداد لحظياً ثم تعود لما كانت عليه. أجب عن الفقرتين (1 و 2) .

- 1- احسب متوسط القوة المحركة الكهربائية المستحثة التي تولدت في الدائرة (A) .
- 2- فسر مستخدماً قانون لينز زيادة درجة سطوع المصباح في الدائرة (A) لحظياً ثم عودتها لما كانت عليه عند فتح مفتاح الدائرة (B) .

osama alnahawi

تدريب (8) : يبين الشكل المجاور رسماً تخطيطياً لمولد

كهربائي عند لحظة معينة أثناء دوران ملفه في مجال مغناطيسي، إذا كان التيار المستحث المار في المقاوم R يتجه من x إلى y، أجب عن الفقرات (1 - 3)

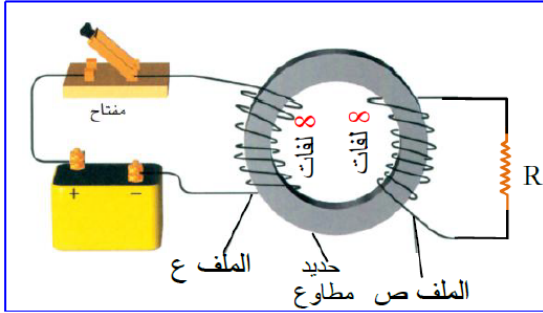


1- ما نوع التيار الكهربائي المار في المقاوم R ؟

2- في أي اتجاه بالنسبة لاتجاه دوران عقارب الساعة يُدار ملف المولد ؟

3- ما التغير الذي تجربه على الجهاز ليصبح محركاً كهربائياً ؟



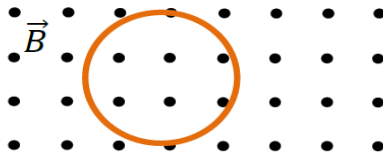


تدريب (9) لحظة غلق مفتاح دائرة الملف (ع) في الشكل المجاور يتغير التدفق المغناطيسي الذي يجتاز القلب الحديدي بمعدل $(6.0 \times 10^{-4} \text{ Wb/s})$ ويتغير التيار في دائرة الملف (ع) بمعدل (15 A/s) .
أجب عما يلي:

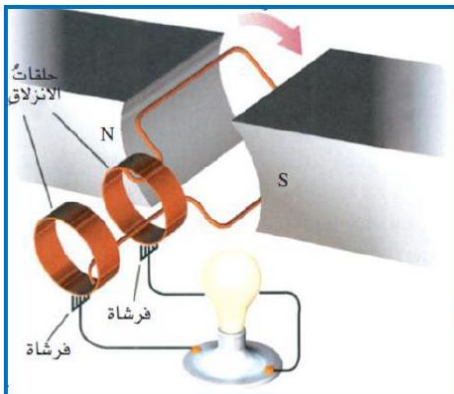
- 1 - حدد على الشكل اتجاه التيار المستحث المار في المقاوم R لحظة غلق مفتاح دائرة الملف (ع).
- 2 - احسب معامل الحث المتبادل بين دائرتي الملفين ع و ص.

تدريب (10)

في الشكل المجاور حلقة نحاسية مرنة في مجال مغناطيسي منتظم. اكتب في العمود الأول من الجدول الآتي ما يجب عليك عمله لتحقيق المطلوب المذكور في العمود الثاني.



المطلوب	العمود الأول
لا يتولد في الحلقة تيار أثناء تحريكها	
يتولد في الحلقة تيار يدور فيها عكس عقارب الساعة	
يتولد في الحلقة تيار يدور فيها مع عقارب الساعة	



تدريب (11) يُبين الشكل المجاور رسماً تخطيطياً لمولد تيار كهربائي متردد.

1 - كيف يمكنك زيادة شدة اضاءة المصباح، دون تغيير تركيب المولد؟

2 - حدد على الشكل اتجاه التيار المار في المصباح عند هذه اللحظة

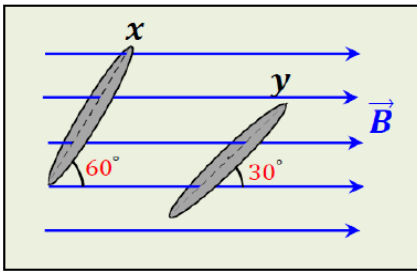
3- ما التعديل الذي يجب ادخاله على تركيب المولد لتحويله لمولد تيار مستمر؟





تدريب (12) ملف مولد كهربائي عدد لفاته (500 لفة) ومساحة كل لفة ($4.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2$) يدور في مجال مغناطيسي منتظم مقدار شدته (0.20 T) فيتولد فيه قوة محرّكة كهربائية مستحثة قيمتها الفعالة (15 V) احسب السرعة الزاوية لدوران الملف.

تدريب (13)

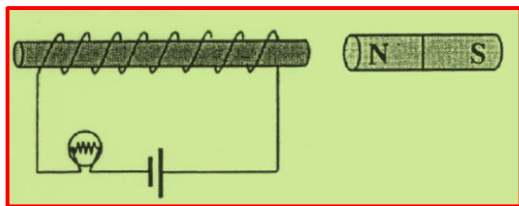


يُظهر الشكل المجاور حلقتين متماثلتين (x و y) يجتازهما مجال مغناطيسي منتظم

ما مقدار النسبة $\frac{(\Phi_B)_y}{(\Phi_B)_x}$ ؟

تدريب (14) ملف لولبي هوائي النواة طول محوره (0.20 m) ومعامل حثه الذاتي ($1.0 \times 10^{-4} \text{ H}$) وعدد لفاته 200 لفة (1) احسب مساحة مقطع الملف ؟

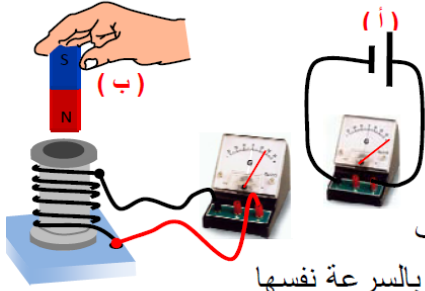
(2) احسب التدفق المغناطيسي الذي يجتاز سطح كل لفة من لفات الملف عندما يمر فيه تيار مستمر شدته (2.5 A)



تدريب (15) يُبين الشكل المجاور ملفاً حلزونياً قلبه من الحديد يتصل مع مصباح كهربائي وبطارية وبالقرب منه مغناطيس قوي. أكتب طريقتين يمكنك من خلالها أن تزيد من درجة سطوع المصباح لحظياً دون أن تُغير البطارية أو الملف .



تدريب (16)



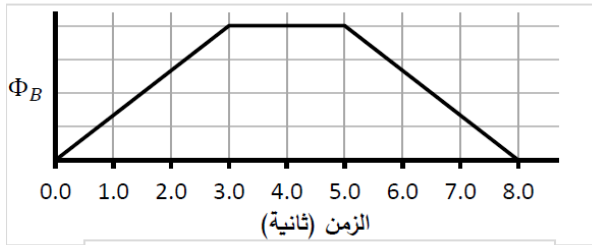
اختر أنسب تكملة لكل من الآتي، ثم ضع في المربع أمامها إشارة (✓).

(1) اعتماداً على الشكل المجاور (أ)، يتولد في الملف تيار كهربائي مستحث بالاتجاه الذي يبينه الجلفانوميتر في الشكل (ب) أثناء:

- تقريب المغناطيس من الملف
- إبعاد المغناطيس عن الملف
- تقريب الملف من المغناطيس
- تحريك الملف والمغناطيس للأسفل بالسرعة نفسها

(2) لأي ملف دائري مكون من عدة لفات موضوع في مجال مغناطيسي منتظم، أي من الآتي **لا يؤدي** إلى زيادة التدفق المغناطيسي عبر مقطع الملف؟

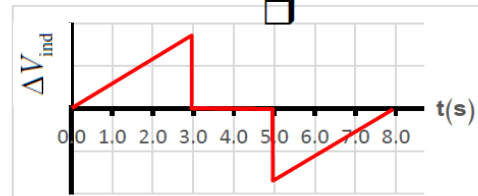
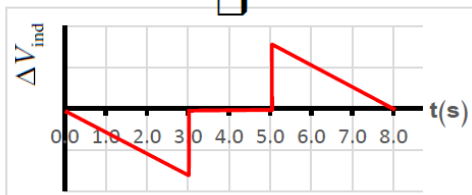
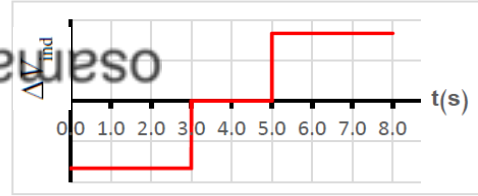
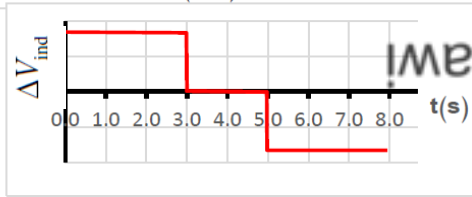
- زيادة شدة المجال المغناطيسي
- زيادة عدد لفات الملف
- زيادة قطر مقطع الملف
- زيادة مساحة مقطع الملف



3- الرسم المجاور يبين تغيرات التدفق المغناطيسي الذي يجتاز دائرة

مغلقة كدالة في الزمن، فأأي الرسوم البيانية الآتية تُعبر

بشكل صحيح تغيرات القوة الدافعة المستحثة في الدائرة؟



4- ملف حلزوني طويل جداً معامل حثه الذاتي (L). إذا قطع الملف إلى جزأين متساويين في الطول، فما مقدار معامل

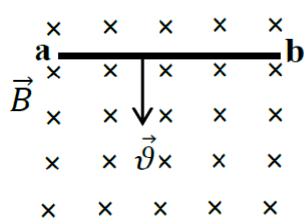
الحث الذاتي لكل جزء؟

$\frac{L}{4}$

$\frac{L}{2}$

$2L$

$4L$



5- أي مما يلي صحيح عند حركة الموصل a b بسرعة ثابتة v في الشكل المجاور؟

- يعمل الموصل كبطارية ويكون الطرف a قطبا موجبا والطرف b قطبا سالبا
- يعمل الموصل كبطارية ويكون الطرف b قطبا موجبا والطرف a قطبا سالبا
- يمر تيار كهربائي مستحث من الطرف a إلى الطرف b.
- يمر تيار كهربائي مستحث من الطرف b إلى الطرف a.