التجربة ٢٦

تحقيق قانون القوة الناتجة بين سلكين يمر فيهما تيار كهربائي

فكرة التجربة

إن المجال المغناطيسي الناتج من تيار I_a يمر في سلك مستقيم (a) يعطى بالمعادلة :

$$B = \frac{\mu_o I_a}{2\pi d} = 2\times10^{-7}\frac{I_a}{d} \quad \text{.....(٢٦,١)}$$

حيث B هو المجال المغناطيسي بالتسلا. I_a هو قيمة التيار المار في السلك بالأمبير و d هي المسافة العمودية بالمتر من السلك حتى النقطة التي يقاس عندها المجال المغناطيسي و μ_o هي النفاذية المغناطيسية للفراغ .

ويوضح الشكل رقم (٢٦,١) اتجاه التيار والمجال المغناطيسي الناتج عنه حيث يتم تحديد المجال حسب قبضة اليد اليمنى فإذا قبضت على السلك بيدك اليمنى وجعلت اتجاه الإبهام هو اتجاه التيار فإن اتجاه المجال المغناطيسي هو اتجاه الأصابع الأخرى.

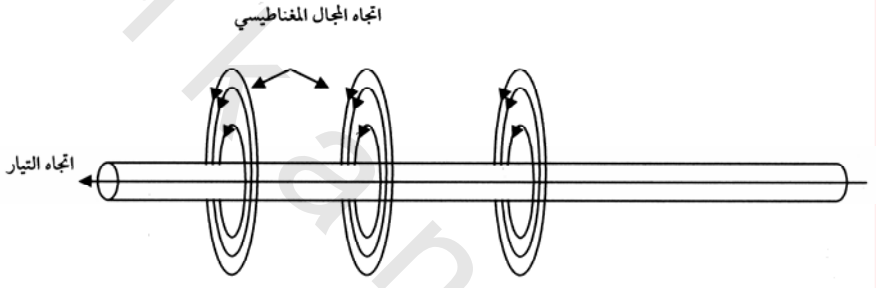
وإذا ما وضع سلك (b) طوله L يحمل تياراً I_b في المجال المغناطيسي B (الناتج من السلك a) فإن القوة المؤثرة على هذا السلك تعطى بالمعادلة التالية :

$$F = BI_bL\sin\theta \quad \text{.....(٢٦,٢)}$$

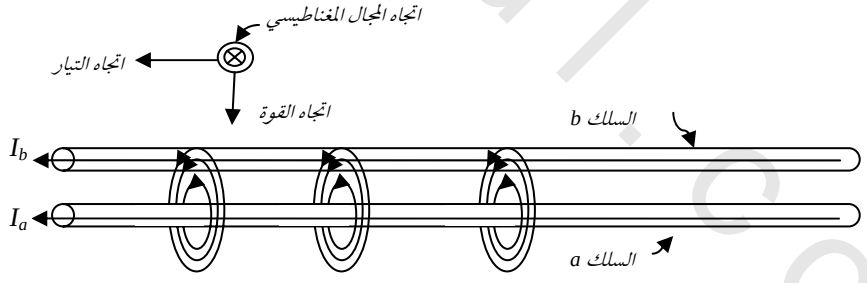
obeikandl.com

حيث θ هي الزاوية بين اتجاه التيار I_b والمجال المغناطيسي. ومن ثم قيمة $\sin\theta$ تساوي الواحد إذا ما كان السلكان متوازيين لأن الزاوية بين التيار والمجال المغناطيسي تصبح عمودية. الشكل رقم (٢٦,٢) يوضح اتجاه القوة F والتيار I_b والمجال المغناطيسي وفقاً لقاعدة اليد اليمنى وبالتعويض عن قيمة B من المعادلة (٢٦,١) في المعادلة (٢٦,٢) نحصل على المعادلة التالية :

$$F = 2\times10^{-7}\frac{I_a I_b L}{d} \quad \text{.....} \quad (٢٦,٣)$$



الشكل رقم (٢٦,١).



الشكل رقم (٢٦,٢).

وحسب اتجاه التيارات تكون القوة كما يتضح من الشكل رقم (٢٦,٢) فان القوة تكون قوة تجاذب بين السلكين إذا كان التيار I_a و التيار I_b لهما نفس الاتجاه وتكون قوة تنافر إذا كانا متعاكسين في الاتجاه. في هذه التجربة سوف يكون أحد السلكين ثابتاً

لذلك سوف يعتبر هو مصدر المجال المغناطيسي والآخر متحرك لذلك يعتبر السلك المؤثر عليه بالقوة المراد قياسها. ويتم قياس القوة عن طريق ميزان حساس. والحاجة إلى الحساسية العالية للميزان بسبب أن هذه القوة المراد قياسها صغيرة جداً فحسب المعادلة (٢٦,٣) تظهر بأنها حاصل ضرب في قيمة صغيرة جداً($2X10^{-7}$) إلا إذا استخدم تيار عالي أو مسافة d صغيرة جداً. ففكرة هذا الميزان تقوم على وضع سلك متحرك حساس الحركة لأي قوة خارجية على بعد مسافة قصيرة فوق سلك آخر ثابت ثم يوضع عليه ثقل لتنزيله ليتلامس مع السلك الثابت وبعد ذلك يتم رفع السلك المتحرك بواسطة قوة التنافر التي سوف تنتج من تمرير تيار في اتجاهين متعاكسين خلال السلكين. ويرفع السلك حتى يرجع إلى مكانه قبل وضع الثقل وبذلك يتم معرفة التيار والقوة (الثقل الموضوع) والمسافة بين السلكين عند وضع التوازن d.والتيار I_a و I_b لهما نفس المقدار وإن كانا معكوسي الاتجاه وعلى ذلك تصبح المعادلة (٢٦,٣):

$$F = 2\times10^{-7}\frac{I^2L}{d} \quad \text{.....} \quad (٢٦,٤)$$

حيث I^2 هو حاصل ضرب التيارين I_a وI_b. من المعادلة السابقة يتضح أنه برسم القوة على المحور الصادي ومربع التيار على المحور السيني فإن الميل سوف يكون حسب المعادلة:

$$\frac{\Delta F}{\Delta I^2} = slope = 2\times10^{-7}\frac{L}{d} \quad \text{.....} \quad (٢٦,٥)$$

فيمكن من المعادلة (٢٦,٥) إيجاد الميل من الرسم بين القوة ومربع التيار ومقارنة النتيجة بالطرف الأيمن من المعادلة.

ولمحاولة تجنب تأثير المجال المغناطيسي الأرضي على نتائج التجربة يلزم توجيه الجهاز بحيث تكون الأسلاك b و a متجهة في اتجاه المركبة الأفقية للمجال المغناطيسي الأرضي تقريباً ثم تؤخذ قراءة التيار في اتجاهين متعاكسين.

obeikandl.com

إعداد الجهاز

• الصورة رقم (٢٦,١) توضح الجهاز المستخدم في هذه التجربة. يتم توجيه الجهاز بحيث يكون اتجاه استقامة السلكين a وb في اتجاه المركبة الأفقية للمجال المغناطيسي.

•.يجب أن يضبط الجهاز بحيث يكون السلك المتحرك b تماماً فوق السلك الثابت a ويكونان على استقامة واحدة بحيث إذا وضعا على بعض يكونان منطبقين على بعضهما (ليس بينهما فراغ) ويتم ذلك الضبط بواسطة البراغي الموجودة في الأعمدة المساندة للسلك الثابت a و البراغي الضابطة لطول السلكين الجانبيين المدعمين للسلك المتحرك b.

• ثم يتم الحصول على وضع التوازن بحيث يكون السلك المتحرك (b) فوق السلك a بمسافة صغير (قليل من المليمتر) ويسمى هذا الوضع بوضع التوازن. يستخدم القرص الذي خلف المرآة للحصول على وضع التوازن. ويمكن تقنين هذه المسافة بحيث إذا وضع أصغر وزن يراد استخدامه (50mg) على الكفة الموجودة في السلك المتحرك b ينزل السلك المتحرك b إلى أسفل نحو السلك (a) ليتلامسا ويكون هذا الوضع عند التلامس الوضع الصفري.

• يتم ضبط موقع حافة السكين بواسطة مسامير الرفع وذلك للتأكد أنها تأخذ نفس الموقع عند كل قراءة. كما يجب التأكد من عدم وجود احتكاك بين اللوح المهتز بين المغناطيس مع المغناطيس في كلا الجانبين والتأكد من اهتزازه في نصف المسافة بينهما.

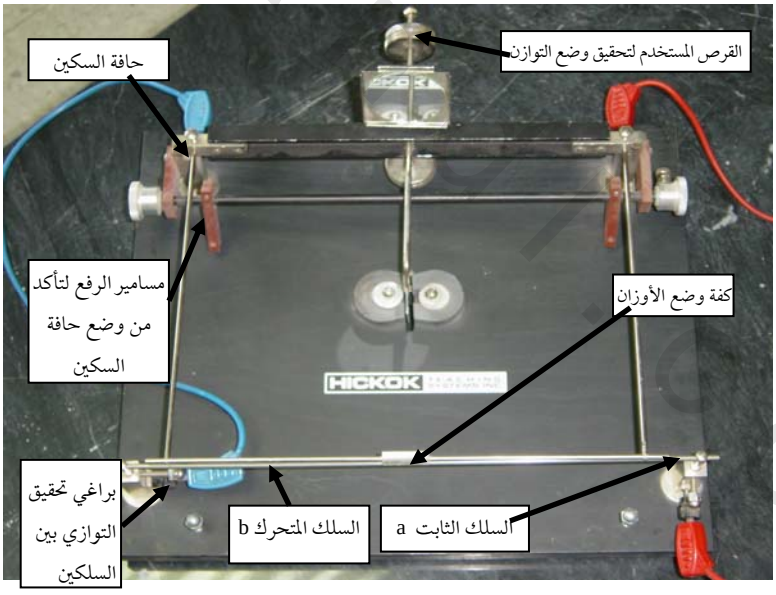
• يستخدم مصدر ضوئي وليكن جهاز ليزر بحيث يسقط منه الشعاع على المرآة وينعكس على لوحة التدريج. ويضبط موقع لوحة التدريج بمسافة قدرها واحد متر من المرآة كما يجب أن يتضح عليها الشعاع عند انعكاسه من المرآة في الحالتين حالة التوازن و الحالة الصفرية.

obeikandi.com

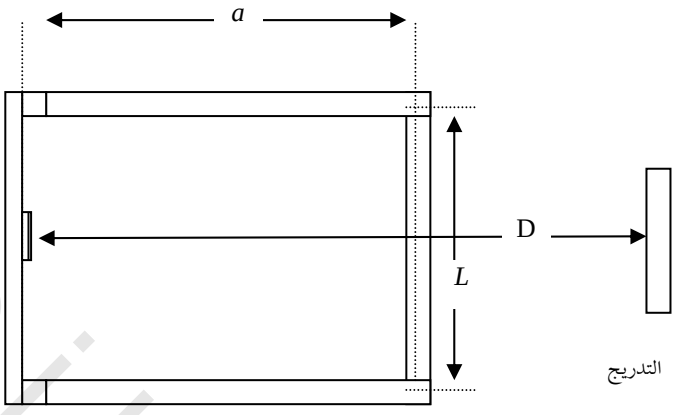
• يجب تعليم موقع الضوء المنعكس على لوحة التدريج قبل وضع الوزن (وضع التوازن) ثم يتم تعليم موقع الضوء المنعكس عند تلامس السلكين (بعد وضع الوزن) وهي القراءة الصفرية. وتقاس المسافة d بين السلكين في وضع التوازن بالمعادلة :

$$d = \frac{Sa}{2D} + r_1 + r_2 \quad \text{.....} \quad (٢٦,٦)$$

حيث r_1 و r_2 هي أنصاف أقطار الأسلاك a وb . D هي المسافة من المرآة إلى المقياس المدرج الذي يسقط عليه الضوء وهذه المسافة يفضل عدم زيادتها عن متر واحد . S هي فرق التدريج بين القراءة الصفرية (عند تلامس السلكين) والقراءة عند وضع التوازن (قبل وضع الوزن) على لوحة التدريج . a المسافة من السلك المتحرك إلى حافة السكين و تقاس لمتوسط المسافتين للحافتين. ويوضح الشكل رقم (٢٦,٣) هذه الأبعاد.



الصورة رقم (٢٦,١)



الشكل رقم (٢٦,٣).

أدوات التجربة

مصدر تيار مستمر يعطي حتى 20A, جهازميزان التياركما في الصورة رقم (٢٦,١), أميتر يقرأ حتى 20A , جهاز ليزر, لوحة تدريج, أسلاك توصيل.

خطوات التجربة

١- أعد الجهاز كما سبق ذكره ثم صل الدائرة الكهربائية كما يتضح لك من الصورة رقم(٢٦,٢) والشكل رقم (٢٦,٤).

٢- سجل الفرق الحاصل على لوحة التدريج بين سقوط الشعاع عند الوضع الصفري وعند حالة التوازن وهو S.

٣- ضع الثقل 50mg ثم ارفع السلك المتحرك بتمرير التيار حتى يصل الشعاع المنعكس إلى وضع التوازن ثم سجل قيمة التيارI_1 والثقل في الجدول رقم (٢٦,١).

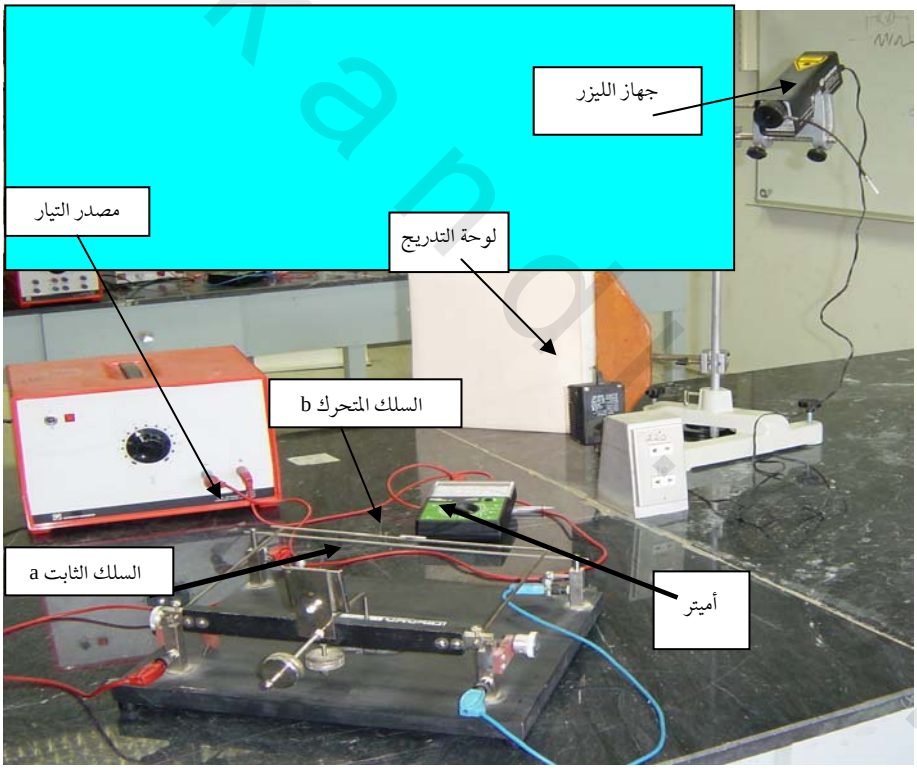
٤- زد الثقل وسجل التيار المناظر اللازم لرفع الشعاع إلى وضع التوازن وسجل نتائجك في الجدول رقم (٢٦,١).

obeikandl.com

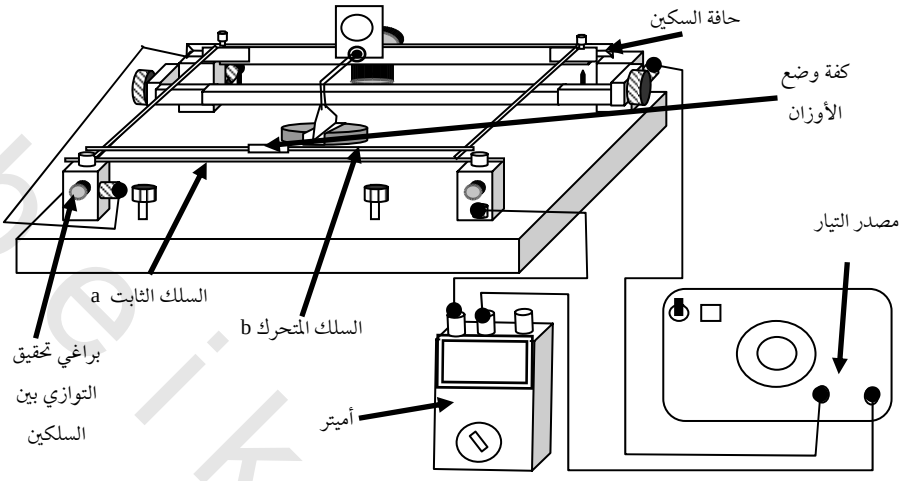
٥- بدل بين مدخل التيار ومخرجه في الجهاز وذلك لعكس اتجاه التيار في السلكين وسجل قيمة التيار عند نفس الأثقال التي أخذتها في الحالة السابقة ولنسمي التيار في الحالة الثانية I_2. أحسب مقدار متوسط قيمة التيار I_1 و I_2 .

٦- احسب قيمة المسافة d بعد حساب الثوابت المتعلقة بها في المعادلة (٢٦,٦).

٧- ارسم العلاقة بين القوة على المحور الصادي ومربع التيار على المحور السيني واحسب الميل ثم قارن قيمة الميل الناتج بالقيمة التي يمكن أن تحصل عليها من الطرف الأيمن من المعادلة (٢٦,٥).



الصورة رقم (٢٦,٢).



الشكل رقم (٢٦,٤).

الجدول رقم (٢٦,١).

مربع التيار A^2	متوسط قيمة التيار A	التيار I_2 A	التيار I_1 A	القوة N	الـثـقل mg

obeikandl.com

النتائج و القياسات

قيمة L :

قيمة D :

قيمة a :

قيمة S :

قيمة r_1 :

قيمة r_2 :

قيمة d :

قيمة الميل من الرسم :

قيمة الميل من الطرف الأيمن من المعادلة (٢٦,٥) :

الأسئلة

١- ما هو تأثير المسافة بين السلكين على القوة التي تنتج بينهما ؟

٢- لماذا استخدمت أثقال صغيرة في هذه التجربة؟ ولو استخدمت أثقال كبيرة نسبياً ماذا تحتاج لعمل مثل هذه التجربة؟

٣- ما هو المدى الذي يجب أن يقرأ فيه ألأميتر في هذه التجربة؟

٤- في هذه التجربة يسري التيار في اتجاهين متعاكسين ؟ صمم تجربة يكون التيار في السلكين في نفس الاتجاه.

٥- إذا اعتبرت أن النتيجة النظرية حسب المعادلة (٢٦,٥) هي النتيجة الصحيحة احسب الخطأ المطلق ونسبة الخطأ المئوي لقيمة الميل الناتج من التجربة.

obeikandl.com

obeikandl.com

التجربة ٢٧

دراسة القوة المتولدة بين موصلين يحملان تياراً كهربائياً

نظرية التجربة

إذا سرى تيار كهربائي i_a في موصل عبارة عن سلك مستقيم (a) فإن هذا التيار يولد مجالا مغناطيسيا حول هذا السلك . يعطى المجال المغناطيسي المتولد بالمعادلة التالية :

$$B = \frac{\mu_\circ i_a}{2\pi d} \quad \text{.....(٢٧,١)}$$

حيث d هي المسافة عن هذا السلك و $\mu_\circ$ هي ثابت النفاذية المغناطيسية.

وإذا ما وجد سلك آخر (b) يمر فيه تيار كهربائي i_b طوله l ووضع هذا السلك على بعد مسافة d من السلك الأول. فإنه نتيجة لوجوده في مجال مغناطيسي سوف تنتج قوه على السلك تعطى بالمعادلة :

$$F = i_b \ell B \quad \text{..... (٢٧,٢)}$$

من المعادلة رقم (٢٧,١) و (٢٧,٢) فإن القوة المتولدة بدلالة المجال المغناطيسي المتولد من السلك الأول تكون :

$$F = \frac{\mu_\circ i_a i_b \ell}{2\pi d} \quad \text{..... (٢٧,٣)}$$

obeikandl.com

وإذا كان التياران في السلكين في نفس الاتجاه تكون هذه القوة قوة تجاذب بين السلكين وإذا كان التياران متعاكسين تكون هذه القوة قوة تنافر . فالهدف من هذه التجربة تمثيل العلاقة بين القوة والمسافة بين السلكين بيانياً وكذلك إيجاد مقدار الثابت $\mu_\circ$ بدلالة المسافة d وبمعرفة التيار i_a و i_b (التيار i_a و i_b لهما نفس القيمة ؛ لأن السلكين متصلان على التوالي في التجربة فيسري فيهما نفس التيار) وقيمة l حسب المعادلة :

$$\mu_\circ = \frac{F\ 2\pi d}{i_a i_b \ell} \quad \text{.....} \quad (٢٧,٤)$$

كما يمكن رسم القوة (F) على المحور الصادي ومقلوب المسافة بين السلكين(d^{-1}) على المحور السيني ثم إيجاد قيمة الميل للعلاقة بينهما ومقارنة ذلك بالقيمة النظرية حيث الميل سوف يكون حسب المعادلة (٢٧,٣) كما يلي :

$$\frac{\Delta F}{\Delta d^{-1}} = slope = \frac{\mu_\circ i_a i_b \ell}{2\pi} \quad \text{.....} \quad (٢٧,٥)$$

أدوات التجربة

جهاز ميزان التيار , زنبرك لقياس القوة 0.01N , مصدر تيار مستمر(أكثر من 10A), أسلاك توصيل (a و b) تتحمل التيار العالي, جهاز قياس تيار أعلى من 10A.

خطوات التجربة

ملاحظات قبل البدء في التجربة

• يتم توصيل التيار بين الجزء المتحرك من ميزان التيار والجزء الثابت (الذي فيه نقاط توصيل الأسلاك من مصدر التيار(أنظر الشكل رقم (٢٧,١) والصورة رقم (٢٧,١)) بواسطة رقائق من الألمنيوم ليسهل حركة الميزان.

obeikandl.com

• إن القوة المراد قياسها في هذه التجربة صغيرة وللحصول على قوة كبيرة يمكن ملاحظة الفرق فيما بينها ينبغي إمرار تيار عالي مما يوجب استعمال سلكين (السلكين المراد قياس القوة بينهم a وb) يتحملان التيار وكذلك محاولة تقصير فترة تمرير التيار ما أمكن لعدم تسخين السلكين.

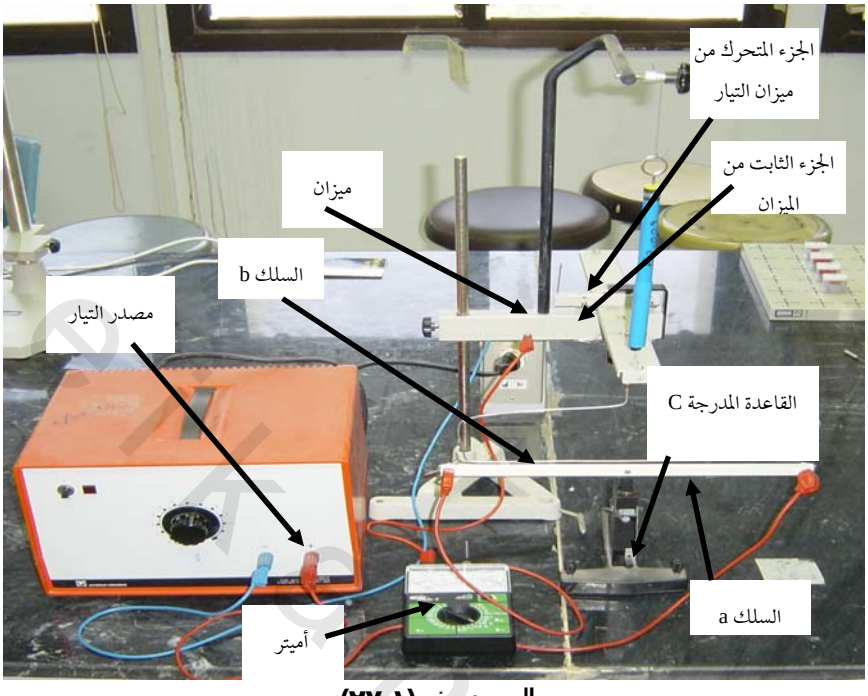
١- صل التجربة كما هو مرسوم في الشكل رقم (٢٧,١) ويتضح لك من الصورة رقم (٢٧,١). بحيث يكون ميزان التيار مثبتاً بشكل أفقي تماماً وصفّر زنبرك القوة وذلك بتحريك الزالق الخارجي للزنبرك إلى صفر التدريج . ثم يكون السلك a في القاعدة المدرجة (C) شبه ملامس للسلك المعلق b المتصل بميزان التيار وصفّر التدريج في القاعدة المدرجة إلى قيمة تكون لك قيمة صفرية في القراءة.

٢-أبعد السلك الأسفل a الموجود على القاعدة المدرجة (C) عن السلك المعلق b مسافة قدرها 3mm (تحسب المسافة بين نصفي السلكين) وذلك من خلال تنزيلة إلى أسفل بواسطة القاعدة المدرجة وسجل القوة المناظرة التي يقيسها الزنبرك بعد تمرير تيار مقداره مناسب تقريباً 20A.

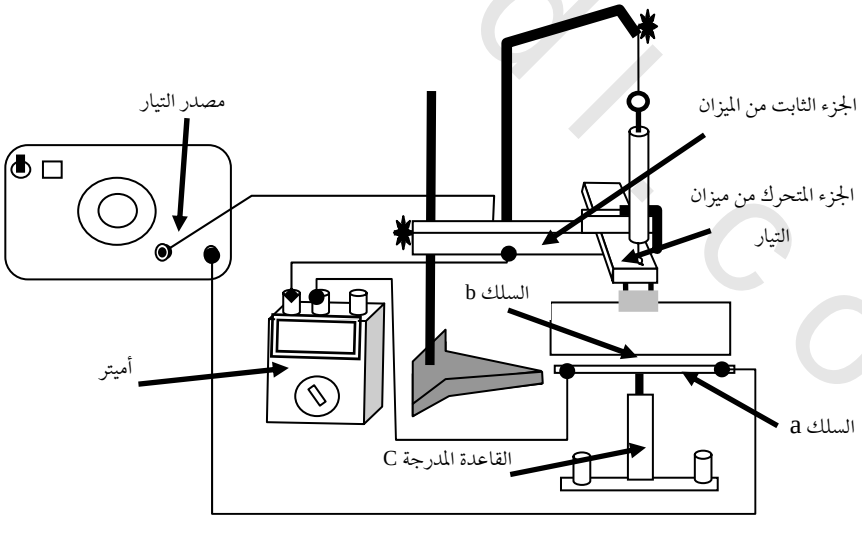
٣- كرر الخطوة رقم (٢) لأبعاد مختلفة بزيادة 2mm وسجل القوة المناظرة في الجدول رقم (٢٧,١) مع ثبات قيمة التيار عند كل قراءة.

٤- ارسم العلاقة بين القوة على المحور الصادي و مقلوب المسافة (d^{-1}) على المحور السيني ثم احسب الميل وقارنه بالقيمة النظرية في الطرف الأيمن من المعادلة (٢٧,٥).

٥- احسب ثابت النفاذية من المعادلة رقم (٢٧,٤) لكل قراءة واحسب المتوسط لها .



الصورة رقم (٢٧,١).



الشكل رقم (٢٧,١).

الجدول رقم (٢٧,١).

قيمة ثابت النفاذية(μ_o)	القوة(F) mN	مقلوب المسافة (d^{-1}) m^{-1}	المسافة (d) m

النتائج و القياسات

طول السلك b (l) :

مقدار التيار i_a و i_b =

متوسط مقدار ثابت النفاذية المغناطيسية μ_o =

قيمة الميل عملياً :

قيمة الميل نظرياً :

الأسئلة

١- عند استعمال قيم عالية من التيار قد يؤثر ذلك على السلك ما هو هذا التأثير ولماذا يحدث؟

٢- لكي تتجنب مرور تيار عالي. ماذا من الممكن أن تعمل للسلك لكي تحصل على قراءة عالية للقوة ؟

obeikandl.com

٣- إذا كان هناك نسبة خطأ في نتيجة التجربة فمن أين تتوقع حدوثه؟

٤- ماذا يحدث في التجربة لو كان اتجاه التيار في السلكين متعاكسين ؟ صمم تجربة لهذه الفرضية.

٥- احسب قيم الخطأ المطلق والنسبي لقيمة الميل العملية مقارنة إلى القيمة النظرية.

٦- احسب قيمة الانحراف المعياري والخطأ المعياري لقيمة ثابت النفاذية المحسوب عملياً.

obeikandl.com

التجربة ٢٨

دراسة المجال المغناطيسي المتكون من ملف دائري

نظرية التجربة

عندما يمر تيار كهربائي (I) في ملف دائري يتكون مجال مغناطيسي (B) حسب العلاقة التالية:

$$B = \frac{\mu_o NIR^2}{2(R^2 + X^2)^{3/2}} \quad \text{.....} \quad (٢٨,١)$$

حيث X البعد عن مركز الملف، μ_o هي معامل النفاذية المغناطيسية للفراغ وتساوي $4\pi x10^{-7}\ \mathrm{TmA^{-1}}$، N هي عدد لفات الملف، R هي نصف قطر الملف (بالمتر).

وإذا جعل المجال المغناطيسي المتكون من الملف الدائري عموديا على المركبة الأفقية للمجال الأرضي (B_o) سوف تنتج عنهما محصلة تحرف إبرة مغناطيسية موضوعة في منتصف الملف بزاوية (θ). وتكون العلاقة بين المجالين B وB_o حسب هندسة الشكل رقم (٢٨,١) كما يلي:

$$B = B_o \tan\theta \quad \text{.....} \quad (٢٨,٢)$$

بتعويض عن قيمة B من المعادلة (٢٨,١) في المعادلة (٢٨,٢) نحصل على المعادلة:

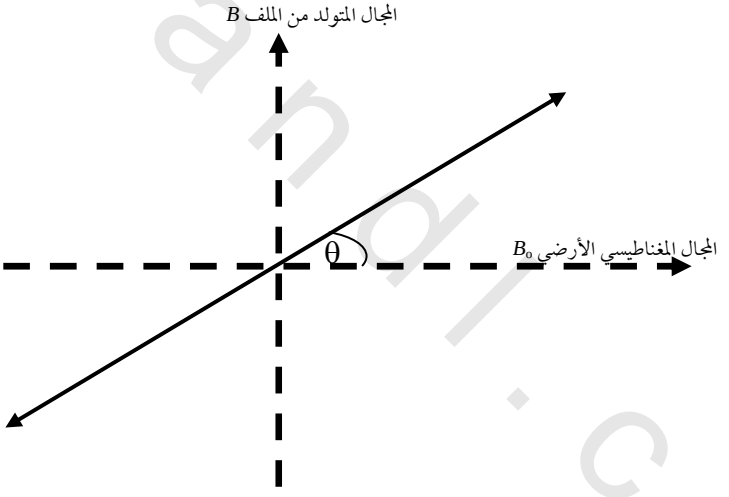
obeikandl.com

$$B_o \tan\theta = \frac{\mu_o NIR^2}{2(R^2 + X^2)^{3/2}}$$

$$\tan\theta = \frac{\mu_o NIR^2}{2B_o}(R^2 + X^2)^{-3/2} \quad \text{(٢٨,٣)} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$\log(\tan\theta) = \log\left(\frac{\mu_o NIR^2}{2B_o}\right) - \frac{3}{2}\log(R^2 + X^2)$$

من المعادلة (٢٨,٣) يتضح أنه عند رسم $\log(\tan\theta)$ على المحور الصادي و $\log(R^2+X^2)$ على المحور السيني سوف يعطي ذلك خطا مستقيماً ميله يساوي 3/2- ويتقاطع مع المحور الصادي ليعطي قيمه يمكن من خلالها إيجاد المركبة الأفقية للمجال المغناطيسي الأرضي بمعرفة نصف قطر الملف R والتيار المار في الملف I و النفاذية المغناطيسية μ_o .



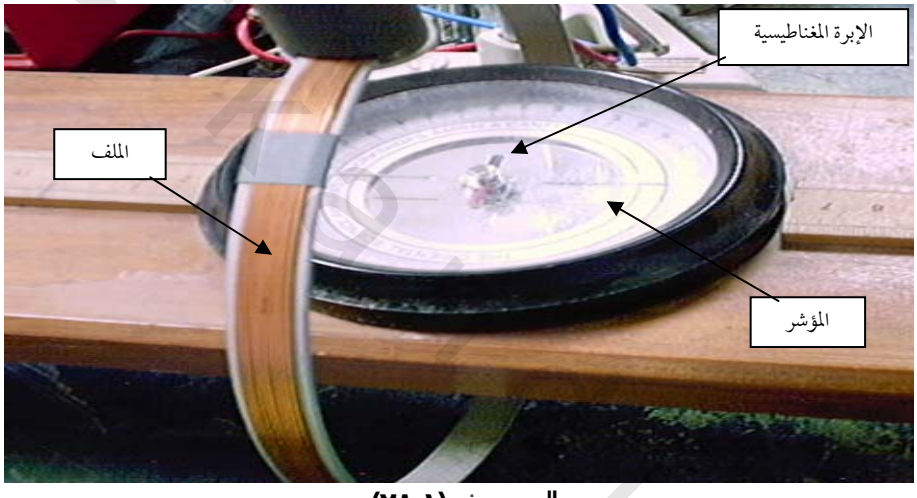
الشكل رقم (٢٨,١).

أجهزة التجربة

ملف دائري ، مغناطومتر الانحراف Deflection magnetometer ، مصدر لتيار مستمر ، أميتر Ammeter ، أسلاك توصيل.

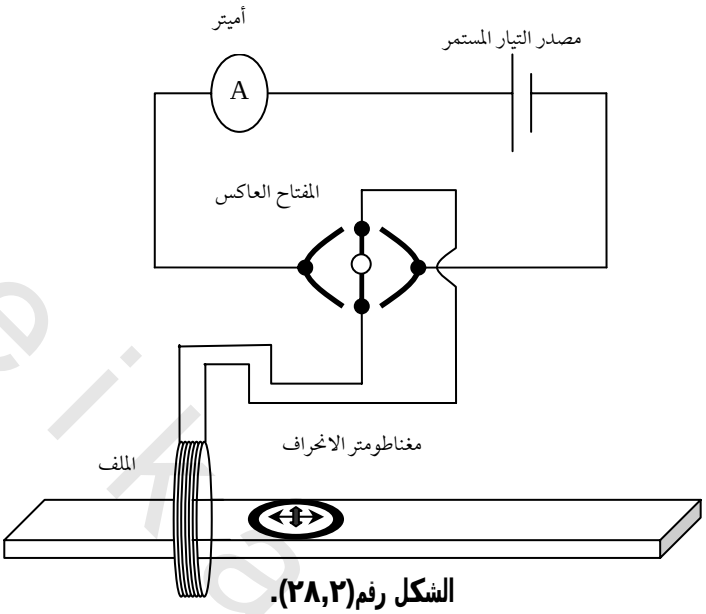
خطوات العمل

١- هيئ الجهاز بحيث تكون المركبة الأفقية للمجال الأرضي عمودية مع المجال المغناطيسي الذي سوف يتكون من الملف كما هو موضح في الصورة رقم (٢٨,١).ويكون ذلك بجعل الإبرة المغناطيسية الصغيرة في مركز الملف ثم جعل مستوى الملف في اتجاه الإبرة الصغيرة (مستوى الزوال المغناطيسي) و اضبط طرفي المؤشر(المؤشر الطويل) على صفري التدريج.

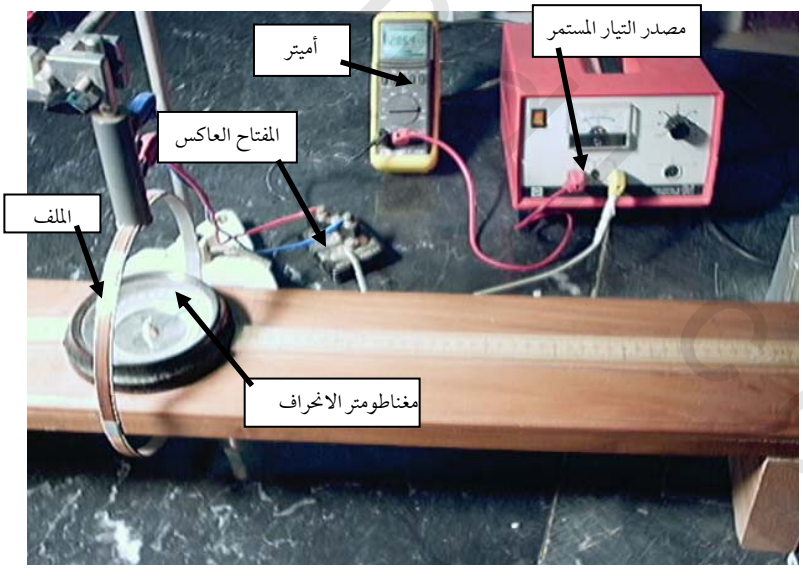


الصورة رقم (٢٨,١).

٢- صل الدائرة الكهربائية كما في الشكل رقم (٢٨,٢) والصورة رقم (٢٨,٢) ثم عدل في مقدار التيار من مصدر التيار (إذا كان يمكن التحكم في مقدار التيار من مصدر التيار مباشرة أو بتوصيل مقاومة متغيرة إلى الدائرة لتغيير قيمة التيار) إلى أن تصبح زاوية انحراف المؤشر حوالي 70° ولاحظ قراءة الأميتر ثم ثبت التيار أثناء التجربة .



الشكل رقم(٢٨,٢).



الصورة رقم (٢٨,٢).

٣- قم بتسجيل قراءة طرفي المؤشر ولتكن θ_1 و θ_2 ثم اعكس التيار المار في الملف بواسطة المفتاح العاكس وسجل قراءة طرفي المؤشر ولتكن θ_3 و θ_4 ومن ثم احسب متوسط زاوية انحراف θ_{av} هذه القراءة عند $X = 0$ سجل هذه القيم في الجدول رقم (٢٨,١).

٤- حرك الملف حتى يصبح على مسافة قدرها 3 سم من الإبرة على الطرف الموجب من X ثم سجل متوسط زاويا الانحراف (θ_{av}) بعد عكس التيار.

٥- كرر الخطوة السابقة بزيادة قدرها 3 سم وفي كل مره أوجد متوسط زاوية الانحراف(θ_{av}) حتى تعبئة الجدول رقم (٢٨,١) وأحسب كلا من $log(\tan\theta)$ و$log(R^2+X^2)$ وذلك بعد حسابك لقيمة R .

٦- ارسم العلاقة بين $log(\tan\theta)$ على المحور الصادي و $log(R^2+X^2)$ على المحور السيني. أوجد ميل الخط المستقيم الناتج من الرسم ثم أوجد قيمة المركبة الأفقية للمجال المغناطيسي الأرضي B_o من قيمة تقاطع الخط المستقيم مع محور الصادات.

الجدول رقم (٢٨,١).

X (m)	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_{av}	$\tan\theta_{av}$	$log(\tan\theta_{av})$	$\frac{(X^2+R^2)}{(m)^2}$	$log(X^2+R^2)$

obeikandl.com

القياسات والنتائج

نصف قطر الملف R :

$R =$ **m**

التيار المار في الملف :

$I =$ **A**

ميل الخط المستقيم :

قيمة المركبة الأفقية للمجال المغناطيسي الأرضي B_o :

$B_o =$ **T**

الأسئلة

١ - هل يمكنك الاستغناء عن المفتاح ذو الطريقين ؟ كيف يكون ذلك؟

٢ - لماذا يفضل البدء بتيار يعطي درجة انحراف مقاربة لـ 70^o ؟

٣- كيف يمكنك التحقق من قيمة معامل النفاذية المغناطيسية للفراغ في هذه التجربة إذا عرفت قيمة المركبة الأفقية للمجال المغناطيسي؟

٤ - كيف يمكنك إجراء تجربة بنفس أدوات هذه التجربة ولكن التيار هو المتغير وذلك لحساب المركبة الأفقية للمجال المغناطيسي الأرضي؟

٥ - احسب قيمة الخطأ المطلق والنسبي لقيمة الميل العملية.

obeikandl.com

التجربة ٢٩

تعيين قيمة المجال المغناطيسي للأرض بواسطة ملف دائري

نظرية التجربة

تهدف هذه التجربة إلى تحديد قيمة المجال المغناطيسي للأرض من خلال الجهد ألتأثيري الذي ينتج في ملف دائري متحرك في المجال المغناطيسي الأرضي.

عندما تدور عروة دائرية من موصل ذات مساحة A في مجال مغناطيسي منتظم B وبسرعة زاوية ω وزمن t فإن الفيض المغناطيسي يساوي :

$$\phi = AB\cos\omega t \quad \text{.....(٢٩,١)}$$

وإذا كان نصف قطر العروة R فان مساحتها A تساوي :

$$A=\pi R^2 \quad \text{..... (٢٩,٢)}$$

إذا افترضنا أن محور الدوران عمودي على المجال المغناطيسي B فحسب قانون فاراداي تتولد قوة دافعة تأثيرية (جهد تأثيري) نتيجة لمعدل تغيير الفيض المغناطيسي وتعطى بالمعادلة :

$$V_{emf} = -\frac{d\phi}{dt} = \pi R^2 B\omega \sin\omega t \quad \text{..... (٢٩,٣)}$$

وبذلك تكون أعلى قيمة للجهد التأثيري تساوي :

obeikandl.com

$$V_{max} = \pi R^2 B \omega = AB \omega \quad \text{.....} \quad (٢٩,٤)$$

وعند التعويض عن السرعة الزاوية ω بدلالة الزمن الدوري T حيث :

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{.....} \quad (٢٩,٥)$$

وكذلك عندما نفترض أن هناك ملف يتكون من عدد N فان أعلى جهد سوف يتكون في هذا الملف يكون :

$$V_{max} = ABN \frac{2\pi}{T} \quad \text{.....} \quad (٢٩,٦)$$

لتسهيل كتابة المعادلة (٢٩,٦) يمكن كتابتها كما يلي :

$$V_{max} = a \cdot B \quad \text{.....} \quad (٢٩,٧)$$

حيث a حسب المعادلتين (٢٩,٧) و (٢٩,٦) يكون :

$$a = AN \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi^2 NR^2}{T} \quad \text{.....} \quad (٢٩,٨)$$

وإذا ما كان اتجاه محور الدوران في اتجاه المحور z في نظام المحاور الكارتيزية فإن الجهد بذلك يكون :

$$V_z = a\sqrt{B_x^2 + B_y^2} \quad \text{.....} \quad (٢٩,٩)$$

وإذا كان في اتجاه المحور x فإن :

$$V_x = a\sqrt{B_y^2 + B_z^2} \quad \text{.....} \quad (٢٩,١٠)$$

وبالمثل إذا كان محور الدوران في إتجاه y فإن :

$$V_y = a\sqrt{B_z^2 + B_x^2} \quad \text{.....} \quad (٢٩,١١)$$

ويمكن حساب مركبات المجال المغناطيسي في المحاور الكارتيزية من المعادلات (٢٩,٩) و(٢٩,١٠) و(٢٩,١١) لنحصل على المعادلات التالية :

$$B_x^2 = \frac{-V_x^2 + V_z^2 + V_y^2}{2a^2} \quad \text{.....} \quad (٢٩,١٢)$$

obeikandl.com

$$B_y^2 = \frac{V_x^2 - V_y^2 + V_z^2}{2a^2} \quad \text{.....} \quad (٢٩,١٣)$$

$$B_z^2 = \frac{(V_x^2 + V_y^2 - V_z^2)}{2a^2} \quad \text{.....} \quad (٢٩,١٤)$$

يوضح الشكل رقم (٢٩,١) المجال المغناطيسي الأرضي B_E ومركبته في X و Y وZ وحسب هندسة الشكل فان المجال المغناطيسي الأرضي B_E يعطى بالمعادلة التالية:

$$B_E^2 = B_x^2 + B_y^2 + B_z^2 \quad \text{.....} \quad (٢٩,١٥)$$

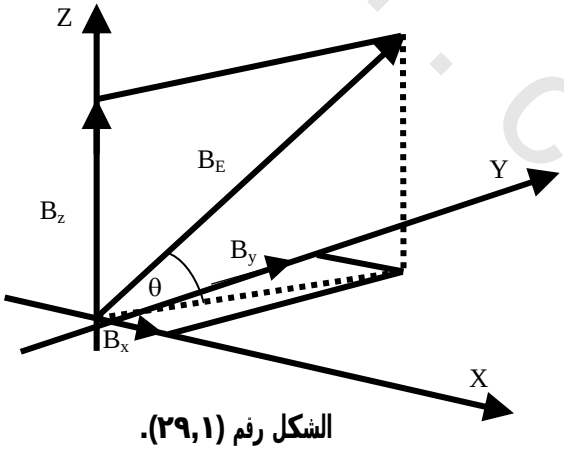
فبتعويض المعادلات (٢٩,١٤) و(٢٩,١٣) و(٢٩,١٢) في المعادلة (٢٩,١٥) نحصل على قيمة B_E بدلالة الجهد:

$$B_E = \sqrt{\frac{V_x^2 + V_y^2 + V_Z^2}{2a^2}} \quad \text{.....} \quad (٢٩,١٦)$$

ويمكن حساب الزاوية θ وهي تسمى زاوية الميل من هندسة الشكل رقم(٢٩,١) كالتالي :

$$tan\theta = \frac{B_Z}{\sqrt{B_X^2 + B_y^2}} = \sqrt{\frac{V_X^2 + V_y^2 + V_Z^2}{2V_Z^2}}$$

$$\theta = tan^{-1}\sqrt{\frac{V_X^2 + V_y^2 - V_Z^2}{2V_Z^2}} \quad \text{.....} \quad (٢٩,١٧)$$



الشكل رقم (٢٩,١).

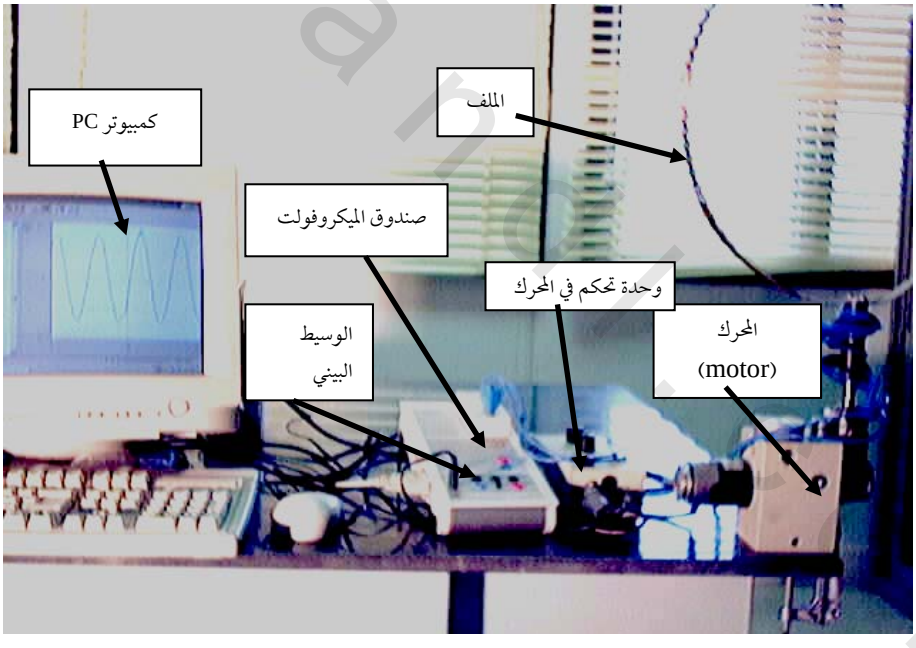
openkanal.com

الأجهزة المستخدمة

محرك (motor) كهربائي, وحدة تحكم في سرعة المحرك, كمبيوتر PC , وسيط بيني (interface), صندوق ميكروفولت تابع للوسيط البيني, أسلاك توصيل طول ٢ متر.

خطوات العمل

١- صل الأجهزة كما يتضح لك من الصورة رقم (٢٩,١). أستخدم سلكاً طوله ٢ متر مزدوج الأطراف لتوصيل دائرة الملف بصندوق الميكروفولت في الوسيط البيني٠ ضع المحرك في ركن المنضدة ليسهل لك ضبط دوران الملف في ثلاثة اتجاهات.



الصورة رقم(٢٩,١)

٢- اضبط سرعة المحرك بحيث يكون زمن الدورة الواحدة تقارب 3s. ثم ثبت هذه السرعة خلال إجراء التجربة. بذلك يكون زمن الدورة T يساوي ثلاثة ثواني.

٣- قم بتشغيل برنامج الوسيط البيني واختر القراءة بين فرق الجهد والزمن(سوف يختارها لك البرنامج مباشرة).

٤- ابدا بتدوير الملف بواسطة المحرك عندما يكون محور دوران الملف في اتجاه Z وبدأ بتسجيل القراءة مباشرة. أوقف الدوران وتسجيل القراءة عندما يقترب السلك الواصل بين الملف والوسيط من الانتهاء.

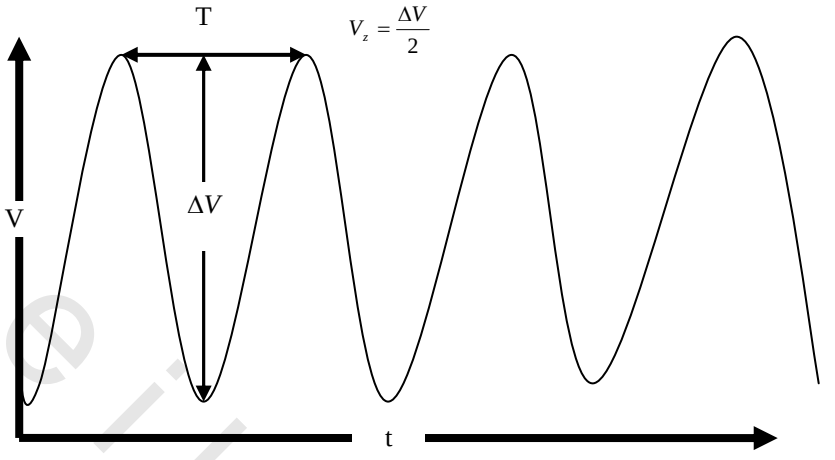
٥- اضبط مدى القراءة لفرق الجهد والزمن في البرنامج لتتضح لك العلاقة بينهما ثم أوجد زمن الدورة T (هو الزمن بين قمتين متتاليتين لفرق الجهد) و احسب الجهد(V_z) للمحور Z (وهو الفرق بين قمة وقاع متتاليين ΔV مقسوم على اثنين) انظر الشكل رقم (٢٩,٢).

٦- غير اتجاه محور الدوران من Z إلى Y من خلال مسامير المحرك ثم كرر الخطوات السابقة لتسجيل الجهد V_y.

٧- غير اتجاه محور الدوران من Y إلى X وقد تحتاج في هذه الحالة إلى تغيير وضع المحرك بنسبة إلى المنضدة. ثم كرر الخطوات السابقة لتسجيل V_x.

٨- احسب نصف قطر الملف R وعدد لفاته N . ثم عوض في المعادلة (٢٩,٨) لإيجاد قيمة a و (٢٩,١٦) لإيجاد قيمة B_E .وعوض في المعادلة (٢٩,١٧) لإيجاد قيمة الزاوية θ.

obeikandl.com



الشكل رقم (٢٩,٢)

القياسات والنتائج

أعلى قيمة للجهد في الاتجاه Z :

$V_Z =$ μV

أعلى قيمة للجهد في الاتجاه Y :

$V_y =$ μV

أعلى قيمة للجهد في الاتجاه X :

$V_x =$ μV

قيمة نصف قطر الملف R:

R= m

عدد لفات الملف N :

N= turn

قيمة المجال المغناطيسي الأرضي :

$B_E =$ T

قيمة الزاوية θ تساوي:

θ =

obeikandl.com

الأسئلة

١- لماذا أستخدم صندوق الميكروميتر لجهاز الوسيط البيني في هذه التجربة؟

٢- ماذا تمثل الزاوية (θ) التي تم حسابها في هذه التجربة؟

٣- كيف يمكنك إجراء التجربة من غير استخدام الوسيط البيني؟

obeikandl.com

obeikandl.com

التجربة ٣٠

تجربة إيجاد قيمة مقاومة كبيرة عن طريق تفريغ مكثف كهربائي

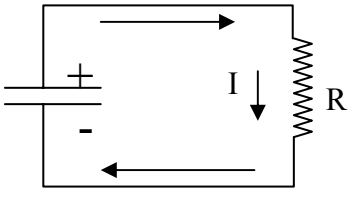
نظرية التجربة

عند تفريغ مكثف خلال مقاومة فإن فرق الجهد بين لوحي المكثف ينخفض تدريجيا نتيجة لتسرب الشحنة من المكثف. حيث فرق الجهد بين لوحي المكثف يساوي الشحنة مقسومة على السعة :

$$V = \frac{q}{c} \quad \text{.....(٣٠,١)}$$

ويمكن الوصول إلى صيغة رياضية بين فرق الجهد والزمن كما يلي :

لو فرضنا أن فرق الجهد عند أي لحظة V والتيار في تلك اللحظة هو I وبتطبيق قانون كيرشوف الثاني على هذه الدائرة المغلقة كما في الشكل رقم (٣٠,١).



الشكل رقم (٣٠,١).

فيمكننا أن نستنتج أن :

$$V = I.R \quad \text{..... (٣٠,٢)}$$

obeikandl.com

وحيث إن التيار المار في الدائرة هو معدل مرور الشحنة المتسربة من المكثف فإن فرق الجهد يعطى بالمعادلة :

$$V = \frac{dq}{dt} R \quad \text{.....} \quad (٣٠,٣)$$

وبما أن الشحنة q تساوي سعة المكثف مضروبة في فرق الجهد بين لوحي المكثف كما في المعادلة (٣٠,١) سوف نحصل على المعادلة :

$$V = R.C \frac{dV}{dt} \quad \text{.....} \quad (٣٠,٤)$$

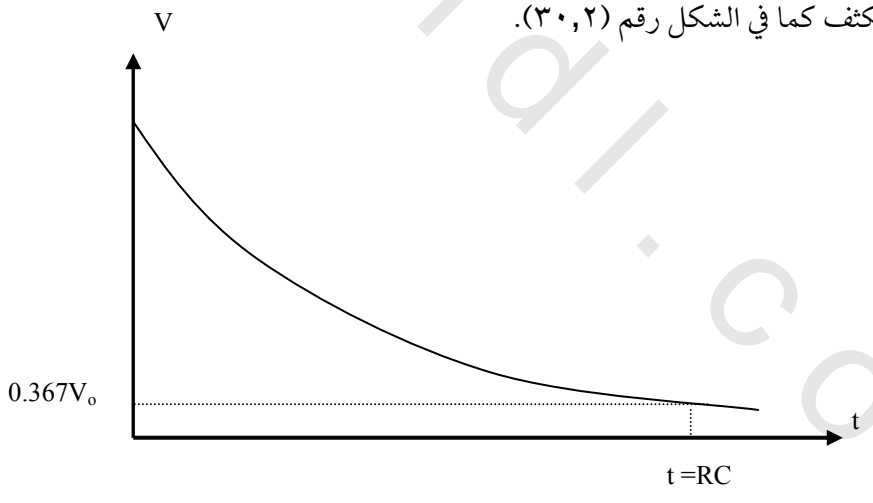
وبترتيب حدود المعادلة (30-4) نحصل على :

$$\frac{dt}{RC} = \frac{dV}{V}$$

وبالتكامل و أخذ حدود التكامل بين V_o و V نحصل على :

$$V = V_o e^{-\frac{t}{RC}} \quad \text{.....} \quad (٣٠,٥)$$

و هذه المعادلة يمكن رسمها بيانيا إذا رصدنا العلاقة بين الزمن وفرق الجهد بين لوحي المكثف كما في الشكل رقم (٣٠,٢).



الشكل رقم (٣٠,٢). يبين **العلاقة** بين **الزمن وفرق الجهد** بين **لوحي المكثف.**

obeikandl.com

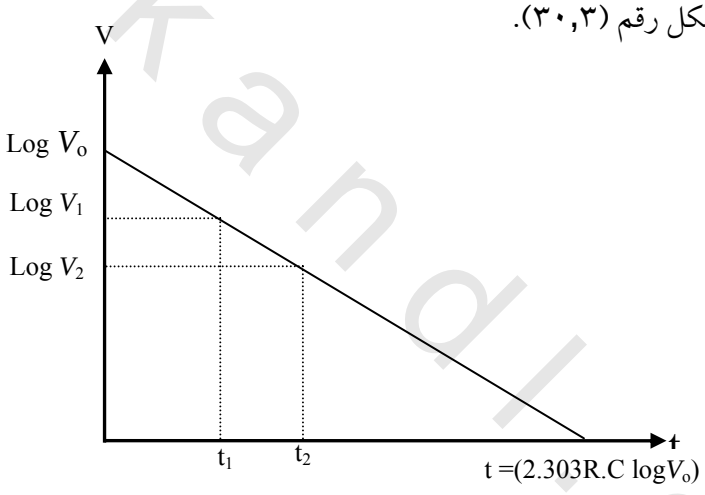
ومن الرسم نجد أنة عندما يصل الزمن إلى قيمة تساوي R.C (الزمن المميز) تصبح المعادلة (٣٠,٥) كما يلي :

$$V = V_o e^{-1}$$

أو : $V \approx 0.37 V_0$

$$2.303 \log V = 2.303 \log V_0 - \frac{t}{R.C}$$

فإذا رسمت علاقة بيانية بين الزمن على المحور السيني مقاساً من لحظة التفريغ الأولى ولوغاريتم الجهد $\log(V)$ على المحور الصادي فإننا نحصل على خط مستقيم كما في الشكل رقم (٣٠,٣).



الشكل رقم (٣٠,٣). يبين العلاقة بين الزمن ولوغاريتم الجهد.

من الشكل رقم(٣٠,٣) السابق نجد أن :

(أ) عند زمن $t = 0$ فإن فرق الجهد بين لوحي المكثف يساوي V_0 وذلك قبل تفريغ المكثف.

(ب) عند زمن $t = R.C$ فإن فرق الجهد بين لوحي المكثف يساوي 0.367 من الجهد V.

obeikandl.com

(ج) عند زمن $t = (2.303R.C\ Iog\ Vo)$ فإن فرق الجهد بين لوحي المكثف يساوي واحد فولت .

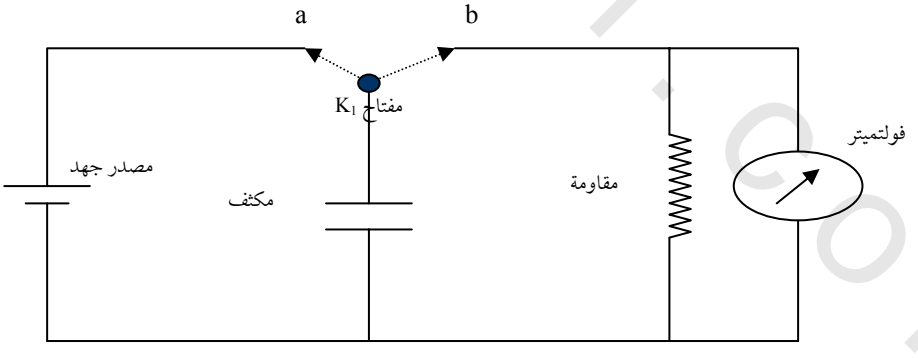
الأجهزة المستخدمة

مصدر جهد كهربائي, مفاتيح توصيل مختلفة, المقاومة المراد قياسها,مكثف معلوم السعة ، فولتميتر.

خطوات العمل

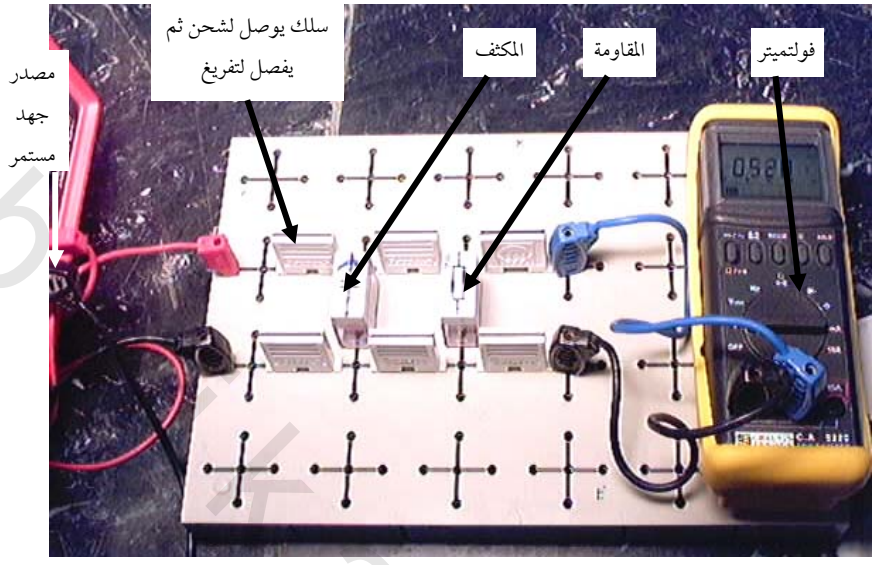
١- صل الدائرة كما هو في الشكل رقم (٣٠,٤) والصورة رقم(٣٠,١).

٢- ابدأ بشحن المكثف وذلك بإيصال المفتاح K_1 (إلى الطرف a) بالبطارية (مصدر الجهد الشاحن), بحيث لا يزيد هذا الجهد عن١٢فولت (لسلامة المكثف) ثم صل المكثف بالمقاومة بواسطة تحريك المفتاح K_1 (إلى الطرف b) وفي هذه اللحظة ابدأ بحساب الزمن وفرق الجهد وسجل كل من فرق الجهد والزمن بعد كل نصف دقيقة في الجدول رقم (٣٠,١) حتى انخفاض فرق الجهد إلى مستوى متدني .



الشكل رقم(٣٠,٤) الدائرة الكهربائية للتجربة.

obeikandi.com



الصورة رقم (٣٠,١) توضح توصيل الدائرة الكهربائية

٣- ارسم علاقة بيانية بين $logV$ على المحور الصادي والزمن t على المحور السيني سوف تحصل على خط مستقيم أوجد ميله والذي يساوي :

$$\text{الميل} = -\frac{1}{2.303RC}$$

وبمعرفة قيمة C حيث تساوي ١٠٠٠ مايكروفاراد فمن ذلك يمكن حساب قيمة R بوحدات الاوم .

٤- ويمكن كذلك إيجاد قيمة R عن طريق تقاطع الخط المستقيم مع المحاور.

حيث تقاطع الخط المستقيم مع المحور السيني (t) يساوي = $2.303RC\ logV_0$

حيث $logV_0$ هي نقطة تقاطع الخط المستقيم مع المحور الصادي ($logV$) وبمعرفة C يمكن إيجاد R.

obeikandl.com

النتائج و القياسات

الجدول رقم(١,٣٠).

$\log V$	فرق الجهد V	الزمن t

إيجاد قيمة المقاومة عن طريق الميل

قيمة الميل:

قيم سعة المكثف :

إذاً قيمة المقامة :

إيجاد المقاومة عن طريق تقاطع الرسم (الخط المستقيم) مع المحاور

قيمة تقاطع المستقيم مع المحور السيني (t) :

قيمة تقاطع المستقيم مع المحور الصاوي ($\log V_0$) :

إذاً قيمة المقامة R :

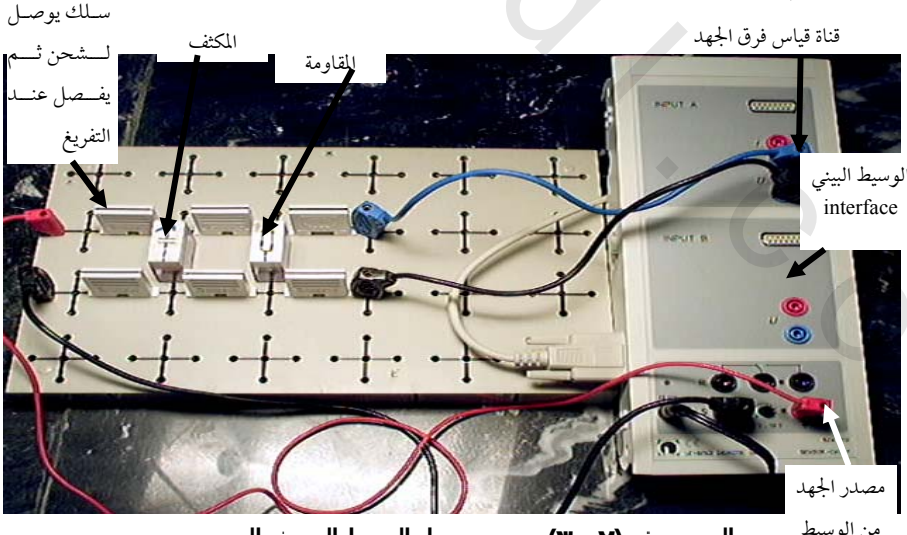
obeikandi.com

استخدام الحاسب الآلي لإجراء التجربة

يمكن استخدام الوسيط البيني interface والحاسب الآلي في إجراء هذه التجربة .حيث يتم توصيل الوسيط البيني لتسجيل فرق الجهد مع الزمن ثم أخذ القيم والنتائج من الحاسب مباشرة. فالوسيط البيني في هذه التجربة يوجد به مصدر جهد مستمر يمكن استخدامه كما يقوم بتوفير ساعة لتسجيل الزمن ؛ لأنه يقوم بتسجيل الزمن من خلال برنامج التشغيل الخاص به كما يقوم البرنامج بالرسم مباشرة.

توصيل الحاسب الآلي والوسيط البيني interface

الحاسب يقوم بتسجيل فرق الجهد مع الزمن لذلك يحتاج إلى توصيل طرفي القناة المخصصة لحساب فرق الجهد بين طرفي الجهد على المكثف أو على المقاومة كما يمكن شحن المكثف من مصدر الجهد الموجود في الوسيط البيني لتوفير مصدر جهد خارجي.ويتم ضبط برنامج الوسيط البيني لتسجيل فرق الجهد من القناة الموصلة بالتجربة لقياس فرق الجهد والزمن. دائرة التوصيل تكون كما في الشكل رقم (٣٠,٤) ولكن الاختلاف أن الفولتميتر ومصدر الجهد من الوسيط البيني كما توضح ذلك الصورة رقم (٣٠,٢).



الصورة رقم (٣٠,٢) توضح توصيل الوسيط البيني في التجربة.

خطوات إجراء التجربة

١- صل الوسيط البيني كما في الصورة رقم (٣٠,٢).

٢- قم بشحن المكثف من مصدر الجهد الموجود في الوسيط البيني إلى ما يقارب ١٢ فولت.

٣- قم بفصل مصدر الجهد عن الدائرة ثم ابدأ فوراً بتسجيل فرق الجهد مع الزمن في برنامج الوسيط في الحاسب.

٤- سوف يقوم البرنامج برسم ليعطي شكلاً كما في الشكل رقم (٣٠,٢) . غير المحور الصادي في الكمبيوتر إلى $logV$ ليعطي شكلا مثل (٣٠,٣) وأحسب قيمة المقاومة عن طريق الميل أو عن طريق التقاطع مع المحاور كما سبق شرحه.

الأسئلة

١- كيف يكون توصيل المقاومة مع المكثف عند التفريغ؟

٢- هل يعتبر فرق الجهد الذي يقرأه الفولتميتر عند التفريغ هو فرق الجهد على المقاومة دون المكثف ولماذا؟

٣- لماذا قيمة الميل تكون سالبة ؟

٤- ما هي الأجهزة التي توفرت لك عند استخدامك للوسيط البيني؟

٥- كرر التجربة خمسة مرات باستخدام الوسيط البيني واحسب في كل مرة قيمة المقاومة ثم احسب المتوسط الحسابي لها وقيمة الانحراف المعياري والخطأ المعياري.

obeikandi.com

التجربة ٣١

تعيين معامل الحث الذاتي لملف باستخدام دائرة تيار متردد

فكرة التجربة

تعتمد فكرة التجربة على دراسة ممانعة دائرة تحتوي على ملف ومقاومة وإيجاد قيمة معامل الحث الذاتي للملف. فعند استخدام فرق جهد متردد V فولت له تردد f هيرتز بين طرفي ملف ذو معامل حث ذاتي L هنري و مقاومة أومية تساوي صفرا. فإن التيار يعطى بالعلاقة :

$$I = \frac{V}{X_L} \quad \text{.....(٣١,١)}$$

حيث المقدار X_L الممانعة الحاثية وتقاس بوحدة VA^{-1} أو Ω وتعطى قيمتها حسب معامل الحث الذاتي للملف L وتردد فرق الجهد f بالعلاقة التالية :

$$X_L = 2\pi fL \quad \text{.....(٣١,٢)}$$

أما عندما يكون للملف مقاومة أومية R_o ومتصل على التوالي مع مقاومة R في الدائرة فان التيار المار خلال الدائرة يعطى بالعلاقة :

obeikandl.com

$$I=\frac{V}{Z}=\frac{V}{\sqrt{(R+R_0)^2+X_L^2}} \quad \text{..... (٣١,٣)}$$

حيث Z ممانعة الدائرة وتقاس بالأوم . بترتيب المعادلة رقم(٣١,٣) لتوضيح العلاقة بين التيار والمقاومات سوف تعطي الشكل التالي :

$$(R+R_0)^2=\frac{V^2}{I^2}-X_L^2 \quad \text{..... (٣١,٤)}$$

بذلك يتضح من المعادلة (٣١,٤) أننا نستطيع الحصول على قيمة الحث الذاتي للملف وذلك برسم بين $(R+R_0)^2$ على المحور الصادي وبين $(\frac{1}{I^2})$ على المحور السيني ليعطي خط مستقيم امتداده يقطع المحور الصادي في الجزء السالب وهي قيمة (X_L^2) وبأخذ الجذر التربيعي لهذا المقدار نوجد معامل الحث الذاتي حسب المعادلة (٣١,٢).

الأجهزة المستخدمة

مصدر جهد متردد ، ملف حثي ، صندوق مقاومات ، أميتر ، أسلاك توصيل .

خطوات العمل

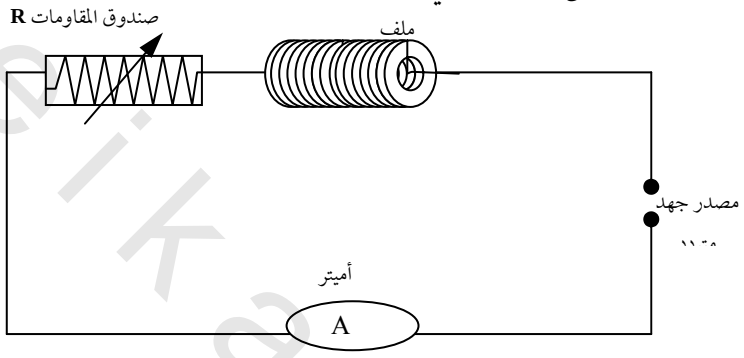
١- أوجد قيمة المقاومة الأومية R_0 وهو مقدار ثابت باستخدام أوم ميتر خارجي .

٢- صل الدائرة الكهربائية كما هو مبين في الشكل رقم (٣١,١) وما يتضح لك من الصورة رقم (٣١,١).اختر فرق جهد مناسب يعطي تيارا مناسبا(يصل إلى أعلى تدريج الاميتر) ثم ثبت الجهد على طول إجراء التجربة .

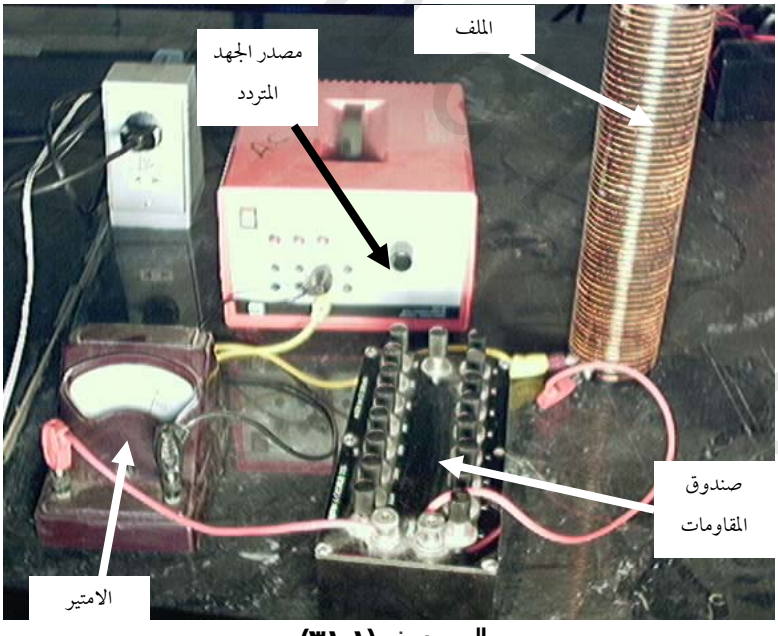
٣- أدخل قيم للمقاومة R في الدائرة وذلك من خلال صندوق المقاومات وفي كل مرة سجل قيمة R وشدة التيار بالأمبير المناظرة دون النتائج والبيانات في الجدول رقم (٣١,١) .

openkanal.com

٤- ارسم بين $(R+R_0)^2$ على المحور الصادي وبين $(\frac{1}{I^2})$ على المحور السيني ستحصل على خط مستقيم ثم مد هذا الخط على استقامته إلى أن يقطع المحور الصادي في الجزء السالب منه في نقطة تعطي قيمة (X_L^2) ثم أوجد الجذر التربيعي لهذا المقدار ومنه أوجد معامل الحث الذاتي من المعادلة (٣١,٢).



الشكل رقم (٣١,١).



الصورة رقم (٣١,١).

القياسات والنتائج

الجدول رقم (٣١,١).

المقاومة R Ω	التيار I A	مقلوب مربع التيار $1/I^2$ A^{-2}	$(R+R_0)$	$(R+R_0)^2$
٥٠				
١٠٠				
١٥٠				
٢٠٠				
٢٥٠				
٣٠٠				
٤٠٠				

من الرسم البياني نجد أن :

الجزء المقطوع من محور الصادات : $(X_L^2) = (\Omega)^2$

الممانعة الحثية للملف : $X_L = \Omega$

تردد التيار المستخدم : $F = 60\,\mathrm{H_Z}$

إذاً معامل الحث الذاتي للملف :

$L =$ **mH**

obeikandl.com

الأسئلة

١- هل صندوق المقاومات متصل على التوالي أم على التوازي مع الملف؟

٢- لماذا يمثل تقاطع خط الرسم مع المحور الصادي مربع الممانعة الحثية ؟ أشرح ذلك مستعيناً بالمعادلات.

٣- ماذا يمثل ميل الخط المستقيم الناتج في التجربة؟

٤- لقد عمل مصدر التيار الموجود في التجربة على تقليل مقدار الجهد الداخل إليه (كهرباء المعمل) مع ثبات تردد التيار لهذا المصدر. ماذا يسمى هذا الجهاز وكم قيمة التردد للتيار الخارج منه؟

obeikandl.com

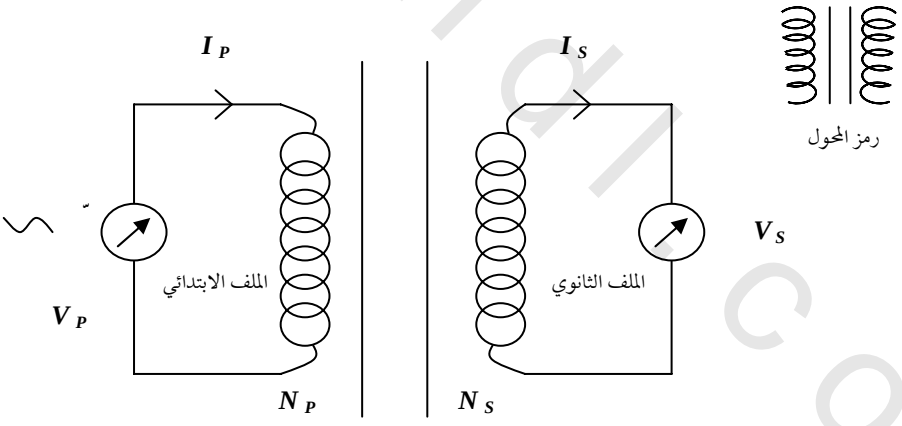
obeikandl.com

التجربة ٣٢

تجربة محول الجهد Transformer

نظرية التجربة

يتكون محول الجهد من ملفين أحدهما أولي والآخر ثانوي معزولين عن بعضهما وملفوفين على هيكل من الحديد كما في الشكل رقم (٣٢,١) ويرمز له في الدوائر الكهربائية بالشكل التالي :



الشكل رقم (٣٢,١). يبين الملفات الكهربائية.

فعندما يوضع مصدر للتيار المتردد بين طرفي الملف الابتدائي الذي عدد لفاته N_p بحيث تصبح القوة الدافعة الكهربائية المترددة emf_p وبفرض أن الملف الثانوي الذي عدد لفاته N_s غير متصل بدائرة كهربائية ، عندئذٍ يمر تيار في الملف الأولي وينتج عن

obeikandl.com

ذلك تولد مجال مغناطيسي B في الهيكل الحديدي الملفوف حوله الملف الابتدائي والملف الثانوي ؛ ونظراً لأن مساحة مقطع الملفين واحدة فيكون الفيض المغناطيسي الناتج من كل لفة من لفات الملف الأولي مساوياً للفيض المغناطيسي الساقط على كل لفة من لفات الملف الثانوي ، أي أن القوة الدافعة الكهربائية emf_s الناشئة في الملف الثانوي تعطى بالعلاقة :

$$emf_s = \frac{N_s \cdot d\Phi}{dt} \quad \text{.....(٣٢,١)}$$

والقوة الدافعة الكهربائية emf_p على الملف الابتدائي تعطى بالعلاقة :

$$emf_P = \frac{N_P \cdot d\Phi}{dt} \quad \text{.....(٣٢,٢)}$$

ومن العلاقتين السابقتين نجد أن :

$$\frac{emf_s}{emf_P} = \frac{N_s}{N_P} \quad \text{.....(٣٢,٣)}$$

وحيث إن مقاومة الملفين مهملة فإن القوة الدافعة الكهربائية تكون مساوية لفرق الجهد بين طرفي الملف ومن ذلك نحصل على العلاقة :

$$\frac{V_s}{V_P} = \frac{N_S}{N_P} \quad \text{.....(٣٢,٤)}$$

ولكن كيف يستطيع الملف الثانوي أن يحصل على الطاقة الكهربائية إذا ما وضعنا بين طرفيه مقاومة R يمر فيها تيار شدته I ؟

وفي المحول المثالي (لا توجد طاقة حرارية مفقودة) ، وطاقة الخرج في الملف الثانوي (P_s) مساوية لطاقة الدخل في الملف الابتدائي (P_p) فإذا كان التيار الابتدائي (I_p) والتيار الثانوي (I_s) فإن :

$$V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s$$

$$I_P V_P = I_s V_s \Longrightarrow P_p = P_s \qquad \frac{I_P}{I_S} = \frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$

$$I_p V_p = I^2_s R$$

$$I_P = \frac{N_S}{N_P} \cdot I_S \quad \text{.....(٣٢,٥)}$$

حيث إن :

R هي مقاومة الدائرة الخارجية.

وفيما سبق قد افترضنا أن الطاقة المستهلكة في الملف الثانوي تساوي الطاقة المأخوذة من الملف الابتدائي ، ولكن هذا ليس صحيحاً تماماً ؛ لأن هناك طاقة كهربائية تفقد في محول الجهد على شكل حرارة وذلك نتيجة للظواهر التالية :

١- الطاقة المفقودة في أسلاك الملفات والتي تظهر على شكل حرارة .

٢- التيارات الدوامية Eddy Currents والتي تظهر في هيكل محول الجهد ، والتي يمكن التغلب عليها باستخدام شرائح رقيقة من أنواع خاصة في بناء هيكل محول الجهد.

الأجهزة المستخدمة

محول جهد له ملف ابتدائي ثابت N_p وعدة ملفات ثانوية N_s بأطراف مميزة.اثنين جهاز فولتميتر احدهم لقياس جهد الملف الابتدائي والأخر لقياس الجهد على الملفات الثانوية. مصدر لجهد متردد متغير.

خطوات العمل

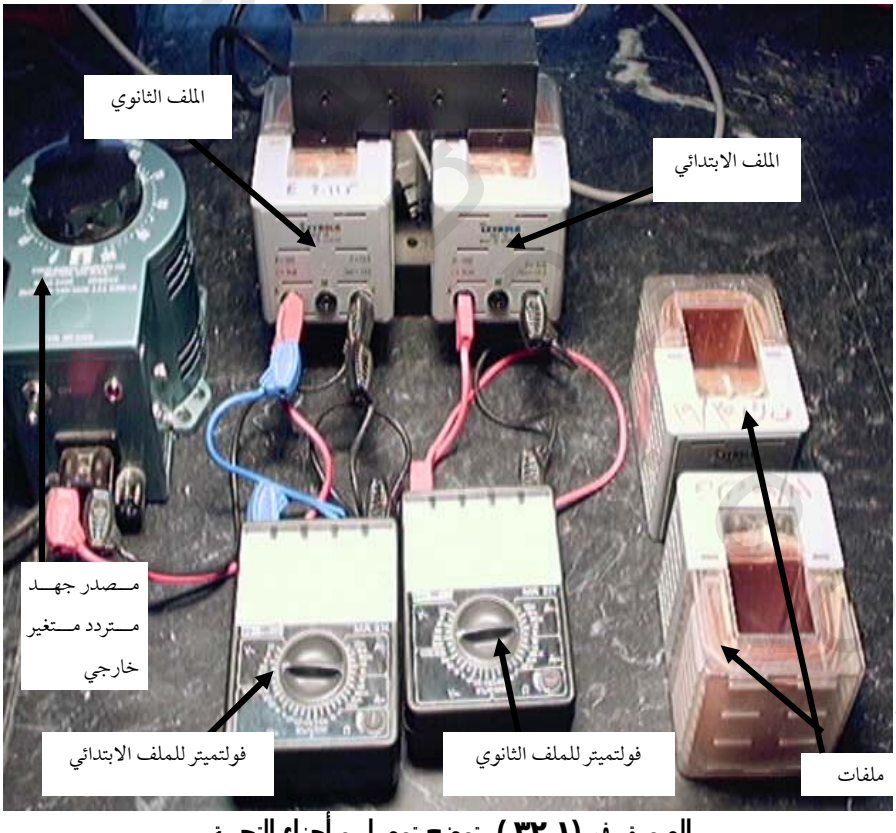
١- صل التجربة كما يتضح لك من الصورة رقم (٣٢,١).

٢- ضع الجهد الداخل للملف الابتدائي V_p على قيمة ثابتة ولتكن ١٠ فولت من المصدر الخارجي وتأكد من ذلك بتوصيل فولتميتر بالملف الابتدائي ومن ثم عين الجهود الخارجة V_s لكل ملف ثانوي معطى لك في التجربة على حدة ودون النتائج في الجدول رقم (٣٢,١).

obeikandi.com

٣- ارسم علاقة بيانية بين عدد الملفات N_s لكل ملف على المحور السيني (الأفقي) والجهود الخارجة V_s على المحور الصادي (الرأسي). أوجد ميل الخط المستقيم ثم اشرح ماذا تمثل هذه القيمة للملف الابتدائي.

٤- يوجد لديك ملف مجهولة عدد لفاته. أوجد عدد لفات الملف المجهول N_s وذلك من خلال إيجاد الجهد المتغير الخارج منه كدالة في تغير الجهد على الملف الابتدائي N_p وقم بتدوين ذلك في الجدول رقم (٣٢,٢) واحسب قيم N_s في الجدول من المعادلة (٣٢,٤) ثم عين المتوسط الحسابي لها.



الصورة رقم (٣٢,١). توضح توصيل و أجزاء التجربة.

الجدول رقم (٣٢,١).

عدد اللفات N_s	**الجهود المقابلة** V_s

قيمة ميل الخط المستقيم =

الجدول رقم(٣٢,٢).

V_p	V_s	N_p	N_s

المتوسط الحسابي = N_s = + + + + + / 6

obeikandl.com

الأسئلة

١- ما هو تأثير عدد لفات الملف على الجهد الخارج منه سواءً كان ملف ابتدائي أو ثانوي ؟ اشرح إجابتك مستعيناً بالمعادلات ونتيجة التجربة.

٢- هل يتغير تردد الجهد الخارج من الملف الثانوي عن الجهد الداخل للابتدائي ولماذا؟

٣- كم محول لديك في الصورة رقم (٣٢,١)؟

٤- احسب قيمة الانحراف المعياري و الخطأ المعياري لقيمة عدد الملفات للملف المجهول.

obeikandl.com

المـــراجـــع

References

أولاً: المراجع العربية

١ - العقيل، إبراهيم. أحمد مصمص. أحمد ميرة. زياد المصري. عبدا لحميد نصار. حسن العماري. عامر الصالح. *الفيزياء التجريبية للسنوات الأولى الجامعية*. ط٤. دار الخريجي للنشر والتوزيع ١٤١٩هـ.

٢ - عيسى، محمد علي أحمد. *الكهرباء والمغناطيسية*. الطبعة الأولى. مطابع جامعة الملك سعود ١٤١٠هـ.

٣- عبدا لرزاق، نبيل محمود و محمد أحمد عبدا لمؤمن. *الفيزياء العملية بالوحدات الدولية* . مركز النشر العلمي جامعة الملك عبدا لعزيز. ١٤٠٨هـ.

ثانياً: المراجع الأجنبية

1-David H. Loyd. Physics Laboratory Manual. Sunders College Publishing (1992).

2-David Halliday, Robert Resnick and Jearl Walker. *Fundamentals of Physics*. Fifth Edition. John Wiley &Sons. New York (1997).

3-Dean S. Edmonods. *Experiments in College Physics*. Seventh Edition. D. C. Heath Company. United .State of America (1983).

4-Francis W. Sears, Mark W Zemansky and Hugh D. *Young*. University Physics. Sixth Edition. Addison-Wesley. London (1982).

5-Gordon. L. Squires. *Practical Physics. Fourth Edition.* Cambridge University Press. U.K.(2001).

6-Leybold Company. Physics Experiments Volume 2 *Electricity & Electronics*. First Edition. Lebold-Heraeus GMBH. Germany (1986).

obeikandl.com

إنجليزي- عربي

A

Absolute error	الخطأ المطلق
Accuracy	الدقة
Admittance	قبولية - مسامحة
Alternating	متردد- متناوب
Ammeter	مقياس للتيار الكهربائي
Ampere	وحدة التيار الكهربائي في النظام العالمي SI
amplifier	مضخم
Amplitude	سعة
Angle	زاوية
Angular	زاوي
Arithmetic mean	المتوسط الحسابي
Attraction	تجاذب

B

Ballistic Galvanometer	الجلفانومتر القذفي
Bridge	قنطرة

C

Capacitance	سعة
Capacitive impedance	الممانعة السعوية
Capacitor	مكثف

obeikandl.com

Charge	شحنة
Charge density	كثافة الشحنة
Circle	دائرة
Circuit	دائرة كهربائية
Coefficient	معامل
Coil	ملف
Compass	بوصلة
Capacitive reactance	المفاعلة السعوية
Capacitor in parallel	مكثفات على التوازي
Capacitor in series	مكثفات على التوالي
Conductor	موصل
Constant	ثابت
Coulomb Balance	ميزان كولوم
Current	تيار
Current density	كثافة تيار

D

Damped	متضائل
Declination angle	زاوية الانحراف
Deflection	انحراف
Deflection magnetometer	مغناطومتر الانحراف
Demagnetization	إزالة التمغنط

obeikandl.com

Dielectric	عازل
Dipole	ثنائي القطب
Direct Current	تيار مستمر
Discharge	تفريغ الشحنة
Displacement	إزاحة

E

Earth's field	مجال كهربائي
Earthing	التوصيل بالأرض
Eddy current	تيارات دوامية
Electric	كهربائية
Electricity	كهرباء
Electrical Charge	شحنة كهربائية
Electromotive force	قوة دافعة كهربائية
Electron	إلكترون
Electrostatic	كهرباء ساكنة
Energy	طاقة
Equipotential surface	سطوح متساوية

F

Field	مجال
Flux	فيض
Force	قوة

obeikandl.com

Frequency	تردد
fuse	قاطعة توصيل كهربائي
G	
Galvanometer	جلفانومتر
Generator	مولد
Geographic Meridian	الزوال الجغرافي
Glowing discharge	تفريغ توهجي
H	
Helmholtz coil	ملفات هيلمهولتز
I	
impact ionization	التصادم التأييني
Impedance	ممانعة
Induction	حث
Inductive reactance	مفاعله حثية
Insulating media	وسط عازل
Insulator	عازل
Intensity	شدة
interface	الوسيط البيني
L	
Line of force	خطوط القوى
Lode	الحمل

obeikandl.com

M

Magnet	مغنطيس
Magnetic attraction	جذب مغناطيسي
Magnetic dipole	مغناطيس ثنائي القطب
Magnetic flux	التدفق المغناطيسي
Magnetic force	القوة المغناطيسية
magnetic Meridian	الزوال المغناطيسي للأرض
Magnetic susceptibility	التأثيرية المغناطيسية
Magnetism	المغناطيسية
Magnetization	التمغنط
Moment	عزم
Motor	محرك
Multimeter	متعدد القراءات

N

Natural Magnet	مغناطيس طبيعي
Natural Point	نقطة التعادل
Negative charge	شحنة سالبة
Neutral	متعادل
north pole	القطب الشمالي

O

Observer	راصد

obeikandl.com

Open Circuit	دائرة مفتوحة
P	
Parallel	متوازي
Path	مسار
Peak	ذروة ,قمة
Percentage error	الخطأ المئوي
Permanent Magnet	مغناطيس ثابت
Permeability	نفاذية
Permittivity	سماحية
Perpendicular	عامودي
plate capacitor	المكثف ذي اللوحين
points charge	شحنة نقطية
Polar	قطبي
Positive charge	شحنة موجبة
Post Office box	صندوق البريد
Potential difference	فرق الجهد
Potential energy	طاقة الوضع
Potentiometer	جهاز قياس الجهد
Power	قدرة
Primary coil	ملف ابتدائي
Probability	احتمالية

obeikandl.com

R

Radius	نصف القطر
reduction factor	معامل الاختزال
Reflection	انعكاس
Repulsion	تنافر
Resistance	مقاومة
Resistivity	مقاومة نوعية
Resonance	رنين
Response	استجابة
Rheostat	مقاومة متغيرة
Rotation	دوران

S

Saturation	تشبع
Secondary coil	ملف ثانوي
Self inductance	الحث الذاتي
Series	توالي, متسلسل
Shunt	مجزي التيار
Solenoid coil	ملف حلزوني
Sonometer	صونوميتر
south pole	القطب الجنوبي
Space	فضاء,حيز

obeikandl.com

Sphere	جسم كروي
Spin	لف لولبي
Spring	زنبرك
Square root	جذر تربيعي
Standard	عياري, قياسي
Standard deviation	الانحراف المعياري
Standard error	الخطأ المعياري
Static	ساكن
Surface charge density	كثافة الشحنة السطحية
Suspended	معلق
Synchronize	تزامن

T

Tangent Galvanometer	جلفانومتر الظل
Test charge	شحنة اختبار
Toroidal coil	ملف حلقي
Torsion Constant	ثابت الالتواء
Torque	عزم الازدواج
Transformer	محول

U

Uniform	منتظم
Unit	وحدة

obeikandl.com

V

Van de Graaff Generator	مولد فان دي جراف
Vector	متجه
Voltameter	مقياس الجهد
Volume	حجم

W

Wehnelt-cylinder	اسطوانة وينليت
Wheatstone Bridge	قنطرة ويتستون
Wire Bridge	قنطرة سلكية

obeikandl.com

ثبت المصطلحات

عربي- إنجليزي

أ

احتمالية	Probability
إزاحة	Displacement
إزالة التمغنط	Demagnetization
استجابة	Response
اسطوانة وينليت	Wehnelt-cylinder
إلكترون	Electron
انحراف	Deflection
الانحراف المعياري	Standard deviation
انعكاس	Reflection

ب

بوصلة	Compass

obeikandl.com

ت

التأثيرية المغناطيسية	Magnetic susceptibility
تجاذب	Attraction
التدفق المغناطيسي	Magnetic flux
تردد	Frequency
تزامن	Synchronize
تشبع	Saturation
التصادم التأييني	impact ionization
تفريغ الشحنة	Discharge
تفريغ توهجي	Glowing discharge
التمغنط	Magnetization
تنافر	Repulsion
توالي, متسلسل	Series
التوصيل بالأرض	Earthing
تيار	Current
تيار مستمر	Direct Current
تيارات دوامية	Eddy current

ث

ثابت	Constant
ثابت الالتواء	Torsion Constant
ثنائي القطب	Dipole

obeikandl.com

ج

جذب مغناطيسي	Magnetic attraction
جذر تربيعي	Square root
جسم كروي	Sphere
جلفانومتر	Galvanometer
جلفانومتر الظل	Tangent Galvanometer
الجلفانومتر القذفي	Ballistic Galvanometer
جهاز قياس الجهد	Potentiometer

ح

حث	Induction
الحث الذاتي	Self inductance
حجم	Volume
الحمل	Lode

خ

الخطأ المئوي	Percentage error
الخطأ المطلق	Absolute error
الخطأ المعياري	Standard error
خطوط القوى	Line of force

د

دائرة	Circle
دائرة كهربائية	Circuit

obeikandl.com

دائرة مفتوحة	Open Circuit
الدقة	Accuracy
دوران	Rotation
ذ	
ذروة ,قمة	Peak
ر	
راصد	Observer
رنين	Resonance
ز	
زاوي	Angular
زاوية	Angle
زاوية الانحراف	Declination angle
زنبرك	Spring
الزوال الجغرافي	Geographic Meridian
الزوال المغناطيسي للأرض	magnetic Meridian
س	
ساكن	Static
سطوح متساوية	Equipotential surface
سعة	Amplitude
سعة	Capacitance
سماحية	Permittivity

obeikandl.com

ش

Charge	شحنة
Test charge	شحنة اختبار
Negative charge	شحنة سالبة
Electrical Charge	شحنة كهربائية
Positive charge	شحنة موجبة
points charge	شحنة نقطية
Intensity	شدة

ص

Post Office box	صندوق البريد
Sonometer	صونوميتر
Energy	طاقة
Potential energy	طاقة الوضع

ع

Dielectric	عازل
Insulator	عازل
Perpendicular	عامودي
Moment	عزم
Torque	عزم الازدواج
Standard	عياري. قياسي

obeikandl.com

ف

فرق الجهد	Potential difference
فضاء,حيز	Space
فيض	Flux

ق

قاطعة توصيل كهربائي	fuse
قبولية - مسامحة	Admittance
قدرة	Power
القطب الجنوبي	south pole
القطب الشمالي	north pole
قطبي	Polar
قنطرة	Bridge
قنطرة سلكية	Wire Bridge
قنطرة ويتستون	Wheatstone Bridge
قوة	Force
القوة المغناطيسية	Magnetic force
قوة دافعة كهربائية	Electromotive force

ك

كثافة الشحنة	Charge density
كثافة الشحنة السطحية	Surface charge density
كثافة تيار	Current density

obeikandl.com

Electricity	كهرباء
Electrostatic	كهرباء ساكنة
Electric	كهربائية
ل	
Spin	لف لولبي
م	
Vector	متجه
Alternating	متردد- متناوب
Damped	متضائل
Neutral	متعادل
Multimeter	متعدد القراءات
Parallel	متوازي
Arithmetic mean	المتوسط الحسابي
Field	مجال
Earth's field	مجال كهربائي
Shunt	مجزي التيار
Motor	محرك
Transformer	محول
Path	مسار
amplifier	مضخم
Coefficient	معامل

obeikandl.com

معامل الاختزال	reduction factor
معلق	Suspended
مغناطومتر الانحراف	Deflection magnetometer
مغناطيس ثابت	Permanent Magnet
مغناطيس ثنائي القطب	Magnetic dipole
مغناطيس طبيعي	Natural Magnet
المغناطيسية	Magnetism
مغنطيس	Magnet
المفاعلة السعوية	Capacitive reactance
مفاعله حثية	Inductive reactance
مقاومة	Resistance
مقاومة متغيرة	Rheostat
مقاومة نوعية	Resistivity
مقياس الجهد	Voltameter
مقياس للتيار الكهربائي	Ammeter
مكثف	Capacitor
المكثف ذي اللوحين	plate capacitor
مكثفات على التوازي	Capacitor in parallel
مكثفات على التوالي	Capacitor in series
ملف	Coil
ملف ابتدائي	Primary coil

obeikandl.com

Secondary coil	ملف ثانوي
Solenoid coil	ملف حلزوني
Toroidal coil	ملف حلقي
Helmholtz coil	ملفات هيلمهولتز
Impedance	ممانعة
Capacitive impedance	الممانعة السعوية
Uniform	منتظم
Conductor	موصل
Generator	مولد
Van de Graaff Generator	مولد فان دي جراف
Coulomb Balance	ميزان كولوم

ن

Radius	نصف القطر
Permeability	نفاذية
Natural Point	نقطة التعادل

و

Unit	وحدة
Ampere	وحدة التيار الكهربائي في النظام العالمي SI
Insulating media	وسط عازل
interface	الوسيط البيني

obeikandl.com

كشاف الموضوعات

أ

اسطوانة وينليت، ١١٢

إلكترون، ١٠١

الانحراف المعياري، ١٠، ٧٠، ٧٨، ١٠١، ١٠٧، ١١٦، ١٩٦، ٢١٩، ٢٣١

انحراف، ٢٩، ٣٢، ٣٦، ٥٣، ٥٤، ٦٠، ٧٧، ٨١، ١٠١، ١٠٩، ٢٠٠، ٢٠١، ٢٠٢

ب

بوصلة، ١٢٧

ت

تجاذب، ١٠، ١٨٣، ١٩٢

تردد، ١١، ٩٧، ١٢١، ١٥٧، ١٧٥، ١٧٦، ١٧٩، ١٨٠، ٢٢٣، ٢٣٠

تفريغ الشحنة، ٨٨، ٩٠

تنافر، ١٨٣، ١٩٢

تيار مستمر، ٣١، ١٣٦، ١٤٣، ١٥١، ١٨٧، ١٩٢

تيار، ٣١، ٦٠، ٦٧، ٧٩، ٨٣، ١٠٣، ١١٢، ١١٧، ١٣٦، ١٤١، ١٤٣، ١٤٩، ١٥١،

obeikandl.com

١٥٥، ١٦٩، ١٧٥، ١٧٨،
١٨٠، ١٨١، ١٨٣، ١٨٧،
١٩١، ١٩٢، ١٩٣، ١٩٦،
١٩٧، ٢١٩، ٢٢٦

ث

ثابت الالتواء، ١، ٣، ٤، ٥،
٦، ٧، ٨، ٩، ١٠
ثابت، ١، ٣، ٤، ٥، ٦، ٧،
٨، ٩، ١٠، ٢١، ٣٩،
٥٣، ٥٩، ٧٧، ٧٩، ٨٧،
٩٢، ٩٣، ٩٤، ٩٥، ٩٧،
١١١، ١٢٩، ١٣٢، ١٣٤،
١٤١، ١٤٩، ١٥١، ١٥٦،
١٥٩، ١٨٣، ١٩١، ١٩٤،
١٩٥، ١٩٦، ٢٢١، ٢٢٧

ج

جلفانومتر الظل، ٥٢، ٥٣، ٥٤،
٥٧، ٥٨، ٦٠
الجلفانومتر القذفي، ٤٣، ٤٤، ٤٥
جلفانومتر، ٣١، ٤٣، ٤٤، ٥٠،
٥٢، ٥٣، ٥٤، ٥٧، ٥٨،
٦٠، ٦٧، ٧٤

ح

الحث الذاتي، ٢١٩، ٢٢٠،
٢٢١، ٢٢٣
حث، ٢١٩

خ

الخطأ المئوي، ١٩٠
الخطأ المطلق، ٢٩، ١٣٤، ١٣٩،
١٤٧، ١٥٤، ١٩٠، ١٩٦،
٢٠٣
الخطأ المعياري، ٢٣١
خطوط القوى، ١٢٨

د

دائرة، ١٤، ٥٠، ١٠٥، ١١٧،
٢٠٦، ٢١٧، ٢١٩

oberkandi.com

دوران، ١٦٤، ٢٠٦، ٢٠٧

ر

رنين، ١٧٦

ز

زاوية الانحراف، ٥١، ٥٩، ١٢٥، ٢٠١
زاويـــــة، ٤، ٥١، ٥٣، ٥٩، ١٢٥، ٢٠٠، ٢٠١، ٢٠٣، ٢٠٥
زنبرك، ١٧١، ١٩٢، ١٩٣
الزوال الجغرافي، ١٢٥

س

سعة، ١٣، ١٩، ٤٤، ٤٧، ٥٠، ٨٧، ٨٨، ٩١، ٩٤، ٩٥، ١١٧، ١١٩، ١٢١، ١٧٨، ٢١٢، ٢١٧

ش

شـــحنة، ٥، ٨، ٤٢، ٤٣، ٤٥، ٩١، ٩٥، ٩٦، ٩٧، ١٠١، ١٠٦، ١٠٧، ١١٣، ١١٦، ١٦٩
شدة، ١٣، ١٤، ٥١، ٥٣، ٦٠، ٧٩، ٨١، ٨٤، ٩٦، ٩٧، ٩٩، ١٠٠، ١٠٦، ١٢٣، ١٢٥، ١٣٠، ١٣١، ١٣٥، ١٣٨، ١٣٩، ١٥٣، ١٧٠، ١٧١، ١٧٣، ١٧٥

ص

صـــندوق البريـــد، ٧١، ٧٣، ٧٥، ٧٦

ط

طاقـــــة، ٣٧، ٩٧، ٩٨، ٩٩، ٢٢٦، ٢٢٧

obeikandl.com

ع

عازل، ٥، ٣٧

ف

فرق الجهد، ١١، ١٢، ١٣، ١٤، ١٥، ١٦، ٢١، ٢٢، ٢٤، ٣٨، ٤١، ٤٣، ٤٤، ٤٥، ٤٨، ٥٣، ٧٩، ٨١، ٨٢، ٨٧، ٨٨، ٩٢، ٩٣، ٩٧، ٩٨، ١١٥، ١١٧، ١٢١، ١٥٩، ١٦٠، ١٦١، ١٦٤، ١٦٥، ١٦٨، ٢٠٧، ٢١١، ٢١٢، ٢١٤، ٢١٦، ٢١٧، ٢١٨، ٢١٩، ٢٢٠

ق

قاطعة توصيل كهربائي، ١٥

القطب الجنوبي، ١٢٣، ١٢٤، ١٢٥، ١٢٩

القطب الشمالي، ١٢٣، ١٢٤، ١٢٨، ١٢٩

قطبي، ١٦

قنطرة ويتستون، ٢٩، ٧٢، ٧٣، ٧٦

قنطرة، ٢٩، ٣١، ٧٢، ٧٣، ٧٦

قوة، ١٠، ١٠١، ١٦٩، ١٧٦، ١٧٧، ١٧٩، ١٨٣، ١٩٢، ١٩٣، ٢٠٣

ك

كهرباء، ١٨٠، ٢٢٣

كهربائية، ١٢٧، ٢٢٦، ٢٢٧

م

متجه، ١٢٤

متعدد القراءات، ١١، ١٢، ١٤، ١٥، ٢٠

المتوسط الحسابي، ٩٩، ١١٣، ٢١٩، ٢٢٨، ٢٣٠

obeikandi.com

مجال كهربائي، ١٠٢، ١١٠
مجـــــال، ١١، ٥٢، ٥٧، ٥٨، ٩٦، ١٠١، ١٠٢، ١٠٣، ١٠٩، ١١٠، ١٣٦، ١٤٩، ١٥٥، ١٦٣، ١٦٩، ١٧٥، ١٩١، ١٩٧، ٢٠٣، ٢٢٦
محرك، ٣٧، ٣٩، ١٦٥، ٢٠٦
محول، ٢٢٥، ٢٢٧، ٢٣٠
مـــــسار، ١٠١، ١٠٧، ١١٠، ١١١، ١١٢، ١١٦، ١٢٣، ١٤٩
مضخم، ٨٨
معامل الاختزال، ٦٠
معامـــل، ٤، ٨، ٩، ٥٣، ٥٧، ٥٩، ٦٠، ٦٢، ١٩٧، ٢٠٣، ٢١٩، ٢٢٠، ٢٢١، ٢٢٣
مغناطومتر الانحراف، ١٩٩
المغناطيسية، ٥١، ٥٢، ٥٣، ٥٧، ٥٩، ٦٢، ١٠٦، ١١١، ١٢٣، ١٢٥، ١٢٦، ١٢٧، ١٢٩، ١٣٠، ١٣١، ١٣٢، ١٣٤، ١٣٥، ١٤١، ١٤٩، ١٥١، ١٦٤، ١٦٥، ١٦٧، ١٦٨، ١٨١، ١٩١، ١٩٥، ١٩٧، ١٩٨، ١٩٩، ٢٠٣
المفاعلة السعوية، ١١٧
مقاومـــة مـــتغيرة، ٥٤، ٦٣، ٨٣، ١٧١، ١٩٩
مقاومـــــة، ٢٠، ٢٩، ٣٠، ٣١، ٥٤، ٥٥، ٥٧، ٦٣، ٦٤، ٦٨، ٦٩، ٧١، ٧٢، ٧٥، ٧٦، ٧٧، ٧٨، ٧٩، ٨١، ٨٢، ٨٣، ٨٤، ٨٥، ١١٨، ١٢١، ١٧١، ١٩٩، ٢١١، ٢١٩، ٢٢٠، ٢٢٦، ٢٢٧
مقيـــاس الجهـــد، ٤٤، ٤٥، ٤٦، ٤٨، ٦٣، ٦٧، ٦٨
المكثف ذي اللوحين، ٨٧، ٩٢

obeikandi.com

مكثـــف، ٢٠، ٤٣، ٤٤، ٤٧، ٥٠، ٨٨، ١١٧، ١١٨، ٢١١، ٢١٤
ملف ابتدائي، ٢٢٧، ٢٣٠
ملف ثانوي، ٢٢٨
ملف حلزوني، ١٥٥
ملـــف، ٥١، ٥٢، ٦٢، ٧١، ١٠٦، ١١١، ١٢٩، ١٣٠، ١٣٥، ١٣٦، ١٤٩، ١٥١، ١٥٥، ١٥٦، ١٩٧، ١٩٩، ٢٠٣، ٢٠٤، ٢١٩، ٢٢٠، ٢٢٧، ٢٢٨، ٢٣٠
ملفات هيلمهولتز، ١٣٦
ممانعة، ١١٧، ٢١٩، ٢٢٠
منتظم، ١٤٩، ١٧٤، ٢٠٣
موصل، ٢٠، ٣٧، ١٤١، ١٦٣، ١٩١، ٢٠٣
مولد فان دي جراف، ٥، ٨، ٣٧، ٣٩، ٤٢
مولـــد، ٥، ٨، ٣٧، ٣٩، ٤٢، ١٥٧
ميزان كولوم، ٢، ٣، ٥

ن

نصف القطر، ١٠٢، ١١٣
نقطـــة التعـــادل، ١٢٥، ١٢٦، ١٢٨، ١٢٩

و

وحـــدة، ٢١، ٣٦، ٨٧، ١٦٥، ١٧٦، ١٧٩، ١٨٠، ٢٠٦
الوسيط البيني، ٢٦، ٢٨، ١٥٦، ١٦٢، ٢٠٦، ٢٠٧، ٢٠٩، ٢١٧، ٢١٨، ٢١٩

obeikandl.com