المستوى الثالث الفرع العلمي

الفصل الرابع :

الحث الكهرمغناطيسي

القوي في الفيـــــــــــــزياء

اعداد الأستاذ محمد عثمان

الاستاذ محمد عثمان ٠٧٨٨٠٧٢٧٤٦

الحث الكهرمغناطيسي

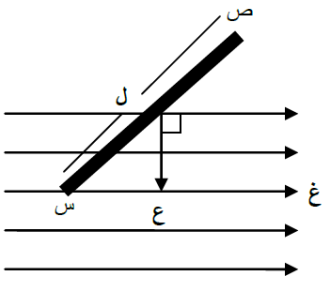
في فصل المجال المغناطيسي علمنا أن مرور تيار كهربائي في موصل يولد مجالاً مغناطيسياً حوله.

في هذا الفصل سندرس ظاهرة تولد تيار كهربائي نتيجة وجود مجال مغناطيسي .

الحث الكهرومغناطيسي : ظاهرة توليد قوة دافعة كهربائية حثية (مرور تيار كهربائي حثي) في موصل نتيجة تغيير التدفق المغناطيسي (Φ) عبره .

طرق توليد القوة الدافعة الكهربائية الحثية
(Methods of Generating Induced EMF)

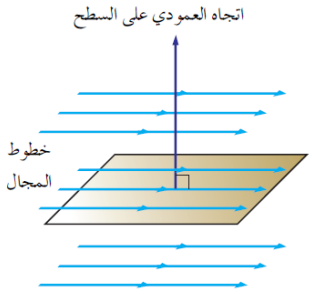
ماذا يحدث عند تحريك سلك في مجال مغناطيسي بشكل متعامد مع المجال ؟



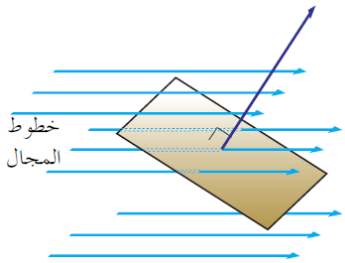
- عند تحريك سلك في مجال مغناطيسي منتظم بشكل يتعامد مع اتجاه خطوط المجال المغناطيسي (ع متعامدة مع غ) فان هذا يعني أن قوة تؤثر على الشحنات داخل السلك باتجاه موازي لمحور السلك (باتجاه ل) , فيصبح أحد الاطراف موجباً و الطرف الاخر سالباً و بالتالي تتولد قوة دافعة حثية و بناءاً على قاعدة راحة اليد اليمنى يصبح (الطرف س موجب و الطرف ص سالب).

التدفق المغناطيسي : عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تخترق عمودياً سطحاً ما .

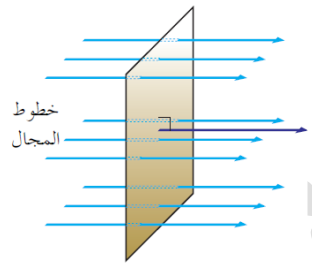
$\Phi = غ ا جتا\theta$: θ الزاوية بين $\vec{غ}$ ، $\vec{ا}$ وحدة قياس التدفق تسلا . م^{٢} = ويبر



Φ أقل ما يمكن = صفر (خطوط المجال موازية للسطح $\theta = ٩٠^{\circ}$)

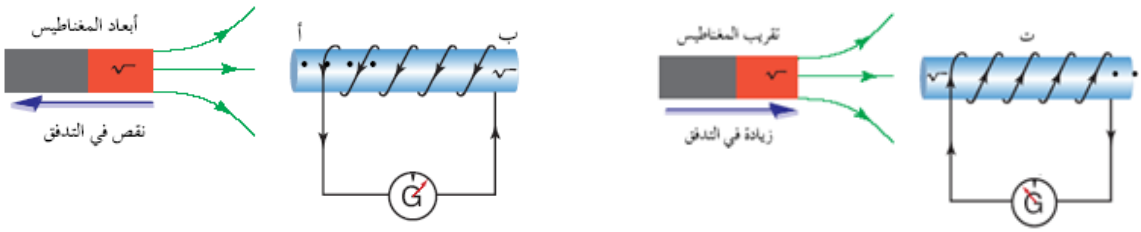


Φ نصف القيمة العظمى $= \frac{١}{٢} غ$ (خطوط المجال تميل ٣٠° عن السطح $\theta = ٦٠^{\circ}$)



Φ أكبر ما يمكن = غ (خطوط المجال عمودية على السطح θ = صفر)

في الشكل الثاني عند تقريب المغناطيس من الملف فان عدد خطوط المجال التي ستخترق مقطع الملف سوف تزداد بينما تقل عند ابعاده و هذا يؤدي الى انحراف مؤشر الغلفانوميتر و هذا يدل على تولد تيار حثي .



و هنا نقول أنه حدث تغير في التدفق (أي تغير في عدد خطوط المجال المغناطيسي التي تخترق عمودياً وحدة المساحة).

يمكن احداث تغير في التدفق بعدة طرق :

- تغيير شدة المجال المغناطيسي . $\Delta\Phi = \Delta غ \times ا \times جتا\theta$
- تغيير مساحة الملف . $\Delta\Phi = غ \times \Delta ا \times جتا\theta$
- تغيير الزاوية بين خطوط المجال و العمودي على مساحة الملف . $\Delta\Phi = غ \times ا \times \Delta جتا\theta$

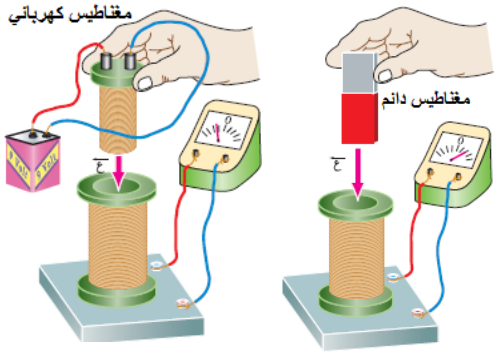
لانشاء التيار الحثي في الملف فان هذا يعني احداث تغير في التدفق المغناطيسي .

مثـــــــــــــال :

أولاً :كيف تفسر انحراف مؤشر الغلفانومتر في الشكلين عند وضع المغناطيس الدائم أو المؤقت داخل الملف و ازالته .

ثانياً : ماذا تتوقع أن يحدث لقراءة الغلفانومتر في الشكلين :

- لو بقي المغناطيس و الملف ساكنين .
- لو استبدل المغناطيس الدائم أو المؤقت باخر اقوى لحظة الدخول .



الاجابـــــــــــــة:

أولاً : عند وضع و ازالة المغناطيس فان خطوط المجال المغناطيسي الناشئة من المغناطيس (الدائم أو المؤقت) تقطع الملف , فيحدث لذلك تغيير في التدفق المغناطيسي عبر الملف , فيتولد قوة دافعة حثية ينشأ عنها تيار حثي , يعمل على تحريك مؤشر الغلفانوميتر .

ثانياً :

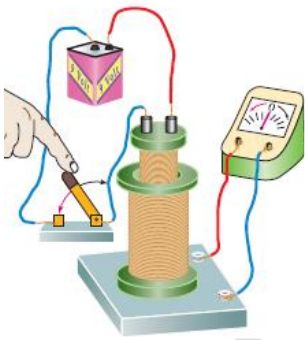
- عندما يكون المغناطيس و الملف ساكنين , فانه لا يحدث تقطيع لخطوط المجال المغناطيسي , و بالتالي لا يتغير التدفق المغناطيسي ولا تتولد قوة دافعة كهربائية حثية , و هذا يعني عدم مرور تيار حثي لذلك يقرأ الغلفانوميتر صفراً (فلا يتحرك المؤشر).
- عند الاستبدال بمغناطيس أكبر , يحدث تقطيع أكثر لخطوط المجال المغناطيسي , و بالتالي يحدث تغير في التدفق المغناطيسي أكبر , فتتولد قوة دافعة حثية أكبر ينشأ عنها تيار حثي أكبر , و ينحرف مؤشر الغلفانوميتر بزاوية أكبر .

مثـــــــــــــال :

يبين الشكل ملفين مختلفين في عدد اللفات , وضع أحدهما في قلب الاخر , يتصل طرفا احدهما ببطارية , بينما يتصل الاخر بغلفانوميتر .

أولاً : لوحظ انحراف مؤشر الغلفانوميتر باتجاه معين لحظة اغلاق الدارة و انحرافه بالاتجاه المعاكس لحظة فتح الدارة , كيف تفسر ذلك ؟

ثانياً : لوحظ عدم انحراف مؤشر الغلفانوميتر , بعد فترة زمنية من اغلاق الدارة أو فتحها , كيف تفسر ذلك ؟



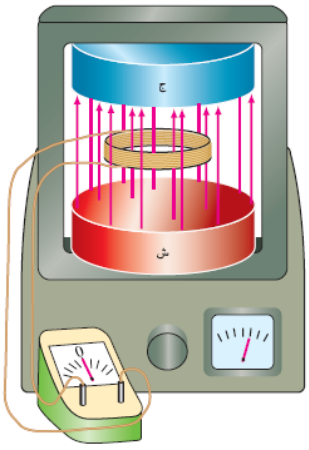
الاجابـــــــــــــة :

أولاً : اغلاق الدارة يعني مرور تيار في ملف البطارية ينشأ عنه مجال مغناطيسي يخترق ملف الغلفانوميتر , فيحدث تغير (زيادة) في التدفق المغناطيسي , و عليه تتولد قوة دافعة حثية ينشأ عنها تيار حثي يحرك المؤشر , فتح الدارة يعني تلاشي تيار ملف البطارية , و بالتالي تلاشي خطوط مجال ملف البطارية فتقطع في عودتها ملف الغلفانوميتر , فيحدث تغير (نقصان) في التدفق المغناطيسي عبر الملف فتتولد قوة دافعة كهربائية حثية ينشأ عنها تيار حثي يحرك مؤشر الغلفاموميتر بالعكس .

ثانياً : بعدة فترة زمنية يثبت المجال المغناطيسي , فلا يحدث تغير في التدفق المغناطيسي , ولا تتولد قوة دافعة حثية , ولا تيار ولا ينحرف المؤشر.

مثـــــــــــــال :

يبين الشكل ملفاً دائرياً وضع في مجال مغناطيسي منتظم يتصل بغلفانوميتر , بالنظر اليه يلاحظ عدم انحراف مؤشره , ماذا تتوقع أن يحدث لمؤشر الغلفانوميتر في الحالات التالية :



- اذا قمت بتحريك الملف رأسياً في المجال المغناطيسي .
  لا يتحرك المؤشر لعدم حدوث تقطيع لخطوط المجال المغناطيسي , و بالتالي لا يوجد تغير في التدفق المغناطيسي , ولا تنشأ قوة دافعة حثية .
- اذا جعلت الملف يدور قاطعاً خطوط المجال المغناطيسي .
  يتحرك المؤشر بسبب حدوث تقطيع في خطوط المجال المغناطيسي و بالتالي حدوث تغير في التدفق المغناطيسي , فتتولد قوة دافعة حثية ينشأ عنها تيار حثي يحرك مؤشر الغلفانوميتر .
- اذا أخرجت الملف من المجال المغناطيسي ثم بدأت بادخاله من جديد بسرعة ثابتة ؟ او بزيادة سرعة ادخال الملف .
  عند زيادة السرعة , يتحرك المؤشر بزاوية أكبر بسبب حدوث تقطيع أكثر لخطوط المجال المغناطيسي مع الزمن و بالتالي حدوث تغير في التدفق المغناطيس (زيادة) فتتولد قوة دافعة حثية , ينشأ عنها تيار حثي يحرك مؤشر الغلفانوميتر .

طرق توليد القوة الدافعة الكهربائية الحثية :

- **تغير المجال المغناطيسي الذي يخترق سطح الملف .**

ا – استبدال المغناطيس باخر (أقوى أو أضعف). ب- اقتراب أو ابتعاد مغناطيس

ج – زيادة التيار او نقصانه في ملف من خلال (مفتح الدارة أو اغلاقها أو زيادة مقاومة الدارة أو نقصانها)

- **تغير مساحة الملف التي تخترقها خطوط المجال .**

أ – ادخال أو اخراج ملف الى مجال مغناطيسي ب – زيادة مساحة الملف أو نقصانها .

- **تغير الزاوية بين المجال و مستوى الملف .**

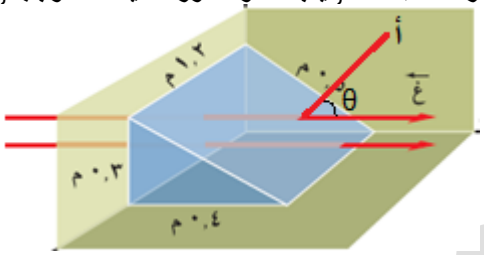
ا- دوران الملف ب- عكس اتجاه خطوط المجال المغناطيسي .

الخلاصة

- يتولد تيار حثي في موصل فلزي (سلك أو ملف) فقط اذا تغير التدفق المغناطيسي عبره (زيادة أو نقصان).
- لا يتولد تيار حثي اطلاقاً عند ثبوت التدفق المغناطيسي .

تمـــــــــــرين :

جسم ذو خمس سطوح , ابعاده كما في الشكل , وضع في مجال مغناطيسي منتظم مقداره ١٠٠ تسلا , يتجه نحو محور السينات الموجب , احسب التدفق المغناطيسي عبر السطوح الخمسة للجسم .



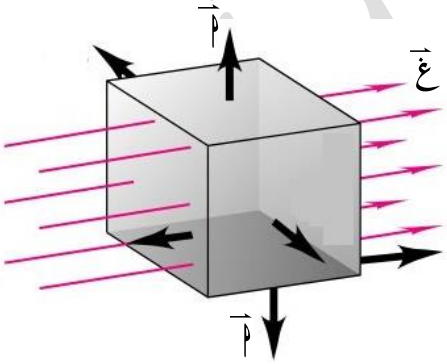
- Φ (مثلثي الجوانب) $=$ غ اجتا ٩٠° $=$ صفر (خطوط موازية)
- Φ (مستطيل القاعدة) $=$ غ اجتا ٩٠° $=$ صفر (خطوط موازية)
- Φ (المستطيل المواجه لخطوط المجال) $=$ غ اجتا ١٨٠° $= (١٠٠)(١.٢ \times ٠.٣)(-١) = -٣٦$ ويبر .
- Φ (المستطيل المائل) $=$ غ اجتا $\theta = (١٠٠)(١.٢ \times ٠.٥)(\frac{٠.٣}{٠.٥}) = +٣٦$ ويبر .

علل : التدفق المغناطيسي الكلي على جسم مغمور في مجال مغناطيسي يساوي صفراً .

لأن عدد الخطوط الداخلة مساوي لعدد الخطوط الخارجة .

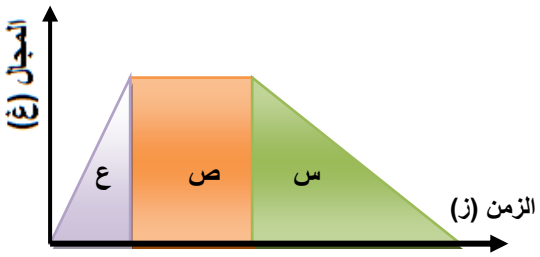
سؤال :

في الشكل المجاور اذا علمت أن طول ضلع المكعب (١٠ سم) و أن شدة المجال المغناطيسي (٢ تسلا) , احسب التدفق الكلي عبر أوجه المكعب .



سؤال :

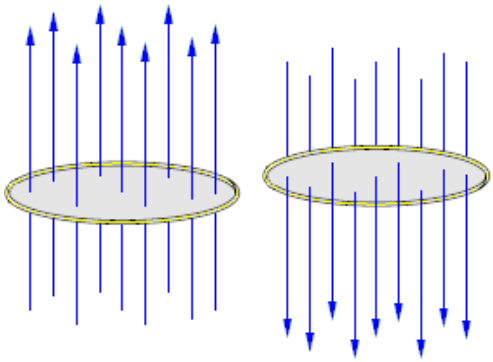
لاحظ الشكل المجاور و أجب عن الأسئلة التي تليه :



- حدد المنطقة التي يكون فيها التغير في التدفق أكبر ما يمكن .
- حدد المنطقة التي يكون فيها التغير في التدفق = صفر .

سؤال :

في الشكل المجاور اذا علمت أن شدة المجال المغناطيسي الذي يخترق الملف هو ٢ تسلا , و أن مساحة الملف (١٠٠ سم ^{٢}) , و أن المجال قد انعكس في الملف كما في الشكل , احسب التغير في التدفق المغناطيسي .



سؤال :

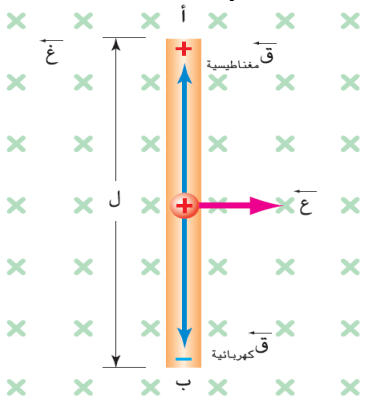
ملف مربع الشكل طول ضلعه ١٠ سم , وضع في مجال مغناطيسي مقداره ٠.٥ تسلا بشكل عمودي , احسب التغير في التدفق المغناطيسي في الحالات التالية :

- اذا انعكس المجال المغناطيسي .
- اذا دار الملف بزاوية ٩٠ $^{\circ}$.
- اذا قلب الملف .
- اذا اصبح طول ضلع الملف ٥ سم .
- اذا انعدم المجال المغناطيسي .
- اذا اصبحت الزاوية بين متجه المساحة و المجال ٦٠ $^{\circ}$, و انخفضت قيمة المجال الى ٠.١ تسلا .

اذا حدث تغير في المجال و المساحة و الزاوية في نفس الوقت لا نطبق العلاقة $\Delta\Phi = \Delta غ \times \Delta ا \times \Delta \theta$ جتا , بل نحسب $\Phi_{١}$ ثم $\Phi_{٢}$ و نأخذ $\Delta\Phi = (\Phi_{٢} - \Phi_{١})$

القوة الدافعة الكهربائية الحثية , و قانون فارادي في الحث
(Motional Electromotive Force & Faraday's Law of Induction).

أولاً : حركة موصل في مجال مغناطيسي منتظم عمودي على خطوط المجال (دارة مفتوحة) .



في الشكل عند تحريك الموصل (أ ب) نحو اليمين بسرعة ثابتة (ع) باتجاه عمودي على خطوط المجال المغناطيسي , يتولد فرق جهد كهربائي و بالتالي مجال كهربائي داخل الموصل , فكيف تفسر ذلك ؟

- يحتوي الموصل (ا ب) على شحنات موجبة و شحنات سالبة , و عند تحريك الموصل (أي الشحنات) , فان المجال المغناطيسي سيؤثر بقوة مغناطيسية على الشحنات و يحركها .
- و حسب قاعدة اليد اليمنى , تتحرك الشحنات الموجبة و تتركز عند الطرف (أ) , و الشحنات السالبة تتحرك و تتركز عند الطرف (ب) , و بالتالي ينشأ فرق جهد كهربائي بين طرفي الموصل .
- نتيجة لعملية فصل الشحنات يتولد مجال كهربائي داخل الموصل($ن_{ل} = م_{ش}$) و يكون الاتجاه من أ الى ب .

تستمر الشحنات بالتحرك عند طرفي الموصل حتى تتزن القوة الكهربائية للأسفل مع القوة المغناطيسية للأعلى أي أن :

$(ن_{ل} = ن_{غ})$ و عليه يمكن حساب :

(١) مقدار المجال الكهربائي داخل الموصل:

$(ن_{ل} = ن_{غ}) \longleftarrow\longleftarrow م_{ش} = ش ع غ جا\theta \quad (\theta = ٩٠^\circ)$ ← **$م = غ ع$**

(٢) فرق الجهد الكهربائي بين طرفي الموصل :

$ج_{اب} = ف \, م جا\theta$ لكن $ف = ل$, $\theta =$ صفر , و عليه :

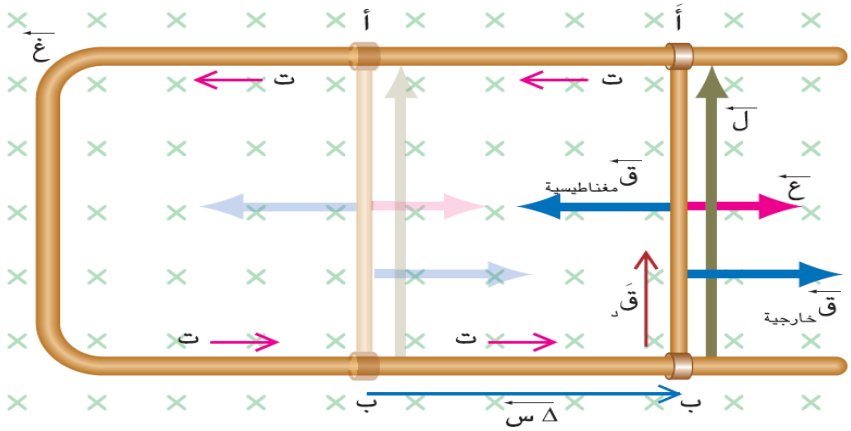
$ج_{اب} = ل م$ ←← **$ج_{اب} = ل غ ع$**

في الشكل السابق يتولد فرق الجهد بين طرفي الموصل و لكن لم يتولد تيار , فما التعديل الذي تجريه للحصول على تيار ؟؟؟؟؟؟؟

التيار يحتلج الى دارة مغلقة.

ثانياً : القوة الدافعة الكهربائية الحثية (التيار الحثي) المتولدة في ملف أو موصل ضمن (دارة مغلقة):

في الشكل المجاور (أ ب) موصل مستقيم ينزلق على سكة على شكل حرف U عند تحريك الموصل (أ ب) نحو اليمين بسرعة ثابتة بفعل قوة خارجية , يتولد في الموصل تيار حثي .



(١) كيف يمكنك تفسير تولد هذا التيار ؟ ثم حدد اتجاهه في الموصل (أ ب) ؟

عند تحريك الموصل (أ ب) بقوة خارجية نحو اليمين في مجال مغناطيسي , ينشأ المجال المغناطيسي قوة مغناطيسية تؤثر على الموصا نحو اليسار , و حسب قاعدة اليد اليمنى فان القوة المغناطيسية ستحرك الشحنات الموجبة باتجاه الطرف (أ) في حين ستتحرك الشحنات السالبة (الالكترونات الحرة) نحو الطرف (ب) فيتولد قوة دافعة كهربائية حثية يكون اتجاهها من ب ⟵ أ داخل الموصل , فينشأ عنها تيار حثي باتجاه القوة الدافعة من ب ⟵ أ داخل الموصل .

(٢) أثبت أن القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في الدارة (الملف) تعطى بالعلاقة $\left(ق'_{ر} = -\frac{\Phi\Delta}{\Delta ز}\right)$ ؟؟

ش = ق ع ف جتا٠ , و لكن ف = Δس

$\left(ق_{ع} = -ق_{غ}\right)$ حسب قانون نيوتن الثالث .

ش = (قدرة) Δز

(قدرة) × Δز = $-\left(ق_{غ}\right)$ Δس

$ق'_{ر}$ Δز = $\left(\text{Δل غ جا٠ ٩٠}\right)$ Δس

$ق'_{ر}$ Δز = (لΔس) غ ⟸ $ق'_{ر}$ Δز = Δ٢ غ ..... حيث Δ٢ = ل × Δس

$ق'_{ر}$ Δز = − ΦΔ ..... حيث ΦΔ = غΔ٢

$ق'_{ر} = -\frac{\Phi\Delta}{\Delta ز}$ ..... للفة واحدة. $ق'_{ر} = -ن\frac{\Phi\Delta}{\Delta ز}$ ..... لأكثر من لفة .

(٣) أثبت أن القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة في الموصل تعطى بالعلاقة $ق_{ر} = -ل\,غ\,ع\,جا\theta$ ؟؟

ΦΔ = غΔ٢ جتا٠ ∴ ..... لكن Δ٢ = لΔس

ΦΔ = غلΔس , بالقسمة على Δز ⟸ $\frac{\Phi\Delta}{\Delta ز} = غل\frac{\Delta س}{\Delta ز}$ ..... حيث أن $ع = \frac{\Delta س}{\Delta ز}$ (سرعة)

$\frac{\Phi\Delta}{\Delta ز} = غلع$ ..... لكن $ق'_{ر} = -\frac{\Phi\Delta}{\Delta ز}$ ⟸ $-ق'_{ر} = ل\,غ\,ع$

$ق'_{ر} = -ل\,غ\,ع$ بما أن θ بين (ع , غ) نضرب بـ $(جا\theta)$ ⟸ $ق'_{ر} = -ل\,غ\,ع\,جا\theta$

(٤) اذا علمت أن مقاومة الاسلاك تساوي (م) فما هو مقدار التيار الحثي الذي يسري في الدارة ؟؟

$$ت' = \frac{|ق'_{ر}|}{م}$$

تذكر أيضاً أن : القدرة المستنفذة = $م\,ت'^{٢}$

الحرارة المتولدة (الطاقة) = قدرة × ز = $م\,ت'^{٢}$ ز

قانون فارادي في الحث الكهرومغناطيسي :

ينص قانون فارادي في الحث على :

القوة الدافعة الكهربائية الحثية تتناسب طردياً مع المعدل الزمني للتغير في التدفق المغناطيسي الذي يخترق الدارة الكهربائية.

يعبر عنه رياضياً بالعلاقة :

$$ق_{ح} = -ن \frac{\Delta \Phi}{\Delta ز}$$

تذكر

وحدة قياس التدفق (Φ) هي (ويبر) أو (تسلا.م^{٢}) و تقاس القوة الدافعة الكهربائية الحثية $(ق_{ح})$ بوحدة (فولت).

سؤال :

على ماذا تعتمد $(ق_{ح})$, و هل تعتمد على شكل الدارة أو الملف ؟

تعتمد القوة الدافعة الحثية في دارة أو ملف على كل من :

- عدد لفات الملف .
- المعدل الزمني للتغير في التدفق المغناطيسي (ولا تعتمد على شكل الدارة أو الملف).

سؤال :

على ماذا تدل الاشارة السالبة (-) في قانون فارادي ؟

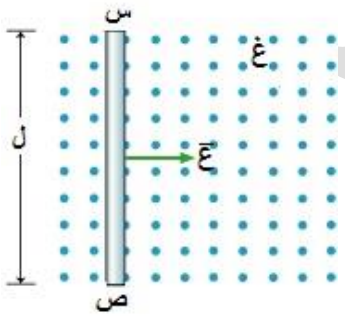
تدل الاشارة السالبة على أن التيار في الموصل أو الملف يقاوم التغير في التدفق المغناطيسي الذي يختره و هذا ما يسمى "بقانون لنز".

تسمى $(ق_{ح} = -ن \frac{\Delta \Phi}{\Delta ز})$ بـ " القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتوسطة" أو متوسط القوة الدافعة الحثية , ولكن اذا حدث التغير في التدفق خلال فترة زمنية قصيرة جداً , بحيث ($\Delta ز \leftarrow$ صفر) فان القوة الدافعة الحثية تكون لحظية و تعطى بالعلاقة :

$(ق_{ح} = -ن \frac{د \Phi}{د ز})$ و تسمى (القوة الدافعة الحثية اللحظية) و التي تمثل المشتقة الاولى للتدفق المغناطيسي بالنسبة للزمن .

مثـــــــال :

(س,ص) موصل مستقيم طوله (٠.٥)م , موضوع في مجال مغناطيسي منتظم مقداره (١٠)تسلا , كما في الشكل , اذا حرك الموصل (س,ص) نحو اليمين بسرعة ثابتة مقدارها $(٢ م/ث)$, جد كلاً مما يلي :



- ما مقدار و اتجاه المجال الكهربائي داخل الموصل (س,ص) .
- أحسب فرق الجهد الكهربائي بين طرفي الموصل $(ج_{س ص})$.

الحل :

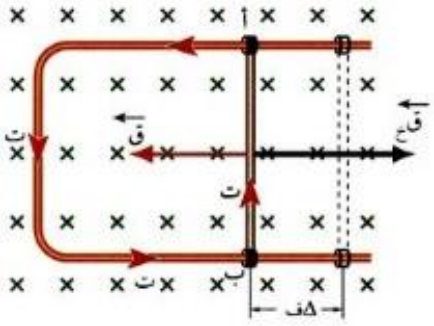
- م = غ ع = ١٠ × ٢ = ٢٠ نيوتن/كولوم.

يكون اتجاه المجال الكهربائي من ص ← س حيث تتحرك الشحنات الموجبة (حسب قاعدة اليد اليمنى) نحو الطرف (ص) , في حين تتحرك الشحنات السالبة نحو الطرف (س) , فيكون اتجاه المجال من ص ← س تذكر اتجاه المجال الكهربائي من(+ ← −)

- $ج_{س ص} = ل \quad م = (٢٠)\left(\frac{٥}{١٠}\right) = ١٠$ فولت . أو $ج_{س ص} = ل غ = (١٠)(٢)\left(\frac{٥}{١٠}\right) = ١٠$ فولت .

ســـــــؤال :

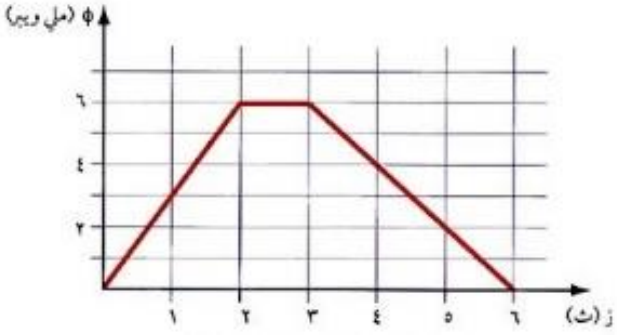
في الشكل المقابل اذا كان طول الموصل (أ,ب) ١٠سم و مقاومته ٠,٥ اوم و المجال المغناطيسي يساوي ٠,٥ تسلا و تحرك الموصل بسرعة ٢م/ث عمودياً على المجال , باهمال مقاومة باقي الدارة , احسب :



- القوة الدافعة الحثية المتولدة في الموصل .
- التيار الحثي المتولد في الموصل .
- القدرة الكهربائية المستنفذه فيه .

ســـــــؤال :

ملف عدد لفاته ٢٥٠ لفه , يتغير التدفق المغناطيسي الذي يعبره خلال ٦ ثواني حسب الرسم البياني الموضح في الشكل المقابل :



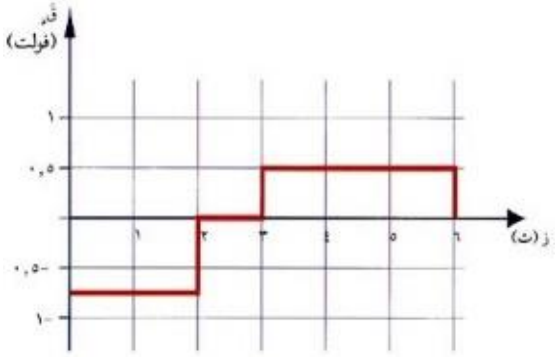
أولا : احسب القوة الدافعة الحثية المتولدة في الملف خلال :

- الثانيتين الأوليتين .
- الثانية الثالثة .
- الثواني الثلاث الأخيرة .

ثانياً : مثل بيانياً العلاقة بين القوة الدافعة الحثية و الزمن خلال الثواني الست .

ســـــــؤال :

بالأعتماد على الرسم البياني المجاور الذي يمثل العلاقة بين القوة الدافعة الحثية المتولدة في ملف عدد لفاته ٢٥٠ لفه و الزمن , أجب عمايلي :

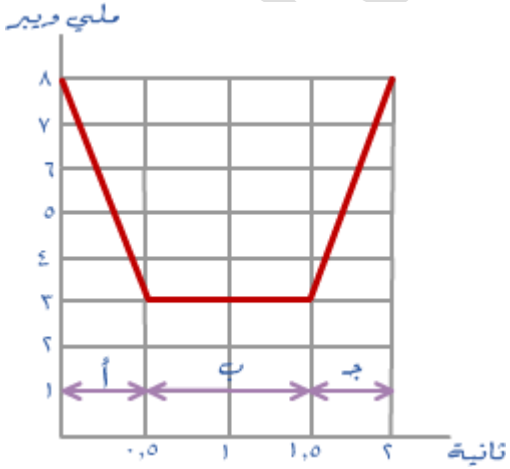


- احسب التغير في التدفق المغناطيسي الذي يعبر الملف خلال الثواني الثلاث الأخيرة .
- ما الفترة الزمنية التي يتولد خلالها تيار حثي يعمل على مقاومة الزيادة في التدفق المغناطيسي الذي يعبر الملف (فسر اجابتك) .

ســـــــؤال :

ملف عدد لفاته ٢٠٠ لفة ومقاومته ٥ أوم ، يشكل دارة مقفلة ، يتغير التدفق المغناطيسي الذي يعبره خلال ثانيتين حسب الرسم البياني المجاور ، معتمداً على الرسم أجب عما يأتي:

- احسب القوة الدافعة الحثية المتولدة خلال كل فترة من الفترات (أ ، ب ، جـ)
- احسب مقدار التيار الحثي المتولد في الملف خلال الفترة (أ).
- مثل بيانياً العلاقة بين القوة الدافعة الحثية والزمن خلال الثانيتين.



قانون لنز (Lenz's Law) .

لاحظنا من قانون فارادي أن القوة الدافعة الحثية $ن_{ح} = -ن \frac{\Delta \phi}{\Delta ز}$ لكن ما معنى الاشارة السالبة ؟؟؟

هذا ما تساءل عنه العالم لنز حيث وضع نص القانون التالي :

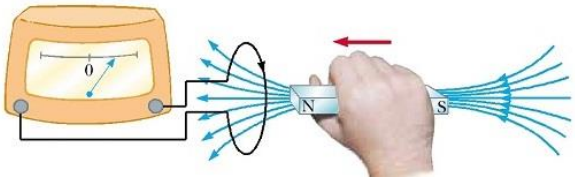
" القوة الدافعة الكهربائية الحثية تنشأ بحيث تقاوم التغير في التدفق المغناطيسي الذي كان سبباً في توليدها."

يستخدم قانون لنز في " تحديد اتجاه التيار الحثي ".

كيفية تطبيق قانون لنز :

- اذا حدث زيادة في التدفق المغناطيسي فان التغير في التدفق يكون موجباً فتنشأ قوة دافعة حثية سالبة تولد تيار حثي ينشأ عنه مجال مغناطيسي عكس المجال الأصلي ليعمل على انقاص التدفق :

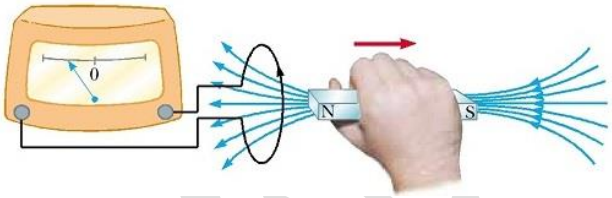
$\phi_{ح} \leq \phi_{ا} \Leftarrow \Delta\phi = \phi_{ا} - \phi_{ح}$ (موجب)



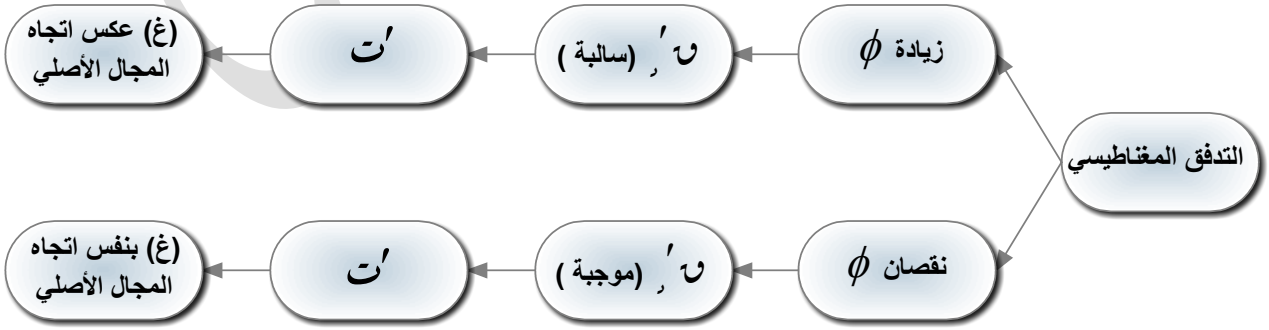
$ن_{ح} = -ن \frac{\Delta\phi}{\Delta ز}$ سوف تكون $ن_{ح}$ (سالبة) و تسمى عكسية .

- اذا حدث نقصان في التدفق فان التغير في التدفق يكون سالباً فتنشأ قوة دافعة حثية موجبة تولد تيار حثي ينشأ عنه مجال مغناطيسي بنفس اتجاه المجال الأصلي ليعمل على زيادة التدفق :

$\phi_{ح} \geq \phi_{ا} \Leftarrow \Delta\phi = \phi_{ا} - \phi_{ح}$ (سالبة)



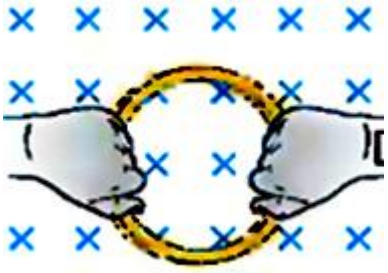
$ن_{ح} = -ن \frac{\Delta\phi}{\Delta ز}$ سوف تكون $ن_{ح}$ (موجبة) و تسمى طردية .



بعد تحديد اتجاه المجال المغناطيسي الحثي المتولد نستخدم قاعدة قبضة اليد اليمنى في تحديد الاتجاه للتيار الحثي .

امثلة عامة على قانون لنز :

في الأشكال التالية فسر نشوء التيار الحثي بهذه الاتجاهات :



- **اذا تمددت الحلقة الموضوعة في المجال المغناطيسي (غ) .**

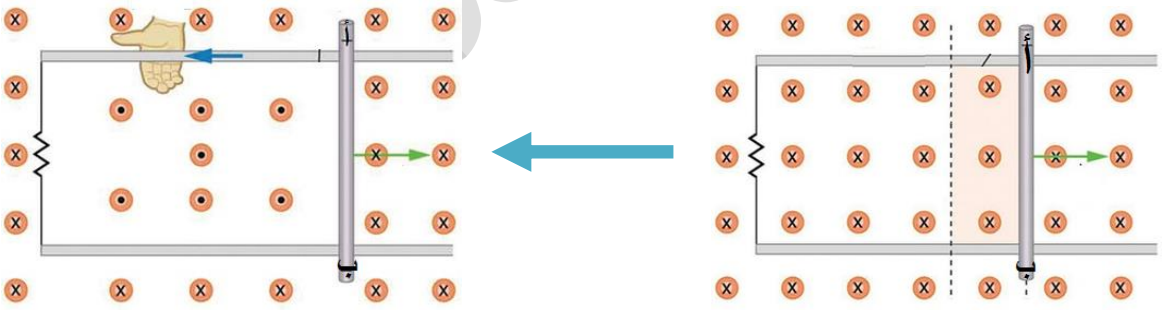
عند تمدد الحلقة تزداد مساحتها و هذا يؤدي الى حدوث زيادة في التدفق المغناطيسي فيتولد في الحلقة قوة دافعة كهربائية حثية سالبة تولد تيار كهربائي حثي يعطي مجال مغناطيسي بعكس اتجاه المجال الاصلي أي الى الخارج باتجاه الناظر و حسب قاعدة اليد اليمنى سوف يكون اتجاه التيار الحثي عكس عقارب الساعة .

- **اذا انكمشت الحلقة الموضوعة في الشكل .**

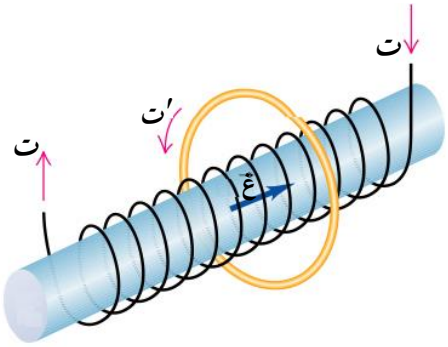
اذا انكمشت الحلقة ستقل مساحتها و هذا يؤدي الى حدوث نقصان في التدفق فيتولد في الحلقة قوة دافعة كهربائية حثية موجبة تولد تيار حثي يعطي مجال مغناطيسي بنفس اتجاه المجال الأصلي أي نحو الداخل و حسب قاعدة قبضة اليد اليمنى سوف يكون اتجاه التيار الحثي مع عقارب الساعة .

- **اذا سحب الموصل (أ ,ب) نحو اليمين .**

عند سحب الموصل (أ , ب) نحو اليمين سوف تزداد المساحة مما يؤدي الى زيادة في التدفق المغناطيسي فينشأ في الموصل قوة دافعة كهربائية حثية تولد تيار حثي يعطي مجال مغناطيسي بعكس المجال الأصلي (الى الداخل) كما يبين الشكل و حسب قاعدة قبضة اليد اليمنى سوف يكون اتجاه التيار الحثي من (ب الى أ) عبر الموصل .



- **لحظة مرور التيار (ت) في الملف الحلزوني (اللحظة الأولى من مرور التيار)**

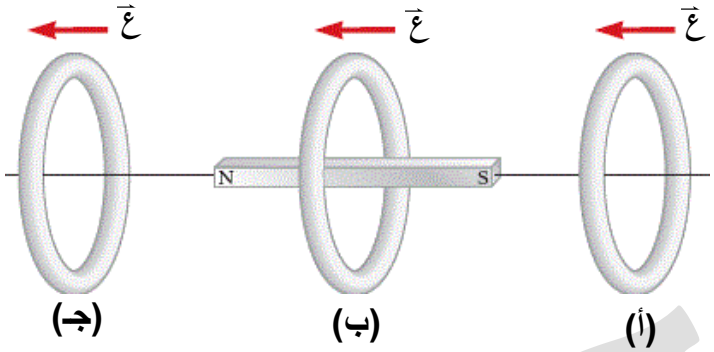


عند مرور التيار ينشأ في الملف الحلزوني مجال مغناطيسي كما في الشكل و بازدياد التدفق المغناطيسي داخل الحلقة تنشأ قوة دفع كهربائية حثية تولد مجال مغناطيسي بعكس اتجاه المجال الأصلي و حسب قاعدة اليد اليمنى سوف يكون اتجاه التيار الحثي عكس عقارب الساعة .

اسئلة عامة على قاعدة لنز :

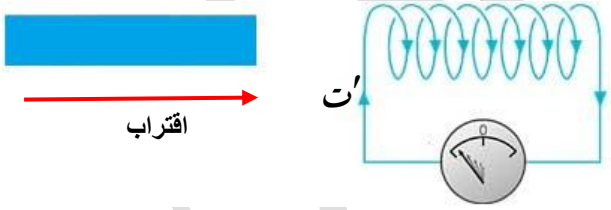
ســـــؤال :

حدد اتجاه التيار الحثي المتولد في الحلقة المتحركة في كل من المواضع (أ , ب , جـ) :



ســـــؤال :

في الشكل المجاور , اذا كان اتجاه التيار الحثي المتولد عبر الغلفانوميتر كما هو موضح , أجب عن الأسئلة التالية علماً بأن المغناطيس قد أقترب من الملف :

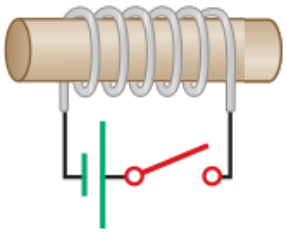


- ما نوع قطب المغناطيس القريب من الملف .
- لماذا نشأ التيار الحثي .
- ما القاعدة المستخدمة في تحديد نوع :

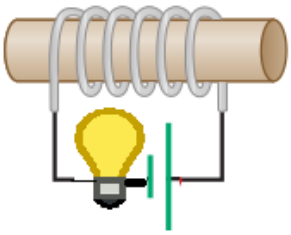
١- قطب المغناطيس ٢- قطبي الملف .

ســـــؤال :

في الشكل التالي وضح ماذا يحدث لأضاءة المصباح عند غلق دارة الملف الابتدائي و ما القاعدة التي استخدمت في تحديد نوع قطبي كل ملف .



الملف الابتدائي

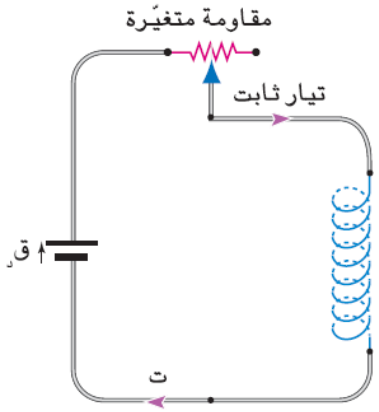


الملف الثانوي

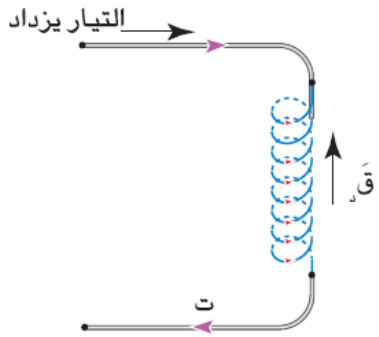
محمد عثمان

الحث الذاتي (Self Induction) .

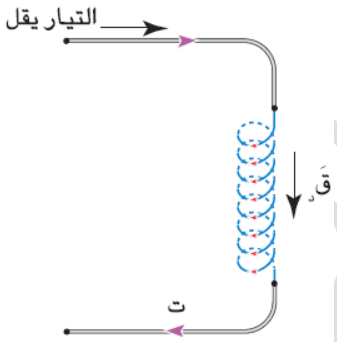
الحث الذاتي هو ظاهرة توليد قوة دافعة كهربائية حثية في ملف بسبب تغير التيار المار فيه بالنسبة للزمن , و هي خاصية طبيعية تمانع بها التغير في التيار الكهربائي الذي يسري بها .



- في الشكل المجاور بعد فترة طويلة من اغلاق المفتاح , ينشأ عن التيار الذي يمر في الدارة مجال مغناطيسي ثابت يولد تدفقاً ثابتاً في الدارة .



- عند زيادة التيار و ذلك عن طريق انقاص المقاومة , يزداد المجال المغناطيسي الذي يخترق الدارة و بالتالي يزداد التدفق فيتولد تيار حثي حسب قانون فارادي و قانون لنز و يكون اتجاه القوة الدافعة الحثية (تسمى القوة الدافعة الحثية الذاتية العكسية) عكس اتجاه القوة الدافعة الأصلية .



- عند نقصان التيار و ذلك عن طريق زيادة المقاومة , يقل المجال المغناطيسي الذي يخترق الدارة و بالتالي يقل التدفق فيتولد تيار حثي حسب قانون فارادي و قانون لنز و يكون اتجاه القوة الدافعة الحثية (تسمى القوة الدافعة الحثية الذاتية الطردية) مع اتجاه القوة الدافعة الأصلية .

يسمى الملف الذي تحدث فيه هذه الظاهرة بـ " **المحث** " و يرمز له بالرمز ( ) .

و هو ملف لولبي يوضع في الدوائر الكهربائية لينمو التيار تدريجياً عن اغلاقها , و يعمل على تلاشي التيار تدريجياً عند فتحها .

وجد عملياً أن القوة الدافعة الحثية الذاتية المتولدة في ملف تتناسب طردياً مع معدل تغير التيار بالنسبة للزمن في هذه الدارة .

$$\frac{\Delta ت}{\Delta ز} \propto ق'_{ذ} \Leftarrow \frac{\Delta ت}{\Delta ز} \text{ثابت} = ق'_{ذ}$$

يسمى الثابت في العلاقة أعلاه " معامل الحث الذاتي للملف " و يرمز له بالرمز (ع) و منه تصبح العلاقة :

$$ق'_{ذ} = -ع \frac{\Delta ت}{\Delta ز}$$

(الاشارة السالبة تعود لقاعدة لنز)

يعتمد معامل الحث الذاتي على شكل المحث و ابعاده الهندسية .

- اذا كان التغير في التيار يحدث في فترة زمنية قصيرة جداً ($\Delta ز \leftarrow ٠$) فانها تصبح (د ز) و كذلك فان ($\Delta ت$) تصبح (د ت) , لذلك تصبح العلاقة كالتالي :

$$ق'_{ذ} = -ع \frac{د ت}{د ز}$$

(القوة الدافعة الحثية اللحظية) .

وحدة قياس معامل الحث (المحاثة) :

$$ع = \frac{ق'_{ذ}}{\Delta ت / \Delta ز} = \frac{\text{فولت}}{\text{أمبير/ثانية}} = \text{هنري} .$$

الهنري : معامل الحث الذاتي لمحث يتولد فيه قوة دافعة كهربائية حثية ذاتية مقدارها واحد فولت عندما يتغير التيار فيه بمعدل أمبير في الثانية .

معامل الحث الذاتي : النسبة ما بين القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة فيه و المعدل الزمني لتغير التيار فيه .

ســـــــؤال :

اذا كان التيار الكهربائي المار في محث يتغير من (٠ ← ت) , احسب معامل الحث الذاتي للمحث ؟

$$\Delta ت = ت - ٠ = ت \quad , \quad \Delta \phi = \phi - ٠ = \phi$$

$$ق'_{ذ} = -ن \frac{\Delta \phi}{\Delta ز} = -ع \frac{\Delta ت}{\Delta ز} \Rightarrow ق'_{ذ} = ع \times ت = \phi ن \Rightarrow ع = \frac{\phi}{ت} ن$$

ن : عدد لفات الملف .

ϕ : التدفق المغناطيسي .

ت : التيار الكهربائي .

ســـــــؤال :

أثبت أن محاثة محث لولبي طوله (ل) و مساحة مقطعه (أ) و عدد لفاته (ن) يعطى بالعلاقة ع $= \frac{\mu_{\circ} ن^{٢} ا}{ل}$ ؟

$$\phi = غ ا جتا \theta \qquad (\theta = ٠)$$

$$\phi = غ ا$$

$$غ = \frac{\mu_{\circ} ن ت}{ل}$$ (المجال المغناطيسي داخل الملف الحلزوني "المحث") .

$$\therefore \phi = ا \times \frac{\mu_{\circ} ن ت}{ل}$$

$$ع = \frac{ن \times ا \times \frac{\mu_{\circ} ن ت}{ل}}{ت} \Leftarrow \boxed{ع = \frac{\mu_{\circ} ن^{٢} ا}{ل}}$$ مهم

من العلاقة أعلاه نلاحظ أن معامل الحث الذاتي يعتمد على :

- مربع عدد اللفات (طردي) .
- ثابت النفاذية المغناطيسية (طردي) .
- مساحة مقطع الملف (طردي) .
- طول الملف (عكسي).

} يعتمد على الأبعاد الهندسية

ســـــــؤال :

تناقص التيار الكهربائي في ملف من (٦ الى ١) أمبير خلال (٠,١) ثانية , اذا كانت القوة الدافعة الحثية الذاتية المتوسطة تساوي (٢٠٠) فولت , احسب محاثة المحث في هذه الحالة ؟

ســـــؤال :

أثبت أن محاثة ملف دائري نصف قطره (نو) و عدد لفاته (ن) تعطى بالعلاقة ع = $\frac{\mu_{\circ} \, ن^{2} \, ط}{2 \, نو}$.

ســـــؤال :

ملف عدد لفاته (١٠٠) لفة , يمر فيه تيار كهربائي مقداره (٥) أمبير , فيحدث تدفق مقداره (٥٠) ويبر , اذا عكس اتجاه التيار خلال زمن مقداره (٠,٥) ثانية , احسب :

- القوة الدافعة الكهربائية الحثية الذاتية المتولدة في الملف .
- معامل الحث الذاتي للملف .

ســـــؤال :

ملف لولبي عدد لفاته (ن) لفه , و محاثته (ح) هنري , اذا زيدت عدد لفاته بنفس اتجاه الملف ليصبح (٢ن) لفة مع بقاء طوله ثابت , فاحسب كم تصبح محاثة المحث الجديد ؟

ســـــؤال :

ملف لولبي عدد لفاته (١٠٠) لفة , و طوله (π)سم , و مساحة مقطعه (٢)سم٢ , جد :

أولاً : احسب محاثة الملف اذا كان الملف :

- هوائي النواة ($\mu_{\circ} = ٤\pi \times ١٠^{-٧}$ ويبر/أمبير.ث)
- حديدي النواة ($\mu_{\circ} = ٠,٠٠٢$ ويبر/أمبير.ث)

ثانياً : (على اعتبار أن الملف هوائي النواة) احسب القوة الدافعة الحثية اذا كان التيار الكهربائي المار في الدارة :

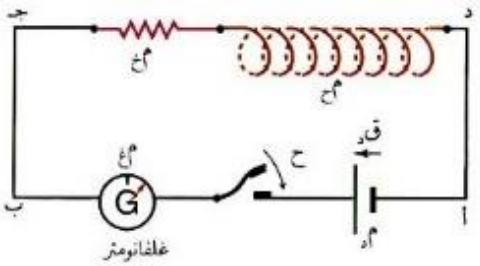
- يتناقص بمعدل (٥٠) أمبير/ث .
- يتزايد بمعدل (١٠) أمبير/ث .

ســـــؤال :

جد معدل تغير التيار بالنسبة للزمن في ملف محاثته (٠,٠٢) هنري , اذا كانت القوة الدافعة الكهربائية الحثية المتولدة فيه تساوي (٠,٠٦) فولت .

دارة مقاومة و محث (The RL Circuit) .

ينمو التيار تدريجياً عند اغلاق الدارة و يتلاشى تدريجياً عند فتحها و ذلك بسبب وجود المحث حيث يمنع التيار من الوصول الى قيمته العظمى لحظة الاغلاق , و كذلك الوصول الى الصفر لحظة الفتح .



الشكل المجاور يمثل دارة مقاومة و محث , حيث يتولد في الملف

قوة دافعة كهربائية حثية ذاتية عكسية مقدارها $ق'_{د} = -ع \frac{\Delta ت}{\Delta ز}$

و حسب قانون لنز يكون اتجاهها عكس التيار الأصلي (عكس القوة الدافعة الأصلية).

عند تطبيق قاعدة كيرتشوف على الدارة بالاتجاه (أ , ب , جـ , د , أ) و بعد فترة من الاغلاق نجد أن :

$$-ت(م_{ع} + م_{د} + م) + ق_{د} - ق'_{د} = \text{صفر}.$$

$$-ت \times م + ق_{د} - ق'_{د} = \text{صفر}.$$

$$\therefore ق'_{د} = ق_{د} - ت \times م$$

$$ع \frac{\Delta ت}{\Delta ز} = ق_{د} - ت \times م \Leftarrow \boxed{\frac{\Delta ت}{\Delta ز} = \frac{ق_{د} - ت \times م}{ع}}$$

$\frac{\Delta ت}{\Delta ز}$: معدل نمو التيار بالنسبة للزمن أو معدل الاضمحلال .

نلاحظ من المعادلة :

١ – معدل نمو التيار بالنسبة للزمن يعتمد على :

- مقدار القوة الدافعة الكهربائية للبطارية .
- مقدار التيار الكهربائي .
- المقاومة المكافئة للدارة .
- معامل الحث الذاتي للمحث .

٢ – العلاقة ما بين معدل نمو التيار و معامل الحث الذاتي علاقة عكسية :

$$\frac{١}{ع} \propto \frac{\Delta ت}{\Delta ز}$$

ع (كبيرة) $\Leftarrow \frac{\Delta ت}{\Delta ز}$ (قليلة) , أي أن التيار ينمو ببطء لذلك يحتاج لزمن كبير للوصول لقيمته العظمى .

ع (قليلة) $\Leftarrow \frac{\Delta ت}{\Delta ز}$ (كبيرة) , أي أن التيار ينمو بشكل سريع و يصل لقيمته العظمى بزمن قصير .

٣ – العلاقة ما بين معدل نمو التيار و المقاومة علاقة عكسية :

م (كبيرة) $\Leftarrow \frac{\Delta ت}{\Delta ز}$ (قليلة) .

م (قليلة) $\Leftarrow \frac{\Delta ت}{\Delta ز}$ (كبيرة) .

نلاحظ مما سبق :

- لزيادة معدل نمو التيار أو معدل اضمحلاله نقلل (ح) و نقلل (م) .
- لتقليل معدل نمو التيار أو معدل اضمحلاله نزيد (ح) و نزيد (م) .

٤ – لحظة اغلاق الدارة (ت = صفر) .

$$\frac{د ت}{د ز} = \frac{ق'_{ر}}{ع}$$

معدل نمو التيار بالنسبة للزمن لحظة اغلاق المفتاح في الدارة .

لاحظ أنه لا يوجد علاقة لقيمة المقاومة بمعدل نمو التيار لحظة اغلاق الدارة .

على ماذا يعتمد معدل نمو التيار لحظة اغلاق الدارة ؟؟

- القوة الدافعة الكهربائية للبطارية .
- معامل الحث الذاتي .

لحظة اغلاق الدارة يكون معدل نمو التيار بالنسبة للزمن أكبر ما يمكن و بعد ذلك يبدأ بالتناقص لأنه لحظة الاغلاق ينشأ في المحث قوة دافعة كهربائية حثية تكون أكبر ما يمكن و تساوي القوة الدافعة الكهربائية للبطارية و تعاكسها بالاتجاه :

$$ق'_{ر} = -ع \frac{\Delta ت}{\Delta ز}$$ بتعويض $\frac{د ت}{د ز}$ لحظة الاغلاق

$$ق'_{ر} = -ع \times \frac{ق'_{ر}}{ع} \Leftarrow ق'_{ر} = -ق_{ر}$$

علل :

يكون التيار الكهربائي المار في دارة محث _ مقاومة مساوياً للصفر لحظة الاغلاق .

لأنه ينشأ في المحث قوة دافعة كهربائية حثية ذاتية عكسية تساوي القوة ال\افعة الكهربائية للبطارية و تعاكسها اتجاهاً لذلك يكون مجموع القوى الدافعة في الدارة صفر و التيار صفر .

ملاحظة : يسمى المقدار ع $\frac{\Delta ت}{\Delta ز}$ جهد المحث .

اذا طلب حساب فرق الجهد الكهربائي بين طرفي المحث فانه يعطى بالعلاقة التالية :

$$جـ = ع \frac{\Delta ت}{\Delta ز} + ت \times م_{ع}$$

- لحظة الاغلاق لا يوجد تيار كهربائي في الدارة لذلك يكون فرق الجهد بين طرفي المقاومة يساوي صفراً و يكون جهد المحث أكبر ما يمكن لأن $\frac{\Delta ت}{\Delta ز}$ أكبر ما يمكن .

٥ – عندما يصل التيار الى قيمته العظمى (ت= ت عظمى) .

$\frac{\Delta ت}{\Delta ز}$ = صفر .

$$\frac{\Delta ت}{\Delta ز} = \frac{ق_{ر} - ت \times م}{ع} \Leftarrow ٠ = \frac{ق_{ر} - ت_{ع} \times م}{ع}$$

$ق_{ر} - ت_{ع} \times م = ٠ \Leftarrow ق_{ر} = ت_{ع} \times م$ جهد المقاومة يساوي القوة الدافعة

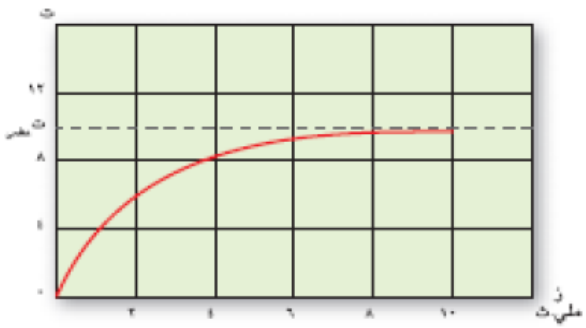
$$ت_{ع} = \frac{ق_{ر}}{م}$$ القيمة العظمى للتيار .

تعتمد القيمة العظمى للتيار على : ١- القوة الدافعة الكهربائية ٢ – مقاومة الدارة .

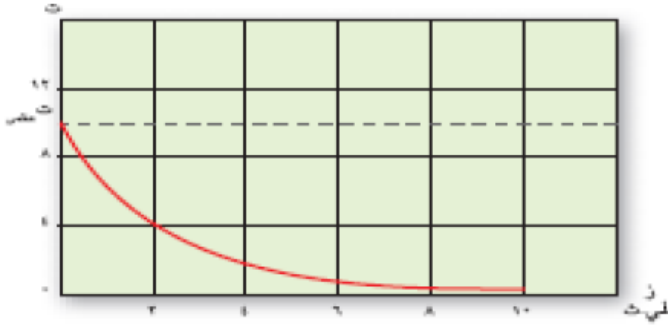
في هذه الحالة نتعامل مع المحث وكأنه مقاومة في الدارة .

عندما يصل التيار الى قيمته العظمى , جهد المحث يساوي صفر و يكون فرق جهد المقاومات أكبر ما يمكن و يساوي القوة الدافعة الكهربائية للبطارية .

العلاقة البيانية ما بين التيار و الزمن في حالتي نمو التيار و تلاشي التيار :



(نمو التيار)



(اضمحلال التيار)

سؤال :

بالاستعانة بالبيانات المثبته على الرسم , احسب كل مما يلي :

- **القوة الدافعة الكهربائية الحثية العكسية المتولدة عندما يكون التيار (٤٠%) من قيمته العظمى .**
- **فرق الجهد بين طرفي المحث عندما يكون التيار (٤٠%) من قيمته العظمى .**

محمد عثمان