التأثير المغناطيسي للتيار الكهربي

مقدمة :- عندما وضع العالم الدنماركي هانز أورستد عام ١٨١٩م بوصلة مغناطيسية بجوار سلك يمر به تيار كهربي لاحظ انحراف مؤشر البوصلة ، وعندما قطع التيار عن السلك عادت البوصلة إلى وضعها الأصلي وهذا يدل على تولد مجال مغناطيسي حول السلك نتيجة مرور التيار به .

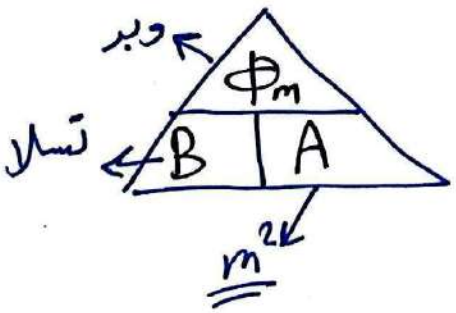
المجال المغناطيسي :- هو الحيز المحيط بالمغناطيس وتظهر فيه آثار قوته المغناطيسية .

المجال المغناطيسي المنتظم :- هو المجال الذي تكون فيه كثافة خطوط الفيض ثابتة عند أي نقطة .

المجال المغناطيسي الغير منتظم :- وهو المجال الذي تختلف فيه كثافة خطوط الفيض من نقطة عن الأخرى .

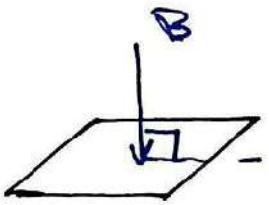
⇐ **الفيض المغناطيسي (Φ_m) :-** يقدر بالعدد الكلي لخطوط الفيض المغناطيسي التي تمر عمودياً بمساحة ما . ووحدة قياسه (الوبر) (Weber)

⇐ **كثافة الفيض المغناطيسي (B) :-** عدد خطوط الفيض التي تمر عمودياً بوحدة المساحات ، وهي تعبر عن شدة المجال المغناطيسي



إذا كانت خطوط الفيض عمودية على المساحة

$\Phi_m = AB$

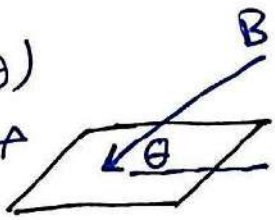


إذا كانت B مائلة على المساحة بزاوية θ

$\Phi_m = AB\sin\theta$

$= AB\cos(90-\theta)$

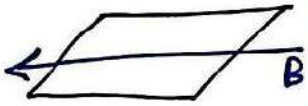
θ هي الزاوية بين A و B



إذا كانت B موازية للمساحة

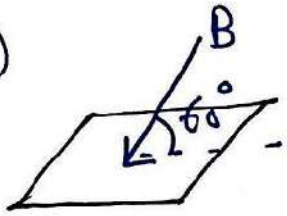
$\Phi_m = AB\sin(zero)$

$= zero$



$\Phi_m = AB\sin(60)$

$= AB\cos(30)$



س متى ينعدم الفيض المغناطيسي Φ_m عند نقطة ؟

عندما تكون خطوط المجال المغناطيسي موازية للمساحة المحيطة بتلك النقطة

لأنه في هذه الحالة تكون $\theta = 0$ صفر ومنه $\Phi_m = AB\sin(0) = zero$

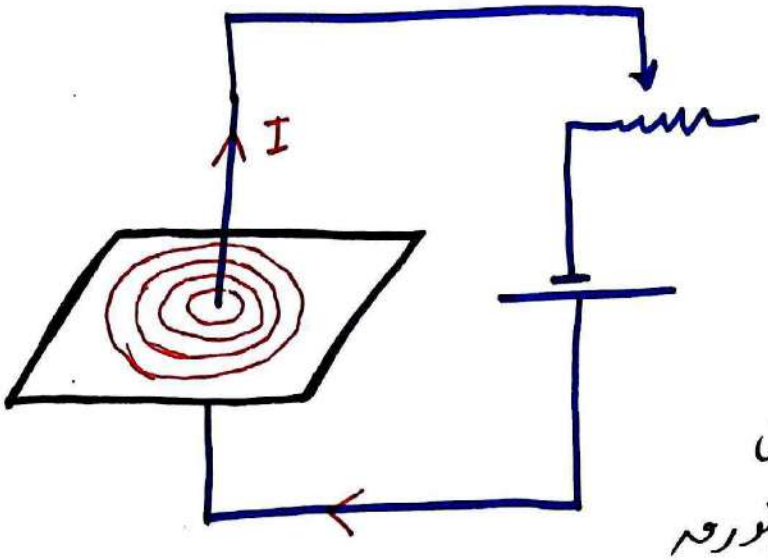
س متى يكون الفيض المغناطيسي عند نقطة أكبر ما يمكن ؟

عندما تكون خطوط الفيض المغناطيسي عمودية على تلك النقطة

$\theta = 90^\circ \longrightarrow \Phi_m = AB\sin(90) \rightarrow \boxed{\Phi_m = AB}$

المجال المغناطيسي الناشئ عند مرور تيار كهربي في سلك مستقيم

خطوات التجربة :-



* نخرج لوح من الورق المقوى ونفعه أفقياً .
* نخرق سلك مستقيم بحيث يخترق الورقة عمودياً عليها ونمرر به تيار كهربي كما بالشكل
* ننثر برادة الحديد على لوح الورق ونقوم بالطرق على اللوح طرقات خفيفة عدة مرات .

المشاهدة والملاحظات :-

* تتشكل برادة الحديد على هيئة دوائر منتظمة ومتحدة المركز ومركزها السلك
* تتزاحم هذه الدوائر عند المركز وتتباعد كلما ابتعدنا عن السلك
* بزيادة شدة التيار في السلك ثم الطرق على اللوح مرة أخرى نلاحظ أن الدوائر أصبحت أكثر ازدحاماً ؟ أي أن شدة المجال تزداد بزيادة شدة التيار.

حساب كثافة الفيض المغناطيسي عند نقطة بجوار السلك

تعتمد كثافة الفيض المغناطيسي الناتجة عن مرور تيار في سلك مستقيم على

1. شدة التيار الكهربي $B \propto I$
2. البعد العمودي للنقطة عن السلك $B \propto \frac{1}{d}$ حيث كلما ابتعدنا عن السلك تقل عدد الخطوط وبالتالي تقل شدة المجال
3. نفاذية الوسط μ

$B \propto \frac{I}{d}$

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d}$$

← قانون أمبير الدائري

← تحديد اتجاه المجال

قاعدة اليد اليمنى لأمبير :- عندما نقبض على السلك باليد اليمنى بحيث يشير الابهام إلى اتجاه التيار فإنه اتجاه دورانه باقى الاصابع يشير الى اتجاه المجال المغناطيسى .

النفاذية المغناطيسية للوسط μ :-

هى قدرة الوسط على إنفاذ خطوط الفيض المغناطيسى من خلاله.

$$B = \frac{\mu I}{2\pi d} \Rightarrow \mu = 2\pi \frac{Bd}{I}$$

$$\mu \equiv \frac{Tesla.m}{A} \equiv \frac{Weber.m}{m^2 A} = Weber/A.M$$

← وحدة قياس النفاذية المغناطيسية

معامل نفاذية الهواء = $4\pi \times 10^{-7}$ وبر/أمبير.متر.

س على ينصح ببناء المساكن بعيداً عن أبراج الضغط العالى ؟

حفاظاً على الصحة العامة للسكان حيث يتولد مجال مغناطيسى حول تلك الأسلاك ، وتقل شدته كلما ابتعدنا عن اسلاك .

ملاحظات

← يمكن تمثيل المجال المغناطيسى بنقطة (.) أو بعلامة (X)
- النقطة تعنى أن المجال خارج من الورقة .
- علامة X " " " داخل للورقة .

← يمكن تمثيل السلك المستقيم بنقطة أو علامة (X)
- النقطة تعنى أن السلك عمودى على الورقة والتيار للخارج .
- علامة (X) " " " " " " " للداخل .

أمثلة عليهم أثناء الشرح

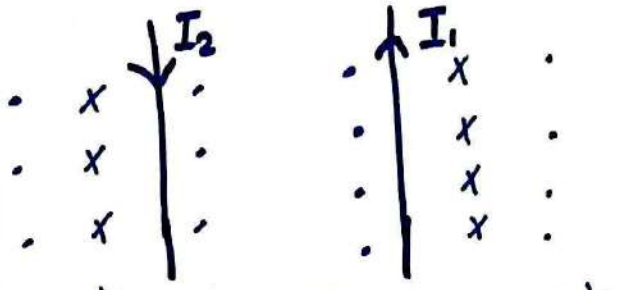
نقطة التعادل

١- وهي النقطة التي يكون عندها محصلة كثافة الفيض المغناطيسي = صفر .

٢- تقع نقطة التعادل في منطقة طرح .

٣- نقطة التعادل تكون أقرب للأضعف تياراً .

⇐ إذا كان السلكان متوازيان والتياران متعاكسان :-



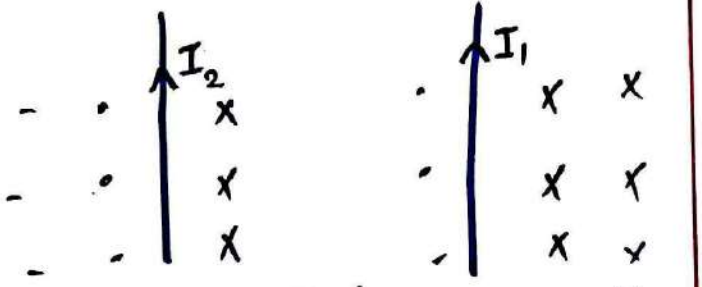
منطقة طرح منطقة جمع منطقة طرح

- توجد نقطة تعادل واحدة .
- تقع نقطة التعادل في أحد مناطق الطرح .
- نقطة التعادل يكون عندها $B_2 = B_1$

$$B_1 = \frac{\mu I_1}{2\pi d_1} \qquad B_2 = \frac{\mu I_2}{2\pi d_2}$$

- تقع بالقرب من الأضعف تياراً .

⇐ السلكان متوازيان والتيار في نفس الاتجاه .



جمع طرح جمع

جمع	طرح	جمع
$B_T = B_1 + B_2$ $= B_2 + B_1$	$B_T = B_1 - B_2$ $= B_2 - B_1$	$B_T = B_1 + B_2$ $= B_2 + B_1$

$$B_1 = \frac{\mu I_1}{2\pi d_1} \qquad B_2 = \frac{\mu I_2}{2\pi d_2}$$

B_T داخل السلك $= \frac{\mu I_1}{2\pi d_1} + \frac{\mu I_2}{2\pi d_2}$ $B_1 > B_2$

$= \frac{\mu I_2}{2\pi d_2} - \frac{\mu I_1}{2\pi I}$ $B_2 > B_1$

B_T خارج السلكين $= B_1 + B_2$

$= \frac{\mu I_1}{2\pi d_1} + \frac{\mu I_2}{2\pi d_2}$

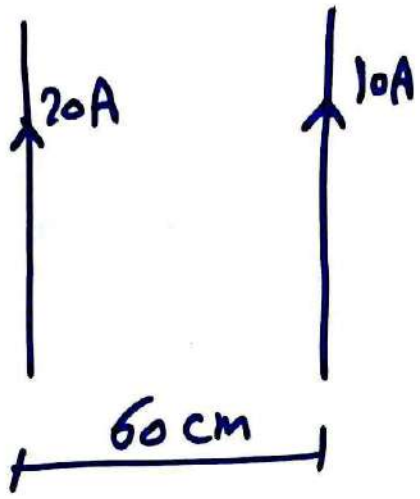
نقطة التعادل تقع بين السلكين

ملحوظة هامة

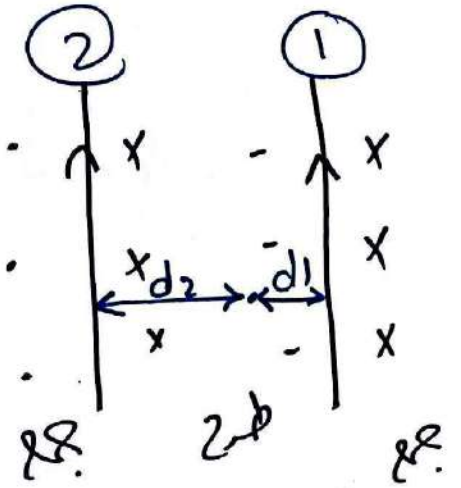
لا توجد نقطة تعادل في هذه الحالة

⇐ إذا كان السلكان متوازيان ويمر بهما تياران متساويان في المقدار ومتضادان في الاتجاه .

أوجد موضع نقطة التعادل



الحل



← أول خطوة وضح اتجاه المجال في كل منطقة

← نقطة التعادل تقع بين السلكين

لأن منطقة طرح (قريب من الأقوى)

عند نقطة التعادل يكون $B_1 = B_2$

$$\frac{\mu I_1}{2\pi d_1} = \frac{\mu I_2}{2\pi d_2}$$

$$\frac{10}{d_1} = \frac{20}{d_2} = \frac{20}{60 - d_1}$$

$$60 - d_1 = 2d_1$$

$$60 = 3d_1$$

$$\boxed{d_1 = 20\ cm}$$

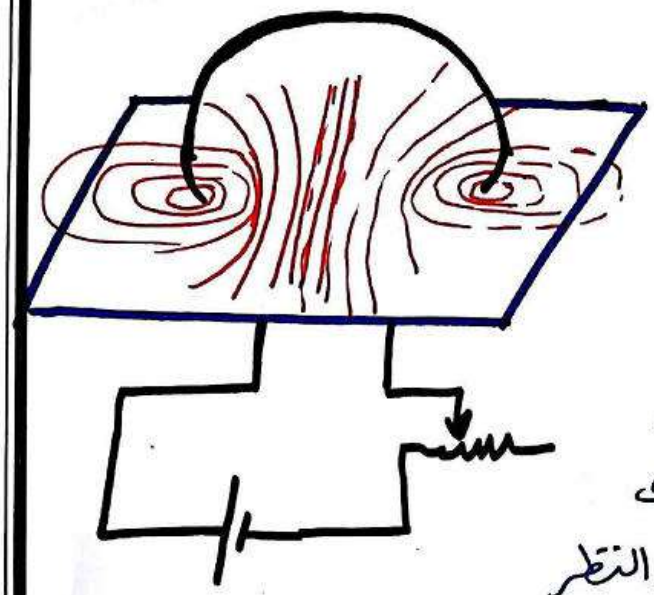
تقع نقطة التعادل على بعد 20 cm من السلك ① و 40 cm من السلك ② وتقع بين السلكين

جروبات الوصول للقمة
@reachforthetop

المجال المغناطيسي الناشئ عن مرور تيار في ملف دائري

خطوات التجربة

* نحضر لوح من الورق المقوى ونضعه أفقياً .
* يخترقه اللوح ملف دائري يمر به تيار كهربي .
* ننثر برادة الحديد على لوح الورق ونطرقه طرقات خفيفة عدة مرات .



الملاحظات

* المجال الناشئ عن هذا الملف يشبه إلى حد كبير المجال الناتج عن مغناطيس قصير حيث يكون الوجه الذي يبدو فيه اتجاه التيار عند النظر إليه في اتجاه عقارب الساعة قطباً جنوبياً والوجه الآخر يمثل القطب الشمالي
* تفقد الخطوط دائريتها .
* خطوط الفيض عند محور الملف (مركز الملف) خطوط مستقيمة ومتوازية ومتعامدة على مستوى الملف . (مجال منتظم عند المركز) .

تحديد اتجاه المجال :-

قاعدة اليد اليمنى للكسويل
(لتحديد اتجاه مجال الملف الدائري)

نضع اليد عند مركز الملف ونجعل دوائرها مع اتجاه التيار فيكون الإبهام مع اتجاه المجال

قاعدة عقارب الساعة (تحديد قطبية المجال)

الوجه الذي يبدو فيه اتجاه التيار الكهربي عكس النظر إليه في اتجاه حركة عقارب الساعة يكون وجهاً جنوبياً ، بينما الوجه الذي يكون فيه اتجاه التيار عند النظر إليه عكس اتجاه حركة عقارب الساعة وجهاً شمالياً

@reachforthetop

العوامل التى يتوقف عليها B عند مرور تيار فى ملف دائرى :-

١- شدة التيار الكهربى $B \propto I$

٢- عدد لفات الملف الدائرى $B \propto N$

٣- نصف قطر الملف الدائرى $B \propto \frac{1}{r}$

٤- النفاذية المغناطيسية للوسط $B \propto \mu$

$B \propto \frac{\mu I N}{r}$ $\quad B = \text{ثابت} \times \frac{\mu I N}{r}$

$$B = \frac{\mu I N}{2r}$$

قانونها هام جداً .

عندما يكون معطى فى المسألة سلك وملف دائرى ومطلوب نقطة إتعادل نطبق الآتى

$$B_{\text{سلك}} = B_{\text{ملف}}$$

$$\frac{\mu I_1}{2\pi d} = \frac{\mu I_2 N}{2r}$$

عندما يتم تحويل سلك مستقيم إلى ملف دائرى أو العكس نستخدم القاعدة الآتية

$$\underset{\text{طول السلك}}{L} = \underset{\text{عدد لفات الملف}}{N} \; 2\pi \underbrace{r}_{\text{نصف قطر الملف}}$$

ملفان دائريان متحدا المركز ومستويهما معاً

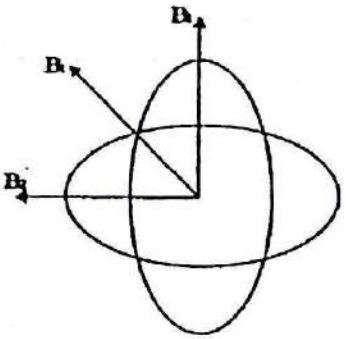
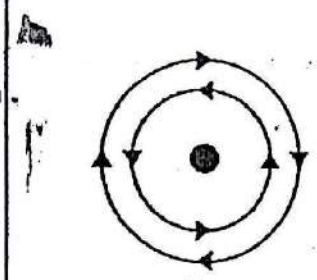
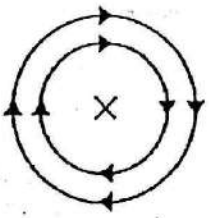
- على التوالى: $B_T = B_1 - B_2$
- على التوازى: $B_T = B_1 + B_2$

فى حالة إعادة تشكيل ملف دائرى عدد لفاته N_1 لتصبح N_2 مع توصيله بنفس المصدر

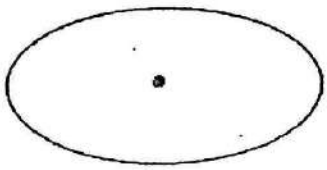
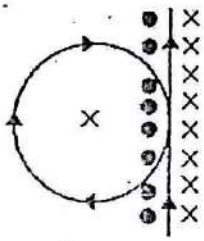
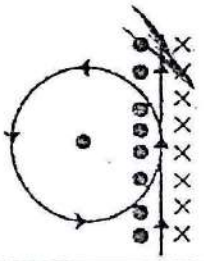
$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{r_1}{r_2} \longrightarrow \frac{B_2}{B_1} = \frac{N_2 r_1}{N_1 r_2}$$

- ملاحظات :

1- في حالة أكثر من ملف :

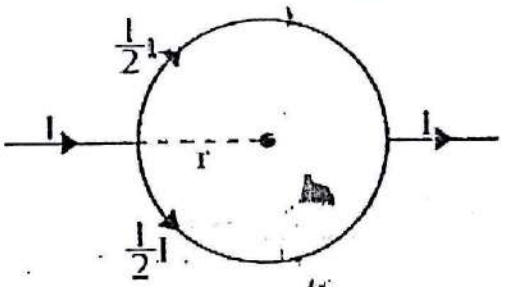
ملفان متعامدان على بعضهما	ملفان تياراهما في عكس الاتجاه	ملفان تياراهما في نفس الاتجاه
		
$B_t = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}$	$B_t = B_1 - B_2$ $B_1 > B_2$	$B_t = B_1 + B_2$
	بتطبيق قاعدة البريمة اليمنى لماكسويل نجد أن اتجاه مجال أحد الملفين للداخل واتجاه مجال الآخر للخارج أي أن مجال كل منهما في اتجاهين متضادين.	بتطبيق قاعدة البريمة اليمنى لماكسويل نجد أن الملفين اتجاه مجال كل منهما للداخل أي أن مجال كل منهما في نفس الاتجاه.

2- في حالة ملف وسلك :

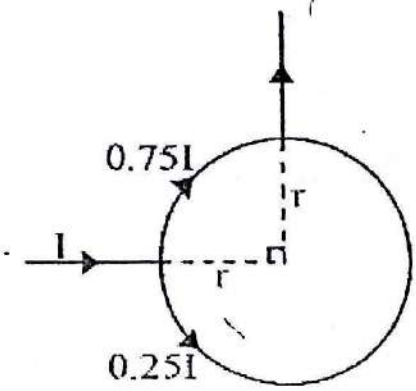
إذا كان مجالاهما متعامدين	إذا كان اتجاه مجاليهما في عكس الاتجاه	إذا كان اتجاه مجاليهما في نفس الاتجاه
		
$B_t = \sqrt{B_{سلك}^2 + B_{ملف}^2}$	$B_t = B_{كبير} - B_{صغير}$	$B_t = B_{سلك} + B_{ملف}$

$B_{سلك} = \frac{\mu I_{سلك}}{2\pi r}$ | $B_{دائري} = \frac{\mu I_{دائري} N}{2r}$

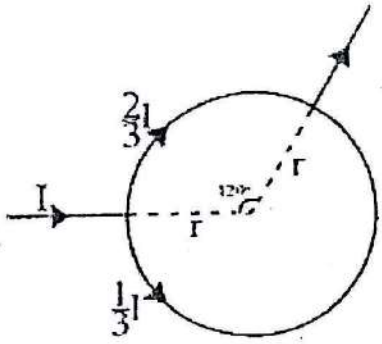
شكراً أ/ محمد المبروك



$$B_t = B_{علوي} - B_{سفلي}$$
$$= \frac{\mu \frac{1}{2}\frac{1}{2} I}{2r} - \frac{\mu \frac{1}{2}\frac{1}{2} I}{2r} = zero$$



$$B_t = B\,(\text{قوس صغير}) - B(\text{قوس كبير})$$
$$= \frac{\mu \frac{1}{4}\frac{3}{4} I}{2r} - \frac{\mu \frac{3}{4}\frac{1}{4} I}{2r}$$
$$= zero$$

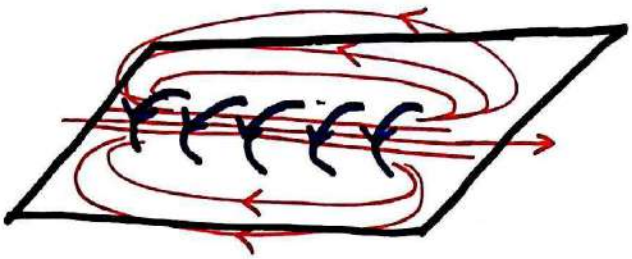


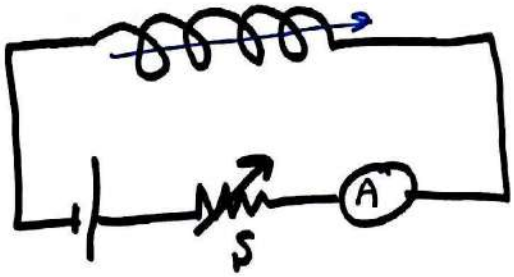
$$B_t = B(\text{قوس صغير}) - B(\text{قوس كبير})$$
$$= \frac{\mu \frac{1}{3}\frac{2}{3} I}{2r} - \frac{\mu \frac{2}{3}\frac{1}{3} I}{2r}$$
$$= zero$$

جروبات الوصول للقمة
@reachforthetop

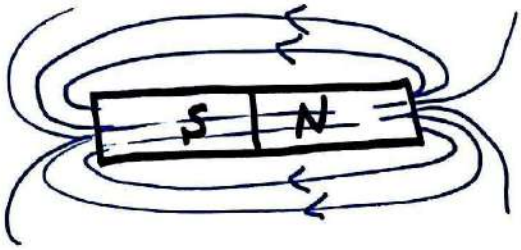
المجال المغناطيسي لتيار كهربي يمر في ملف لولبي

عندما يمر تيار كهربي في ملف لولبي يتصل بمصدر تيار كهربي فإنه يتولد مجالاً مغناطيسياً يشبه إلى حد كبير المجال الناتج عن مغناطيس طويل.





خصائص خطوط الفيض



أ- داخل الملف :- خطوط الفيض عند محور الملف تكون مستقيمة ومتوازية وموازية لمحور الملف [مجال منتظم عند المحور].

ب- خطوط الفيض تمثل مسارات متصلة داخل وخارج الملف أي أن كل خط بمثابة مسار مغلق.

جـ- طرف الملف الذي تخرج منه خطوط الفيض يمثل قطباً شمالياً، والطرف الآخر الذي تدخل فيه خطوط الفيض يمثل قطباً جنوبياً.

العوامل التي تتوقف عليها B الناتجة عن مرور تيار في ملف دائري.

١- شدة التيار الكهربي $B \propto I$

٢- عدد اللفات $B \propto N$

٣- طول الملف $B \propto \frac{1}{L}$

$$B \propto \frac{N I}{L}$$

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

L → طول الملف

$$B = \mu n I$$

n :- عدد اللفات لوحدة الأطوال.

حلول الوصول للقمة
@reachforthetop

تحديد اتجاه خطوط الفيض :- (القاعدتان يستخدمان لتحديد القطبية)

⇐ أمير اليد اليمنى :-
نقبض بأصابع اليد اليمنى (ماعدا الابهام) بحيث يشير اتجاه دوران إلى اتجاه التيار الكهربى ، عندئذ يشير الإبهام إلى اتجاه القطب الشمالى

⇐ قاعدة البريمة اليمنى :-
نضع البريمة عند محور الملف ونقوم بدورانها مع اتجاه التيار الكهربى فيكون اندفاعها يشير إلى القطب الشمالى ، ويشير ايضاً إلى اتجاه المجال

س تزداد كثافة الفيض المغناطيسى عند محور الملف اللولبى الذى يمر به تيار عند وضع سلك حديد بداخله ؟
لأنه النفاذية المغناطيسية للحديد المطاوع أكبر من نفاذية الهواء حيث $B = \frac{\mu I N}{L}$ كما يقوم الحديد المطاوع بتجميع وتركيز خطوط الفيض داخل الملف .

س هل قد يمر تيار كهربى فى ملف حلزونى ولا يتولد عنه مجال مغناطيسى ؟
س هل قد لا تتمغنط قطعة حديد عند وضعها داخل ملف لولبى يمر به تيار كهربى ؟
س متى تنعدم كثافة الفيض فى ملف حلزونى يمر به تيار كهربى ؟
يحدث ذلك عندما يكون الملف ملفوف لفاً مزدوجاً حيث يلاشى المجال المغناطيسى لأحد الفرعين المجال الناتج عن الفرع الآخر ، وذلك لأن اتجاه التيارات فى الفرعين متعاكسة .

إذا أبعدت لفات ملف دائرى يتحول إلى ملف حلزونى

$$\frac{B_2 \text{ حلزونى}}{B_1 \text{ دائرى}} = \frac{(2r) \text{ دائرى}}{(L) \text{ حلزونى}}$$

إذا أبعدت لفات ملف لولبى يتغير طوله ويكون

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{(L_2) \text{ ملف}}{(L_1) \text{ ملف}}$$

ملفان متحدا المركز والتيار فى نفس الاتجاه

$$B_T = B_1 + B_2$$
$$= \mu_1 I_1 n_1 + \mu I_2 n_2$$

ملفان متحدا المركز والتيار متعاكس

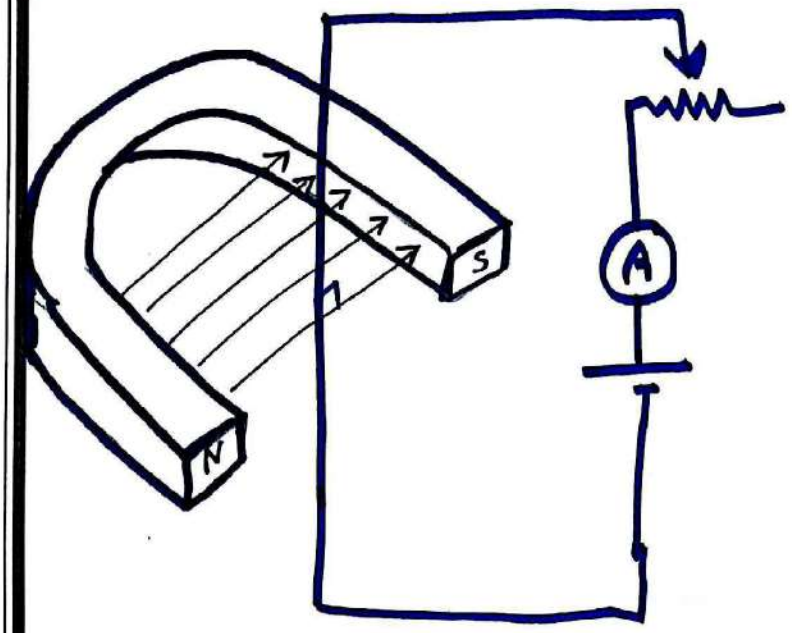
$$B_T = B_{\text{الكبيرة}} - B_{\text{الصغيرة}}$$

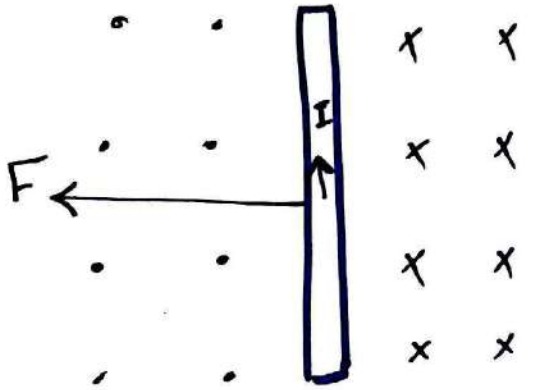
$L_{\text{ملف}} = N \, 2r \rightarrow$ نصف قطر بسلك

احفظ هتنجح ... افهم هتتفوق

Dr : Hamdy

القوة التى يؤثر بها مجال مغناطيسى على سلك مستقيم يمر به تيار كهربى





⊛ إذا وضعنا سلك مستقيم يمر به تيار كهربى فى مجال مغناطيسى ؛ فإنه تنشأ قوة تؤثر على السلك وتكون عمودية عليه وعلى المجال كما هو موضح بالشكل

⊛ إذا عكسنا قطبى المغناطيس [أو] اتجاه التيار الكهربى فى السلك فإن اتجاه القوة يتغير للاتجاه المعاكس.

⇐ تعيين اتجاه القوة التى يؤثر بها مجال مغناطيسى على سلك يمر به تيار كهربى :-

⇐ قاعدة فلمنج لليد اليسرى :-

نجعل أصابع اليد اليسرى [السبابة - الابهام - باقى الاصابع] متعامدين على بعضهم ؛ فإذا اشار السبابة إلى اتجاه المجال والوسطى إلى اتجاه التيار فإن الابهام يشير إلى اتجاه القوة [اتجاه حركة السلك].

العوامل التى تتوقف عليها القوة :-

١- طول السلك :- حيث لوحظ أنه عند استبدال السلك بسلك أطول بحيث يزداد الجزء المقطوع بالفيض فإن القوة تزداد $F \propto L$

٢- شدة التيار الكهربى $F \propto I$

٣- كثافة الفيض المغناطيسى $F \propto B$

$$F \propto BIL \Rightarrow F = \text{ثابت} \; BIL$$

$$F = BIL$$

$$B = \frac{F}{IL}$$

تعريف كثافة الفيض المغناطيسى :- تقدر بمقدار القوة المغناطيسية المؤثرة عمودياً على سلك مستقيم يمر به تيار كهربى شدته 1 أمبير وطوله واحد متر وموضوع عمودى على الفيض .

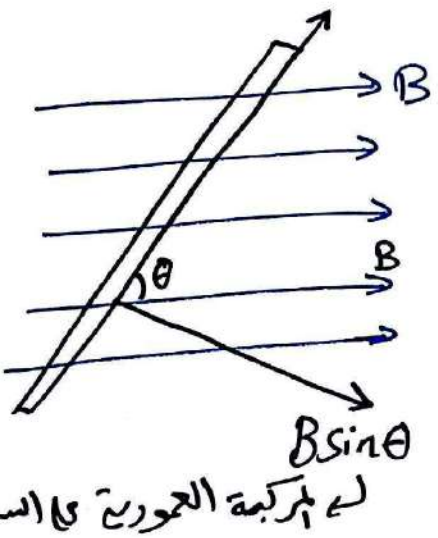
تعريف التسلا :- هى كثافة الفيض المغناطيسى التى تؤثر بقوة مقدارها واحد نيوتن على سلك طوله واحد متر ويمر به تيار شدته واحد أمبير وموضوع عمودى على هذا الفيض .

$$B = \frac{F}{IL} \qquad \text{tesla} \equiv \frac{N}{A \cdot m} \equiv \frac{\text{Webr}}{m^2} \rightarrow \text{Webr} \equiv \frac{N \cdot m}{A}$$

س ما معنى أن كثافة الفيض = 5 تسلا ؟

معنى ذلك أنه عند وضع سلك مستقيم طوله واحد متر ويمر به تيار شدته واحد أمبير عمودى على مجال مغناطيسى منتظم فإنه يتأثر بقوة مقدارها 5 نيوتن .

القوة المؤثرة على السلك عندما يميل بزاوية θ على خطوط الفيض :-



$$F = BIL\sin\theta$$

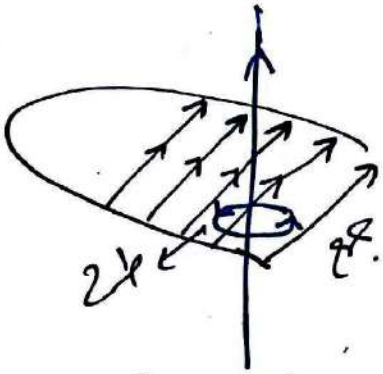
س متى تكون F أعظم ما يمكن ومتى تكون صفر ؟

(أ) تكون عظمى عندما يكون السلك عمودى على المجال $\theta = 90°$ $\Leftarrow$ $F = BIL$

(ب) تكون صفر عندما يكون السلك موازى لخطوط الفيض $\theta = 0$ أو 180 $F = 0$

لـ المركبة العمودية على السلك

س علل عند وضع سلك مستقيم يمر به تيار كهربى عمودياً على فيض مغناطيس فإنه يتأثر بقوة ؟



يحدث ذلك نتيجة لتراكب المجاليه المغناطيسيه

المجال الخاص بالمغناطيس والمجال الناتج عن مرور التيار فى السلك

فينشأ على أحد جانبى السلك منطقة ذات

كثافة فيض أعلى من الجانب الآخر للسلك

فتتولد قوة تحرك السلك من المنطقة ذات الكثافة الأعلى تجاه

المنطقة ذات الكثافة الأقل .

س علل عدم تأثر سلك مستقيم يمر به تيار كهربى وموضوع فى مجال مغناطيس ؟

لأنه فى هذه الحالة يكون السلك موازياً للمجال فتكون $\theta = 0$ أو 180 لأن $F = 0$

$F = BIL\sin\theta$

س علل يتحرك سلك مستقيم يمر به تيار كهربى وموضوع عمودى على مجال منتظم ؟

لأنه يتأثر بقوة مغناطيسية عمودية على كل من السلك والمجال تعمل على تحريكه

وهى نتيجة تراكب المجال المغناطيس الناتج عن مرور التيار فى السلك مع المجال الآخر

فيحدث تغير فى كثافة الفيض على جانبى السلك فيتحرك السلك تجاه الأقل كثافة .

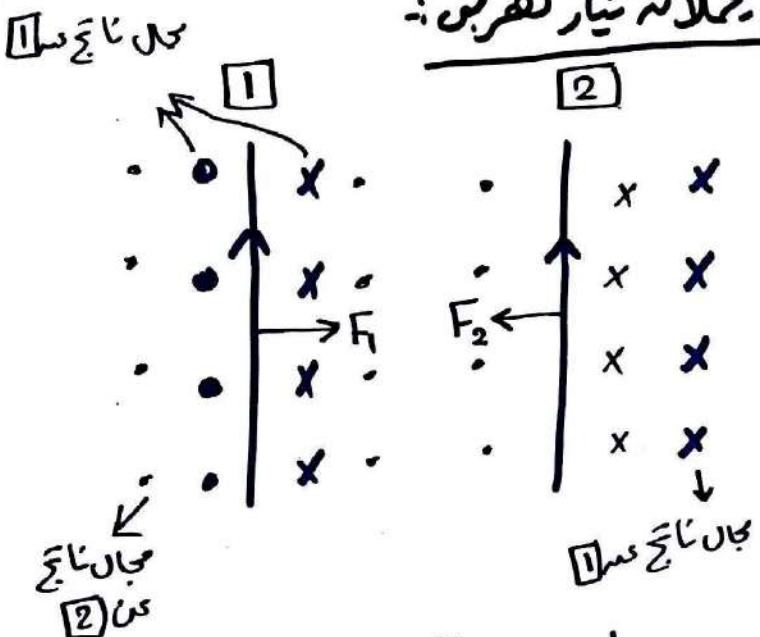
س قلل :- إذا اختلفت كثافة الفيض على جانبي موصل فإنه يتحرك ؟

دروبات الوصول للقمة
@reachforthetop

س قارن بين أمبير اليد اليمنى وقاعدة اليد اليسرى ؟

" " البرغي اليمنى " " "

القوة المتبادلة بين سلكين متوازيين يحملان تيار كهربي :-



$$B_2 = \frac{\mu I_2}{2\pi d}$$

$$B_1 = \frac{\mu I_1}{2\pi d}$$

حيث d هو المسافة بينهما

$$F_1 = B_2 \; I_1 L_1 = \frac{\mu \; I_2 \; I_1 L_1}{2\pi d}$$

$$F_2 = B_1 \; I_2 L_2 = \frac{\mu \; I_1 \; I_2 L_2}{2\pi d}$$

$\boxed{F_1 = F_2}$ وبفرض أن السلكان لهما نفس الطول عندئذ يكون محصلة الفيض خارج السلكين أكبر من الداخل لذلك يحدث تجاذب

← فكرة هذا النوع من المسائل هو اعتبار أحد السلكين مغناطيس يولد كثافة فيض تؤثر على السلك الآخر .

ملحوظة: إذا أثر سلك على سلك آخر بقوة فإن السلك الثاني يؤثر على الأول بنفس القوة بشرط أن يكون طولهما نفس الطول.

س: سلكان متوازيان يمر بهما تيار كهربي ومع ذلك فإنه كثافة الفيض عند منتصف المسافة بينهما تكون صفر؟

وذلك لأن في هذه الحالة يكون التياران في نفس الاتجاه ومتساويان في المقدار

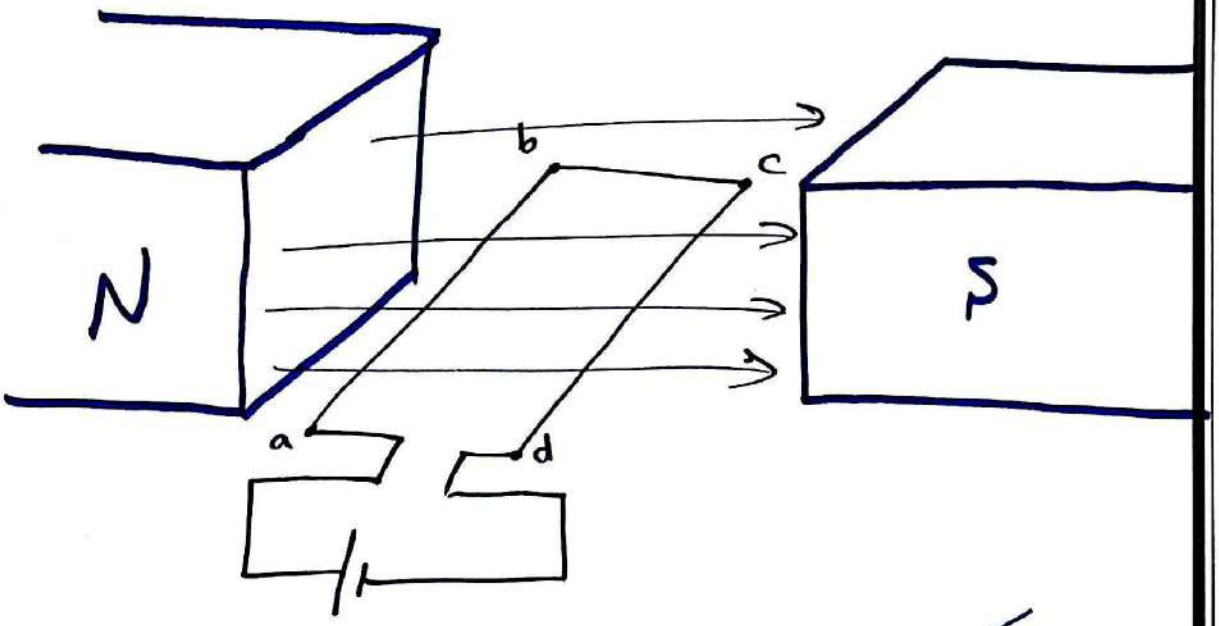
$$B_1 = \frac{\mu}{2\pi} \times \frac{I_1}{d}$$

$$B_2 = \frac{\mu}{2\pi} \times \frac{I_2}{d}$$

$\because I_1 = I_2 \Rightarrow \therefore B_1 = B_2$

جروبات الوصول للقمة
@reachforthetop

القوة والعزم المؤثران على ملف مستطيل يمر به تيار كهربي وموضوع في مجال مغناطيسي



* عندما يكون مستوى الملف موازى لخطوط الفيض فإن الضلعان bc , ad يوازيان خطوط الفيض وبالتالى تكون القوة المؤثرة عليهم تساوى صفر .

* أما كلاً من الضلعان ab ، cd يكونان عموديين على خطوط الفيض وبالتالى فإنهما يتأثران بقوتين متساويتين فى المقدار ومتضادتين فى الاتجاه ومتوازيتان وينشأ عنهما عزم إزدواج

$$\tau = F \times \text{العمود} = F \times L_{bc} \qquad \boxed{F = BIL}$$

$$\therefore \tau = B I L_{ab} L_{bc} = B I A$$

وإذا كان الملف يتكون من عدد N من اللفات فإن

$$\tau = BIAN$$

وعندما يصنع العمود على الملف زاوية θ مع المجال فإن

$$\tau = BIAN\sin\theta$$

اثبات هام

$\tau \longrightarrow$ (N.m) وحدة القياس

الزاوية θ هى :-

١- الزاوية بينه العمودى على مستوى الملف و خطوط الفيض .

٢- الزاوية بينه " " المجال ومستوى الملف .

٣- الزاوية بينه خط عمل القوة و .

س متى يكون τ نهاية عظمى ومتى يكون نهاية صغرى ؟

عزم ثنائى القطب $\vec{m_d}$

$$\boxed{\vec{m_d} = IAN} \Rightarrow \tau = BIAN \Rightarrow \boxed{\tau = B\,|\vec{m_d}|}$$

* يقدر بعزم الأزدواج المؤثر على ملف يمر به تيار كهربى ومستواه موازى لفيض مغناطيس كثافته واحد تسلا .

* عزم ثنائى القطب هو كمية متجهة ، واتجاهها عمودى على مستوى الملف [أى عمودى على المساحة] ، وفى اتجاه اندفاع البريمة اليمنى عندما يكون اتجاه الدوران هو اتجاه التيار الكهربى .

* وحدة قياسه $\vec{m_d} \equiv \frac{\tau}{B} = \frac{N.m}{Tesla} \equiv \frac{N.m.A.m}{N} = A.m^2 \rightarrow \boxed{A.m^2}$

س ما معنى أن عزم ثنائى القطب = ٠.٩ نيوتن.م/تسلا ؟

معنى ذلك أنه إذا وضع ملف يمر به تيار كهربى بحيث يكون مستواه موازى لفيض مغناطيس منتظم كثافته واحد تسلا فإنه يتأثر بعزم إزدواج = ٠.٩ نيوتن.متر .

وحدة قياس عزم ثنائى القطب $\vec{m_d}$

$$\vec{m_d} = \frac{\tau}{B} \equiv \frac{N.m}{tesla} \equiv Am^2$$

س علل :- قد لا يتحرك ملف يمر به تيار كهربى وموضوع فى مجال مغناطيسى ؟

لأن ذلك يكون عندما يكون الملف عمودياً على المجال ؛ حيث فى هذه الحالة يكون البعد العمودى بين القوتين = صفر

τ = القوة × البعد العمودى

س علل :- يتناقص عزم الازدواج عندما يدور الملف بعيداً عن كونه موازياً للمجال ؟

وذلك لأن البعد العمودى بين القوتين يقل تدريجياً حيث أن τ = القوة × البعد العمودى

س ما معنى أن عزم ثنائى القطب = 0.4 نيوتن.م / تسلا ؟

معنى ذلك أن عزم الإزدواج المؤثر على ملف يمر به تيار كهربى وستوى الملف يوازى الفيض الذى كثافته = 1 تسلا يكون مساوياً 0.4 نيوتن . متر

س ما هى العوامل التى يتوقف عليها عزم الإزدواج ؟

$\tau \propto B$ $\tau \propto I$ $\tau \propto A$ $\tau \propto N$

$\tau \propto \sin\theta$

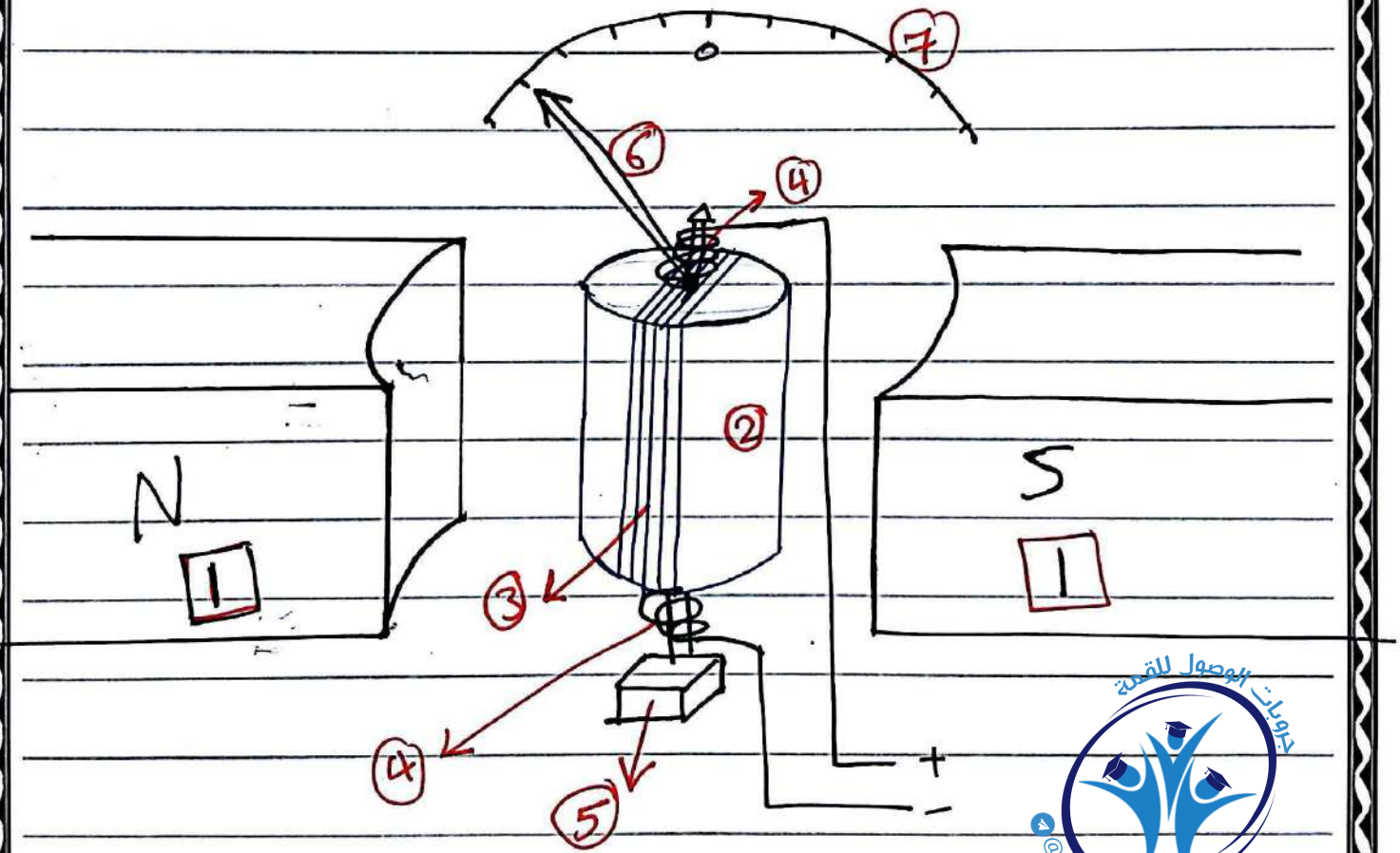
Dr : Hamdy

أجهزة القياس الكهربية

الجلفانومتر ذو الملف المتحرك
"الجلفانومتر الحساس"

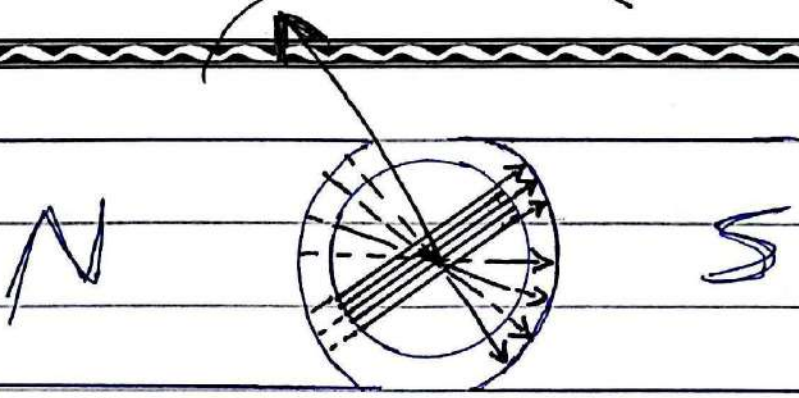
استخدامه [الغرض منه] :-

يستخدم للاستدلال على وجود تيارات كهربية ضعيفة جداً في دائرة كهربية وقياس شدتها وتحديد اتجاهها



خطوات الوصول للقمة
@reachforthetop

Dr : Hamdy



فكرة عمله :- تعتمد فكرة عمله على عزم الإزدواج المؤثر على ملف مستطيل قابل للحركة ويمر به تيار كهربى وموضوع فى مجال مغناطيسى

التركيب :-

1 مغناطيس قوى :- مغناطيس قوى على شكل حذاء لفرس وقطباه مقعران (على) ⇐ وذلك حتى تصبح خطوط الفيض بينهما على هيئة أنصاف أقطار فتكون كثافة الفيض ثابتة فى الحيز الذى يتحرك فيه الملف مهما اختلفت زاوية دورانه وتكون خطوط الفيض موازية لمستوى الملف فى أى وضع وعمودية على أضلاعه الجانبية فينشأ دائماً عزم إزدواج.

2 قلب من الحديد المطاوع :- على شكل إسطوانة مصمتة تعمل على تركيز خطوط الفيض المغناطيسى حيث أن معامل نفاذية الحديد المطاوع أكبر من نفاذية الهواء.

Dr : Hamdy

3 ملف ثابت :- من سلك رفيع معزول ملف حول إطار مستطيل من الألمونيوم (علل) لأن الألمونيوم خفيف الوزن وعليه فهذا الإطار الدورات حول محوره.

4 زوج من الملفات اللولبية :-

أ تعملان كموصلات للتيار إلى الملف الثاني

ب يعملان على توليد عزم ازدواج لي مضاد للإزدواج الناتج عن مرور التيار في الملف ليتزن المؤشر عندما يتساوى العزمان.

ج يعمل على عودة المؤشر إلى وضعه الأصلي بعد قطع التيار الكهربي.

5 حامل من العقيق :-

يرتكز عليه الإطار والملف كما يستخدم العقيق لأنه من الأحجار الكريمة التي تقاوم الاحتكاك فيظل الإطار يدور في نعومة تامة

6 مؤشر :- يثبت في الملف ويكون من الألمونيوم لأنه خفيف الوزن فلا يؤثر وزنه على حركة الملف كما يشير المؤشر إلى قيمة التيار الكهربي على التدريج

7 التدريج :- يتم ضبطه بحيث يبدأ من أقصى اليسار ويكون الصفر في المنتصف.

Dr : Hamdy

©reachforthetop

طريقة عمل الملفانومتر الحساس :-

- عندما يمر التيار الكهربي في الملف فإن القوى المغناطيسية المؤثرة على جانبي الملف تولد عزم إزدواج يعمل على دورانه (الملف وليكمه في اتجاه عقارب الساعة)
- وهذا يؤدي إلى تحرك المؤشر المثبت مع الملف في نفس الاتجاه.
- يتولد عزم إزدواج ناشئ عن اللي في الملفاح الزنبركية واتجاهه عكس اتجاه عزم الإزدواج الناتج عن مرور التيار (عكس العقارب)
- يستقر الملف والمؤشر في الوضع الذي يتزن فيه عزم الإزدواج الناتج عن اللي مع عزم الإزدواج الناشئ عن القوى المغناطيسية التي نتجت عن مرور التيار الكهربي في الملف
- تدل قراءة المؤشر على التدريج على قيمة شدة التيار الكهربي المار فيه.
- عندما يمر تيار في الملف في الاتجاه المضاد يتحرك الملف والمؤشر في اتجاه عكس الاتجاه السابق.

جروبات الوصول للقمة
@reachthetop
Dr : Hamdy

حساسية الجلفانومتر :-

تقدر بزاوية إنحراف مؤشر الجلفانومتر من وضع الصفر عندما يمر تيار كهربي شدته الوحدة.

الحساسية = $\frac{\theta}{I}$ ووحدة قياسها $\frac{\text{درجة}}{\text{ميكروأمبير}} = \frac{\text{degree}}{\mu\text{Amp}}$

س ماذا تعني أن حساسية جلفانومتر = 5 درجة / ملليأمبير

تعني ذلك أنه عندما يمر تيار كهربي في الجلفانومتر شدته ١ ملليأمبير فإنه المؤشر يتحرك بمقدار 5 درجات. [فإن زاوية انحراف المؤشر = 5 درجات].

س علل لا يستخدم الجلفانومتر لقياس التيارات القوية ؟

لأن التيار العالية ستعمل على صهر أو حرق الملف كما أنه قديماً منع عزم ازدواج كبير يعمل على الإخلال بنظام التعليق وإتلاف الملفات الزنبركية.

س علل :- تدريج الجلفانومتر منتظم ؟

وذلك لأن زاوية انحراف المؤشر θ تتناسب طردياً مع شدة التيار الكهربي (I)

$\tau \propto \theta$

$\tau \propto I$

$\therefore I \propto \theta$

Dr : Hamdy

س/ علل يجب معايرة الجلفانومتر بعد فترات من الاستعمال؟

وذلك لأن قوة الملف في الزنبركين وكذلك قطبي المغناطيس يضعفان مع كثرة الاستعمال.

س/ علل :- لا يستخدم الجلفانومتر في قياس التيار المتردد؟

ستعرف إجابته بعد دراسة الفصل الثالث.

س ما هي التعديلات التي أجريت على الجلفانومتر لتحويله إلى :-

1. الأميتر [لقياس شدة التيار الكهربي].
2. الفولتميتر [لقياس فرق الجهد].
3. الأوميتر [لقياس قيمة المقاومة].

أميتر التيار المستمر DC Ameter

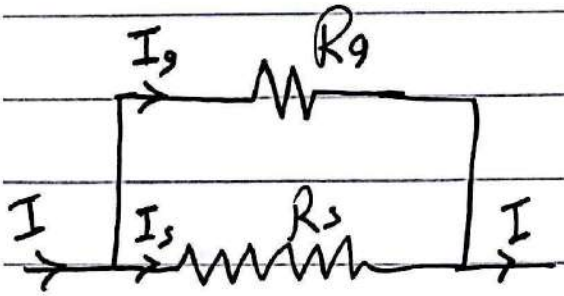
الإستخدام :- قياس شدة التيارات الكبيرة .

وحدة القياس :- الأمبير

الفكرة العلمية :- عزم الإزدواج المؤثر على ملف مستطيل موضوع في مجال مغناطيسي

التوصيل في الدائرة :- يتم توصيله في الدائرة الكهربية على (التوالي) وذلك حتى تكون شدة التيار المارة في الأميتر هي نفس شدة التيار المار بالدائرة .

التركيب [التعديلات التي تمت على الجلفانومتر] :-



عبارة عن جلفانومتر حساس تتصل مقاومة ملفه R_g بمقاومة صغيرة على التوازي تسمى مجزئ التيار (R_s)

تعرف مجزء التيار (R_s) :- هي مقاومة صغيرة توصل مع مقاومة ملف الجلفانومتر الحساس على التوازي وذلك لتحويل الجلفانومتر إلى أميتر يقيس التيارات الكبيرة.

س يتم اختيار مجزء التيار مقاومة صغيرة جداً ؟

وذلك حتى لا تؤثر في قيمة تيار الدائرة الكهربية المراد قياس حيث أن الأميتر يوصل في الدائرة على التوالي وبالتالي فإن مقاومته ستضاف إلى مقاومة الدائرة لذلك لابد أن تكون مقاومته صغيرة حتى لا تؤثر على تيار الدائرة.

س علل يتم توصيل مجزء التيار على التوازي مع ملف الجلفانومتر ؟

- لأن محصلة المقاومات المتصلة على التوازي تكون أصغر من أصغر واحد فيهم وبذلك نريد تقليل قيمة المقاومة حتى لا تؤثر على شدة التيار الكهربي المراد قياسه
- لجعل المقاومة الكلية للجهاز صغيرة فيقرأ شدة تيار كهربي كبيرة.

س علل الأميتر جهاز غير دقيق ؟

وذلك لأن مقاومته تضاف لمقاومة الدائرة الكهربية المراد قياس التيار بها S وبالتالي يقيس تيار أقل من التيار الأصلي.

حساسية الأميتر:- هى النسبة بين أقصى تيار يقيسه الجلفانومتر قبل توصيل المجزئ إلى شدة التيار الكلى الذى يستطيع مرارته بعد توصيل المجزئ

$$I_{\text{قبل}} = I_g \quad \text{عند } R_s$$

$$I = I_g + I_s \quad \text{بعد}$$

$$\text{حساسية الأميتر} = \frac{I_g}{I_g + I_s} = \frac{\frac{V_g}{R_g}}{\frac{V_g}{R_s} + \frac{V_g}{R_s}}$$

$$= \frac{\frac{1}{R_g}}{\frac{1}{R_g} + \frac{1}{R_s}} = \frac{\frac{1}{R_g}}{\frac{R_s + R_g}{R_g R_s}} = \frac{1}{R_g} \times \frac{R_g R_s}{R_s + R_g}$$

$$\text{حساسية الأميتر} = \frac{R_s}{R_s + R_g} \Longrightarrow \text{قليلة}$$

س/ كلما قلت مقاومة مجزئ التيار تقل حساسية الأميتر؟

لأنه كلما قلت مقاومة المجزئ R_s تقل المقاومة الكلية للأميتر ويزداد شدة التيار الذى يقيسه بعد توصيل R_s فتقل الحساسية

$$\text{حساسية} = \frac{I_g}{I}$$

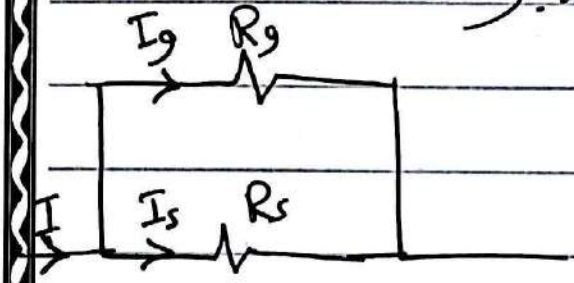
Dr : Hamdy

وظيفة مجزئ التيار (R_s)

١- جعل المقاومة الكلية للأميتر صغيرة حتى لا يؤثر على شدة تيار الدائرة

٢- حماية سلك الجلفانومتر من التلف حيث يمر بمجزئ التيار الجزء الأكبر من شدة التيار الكهربي.

٣- زيادة مدى الجهاز ليقيس تيارات أكبر.



استنتاج قانون مجزئ التيار ؟

عند التوازي

$V_g = V_s$

$I_g R_g = I_s R_s$

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I_s}$$

@reachforthetop

$I_s = I - I_g$

$$R_s = \frac{I_g R_g}{I - I_g}$$

حاول تحل المسائل

Dr : Hamdy

س/ علل الأميتر أقل حساسية من الجلفانومتر؟

لأن الأميتر يقيس تيارات أكبر بنقص زاوية الانحراف

$$\theta = \frac{\text{زاوية الانحراف}}{\text{شدة التيار (الوحدة)}}$$

س/ علل يجب معايرة الأميتر كل فترة ؟

لضعف فلاذ سبرنج الملفات الزنبركية والمغناطيس بمرور الوقت مما يجعل الجهاز يعطي قراءات غير دقيقة.

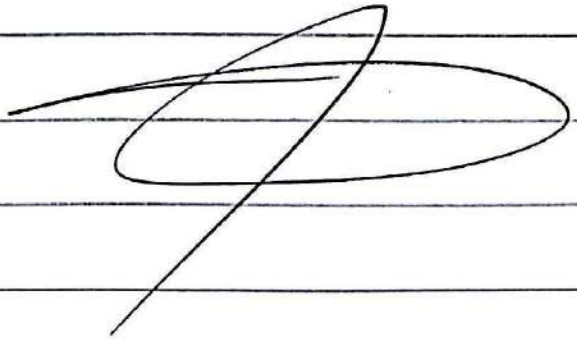
حساب مقدار الخطأ لجهاز الأميتر

مقدار الخطأ في قراءة الأميتر = I قبل توصيل الأميتر بالدائرة − I بعد توصيل الأميتر بالدائرة

س/ وضح كيف يمكنه زيادة مدى الجلفانومتر دون تلف ملفاته؟

يتم ذلك بتوصيله بمقاومة صغيرة مع التوازي تسمى مجزئ التيار

وتشرح فكرة العمل



Dr : Hamdy

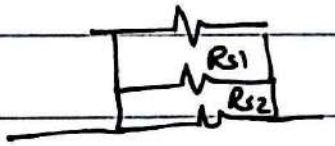
ملاحظات هامة :-

1. أقصى قيمة قبل توصيل مجزئ التيار يقصد بها I_g.
2. أقصى قراءة للتيار بعد توصيل المجزئ يقصد به I.
3. ماالمعنى أن :- عند توصيل تيار على الجلفانومتر فإنه يمر في ملف الجلفانومتر $\frac{1}{4}$ التيار الكلي ؟

يعني ذلك أن حساسية الأميتر $= \frac{1}{3}$

$$\frac{1}{3} = \frac{I_g}{I} = \frac{R_s}{R_s + R_g}$$

4. I_g يظل ثابت قبل وبعد توصيل مجزئ التيار والفرق أنه عندما يتم توصيل مجزئ التيار فإن التيار الكلي يزداد وبحسب مجزئ التيار قيمة التيار الأكبر من I_g بينما تحسب R_g قيمة I_g كما هي.



5. عند توصيل مقاومتين كمجزئ للتيار يمكن اعتبارهم مقاومة واحدة مكافئة

$$R_s = \frac{R_{s1} * R_{s2}}{R_{s1} + R_{s2}}$$

6. يمكن حساب المقاومة الكلية للأميتر كالتالي

$$R = \frac{V_g}{I_{كلي}} = \frac{R_g R_s}{R_g + R_s}$$

7. نسبة الخطأ من قراءة الأميتر $= \frac{\text{الخطأ في قراءة الأميتر}}{\text{شدة التيار الأصلي قبل إضافة الأميتر}} \times 100$

8. عندما يذكر جلفانومتر يقرأ قيمة معينة $\Leftarrow I_g$

" " أميتر " " " $\Leftarrow I$

Dr : Hamdy

فولتميتر التيار المستمر DC Voltmeter

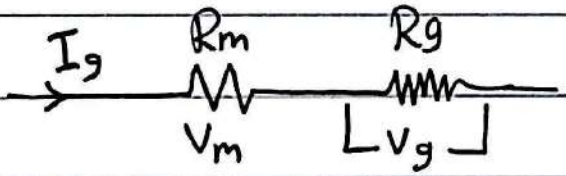
الإستخدام :- قياس فرق الجهد بين أى نقطتين فى دائرة كهربية .

وحدة القياس :- الفولت (V)

الفكرة العلمية :- عزم الإزدواج المؤثر على ملف مستطيل قابل للحركة وموضوع فى مجال مغناطيسى

التوصيل فى الدائرة الكهربية :- يتم توصيله على التوازى (على) وذلك حتى يكون فرق الجهد بين طرفى الفولتميتر هو نفسه فرق الجهد المراد قياسه ، حيث أنه عند التوصيل على التوازى يكون الجهد بينهما ثابت .

التركيب [التعديلات التى تمت على الجلفانومتر] :-



عبارة عن جلفانومتر حساس تتصل مقاومة ملفه Rg بمقاومة كبيرة جداً على التوالى تسمى مضاعف الجهد Rm

مضاعف الجهد (Rm) :- هى مقاومة داخلية كبيرة جداً توصل على التوالى مع مقاومة ملف الجلفانومتر وذلك لتحويل الجلفانومتر إلى فولتميتر ليقيس فرق الجهد .

س علل يتم اختيار قيمة مقاومة مضاعف الجهد كبيرة جداً ؟

وذلك لأن محصلة المقاومات على التوالى تعطى مقاومة كبيرة وبالتالى لايسحب الفولتميتر إلا جزء ضئيل من تيار الدائرة الكهربية فلا يؤثر على قراءة الجهد المراد قياسه .

س علل يتم توصيل مضاعف الجهد على التوالى مع ملف الجلفانومتر؟

توصل على التوالى حتى تزداد المقاومة الكلية للجهاز وبالتالى لايسحب تيار كبير من الدائرة الكهربية وذلك لأنه يوصل على التوازى وبالتالى لايؤثر على قراءة الجهد المراد قياسه .

س علل الفولتميتر جهاز غير دقيق ؟

لأنه يسحب جزء أمن تيار الدائرة الكهربية فيمر تيار كهربى أقل من التيار الأصلى فى المقاومة المراد قياس فرق الجهد بين طرفيها وبالتالى يقيس فرق جهد أقل من الحقيقى .

س ماهو وظيفة مضاعف الجهد ؟

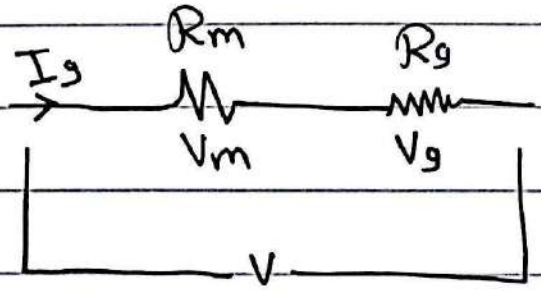
١- حماية ملف الجلفانومتر فلا يمر إلا تيار قليل وبالتالى لا يتلف ملفه .

٢- تكبير مقاومة الجهاز فلا يسحب إلا جزء ضئيل من تيار الدائرة فلا يؤثر على فرق الجهد المراد قياسه .

٣- لقياس فروق جهد كبيرة

Dr : Hamdy

استنتاج قانون مضاعف الجهد R_m ؟



بما ان التوصيل على التوالى

$\therefore V = V_g + V_m$

$V = I_g R_g + I_g R_m$

$V - I_g R_g = I_g R_m$

$\therefore \boxed{R_m = \frac{V - I_g R_g}{I_g}}$ ← قانون هام

حساسية الفولتميتر :-

هى النسبة بين فرق جهد الجلفانومتر قبل توصيل مضاعف الجهد إلى فرق الجهد بعد توصيل مضاعف الجهد

$$\text{حساسية الفولتميتر} = \frac{V_g}{V} = \frac{I_g R_g}{I_g R_g + I_g R_m} = \frac{R_g}{R_g + R_m}$$

علل كلما زادت مقاومة مضاعف الجهد قلت حساسية الجلفانومتر ؟

Dr : Hamdy

س/ لماذا يجب معايرة الفولتميتر كل فترة ؟

س/ ماهو مقدار الخطأ في الفولتميتر ؟

مقدار الخطأ في قراءته = قراءة الجهد قبل توصيله بالدائرة − قراءة الجهد بعد توصيله بالدائرة

س/ ماهو نسبة الخطأ للفولتميتر ؟

$$\text{نسبة الخطأ} = \frac{\text{مقدار الخطأ}}{\text{قراءة الجهد الأصلي قبل توصيل الفولتميتر}} \times 100$$

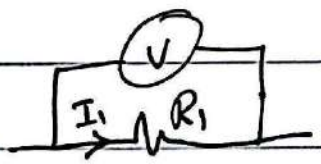
المقاومة الكلية له

$$R = R_g + R_m \quad \text{or} \quad R = \frac{V}{I_g}$$

جلفانومتر يقرأ فرق جهد $\Leftarrow V_g$

فولتميتر " " " $\Leftarrow V$

عند توصيل الجلفانومتر في الدائرة مع مقاومة فإن



$$V_g = I_1 R_1 = I_g R_g$$

وعند توصيل مقاومة مضاعف الجهد يكون

$$V_g = I_1 R_1 = I_g (R_g + R_m)$$

or

$$R_m = \frac{V - I_g R_g}{I_g}$$

الأوميتر ohmeter

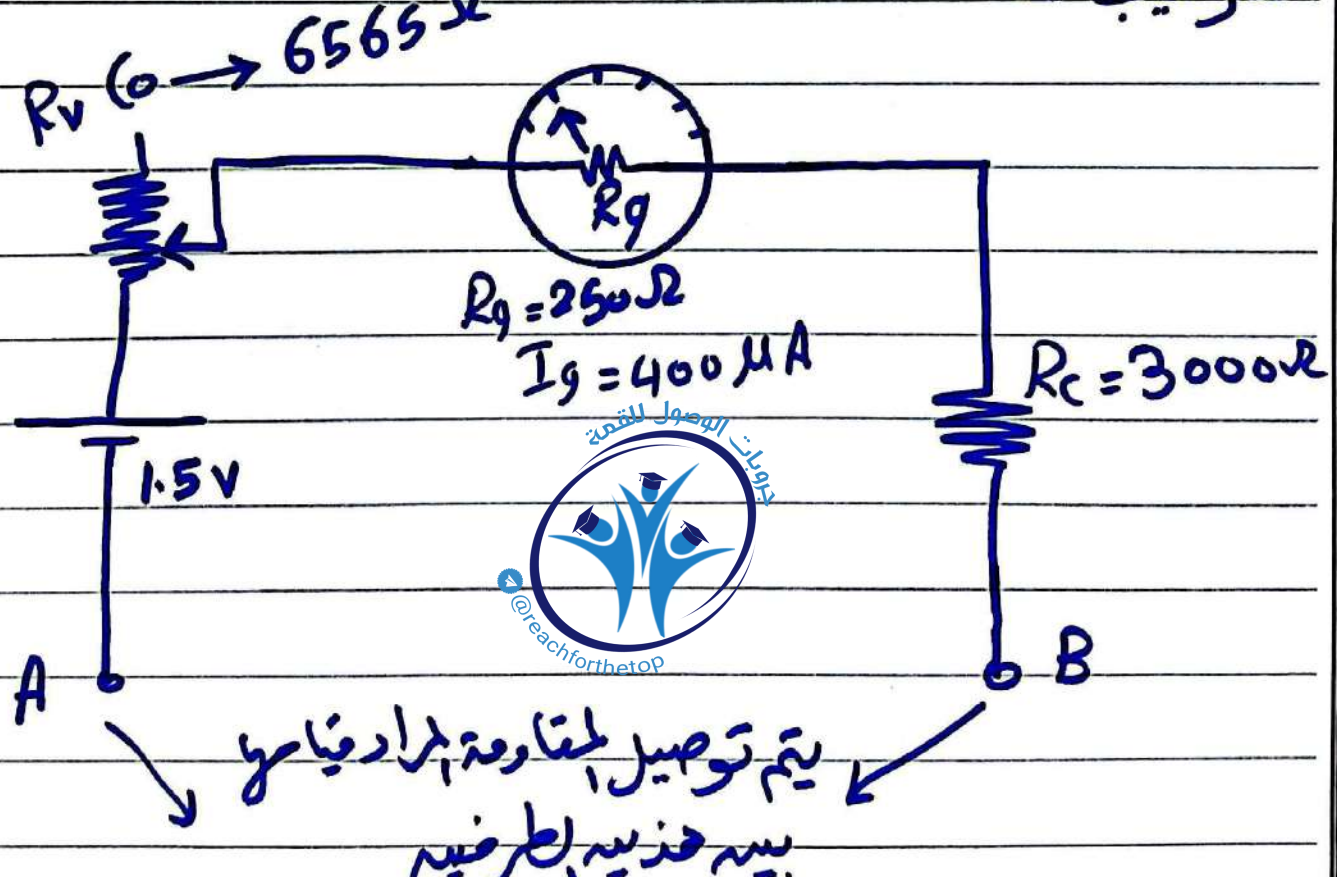
الإستخدام :- قياس المقاومة الكهربية بطريقة مباشرة.

وحدة القياس :- الأوم.

الفكرة العلمية :- تعتمد فكرة عمله على أن شدة التيار تتناسب عكسياً مع المقاومة عند ثبوت فرق الجهد.

التوصيل :- يوصل بين طرفي المقاومة المراد قياسها ويجب ألا تكون المقاومة موصلة بدائرة كهربية. ويتحرك المؤشر بعزم أزواج الملف المؤثر عليه ملف مستطيل يمر به تيار وقابل للحركة موضوع في مجال مغناطيسي

التركيب :-



خطوات الوصول للقمة
@reachforthetop

يتم توصيل المقاومة المراد قياسها بين هذين الطرفين

Dr : Hamdy

1 جلفانومتر :- يتكون من جلفانومتر ذى ملف المتحرك أو ميكرو أميتر أو ميللى أميتر بحيث يكون $R_g = 250\Omega$ وأقصى تيار يتحمله $I_g = 400\mu A$

2 المقاومة العيارية الثابتة R_c :- وقيمتها 3000 أوم وتوصل تم التوالى مع الجلفانومتر وتعمل على جعل المؤشر ينحرف إلى نهاية تدريج الأميتر أى إلى بداية تدريج الأوميتر

⇐ لكى تمنع مرور تيار كبير فى ملف الجلفانومتر لأن أعلى مرارة يتحملها الجزء 400 ميكرو أمبير.

⇐ جعل قيمة التيار هى أقصى مايتحمله الجلفانومتر. وبالتالى نحافظ عليه من التلف

3 ماوظيفة المقاومة المتغيرة R_v :- (0 ⟶ 6565)

جعل المؤشر ينحرف إلى نهاية التدريج ويقرأ أقصى قيمة للتيار وتكون هى بداية تدريج الأوميتر

4 بطارية لها ه.د.ك = 1.5 فولت وقيمتها ثابتة (على)

⇐ عندما يكون مرمم الجرس ثابتاً يمكنه قياس المقاومة عبر انخفاض شدة التيار الكهربى لأنهما يتناسبان طرديا عند ثبوت (V)

$$I = \frac{V\ (\text{ثابتة})}{R}$$

⇐ حتى يصبح تغير شدة التيار يدل على المقاومة المجهولة فقط ليتم قياسها ولا يتغير بتغير فرق الجهد عند ثبوته.

Dr : Hamdy

معايرة جهاز الأوميتر:-

$R_g = 250\,\Omega$ $R_c = 3000\,\Omega$

$R_v = (0 \rightarrow 6565)$ $V_B = 1.5V$ $I_g = 400\,\mu A$ ← 1 نكون الجهاز كما بالصورة السابقة

2 نصل طرفي الجهاز مباشرة بدون مقاومة خارجية $R_x = 0$

3 تدريج الجهاز كتيار أقصى قيمة له 400 ميكرو أمبير ولكن ينحرف المؤشر لهذه القيمة نحسب قيمة المقاومة من العلاقة

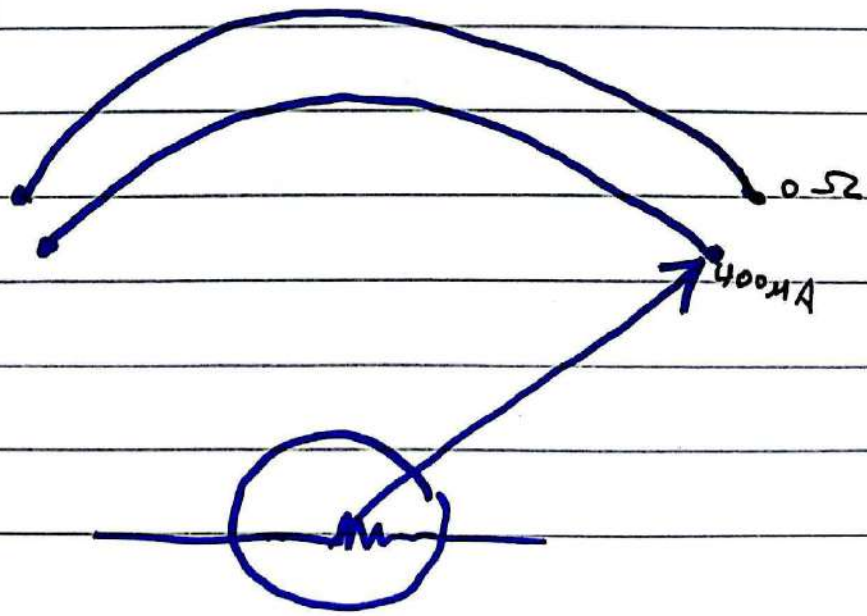
$$R = \frac{V_B}{I} = \frac{1.5}{400 \times 10^{-3}} = 3750\,\Omega$$

حيث أنه 3750 أوم هي المقاومة الكلية للدائرة

$\therefore R_c = 3000\,\Omega$ $R_g = 250$

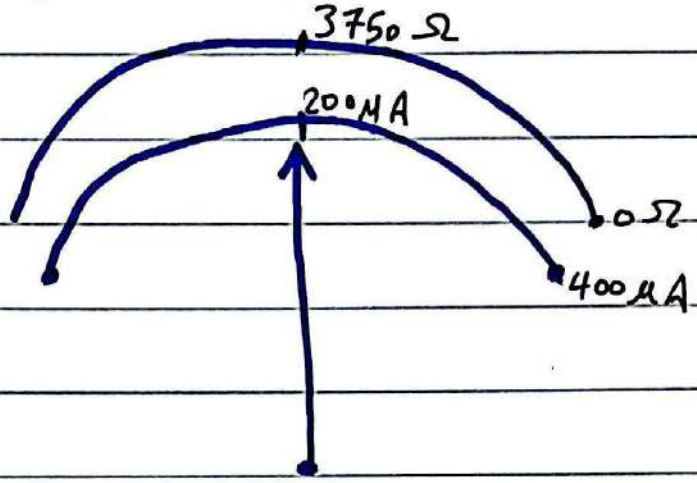
وبالتالي نظبط المقاومة المتغيرة عند قيمة 500 أوم وعندها يتحرك المؤشر لنهاية التدريج. والذي عنده $I_g = 400\,\mu A$

$R_x =$ صفر ← بداية التدريج بالمقاومة

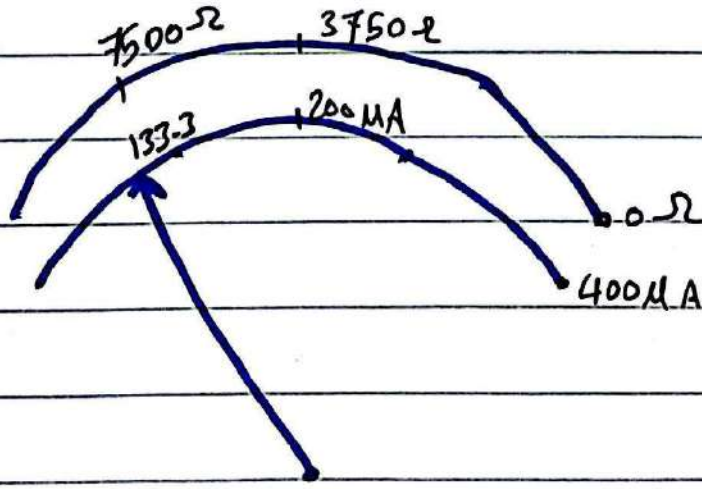


Dr : Hamdy

4 نقوم بتوصيل مقاومة خارجية بيه طرفى الجلفانومتر تساوى
المقاومة الكلية للجلفانومتر أى تساوى 3750Ω وبالتالى
تتضاعف المقاومة الكلية للدائرة فيقل التيار إلى النصف



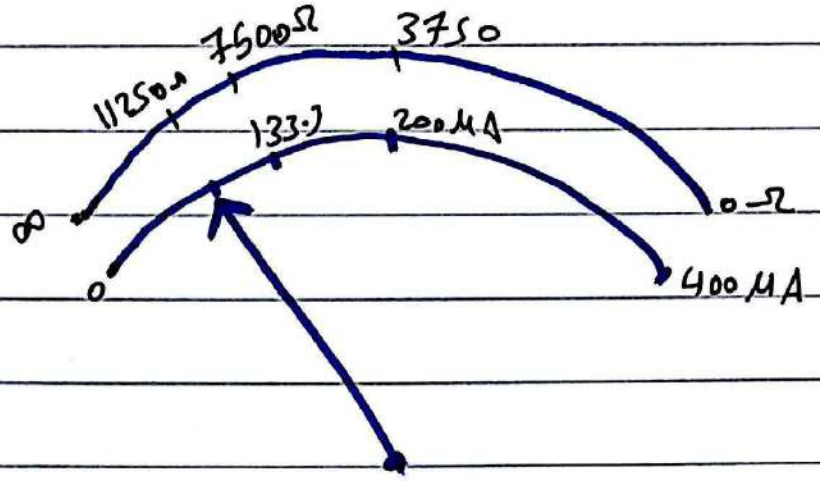
4 نستبدل Rx بمقاومة أخرى تساوى ضعف قيمة مقاومة الجلفانومتر
أى تساوى 2X3750 أوم وهذا معناه زيادة المقاومة
إلى ثلاثة أمثال فيقل التيار إلى الثلث



5 نستبدل Rx بمقاومة تساوي ثلاثة أمثال مقاومة الجلفانومتر

أي تساوي $3 \times 3750 = 11250$ أوم

عندئذ يقل التيار إلى الربع.



علل تدريج الأميتر عكس تدريج الأوميتر ؟

وذلك لأن شدة التيار الكلي المار في الدائرة يتناسب عكسياً مع المقاومة الكلية لهذه الدائرة وذلك لأن القوة الدافعة الكهربية ثابتة.

علل تدريج الأوميتر تدريج غير منتظم ؟

لأن شدة التيار المارة في دائرة الجلفانومتر تتناسب عكسياً مع المقاومة الكلية للدائرة وليس مع المقاومة المجهولة فقط حيث

$$I_g = \frac{V_B}{R_c + R_g + R_v + r + R_x}$$

@reachfortheTop

س ما المفروض يحصل إذا تغيرت قيمة VB ؟

نقوم بتغيير المقاومة المتغيرة والمقاومة العيارية حتى يصل طرف المؤشر إلى نهاية التدريج عندما تكون R_x = صفر (بدون مقاومة خارجية) وعندئذ سيتغير تدريج الأوميتر.

س ماذا يحدث عند حذف Rc من الدائرة ؟

قد يتيار في الجلفانومتر أكبر مما يتحمله فيتلف الجهاز.

أكمل ما يلي

← إذا وضعت مقاومة خارجية R_x ضعف مقاومة الجهاز فإن التيار يقل إلى ـــــــ .

لحساب المقاومة الخارجية R_x اللازمة لانحراف المؤشر إلى $\frac{1}{4}$ التدريج

$$\frac{1}{4} I_g = \frac{V_B}{R_g + R_V + R_c + r + R_x}$$

دورات الوصول للقمة
@reachforthetop