الفصل الثاني 2

الحث الكهرومغناطيسي
Electromagnetic induction

مفردات الفصل:

1-2 مقدمة في المغناطيسية

2-2 تأثير كل من المجالين الكهربائي والمغناطيسي في الجسيمات المشحونة المتحركة خلاله.

3-2 الحث الكهرومغناطيسي

4-2 اكتشاف فراداي

5-2 القوة الدافعة الكهربائية الحركية

6-2 التيار المحتث

7-2 الحث الكهرومغناطيسي ومبدأ حفظ الطاقة

8-2 الفيض المغناطيسي

9-2 قانون فراداي

10-2 قانون لنز

11-2 التيارات الدوامة

12-2 المولدات الكهربائية

13-2 المحركات الكهربائية للتيار المستمر

14-2 المحاثة

15-2 الحث الذاتي

16-2 الطاقة المختزنة في المحث

17-2 الحث المتبادل

18-2 المجالات الكهربائية المحتثة

19-2 بعض التطبيقات العملية لظاهرة الحث الكهرومغناطيسي

الأهداف السلوكية

بعد دراسة الفصل ينبغي للطالب ان يكون قادرا على ان:

- يعرف مفهوم المغناطيسية.
- يوضح تاثير كل من المجال الكهربائي والمغناطيسي في الجسيمات المشحونة المتحركة خلاله.
- يفسر ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي.
- يذكر اكتشاف فراداي.
- يتعرف على القوة الدافعه الكهربائية الحركية.
- يعرف الفيض المغناطيسي.
- يعرف قانون لنز وماهي الفائدة العملية من تطبيقه.
- يفهم عمل المولد الكهربائي.
- يقارن بين عمل مولد التيار المتناوب ومولد التيار المستمر.
- يشرح بتجربة كيفية توليد القوة الدافعه الكهربائية الذاتية على طرفي ملف.
- يتعرف ظاهرة الحث المتبادل.

المصطلحات العلمية	
Electromagnetic Induction	الحث الكهرومغناطيسي
Electromotive Force	القوة الدافعة الكهربائية
Induced Currents	التيارات المحتثة
Magnetic Flux	الفيض المغناطيسي
Motional emf	القوة الدافعة الكهربائية الحركية
Eddy Currents	التيارات الدوامة
Faraday' s Law	قانون فراداي
Lenz' s Law	قانون لنز
Electric Generator	المولد الكهربائي
Electric Motor	المحرك الكهربائي
Induced Electromotive Force	القوة الدافعة الكهربائية المحتثة
Induced Electric Fieldes	المجالات الكهربائية المحتثة
Self - Inductance	الحث الذاتي
Mutual Induction	الحث المتبادل
Inductors	المحاثات
Metal Detectors	كاشفات المعادن
Magnetic Field	المجال المغناطيسي
Moving Charges	الشحنات المتحركة
Magnetic Force	القوة المغناطيسية
Lorentz Force	قوة لورنز
Induction Stove	الطباخ الحثي
Faraday' s Discovery	اكتشاف فراداي

1-2 مقدمة في المغناطيسية

لقد تعلمت في دراستك السابقة إن المغناطيسية واحدة من المواضيع الاكثر أهمية في الفيزياء، اذ يستعمل المغناطيس الكهربائي في رفع قطع الحديد الثقيلة وفي معظم الأجهزة الكهربائية مثل (المولد ، المحرك ، مولدة الصوت، المسجل الصوتي والصوري، القيثارة الكهربائية، الحاسوب ، الرنين المغناطيسي وفي تسيير القطارات فائقة السرعة لاحظ الشكل (1)).

وقدعرفت كذلك ان المجالات المغناطيسية تتولد حول الشحنات الكهربائية المتحركة زيادة على تولدها حول المغانط الدائمة.

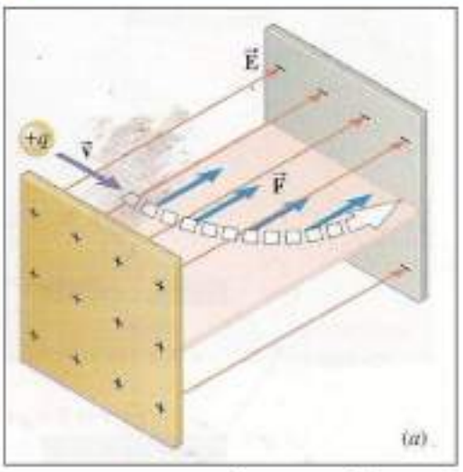
شكل (1)

2-2 تاثير كل من المجالين الكهربائي والمغناطيسي في الجسيمات المشحونة المتحركة خلاله

لو تحرك جسيم مشحون داخل مجال كهربائي منتظم تارة وتحرك الجسيم نفسه داخل مجال مغناطيسي منتظم تارة أخرى، هل تتوقع ان يكون لكل من المجالين التأثير نفسه في ذلك الجسيم ؟ وماذا يحصل لو تحرك هذا الجسيم داخل المجالين في آن واحد؟

* اذا تحرك جسيم مشحون بشحنة موجبة (q+) باتجاه عمودي على خطوط مجال كهربائي ($\vec{E}$) منتظم، فان هذا الجسيم سيتأثر بقوة كهربائية ($\vec{F}_E$) بمستوٍ موازٍ لخطوط المجال الكهربائي، لاحظ الشكل(2) الذي يوضح القوة الكهربائية التي تعطى بالعلاقة الآتية:

$$\vec{F}_E = q\vec{E}$$

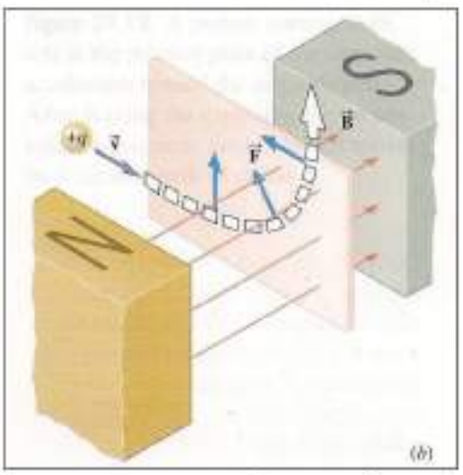


شكل (2) يوضح تأثير القوة الكهربائية في جسيم موجب الشحنة

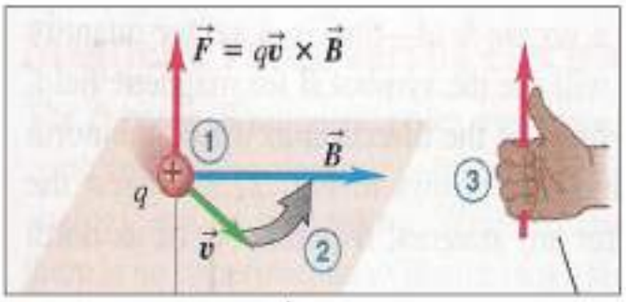
* إذا تحرك الجسيم نفسه بسرعة $\vec{v}$ باتجاه عمودي على خطوط مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه ($\vec{B}$) فسيتأثر بقوة مغناطيسية ($\vec{F}_B$) بمستوي عمودي على ذلك الفيض وسينحرف الجسيم عن مساره الأصلي ويتخذ مساراً دائرياً وذلك لكون القوة المغناطيسية تؤثر باتجاه عمودي على متجه السرعة $\vec{v}$ ، لاحظ الشكل (3).

والصيغة الاتجاهية للقوة المغناطيسية هذه تعطى بالعلاقة الآتية:

$$\vec{F}_B = q(\vec{v} \times \vec{B})$$



شكل (3) يوضح تأثير القوة المغناطيسية في جسيم موجب الشحنة

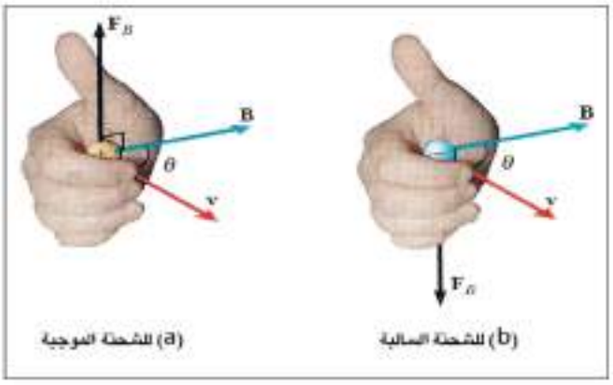


شكل (4)

ولتعيين اتجاه القوة المغناطيسية $(\bar{F}_B)$ نطبق قاعدة الكف اليمنى، لاحظ الشكل (4) (تُدوّر أصابع الكف اليمنى من اتجاه السرعة $\bar{v}$ نحو اتجاه المجال المغناطيسي $(\bar{B})$ فيشير الابهام الى اتجاه القوة $(\bar{F}_B)$).

فالقوة المغناطيسية $(\bar{F}_B)$ تؤثر دائما في اتجاه عمودي على المستوي الذي يحتوي كل من $(\bar{B}, \bar{v})$.

ويكون تأثير القوة المغناطيسية في الشحنة السالبة المتحركة في المجال المغناطيسي معاكساً لاتجاه القوة المغناطيسية المؤثرة في الشحنة الموجبة. لاحظ الشكل (5).



شكل (5)

ولحساب مقدار القوة المغناطيسية $(\bar{F}_B)$ ، نطبق العلاقة الآتية:

$$F_B = q\, v\, B \sin\theta$$

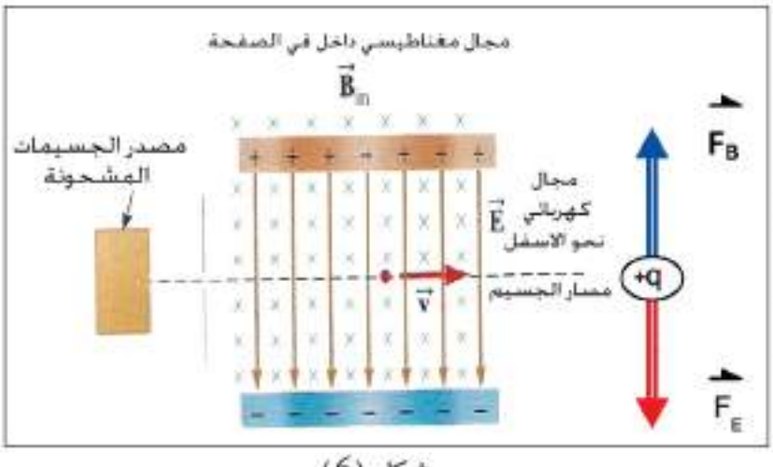
إذ إن θ تمثل الزاوية بين متجه السرعة $\bar{v}$ ومتجه كثافة الفيض المغناطيسي $(\bar{B})$

من العلاقة آنفة الذكر نجد أن وحدات كثافة الفيض المغناطيسي (B) في النظام الدولي للوحدات (SI) هي:

$(N/A.m)$ تسمى Tesla ويرمز لها (T)

فاذا كان متجه $\bar{v}$ موازيا لمتجه $(\bar{B})$ ، تكون الزاوية $\theta = 0^0$ فيكون $\sin 0^0 = 0$ وعندئذ لاتتولد قوة مغناطيسية، إذ تكون : $F_B = 0$ ؛ وإذا كانت $\theta = 90^0$ فأن أعظم قوة مغناطيسية $F_B = qvB$.

• ولنفترض وجود منطقة يؤثر فيها كل من مجال كهربائي $(\bar{E})$ منتظم ومجال مغناطيسي كثافة فيضه $(\bar{B})$ منتظمة، وفي المدة الزمنية نفسها، وعلى فرض إن المجالين متعامدان مع بعضهما مثلاً المجال الكهربائي يؤثر في مستوي هذه الصفحة والمجال المغناطيسي يؤثر عمودياً في مستوى الصفحة نحو الداخل (مبتعدا عن القارئ يمثله الرمز (X))، لاحظ الشكل (6).



شكل (6)

فعندما يقذف جسيم مشحون بشحنة موجبة $(+q)$ بسرعة $\bar{v}$ في مستوي الصفحة باتجاه عمودي على كل من المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي، فان هذا الجسيم سيتأثر فيها بقوتين احداهما قوة كهربائية $(\bar{F}_E)$ التي يؤثر فيها المجال الكهربائي $(\bar{E})$، التي تعطى بالعلاقة الآتية:

$$(\bar{F}_E = q\bar{E})$$

والأخرى قوة مغناطيسية ($\bar{F}_B$) يؤثر فيها المجال المغناطيسي ($\bar{B}$) التي تعطى بالعلاقة الآتية:

$$\bar{F}_B = q(\bar{v} \times \bar{B})$$

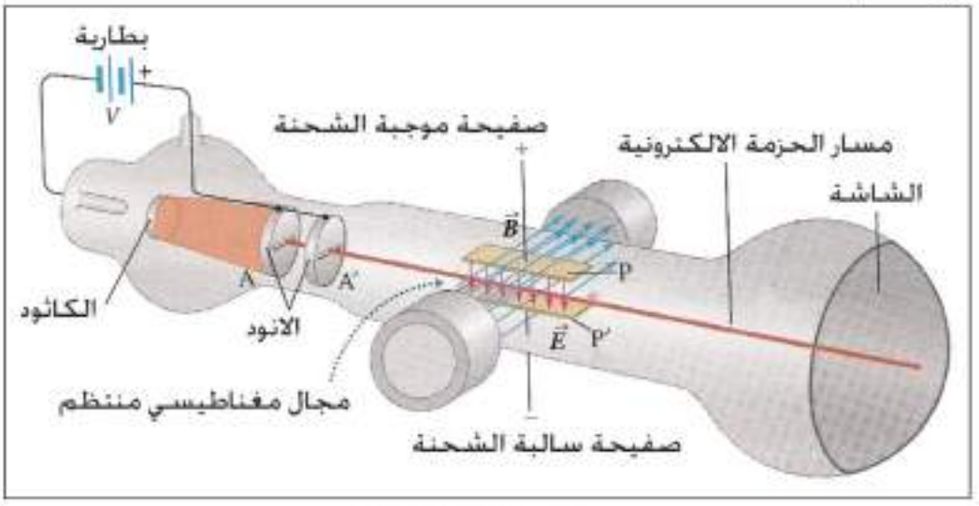
وبما إن القوة المغناطيسية ($\bar{F}_B$) تكون عمودية على كل من ($\bar{B}$, $\bar{v}$) فهي أما أن تكون باتجاه القوة الكهربائية ($\bar{F}_E$) او باتجاه معاكس لها، لاحظ الشكل (6).

ان محصلة هاتين القوتين تسمى قوة لورنز (Lorentz force).

تعطى قوة لورنز بالعلاقة الآتية:

$$\bar{F}_{Lorentz} = \bar{F}_E + \bar{F}_B$$

تستثمر قوة لورنز في بعض التطبيقات العملية ومن أمثلتها أنبوبة الأشعة الكاثودية للتحكم في مسار الحزمة الالكترونية الساقطة على الشاشة، لاحظ الشكل (7) الذي يوضح مسار حزمة ألكترونية يؤثر فيها مجالين كهربائي منتظم ومغناطيسي منتظم خلال الراسمة الكاثودية.



شكل (7) (للاطلاع)

تذكر

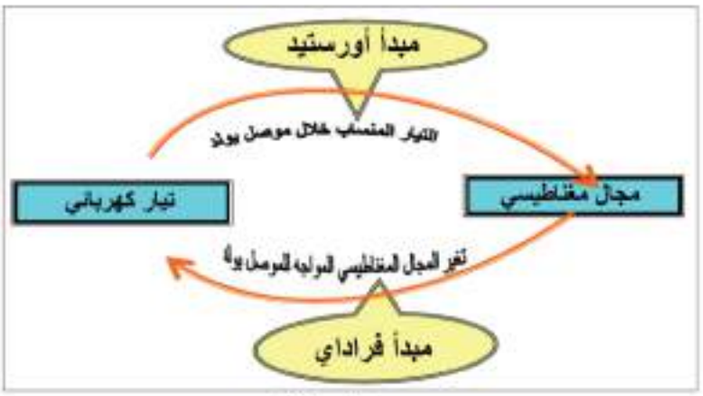
إذا تحرك جسيم مشحون بشحنة موجبة باتجاه عمودي على:

- فيض كهربائي منتظم سيتأثر الجسيم بقوة كهربائية ($\bar{F}_E = q\bar{E}$) بمستوٍ موازٍ للفيض الكهربائي.
- فيض مغناطيسي منتظم سيتأثر الجسيم بقوة مغناطيسية $\bar{F}_B = q(\bar{v} \times \bar{B})$ بمستوٍ عمودي على الفيض المغناطيسي.
- فيض كهربائي منتظم و فيض مغناطيسي منتظم في آن واحد ومتعامدان مع بعضهما سيتأثر الجسيم بمحصلة القوتين ($\bar{F}_B, \bar{F}_E$) والتي تسمى قوة لورنز .

يكون متجه القوة المغناطيسية ($\bar{F}_B$) معاكسا لمتجه القوة الكهربائية ($\bar{F}_E$) أو بالاتجاه نفسه وعلى خط فعل مشترك.

$$\bar{F}_{Lorentz} = \bar{F}_E + \bar{F}_B$$

لقد علمت في دراستك السابقة إن العالم أورستيد اكتشف في عام 1819 "إن التيار الكهربائي يولد مجالا مغناطيسيا " لذا يُعد أورستيد اول من اوجد العلاقة بين الكهربائية والمغناطيسية، واكتشافه هذا دفع العلماء إلى البحث والاستقصاء عن امكانية التوصل الى حقيقة معاكسة لذلك، وهي هل بإمكان المجال المغناطيسي ان يولد تيارا كهربائيا في دائرة كهربائية ؟ وهذا السؤال بقى محيرا للعلماء ومن غير جواب حتى عام 1831، إذ توصل العالم فراداي في انكلترا والعالم هنري في أميركا (كل على انفراد) من خلال إجراء تجارب عدة، إلى حقيقة مهمة وهي امكانية توليد تيار كهربائي في حلقة موصلة مقفلة (أو ملف من سلك موصل) وذلك بوساطة مجال مغناطيسي متغير يواجه تلك الحلقة او الملف.



شكل (8)

وهنالك طرائق عدة يستعمل فيها المجال المغناطيسي في توليد تيار كهربائي، لاحظ المخطط الموضح في الشكل (8) الذي يمثل مبدأ أورستد ومبدأ فراداي، فهما يكملان بعضهما بعضا.

الشكل (a-9) يبين لنا إحدى هذه الطرائق، إذ يُظهر الشكل ساقا مغناطيسية وملفا من سلك موصل مربوط بين طرفي أميتر رقمي (digital ammeter).

شكل (a-9)

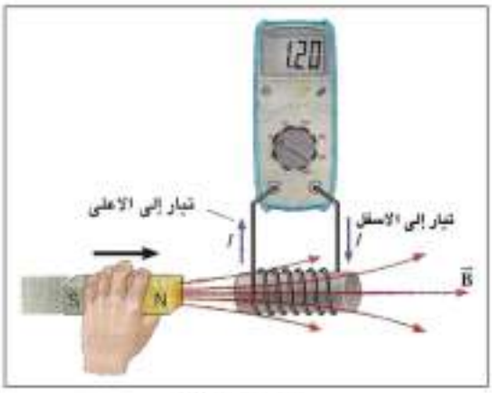
فعندما تكون الساق في حالة سكون نسبة للملف نلاحظ إن قراءة الأميتر صفرا، فما تعليل ذلك؟

إن سبب ذلك هو إن الفيض المغناطيسي Φ_B الذي يخترق الملف لايتغير مع الزمن.

وذلك لعدم توافر الحركة النسبية بين المغناطيس والملف.

لذا لاينساب تيار في الدائرة، لاحظ الشكل (a-9).

وعندما نمسك الساق المغناطيسية باليد وقطبها الشمالي مواجها لأحد وجهي الملف وندفعها نحو الملف وبموازاة محوره، ماذا يحصل؟



شكل (b-9)

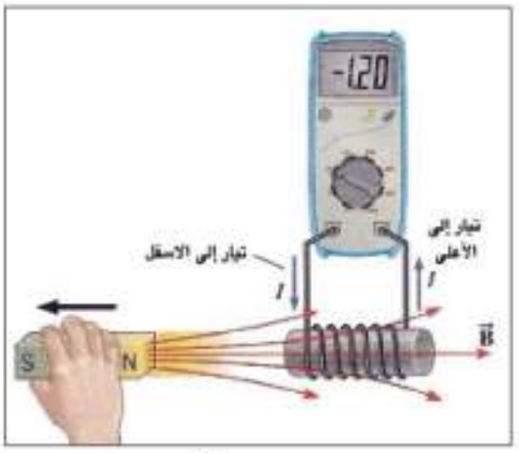
إذا تمعنا في الشكل (b-9) نعرف الجواب، نجد الاميتر يشير إلى انسياب تيار في الدائرة ويكون باتجاه معين. وتفسير ذلك هو حصول تزايد في الفيض المغناطيسي Φ_B الذي يخترق الملف في أثناء اقتراب المغناطيس من الملف.

أما لو أُبعدت الساق المغناطيسية بالسرعة نفسها وقطبها الشمالي مواجها لاحد وجهي الملف عن الملف وبموازاة محوره. هل سيشير الأميتر إلى انسياب تيار ؟ وهل أن هذا التيار يكون بالاتجاه نفسه الذي تولد في حالة اقتراب القطب الشمالي من وجه الملف؟

لاحظ الشكل (9-c) وأجب عن هذا التساؤل.

يسمى التيار المنساب في الدائرة في الحالتين بالتيار المحتث.

ويرمز له بـ (I_{ind}) فهو تولد نتيجة حصول تغير في الفيض المغناطيسي $\Delta\Phi_B$ الذي يخترق الملف لوحدة الزمن.



شكل (9-c)

لقد وجد عمليا إن مقدار التيار المحتث يزداد بازدياد:

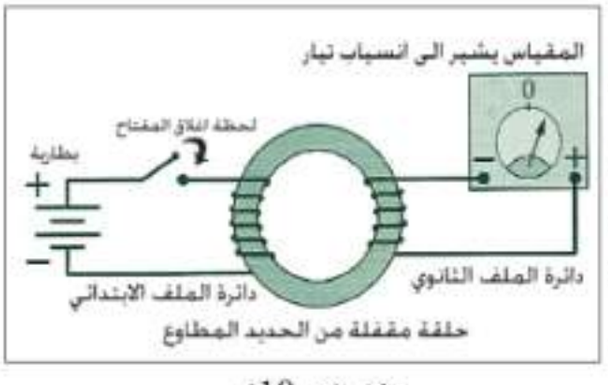
- سرعة الحركة النسبية بين القطب المغناطيسي والملف.
- عدد لفات الملف.
- مقدار الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف.
- النفوذية المغناطيسية لمادة جوف الملف (إدخال قلب من الحديد المطاوع في جوف الملف بدلا من الهواء يتسبب في ازدياد كثافة الفيض المغناطيسي).

فكر؟

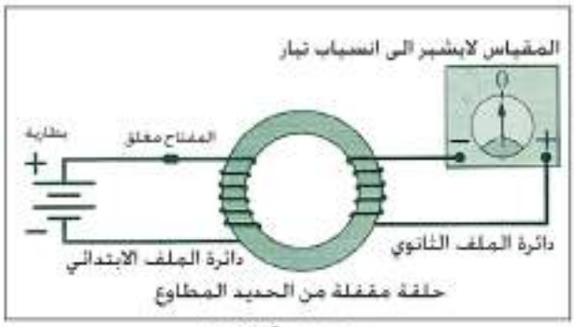
لو ثبتت الساق المغناطيسية (مع بقاء قطبها الجنوبي مواجها لاحد وجهي الملف)، ثم دفع الملف نحو الساق وبموازاة محوره. أينعكس اتجاه التيار المحتث في الملف ؟ أم يكون بالاتجاه نفسه للتيارالمتولد في حالة دفع الساق المغناطيسية نحو وجه الملف؟ ماتفسير جوابك؟

4-2 Faraday's Discovery اكتشاف فراداي

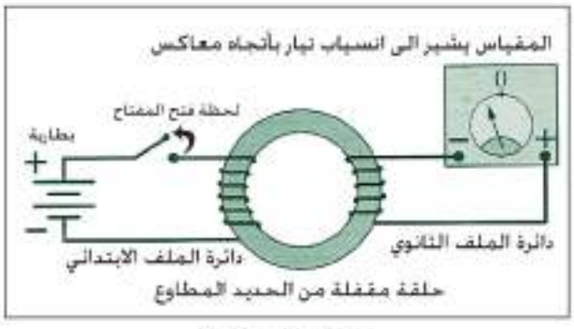
يمكن إجراء تجارب عدة في المختبر لتوضيح ما استنتجه العالم فراداي في تجربته الشهيرة في الحث الكهرومغناطيسي، ومنها نستعمل ملفين يتألفان من سلكين ملفوفين حول حلقة مقفلة من الحديد المطاوع، إذ ربط أحد الملفين على التوالي مع بطارية ومفتاح (الدائرة التي على جهة اليسار) كما تلاحظها في الشكل (10-a) وتسمى بدائرة الملف الابتدائي، في حين ربط الملف الآخر بين طرفي جهاز يتحسس بالتيارات صغيرة المقدار صفره في وسط التدريجة (الدائرة التي على جهة اليمين) وتسمى بدائرة الملف الثانوي. لاحظ فراداي انحراف مؤشر المقياس المربوط مع الملف الثانوي على أحد جانبي صفر التدريجة لحظة اغلاق المفتاح المربوط مع الملف الابتدائي ثم رجوعه إلى تدريجة الصفر لاحظ الشكل (10-a).



شكل (10-a)



شكل (10-b)



شكل (10-c)

ولعلك تتساءل عن تفسير ماحصل ؟ لقد كان انحراف مؤشر المقياس هو الدليل القاطع على انسياب تيار كهربائي في دائرة الملف الثانوي وهذا التيار قد سمي بالتيار المحتث. على الرغم من عدم توافر بطارية او مصدر للفولطية في هذه الدائرة. أما عودة مؤشر المقياس الى تدريجة الصفر بعد اغلاق المفتاح، كان بسبب ثبوت التيار المنساب في دائرة الملف الابتدائي وعندها لايحصل تغيرا في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف الثانوي لوحدة الزمن $(\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t})$. لاحظ الشكل (10-b)

كما لاحظ العالم فراداي انحراف مؤشر المقياس ثانية لحظة فتح المفتاح ولكن إلى الجانب الاخر للصفر في هذه المرة لاحظ الشكل (10-c) ثم عودته إلى تدريجة الصفر.

والذي لفت انتباه فراداي ان هذا التأثير (انسياب التيار في دائرة الثانوي) قد حصل فقط خلال مرحلتي نمو التيار و تلاشيه في دائرة الملف الابتدائي.

وبما إن عمليتي تنامي التيار وتلاشيه في دائرة الملف الابتدائي تتسببان في تزايد وتناقص الفيض المغناطيسي الذي يخترق قلب الحديد الملفوف حوله الملفين، مما جعل فراداي ينتبه إلى ضرورة توافر العامل الأساسي لتوليد التيار المحتث في دائرة مقفلة، وهو حصول تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف لوحدة الزمن.

وبناءً على ذلك استنتج فراداي ما يأتي:

" يتولد تيار محتث في دائرة كهربائية مقفلة (مثل ملف سلكي او حلقة موصلة)، فقط عندما يحصل تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق تلك الدائرة لوحدة الزمن $(\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t})$ ".

وبعد تلك المشاهدات الناجحة والمثيرة للدهشة، أعطى فراداي أخيرا تفسيرا فيزيائيا لسبب فشل المحاولات العملية التي سبقت اكتشافه في توليد تيار كهربائي بوساطة مجال مغناطيسي، إذ كانت جميع تلك المحاولات تعتمد على المجالات المغناطيسية الثابتة فقط.

ولتوضيح مفهوم ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي بعد الاكتشاف المهم لفراداي، أُجريت تجارب عدة لتوليد تيار محتث في دائرة كهربائية مقفلة لاتحتوي بطارية أو مصدرا للفولطية.

نشاط (1)

لتوضيح ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي

ادوات النشاط:

ملفان سلكيان مجوفان مختلفان في أقطارهما (يمكن ادخال احدهما في الآخر)، كلفانوميتر صفره في وسط التدريجة ، ساق مغناطيسية ، أسلاك توصيل ، بطارية ، مفتاح كهربائي.

خطوات النشاط:

أولا:

- نربط طرفي أحد الملفين بوساطة اسلاك التوصيل مع طرفي الكلفانوميتر.
- نجعل الساق المغناطيسية وقطبها الشمالي مواجها للملف وفي حالة سكون نسبة للملف. هل نلاحظ حصول انحراف لمؤشر الكلفانوميتر؟ سنجد أن مؤشرالكلفانوميتر يبقى ثابتا عند صفر التدريجة، أي لايشير الى انسياب تيار في دائرة الملف. لاحظ الشكل (11-a).

شكل (11-a)

- ندفع الساق المغناطيسية نحو وجه الملف، ثم نبعدها عنه، ماذا نلاحظ؟

نجد أن مؤشر الكلفانوميتر ينحرف على أحد جانبي صفر التدريجة (عند تقريب الساق) وينحرف باتجاه معاكس (عند ابعادها)، مشيرا إلى انسياب تيار محتث في دائرة الملف في الحالتين. لاحظ شكل (11-b).

شكل (11-b)

ثانيا:

- نربط طرفي ملف اخر (ويسمى بالملف الابتدائي) بين قطبي البطارية بوساطة اسلاك التوصيل للحصول على مغناطيس كهربائي.
- نحرك الملف المتصل بالبطارية (الملف الابتدائي) أمام وجه الملف الثانوي المتصل بالكلفانوميتر بتقريبه مرة من وجه الملف الثانوي وأبعاده مرة أخرى وبموازاة محوره. ماذا نلاحظ ؟

نجد ان مؤشر الكلفانوميتر ينحرف على أحد جانبي الصفر مرة وباتجاه معاكس مرة أخرى وبالتعاقب مشيرا الى انسياب تيار محتث في دائرة الملف الثانوي ثم عودته إلى الصفر عندما لايحصل توافر الحركة النسبية بين الملفين. لاحظ شكل (11-c).

شكل (11-c)

ثالثا:

شكل (11-d)

- نربط مفتاح كهربائي في دائرة الملف الابتدائي ونجعله مفتوحا.
- ندخل الملف الابتدائي في جوف الملف الثانوي ونحافظ على ثبوت أحد الملفين نسبة إلى الاخر. هل ينحرف مؤشر الكلفانوميتر؟
- نغلق ونفتح المفتاح في دائرة الملف الإبتدائي. ماذا نلاحظ ؟

نجد ان مؤشر الكلفانوميتر يتذبذب بانحرافه على جانبي الصفر باتجاهين متعاكسين فقط في لحظتي اغلاق وفتح المفتاح في دائرة الملف الابتدائي وعلى التعاقب، مشيرا الى انسياب تيار محتث في دائرة الملف الثانوي خلال تلك اللحظتين. لاحظ شكل (11-d).

نستنتج من كل نشاط من الانشطة الثلاث مايأتي:

- تُستحث قوة دافعة كهربائية (ε_{ind}) وينساب تيار محتث (I_{ind}) في دائرة كهربائية مقفلة (حلقة موصلة أو ملف) فقط عند حصول تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق تلك الدائرة لوحدة الزمن، (على الرغم من عدم توافر بطارية في تلك الدائرة).
- تكون قطبية القوة الدافعة الكهربائية المحتثة (ε_{ind}) واتجاه التيار المحتث (I_{ind}) في الدائرة الكهربائية باتجاه معين عند تزايد الفيض المغناطيسي الذي يخترقها ويكونان باتجاه معاكس عند تناقص هذا الفيض.

5-2 القوة الدافعة الكهربائية الحركية Motional (emf) ($\varepsilon_{motional}$)

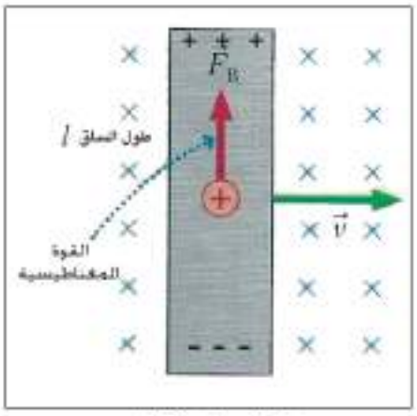
نحصل على قوة دافعة كهربائية محتثة عند تحريك ساق موصلة داخل مجال مغناطيسي منتظم تسمى بالقوة الدافعة الكهربائية الحركية. وهذه تعد حالة خاصة من حالات الحث الكهرومغناطيسي.

نتيجة لحركة الساق الموصلة داخل المجال المغناطيسي تتأثر الشحنات الموجبة للساق بقوة مغناطيسية ($F_{B1} = qvB\ \sin\theta$).

وعندما تكون حركة الساق عمودية على الفيض المغناطيسي فان هذه القوة تعطى بالعلاقة الآتية:

$$(F_{B1} = qvB)$$

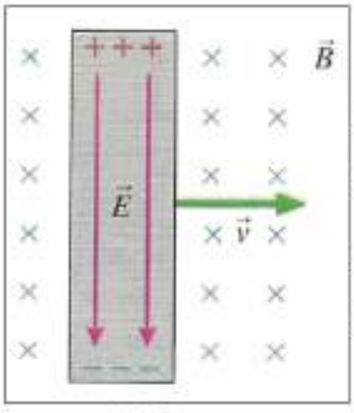
وتؤثر في اتجاه موازٍ لمحور الساق فتعمل هذه القوة على فصل الشحنات الموجبة عن الشحنات السالبة، إذ تتجمع الشحنات الموجبة في أحد طرفي الساق والشحنات السالبة في طرفها الآخر.



شكل (12-a)

الشكل (12-a) يبين تجمع الشحنات الموجبة عند طرفها العلوي والشحنات السالبة عند طرفها السفلي، وذلك على وفق قاعدة الكف اليمنى. وفي الحالة التي تكون فيها كثافة الفيض المغناطيسي $(\bar{B})$ باتجاه عمودي على الصفحة ونحو الداخل، وحُركت الساق بسرعة $\bar{v}$ نحو اليمين وفي مستوي الصفحة.

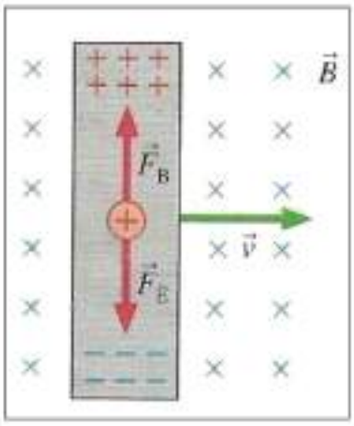
ويستمر تجمع الشحنات المختلفة في طرفي الساق مع استمرار حركتها داخل المجال المغناطيسي. فيتولد فرق جهد كهربائي بين طرفي الساق يسمى القوة الدافعة الكهربائية الحركية $(\varepsilon_{motional})$.



شكل (12-b)

فينشأ نتيجة لذلك مجال كهربائي $\bar{E}$ يتجه نحو الأسفل، لاحظ الشكل (12-b). والمجال الكهربائي المتولد سيؤثر بدوره في هذه الشحنات بقوة $(F_E = qE)$ ويتبين هنا ان اتجاه القوة التي يؤثر بها المجال الكهربائي $\bar{F}_E$ نحو الأسفل وباتجاه موازٍ لمحور الساق ايضا اذ تكون معاكسة لاتجاه القوة التي يؤثر بها المجال المغناطيسي $\bar{F}_{BI}$ في تلك الشحنة التي تؤثر نحو الأعلى، وكلا القوتين في مستوي واحد وبخط فعل مشترك. لاحظ الشكل (12-c). وعند تساوي مقداري هاتين القوتين تحصل حالة الاتزان. أي ان: $\bar{F}_E = \bar{F}_{BI}$

فتكون: $qE = q\,v\,B$



شكل (12-c)

عندئذ نحصل على العلاقة التالية: $E = v\,B$

وبما أن انحدار الجهد الكهربائي يساوي مقدار المجال الكهربائي أي

$(\Delta V / \ell = E)$

إذ أن ℓ تمثل طول الساق داخل المجال المغناطيسي فتكون: $\Delta V / \ell = v\,B$

وبهذا فان فرق الجهد الكهربائي بين طرفي الساق يكون: $(\Delta V = v\,B\ell)$

ويعتمد فرق الجهد بين طرفي الساق على مقدار كثافة الفيض المغناطيسي $\bar{B}$ والسرعة v التي تتحرك بها الساق داخل المجال المغناطيسي:

فالقوة الدافعة الحركية المتولدة على طرفي موصل طوله ℓ متحركا بسرعة v عموديا على اتجاه كثافة الفيض المغناطيسي $\bar{B}$ وتعطى بالعلاقة التالية: $\boxed{\varepsilon_{motional} = vB\ell}$

فكر:

لو انعكس اتجاه حركة الساق أو انعكس اتجاه المجال المغناطيسي، هل تنعكس قطبية القوة الدافعة الكهربائية الحركية $(\varepsilon_{motional})$.

هل

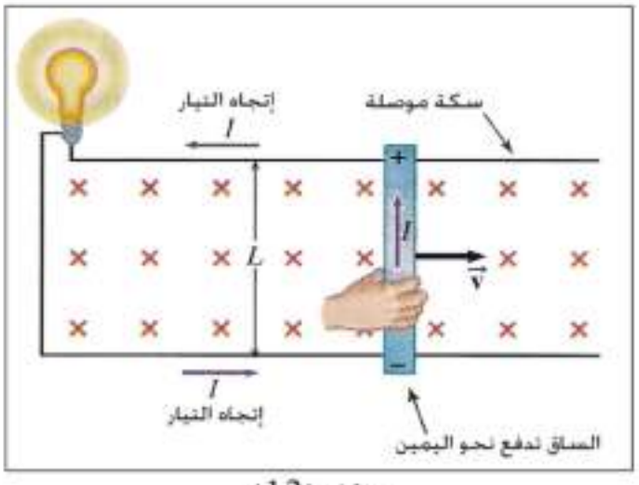
تعلم (للاطلاع)

لقد قام علماء الفضاء في عام 1996 بتجارب للافادة من المجال المغناطيسي الأرضي في توليد قوة دافعة كهربائية حركية ($\varepsilon_{motional}$) على طرفي سلك معدني طويل في أثناء حركة السلك نسبةً إلى المجال المغناطيسي الأرضي، إذ ربط أحد طرفي السلك في المركبة الفضائية كولومبيا وسحب في الفضاء.

6-2 التيار المحتث Induced Current

والآن يحق لك أن تتساءل، ما الأجراء العملي المطلوب اتخاذه لكي ينساب تيار محتث في الساق المتحركة داخل مجال مغناطيسي؟

للإجابة عن هذا السؤال .نضع هذه الساق في دائرة كهربائية مقفلة، وتتم هذه العملية بجعل الساق تنزلق بسرعة v نحو اليمين على طول سكة موصلة بشكل حرف U مربوط معها مصباح كهربائي على التوالي، وتثبت السكة على منضدة أفقية لاحظ الشكل (13). وبهذا الترتيب نجد أن الساق والسكة والمصباح يشكلان دائرة كهربائية مقفلة.



شكل (13)

فاذا سُلط مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه $\vec{B}$ باتجاه عمودي على مستوي تلك الدائرة (اتجاهه داخل الورقة مثلا كما مبين في الشكل (13))، ستتأثر الشحنات الموجبة في الساق بقوة مغناطيسية تدفعها نحو أحد طرفي الساق، والشحنات السالبة تدفع نحو طرفها الآخر، ولكن في هذه الحالة ستكون ($F_{B1} = qvB$). وبما أن الدائرة مقفلة فان الشحنات تستمر في الحركة ولا تتجمع عند طرفي الساق، ونتيجة لذلك ينساب تيار في الدائرة يسمى بالتيار المحتث. ويدل على انسياب التيار في الدائرة توهج المصباح المربوط على التوالي مع السكة.

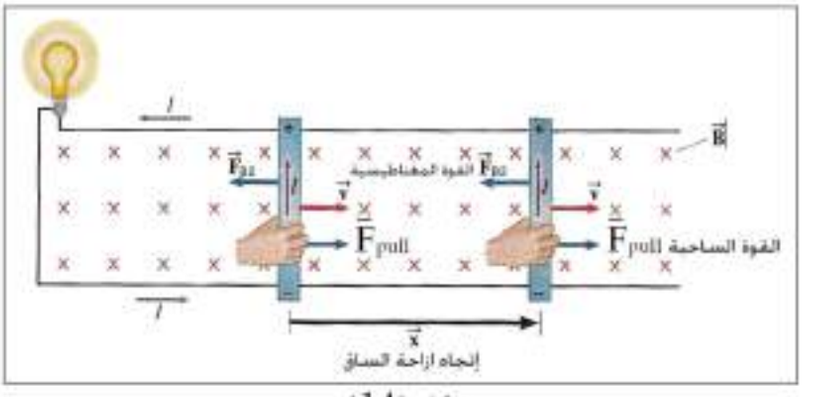
ولو طبقنا قاعدة الكف اليمنى على الشحنة الموجبة، يكون اتجاه التيار المحتث في الدائرة معاكسا لاتجاه دوران عقارب الساعة. فإذا كانت المقاومة الكلية في الدائرة (R) فان التيار المحتث في هذه الدائرة يعطى بالعلاقة الآتية:

$$I = \frac{\varepsilon_{motional}}{R} \quad \rightarrow \quad I = \frac{vB\ell}{R}$$

ونتيجة لانسياب التيار المحتث في الساق باتجاه عمودي على الفيض المغناطيسي تظهر قوة مغناطيسية (F_{B2}) تؤثر في هذه الساق تعطى بالعلاقة الآتية ($F_{B2} = I\,\ell\,B$) (التي سبق أن درستها).

وبتطبيق قاعدة الكف اليمنى نجد ان القوة $\vec{F}_{B2}$ تؤثر باتجاه عمودي على الساق ونحو اليسار اي باتجاه معاكس لاتجاه السرعة v التي تتحرك بها الساق، لذا فإن هذه القوة تعمل على عرقلة حركة الساق، فتتسبب في تباطؤ حركة الساق. لاحظ الشكل (14). ولكي نجعل هذه الساق تتحرك بسرعة ثابتة تحت هذه الظروف، يتطلب تسليط قوة خارجية $\vec{F}_{pull}$ تسحب الساق نحو اليمين ومقدارها يعطى بالعلاقة التالية:

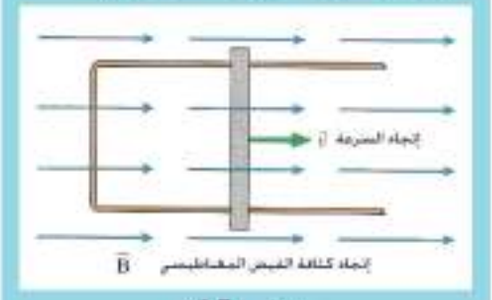
$$F_{pull} = F_{B2} = I\,\ell\,B = \left(\frac{vB\ell}{R}\right)B\ell = \frac{vB^2\ell^2}{R}$$



شكل (14)

فكر؟

هل ينساب تيار محتث في الدائرة الموضحة في الشكل (15) اذا كان جوابك نعم، عين اتجاه التيار المحتث فيها.



شكل (15)

7-2 الحث الكهرومغناطيسي ومبدأ حفظ الطاقة
Electromagnetic induction & principle of conservation of enrgy

إن عملية سحب الساق الموصلة بازاحة معينة داخل مجال مغناطيسي، تعني انه قد أنجز شغل في تحريك الساق، فما مصير الطاقة المختزنة في الساق نتيجة لذلك الشغل؟ أتبددت هذه الطاقة في الساق أم حفظت فيها أثناء حركة الساق في المجال المغناطيسي؟

للجواب عن ذلك عليك أن تتذكر معلوماتك عن القدرة (power) التي تعرف بأنها المعدل الزمني للشغل المنجز ($P = Work / time$) وبما ان القوة الساحبة قد سببت الحركة بسرعة v فان القدرة المكتسبة في الدائرة تعطى بالعلاقة التالية:

$$P = F_{pull} \cdot v = \frac{v^2B^2\ell^2}{R}$$

وهنا نجد أن الدائرة الكهربائية تتسبب في تبدد القدرة بشكل قدرة حرارية تظهر في المقاومة الكلية R في الدائرة (عناصر الدائرة واسلاك الربط)، والقدرة المتبددة ($P_{dissipated}$) في المقاومة التي ينساب فيها تيار محتث I_{ind} تعطى بالعلاقة الآتية:

$$P_{dissipated} = I^2R = \frac{v^2B^2\ell^2}{R}$$

لاحظ ان العلاقتين المذكورتين آنفاً متساويتان. ماذا يعني لك ذلك ؟

الجواب عن ذلك: يعني أن المعدل الزمني للشغل المنجز في تحريك الساق الموصلة خلال المجال المغناطيسي يساوي بالضبط القدرة المتبددة في المقاومة الكلية لهذه الدائرة بشكل حرارة او اي نوع من القدرة في الحمل. وهذا يعد تطبيقا لقانون حفظ الطاقة.

مثال (1)

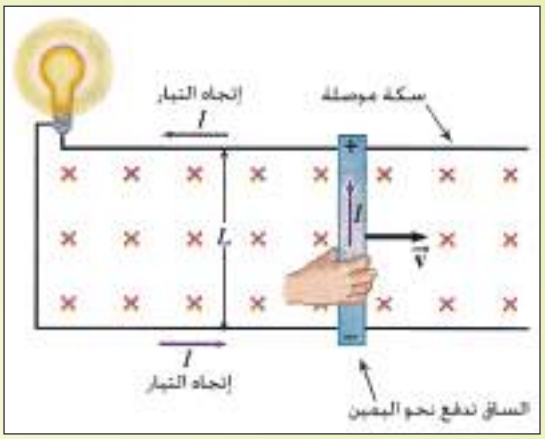
افرض أن ساقا موصلة طولها $1.6m$ انزلقت على سكة موصلة بانطلاق $5m/s$ باتجاه عمودي على مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه $0.8T$. وكانت مقاومة المصباح المربوط مع السكة على التوالي 128Ω لاحظ الشكل (16)

(اهمل المقاومة الكهربائية للساق والسكة) واحسب مقدار:

1- القوة الدافعة الكهربائية الحركية المحتثة.

2- التيار المحتث في الدائرة.

3- القدرة الكهربائية المجهزة للمصباح



شكل (16)

الحل

1- نطبق العلاقة التالية لحساب القوة الدافعة الكهربائية الحركية المحتثة:

$$\varepsilon_{motional} = vB\ell$$

$$\varepsilon_{motional} = 5m/s \times 0.8T \times 1.6m = 6.4V$$

2- نطبق العلاقة التالية لحساب التيار:

$$I_{ind} = \frac{\varepsilon_{motional}}{R} = \frac{6.4V}{128\Omega} = 0.05A$$

3- نطبق العلاقة التالية لحساب القدرة المتبددة في مقاومة الدائرة:

$$P_{dissipated} = I^2R = (0.05A)^2 \times 128\Omega = 0.32W$$

8-2 الفيض المغناطيسي Magnetic Flux

لقد عرفنا أن العامل الأساسي لتوليد القوة الدافعة الكهربائية المحتثة (ε_{ind}) هو حصول تغير في الفيض المغناطيسي (Φ_B) الذي يخترق حلقة موصلة او ملف سلكي، ويمكن تحقيق ذلك بطرائق عدة (فضلاً عمّا تعلمناه وهو توافر الحركة النسبية بين الساق المغناطيسية والحلقة الموصلة او الملف السلكي) منها:

اولاً:

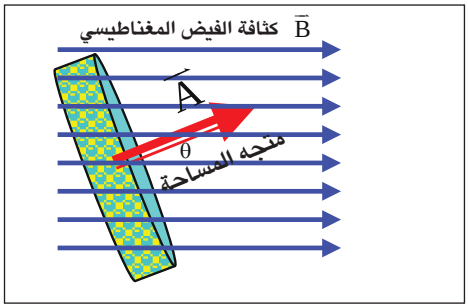
تغيير قياس الزاوية θ بين متجه المساحة $\vec{A}$ ومتجه كثافة الفيض المغناطيسي $\vec{B}$.

وابسط مثال عن ذلك دوران ملف نواة المولد الكهربائي داخل مجال مغناطيسي منتظم، لاحظ الشكل (17).

(متجه المساحة $\vec{A}$ يمثله العمود المقام على المساحة A).

شكل (17)

ولنفرض مجال مغناطيسي كثافة فيضه $\vec{B}$ منتظمة يخترق حلقة موصلة ومتجه مساحتها السطحية $\vec{A}$ يصنع زاوية حادة قياسها θ مع متجه $\vec{B}$ لاحظ الشكل (18) ففي هذه الحالة يعطى الفيض المغناطيسي Φ_B الذي يخترق تلك المساحة بالعلاقة الآتية:

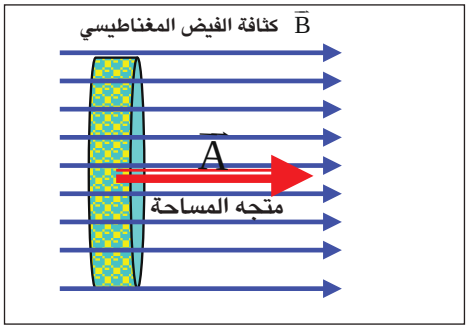


شكل (18)

$$\Phi_B = \vec{B}.\vec{A} \quad ، \text{ ومقداره: } \Phi_B = B\,A\cos\theta$$

فمركبة كثافة الفيض المغناطيسي ($B\cos\theta$) العمودية على مستوي الحلقة هي التي تحدد مقدار الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة.

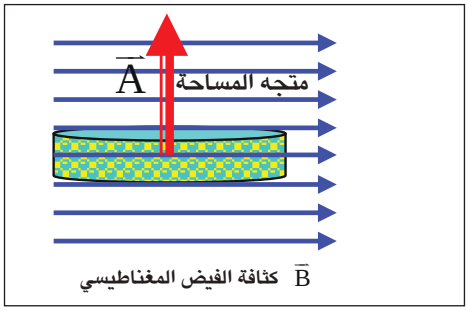
أما إذا كانت كثافة الفيض المغناطيسي $\vec{B}$ عمودية على مستوي الحلقة لاحظ الشكل (19) فيكون الفيض المغناطيسي الذي يخترق مساحة الحلقة عندئذ باعظم مقدار وفي هذه الحالة تكون الزاوية θ بين متجه المساحة $\vec{A}$ ومتجه كثافة الفيض المغناطيسي $\vec{B}$ المنتظم تساوي صفرا ($\theta=0^0$).



شكل (19)

فيكون: $\Phi_B = B\,A\cos\theta = B\,A\cos 0^\circ$

$$\Phi_B = B\,A$$



شكل (20)

وإذا كانت كثافة الفيض المغناطيسي $\vec{B}$ بموازاة مستوي الحلقة لاحظ الشكل (20) ففي هذه الحالة لايتوافر فيض مغناطيسي يخترق الحلقة.

أي أن: الزاوية θ بين متجه المساحة $\vec{A}$ ومتجه كثافة الفيض المغناطيسي $\vec{B}$ المنتظم ($\theta=90^0$) فتكون:

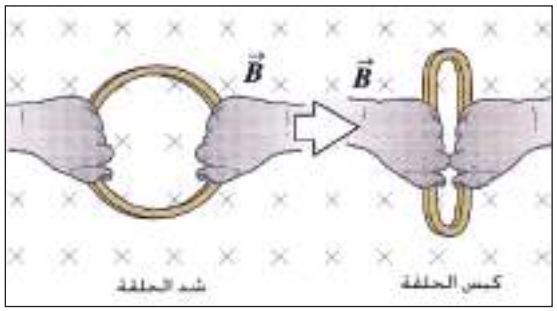
$$\Phi_B = B\,A\cos\theta = B\,A\cos 90^\circ = 0$$

$$\boxed{\Phi_B = \text{zero}}$$

ثانياً:

تغيير مساحة الحلقة المواجهة للفيض المغناطيسي Φ_B المنتظم.

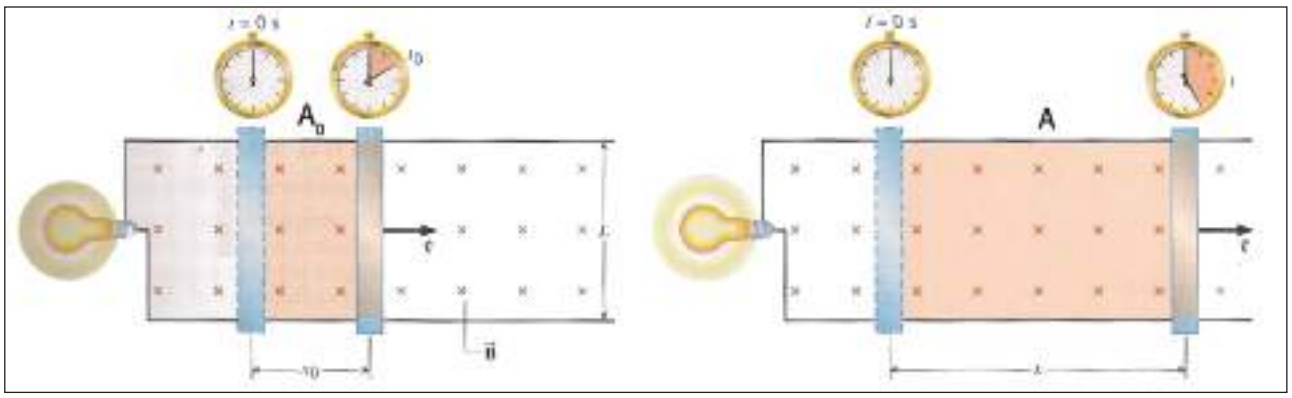
ويتم ذلك مثلا بكبس الحلقة أو شدها من جانبيها المتقابلين فتقل بذلك المساحة A، لاحظ الشكل (21-a)



شكل (21-a)

وبالإمكان زيادة المساحة وذلك بازاحة الساق الموضحة في الشكل (21-b) نحو اليمين فتتغير المساحة من $A_0 = X_0 L$ الى $A = XL$ ومنها نجد ان ($\Delta A = A - A_0$) وبهذا فإن التغير في الفيض المغناطيسي:

يعطى بالعلاقة الآتية: $\Delta\Phi_B = B.\Delta A$

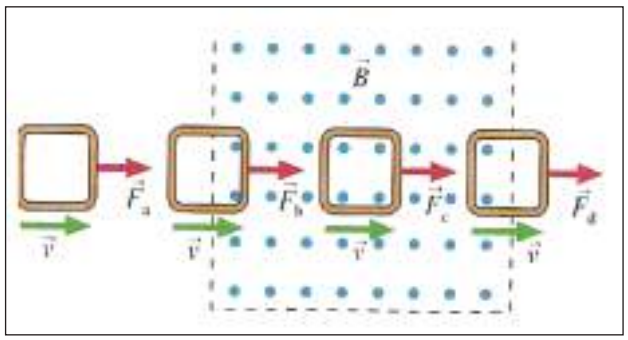


شكل (21-b)

ثالثا: بتحريك الحلقة الموصلة بمستوي عمودي على فيض مغناطيسي منتظم:

(دفع الحلقة لإدخالها في مجال مغناطيسي منتظم أو سحبها لإخراجها منه) لاحظ الشكل (22)

ينتج عن ذلك تغيرا في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة لوحدة الزمن في أثناء دخول الحلقة في المجال المغناطيسي أو في أثناء خروجها من المجال.



شكل (22)

أن وحدة الفيض المغناطيسي Φ_B في النظام الدولي للوحدات هي : Weber ويرمز لها Wb

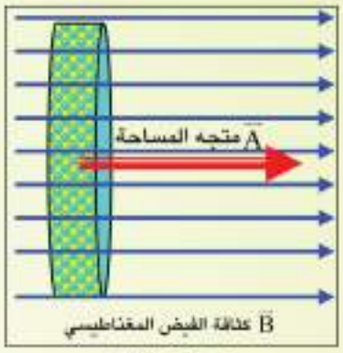
أما المعدل الزمني للتغير في الفيض المغناطيسي $(\Delta\Phi_B / \Delta t)$ في النظام الدولي للوحدات فيقاس بوحدات (Weber / second). عندئذ تكون القوة الدافعة الكهربائية المحتثة (ε_{ind}) مقاسة بوحدة Volt.

مثال (2)

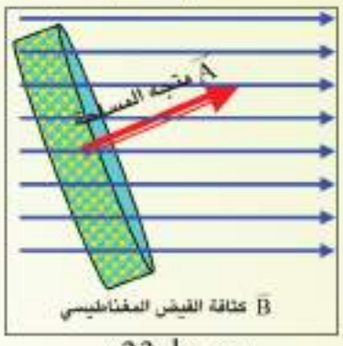
حلقة دائرية موصلة قطرها ($0.4m$) وضعت داخل مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه ($B=0.5T$) ويتجه باتجاه موازٍ لمتجه مساحة الحلقة $\overline{A}$.

a- احسب مقدار الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة لاحظ الشكل (23-a).

b- مامقدار الفيض المغناطيسي، على فرض ان الحلقة دارت باتجاه معاكس دوران عقارب الساعة لحين صار متجه المساحة $\overline{A}$ يصنع زاوية ($\theta = 45^{\circ}$) مع اتجاه كثافة الفيض المغناطيسي ($\overline{B}$). لاحظ الشكل (23-b).



شكل (23-a)



شكل (23-b)

الحل

ابتداءً نحسب مقدار مساحة الحلقة:

$$A = \pi r^2 = 3.14 \times (0.2)^2 = 12.56 \times 10^{-2} m^2$$

a- لحساب الفيض المغناطيسي عندما ($\theta = 0^{\circ}$) نطبق العلاقة الآتية:

$$\Phi_B = BA$$

$$\Phi_B = 0.5 \times 12.56 \times 10^{-2} = 6.28 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

b- بعد دوران الحلقة زاوية قياسها 45° نطبق العلاقة الآتية:

$$\Phi_B = B\,A\cos\theta = B\,A\cos 45^{\circ}$$

$$\Phi_B = 0.5 \times 12.56 \times 10^{-2} \cos 45^{\circ}$$

$$\Phi_B = 6.28 \times 10^{-2} \times 0.707 = 4.44 \times 10^{-2} \text{ Wb}$$

9-2 قانون فراداي Faraday's Law

من كل المشاهدات المذكورة أنفاً أصبح معلوماً أنه "تنشأ قوة دافعة كهربائية محتثة (ε_{ind}) وينساب تيار محتث في حلقة موصلة مقفلة اذا تغير الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة لوحدة الزمن (لاي سبب كان)".

لقد وضع فراداي قانونا في الحث الكهرومغناطيسي لايحدد ولايشترط فيه الكيفية التي يجب أن يتم فيها حصول التغير في الفيض المغناطيسي. وقانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي يعد قانونا تجريبيا وينص على ان:

"مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة (ε_{ind}) في حلقة موصلة يتناسب طرديا مع المعدل الزمني للتغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة". والصيغة الرياضية لقانون فراداي هي:

$$\varepsilon_{ind} = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

* الاشارة السالبة في قانون فراداي وضعت على وفق قانون لنز الذي (سندرسه لاحقا) للدلالة على قطبية القوة الدافعة الكهربائية المحتثة. وهذه القطبية تحدد الاتجاه الذي ينساب فيه التيار المحتث في الحلقة او الملف.

بما أن مقدار التغير في الفيض المغناطيسي يعطى بالعلاقة التالية: $\Delta\Phi_B = \Delta(B\ A\cos\theta)$

فإن أي تغير يحصل في أحد العوامل الثلاث (كثافة الفيض المغناطيسي B، المساحة A، الزاوية θ) مع الزمن او جميعها، تنشأ قوة دافعة كهربائية محتثة (ε_{ind}) واذا كان لدينا ملف سلكي بدلا من الحلقة عدد لفاته N فان قانون فراداي يعطى بالعلاقة الآتية:

$$\varepsilon_{ind} = -N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

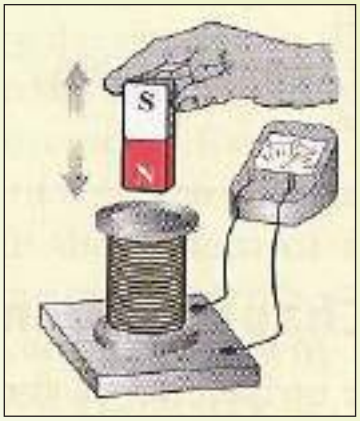
يتضح من قانون فراداي أنه تتولد قوة دافعة كهربائية محتثة (ε_{ind}) بمقدار أكبر كلما كان المعدل الزمني للتغير في الفيض المغناطيسي $\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$ الذي يخترق الحلقة أو الملف كبيرا، أما قطبية القوة الدافعة الكهربائية المحتثة فتعتمد على ذلك الفيض المغناطيسي فيما إذا كان متزايدا او متناقصا.

مثال (3)

الشكل (24) يوضح ملفاً يتألف من 50 لفة متماثلة ومساحة اللفة الواحدة ($20\ cm^2$). فاذا تغيرت كثافة الفيض المغناطيسي الذي يخترق اللفة من (0.0T الى 0.8T) خلال زمن 0.4s احسب:

1- معدل القوة الدافعة الكهربائية المحتثة (ε_{ind}) في الملف.

2- مقدار التيار المنساب في الدائرة اذا كان الملف مربوط بين طرفي كلفانوميتر و المقاومة الكلية في الدائرة (80Ω).



الشكل (24)

الحل

1- نطبق العلاقة التالية لحساب مقدار القوة الدافعة الكهربائية:

$$\varepsilon_{ind} = -N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$

$$\varepsilon_{ind} = -N\frac{A.\Delta B}{\Delta t}$$

$$\varepsilon_{ind} = -50\times(20\times10^{-4}).(0.8T - 0.0T)/0.4 = -0.2V$$

(الاشارة السالبة تدل على ان القوة الدافعة الكهربائية تعاكس المسبب الذي ولدها وهو المعدل الزمني للتغير بالفيض المغناطيسي على وفق قانون لنز).

2- لحساب التيار نطبق العلاقة الآتية:

$$I = \frac{\varepsilon_{ind}}{R} = \frac{0.2}{80} = 2.5\times10^{-3}A$$

تذكر

لكي ينساب تيار كهربائي في دائرة مقفلة، يجب أن يتوافر في تلك الدائرة مصدر للقوة الدافعة الكهربائية (تجهزها مثلا بطارية او مولد في تلك الدائرة).

- ولكي ينساب تيار محتث في دائرة مقفلة، مثل حلقة موصلة مقفلة او ملف (لاتحتوي بطارية او مولد)، يجب أن تتوافر قوة دافعة كهربائية محتثة، والتي تتولد بوساطة تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق تلك الحلقة لوحدة الزمن.

10-2 قانون لنز Lenz's Law

بعد دراستنا لقانون فراداي توضح لنا، كيف يمكننا عمليا توليد تيار محتث في دائرة كهربائية مقفلة .ولكن يبقى سؤال يطرح نفسه، هل أن تحديد اتجاه التيار المحتث في الدائرة الكهربائية له مغزى كبير ؟

وما هو تأثير المجال المغناطيسي الذي يولده التيار المحتث (المجال المغناطيسي المحتث) في العامل الأساسي الذي ولّد هذا التيار؟

لقد أجاب العالم لنز عن هذين السؤالين من خلال قانونه الشهير (يسمى قانون لنز)، الذي ينص على أن:

" التيار المحتث في دائرة كهربائية مقفلة يمتلك اتجاها بحيث ان مجاله المغناطيسي المحتث يكون معاكسا بتأثيره للتغير في الفيض المغناطيسي الذي ولد هذا التيار "

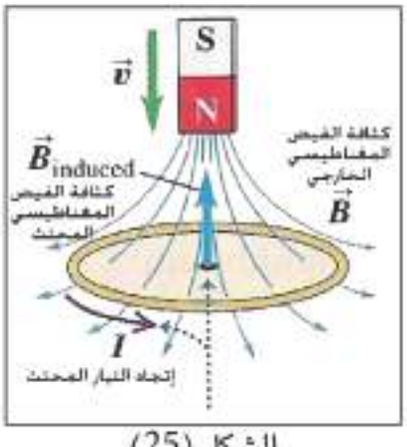
لذا يعد قانون لنز الطريقة الملائمة التي تعين فيها اتجاه التيار المحتث في حلقة موصلة مقفلة. ولكي نفهم قانون لنز عمليا وبوضوح أكثر، نبحث عن اجابة للسؤال:

كيف يمكن للتيار المحتث ان يولد مجالا مغناطيسيا محتثا يعاكس بتأثيره للمسبب الذي ولده؟

الاجابة عن ذلك، نعمل على تحريك ساق مغناطيسية بالقرب من وجه حلقة موصلة مقفلة وبموازاة محورها العمودي على وجهيها والمار من مركزها.

فإذا كان القطب الشمالي للساق مواجها للحلقة:

a- عند تقريب القطب الشمالي من وجه الحلقة يتسبب في ازدياد الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة $(\Delta\Phi_B/\Delta t > 0)$. واتجاه كثافة الفيض المغناطيسي المؤثر $\vec{B}$ نحو الأسفل ومتزايدة بالمقدار $(\Delta B/\Delta t > 0)$. لاحظ الشكل (25)



الشكل (25)

لذا يكون اتجاه التيار المحتث معاكسا لاتجاه دوران عقارب الساعة (على وفق قاعدة الكف اليمنى للملف). فيولد مجالا مغناطيسيا محتثا كثافته $(\vec{B}_{ind})$، اتجاهه نحو الاعلى. فيكون معاكسا لاتجاه الفيض المغناطيسي المؤثر نفسه، لكي يقاوم التزايد في الفيض المغناطيسي الذي ولد التيار المحتث. اي يتولد في وجه الحلقة المقابل للقطب الشمالي N قطبا شماليا N يتنافر مع القطب الشمالي المقترب منه (على وفق قانون لنز).

b- عند ابعاد القطب الشمالي عن وجه الحلقة يتسبب في تناقص الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة. واتجاه كثافة الفيض المغناطيسي المؤثر $\overline{B}$ نحو الاسفل. ومتناقصة بالمقدار $(\Delta\Phi_B / \Delta t < 0)$. لاحظ الشكل (26)

الشكل (26)

لذا يكون اتجاه التيار المحتث مع اتجاه دوران عقارب الساعة (على وفق قاعدة الكف اليمنى للملف). فيولد فيضا مغناطيسيا محتثا كثافته ($\overline{B}_{ind}$) اتجاهه نحو الاسفل، فيكون باتجاه الفيض المغناطيسي المؤثر $\overline{B}$ نفسه، لكي يقاوم التناقص في الفيض المغناطيسي الذي ولد التيار المحتث. أيّ يتولد في وجه الحلقة المقابل للقطب الشمالي قطبا جنوبياً S لكي يتجاذب مع القطب الشمالي N المبتعد عنه (على وفق قانون لنز).

لعلك تتساءل ما الفائدة العملية من تطبيق قانون لنز؟

يفيدنا قانون لنز في تعيين اتجاه التيار المحتث في دائرة كهربائية مقفلة، كما وأنه يعد تطبيقا لقانون حفظ الطاقة.

لأنه في كلتا الحالتين (اقتراب المغناطيس او ابتعاد المغناطيس نسبة للحلقة) يتطلب إنجاز شغل ميكانيكي، ويتحول الشغل المنجز إلى نوع أخر من الطاقة في الحمل (عندما تكون الحلقة مربوطة بحمل) ويعد ذلك تطبيقا لقانون حفظ الطاقة.

تذكر

عليك التمييز بين كثافة الفيض المغناطيسي الخارجي $\overline{B}$ الذي يتسبب تغير فيضه في توليد تيار محتث في دائرة كهربائية مقفلة وذلك على وفق قانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي.

وبين كثافة الفيض المغناطسيسي المحتث ($\overline{B}_{ind}$) (الذي ولده التيار المحتث) الذي يعاكس بتأثيره التغير بالفيض المغناطيسي الخارجي (العامل المسبب لتوليد التيار المحتث) على وفق قانون لنز.

فكر:

افرض أن ساقا مغناطيسية سقطت سقوطا حرا نحو الأسفل وهي بوضع شاقولي، وتحتها حلقة واسعة من النحاس مقفلة ومثبتة افقيا، (باهمال مقاومة الهواء). لاحظ الشكل (27).

الشكل (27)

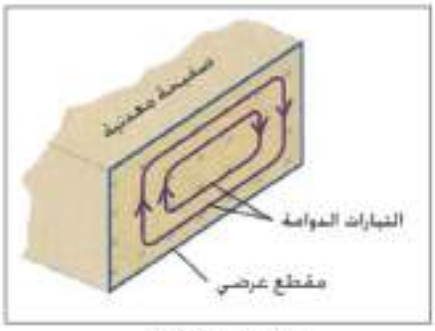
1- أتسقط هذه الساق بتعجيل يساوي تعجيل الجاذبية الأرضية ؟

أم أكبر منه ؟ أم أصغر؟

2- عين اتجاه القوة المغناطيسية التي تؤثر فيها الحلقة على الساق في أثناء اقتراب الساق من الحلقة.

نـلاحظ فـي عـدد مـن الأجهزة الكهربائية [المحركات، المقاييس الكهربائية مثل الميزان الموضح في الشكل (28)، كاشفات المعادن، مكابح بعض عربات القطارات أو السيارات وغيرها] وجود صفائح معدنية ثابتة توضع مواجهة لفيض مغناطيسي متغيرا مع الزمن أو تكون تلك الصفائح متحركة نسبة لمجال مغناطيسي منتظم، لذا ستتعرض تلك الصفائح دائما لفيض مغناطيسي متغير مع الزمن وعلى وفق قانون الحث الكهرومغناطيسي لفراداي تنشأ قوة دافعة كهربائية محتثة (ε_{ind}) وينساب تيار محتث في تلك الصفائح وهذه التيارات تتخذ مسارات دائرية مقفلة ومتمركزة تقع في مستوي كل صفيحة وبمستويات عمودية على الفيض المغناطيسي Φ_B المسبب لها، لاحظ الشكل (29)، تسمى هذه التيارات بالتيارات الدوّامة (وهي تشبه التيارات الدوامة المتولدة في الماء والهواء).

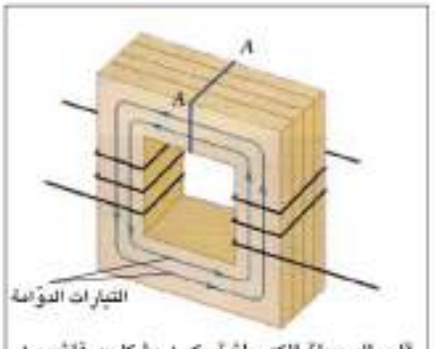
الشكل (28)



الشكل (29)

من مضار التيارات الدوامة انها تتسبب في فقدان طاقة بشكل حرارة في الأجهزة أو في قلب الحديد للملفات التي تتولد فيها على وفق قانون جول.

ولغرض تقليل مقدار الطاقة المتبددة بشكل حرارة كما في المحولات (مثلا) يصنع القلب بشكل صفائح من الحديد المطاوع، ترتب بموازاة الفيض المغناطيسي Φ_B المتغير الذي يخترقها، وتكون هذه الصفائح معزولة عن بعضها ومكبوسة كبسا شديدا، لاحظ الشكل (30) فتزداد بذلك المقاومة الكهربائية إلى حد كبير داخل تلك الصفائح ويقل تبعا لذلك مقدار التيارات الدوامة.



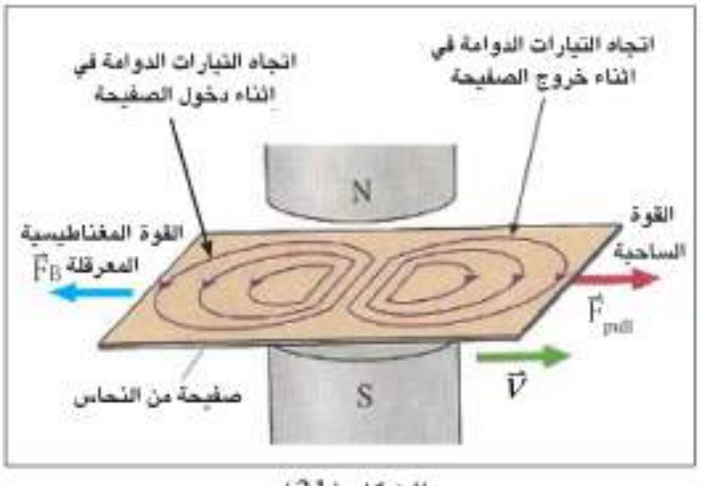
قلب المحولة الكهربائية يكون بشكل صفائح من الحديد المطاوع معزولة ومكبوسة مع بعضها

الشكل (30)

ولعلك تتساءل عن سبب نشوء التيارات الدوامة في الموصلات؟ وما تاثير المجالات المغناطيسية التي تولدها ؟ وكيفية استثمارها في التقنيات الحديثة؟

لتوضيح ذلك لاحظ الشكل (31) الذي يبين صفيحة من النحاس سحبت أفقيا بين قطبي مغناطيس كهربائي كثافة فيضه $\vec{B}$ منتظمة تتجه نحو الأسفل.

ونتيجة للحركة النسبية بين الصفيحة المعدنية والفيض المغناطيسي تتولد تيارات دوامة في سطح الصفيحة على وفق قانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي.



الشكل (31)

ففي أثناء خروج الجزء الأيمن للصفيحة من المجال المغناطيسي، يتناقص الفيض المغناطيسي خلالها، لذا يكون اتجاه التيارات الدوامة باتجاه دوران عقارب الساعة، لكي تولد فيضا مغناطيسيا محتثا (كثافته $\vec{B}_{ind}$) يعاكس المسبب الذي ولد تلك التيارات على وفق قانون لنز. فيكون اتجاه الفيض المغناطيسي المحتث نحو الاسفل (لكي يعمل على تقوية المجال المغناطيسي المؤثرالمتناقص). أما جزء الصفيحة الايسر، فيكون اتجاه التيارات الدوامة فيه باتجاه معاكسا لدوران عقارب الساعة للسبب نفسه.

وبالنتيجة تظهر قوة مغناطيسية ($\vec{F}_B$) تتجه نحو اليساروتكون معاكسة للقوة الساحبة فهي قوة معرقلة لاتجاه الحركة، (أيّ تعاكس القوة الساحبة للساق ($\vec{F}_{pull}$).

لتوضيح كيفية تقليل مقدار التيارات الدوامة في الموصلات نجري النشاط الآتي:

نشاط (2)

يبين كيفية تقليل تأثير التيارات الدوامة المتولدة في الموصلات.

أدوات النشاط:

بندولان متماثلان كل منهما بشكل صفيحة مصنوعة من مادة موصلة ضعيفة التمغنط (ليست فيرومغناطيسية من الألمنيوم مثلا) مثبتة بطرف ساق خفيفة من المادة نفسها. إحدى الصفيحتين مقطعة بشكل شرائح معزولة عن بعضها مثل أسنان المشط والأخرى كاملة (غير مقطعة). مغناطيس دائم قوي (كثافة فيضه عالية)، حامل.

خطوات النشاط:

- نزيح الصفيحتين بإزاحة متساوية إلى أحد جانبي موقع استقرارهما.
- نترك الصفيحتين في آن واحد لتهتز كل منهما بحرية بين قطبي المغناطيس

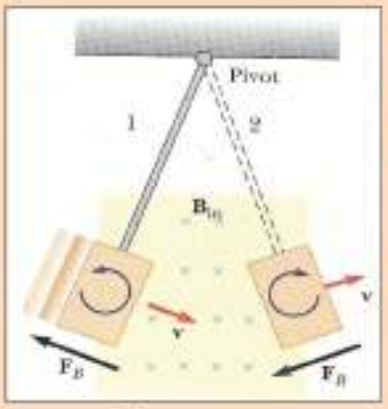
ماذا تتوقع ؟ أيهتز البندولان بالسعة نفسها ؟ أم يختلفان ؟ وما سبب ذلك ؟

الجواب عن ذلك يتوضح من مشاهدتنا للبندولين: إذ نجد أن البندول الذي يتألف من الصفيحة الكاملة (غير المقطعة) يتوقف عن الحركة في أثناء مروره خلال الفجوة بين القطبين المغناطيسيين، في حين الصفيحة المقطعة بشكل أسنان المشط تمر بين القطبين المغناطيسيين وتعبر إلى الجانب الآخر وتستمر بالاهتزاز على جانبي منطقة المجال المغناطيسي ذهابا وإيابا ولكن بتباطؤ قليل. لاحظ الشكل (32).

الشكل (32)

نستنتج من النشاط:

تتولد تيارات دوامة كبيرة المقدار في الصفيحة غير المقطعة في أثناء دخولها المجال المغناطيسي بين القطبين فتكون باتجاه معين، نتيجة حصول تزايداً في الفيض المغناطيسي الذي يخترقها لوحدة الزمن $(\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t})$ (على وفق قانون فراداي)، وتكون باتجاه معاكس في اثناء خروجها من المجال، نتيجة حصول تناقصا في الفيض المغناطيسي $(\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t})$ فتتولد في الحالتين قوة مغناطيسية $\vec{F}_B$ تعرقل حركة الصفيحة (على وفق قانون لنز) وبالنتيجة تتلاشى سعة اهتزاز الصفيحة وتتوقف عن الاهتزاز. لاحظ الشكل (33). في حين إن التيارات الدوامة المتولدة في الصفيحة المقطعة بشكل شرائح تكون صغيرة المقدار جدا فيكون تأثيرها في اهتزاز الصفيحة ضعيفا جدا.

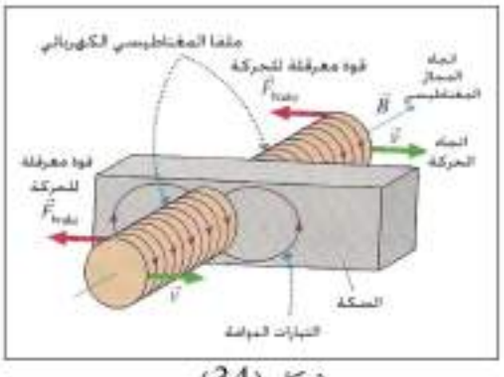


الشكل (33)

فكر؟

ما مصير طاقة اهتزاز الصفيحة الكاملة (غير المقطعة) داخل مجال مغناطيسي بعد توقفها عن الاهتزاز؟

تستثمر التيارات الدوامة في مكابح بعض القطارات الحديثة إذ توضع ملفات سلكية (كل منها يعمل كمغناطيس كهربائي) مقابل قضبان السكة، لاحظ الشكل (34) ففي الحركة الاعتيادية لا ينساب تيار كهربائي في تلك الملفات، ولايقاف القطار عن الحركة تغلق الدائرة الكهربائية لتلك الملفات فينساب تيار كهربائي في تلك الملفات وهذا التيار يولد مجالا مغناطيسيا قويا يمر خلال قضبان الحديد للسكة، ونتيجة للحركة النسبية بين المجال المغناطيسي والقضبان تتولد تيارات دوامة فيها.

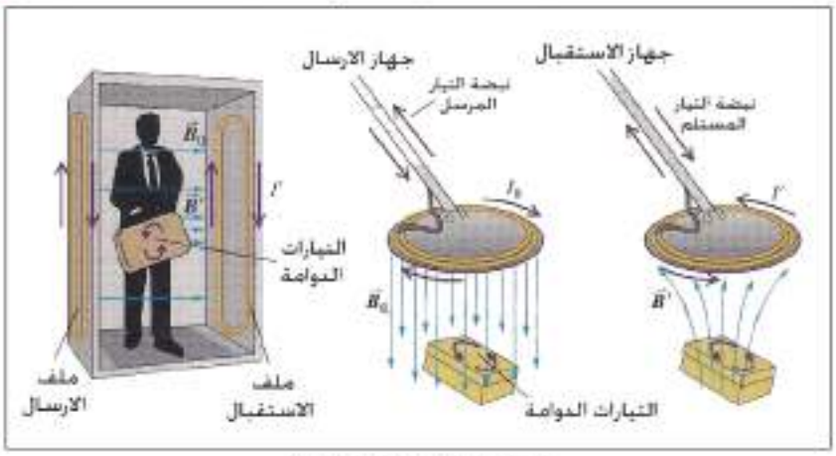


شكل (34)

وعلى وفق قانون لنز تولد هذه التيارات مجالا مغناطيسيا يعرقل تلك الحركة وهو السبب الذي ولدها. فيتوقف القطار عن الحركة.

وكذلك تستثمر التيارات الدوامة في كاشفات المعادن المستعملة حديثا في نقاط التفتيش الامنية وخاصة في المطارات. يعتمد عمل كاشفات المعادن على ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي الـتي تسمى غالبا الحث النبضي (pulse induction).

يحتوي جهاز كاشف المعادن على ملفين سلكيين أحدهما يستعمل كمرسل والآخر مستقبل، لاحظ الشكل (35) يسلط فرق جهد متناوب على طرفي ملف الأرسال فينساب في الملف تيار متناوب الـذي بدوره يولد فيضاً مغناطيسيا



شكل (35) (للاطلاع)

متناوبا، وهذا الفيض المتغير مع الزمن يحث تيارا في ملف الاستقبال ويقاس مقدار هذا التيار ابتداءا في الحالة التي لا تتوافر عندها اية مادة بين الملفين عدا الهواء.

فعند مرور أي جسم موصل معدني (لايشترط أن يكون بشكل صفيحة) بين المستقبل والمرسل، سوف تتولد تيارات دوامة في ذلك الجسم المعدني فتعمل التيارات الدوامة المحتثة في الجسم المعدني على عرقلة التغير الحاصل في الفيض المغناطيسي المتولد في ملف الاستقبال وهذا يتسبب في تقليل التيار الابتدائي المقاس في المستقبل عما كان عليه في حالة وجود الهواء بين الملفين، وبهذا التأثير يمكن الكشف عن وجود القطع المعدنية في الحقائب اليدوية او في ملابس الشخص.

تستعمل كاشفات المعادن أيضا للسيطرة على الإشارات الضوئية المنصوبة في تقاطعات بعض الطرق البرية.

12-2 Electric generators المولدات الكهربائية

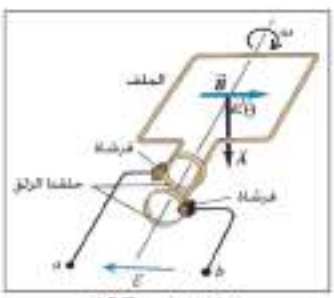
شكل (36)

في بعض محطات انتاج الطاقة الكهربائية، لاحظ الشكل (36) تعمل المولدات الكهربائية على تحويل الطاقة الميكانيكية الى طاقة كهربائية بتأثير مجال مغناطيسي. وتكون المولدات الكهربائية بنوعين:

1- مولد التيار المتناوب (ac) (احادي الطور او ثلاثي الطور).

2- مولد التيار المستمر (dc).

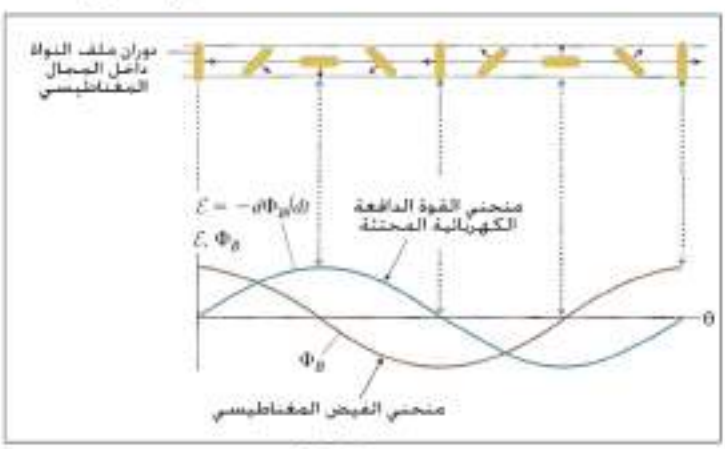
1- مولد التيار المتناوب (ac-احادي الطور) Singl-phase (ac) generator



شكل (37-a)

تربط مع طرفي ملف النواة حلقتان معدنيتان تسميان بحلقتي الزلق وتوصلان مع الدائرة الخارجية بوساطة فرشتان من الكاربون (كما عرفت في دراستك السابقة)

الشكل (37-a) يبين ملفاً سلكياً لنواة مولد كهربائي متناوب أحادي الطور تدور داخل مجال مغناطيسي منتظم.



شكل (37-b)

وعند دوران الملف بسرعة زاوية ω منتظمة داخل مجال مغناطيسي كثافة فيضه B منتظمة ومساحة اللفة الواحدة منه A الشكل (37-b) (وكما علمت سابقا). والفيض المغناطيسي الذي يخترق اللفة الواحدة من الملف عند أية لحظة زمنية يعطى بالعلاقة الآتية:

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

تقاس السرعة الزاوية ω بوحدات rad/s، ويقاس التردد f بوحدة Hertz يرمز لها (Hz)

وبما أن المعدل الزمني للتغير في الإزاحة الزاوية يمثل السرعة الزاوية $(\omega = \Delta\theta / \Delta t)$ وعندما تكون السرعة الزاوية منتظمة فإن $(\theta = \omega t)$ فأن الفيض المغناطيسي الذي يخترق اللفة الواحدة عندئذ ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\Phi_B = B\,A\cos(\omega t)$$

فهو دالة جيب تمام $\cos(\omega t)$ تتغير مع الزمن.

أما المعدل الزمني للتغير بالفيض المغناطيسي الذي يخترق اللفة الواحدة فيعطى بالعلاقة الآتية:

$$\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -B\,A\,\omega\sin(\omega t)$$

علماً بأن: $\left[\frac{\Delta[\cos(\omega t)]}{\Delta t} = -\omega\sin(\omega t)\right]$

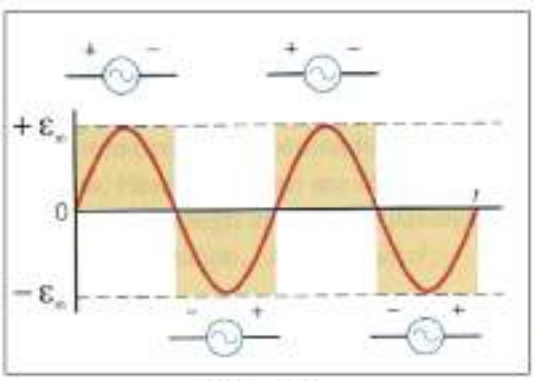
وعلى وفق قانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي فإن القوة الدافعة الكهربائية المحتثة (ε_{ind}) في الملف تكون:

$$\varepsilon_{ind} = -N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -N\{-BA\omega\sin(\omega t)\}$$

ومن ثم تعطى القوة الدافعة الكهربائية المحتثة على طرفي ملف بالعلاقة الآتية:

$$\varepsilon_{ind} = N\,B\,A\,\omega\sin(\omega t)$$

اذ ان: $\omega = 2\pi f$



شكل (38)

أن المعادلة المذكورة آنفاً يتبين فيها أن القوة الدافعة الكهربائية المحتثة تتغير (Sinusoidally جيبيا) مع الزمن فهي دالة جيبية، لاحظ الشكل (38).

والفولطية الانية (اللحظية) ε تعطى بالعلاقة الآتية:

$$\varepsilon = \varepsilon_{max}\sin(\omega t)$$

إذ تأخذ بالازدياد تدريجيا من الصفر عند $(t - 0)$، حتى تصل مقدارها الاعظم $\varepsilon_{(max)}$ بعد ربع دورة فيكون $(\omega t = \pi/2)$ عندها: $\sin(\omega t) = \sin\pi/2 = 1$

وعندها $\varepsilon_{instantinus} = \varepsilon_{(max)}$ أي أنّ $\varepsilon_{(max)} = N\,B\,A\,\omega$

ويسمى المقدار الأعظم للقوة الدافعة الكهربائية المحتثة (ε_{max}) بذروة الفولطية المحتثة.

ثم تتناقص تدريجيا حتى تصل الصفر مرة أخرى في اللحظة التي تكون عندها $(\omega t = \pi)$.

ثم يأخذ مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة ε_{ind} بالإزدياد تدريجيا بالاتجاه السالب حتى تصل مقدارها

الاعظم في اللحظة التي عندها تكون $(\omega t = 3\pi / 2)$ وبعدها يهبط مقدارها تدريجيا إلى الصفر عندما يكمل الملف دورة كاملة أي عند اللحظة التي عندها تكون $(\omega t = 2\pi)$.

من الشكل (38) نجد أن قطبية القوة الدافعة الكهربائية تنعكس مرتين في الدورة الواحدة، وعند ربط طرفي الملف بدائرة خارجية، ذات المقاومة الكلية R.

فان التيار في هذه الدائرة يعطى بالعلاقة الاتية:

$$I = \frac{\varepsilon_{ind}}{R} = \frac{N\,B\,A\,\omega \sin(\omega t)}{R}$$

والمقدار الاعظم للتيار المحتث يعطى بالعلاقة الآتية:

$$I_{(max)} = N\,B\,A\,\omega / R$$

ويكون التيار الخارج من ملف هذا المولد، تيار متناوب جيبي الموجة ويعطى بالعلاقة التالية:

$$I = I_{max} \sin(\omega t)$$

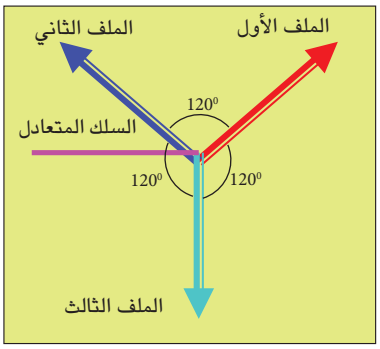
اذ ان : (I) تمثل التيار الآني او يسمى التيار اللحظي.

I_{max} تمثل المقدار الاعظم للتيار

مولد تيار متناوب ذي الاطوار الثلاثة Three phase (ac) Generator

يتألف من ثلاثة ملفات حول النواة تربط ربطا نجميا لاحظ الشكل (39)، تفصل بينها زوايا متساوية قياس كل منها (120^0) وتربط أطرافها الأخرى مع سلك يسمى بالسلك المتعادل (او الخط الصفري) والتيار الخارج من هذا المولد ينقل بثلاثة خطوط.

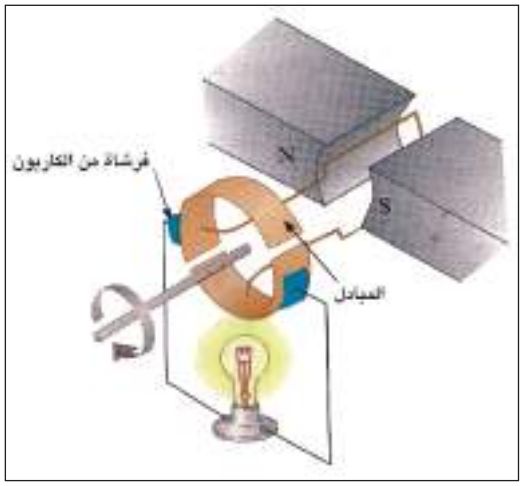
ومثل هذا المولد يجهز تيارا متناوبا ذا مقدار اكبر من التيار الذي يجهزه مولد التيار المتناوب احادي الطور.



شكل (39)

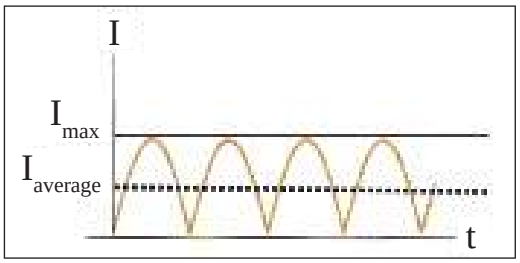
2- مولد التيار المستمر (dc- generator)

لكي نجعل التيار المنساب في الدائرة الخارجية للملف باتجاه واحد (يحافظ على اتجاهه ثابتا)، يتطلب أن نرفع الحلقتين المعدنيتين (حلقتا الزلق) ونضع في طرفي الملف حلقة معدنية واحدة تتألف من نصفين معزولين عن بعضهما عزلا كهربائيا تسميان المبادل، لاحظ الشكل (40) ويتماسان مع فرشاتين من الكاربون لغرض ربط الملف مع الدائرة الخارجية، ويكون عدد قطع المبادل ضعف عدد ملفات المولد.



شكل (40)

ويكون التيار الناتج من هذا المولد، تيار نبضي الشكل، لاحظ الشكل (41)



شكل (41)

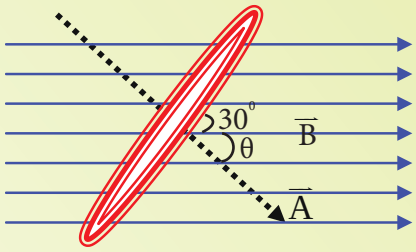
ويعطى المقدار المتوسط ($I_{average}$) لهذا التيار بالعلاقة الآتية:

$$I_{average} = 0.636\ I_{max}$$

ولجعل التيار الخارج من مولد التيار المستمر ذي الملف الواحد أقرب الى تيار النضيدة (ثابت المقدار تقريبا) نزيد عدد الملفات حول النواة تحصر بينها زوايا متساوية.

مثال (4)

في الشكل (42) ملف سلكي يتألف من 500 لفة دائرية قطرها (4cm) وضع بين قطبي مغناطيس، ذي فيض مغناطيسي منتظم، عندما كان الفيض المغناطيسي يصنع زاوية 30^0 مع مستوى اللفة، فإذا تناقصت كثافة الفيض المغناطيسي خلال اللفة بمعدل $0.2T/s$. احسب معدل القوة الدافعة الكهربائية المحتثة على طرفي الملف.



شكل (42)

الحل

في العلاقة التالية للفيض المغناطيسي $\Phi_B = B\,A\cos\theta$

تكون الزاوية θ في القانون اعلاه محصورة بين متجه المساحة $\vec{A}$ ومتجه كثافة الفيض المغناطيسي $\vec{B}$ والزاوية المعطاة بالسؤال تقع بين مستوي الملف وكثافة الفيض المغناطيسي $\vec{B}$

لذا فإن $\theta = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$

$$\varepsilon_{ind} = -N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t} = -N\,A\cos\theta\times(\Delta B/\Delta t)$$

نحسب مقدار مساحة الملف: $A = \pi r^2 = 3.14\times(4\times10^{-4}) = 12.56\times10^{-4}\,m^2$

$$\varepsilon_{ind} = -N\,A\cos\theta\times(\Delta B/\Delta t)$$

$$= -500\times12.56\times10^{-4}\ m^2\times\cos 60^\circ\times(-0.2T/s)$$

$$\varepsilon_{ind} = +628\times10^{-4} = +0.0628\ V$$

من المعروف أن المحرك الكهربائي وسيلة تعمل على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية، فبدلا من التيار الذي تولده حلقة موصلة مقفلة تدور في مجال مغناطيسي، تزود هذه الحلقة بتيار كهربائي بوساطة مصدر للفولطية (بطارية مثلاً).

الشكل (43) فتعمل القوى المغناطيسية المؤثرة في الحلقة على تدويرها بتأثير عزم يسمى عزم المزدوج داخل مجال مغناطيسي.

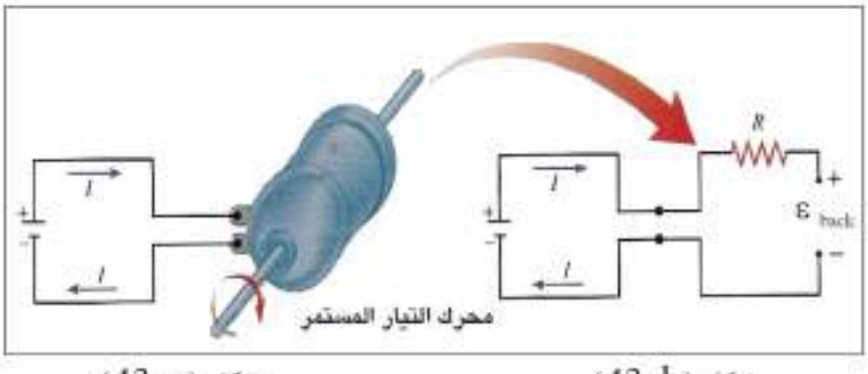
يتركب محرك التيار المستمر من الاجزاء نفسها التي يتركب منها مولد التيار المستمر ولكن يعمل على العكس من عمل المولد، إذ يحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة ميكانيكية بتوافر مجال مغناطيسي.

القوة الدافعة الكهربائية المضادة في المحرك (ε_{back}) :Back Electromotive force

لا تستغرب إذا عرفت أن المحرك الكهربائي يعمل عمل المولد الكهربائي في أثناء دوران نواته (في أثناء اشتغاله)، فعند دوران ملف النواة داخل المجال المغناطيسي يحصل تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف، وعلى وفق قانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي تتولد قوة دافعة كهربائية محتثة على طرفي ملف نواة المحرك تسمى القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المضادة (ε_{back}).

وتسميتها بالمضادة لأنها تكون معاكسة للمسبب الذي ولدها على وفق قانون لنز. وتعطى بالعلاقة الآتية:

$$\varepsilon_{back} = -N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$$



شكل (43-a) شكل (43-b)

الدائرة الكهربائية المبينة على يسار الشكل (43-a) توضح انسياب تيار كهربائي في ملف المحرك نتيجة للفولطية المستمرة المسلطة $V_{applied}$ بين طرفي ملف نواة المحرك والذي بدوره يتسبب في توليد عزم المزدوج الذي يعمل على تدوير الملف.

أما الدائرة التي على يمين شكل (43-b) توضح تولد القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المضادة ε_{back} على طرفي ملف النواة في أثناء دورانه داخل المجال المغناطيسي على وفق قانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي.

يعتمد مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المضادة ε_{back} على:

سرعة دوران النواة (أي المعدل الزمني لتغير الفيض المغناطيسي للفة واحدة) وعدد لفات الملف ومساحة اللفة وكثافة الفيض المغناطيسي.

وقد تسـأل، ما الذي يحدد مقدار التيار المنساب في دائرة المحرك؟

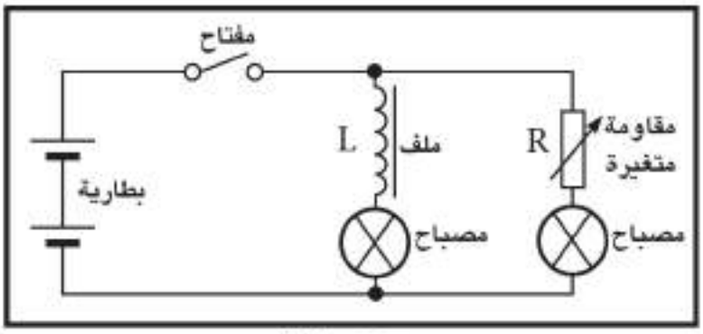
الجواب: أن الفرق بين الفولطية الموضوعة $V_{applied}$ والقوة الدافعة الكهربائية المحتثة المضادة ε_{back} في دائرة المحرك هو الذي يحدد مقدار التيار المنساب في تلك الدائرة والذي يعطى بالعلاقة الآتية:

$$I = \frac{V_{applied} - \varepsilon_{back}}{R}$$

14-2 المحاثـة Inductance

لقد تعلمت حتى الآن، أن شرط تولد قوة دافعة كهربائية محتثة في ملف، هو حصول تغير في الفيض المغناطيسي الذي يخترق ذلك الملف. وعرفت أن توافر الحركة النسبية بين الساق المغناطيسية والملف، تتسبب في حصول ذلك التغير، والآن يحق لك أن تسـأل هل ان التغير في الفيض المغناطيسي الناتج عن تغير التيار المنساب في الملف، يمكنه توليد قوة دافعة كهربائية في ذلك الملف ؟

لتوضيح ذلك لاحظ الدائرة الكهربائية في الشكل (44) والمربوط فيها مصباحان متماثلان مربوطان على التوازي مع بطارية، والمقاومة المتغيرة R تمتلك مقدارا مساويا لمقدار مقاومة الملف L مربوطة على التوالي مع أحد المصباحين، والملف مربوط على التوالي مع المصباح الثاني، (والملف في جوفه قلب من الحديد المطاوع لزيادة كثافة فيضه المغناطيسي لكي يكون تأثيره واضحا) والسؤال الذي يتبادر الى ذهننا ؟



شكل (44)

هل تتوقع أن يكون توهج المصباحين توهجا بالمقدار نفسه لحظة اغلاق المفتاح في الدائرة؟

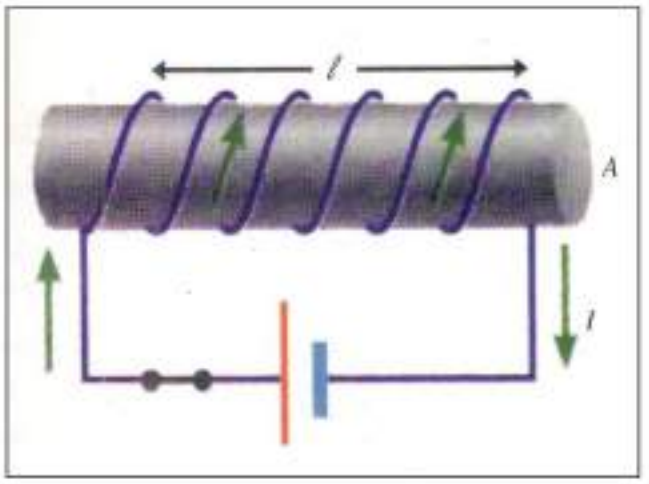
وهل أن المصباحين يصلان حالة تساوي شدة التوهج في آن واحد ؟

لتوضيح ذلك، بعد إغلاق المفتاح بمدة زمنية معينة حينها نشاهد ان كلا المصباحين يتوهجان توهجا متساويا في الشدة بعد وصول التيار مقداره الثابت، ولكن لايصلان ذلك في آن واحد، بل هنالك تأخر ملحوظ في الزمن المستغرق لتوهج المصباح المربوط على التوالي مع الملف توهجا كاملا عن الزمن المستغرق لتوهج المصباح المروبط على التوالي مع المقاومة R توهجاً كاملاً. ولعلك تتسائل لماذا هذا التأخر؟

الجواب عن ذلك هو: أن التباطؤ الذي حصل في توهج المصباح المربوط مع الملف يعزى إلى صفة الملف التي تسمى تأثير المحاثة للملف (او الحث الذاتي للملف)، ومثل هذا الملف يسمى بالمحث.

15-2 الحث الذاتي Self Inductance

لوربطنا دائرة كهربائية تتألف من ملف وبطارية ومفتاحا على التوالي، كالتي موضحة في الشكل (45). نجد إنه لحظة اغلاق مفتاح هذه الدائرة يتزايد فيها مقدار التيار من الصفر إلى مقداره الثابت، الشكل (46)، والتغير في التيار المنساب في الملف يتسبب في حصول تغير في الفيض المغناطيسي خلاله، والتغير في الفيض المغناطيسي بدوره يولد قوة دافعة كهربائية محتثة في الملف تعاكس ذلك التغير تسمى قوة دافعة كهربائية محتثة ذاتية (ε)، والتي بدورها تقاوم التغير المسبب في تولدها على وفق قانون لنز (وهو التغير الحاصل في التيار المنساب في الملف نفسه)، تسمى هذه الظاهرة بظاهرة الحث الذاتي. وتعرّف بانها:



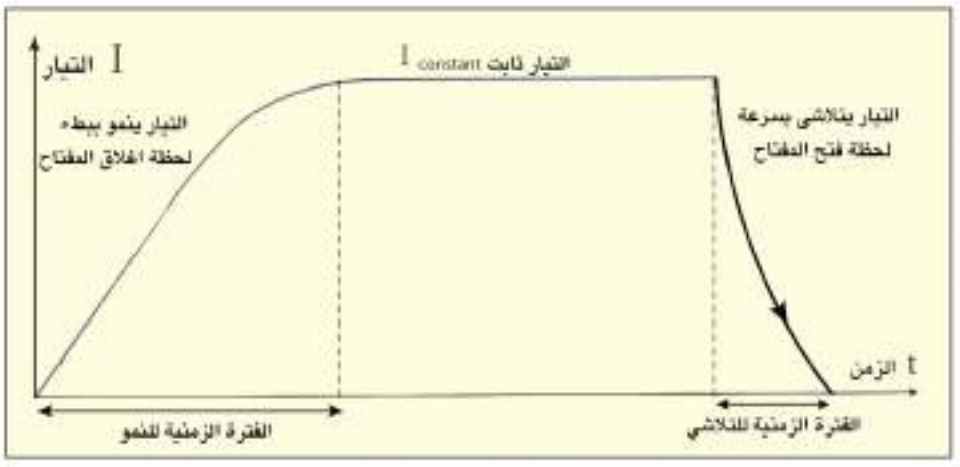
شكل (45)

عملية تولد قوة دافعة كهربائية محتثة في ملف نتيجة تغير مقدار التيار المنساب لوحدة الزمن في الملف نفسه.

حساب مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة الذاتية (ε_{ind}):

نفرض انسياب تيار كهربائي مستمر (I) في الملف، فإن ذلك يسبب فيضا مغناطيسيا مقداره Φ_B يخترق كل لفة من لفات الملف ويتناسب مقداره طرديا مع مقدار التيار. أي أن: $N\Phi_B \alpha\, I$

فيكون: $N\Phi_B = LI$



شكل (46) يوضح إن زمن تلاشي التيار من مقداره الثابت إلى الصفر أصغر من زمن تنامي التيار من الصفر إلى مقداره الثابت.

إذ إن: L هي ثابت التناسب وتمثل معامل الحث الذاتي للملف، وإذا تغير التيار بمعدل زمني $(\Delta I / \Delta t)$، فإن الفيض المغناطيسي المتولد يتغير بمعدل زمني $(\Delta\Phi_B / \Delta t)$

فيكون: $N \times (\Delta\Phi_B / \Delta t) = L \times (\Delta I / \Delta t)$

وبما أن القوة الدافعة الكهربائية المحتثة (ε_{ind}) في الملف، يتناسب مقدارها طرديا مع المعدل الزمني للتغير في الفيض المغناطيسي $(\Delta\Phi / \Delta t)$ على وفق قانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي $\varepsilon_{ind} = -N\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$:

فتكون: $$\varepsilon_{ind} = -L\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

معامل الحث الذاتي لملف هو " نسبة القوة الدافعة الكهربائية المحتثة الى المعدل الزمني للتغير في التيار المنساب في الملف نفسه". يعطى بالعلاقة الآتية:

$$L = \frac{\varepsilon_{ind}}{-(\Delta I / \Delta t)}$$

يقاس معامل الحث الذاتي L في النظام الدولي للوحدات بوحدات (Volt .second / Ampere) وتسمى Henry

نسبة الى العالم هنري مكتشف ظاهرة الحث الذاتي وتختصر (H). وفي الغالب يقاس بوحدة (micro.Henry) او (milli. Henry)

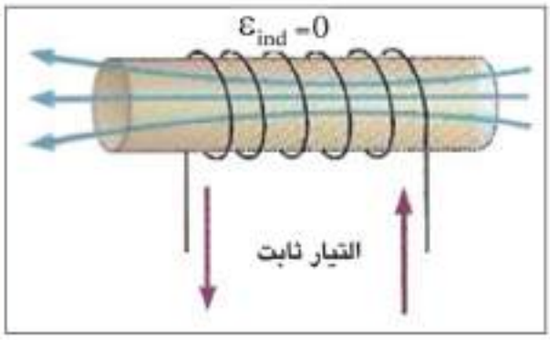
وحدة Henry هي وحدة معامل الحث الذاتي لملف، اذا تغير التيار فيه بمعدل (Ampere / second) تتولد قوة دافعة كهربائية محتثة (ε_{ind}) على طرفيه مقدارها فولطا واحدا.

يتوقف مقدار معامل الحث الذاتي (L) لملف على:

عدد لفات الملف وحجم الملف والشكل الهندسي للملف والنفوذية المغناطيسية للوسط في جوف الملف.

(يزداد مقدار معامل الحث الذاتي للملف عند ادخال قلب من الحديد المطاوع في جوف الملف).

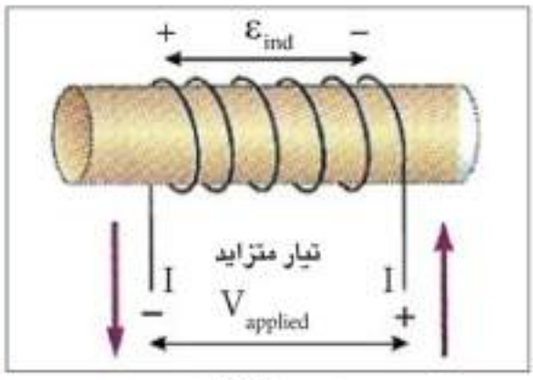
لتكون ظاهرة الحث الذاتي اكثر وضوحا عليك التمعن في الاشكال الآتية:



شكل (47-a)

الشكل (47- a): يبين لنا انسياب تيار ثابت المقدار خلال الملف يولد هذا التيار فيضا مغناطيسيا ثابت المقدار خلال الملف، لذا فهو لايتسبب في تولد قوة دافعة كهربائية محتثة (ε_{ind}) على طرفي الملف. أي إن: $\varepsilon_{ind} = -L\,\Delta I / \Delta t = 0$

فيعطى صافي الفولطية بالعلاقة: $V_{applied} = I_{const}.R$



شكل (47-b)

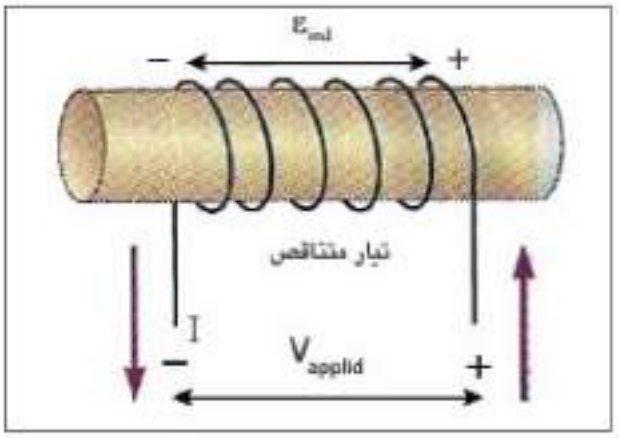
الشكل (47-b): يبين انسياب تيار متزايد في الملف $(\Delta I / \Delta t) > 0$ ، فيولد التيار المتزايد فيضا مغناطيسيا خلال الملف متزايدا ايضا، ونتيجة لذلك تتولد قوة دافعة كهربائية محتثة (ε_{ind}) على طرفي الملف بقطبية معاكسة للفولطية على طرفي الملف فهي تعرقل التزايد في التيار.

لذا يكون زمن تنامي التيار من الصفر إلى مقداره الثابت كبيرا، وعندئذ يعطى صافي الفولطية في الدائرة بالعلاقة الآتية:

$$V_{net} = V_{applied} - \varepsilon_{ind}$$

إذا كانت: V_{app} تمثل الفولطية الموضوعة على الملف. وإذا كانت مقاومة الملف R فإن العلاقة المذكورة آنفاً تكون:

$$V_{applied} - \varepsilon_{ind} = I_{inst}.R$$



شكل (47-c)

الشكل (47-c): يبين انسياب تيار متناقص $(\Delta I / \Delta t) < 0$ في الملف، فيولد التيارالمتناقص فيضا مغناطيسيا خلال الملف متناقصا ايضا ونتيجة لذلك تتولد قوة دافعة كهربائية محتثة (ε_{ind}) على طرفي الملف. وتكون بالقطبية نفسها للفولطية الموضوعة على الملف وعندئذ يعطى صافي الفولطية في الدائرة بالعلاقة الآتية:

$$V_{applied} + \varepsilon_{ind} = I_{inst}.R$$

فيكون زمن تلاشي التيار من مقداره الثابت الى الصفر صغيرا نسبة إلى زمن تناميه وذلك بسبب ظهور فجوة هوائية بين جزئي المفتاح تجعل مقاومة الدائرة كبيرة جدا.

هل

تعلم (للاطلاع)

ان المقاومات المصنوعة من الأسلاك تلف لفا غير حثيٍّ. فهي تلف عادة بشكل طبقات، إذ يكون اتجاه لف النصف الأول من السلك (احدى الطبقات) معاكسا لاتجاه لف النصف الثاني من السلك (الطبقة التي تليها)، وينتج عن ذلك ان التاثيرات الحثية المتولد في النصف الاول من السلك تلغي التأثيرات الحثية للنصف الثاني، فهي تساويها في المقدار وتعاكسها في الاتجاه وسبب ذلك أن التيار ينساب في نصفي السلك باتجاهين متعاكسين.

16-2 الطاقة المختزنة في المحث Potential Energy in Inductance

لقد درست في الفصل الأول من هذا الكتاب أن الطاقة الكهربائية PE المختزنة في المجال الكهربائي بين صفيحتي المتسعة تتناسب طردياً مع مربع الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي المتسعة وتعطى بالعلاقة الآتية:

$$PE = \frac{1}{2} \times \frac{q^2}{C}$$

إذ إن : q مقدار الشحنة المختزنة في أي من صفيحتي المتسعة، وان C مقدار سعة المتسعة.

أما الطاقة المختزنة في المجال المغناطيسي للمحث فتكون بشكل طاقة مغناطيسية، وهذه الطاقة تتناسب طرديا مع مربع التيار الثابت (I).

فتعطى الطاقة المختزنة في المجال المغناطيسي للمحث بالعلاقة الآتية:

$$PE = \frac{1}{2} L I^2$$

إذ إن : L يمثل مقدار معامل الحث الذاتي للمحث

I يمثل مقدار التيار المنساب في المحث

ومن الجدير بالذكر أن المحث يعد ملفاً مهمل المقاومة، وهذا يعني أن المحث لايتسبب في ضياع طاقة .

نشاط (3)

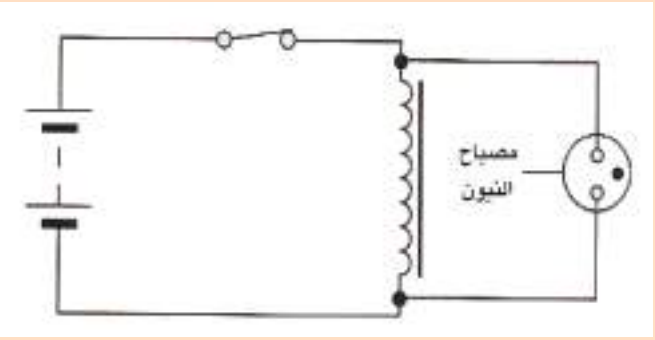
يوضح تولد القوة الدافعة الكهربائية المحتثة الذاتية على طرفي الملف

أدوات النشاط:

بطارية ذات فولطية (9V)، مفتاح ، ملف سلكي في جوفه قلب من الحديد المطاوع، مصباح نيون يحتاج (80V) ليتوهج

خطوات النشاط:

- نربط الملف والمفتاح والبطارية على التوالي مع بعض.
- نربط مصباح النيون على التوازي مع الملف. لاحظ الشكل (48).
- نغلق دائرة الملف والبطارية بوساطة المفتاح، لانلاحظ توهج المصباح.
- نفتح دائرة الملف والبطارية بوساطة المفتاح نلاحظ توهج مصباح النيون بضوء ساطع لبرهة قصيرة من الزمن، على الرغم من فصل البطارية عن الدائرة.



الشكل (48)

نستنتج من النشاط:

أولاً: عدم توهج مصباح النيون لحظة اغلاق المفتاح كان بسبب الفولطية الموضوعة على طرفيه لم تكن كافية لتوهجه، وذلك لان نمو التيار من الصفر الى مقداره الثابت يكون بطيئا نتيجة لتولد قوة دافعة كهربائية محتثة في الملف تعرقل المسبب لها على وفق قانون لنز.

ثانياً: توهج مصباح النيون لحظة فتح المفتاح كان بسبب تولد فولطية كبيرة على طرفيه تكفي لتوهجه.

وتفسير ذلك هو نتيجة التلاشي السريع للتيار خلال الملف تتولد على طرفي الملف قوة دافعة كهربائية محتثة ذاتية كبيرة المقدار، فيعمل الملف في هذه الحالة كمصدر طاقة يجهز المصباح بفولطية تكفي لتوهجه.

مثال (5)

ملف معامل حثه الذاتي (2.5mH) وعدد لفاته (500) لفة، ينساب فيه تيار مستمر (4A)، احسب:

1- مقدار الفيض المغناطيسي الذي يخترق اللفة الواحدة.

2- الطاقة المختزنة في المجال المغناطيسي للملف.

3- معدل القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الملف إذا انعكس اتجاه التيار خلال (0.25s).

الحل

1- لدينا العلاقة:

$$N\Phi_B = LI$$

$$500 \times \Phi_B = 2.5 \times 10^{-3} \times 4$$

$$\Phi_B = 2 \times 10^{-5}\ \text{Wb}$$

2- نحسب الطاقة المختزنة في المجال المغناطيسي للملف.

من العلاقة:

$$PE = \frac{1}{2} L I^2$$

$$PE = \frac{1}{2} \times 2.5 \times 10^{-3} \times (4)^2 = 0.02\text{J}$$

3- بانعكاس التيار يكون: $(\Delta I = -8A)$

$$\varepsilon_{ind} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\varepsilon_{ind} = -2.5 \times 10^{-3} \times \frac{(-8)}{0.25} = 0.08\ \text{V}$$

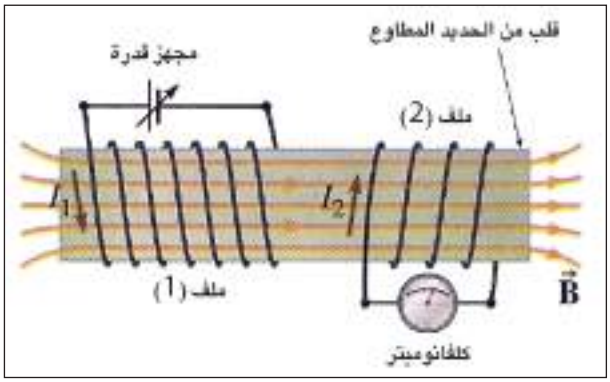
17-2 الحث المتبادل Mutual Induction

عند وضع سلكين موصلين مستقيمين متجاورين ينساب في كل منهما تيارا مستمرا، فالتيار المنساب في أحد السلكين يولد حوله مجالا مغناطيسيا يؤثر بقوة في التيار المنساب في الموصل الآخر.

وفي هذا الفصل نود أن نعرف هل يحصل التأثير نفسه بين حلقتين موصلتين مقفلتين متجاورتين (أو بين ملفين متجاورين) لو تغير التيار المنساب في أحدهما ؟

الجواب عن ذلك: أن التغير في التيار المنساب في أحد هذين الملفين بإمكانه أن يحث تيارا في الملف الآخر.

ولتوضيح ذلك: نفترض وجود ملفين سلكيين متجاورين لاحظ الشكل (49) فالتيار المنساب في الملف الابتدائي (الملف رقم (1)) يولد مجالا مغناطيسيا $\vec{B}$ وفيضه المغناطيسي $\vec{\Phi}_{(B1)}$ يخترق الملف الثانوي (الملف رقم (2)).



الشكل (49)

فاذا تغير التيار المنساب في الملف رقم (1) لوحدة الزمن يتغير تبعا لذلك الفيض المغناطيسي $\vec{\Phi}_{(B2)}$ الذي اخترق الملف رقم (2) لوحدة الزمن، وعلى وفق قانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي تتولد قوة دافعة كهربائية محتثة $\varepsilon_{ind(2)}$ في الملف رقم (2) ذو عدد اللفات N_2.

$$\varepsilon_{ind\,(2)} = -N_2 \frac{\Delta\Phi_{B(2)}}{\Delta t}$$

ولقد تبين عمليا ان الفيض المغناطيسي الذي يخترق كل لفة من لفات الملف الثانوي يتناسب طرديا مع التيار المنساب في الملف الابتدائي (I_1) فهذا يعني ان: $\Phi_{B(2)} \alpha\, I_1$

وبهذا يكون الفيض المغناطيسي الذي يخترق جميع لفات الملف الثانوي ذي عدد اللفات N_2 يتناسب طرديا مع التيار المنساب في الملف الابتدائي (I_1) فهذا يعني ان: $(N_2\Phi_{B(2)}) \alpha\, I_1$

وثابت التناسب يسمى معامل الحث المتبادل M بين الملفين المتجاورين فيكون: $N_2\Phi_{B(2)} = M\, I_1$

وعندما يتغير التيار في الملف الابتدائي بمعدل زمني $\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$ يتغير الفيض المغناطيسي الذي يخترق الملف الثانوي بمعدل زمني $(N_2\Delta\Phi_{B(2)} / \Delta t)$ وبما ان:

$$\varepsilon_{ind(2)} = -(N_2\, \Delta\Phi_{B(2)} / \Delta t)$$

فيمكن أن تعطى القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الملف الثانوي بالعلاقة الآتية:

$$\varepsilon_{ind(2)} = -M \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

اذا كان الملفان في الهواء الشكل (49) فان معامل الحث المتبادل M بين الملفين يعتمد على:

ثوابت الملفين $(L_1$ و $L_2)$ أي (حجم كل ملف والشكل الهندسي لكل ملف وعدد لفات كل ملف والنفوذية المغناطيسية للمادة في جوف كل ملف)، ويعتمد كذلك على وضعية كل ملف والفاصلة بين الملفين وفي حالة وجود قلب من الحديد ومغلق بين الملفين فإن معامل الحث المتبادل M بين الملفين يعتمد فقط على:

ثوابت الملفين $(L_1$ و $L_2)$ نتيجة لحصول الاقتران المغناطيسي التام بين الملفين كما في المحولة الكهربائية.

فان معامل الحث المتبادل بين الملفين في هذه الحالة يعطى بالعلاقة الآتية:

$$M = \sqrt{L_1 \times L_2}$$

تستثمر ظاهرة الحث المتبادل في استعمال جهاز التحفيز المغناطيسي خلال الدماغ transcranial magnetic stimulation (TMS)

الشكل(50)

إذ يسلط تيار متغير مع الزمن على الملف الابتدائي الذي يمسك على منطقة دماغ المريض (كما موضح في الشكل (50) فالمجال المغناطيسي المتغير المتولد بوساطة هذا الملف يخترق دماغ المريض مولدا قوة دافعة كهربائية محتثة فيه، وهذه بدورها تولد تيارا محتثا يشوش الدوائر الكهربائية في الدماغ وبهذه الطريقة تعالج بعض أعراض الأمراض النفسية مثل الكآبة.

مثال (6)

ملفان متجاوران ملفوفين حول حلقة مقفلة من الحديد المطاوع، ربط بين طرفي الملف الابتدائي بطارية فرق الجهد بين طرفيها (100V) ومفتاح على التوالي. فاذا كان معامل الحث الذاتي للملف الابتدائي (0.5H). ومقاومته ($20\ \Omega$) احسب مقدار:

1- المعدل الزمني لتغير التيار في دائرة الملف الابتدائي لحظة اغلاق الدائرة.

2- معامل الحث المتبادل بين الملفين اذا تولدت قوة دافعة كهربائية محتثة بين طرفي الملف الثانوي مقدارها (40V) لحظة اغلاق المفتاح في دائرة الملف الابتدائي.

3- التيار الثابت المنساب في دائرة الملف الابتدائي بعد اغلاق الدائرة.

4- معامل الحث الذاتي للملف الثانوي.

الحل

1- في دائرة الملف الابتدائي لدينا العلاقة التالية:

$$V_{app} = L\frac{\Delta I_1}{\Delta t} + I_{ins}R$$

يكون: ($I_{inst} = 0$) لحظة اغلاق الدائرة.

$$100 = 0.5\frac{\Delta I_1}{\Delta t} + 0$$

$$\frac{\Delta I_1}{\Delta t} = \frac{100}{0.5} = 200A/s$$

2- لحساب معامل الحث المتبادل بين الملفين لدينا العلاقة التالية:

$$\varepsilon_{ind(2)} = -M\frac{\Delta I_1}{\Delta t}$$

بما ان التيار في دائرة الابتدائي يكون متزايداً $(\Delta I / \Delta t) > 0$ لحظة اغلاق المفتاح فان (ε_{ind}) تكون باشارة سالبة:

$$-40 = -M \times 200$$

$$M = \frac{-40}{-200} = 0.2H$$

3- لحساب التيار الثابت:

$$I_{const} = \frac{V_{app}}{R} = \frac{100}{20} = 5A$$

4- بما أن الترابط المغناطيسي بين الملفين يكون تاماً في حالة الملفين الملفوفين حول حلقة من الحديد المطاوع فان:

$$M = \sqrt{L_1 \times L_2}$$

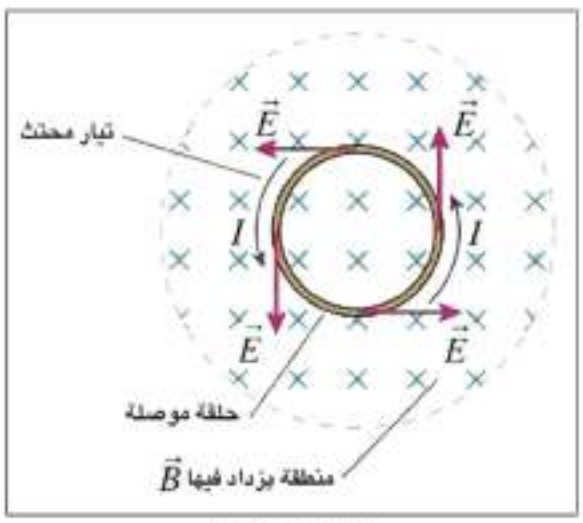
$$0.2 = \sqrt{0.5 \times L_2}$$

$$0.04 = 0.5 \times L_2$$

$$L_2 = \frac{0.04}{0.5} = 0.08H$$

من خلال دراستنا لموضوع الحث الكهرومغناطيسي عرفنا كيف أن تيارا محتثا ينساب في حلقة موصلة مقفلة. ولكن بقي الجزء المهم في هذا الموضوع مفقودا حتى الآن، الـذي يقودنا الى مجموعة من الاسئلة، منها ما مسببات هذا التيار؟ وما القوى التي تدفع الشحنات الكهربائية لتحريكها خلال تلك الحلقة ؟.

وللإجابة عن تلك الاسئلة نقول إن الذي يتسبب في حركة الشحنات هي المجالات الكهربائية والمجالات المغناطيسية. فالقوى المغناطيسية تكون مسؤولة عن توليد القوة الدافعة الكهربائية الحركية في الموصل المتحرك داخل مجال مغناطيسي ثابت. ولكن هذه القوى لاتعطينا أي تفسير للتيارات المحتثة في حلقة موصلة مغلقة ثابتة في موضعها نسبة إلى المجال مغناطيسي متغير المقدار.



الشكل(51)

الشكل (51) يوضح حلقة موصلة مقفلة موضوعة في حالة سكون داخل فيض مغناطيسي متزايد في المقدار، لذا ينساب فيها تيار محتث على وفق قانون فراداي في الحث الكهرومغناطيسي، أما اتجاه هذا التيار فيتحدد على وفق قانون لنز، فيكون باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة، وحركة الشحنات الكهربائية داخل الحلقة هو نتيجة لتولد مجال كهربائي يؤثر فيها باتجاهات مماسية دائما، المجال الكهربائي هذا يسمى المجال الكهربائي المحتث.

والمجال الكهربائي المحتث هذا يتولد نتيجة للتغيرات الحاصلة في الفيض المغناطيسي لوحدة الزمن الذي يخترق الحلقة.

لقد عرفنا سابقا أن المجال الكهربائي المحتث هو العامل الأساسيّ في نشوء التيار المحتث في الحلقة الموصلة الساكنة نسبة إلى فيض مغناطيسي متغير المقدار. وبما أن كل المجالات الكهربائية التي درستها سابقا كانت تنشأ بوساطة الشحنات الكهربائية الساكنة ومثل هذه المجالات تسمى مجالات كهربائية مستقرة (electrostatic fields) أما المجالات الكهربائية التي تنشأ بوساطة التغيرات الحاصلة في الفيض المغناطيسي فتسمى مجالات كهربائية غير المستقرة (Nonelectrostatic fields).

هل

تعلم (للاطلاع)

من التطبيقات العملية للمجالات الكهربائية المحتثة:

a- السيارات المهجّنة التي تمتلك كلا المحركين، محرك الكازولين والمحرك الكهربائي والتيارات المحتثة الناتجة في دائرتها الكهربائية تستثمر في اعادة شحن بطارية السيارة. الشكل (52)

الشكل (52)

b- في بعض الطائرات التي تستثمر التيارات المحتثة المتولدة في دائرتها الكهربائية على ابقاء محركها في حالة اشتغال حتى بعد عطل أي نظام كهربائي فيها. الشكل (53)

الشكل (53)

19-2 بعض التطبيقات العملية لظاهرة الحث الكهرومغناطيسي

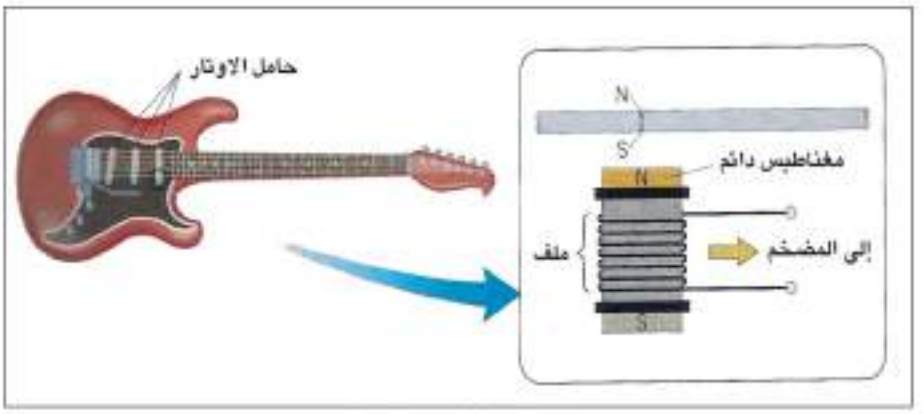
1- بطاقة الائتمان Credit Card

عند تحريك بطاقة الائتمان (بطاقة خزن المعلومات) الممغنطة أمام ملف سلكي يستحث تيار كهربائي ثم يضخم هذا التيار ويحول إلى نبضات للفولطية تحتوي المعلومات. لاحظ الشكل (54)

الشكل (54)

2 – القيثار الكهربائي Electric Guitar

اوتار القيثار الكهربائي المعدنية (فهي مصنوعة من مواد فيرومغناطيسية) تتمغنط في اثناء اهتزازها بوساطة ملفات سلكية يحتوي كل منها بداخله ساقا مغناطيسية، توضع هذه الملفات في مواضع مختلفة تحت الاوتار المعدنية للقيثار الكهربائي وعندما تهتز هذه الاوتار يستحث تيار كهربائي متناوب تردده يساوي تردد الاوتار. ثم يوصل الى مضخم.لاحظ الشكل (55)



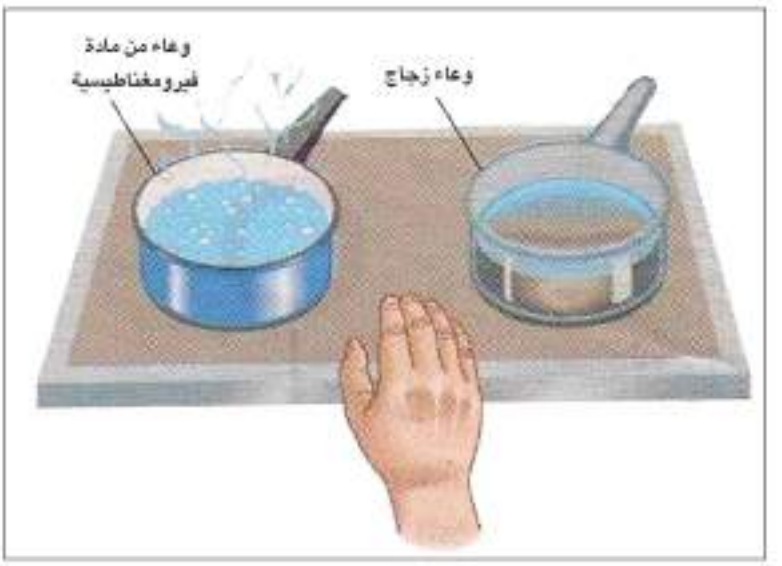
الشكل (55) للاطلاع

3- الطباخ الحثي Induction stove

تستثمر ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي في عمل هذا النوع من الطباخات، إذ يوضع تحت السطح العلوي للطباخ ملف سلكي ينساب فيه تيار متناوب ويحث هذا التيار مجالا مغناطيسيا متناوبا ينتشر نحو الخارج وبمرور المجال المغناطيسي خلال قاعدة الإناء إذا كان مصنوعا من المعدن تتولد تيارات دوامة في قاعدة الإناء المعدني لاحظ الشكل (56-a)، وبذلك تسخن قاعدة الإناء فيغلي الماء الذي يحتويه.

أما إذا كان الوعاء من الزجاج فلاتتولد تيارات دوامة في قاعدته لان الزجاج مادة عازلة ولايسخن الماء الذي يحتويه لاحظ الشكل (56-b). والمدهش في الأمر أنه لو لمسنا السطح العلوي للطباخ الحثي لانشعر بسخونة السطح.

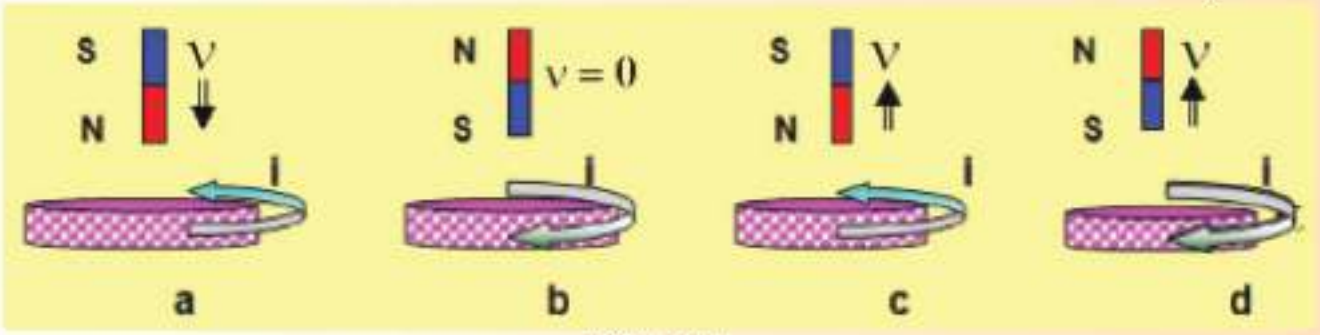
الشكل (56-a)



الشكل (56-b)

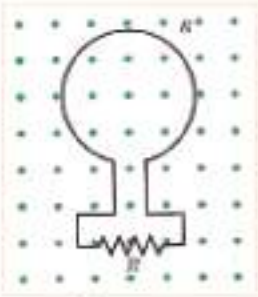
س1 اختر العبارة الصحيحة لكل من العبارات الآتية:

1- أي من الاشكال الاتية لاحظ الشكل (57) يتبين فيه الاتجاه الصحيح للتيار الكهربائي المحتث في الحلقة الموصلة:



الشكل (57)

2- في الشكل (58) حلقة مصنوعة من النحاس وضعت في مستوي الورقة وموصولة مع المقاومة R سلط مجال مغناطيسي باتجاه عمودي على مستوي الورقة، خارجا من الورقة. في أي حالة من الحالات التالية ينساب تيار محتث في المقاومة R اتجاهه من اليسار نحو اليمين:



الشكل (58)

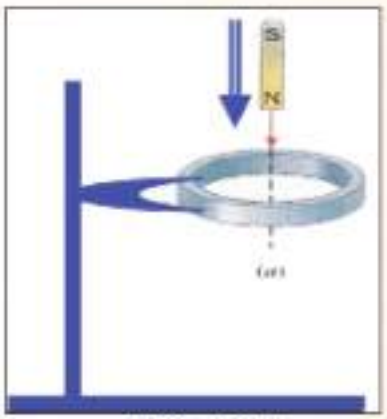
a- عند تزايد الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة.

b- عند تناقص الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة.

c- عند ثبوت الفيض المغناطيسي الذي يخترق الحلقة.

d- جميع الاحتمالات المذكورة آنفاً.

3- عند سقوط الساق المغناطيسية خلال حلقة واسعة من الألمنيوم موضوعة أفقيا بوساطة حامل تحت الساق لاحظ الشكل (59)، فإذا نظرت إلى الحلقة من موقع فوقها وباتجاه السهم لتحديد اتجاه التيار المحتث فيها. فإن اتجاه التيار المحتث في الحلقة يكون:



الشكل (59)

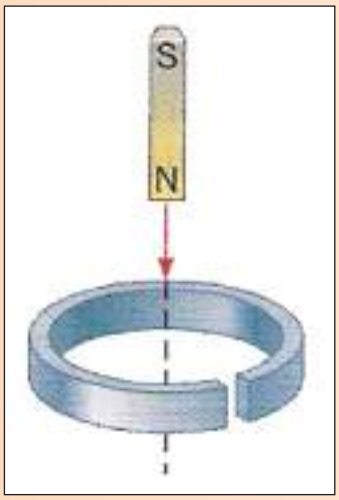
a- دائما باتجاه دوران عقارب الساعة.

b- دائما باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة.

c- باتجاه دوران عقارب الساعة، ثم يكون صفرا للحظة، ثم يكون باتجاه معاكسا لدوران عقارب الساعة.

d- باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة، ثم يكون صفرا للحظة، ثم يكون باتجاه دوران عقارب الساعة.

4- عند سقوط الساق المغناطيسية خلال حلقة من الألمنيوم غير مقفلة موضوعة أفقيا تحت الساق لاحظ الشكل (60):



الشكل (60)

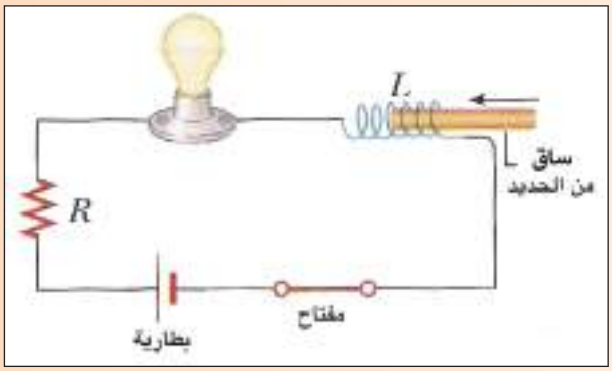
a- تتأثر الساق بقوة تنافر في أثناء أقترابها من الحلقة، ثم تتأثر بقوة تجاذب في اثناء ابتعادها عن الحلقة.

b- تتأثر الساق بقوة تجاذب في أثناء اقترابها من الحلقة، ثم تتأثر بقوة تنافر في أثناء ابتعادها عن الحلقة.

c- لاتتأثر الساق بأية قوة في أثناء اقترابها من الحلقة، أو في أثناء ابتعادها عن الحلقة.

d- تتأثر الساق بقوة تنافر في أثناء اقترابها من الحلقة وكذلك تتأثر بقوة تنافر في أثناء ابتعادها عن الحلقة.

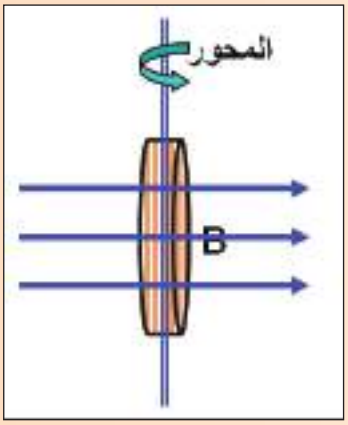
5- في الشكل (61) ملف محلزن مجوف مربوط على التوالي مع مصباح كهربائي ومقاومة وبطارية ومفتاح، وعندما كان المفتاح في الدائرة مغلقا كانت شدة توهج المصباح ثابتة. إذا أدخلت ساق من الحديد المطاوع في جوف الملف فان توهج المصباح في أثناء دخول الساق:



الشكل (61)

a- يزداد. b- يقل. C- يبقى ثابتا. d- يزداد ثم يقل.

6- عندما يدور ملف دائري حول محور شاقولي موازي لوجه الملف داخل مجال مغناطيسي كثافة فيضه منتظمة B افقية لاحظ الشكل (62)، تولد أعظم مقدار للقوة الدافعة الكهربائية المحتثة ε_{max} . وعند زيادة عدد لفات الملف إلى ثلاثة أمثال ماكانت عليه وتقليل قطر الملف إلى نصف ماكان عليه ومضاعفة التردد الدوراني للملف.



الشكل (62)

فإن المقدار الاعظم للقوة الدافعة الكهربائية المحتثة سيكون:

a- $(3/2)\ \varepsilon_{max}$

b- $(1/4)\ \varepsilon_{max}$

c- $(1/2)\ \varepsilon_{max}$

d- $(3)\ \varepsilon_{max}$

7- تتحقق ظاهرة الحث الذاتي في ملف معين عندما:

a- تسحب ساق مغناطيسية بعيدا عن وجه الملف.

b- يوضع هذا الملف بجوار ملف آخر ينساب فيه تيار كهربائي متغير المقدار لوحدة الزمن.

c- ينساب في هذا الملف تيار كهربائي متغير المقدار لوحدة الزمن

d- تدوير هذا الملف داخل مجال مغناطيسي منتظم.

8- مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة على طرفي ساق موصلة تتحرك نسبة إلى مجال مغناطيسي في حالة سكون لايعتمد على:

a- طول الساق. b- قطر الساق. c- وضعية الساق نسبة للفيض المغناطيسي.

d- كثافة الفيض المغناطيسي.

9- عندما تقل السرعة الزاوية لدوران ملف نواة المحرك الكهربائي نتيجة لازدياد الحمل الموصول مع ملفه تتسبب في هبوط مقدار:

a- القوة الدافعة الكهربائية المحتثة المضادة. b- الفولطية الموضوعة على طرفي ملف النواة.

C- التيار المنساب في دائرة المحرك. d- فرق الجهد الضائع (IR) بين طرفي ملف النواة.

10- يمكن ان يستحث تيار كهربائي في حلقة موصلة ومقفلة في العمليات التالية ما عدا واحدة منها.

فالعملية التي لايستحث فيها التيار هي:

a- حلقة موصلة ومقفلة تدور حول محور موازٍ لمستواها وعمودي على فيض مغناطيسي منتظم.

b- وضع حلقة موصلة ومقفلة ومتجه مساحتها موازٍ لفيض مغناطيسي متغير لوحدة الزمن.

c- وضع حلقة موصلة ومقفلة ومتجه مساحتها عموديا على فيض مغناطيسي متغير لوحدة الزمن.

d- حلقة موصلة ومقفلة، متجه مساحتها موازٍ لفيض مغناطيسي منتظم كبست من جانبيها المتقابلين.

11- وحدة قياس كثافة الفيض المغناطيسي هي:

a- weber

b- $weber / s$

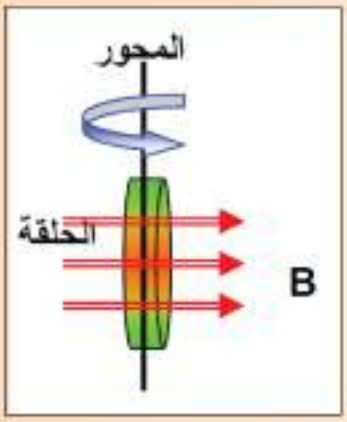
c- $weber / m^2$

d- weber.s

12- في الشكل (63)، عندما تدور حلقة موصلة حول محور شاقولي موازٍ لوجهها ومار من مركزها والمحور عمودي على فيض مغناطيسي افقي ومنتظم. فإن قطبية القوة الدافعة الكهربائية المحتثة تكون دالة جيبية تتغير مع الزمن وتنعكس مرتين خلال كل:

a - دورة واحدة. b- ربع دورة

C- نصف دورة. d- دورتين.



الشكل (63)

13- معامل الحث الذاتي لملف لا يعتمد على:

a - عدد لفات الملف. b- الشكل الهندسي للملف C- المعدل الزمني للتغير في التيار المنساب في الملف

d- النفوذية المغناطيسية للوسط في جوف الملف.

س2 علل:

1- يتوهج مصباح النيون المربوط على التوازي مع ملف بضوء ساطع لبرهة قصيرة من الزمن لحظة فتح المفتاح على الرغم من فصل البطارية عن الدائرة، ولا يتوهج عند اغلاق المفتاح.

2- يغلي الماء داخل الاناء المعدني الموضوع على السطح العلوي لطباخ حثي ولا يغلي الماء الذي في داخل اناء زجاجي موضوع مجاور له وعلى السطح العلوي للطباخ نفسه.

3- اذا تغير تيار كهربائي منساب في أحد ملفين متجاورين يتولد تيار محتث في الملف الاخر.

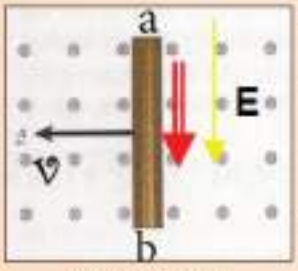
س3 وضح كيف يمكنك عمليا معرفة فيما إذا كان مجالاً مغناطيسياً أم مجالاً كهربائياً موجوداً في حيّز معين؟

س4 عند دوران ملف مساحة اللفة الواحدة فيه (A) بسرعة زاوية (ω) داخل مجال مغناطيسي كثافة فيضه ($\vec{B}$) منتظمة. فإن الفيض المغناطيسي الذي يخترق اللفة الواحدة يعطى بشكل دالة جيب تمام $[\Phi_B = BA\cos(\omega t)]$ في حين تعطى القوة الدافعة الكهربائية المحتثة على طرفي هذا الملف بشكل دالة جيبية $[\varepsilon_{ind} = NBA\omega\sin(\omega t)]$ وضح ذلك بطريقة رياضية.

س5 ما المقصود بالمجالات الكهربائية غير المستقرة؟

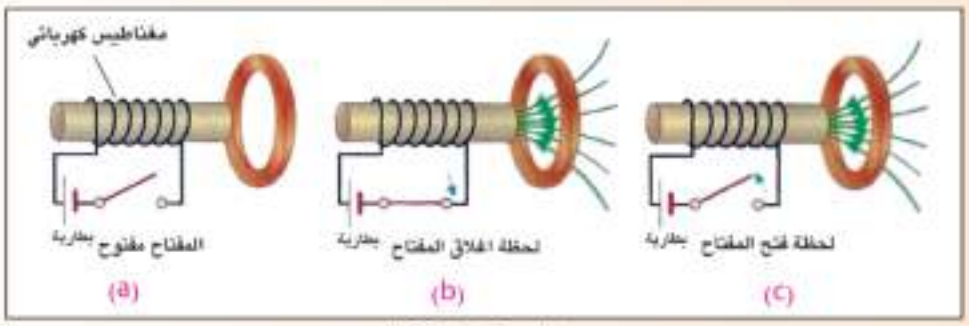
س6 اذكر بعض المجالات التي تستثمر فيها التيارات الدوامة، ووضح كل منها.

س7 إذا تحركت الساق الموصلة (ab) في الشكل (64)، في مستوى الورقة افقياً نحو اليسار داخل مجال مغناطيسي منتظم مسلط عمودياً على الورقة متجها نحو الناظر، يتولد مجال كهربائي داخل الساق يتجه نحو الطرف (b)، أما إذا تحركت هذه الساق نحو اليمين وداخل المجال المغناطيسي نفسه ينعكس اتجاه المجال الكهربائي في داخلها باتجاه الطرف (a)، ما تفسير ذلك ؟



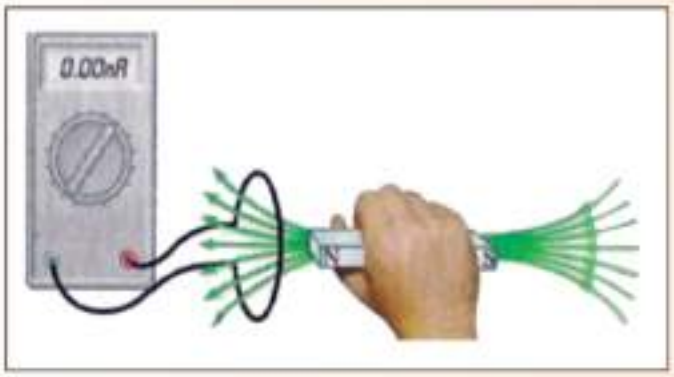
الشكل (64)

س8 عين اتجاه التيار المحتث في وجه الحلقة المقابلة للملف السلكي في الأشكال الثلاث التالية لاحظ الشكل (65)



الشكل (65)

س9 أفترض أن الملف والمغناطيس الموضح في الشكل (66) كل منهما يتحرك بالسرعة نفسها نسبة إلى الأرض هل أن المللي أميتر الرقمي (او الكلفانوميتر) المربوط مع الملف. يشير إلى انسياب تيار في الدائرة ؟ وضح ذلك



الشكل (66)

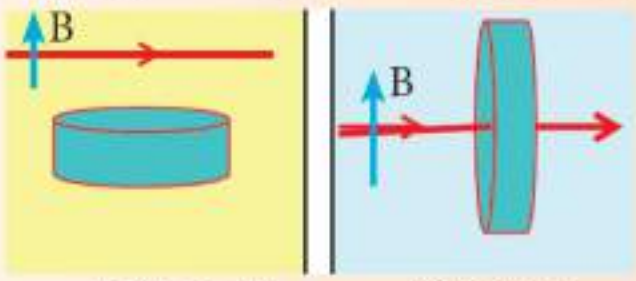
س10 ما الكميات الفيزيائية التي تقاس بالوحدات الاتية:

a - Weber b - Weber / m^2 c - Weber / s d - Tesla e - Henry

س11 كيف تعمل التيارات الدوامة على كبح اهتزاز الصفيحة المعدنية المهتزة عمودياً على مجال مغناطيسي منتظم؟

س12 شريحة من النحاس وضعت بين قطبي مغناطيس كهربائي منتظم كثافة فيضه كبيرة وبمستوي شاقولي وكان مستوي الصفيحة عموديا على الفيض المغناطيسي. وعندما سحبت الصفيحة أفقيا بسرعة معينة لإخراجها من المجال وجد ان عملية السحب تتطلب تسليط قوة معينة. ويزداد مقدار القوة الساحبة بازدياد مقدار تلك السرعة ماتفسير الحالتين ؟

س13 في كل من الشكلين (67) و (68) سلك نحاسي وحلقة من النحاس مقفلة. في أي وضعية ينساب تيار محتث في الحلقة عندما يتزايد التيار الكهربائي المنساب في السلك في كل من الحالين ؟ وضح ذلك.



الشكل (68) الشكل (67)

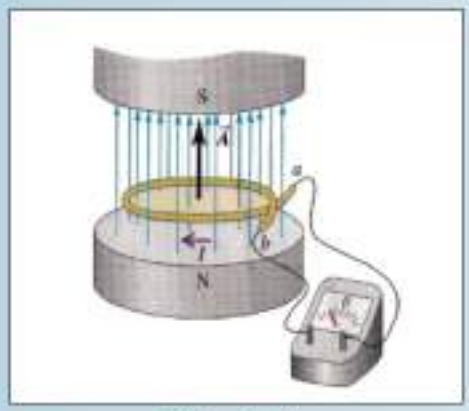
س14 يتوافر لك سلك ذو طول ثابت وترغب في الحصول على مولد بسيط يجهزك بأعظم مقدار للقوة الدافعة الكهربائية، أيتطلب منك أن تجعل السلك بشكل ملف ذي لفة واحدة دائرية الشكل؟ أم ملف ذي لفتين دائرتي الشكل؟ أو ملف ذي ثلاث لفات دائرية الشكل؟ عند تدوير الملف الذي تحصل عليه بسرعة زاوية معينة داخل مجال مغناطيسي منتظم؟ وضح إجابتك.

س15 في معظم الملفات يصنع القلب بشكل سيقان متوازية من الحديد المطاوع معزولة عن بعضها البعض عزلاً كهربائياً ومكبوسة كبسا شديدا، بدلا من قلب من الحديد مصنوع كقطعة واحدة. لاحظ الشكل (69) مالفائدة العملية من ذلك؟

الشكل (69)

المسائل

س1 ملف سلكي دائري الشكل عدد لفاته (40) لفة ونصف قطره (30 cm)، وضع بين قطبي مغناطيس كهربائي، لاحظ الشكل (70) فاذا تغيرت كثافة الفيض المغناطيسي المارة خلال الملف من (0.0T) الى (0.5T) خلال زمن قدره (4s).



الشكل (70)

ما مقدار القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الملف عندما يكون:

a- متجه مساحة اللفة الواحدة من الملف بموازاة متجه كثافة الفيض المغناطيسي.

b- متجه كثافة الفيض المغناطيسي يصنع زاوية قياسها 30^0 مع مستوي الملف.

س2 ملف لمولد دراجة هوائية قطره (4 cm) وعدد لفاته (50) لفة يدور داخل مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه $T\ (\frac{1}{\pi})$ وكان اعظم مقدار للفولطية المحتثة على طرفي الملف (16V) والقدرة العظمى المجهزة للحمل المربوط مع المولد (12W) . ما مقدار:

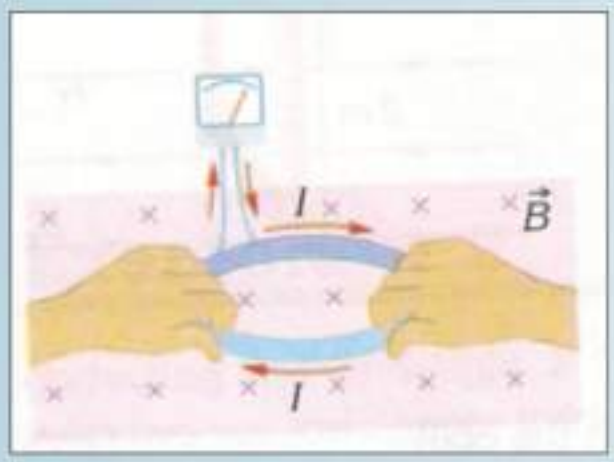
1- السرعة الزاوية التي تدور بها نواة المولد. 2- المقدار الاعظم للتيار المنساب في الحمل .

س3 ملف سلكي مستطيل الشكل عدد لفاته (50) لفة وابعاده (4cm . 10cm)، يدور بسرعة زاوية منتظمة مقدارها $(15\pi\ rad/s)$ ، داخل مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه $(0.8\ Wb/m^2)$، احسب:

1- المقدار الاعظم للقوة الدافعة الكهربائة المحتثة في الملف.

2- القوة الدافعة الكهربائية الآنية المحتثة في الملف بعد مرور $s(1/90)$ من الوضع الذي كان مقدارها يساوي صفرا.

س4 في الشكل (71) حلقة موصلة دائرية مساحتها $626cm^2$ ومقاومتها 9Ω موضوعة في مستوي الورقة ،سلط عليها مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه $0.15T$ باتجاه عمودي على مستوي الحلقة. سحبت الحلقة من جانبيها بقوتي شد متساويتين فبلغت مساحتها $26cm^2$ خلال فترة زمنية $0.2s$. احسب مقدار التيار المحتث في الحلقة.



الشكل (71)

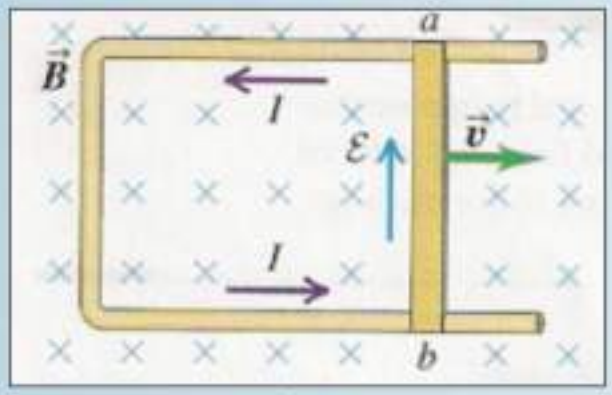
س5 افرض إنَّ الساق الموصلة في الشكل (72) طولها $(0.1m)$، ومقدار السرعة التي يتحرك بها $(2.5\ m/s)$ والمقاومة الكلية للدائرة (الساق والسكة) مقدارها $0.03\ \Omega$)
وكثافة الفيض المغناطيسي $(0.6T)$، احسب مقدار:

1- القوة الدافعة الكهربائية المحتثة على طرفي الساق.

2- التيار المحتث في الحلقة.

3- القوة الساحبة للساق.

4- القدرة المتبددة في المقاومة الكلية للدائرة.



الشكل (72)

س6 إذا كانت الطاقة المغناطيسية المختزنة في ملف تساوي $(360\ J)$ عندما كان مقدار التيار المنساب فيه $(20A)$.احسب:

1- مقدار معامل الحث الذاتي للمحث.

2- معدل القوة الدافعة الكهربائية المحتثة في الملف اذا انعكس التيار خلال $(0.1s)$

س7 ملفان متجاوران بينهما ترابط مغناطيسي تام، كان معامل الحث الذاتي للملف الابتدائي $(0.4H)$ ومقاومته $(16\ \Omega)$ ومعامل الحث الذاتي للملف الثانوي $(0.9H)$. الفولطية الموضوعة في دائرة الملف الابتدائي $(200V)$، إحسب مقدار:

التيار الأني والمعدل الزمني لتغير التيار في دائرة الملف الابتدائي لحظة ازدياد التيار فيها إلى (80%) من مقداره الثابت، والقوة الدافعة الكهربائية المحتثة على طرفي الملف الثانوي في تلك اللحظة.