

التمثيل البياني

أولاً: أنواع الأخطاء:

يجب في البداية أن يُدرك الطالب قبل إجراء التجارب العملية أنواع الأخطاء التي يمكن أن يقع فيها حتى يتمكن من تلافيها أو التقليل من نسبة الخطأ في نتائج العملية . أما الأخطاء التي ترجع إلى الطالب مثل الخطأ في توصيل التجربة أو في قراءة مقياس الأجهزة أو الخطأ في حساب النتائج فإنها أخطاء مرفوضة *Illegitimate errors* وتتطلب إعادة التجربة. فالأخطاء التي سنعالجها هي الأخطاء الخارجة عن إرادة الطالب والتي ترجع إلى عدم دقة الأجهزة أو صعوبة الوصول إلى الظروف المثالية للتجربة وهي:

1- خطأ معلمي **Experimental or Instrumental Errors**:

يعتمد هذا الخطأ على دقة وحساسية أجهزة القياس وطرق القياس نفسها . مثال لهذا الخطأ لو أننا نقيس تيار يتغير بمعدل 2mA واستخدمنا أميتر حساسيته 5mA فالقراءات لن تكون دقيقة.

2- خطأ شخصي **Personal Error** :

يعتمد هذا النوع من الأخطاء على دقة الشخص في ملاحظة وتسجيل البيانات الخاصة بالأجهزة وتسجيل القراءات بعناية. لذا يجب على الطالب مراعاة الدقة التامة في ملاحظة وتدوين النتائج و تكرار القياس عدة مرات (كلما أمكن ذلك) ثم حساب المتوسط.

3- خطأ منتظم **Systematic Error** :

هو خطأ ثابت موجود في جميع القراءات وفي نفس الاتجاه (إما بالزيادة أو النقصان) وهو يظهر نتيجة لعدم معايرة الأجهزة المستخدمة في القياس وكذلك يمكن أن يظهر بسبب تغير في الظروف الطبيعية كالضغط و درجة الحرارة والرطوبة. لذا يجب مراجعة الأجهزة المستخدمة جيداً و معايرتها وحمايتها من عوامل التلف الناتجة من سوء التخزين أو سوء الاستخدام.

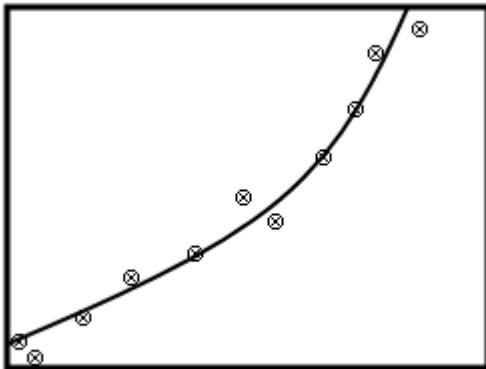
4- خطأ عشوائي Random error:

هو الخطأ الذي يحدث بمقادير متغيرة وينشأ من تغيير طفيف في حالة التجربة ومثل ذلك الخطأ الذي ينشأ عن تكرار قياس كمية معينة عدة مرات وفي كل مرة تحصل على نتيجة مختلفة قليلاً جداً عن السابقة.

ثانياً: التمثيل البياني:

يحتاج الطالب في معظم التجارب التي يقوم بها إلى التمثيل البياني لما يحصل عليه من نتائج وذلك للحصول على الثوابت الفيزيائية المطلوب حسابها من هذه النتائج. من هنا يجب أن يتعلم تمثيل النتائج بيانياً بصورة محكمة ودقيقة وكيفية الحصول على ما يحتاجه منها. ولتمثيل ورسم النتائج التي حصل عليها من القياسات العملية يجب ملاحظة الآتي:

- 1 يجب أخذ أكبر عدد من النتائج الممكنة فهذا يقلل من الأخطاء الشخصية المحتملة.
- 2 - يجب عند تمثيل كمية معينة اختيار مقياس الرسم المناسب على المحورين السيني والصادي ويتم ذلك بتحديد أكبر وأقل قيمة لمعرفة مدى القراءات وبالتالي أخذ المقياس المناسب بعد معرفة عدد المربعات المتاحة في ورقة الرسم البياني.



- 3 تمثل النتائج التي حصلت عليها كنقاط حولها دائرة صغيرة.

- 4 - في حالة رسم المنحنيات توصل النقاط باليد بدقة بدون تعرجات للحصول على منحنى

متصل يصل أكبر عدد من النقاط ويترك من الجانبين عدد شبه متساوي من النقاط وفي بعض الأحيان يستخدم راسم المنحنيات (French Curve).

تعيين المكافئ الميكانيكي الحراري (مكافئ جول)

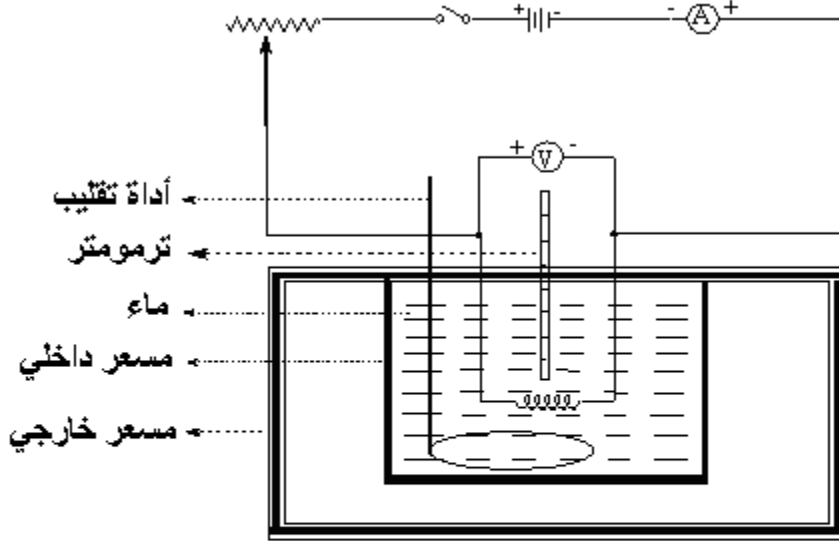
الهدف من التجربة:

تعيين المكافئ الميكانيكي الحراري (مكافئ جول).

نظرية التجربة:

ينص قانون جول على أنه " إذا تحولت الطاقة الكهربائية في موصل إلى طاقة حرارية فإن النسبة بين الطاقة الكهربائية المستنفذة W إلى كمية الحرارة المتولدة Q تكون نسبة ثابتة يطلق عليها مسمى المكافئ الميكانيكي الحراري أو مكافئ جول J , أي أن:

$$J = \frac{W}{Q} \quad (1)$$



شكل (1)

ولكي نحقق ذلك عملياً نستخدم الدائرة الكهربائية الموضحة في شكل (1), حيث الطاقة الكهربائية المستنفذة W تنشأ من مرور تيار شدته I خلال سلك مقاومته R في زمن قدره t . فإذا كان فرق الجهد بين طرفي المقاومة V , فإن الطاقة الكهربائية المستنفذة هي:

$$W = I V t \quad (2)$$

وتتحول الطاقة الكهربائية W إلى طاقة حرارية Q يكتسبها كل من المسعر والماء، حيث الطاقة الحرارية التي يكتسبها المسعر Q_1 هي:

$$Q_1 = m_1 s_1 (T_2 - T_1) \quad (3)$$

وأما كمية الحرارة التي يكتسبها الماء Q_2 فهي:

$$Q_2 = m_2 s_2 (T_2 - T_1) \quad (4)$$

حيث: T_1 درجة الحرارة قبل التسخين، T_2 درجة الحرارة بعد التسخين،
 m_1 كتلة المسعر وهو فارغ، m_2 كتلة الماء،
 s_1 الحرارة النوعية للمسعر، s_2 الحرارة النوعية للماء،

$$\begin{aligned} \therefore Q &= Q_1 + Q_2 \\ &= (m_1 s_1 + m_2 s_2) \Delta T \end{aligned} \quad (5)$$

حيث: $\Delta T = T_2 - T_1$.

من المعادلتين (2)، (5) نجد أن مكافئ جول هو:

$$J = \frac{IVt}{(m_1 s_1 + m_2 s_2) \Delta T} \quad (6)$$

الأدوات المستخدمة:

مسعر جول (مسعر معزول به سلك تسخين ومقلب) - ترمومتر - أميتر - فولتميتر - بطارية - ريوستات - ميزان حساس.

خطوات العمل:

- 1- عين كتلة المسعر الداخلي وهو فارغ وجاف ونظيف وليكن m_1 .
- 2- أملأ حوالي ثلث المسعر ماء وعين كتلة المسعر والماء ولتكن m ثم أحسب كتلة الماء $m_2 = m - m_1$ ، ثم عين درجة حرارة الماء T_1 .

3 -وصل الدائرة الكهربائية كما هو موض ح بشكل (1) ثم حرك الريوستات لضبط شدة التيار الكهربى على قيمة ثابتة I ولتكن 1 أمبير، ثم سجل قراءة الفولتميتير V .

4 -ابدأ في تشغيل ساعة الإيقاف لمدة 20 دقيقة وفي خلال هذه الفترة قم بتقليب الماء بالمقلب كل 5 دقائق لجعل درجة الحرارة متجانسة في جميع نقاط المسعر والماء، ثم سجل درجة الحرارة النهائية T_2 .

5 -افصل الدائرة الكهربائية مع تدوين النتائج في الجدول التالي ثم احسب مكافئ جول باستخدام المعادلة (6).

النتائج:

كتلة المسعر وهو فارغ وجاف ونظيف m_1	=	.....	جم.
كتلة المسعر والماء m	=	.....	جم.
كتلة الماء m_2	=	.....	جم.
شدة التيار الكهربى I	=	1	أمبير.
فرق الجهد V	=	.....	فولت.
درجة الحرارة الابتدائية T_1	=	.....	°م.
درجة الحرارة النهائية T_2	=	.....	°م.
زمن مرور التيار الكهربى بالثانية t	=	1200	ثانية.
الحرارة النوعية لمادة المسعر s_1	=	.....	سعر / (جم . °م).
الحرارة النوعية للماء s_2	=	1	سعر / (جم . °م).
مكافئ جول J	=	.....	جول / سعر.
علما بأن:			
الحرارة النوعية للألمونيوم	=	0.22	سعر / (جم . °م).
الحرارة النوعية للنحاس	=	0.1	سعر / (جم . °م).

قانون أوم

هدف التجربة:

تحقيق قانون أوم عملياً وتعيين قيمة مقاومة مجهولة.

نظرية التجربة:

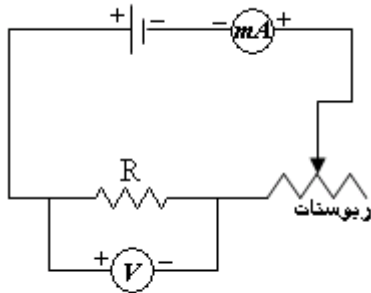
ينص قانون أوم على أنه عند مرور تيار كهربائي شدته I في موصل فإن فرق الجهد V بين طرفي الموصل يتناسب طردياً مع شدة التيار، ويسمى ثابت التناسب R ويمثل مقاومة الموصل.

ويمكن كتابة القانون بصيغة رياضية كالآتي:

$$V = R \times I \quad (1)$$

وهي علاقة خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي R . وإذا كان التيار يقاس بوحدة الأمبير (A) وفرق الجهد بوحدة الفولت (V) فإن المقاومة R تقاس بوحدة الأوم (Ω).

لتحقيق قانون أوم عملياً نقوم بتوصيل الدائرة



شكل (1)

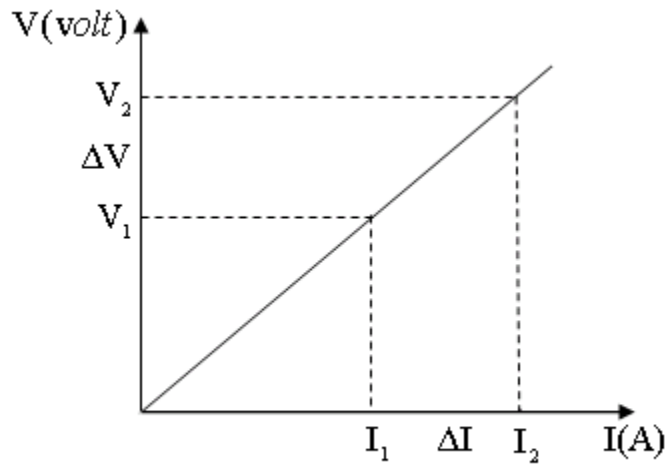
الكهربائية الموضحة بالشكل (1) والمكونة من بطارية ($6V$) وريوستات ومللي أميتر (mA) لقياس شدة التيار الكهربائي I وفولتميتر (V) لقياس فرق الجهد V ونستخدم الريوستات في الدائرة للتحكم في شدة التيار المار بالدائرة.

الأدوات المستخدمة:

أسلاك توصيل – أميتر – فولتميتر – ريوستات – مقاومة ثابتة – مصدر جهد مستمر.

خطوات العمل:

- 1- وصل الدائرة الكهربائية كما بالشكل (1).
- 2- حرك زالق الريوستات حتى يعطي المللي أميتر أقل قراءة ممكنة.
- 3- حرك زالق وخذ قراءات مختلفة للتيار I وعين فرق الجهد V في كل مرة، ودون نتائجك في الجدول المرفق.



شكل (2)

4- أرسم بيانياً العلاقة بين فرق الجهد V علي محور الصادات و بين شدة التيار الكهربى I علي محور السينات فنحصل علي خط مستقيم يمر بنقطة الأصل كما هو موضح بالشكل (2)، ميل هذا الخط المستقيم يساوي قيمة المقاومة المجهولة R .

النتائج:

$I (A)$										
$V (v)$										

علماً بأن: $1mA = 10^{-3} A$

$R =$ الميل

$$= \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1} = \frac{\Delta V}{\Delta I}$$

$$= \dots\dots \Omega$$

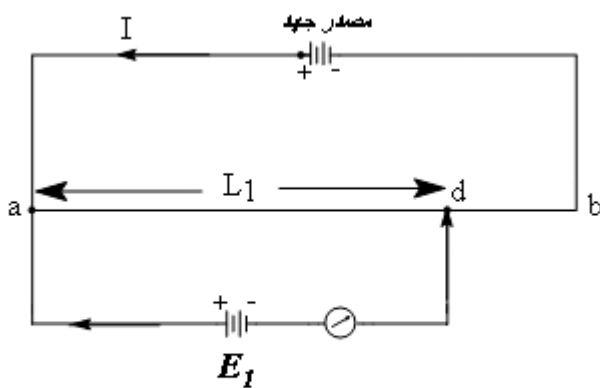
مقياس الجهد

هدف التجربة:

- 1- المقارنة بين القوة الدافعة الكهربائية لبطاريتين.
- 2- تعيين المقاومة الداخلية لبطارية.

أولاً: المقارنة بين القوة الدافعة الكهربائية لعمودين:

نظرية التجربة:



شكل (1)

يتكون مقياس الجهد كما في الشكل (1)

من سلك معدني ab طوله متر واحد

مشدود بمحاذاة مسطرة مقسمة إلى

مليمترات والسلك منتظم المقطع وبالتالي

فمقاومة وحدة الأطوال منه ثابتة ρ .

وعند توصيل طرفي السلك ab بمصدر

جهد كهربائي فإنه يمر تيار شدته I في

السلك، ويكون فرق الجهد بين طرفيه

مساوياً $(100 \rho I)$. وبالتالي يكون فرق الجهد على وحدة الأطوال من السلك ab مساوياً (ρI) .

وكما بالشكل (1) فإن الطرف a للسلك يتصل على التوالي مع بطارية قوتها الدافعة الكهربائية

E_1 وجلفانومتر وزالق، ويلاحظ أن القطب الموجب للبطارية E_1 يجب أن يكون في نفس اتجاه

القطب الموجب لمصدر الجهد. وبتحريك الزالق d على السلك ab حتى نحصل على نقطة

الاتزان (عندها يكون مؤشر الجلفانومتر على الصفر) يكون فرق الجهد بين النقطتين a, d

مساوياً للقوة الدافعة الكهربائية E_1 . ولكن فرق الجهد بين النقطتين a, d يساوي طول المسافة

بينهما L_1 مضروباً في (ρI) أي أن:

$$E_1 = I \rho L_1 \quad (1)$$

وبالمثل في حالة وضع البطارية الثانية E_2 فإن:

$$E_2 = I \rho L_2 \quad (2)$$

بقسمة المعادلة (1) على المعادلة (2) نجد أن:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{L_1}{L_2} \quad (3)$$

وبذلك نحصل على النسبة بين القوة الدافعة الكهربائية للبطاريتين.

الأدوات المستخدمة:

مقياس الجهد – مصدر جهد قوته الدافعة الكهربائية 2 فولت – جلفانومتر حساس – بطاريتان جافتان قوتهما الدافعة E_1 و E_2 .

خطوات العمل:

- 1- وصل الدائرة الموضحة في الشكل (1) وللتأكد من صحة توصيل الدائرة اجعل الزالق d يلامس طرفي السلك a, b كل على حده ولاحظ أن اتجاه انحراف الجلفانومتر يكون في اتجاهين متضادين.
- 2- حرك الزالق d على السلك ab حتى يصبح مؤشر الجلفانومتر على الصفر. عين الطول L_1 .
- 3 -استبدل العمود E_1 بالعمود E_2 وأوجد نقطة الاتزان الجديدة وعين الطول L_2 .
- 4 -احسب النسبة $\frac{E_1}{E_2}$ باستخدام المعادلة (3).

النتائج:

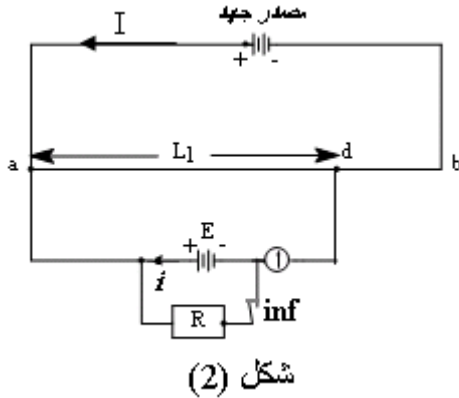
$$L_1 = \dots\dots cm$$

$$L_2 = \dots\dots cm$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{L_1}{L_2} = \dots\dots$$

ثانياً: تعيين المقاومة الداخلية لبطارية:

نظرية التجربة:



عند توصيل الدائرة الموضحة بشكل (2)

وعندما تكون $R = \infty$ (المفتاح ∞ منزوع من صندوق المقاومات) فإن الطول L_1 يتزن مع قيمة القوة الدافعة الكهربائية للبطارية E حيث:

$$E = I \rho L_1 \quad (4)$$

وعند غلق المفتاح ∞ فإن الاتزان يحدث عند طول أقل L_2 ، وذلك لأنه عند توصيل قطبي البطارية بالمقاومة R فإن تياراً i سيمر فيهما ويصبح فرق الجهد V بين طرفي البطارية أقل من E بمقدار الجهد المفقود $i r$ بواسطة المقاومة الداخلية للبطارية r أي أن:

$$E = V + i r \quad (5)$$

وبتطبيق قانون أوم على المقاومة R نحصل على:

$$i = \frac{V}{R} \quad (6)$$

من العلاقتين (5) ، (6) نحصل على:

$$E = V \left(1 + \frac{r}{R} \right) \quad (7)$$

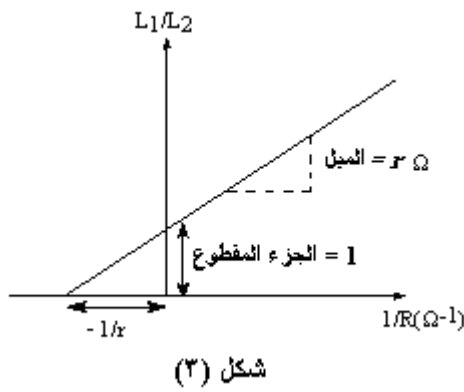
ولكن شرط أتران مقياس الجهد في تلك الحالة هو:

$$V = I \rho L_2 \quad (8)$$

وبالتعويض من المعادلتين (4)، (8) في المعادلة (7) نحصل علي:

$$\frac{E}{V} = \frac{L_1}{L_2} = 1 + \frac{r}{R}$$

$$\therefore \frac{L_1}{L_2} = r \frac{1}{R} + 1$$



إذا رسمنا العلاقة بين L_1/L_2 على المحور الصادي و $1/R$ على المحور السيني نحصل على خط مستقيم ميله يساوي r ويقطع جزء موجب من محور الصادات طوله يساوي الوحدة ويقطع كذلك جزء سالب من محور السينات يساوي $1/r$ كما هو موضح في الشكل (3).

الأدوات المستخدمة:

مقياس الجهد – مصدر جهد قوته الدافعة الكهربائية 2 فولت – جلفانومتر حساس – بطارية جافة قوتها الدافعة الكهربائية E .

خطوات العمل:

- 1 - وصل الدائرة الموضحة بشكل (2). وللتأكد من صحة توصيل الدائرة اجعل الزالق d يلامس طرفي السلك a, b كل على حده ولاحظ أن اتجاه انحراف الجلفانومتر يكون في اتجاهين متضادين.
- 2 - انزع المفتاح inf من صندوق المقاومات ($R = \infty$) وعين نقطة الاتزان ثم احسب الطول L_1 .
- 3 - أغلق المفتاح inf ثم انزع أحد المقاومات R من صندوق المقاومات ثم ابحث عن نقطة الاتزان ثم قيس الطول L_2 ودون النتائج في الجدول المرفق.
- 4 - كرر الخطوة رقم (3) لقيم مختلفة للمقاومة R .

5 - ارسم بيانيا العلاقة بين (L_1/L_2) كمحور صادي, ($1/R$) كمحور سيني تحصل على خط مستقيم ميله (r) كما في شكل (3) والجزء المقطوع من محور الصادات يساوي الوحدة أما الجزء السالب المقطوع من محور السينات يساوي $1/r$.

النتائج:

$$L_1 = \dots\dots \text{ cm}$$

R	L_2	$1/R$	L_1/L_2

الميل $r = \dots\dots$ أوم

الجزء المقطوع من محور الصادات $= \dots\dots \approx 1$

الجزء السالب المقطوع من محور السينات $= 1/r = \dots\dots$

ومنها $r = \dots\dots$ أوم

جلفانومتر الظل

الهدف من التجربة:

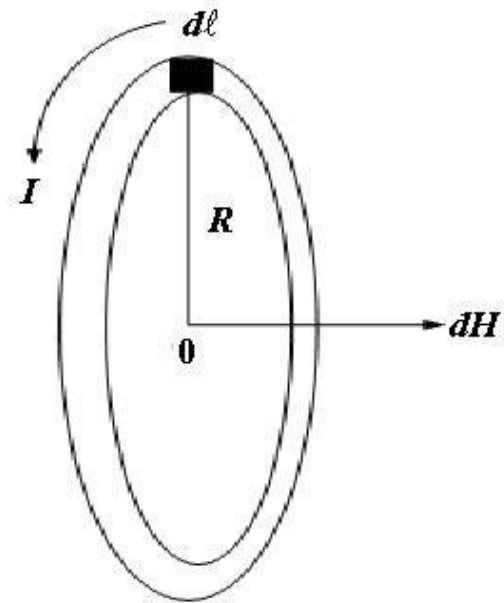
- 1 - تعيين معامل اختزال جلفانومتر الظل.
- 2 - تعيين المركبة الأفقية للمجال المغناطيسي الأرضي H_0 .
- 3 - قياس شدة تيار كهربائي باستخدام جلفانومتر الظل.

نظرية التجربة:



شكل (1)

جلفانومتر الظل الموضح بالشكل (1) عبارة عن جهاز يستخدم لقياس شدة التيار الكهربائي ، عن طريق إمرار هذا التيار في ملف دائري (رأسي) ومكون من n لفة) وقياس تأثير المجال المغناطيسي الناشئ عن هذا التيار على إبرة مغناطيسية موجودة في مركز الملف وتتحرك بحرية في مستوى أفقي.



شكل (2)

تصور ملف دائري نصف قطره R في مستوى عمودي على مستوى الصفحة ويمر به تيار شدته I عكس عقارب الساعة كما في الشكل (2). بأخذ عنصر طوله dl من الملف وبتطبيق قانون بيوت-سافار فإن شدة المجال المغناطيسي الناشئ عن هذا العنصر عند مركز الملف تعطى بالعلاقة:

$$dH = \frac{I dl}{4\pi R^2}$$

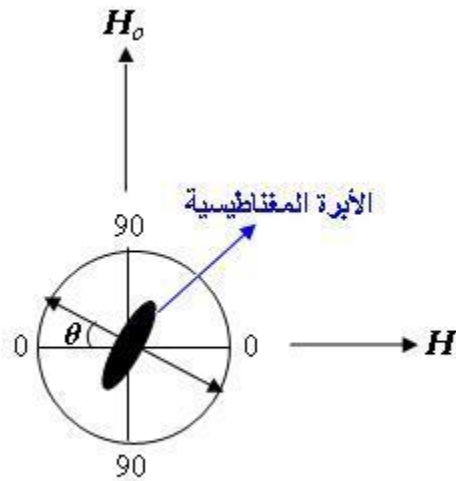
وتكون شدة المجال المغناطيسي الناشئ عن لفة واحدة:

$$H = \frac{I}{4\pi R^2} \int_0^{2\pi R} dl = \frac{I}{2R}$$

ويكون المجال المغناطيسي الناشئ عن عدد n من اللفات هو:

$$(1) H = \frac{I n}{2R}$$

حيث H بالأمبير/متر، I بالأمبير، R بالمتر. ويكون المجال المغناطيسي H في اتجاه عمودي على مستوى الملف وموازي لمحوره.



شكل (3)

فإذا وضعت إبرة مغناطيسية حرة الحركة في مركز الملف قبل مرور التيار فيه فإن الإبرة تأخذ اتجاه الشمال والجنوب المغناطيسي وبتعديل وضع الملف بحيث ينطبق مستواه مع اتجاه الإبرة يكون اتجاه الملف في اتجاه الزوال المغناطيسي. وعند إمرار التيار الكهربائي في الملف فإن الإبرة تكون في وضع جاوس الأول (يكون فيه المجال H عموديا على المجال H_0) وتتحرف بزاوية θ كما بالشكل (3) نتيجة لوجود مجالين مغناطيسيين

متعامدين هما المركبة الأفقية للمجال الأرضي H_0 والآخر المجال H الناشئ عن مرور تيار كهربائي I في الملف وعندئذ يكون:

$$H = H_0 \tan \theta$$

وبالتعويض من العلاقة (1) عن قيمة H نحصل على:

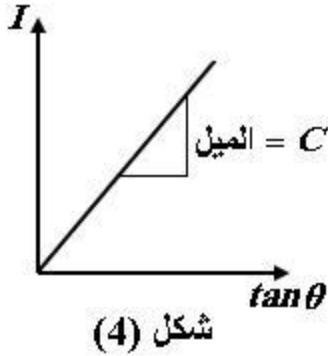
$$\frac{I n}{2R} = H_0 \tan \theta$$

$$\therefore I = \frac{2R H_0}{n} \tan \theta = C \tan \theta \quad (2)$$

حيث C مقدار ثابت يسمى معامل اختزال جلفانومتر الظل وهو يعتمد على مواصفات الجلفانومتر وعلي خط العرض للمكان الذي نقيس عنده. ومعامل اختزال جلفانومتر الظل

يساوي عدديا التيار الكهربائي بالأمبير الذي يعطى انحرافا قدره 45° في الجلفانومتر ويعطى من العلاقة:

$$C = \frac{2RH_o}{n} \quad (3)$$

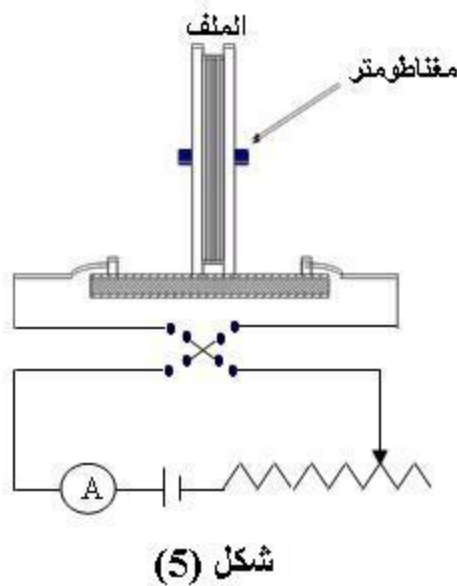


العلاقة (2) علاقة خط مستقيم يمر بنقطة الأصل، فإذا رسمنا العلاقة بين شدة التيار I على المحور الرأسي وبين $\tan \theta$ على المحور الأفقي نحصل على خط مستقيم يمر بنقطة الأصل كما بالشكل (4) ميل الخط يساوي معامل اختزال جلفانومتر الظل C .

الأجهزة المستخدمة:

جلفانومتر الظل – مفتاح عاكس – ريوستات – بطارية – أميتر.

خطوات العمل:



1- توصيل الدائرة الكهربائية كما في الشكل (5).

2- عدل وضع جلفانومتر الظل بحيث يصبح مستوى ملفه منطبقاً تماماً على مستوي الزوال المغناطيسي وعندها يكون طرفا الإبرة في الاتجاه $(90^\circ, 90^\circ)$ وطرفا المؤشر على صفري التدرج.

3- عدل المقاومة المتغيرة لتغير شدة التيار I حتى تحصل على انحراف مناسب شرط أن يكون بين $(20^\circ, 70^\circ)$ وسجل قراءتي المؤشر θ_1 و θ_2 في

الجدول المرفق، ثم اعكس اتجاه مرور التيار في الجلفانومتر بواسطة المفتاح العاكس وعين مرة أخرى قراءتي المؤشر θ_3 و θ_4 وسجلها في الجدول، ثم أحسب متوسط القراءات الأربعة θ .

4- كرر الخطوة السابقة لقيم مختلفة من التيار.

عملي فيز 103 د. هشام العطار

5 - أرسم العلاقة بين التيار I على المحور الرأسي وظل زاوية الانحراف $\tan \theta$ على المحور

الأفقي نحصل على خط مستقيم يمر بنقطة الأصل وميله يساوي معامل اختزال جلفانومتر

الظل. وبمعلومة نصف قطر الملف R وعدد لفاته n يمكن إيجاد قيمة المركبة الأفقية للمجال

الأرضي H_o من العلاقة (3).

6 - عدل المقاومة المتغيرة لتغير شدة التيار I حتى تحصل على انحراف 45° ثم قارن بين قيمة

التيار بالأمبير وقيمة معامل اختزال جلفانومتر الظل المحسوبة في الخطوة السابقة.

7 - لاستخدام جلفانومتر الظل لقياس شدة التيار نمرر تيار ما ونعين متوسط θ له ثم نضرب

$\tan \theta$ في معامل اختزال جلفانومتر الظل ونقارن بين قيمة I المقاسة بجلفانومتر الظل

والقيمة المقاسة بالأمبير.

النتائج:

$I \times 10^{-3}$ (Amp.)	زوايا انحراف مؤشر الجلفانومتر				θ	$\tan \theta$
	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4		
4						
8						
12						
16						
20						
24						
28						

1 - معامل اختزال جلفانومتر الظل C = ميل الخط المستقيم = أمبير

2 - بمعلومية:

معامل اختزال جلفانومتر الظل C = أمبير

نصف قطر الملف R = متر.

د. هشام العطار

عملي فيز 103

عدد لفات الملف n = لفة .

المركبة الأفقية للمجال المغناطيسي الأرضي $H_o = \frac{C n}{2R}$ = أمبير/متر.

$\frac{4\pi}{10^3} \frac{C n}{2R}$ = أورستيد

حيث: $1 \text{ أمبير/متر} = \frac{4\pi}{10^3} \text{ أورستيد}$

3 - قيمة التيار I الذي يسبب انحراف 45° = أمبير

$C \approx$ أمبير

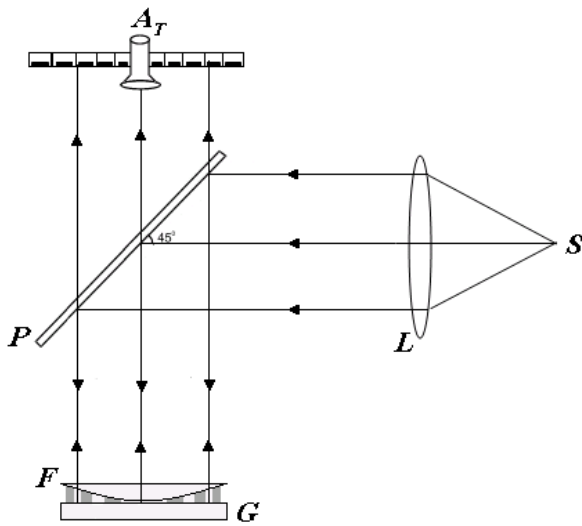
حلقات نيوتن

الهدف من التجربة:

- 1- دراسة ظاهرة التداخل في الأغشية الرقيقة.
- 2- تعيين الطول الموجي لضوء الصوديوم باستخدام حلقات نيوتن.

نظرية التجربة:

تحدث ظاهرة التداخل في الضوء نتيجة للتراكب بين شعاعين ضوئيين لهما نفس الطول الموجي (وبالتالي نفس التردد) ومتساويين في الشدة ومتوافقين "coherent" (ومعني التوافق أن فرق الطور بينهما ثابت لا يتغير مع الزمن). فإذا سقط هذان الشعاعان علي نقطة واحدة وكان فرق الطور بينهما $2n\pi$ أي أن فرق المسير بينهما عدداً صحيحاً من الأطوال الموجية $n\lambda$ ، فإنه نتيجة للتراكب بينهما تتقابل قمة مع قمة، وقاع مع قاع فيقوي كل منهما الآخر، وتكون تلك النقطة هدبه مضيئة. أما إذا كان فرق الطور بينهما $(2n+1)\pi$ أي أن فرق المسير بينهما عدداً فردياً من أنصاف الأطوال الموجية $(2n+1)\lambda/2$ ، فإنه نتيجة للتراكب بينهما تتقابل قمة مع قاع، وقاع مع قمة فيضعف كل منهما الآخر، وتكون تلك النقطة هدبه مظلمة.



شكل (1)

وهناك طرق عديدة للحصول علي ظاهرة

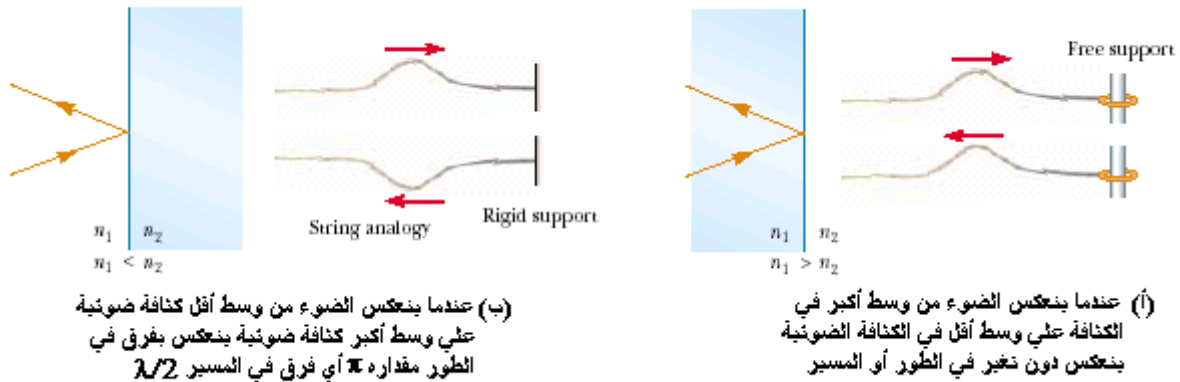
التداخل منها علي سبيل المثال لا الحصر:

- 1 - تقسيم صدر الموجة: مثل التداخل من فحنتين مستطيلتين ضيقتين "تجربة ينج".
- 2 - تقسيم سعة الموجة: مثل التداخل بالانعكاس المتكرر كمقياس التداخل لفابري بيرو، والتداخل في الأغشية الرقيقة كمقياس التداخل لميكلسون وحلقات نيوتن.

يتكون جهاز حلقات نيوتن كما هو

موضح بالشكل (1) من مصدر ضوئي أحادي اللون S موضوع في بؤرة عدسة محدبة L فتخرج الأشعة منها متوازية لتسقط على شريحة زجاجية P مائلة بزاوية 45° فتنعكس الأشعة لتسقط على غشاء الهواء الوتدي الرقيق والمحصور بين السطح السفلي للعدسة المحدبة F

(نصف قطر تكورها كبير) والسطح العلوي للشريحة الزجاجية G . ولأن نصف قطر تكور العدسة كبير فإنه يمكن اعتبار أن الأشعة تسقط علي غشاء الهواء عموديا وبالتالي ينعكس جزء منها علي نفسه عند السطح العلوي للغشاء والجزء الآخر ينعكس علي نفسه عند السطح السفلي للغشاء الرقيق. ولما كانت الأشعة المنعكسة علي السطح السفلي انعكست علي وسط أكبر كثافة ضوئية من الوسط المنتشرة فيه فإنها تعاني تغيراً في الطور مقداره π أي فرق في المسير مقداره $\lambda/2$ كما هو موضح بالشكل (2). وفي النهاية يصل إلي الميكروسكوب المتحرك A_T شعاعان أحدهما انعكس علي السطح العلوي للغشاء الرقيق والآخر انعكس علي السطح السفلي، ويكون فرق المسير بينهما:



الشكل (2)

$$\Delta = 2t + \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$



الشكل (3)

حيث t سمك غشاء الهواء الوتدي الرقيق عند نقطة انعكاس الأشعة، فيحدث بين تلك الأشعة تراكب وتنتج هدب للتداخل. ولما كان سمك الغشاء متجانس حول قطب المرآة (نقطة تماس المرآة F مع السطح العلوي للشريحة الزجاجية G) فإن هدب التداخل تكون عبارة عن حلقات متحدة المركز ومركزها قطب المرآة كما بالشكل (3).

ولإيجاد العلاقة بين نصف قطر الهدبة ورتبتها

نفرض أن سمك غشاء الهواء عند النقطة Q هو t كما

هو موضح بالشكل (4)، وأن فرق المسير بين

الشعاعين المنعكسين من السطحين العلوي والسفلي

للغشاء الرقيق عند تلك النقطة هو Δ ويعطي من

العلاقة (1). فمن هندسة الشكل نجد أن:

$$R^2 = (R-t)^2 + r_n^2$$

حيث R نصف قطر تكور العدسة، r_n نصف قطر

حلقة نيوتن ذات الرتبة n والمارة بالنقطة Q . وبفك

الأقواس نحصل علي:

$$2Rt - t^2 = r_n^2$$

وحيث أن R أكبر بكثير من t لذلك يمكننا إهمال t^2 لصغرها المتناهي بالنسبة لـ $2Rt$ لنحصل
علي:

$$t = \frac{r_n^2}{2R} \quad (2)$$

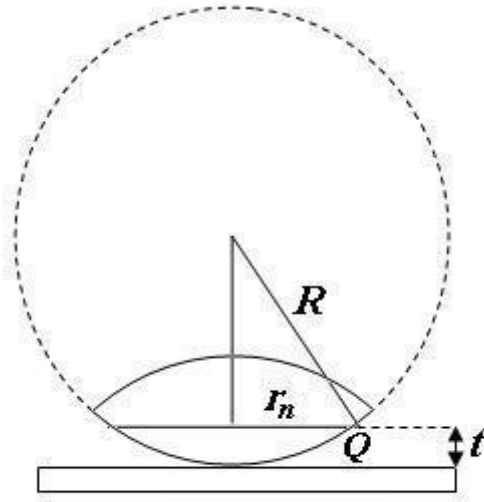
وحيث أن الهدب المضيئة تتكون عندما يكون فرق المسير مساويا لعدد صحيح من الأطوال

الموجية، فإنه من العلاقتين (1)، (2) نحصل:

$$\Delta = \frac{r_n^2}{R} + \frac{\lambda}{2} = n\lambda$$

أي أن شرط تكون الهدب المضيئة:

$$r_n^2 = (n - 1/2)\lambda R \quad (3)$$



الشكل (4)

وبالمثل تتكون الهدب المظلمة عندما يكون فرق المسير مساوياً لعدد فردي من أنصاف الأطوال الموجية أي أن:

$$\Delta = \frac{r_n^2}{R} + \frac{\lambda}{2} = (2n+1)\frac{\lambda}{2}$$

وبالتالي يكون شرط تكون الهدب المظلمة هو:

$$r_n^2 = \lambda R n \quad (4)$$

ومن هذه العلاقة يمكن حساب الطول الموجي λ للضوء المستخدم.

الأدوات المستخدمة:

مصدر ضوئي أحادي اللون (صوديوم) - عدسة محدبة - عدسة محدبة نصف قطر تكورها كبير - عدد (2) شريحة زجاجية - ميكروسكوب متحرك A_T .

خطوات العمل:

1 - رتب الأدوات كما في شكل (1) ثم اضبط العدسة المحدبة F والشريحة الزجاجية P بحيث ترى الحلقات واضحة كما بالشكل (3).

2 - اضبط تقاطع سلكي العينية للتلسكوب A_T عند مركز الحلقات.

3 - حرك التلسكوب ببطء إلى الجهة اليمنى بحيث يمس سلك العينية

الرأسي حافة الحلقة المظلمة الأولى وسجل قراءة التدرج للتلسكوب

المتحرك D_{IR} . ثم حرك التلسكوب ببطء (أيضاً في نفس الجهة اليمنى)

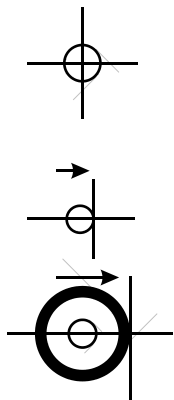
حتى يلامس السلك الرأسي للعينية حافة الحلقة المظلمة الثانية والثالثة

والرابعة..... وفي كل مرة سجل قراءة التدرج D_{nR} .

4 - حرك التلسكوب مرة أخرى بحيث يعود إلى وضعة الأول (تقاطع السلكين المتعامدين عند

مركز الحلقات). وللتأكد من ضبط الأدوات لابد أن تكون قراءة التدرج هي نفس القراءة

في الخطوة (2).



5 - حرك التلسكوب إلى الجهة اليسرى ثم كرر الخطوة (3) وسجل قراءة التدريج من جهة

اليسار للحلقة المظلمة الأولى والثانية والثالثة و..... D_{nL} .

6 - دون النتائج في جدول كما هو موضح ثم ارسم العلاقة

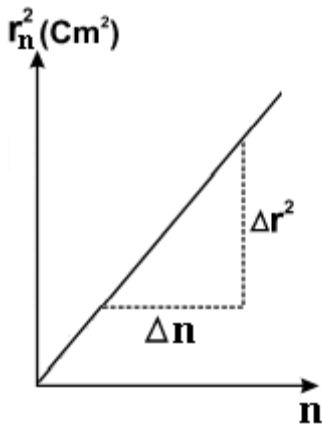
بين رتبة الحلقة n على محور السينات ومربع نصف

قطر الحلقة r_n^2 على محور الصادات مستخدما

العلاقة (4) تحصل على خط مستقيم يمر بنقطة الأصل

وميله يساوي $R\lambda$ وبمعلومية نصف قطر تكور

العدسة R يمكن حساب الطول الموجي λ .



النتائج:

رتبة الحلقة المظلمة n	القراءة جهة اليمين D_{nR}	القراءة جهة اليسار D_{nL}	نصف قطر الهدبة المظلمة $r_n = \frac{|D_{nR} - D_{nL}|}{2}$ (cm)	r_n^2 (cm)
1				
2				
3				
4				
5				
6				

$$R = \dots\dots\dots \text{ cm}$$

$$\text{الميل} = \frac{\Delta r_n^2}{\Delta n} = \dots\dots\dots$$

$$\lambda = \frac{\text{الميل}}{R} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots}$$

$$\therefore \lambda = \text{.....cm}$$

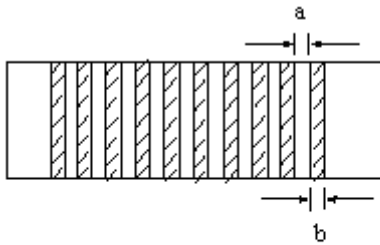
محزوز الحيود

الهدف من التجربة:

تعيين الأطوال الموجية لطيف الزئبق باستخدام محزوز الحيود.

نظرية التجربة:

خاصية الحيود هي أن يحيد الضوء عن خاصية سيره في خطوط مستقيمة عند مروره خلال حافة حادة. ويعتبر محزوز الحيود حائل به فتحات عديدة فعند وضع المحزوز أمام مصدر ضوئي فإن الأشعة الخارجة منه تبدي حيود فرنفور من خلال فتحات عديدة. ويتركب محزوز الحيود من شريحة زجاجية عليها



الشكل (1)

خدوش قد تصل إلى 6000 خط في السنتيمتر الواحد وتكون على شكل خطوط متوازية تم عملها بواسطة سن مدبب من الألماس. عند سقوط الأشعة الضوئية على المحزوز فإن الضوء يمر من خلال الأجزاء غير المخدوشة أي بين خطوط المحزوز حيث تعمل عمل فتحات فإذا كانت المسافة بين كل خط وآخر هي a وعرض الخدش هو b كما بالشكل (1) فإن المقدار $d = (a + b)$ يسمى ثابت المحزوز.

ومن الملاحظ إذا كان عدد خطوط المحزوز في السنتيمتر هو $N(\text{line/cm})$ خط فإن:

$$d = 1/N$$

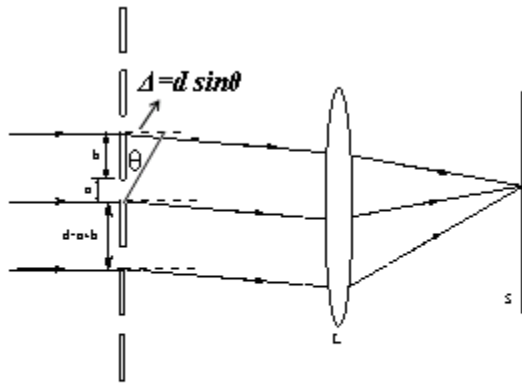
وإذا كان عدد خطوط المحزوز في البوصة هو $N(\text{line/inch})$ خط فإن:

$$d = 2.5/N$$



شكل (2)

إذا سقطت حزمة متوازية من ضوء أحادي اللون طولاه الموجي λ في اتجاه عمودي على مستوى محزوز الحيود من مجمع الضوء في المطياف – فإنه بتوجيه التلسكوب شكل (2) بحيث يكون على استقامة مجمع الضوء – فإننا نرى صورة للفتحة



شكل (3)

واضحة وقوية تمثل الهدبة المركزية التي تنتج عن التداخل البناء لجميع الأشعة النافذة من هذه الفتحات المتوازية بدون حيود ونرى أيضاً على جانبيها أهداباً مضيئة تقل إضاءتها تدريجياً بالابتعاد عن الهدبة المركزية وهي ناتجة عن التداخل البناء للأشعة الحائدة بزوايا مختلفة.

ومن الشكل (3) نجد أن شرط حدوث هذا

التداخل البناء هو أن يكون فرق المسار

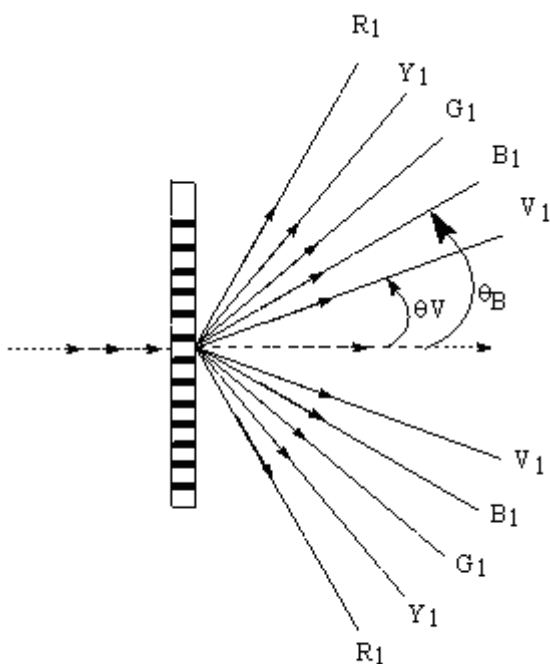
الضوئي Δ بين أي شعاعين متناظرين حائدين

من أي فتحتين متتاليتين مساوياً لمضاعفات صحيحة للطول الموجي أي أن:

$$\Delta = d \sin \theta = n \lambda \quad (1)$$

ومن الواضح من المعادلة (1) أن زاوية الحيود θ تعتمد على الطول الموجي λ للضوء الأحادي اللون المستعمل وعلى رتبة الحيود n .

إذا استعملنا مصدراً ضوئياً له طيف خطي (كمصباح الزئبق مثلاً) فإن الضوء



شكل (4)

الخارج من محزوز الحيود يتحلل إلى ألوان الطيف ويكون كل لون له زاوية حيود خاصة به ونشاهد خلال التلسكوب لكل رتبة حيود n جميع الخطوط الملونة التي يتكون منها طيف هذا المصدر الضوئي شكل (4). وهكذا يمكن استخدام محزوز الحيود لإنتاج رتب مختلفة لطيف أي مصدر ضوئي وكذلك يمكن استخدام المعادلة (1) لحساب الطول الموجي لكل منها.

الأدوات المستخدمة:

مطياف للضوء (سبكترومتر) – محزوز

خطوات العمل:

1 - اضبط الاسبكترومتر كالاتي:

أ - اضبط تدريج قاعدة الاسبكترومتر بأن تجعل صفر التدريج عند المجمع واجعل الخط الواصل بين الصفر، 180 موازياً لمحور المجمع.

ب - اضبط التلسكوب بأن توجه التلسكوب لجسم بعيد وعدل طول قصبة التلسكوب حتى تحصل علي أوضح صورة مقلوبة ومصغرة للجسم البعيد.

ت - اضبط المجمع بأن تنظر من خلال التلسكوب للفتحة الضوئية الموجودة أمام لمبة الزئبق وعدل طول قصبة المجمع حتى تحصل علي أوضح صورة للفتحة الضوئية.

2 - ضع محزوز الحيود على منضدة المطياف بحيث يكون عمودي على الخط الواصل من المجمع إلى التلسكوب فتحصل على نفس صورة الفتحة الضوئية وهي تمثل هدبه الحيود ذات الرتبة $n=0$.

3 -حرك التلسكوب في جهة اليمين واضبط نقطة تقاطع الخطين المتقاطعين في عينية التلسكوب علي منتصف هدبه اللون البنفسجي ذات الرتبة $n=1$ ، ثم عين قراءة التدريج θ_R وسجل القراءة في الجدول المرفق.

4 -كرر الخطوة 3 مع باقي ألوان الهدبة الأولي.

5 -كرر الخطوات 3، 4 من جهة اليسار وعين قراءة التدريج θ_L لكل لون وسجل القراءات في الجدول المرفق.

6 -عين قيمة زاوية الحيود θ لكل لون من العلاقة:

$$\theta = \left| \frac{\theta_R - \theta_L}{2} \right|$$

وسجل النتائج في الجدول المرفق، ثم احسب $\sin\theta$.

7 -بمعرفة قيمة d احسب قيم λ عمليا باستخدام العلاقة $d \sin\theta = n\lambda$. وقارن بين هذه القيم والقيم النظرية المعطاة لك في الجدول.

النتائج:

$$N = \dots\dots \text{line/cm}$$

$$= \dots\dots$$

$$d = 1/N$$

$n=1$					$\lambda_{\text{نظري}} \text{ \AA}$	لون الطيف
$\lambda_{\text{عملي}}$	$\sin\theta$	θ	θ_L	θ_R		
					6200	احمر ضعيف
					5791	أصفر قوي
					5770	أصفر قوي
					5461	أخضر قوي
					4916	أزرق مخضر ضعيف
					4358	أزرق قوي
					4078	بنفسجي متوسط
					4047	بنفسجي متوسط

تعيين المكافئ الكيميائي للنحاس

الهدف من التجربة :

تعيين المكافئ الكيميائي الكهربائي للنحاس.

نظرية التجربة :

إذا وضع لوحان من النحاس في محلول كبريتات النحاس ووصلا بقطبي بطارية فإن أيونات النحاس الموجبة CU^{++} تتجمع حول المهبط ويزيد وزن المهبط نظراً لترسب النحاس الموجود في المحلول عليه بكمية تعادل ما يذوبه المحلول من المصدر. وتزداد كتلة المادة المترسبة m بازدياد شدة التيار I والزم t وذلك طبقاً لقانون فاراداي للتحليل الكهربائي والذي ينص على أن كتلة المادة المترسبة m بالتحليل الكهربائي تتناسب طردياً مع شدة التيار I المار بالمحلول الكهربائي ومع زمن مرور هذا التيار t أي تتناسب كتلة المادة المترسبة طردياً مع كمية الكهرباء المارة بالمحلول أي أن:

$$m = C \times I \times t$$

حيث C مقدار ثابت يسمى المكافئ الكيمائي الكهربائي للمادة ووحدته هي gm/c (جرام/كولوم).

الأدوات المستخدمة:

أميتر - بطارية - ريوستات - ميزان حساس - ساعة إيقاف - مجفف هوائي - وعاء تحليل كهربائي - محلول كبريتات النحاس.

خطوات العمل:

1 - وصل الدائرة الكهربائية الموضحة

في الشكل (1).

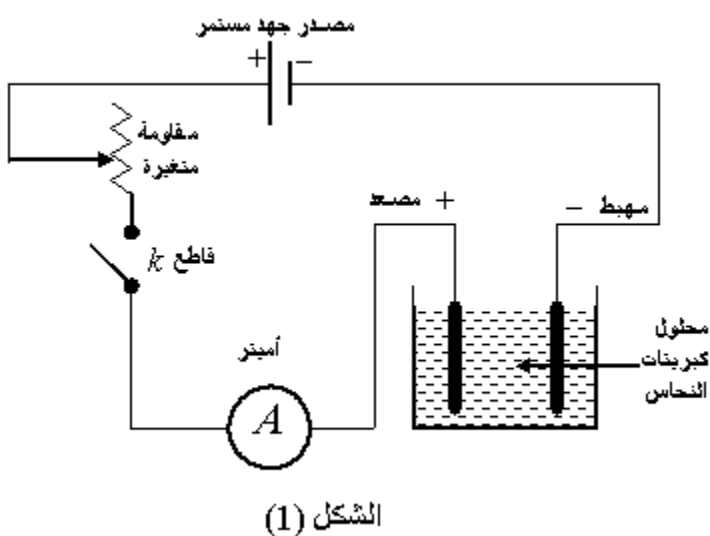
2 - أستخرج المهبط وأغسله جيداً ثم

زن المهبط بعد تجفيفه وليكن

وزنه m_1 جرام.

3 - أعد توصيل المهبط في الدائرة

ثم أغلق الدائرة بواسطة المفتاح k .



4 - غير من قيمة المقاومة المتغيرة (الريوستات) حتى تحصل على تيار مناسب (0.5 A)، ثم أبدأ بحساب الزمن لمدة 25 دقيقة، مع التأكد خلال هذه الفترة أن التيار ثابت وذلك بملاحظة مؤشر الأميتر.

5 - افتح الدائرة في نهاية المدة [بالقاطع k] وأستخرج المهبط وأغسله ثم جففه.

6 - زن المهبط وليكن وزنه m_2 جرام.

7 - عين وزن المادة المترسبة m وذلك بطرح m_1 من m_2 أي أن:

$$m = m_2 - m_1 = \dots\dots gm$$

8 - عين قيمة المكافئ الكيميائي الكهربائي للنحاس C من المعادلة:

$$C = \frac{m}{I \times t} \dots\dots\dots gm / c$$

النتائج:

وزن المهبط بعد تنظيفه وتجفيفه قبل مرور التيار m_1 = جم.

شدة التيار المار في الدائرة الكهربائية I = 0.5 أمبير.

زمن مرور التيار الكهربائي t = 1500 ثانية.

وزن المهبط بعد مرور التيار m_2 = جم.

كتلة النحاس المترسبة $m = m_1 - m_2$ = جم.

$$\frac{\text{جم}}{\text{كولوم}} = \dots\dots\dots = \frac{m}{I \times t} = C \text{ المكافئ الكيميائي الكهربائي للنحاس}$$

تعيين معامل الحث الذاتي لملف باستخدام دائرة الرنين

الهدف من التجربة:

1 - دراسة دوائر الرنين وحساب اتساع النطاق الترددي ومعامل النوعية.

2 - إيجاد معامل الحث الذاتي لملف.

نظرية التجربة:

إذا اتصلت مقاومات أومية علي التوالي مع مصدر

للجهد المتردد, فإن قيمة الجهد الواقع علي كل مقاومة تتحدد

حسب قيمة كل مقاومة ولا تتأثر هذه القيمة بتغير تردد

المصدر, ولكن إذا اتصلت مقاومة R وملف معامل حثه

الذاتي L ومكثف سعته C علي التوالي مع مصدر للجهد

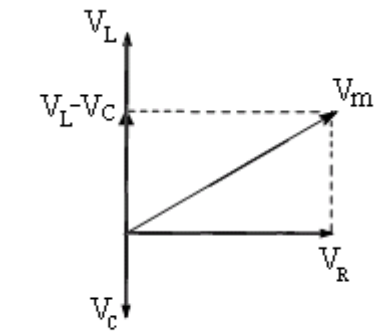
المتردد كما في شكل (1) فإن الوضع يختلف في هذه الحالة

حيث أن ممانعة كل من الملف والمكثف للتيار المتردد تعتمد

علي تردد المصدر المستخدم.

باستعمال طريقة المتجهات لتمثيل الجهد المتردد نرسم فروق الجهد للثلاثة عناصر R, L, C

في الدائرة كما هو مبين في الشكل (2).



شكل (2)

$$(1) V_R = I_m R$$

$$(2) V_L = I_m X_L = I_m \omega L$$

$$(3) V_C = I_m X_C = I_m / (\omega C)$$

حيث: I_m هي القيمة العظمى للتيار المار في الدائرة, X_L

الممانعة الحثية للملف, X_C الممانعة السعوية للمكثف, $\omega = 2\pi f$ تمثل التردد الزاوي, f

تردد المصدر. V_m القيمة العظمى لجهد المصدر ومن هندسة الشكل (2) تعطى بالعلاقة التالية:

$$V_m = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} \quad (4)$$

بالتعويض من المعادلات (3), (2), (1) في المعادلة (4) ينتج أن:

$$V_m = I_m \times \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} = I_m Z \quad (5)$$

حيث Z ممانعة الدائرة أي أن:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2} \quad (6)$$

بقسمة المعادلة (1) على المعادلة (5) نحصل على:

$$\frac{V_R}{V_m} = \frac{R}{Z} = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}} \quad (7)$$

مما سبق نلاحظ أن الممانعة الحثية X_L تتناسب طردياً مع التردد f بينما تتناسب الممانعة السعوية X_C عكسياً مع التردد f , أي مع زيادة التردد تزداد الممانعة الحثية في حين تنخفض الممانعة السعوية, وعلي ذلك فإنه عند قيمة معينة للتردد ولتكن f_r تتساوي الممانعة السعوية مع الممانعة الحثية $X_L = X_C$ وتكون الممانعة الكلية للدائرة Z في هذه الحالة أقل ما يمكن وتساوي المقاومة الأومية $Z = R$ حيث يتلاشي المقدار بين القوسين في المعادلة (6), وتعرف هذه الحالة بالرنين والتردد f_r الذي نحصل عنده على هذه الخاصية يسمى بتردد الرنين. ومن العلاقة (7) نلاحظ أنه عند حالة الرنين يكون $V_R/V_m = 1$.

ومن شرط الرنين:

$$X_L = X_C$$

$$\therefore \omega_r L = \frac{1}{\omega_r C}$$

$$\therefore 2\pi f_r L = \frac{1}{2\pi f_r C}$$

$$(8) \therefore f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

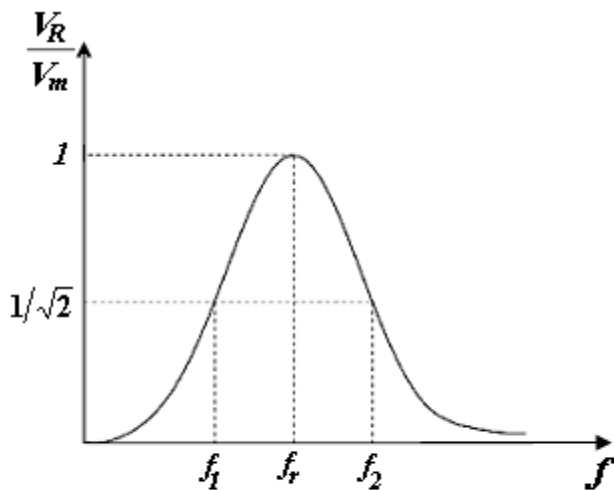
وبمعلومة سعة المكثف C وقيمة f_r يمكن إيجاد معامل الحث الذاتي للملف L من المعادلة (8) حيث يعطى بالعلاقة التالية:

$$(9) L = \frac{1}{4\pi^2 f_r^2 C}$$

اتساع النطاق الترددي:

لدوائر الرنين حد أقصى وحد أدنى من التردد ويجب أن يكون محصور عمل الدوائر بين هاتين القيمتين حيث تصل قيمة صغرى بعد ذلك، و يكون كل من الحد الأقصى والأدنى للتردد عندما يقل التيار أو فرق الجهد إلى $1/\sqrt{2}$ من القيمة العظمى له.

ويمكننا حساب اتساع النطاق



شكل (3)

الترددي في الدائرة شكل (1) عن طريق رسم العلاقة بين التردد f و V_R/V_m حيث يتداد قيمة V_R/V_m مع زيادة التردد حتى تصل إلى قيمة عظمى تساوي الواحد الصحيح عند تردد الرنين f_r بعدها تبدأ قيمة V_R/V_m في النقصان مع زيادة التردد وتكون القيمة العظمى والصغرى للتردد عندما تقل قيمة V_R/V_m إلى $1/\sqrt{2}$ من القيمة العظمى له وبالتالي يمكن حساب

اتساع النطاق الترددي عند هاتين القيمتين كما هو موضح بشكل (3) ويشار إلى القيمة الصغرى بالتردد f_1 والقيمة العظمى بالتردد f_2 وبذلك يكون اتساع النطاق Band width:

$$(10) \text{Band width} = f_2 - f_1$$

وحاصل قسمة تردد الرنين f_r علي عرض النطاق الترددي يسمى بمعامل النوعية ويرمز له بالرمز Q :

$$(11) Q = \frac{f_r}{f_2 - f_1}$$

ويمكن حساب Q أيضاً من العلاقة:

$$(12) Q = \frac{X_L}{R} = \frac{2\pi f_r L}{R}$$

الأدوات المستخدمة:

مكثف معلوم السعة – مقاومة أومية – ملف – فولتميتر – مولد ذبذبات – راسم الذبذبات.

خطوات العمل:

- 1 - وصل الدائرة كما في شكل (1).
- 2 - سجل فرق الجهد بين طرفي المصدر وليكن V_m (فولت).
- 3 - غير تردد مصدر التيار المتردد وفي كل مرة سجل فرق الجهد بين طرفي المقاومة R مع المحافظة على قيمة ثابتة للجهد بين طرفي المصدر وليكن $V_m=1$ (لتسهيل الحسابات).
- 4 - كرر الخطوة (3) ودون القياسات في الجدول المرفق.
- 5 - ارسم العلاقة البيانية بين تردد المصدر f والنسبة V_R / V_m لتحصل على شكل (3) ومنه عين قيمة كل من f_1, f_2, f_r .
- 6 - أحسب اتساع النطاق من العلاقة (10) ثم أحسب معامل النوعية Q عمليا وحسابيا من العلاقتين (11)، (12) علي الترتيب.
- 7 - استخدم المعادلة (9) لإيجاد معامل الحث الذاتي للملف L .

د. هشام العطار

$$V_m = 1 \text{ Volt}$$

$$C = \dots \mu F$$

$$R = \dots \Omega$$

$f \text{ (Hz)}$	$V_R \text{ (volt)}$	V_R / V_m
100		
200		

1000		
2000		

$$f_1 = \dots \text{ Hz}$$

$$f_2 = \dots \text{ Hz}$$

$$f_r = \dots \text{ Hz}$$

$$\text{اتساع النطاق الترددي} = f_2 - f_1 = \dots \text{ Hz}$$

$$Q_{\text{عملي}} = \dots$$

$$Q_{\text{حسابي}} = \dots$$

$$L = \dots \text{ Henery}$$

تعيين المعامل الحراري لمقاومة ملف نحاسي باستخدام القنطرة المتريّة

الهدف من التجربة:

تعيين المعامل الحراري لمقاومة ملف نحاسي.

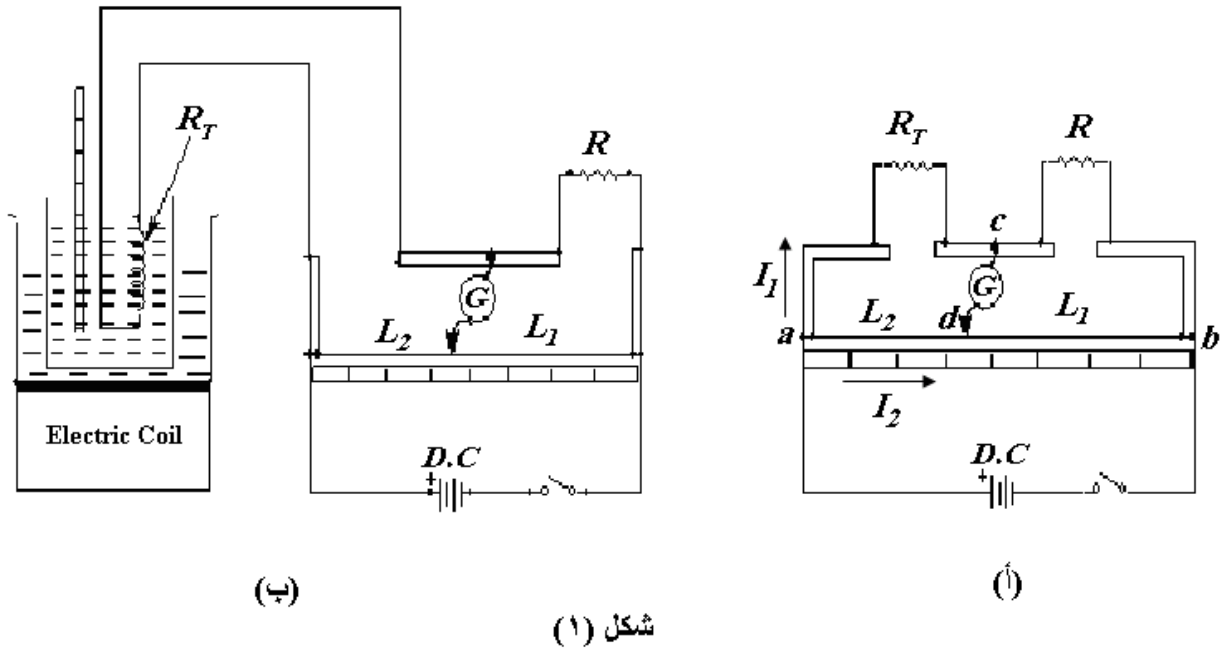
نظرية التجربة:

تتغير المقاومة الكهربائية للموصلات المعدنية مع درجة الحرارة طبقاً للعلاقة:

$$R_T = (1 + \alpha T) R_0 \quad (1)$$

حيث R_T تمثل مقدار المقاومة عند درجة حرارة $T^\circ C$ و R_0 هي مقدارها عند $0^\circ C$ و α هو المعامل الحراري للمقاومة. لتحقيق ذلك عملياً نستخدم القنطرة المتريّة المبينة بالشكل (1- ب) لحساب المقاومة R_T عند كل درجة حرارة $T^\circ C$.

وتتكون القنطرة المتريّة من سلك منتظم المقطع ab طوله متر مثبت على قاعدة خشبية، و يتصل الطرفان a, b عبر مقاومتين R, R_T كما هو مبين بالشكل (1- أ).



وعندما يشير الجلفانومتر G إلى وضع الاتزان (حيث يكون المؤشر على الصفر) فإن الجهد عند النقطة c يساوي الجهد عند النقطة d أي أن:

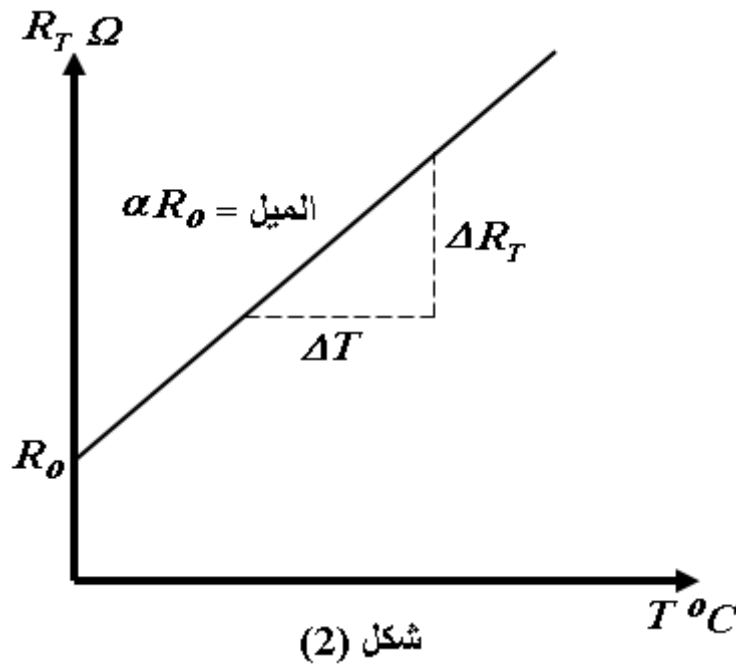
$$V_{bd} = V_{bc} , \quad V_{ad} = V_{ac}$$

وبتطبيق قانون أوم نحصل على:

$$\sigma L_1 I_2 = R I_1 , \quad \sigma L_2 I_2 = R_T I_1 \quad (2)$$

حيث σ تمثل المقاومة لوحدة الأطوال. و بقسمة المعادلتين في العلاقة (2) ينتج:

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{R_T}{R} \quad (3)$$



أي أنه عندما يشير

الجلفانومتر إلى وضع الاتزان فإنه

يمكن معرفة المقاومة المجهولة R_T

بمعرفة كل من L_1, L_2, R ومن

المعادلة (1) يتم يتعين معامل

التوصيل الحراري α , حيث R_0 هي

قيمة المقاومة R_T عند درجة حرارة

$T = 0^\circ C$.

تلاحظ أن المعادلة (1) هي عبارة

عن معادلة خط مستقيم ميله هو α

R_0 ويقطع جزءاً من محور الصادات هو R_0 .

الأدوات المستخدمة:

قنطرة متريّة- مقاومة معلومة- سخان كهربى- ترمومتر- كأس ماء- ملف نحاسى- أسلاك توصيل - مصدر تيار مستمر.

خطوات العمل:

1 - وصل الدائرة كما في شكل (1-ب)

2 - اغمر الملف النحاسى والترمومتر في إناء به ماء

3 - عين موضع الاتزان على القنطرة المتريية ودون قيمة الأطوال L_1 , L_2 قبل التسخين

واحسب قيمة R_T (مقاومة الملف) عند درجة حرارة الغرفة مستخدماً المعادلة (3)،

علماً بأن $R = 5.6 \Omega$.

4 - شغل السخان الكهربائي واترك درجة الحرارة ترتفع حتى $(85^\circ C)$.

5 - احسب قيمة المقاومة R_T كما في الخطوة (3).

6 - احسب قيمة المقاومة R_T عند درجات حرارة مختلفة وليكن كل خمس درجات ودون

النتائج في الجدول المرفق.

7 - ارسم علاقة بيانية بين درجة الحرارة على المحور السيني والمقاومة R_T على المحور

الصادي فتحصل على خط مستقيم كما في شكل (2) ومنه احسب الميل وقس طول

الجزء المقطوع من محور الصادات R_0 , ثم احسب معامل التوصيل الحراري α .

النتائج:

$T(^{\circ}C)$	$L_1(cm)$	$L_2(cm)$	$R_T = R L_2/L_1$ <input type="checkbox"/>

$R_0 = \dots\dots \Omega$ = الجزء السالب المقطوع من محور السينات

$\alpha R_0 = \dots\dots \Omega^{\circ}C^{-1}$ = ميل الخط المستقيم

$\alpha = \dots\dots ^{\circ}C^{-1}$ = المعامل الحراري للمقاومة

تعيين المقاومة الداخلية لميكروأميتر

الهدف من التجربة:

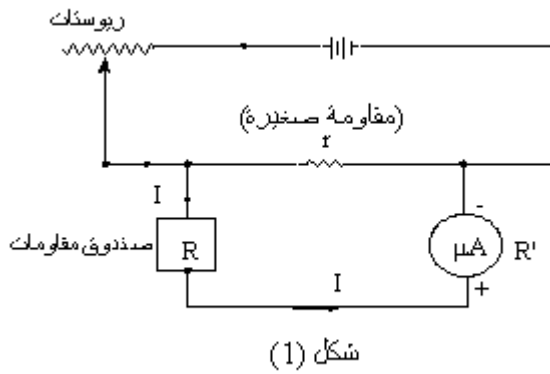
(1) تعيين المقاومة الداخلية لميكروأميتر.

(2) تعيين قيمة مقاومة مجهولة.

نظرية التجربة: تعيين المقاومة الداخلية لميكروأميتر (R'):

لتعيين المقاومة الداخلية (R')

لميكروأميتر هناك طريقتين هما طريقة الرسم البياني وطريقة منتصف الانحراف نستخدم فيهما الدائرة الكهربائية الموضحة في الشكل (1).



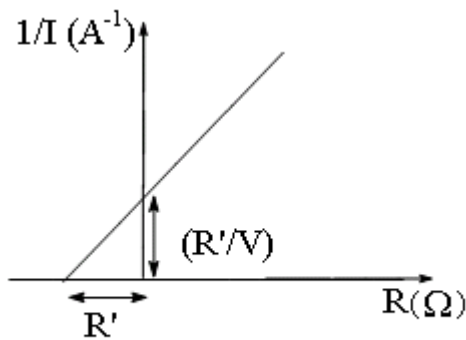
أولاً: طريقة الرسم البياني:

يمكن التحكم في شدة التيار الكهربائي (I) المار في صندوق المقاومات و الميكروأميتر وذلك بواسطة الريوستات. ومن ثم يكون فرق الجهد (V) الناتج بين طرفي المقاومة (r) عند قيمة محددة لكل من شدة التيار (I) و المقاومة (R) هو كالتالي:

$$(1) V = I(R + R')$$

حيث R' تعبر عن المقاومة الداخلية للميكروأميتر. ويمكن كتابة المعادلة (1) على الصورة:

$$(2) \frac{1}{I} = \frac{1}{V} R + \frac{1}{V} R'$$



المعادلة (2) تمثل معادلة خط مستقيم. فعند تمثيل ($1/I$) على محور الصادات و R على محور السينات نحصل على خط مستقيم ميله يساوي ($1/V$) ويقطع جزء موجب من محور الصادات مقداره (R'/V) كما يقطع جزء سالب من محور السينات يساوي R' كما في

ثانياً: طريقة منتصف الانحراف:

يمكن تعيين المقاومة الداخلية للميكروأميتر R' بطريقة منتصف الانحراف وتتلخص هذه الطريقة فيما يلي:

نجعل مقاومة صندوق المقاومات مساوية للصفر ($R=0$) ، ثم نحرك الريوستات حتى تصبح قراءة الميكروأميتر عند أقصى قيمة (I_0) .

من المعادلة (1) ينتج أن:

$$R=0 \rightarrow I=I_0 \quad \Rightarrow \quad V=I_0 R' \quad (i)$$

وإذا فرض أننا عينا من صندوق المقاومات، مقاومة مساوية للمقاومة الداخلية للميكروأميتر يكون في هذه الحالة:

$$R=R' \quad \Rightarrow \quad V=I(R'+R')=2IR' \quad (ii)$$

بمساواة المعادلتين (i) , (ii) نحصل على

$$2IR'=I_0 R' \quad \Rightarrow \quad I=I_0/2 \quad (iii)$$

أي أنه: عندما تصبح $R=R'$ تكون قراءة الميكروأميتر مساوية لنصف القيمة العظمى للتيار (أي يكون التيار عند منتصف الانحراف) وهذه الطريقة تتم بسهولة حيث نستمر في رفع قيمة المقاومة R من الصفر باستخدام صندوق المقاومات حتى نحصل على قراءة الميكروأميتر عند منتصف قيمته العظمى فتكون في هذه الحالة المقاومة المحددة في صندوق المقاومات مساوية للمقاومة الداخلية للميكروأميتر.

الأدوات المستخدمة:

بطارية – ريوستات – مقاومة صغيرة – ميكروأميتر – صندوق مقاومات – مقاومة مجهولة

خطوات العمل:**أولاً: الطريقة البيانية:**

1 - وصل الدائرة كما هو موضح بالشكل (1).

2 -اجعل المقاومة في صندوق المقاومات مساوية للصفر وتأكد أن قراءة الميكروأميتر هي القيمة العظمى (I_0).

3 -غير في المقاومة (R) من صندوق المقاومات في خطوات وفي كل خطوة سجل قراءة الميكروأميتر (I) ثم احسب ($1/I$) في كل مرة.

4 -دون النتائج في جدول كما هو موضح أسفله ثم ارسم علاقة بين (R) على محور السينات، ($1/I$) على محور الصادات تحصل على خط مستقيم امتداده يقطع المحور (R) في نقطة نستنتج منها قيمة المقاومة الداخلية للميكروأميتر (R').

ثانيا: طريقة منتصف الانحراف:

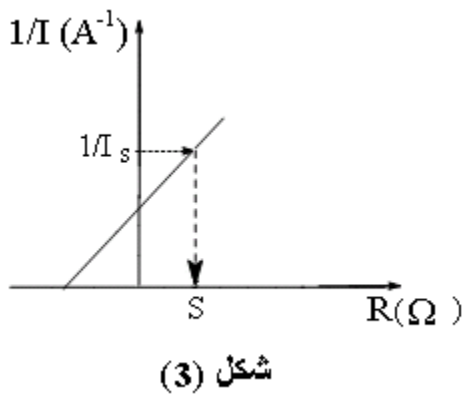
1 -وصل الدائرة كما هو موضح بالشكل (1).

2 -تأكد أن قيمة المقاومة في صندوق المقاومات تساوي صفر ($R=0$) ثم حرك الريوستات برفق لضبط قراءة الميكروأميتر على أقصى انحرافه (I_0).

3 -غير في قيمة المقاومة R من صندوق المقاومات حتى تصل إلى قراءة الميكروأميتر $I=I_0/2$ أي عند منتصف الانحراف. في هذه الحالة المقاومة المأخوذة من صندوق المقاومات = المقاومة الداخلية للميكروأميتر $R' = R$.

4 -احسب متوسط القيمتين للمقاومة الداخلية الناتجتين من طريقة منتصف الانحراف والطريقة البيانية.

ثالثا: تعيين مقاومة مجهولة:



في هذه الحالة نستبدل صندوق المقاومات بالمقاومة المجهولة (S) ونسجل قيمة شدة التيار (قراءة الميكروأميتر) وليكن I_s ثم نحسب مقلوب التيار ($1/I_s$) ثم نحدد هذه القيمة على المحور الرأسي للشكل (2) نرسم خط مستقيم موازي لمحور R وعند تقاطعه مع الخط المائل نرسم خط رأسي حتى يتلاقى

مع محور R عند نقطة تكون هي قيمة المقاومة المجهولة S كما هو موضح في شكل (3). يمكن بهذه الطريقة استخدام الميكروأميتر لتعيين أي مقاومة مجهولة أي جعله لكأوميتر.

النتائج:

الطريقة البيانية:

$R(\Omega)$	$I (A)$	$(I^{-1}) (A^{-1})$
200		
400		
600		
800		
1000		
1200		

Ω = الجزء السالب المقطوع من محور السينات R'

طريقة منتصف الانحراف :

$$I_0 = \dots\dots A$$

$$I_0/2 = \dots\dots A$$

$$R' = \dots\dots \Omega$$

$$\Omega \dots\dots = \text{متوسط المقاومة الداخلية}$$

تعيين مقاومة مجهولة:

$$A \dots\dots = \text{التيار } I_s \text{ المقابل للمقاومة المجهولة}$$

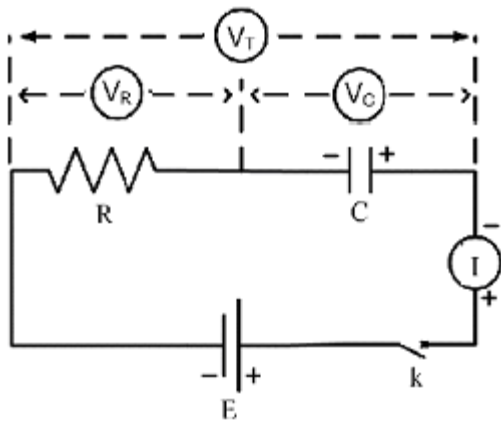
$$\Omega \dots\dots = \text{المقاومة المجهولة } S$$

تعيين سعة مكثف عن طريق شحنة

الهدف من التجربة:

قياس سعة مكثف بيانيا عن طريق شحنة في دائرة تيار مستمر.

نظرية التجربة:



شكل (1)

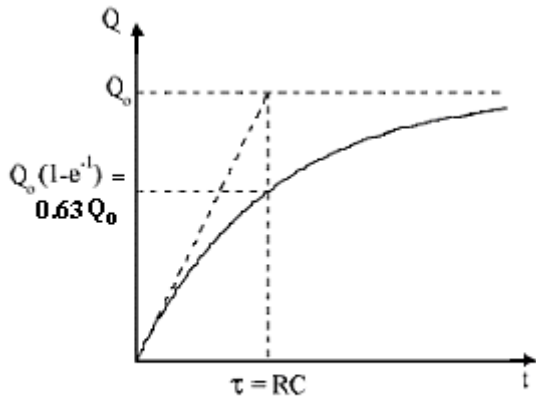
عندما يسرى تيار مستمر في دائرة تحتوى على مقاومة ومصدر للتيار فقط فإن سريان التيار يبدأ لحظيا بقيمته النهائية الثابتة ويستمر على حالة طالما بقى جهد الدائرة ثابتا، ولكن إذا بدأ التيار المستمر سريانه في دائرة تحتوى على مكثف ذا سعة C أو ملف له حث ذاتي L أو الاثنين معا فإن الأمر يختلف، الملاحظ أن التيار لا يصل إلى قيمته

النهائية الثابتة إلا بعد فترة زمنية تعتمد في طولها على ثوابت الدائرة، بمعنى على قيم مقاومة الدائرة R وسعة المكثف C والحث الذاتي للملف L . تسمى حالة الدائرة في هذه الفترة الزمنية بالحالة الانتقالية والتيار عندئذ يقال له بالتيار الانتقالي.

نفترض أن لدينا دائرة كهربية كالموضحة بشكل (1) تحتوى على مكثف سعته C فاراد متصل عن طريق مقاومة كهربية R أو بمصدر للتيار المستمر قوته الدافعة الكهربائية E فولت. عند غلق مفتاح الدائرة k ، يسرى التيار وتقل قيمته بالتدريج مع الزمن حتى تساوى الصفر وذلك عندما يصبح الفرق في الجهد بين طرفي المكثف مساويا لل قوة الدافعة الكهربائية للمصدر E . في هذه الأثناء، تزداد بالتدريج الشحنة Q على المكثف حتى تصل إلى قيمة التشبع ونرمز لها $Q_o = CE$.

وعند أي لحظة زمنية t فإنه - بناء على قانون كيرتشف الثاني - مجموع فرقى الجهد بين المكثف V_C والمقاومة V_R قيمة ثابتة وتساوى القوة الدافعة الكهربائية E . وبذلك يمكن استنتاج أن قيمة الشحنة Q على المكثف عند أي لحظة t خلال فترة شحن المكثف هي:

$$Q = Q_o \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{CR}\right) \right] \quad (1)$$

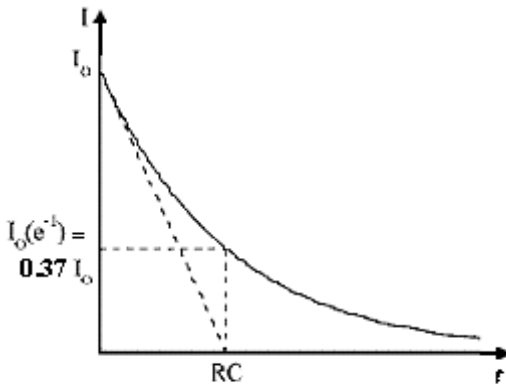


شكل (2)

واضح من المعادلة (1) أن الشحنة على المكثف تنمو بناء على دالة أسية، والعلاقة بين الشحنة على المكثف والزمن مبينة بشكل (2)، لاحظ أنه مع الزمن يزداد مقدار الشحنة المترسبة على لوح المكثف وبالتالي يقل الفرق في الجهد بين طرفي المكثف وبين قطبي المصدر فيؤدي ذلك إلى تباطؤ الشحن.

والمعادلة التي تصف طريقة اضمحلال التيار في الدائرة هي:

$$(2) I = I_o \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)$$

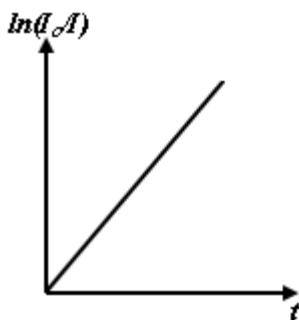


شكل (3)

والإشارة السالبة عند الطرف الأيمن تشير إلى اضمحلال تيار الدائرة وتجدر الإشارة إلى أن القيمة الابتدائية لتيار الشحن $(I_o = E / R)$ وهذا واضح مباشرة بوضع $t = 0$ في المعادلة (2). شكل (3) يعطى الصورة التي يضمحل بها تيار الشحن بالدائرة.

ومن المعادلة (2) بأخذ لوغاريتم الطرفين نحصل على:

$$(3) \ln\left(\frac{I_o}{I}\right) = \frac{t}{RC}$$



شكل (4)

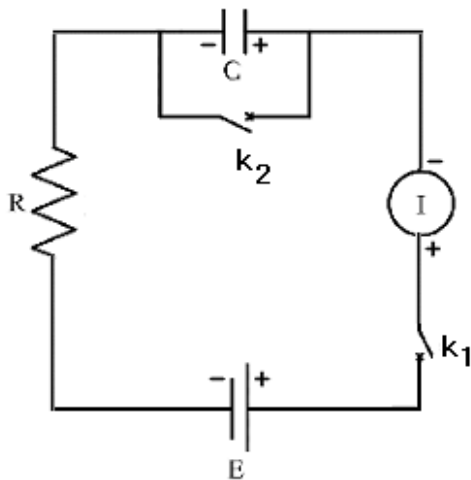
فإذا رسمنا العلاقة بين الزمن t على المحور الأفقي ولوغاريتم التيار $\ln(I_o/I)$ على المحور الرأسي نحصل على خط مستقيم يمر بنقطة الأصل كما بالشكل (4) ميل الخط يساوي $1/RC$ وبمعرفة

قيمة المقاومة R يمكن حساب سعة المكثف C كما يمكن استخدام هذه المعادلة لتعيين قيمة المقاومات الكبيرة إذا كانت سعة المكثف معلومة.

الثابت الزمني:

بالنظر إلى المعادلة (1) التي تصف نمو الشحنة على المكثف والمعادلة (2) التي تصف اضمحلال التيار في الدائرة أنهما يحتويان على المقدار $\exp(t/RC)$ ومن نظرية الأبعاد فإن هذا المقدار في كلاً من المعادلتين عديم الأبعاد أي أن RC يجب أن يحمل أبعاد الزمن والذي يمكنك إثباته بسهولة ولذلك نسمي المقدار RC بالثابت الزمني τ والذي يمكن تعريفه من أي من المعادلتين (1) أو (2) كالآتي:

من المعادلة (1) بوضع $(t = \tau)$ نجد أن $Q = Q_0 (1 - e^{-1})$ أي أن الثابت الزمني يمكن تعريفه على أنه الزمن الذي تصل فيه الشحنة المترسبة على المكثف إلى $(1 - e^{-1})$ من قيمتها العظمى Q_0 بمعنى أنه بعد زمن قدره τ تصبح Q مساوية 63% من Q_0 . والثابت الزمني يمكن تعريفه أيضاً على أنه الزمن اللازم حتى تصل الشحنة Q إلى أقصى قيمة لها (قيمة التشبع Q_0) إذا استمر معدل الزيادة على ما هو بنفس القيمة التي بدأ بها. ومن المعادلة (2) بوضع $(t = \tau)$ نجد أن $I = I_0 e^{-1}$ أي أن الثابت الزمني هو الزمن الذي ينقضي قبل أن تنخفض قيمة التيار إلى e^{-1} من قيمة الابتدائية I_0 بمعنى أنه بعد زمن قدره τ تصبح I مساوية 37% من I_0 . كذلك من الممكن تعريف الثابت الزمني أيضاً على أنه الزمن الذي يمضي حتى يضمحل تيار الشحن إلى الصفر إذا استمر معدل انخفاضه مساوياً للمعدل الابتدائي.



شكل (5)

خطوات العمل:

- 1 - الدائرة المستخدمة كما بشكل (5) تشتمل على المكثف المراد قياس سعته C ومقاومة كبيرة R أو مقيرو أميتر لقياس التيار ومفتاح k_1 وكلها متصلة على التوالي بمصدر الجهد E . ويوجد مفتاح آخر k_2 يتصل على التوازي مع المكثف. لاحظ أنه في حالة ما يكون المفتاح k_2 مفتوحاً يمر التيار كله في فرع

2 - أغلق المفتاح k_1 و k_2 فيمر التيار بقيمته القصوى I_0 وكأن المكثف غير موجود في الدائرة، سجل قيمة I_0 .

3 - افتح المفتاح k_2 في اللحظة التي تبدأ فيها تشغيل ساعة إيقاف لحساب الزمن t الذي يستغرقه المكثف في الشحن إلى قيمة معينة ، فيبدأ المكثف في الشحن وتتناقص قراءة الميكروأميتر I تدريجياً.

4 - قس شدة التيار I عند مرور فترات زمنية مختلفة وليكن كل 10 ثوان لتحصل على قيم مختلفة للتيار عند أزمنة مختلفة أثناء الشحن وسجل النتائج في الجدول المرفق.

5 - إذا فشلت في تعيين قراءة التيار عند زمن معين أقفل المفتاح k_2 فيفرغ المكثف شحنته وترتفع قيمة التيار إلى قيمتها القصوى I_0 مرة أخرى ثم كرر الخطوة 4.

6 - أرسم العلاقة البيانية بين زمن الشحن t على المحور الأفقي والتيار الشحن I على المحور الرأسي كما في شكل (3).

7 - من الرسم البياني عين الثابت الزمني $\tau = RC$ بالطريقة المبينة في الشكل (3) وذلك بأن ترسم من النقطة $I = 0.37 I_0$ خط أفقي مواز لمحور x يقطع الخط المستقيم في نقطه نسقط منها عمود على محور x فيقطعه عند قيمة τ . بمعرفة قيمة المقاومة R يمكن حساب سعة المكثف C .

النتائج:

$t (sec)$	I (μA)	$I (\mu A)$ توازي
10		
20		
30		
....		
....		

160		
-----	--	--

القيمة العظمى للتيار I_0 = ميكروأمبير.

المقاومة R = أوم.

من العلاقة بين زمن الشحن t و تيار الشحن I كما في شكل (3):

$0.37 I_0$ = ميكروأمبير.

الثابت الزمني τ = ثانية.

سعة المكثف C = ميكروفاراد.

تطبيق علي التجربة:

تحقيق قانون السعة المكافئة لمكثفات موصلة بالتوازي والتوالي:

يمكن استخدام هذه التجربة لتحقيق قانون السعة المكافئة لمكثفين متصلين علي التوازي

وهو:

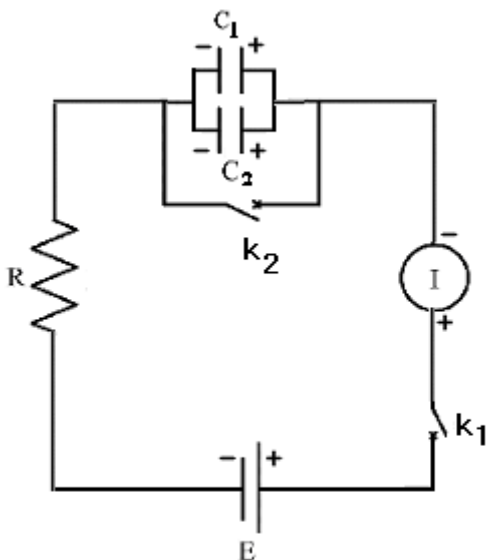
$$C' = C_1 + C_2 \quad (4)$$

وذلك بلجراء الخطوات الآتية:

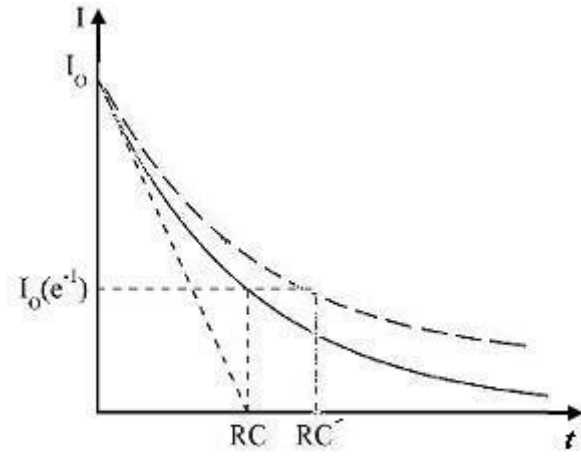
1 - أستبدل المكثف C في الدائرة الكهربائية بالشكل

(5) بالمكثفين C_1 ، C_2 المتصلين علي التوازي

كما بالشكل (6).



شكل (6)



شكل (7)

2- كرر نفس خطوات الجزء السابق من

الخطوة (2) إلى الخطوة (5)، مع تسجيل

شدة التيار في العمود $I (\mu A)$ توازي في

الجدول السابق.

3- أرسم العلاقة البيانية بين زمن الشحن t

وتيار الشحن $I (\mu A)$ توازي علي نفس

الرسم في الجزء السابق فنحصل علي

منحني آخر "المنحني المتقطع" كما

بالشكل (7).

4- بنفس الطريقة في الخطوة (7) في الجزء السابق عين السعة C' المكافئة للمكثفين المتصلين

علي التوازي.

5- قارن بين القيمة C' المعينة عملياً في الخطوة السابقة، وبين القيمة C' المحسوبة نظرياً من

العلاقة (4). فإذا كانت القيمتين متساويتين تقريباً يكون قانون التوصيل علي التوازي محقق

عملياً.

وبنفس الطريقة يمكن التحقق من قانون السعة المكافئة لمكثفين متصلين علي التوالي

وهو:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

قوانين الدارات الكهربائية

الهدف من التجربة:

تحقيق قانوني كيرشوف والتراكم عمليا.

(1) قانون كيرشوف

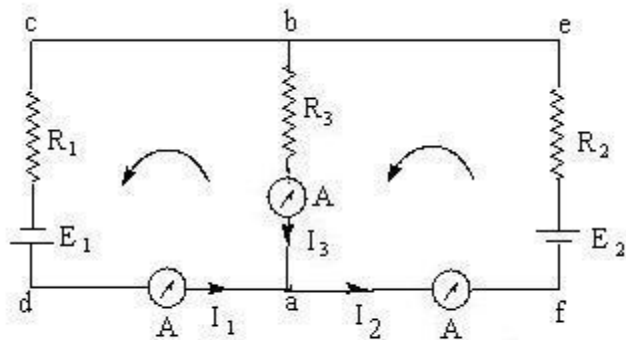
نظرية التجربة:

في حالة الدارات المركبة والمكونة من مجموعة من الدارات البسيطة يمكننا تطبيق قاعدتا كيرشوف لتعيين التيارات الكهربائية المارة في أي فرع من فروع الدائرة المركبة وتنص هاتان القاعدتان على:

القاعدة الأولى: في حالة الشبكات الكهربائية يكون مجموع التيارات الداخلة لنقطة تفرع وتسمى بالعقدة (node) مساويا لمجموع التيارات الخارجة منها أي أن:

$$\sum I_{in} = \sum I_{out}$$

القاعدة الثانية: في أي دائرة مغلقة يكون المجموع الجبري لفروق الجهد بين طرفي كل العناصر مساويا لمجموع الجبري لحاصل ضرب التيار في المقاومة في جميع أجزاء الدائرة المغلقة أي أن:



شكل (1)

$$\sum E = \sum IR$$

ولتحليل أي دائرة مركبة باستخدام هاتين القاعدتين نتبع التالي: ارسم الدائرة كما هو موضح في شكل (1). فإذا أخذنا العقدة a وطبقنا القاعدة الأولى ينتج أن:

$$I_2 = I_1 + I_3 \quad (1)$$

يلاحظ أن اتجاه التيارات I_1, I_2, I_3 الموضحة بالأسهم على الدائرة هو اتجاه فرضي وإذا كانت قيمة التيار الناتج في نهاية الحسابات بالسالب فإن الاتجاه الصحيح ل ذلك التيار هو عكس الاتجاه المفروض.

وبتطبيق القاعدة الثانية لكيرشوف على الدائرة $abcd$ والدائرة $afeba$ (مع أخذ المسار في اتجاه السهم الموجود في منتصف كل دائرة) نحصل على:

أ- بالنسبة للدائرة $afeba$:

$$E_2 = R_2 I_2 + R_3 I_3 \quad (2)$$

ب- بالنسبة للدائرة $abcd$:

$$E_1 = R_1 I_1 - R_3 I_3 \quad (3)$$

نعوض عن I_2 في المعادلة (2) باستعمال المعادلة (1) نحصل:

$$E_2 = R_2 I_1 + (R_2 + R_3) I_3 \quad (4)$$

نضرب المعادلة (4) بـ R_1 و (3) بـ $-R_2$ ثم نجمعهما نحصل على المعادلة:

$$R_1 E_2 - R_2 E_1 = (R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3) I_3$$

ومنها نستنتج شدة التيار I_3 :

$$\frac{R_1 E_2 - R_2 E_1}{(R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)} = I_3$$

نعوض عن I_3 في المعادلة (3) نحصل:

$$\frac{1}{R_1} [E_1 + R_3 \frac{R_1 E_2 - R_2 E_1}{(R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)}] = I_1$$

وباستعمال المعادلة (1) نستنتج شدة التيار الثاني:

$$I_2 = I_1 + I_3$$

الأدوات المستخدمة:

بطارية ومصدر جهد، 3 مقاومات معلومة، 3 أميتر.

خطوات العمل:

1. وصل الدائرة المرسومة في الشكل (1) باعتبار $E_1 = 3 \text{ V}$, $E_2 = 9 \text{ V}$.

2. احسب التيارات الثلاثة باعتبار المقاومات الموصلة في الدائرة.

3. قم بقياس التيارات الثلاثة باستعمال الثلاث أميترات الموصلة على التوالي في كل فرع

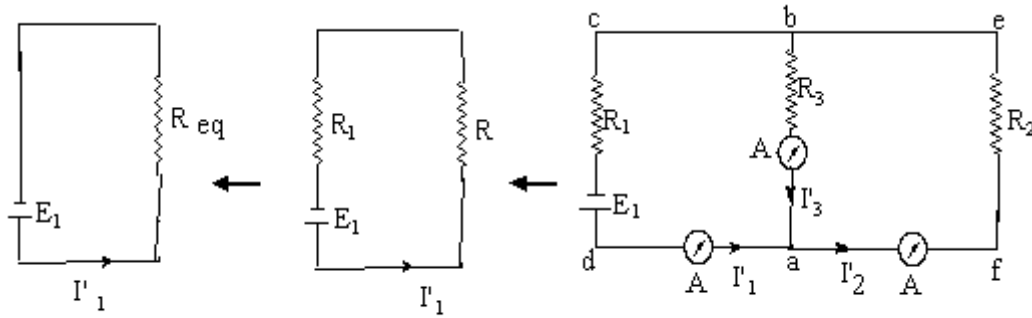
كما هو مبين في الشكل (1).

4. قارن بين القيم النظرية والعملية

(2) قانون التراكم:

نظرية التجربة:

إذا كانت الدائرة تحتوي على عدة مصادر للجهد يمكن أن نحسب التيارات الناتجة عن كل مصدر على حدة ثم نحسب المجموع الجبري (باعتبار الاتجاهات) للتيارات في كل فرع وبذلك نحصل على شدة التيار لكل فرع عندما تكون كل المصادر موصلة.



شكل (2)

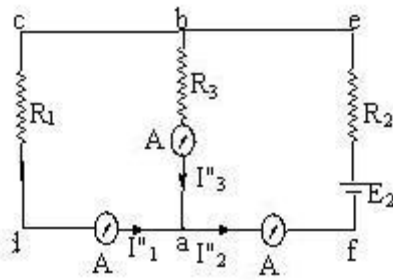
فإذا أخذنا المثال السابق تصبح الدائرة على النحو التالي:

$$R_{eq} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + R_1$$

$$I'_1 = \frac{E_1}{R_{eq}}$$

$$V_d - V_c = E_1 - R_1 I'_1 = R_2 I'_2 \Rightarrow I'_2 = \frac{E_1 - R_1 I'_1}{R_2}$$

$$I'_3 = I'_2 - I'_1$$



شكل (3)

وبنفس الطريقة السابقة يمكننا حساب التيارات الثلاثة I_1, I_2, I_3 المبينة في الشكل (3) ثم نجمع القيمتين لكل فرع (مثلا $I_1 + I_1'$)..... فالمتوقع أن نحصل على نفس القيم التي وجدناها باستعمال قانون كيرشوف.

خطوات العمل:

1. وصل الدائرة المرسومة في الشكل (2) وذلك بحذف المصدر E_2
2. قم بقياس التيارات I_1', I_2', I_3'
3. وصل الدائرة المرسومة في الشكل (3) وذلك بحذف المصدر E_1 وتوصيل المصدر E_2
4. قم بقياس التيارات I_1'', I_2'', I_3''
5. احسب التيارات الثلاثة I_1, I_2, I_3 بجمع التيارين لكل فرع.
6. قارن بين القيم النظرية والعملية.