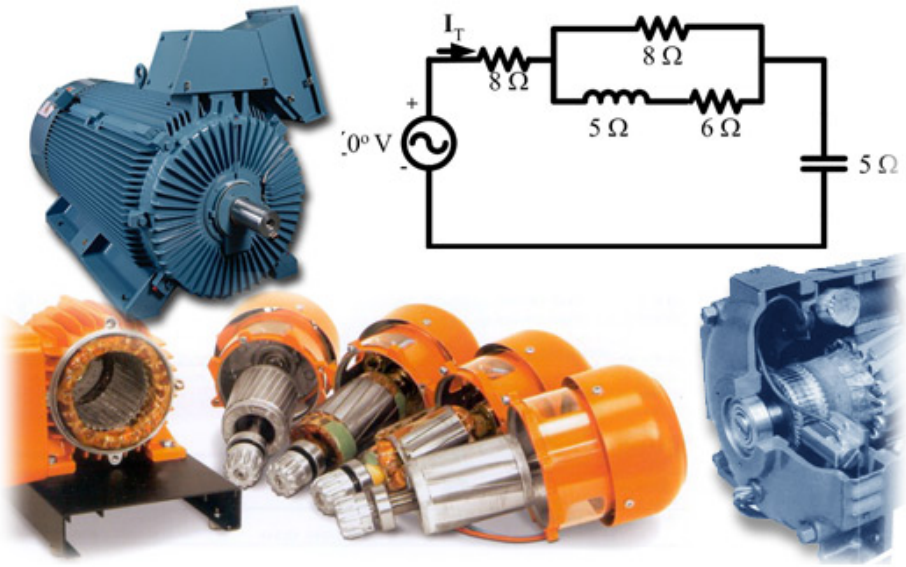
المملكة العربية السعودية
المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني
الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

آلات ومعدات كهربائية

دوائر وقياسات كهربائية- ١

١٣١ كهر



جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

مقدمة

الحمد لله وحده، والصلاة والسلام على من لا نبي بعده، محمد وعلى آله وصحبه، وبعد:

تسعى المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني لتأهيل الكوادر الوطنية المدربة القادرة على شغل الوظائف التقنية والفنية والمهنية المتوفرة في سوق العمل، ويأتي هذا الاهتمام نتيجة للتوجهات السديدة من لدن قادة هذا الوطن التي تصب في مجملها نحو إيجاد وطن متكامل يعتمد ذاتياً على موارده وعلى قوة شبابه المسلح بالعلم والإيمان من أجل الاستمرار قدماً في دفع عجلة التقدم التنموي: لتصل بعون الله تعالى لمصاف الدول المتقدمة صناعياً.

وقد خطت الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج خطوة إيجابية تتفق مع التجارب الدولية المتقدمة في بناء البرامج التدريبية، وفق أساليب علمية حديثة تحاكي متطلبات سوق العمل بكافة تخصصاته لتلبي متطلباته ، وقد تمثلت هذه الخطوة في مشروع إعداد المعايير المهنية الوطنية الذي يمثل الركيزة الأساسية في بناء البرامج التدريبية، إذ تعتمد المعايير في بنائها على تشكيل لجان تخصصية تمثل سوق العمل والمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني بحيث تتوافق الرؤية العلمية مع الواقع العملي الذي تفرضه متطلبات سوق العمل، لتخرج هذه اللجان في النهاية بنظرة متكاملة لبرنامج تدريبي أكثر التصاقاً بسوق العمل، وأكثر واقعية في تحقيق متطلباته الأساسية.

وتتناول هذه الحقيبة التدريبية " دوائر وقياسات كهربائية -١ " لمتدربي قسم" آلات ومعدات كهربائية " للكليات التقنية موضوعات حيوية تتناول كيفية اكتساب المهارات اللازمة لهذا التخصص.

والإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج وهي تضع بين يديك هذه الحقيبة التدريبية تأمل من الله عز وجل أن تسهم بشكل مباشر في تأصيل المهارات الضرورية اللازمة، بأسلوب مبسط يخلو من التعقيد، وبالاستعانة بالتطبيقات والأشكال التي تدعم عملية اكتساب هذه المهارات.

والله نسأل أن يوفق القائمين على إعدادها والمستفيدين منها لما يحبه ويرضاه: إنه سميع مجيب الدعاء.

الإدارة العامة لتصميم وتطوير المناهج

تمهيد

يمكن تعريف الكهروستاتيكية كدراسة للظواهر(أى القوى والمجالات) الناتجة عن وجود نقط مشحونة ساكنة أو وجود شحنات ساكنة موزعة على مساحة سطحية أو شحنات ساكنة موزعة في حجم معين . وهناك دلائل على أن الظواهر الأولية للكهرباء الساكنة كانت معروفة منذ حوالى ٦٠٠ سنة قبل الميلاد . فمن هذه الظواهر إمكان التقاط بعض الأشياء الخفيفة (مثل الفتل أو الشعر أو الورق) بواسطة قضيب من الكهرمان أو الزجاج بعد حكه بقطعة من القماش أو الجلد. وبما أن هذه الظاهرة قد عرفت في بادئ الأمر في مادة الكهرمان لذلك فقد سميت بالكهرباء (في اللغة اليونانية كهرمان =Electron ومن ثم جاءت كلمة Electricity) .

تتناول هذه الحقيبة أهم الموضوعات المتعلقة بأساسيات الهندسة الكهربائية . وتحتوى الحقيبة على ثلاث وحدات أساسية ، فالوحدة الأولى التي تحتوي على أربعة فصول تختص بدراسة الكهروستاتيكية ، والوحدة الثانية التي تحتوي على أربعة فصول أخرى تختص بدراسة دوائر التيار المستمر ، أما الوحدة الثالثة التي تحتوي على فصلين فنستعرض فيها دراسة أساسيات قياس التيار المستمر.

يتناول الفصل الأول دراسة المجال الكهربائي فتم تقديم التعريفات والفروض الأساسية ودراسة العلاقات والقوانين المهمة مثل قانون كولوم وطرق حساب شدة المجال الكهربي مع التوضيح بأمثلة متنوعة. أما الفصل الثانى فيتناول دراسة الجهد الكهربي ويحتوي على دراسة فرق الجهد بين نقطتين وفرق الجهد داخل وخارج كرة مشحونة وكذلك السطوح متساوية الجهد . أما الفصل الثالث فيختص بدراسة المكثفات وطرق حساب السعة للمكثفات الكروية والمكثفات ذات الألواح المتوازية ، بالإضافة إلى طرق توصيل المكثفات على التوالي والتوازي وكذلك طرق حساب الطاقة المختزنة في المكثفات مع إيضاح ذلك بأمثلة متنوعة. وفي الفصل الرابع الذي يشمل البطاريات والتى هي عبارة عن مجموعة من الخلايا الكهربائية ، فقد تم شرح النوعين الأساسيين لهذه الخلايا وهما الخلايا الابتدائية والخلايا الثانوية ، كما تم شرح الطرق المختلفة لتجميع البطاريات مع توضيح ذلك بأمثلة محلولة.

يهتم الباب الخامس بالتعريفات الآساسية للكميات الكهربائية مثل شدة التيار وفرق الجهد والمقاومة وكذلك يتناول دراسة العلاقات الهامة المستخدمة في دوائر التيار المستمر مثل قانون أوم وطرق حساب القدرة والطاقة الكهربائية. والفصل السادس يختص بدراسة العلاقات والقوانين المهمة المستخدمة

في توصيل الدوائر الكهربائية على التوالي للتيار المستمر مثل قانون كيرشوف للجهد وقاعدة توزيع الجهد مع توضيح ذلك بأمثلة متنوعة. أما الفصل السابع فيهتم بدراسة توصيل وحل الدوائر على التوازي بما فيها الدوائر المفتوحة ودوائر القصر وكذلك شرح العلاقات والقوانين الخاصة بها مثل قانون كيرشوف للتيار وقاعدة توزيع التيار ، وقد تم شرح ذلك بأمثلة عديدة توضيحية. ويشمل الفصل الثامن أمثلة متنوعة لطرق حساب الكميات الكهربية المختلفة في حالة توصيل الدوائر الكهربائية على التوالي والتوازي معا.

الفصل التاسع يتناول التعريفات الأساسية المستخدمة في القياسات الكهربائية للتيار المستمر وكذلك أخطاء القياس المختلفة وطرق تجنب هذه الأخطاء. أما الفصل العاشر فيتناول شرح الأجهزة المختلفة المستخدمة في قياسات التيار المستمر مثل الجلفانوميتر ومقياس التيار ومقياس فرق الجهد ومقياس المقاومة وكذلك طرق معايرة بعض هذه الأجهزة مثل معايرة جهازي الأميتر والفولتميتر ، كما يشتمل على أمثلة توضيحية مختلفة.

دوائر وقياسات كهربائية – 1

الكهروستاتيكية

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة: معرفة وفهم أساسيات وطرق حساب المجالات الكهروستاتيكية ، با لإضافة إلى فهم المكثفات والبطاريات وطرق حساب السعة للمكثفات المختلفة.

الأهداف:

عند اتمام دراسة هذه الوحدة يكون لدى الطالب القدرة على معرفة وفهم :

(١)التعريفات والفروض الأساسية مثل خطوط القوى والفيض الكهربى وطرق حساب كل من القوة بين شحنتين (قانون كولوم) وشدة المجال الكهربى.

(٢)طرق حساب فرق الجهد بين نقطتين وكذلك فرق الجهد داخل وخارج كرة مشحونة.

(٣)المكثفات وطرق حساب السعة للمكثفات الكروية والمكثفات ذات الألواح المتوازية بالإضافة إلى طرق ق توصيل المكثفات وكذلك حساب الطاقة المختزنة فى المكثف.

(٤)انواع البطاريات المختلفة وطرق تجميع هذه البطاريات.

مستوى الأداء المطلوب: أن يصل المتدرب إلى اتقان هذه الوحدة بنسبة ٨٠٪ .

الوقت المتوقع للتدريب: ١٠ ساعات

الفصل الأول

المجال الكهربائي

المجال الكهربائى هو المنطقة المحيطة بالشحنة التى يظهر فيها أثر هذه الشحنة . ويظهر أثر الشحنة على صورة قوة على أية شحنة أخرى توضع فى هذا المجال. والمجال الكهربائى هو أحد مجالات القوى أى تلك التى يظهر فيها أثر المجال على شكل قوة جذب أو طرد. ومن أمثلة مجالات القوى المجال المغناطيسى ومجال الأرض . ولقد وضع العلماء بعض الفروض الأساسية التى يمكن بواسطتها تفسير الظواهر المختلفة للمجال .

الشحنة الكهربائية :

إن الأجسام الطبيعية المحيطة بنا تكون عادة متعادلة رغم أنها تتكون من جسيمات تحتوى على شحنات كهربائية (الكترونات وبروتونات) ، وهذا نتيجة لكون الشحنة الموجبة التى تحملها نواة الذرة تكون مساوية تماماللشحنة السالبة التى يحملها الكترونات هذه الذرة . ويكتسب الجسم شحنة كهربائية عندما تصبح الشحنتان الموجبة والسالبة فى الجسم – أو فى جزء منه - غير متساويتين . ويتم ذلك نتيجة لبعض العمليات مثل:

الإحتكاك .

الحث الكهربى .

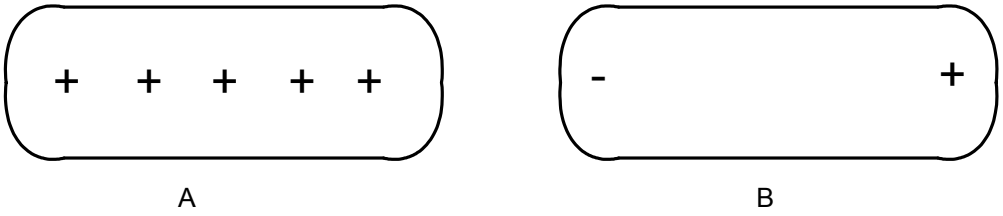
الشحن الكهربى .

بعض العمليات الكيميائية .

وفى جميع هذه العمليات السابقة يكون الشحن عن طريق انتقال الشحنات السابقة فقط (الالكترونيات) أى أن الجسم يكتسب شحنة سالبة عند إضافة الكترونيات إليه ويكتسب شحنة موجبة عند سحب الكترونيات منه .

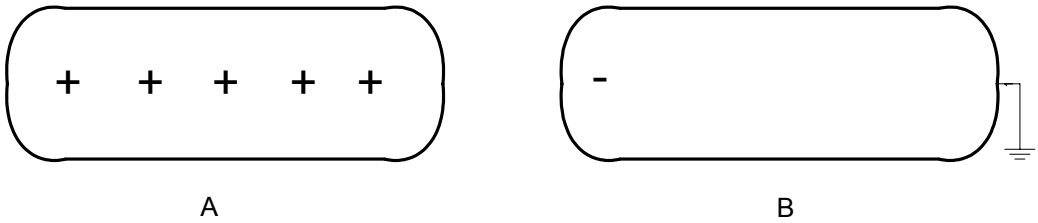
الحث الكهربائي : (Electrostatic Induction)

عند تقريب جسم A مشحون بشحنة موجبة من جسم آخر عازل (شكل ١ -١) فإننا نجد أن شحنة سالبة تتكون على طرف الجسم B القريب من الجسم A ، بينما تتكون شحنة موجبة مساوية لهاعلى الطرف البعيد من الجسم B.



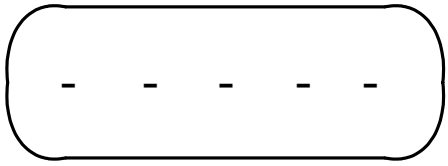
شكل (١ -١)

تسمى هذه الظاهرة بظاهرة الحث الكهربى ، وتسمى الشحنة الموجودة على الجسم A بالشحنة الحاثة والشحنة التى نتجت على الجسم B بالشحنة المستحثة . ونلاحظ هنا أن الشحنة المستحثة السالبة الموجودة على الطرف B القريب من A مقيدة بالشحنة الحاثة الموجبة الموجودة على الجسم A . وعلى العكس ، فإن الشحنة المستحثة الموجبة البعيدة عن A هى شحنة حرة . فلو أننا وصلنا طرف B البعيد بالأرض كما فى شكل (١ -٢) فإن الشحنة على هذا الطرف تتسرب إلى الأرض بينما تظل الشحنة السالبة القريبة من الجسم A موجودة على B حيث أنها مقيدة بالشحنة الحاثة على A .



شكل (١ -٢)

نفرض الآن أن الجسم B قد عزل عن الأرض مرة أخرى ثم أبعد عن الجسم A . عندئذ تتحرك الشحنة المستحثة السالبة الموجودة على الجسم B وتنتشر عليه كله ، وبذلك يكون قد تم شحن الجسم B عن طريق الحث (شكل(١ -٣)) .



B

شكل (١ -٣)

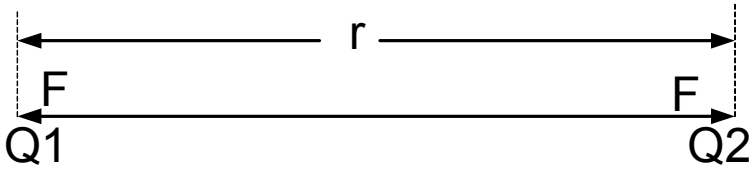
القوة بين شحنتين (قانون كولوم) :

فى عام ١٧٨٥ قام العالم الفرنسى شارل أوجستين دى كولوم بسلسلة من التجارب أسفرت عن الحقائق التالية:

١.إذا وضعت شحنتان فى الفراغ (أو الهواء) بينهما مسافة محدودة تتولد بينهما قوة تجاذب إذا كانتا مختلفتين وقوة تنافر إذا كانتا متشابهتين

٢..يتناسب مقدار هذه القوة تناسبا طرديا مع حاصل ضرب الشحنتين وعكسيا مع مربع المسافة بينهما كما موضح فى شكل (١ -٤)، اى أن

$$F = K\frac{Q_1\,Q_2}{r^2} \qquad \textbf{(1.1)}$$



شكل (١ -٤)

حيث F مقدار القوة بين الشحنتين Q_2 و Q_1 و r تمثل المسافة بينهما ، K هو ثابت التناسب وهو يعتمد على نظام الوحدات المستخدمة وعلى الوسط الذى تتواجد فيه الشحنات .

نلاحظ فى العلاقة (١,١) أن وحدات الطرف الأيسر هى وحدة قوة (نيوتن) بينما وحدات الطرف الأيمن هى مربع وحدة الشحن على مربع وحدة الأطوال . ولكى تكون الأبعاد على جانبى المعادلة متطابقة فإن الشحنة الكهربية يجب أن تكون كمية أساسية مثل الطول والكتلة والزمن ، ووحدتها هى الكولوم .

ويمكن بالتالى تعريف الكولوم (وحدة الشحن) كما يلى :

الكولوم هو مقدار الشحنة التى إذا وضعت فى الفراغ على بعد متر واحد من شحنة مشابهة لها فإنه تتولد بين الشحنتين قوة تنافر مقدارها 9×10^9 نيوتن . وهذا يعنى عندما :

$Q_1 = Q_2 = 1$ Coulomb (C) , $r = 1$ meter

لذلك فإن :

$F = 9 \times 10^9$ Newton (N)

وبالتعويض فى المعادلة (١,١) نحصل على:

$K = 9 \times 10^9$ Nm2 / C2

وقد لوحظ عند وضع الشحنتين فى أى وسط غير الفراغ أن مقدار القوة بينهما يقل. ولذلك أمكن القول بأن كل وسط له ثابت معين يتناسب عكسيا مع القوة المتولدة ، ويسمى هذا الثابت بسماحية الوسط ويرمز له بالرمز ϵ_0 للفراغ وفى نظام م . ك . ث (متر . كيلوجرام . ثانية) الدولى يرتبط الثابت ϵ_0 بالثابت K بالعلاقة :

$$\epsilon_0 = 1 / 4 \pi K$$

وبذلك تصبح المعادلة (١,١) كالآتى :

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4 \pi \varepsilon_0 r^2} \qquad N \qquad (1.2)$$

حيث

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9} = 8.854 \times 10^{-12} \qquad C^2 / N.m^2$$

وبالتالى يمكن الحصول على قانون كولوم لأى وسط كالآتى :

$$F = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi \varepsilon_0 \varepsilon_r r^2} \qquad \text{N} \qquad (1.3)$$

حيث ϵ_r هو ثابت يعتمد على الوسط ويسمى السماحية النسبية ، وللهواء تكون $\epsilon_r = 1$. حيث أن العلاقة بين ϵ_r و ϵ_0 تأحذ الصورة الآتية :

$$\epsilon = \epsilon_0 \ \epsilon_r$$

حيث ϵ هو سماحية أى وسط آخر غير الفراغ .

مما سبق نرى أن القوة الكهربية التى تعانيها شحنة ما نتيجة لتواجد شحنة ثانية على بعد r منها هى كمية متجهة أى تتحدد بمقدارها واتجاهها ، وإتجاه هذه القوة هو إتجاه الخط المستقيم الواصل بين الشحنتين كما موضح فى شكل (١ -٤).

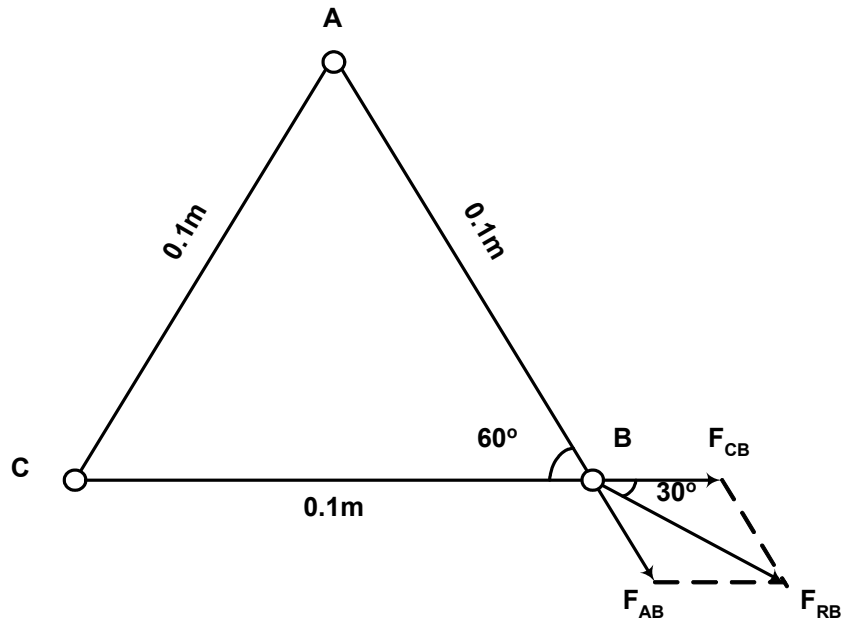
مثال (١ -١) :

وضعت ثلاث شحنات متماثلة قيمة كل منها 10×10^{-6} C عند رؤس مثلث متساوى الأضلاع ، والذى طول ضلعه ١٠ cm ، إحسب القوة المؤثرة على كل شحنة. اعتبر الوسط هواء.

الحل

نظرا لأن الشحنات متماثلة فإن القوى بينها تكون قوى تنافر وسوف تتنافر كل شحنة بقوة تنافر تقع

على امتداد الضلع الواصل بينهما ، فتكون F_{AB} فى شكل (١ -٥) هى قوة التنافر بين كل من الشحنتين عند A و B وتكون F_{CB} هى قوة التنافر بين كل من الشحنتين عندB و C، وكل منهما على امتداد الضلع المناظر ، باستخدام متوازى أضلاع القوى نحصل على محصلة هاتين القوتين F_{RB} .



شكل (1-5)

باستخدام المعادلة (1.3) للحصول على القوتين F_{AB} و F_{CB} :

$$F_{AB} = F_{CB} = \frac{10 \times 10^{-6} \times 10 \times 10^{-6}}{4\pi \times 8.854 \times 10^{-12} \times 1 \times (0.1)^2} = \frac{10^4}{4\pi \times 8.854} = 89.7 \quad N$$

وبالتالى نحصل على القوة المحصلة F_{RB}

$$F_{RB} = 2\, F_{AB} \times \cos 30 = 2 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \times 89.7 = 155.37 \qquad N$$

مثال (1-2):

وضعت شحنتان قيمة كل منهما 0.1 μc عند ركنين متقابلين من مربع طول ضلعه 0.1m ما هى قيمة الشحنة الإضافية التى يجب أن توضع عند كل من ركنى المربع الأخريين وذلك لكى تنعدم القوة المؤثرة على كل من الشحنتين المعلومتين ؟

الحل

نفرض أن قيمة كل من الشحنتين المطلوب وضعهما عند كل من ركنى المربع الأخريين B و D هى

q coulomb كما موضح فى شكل (1-6) ، بينما تكون الشحنتان الأصليتان موضوعتين عند الركنين A و C كما موضح بنفس الشكل. وتوجد قوة تنافر بين كل من الشحنتين عند A و C هى القوة F_{AC} والتى يمكن حسابها كالآتى :

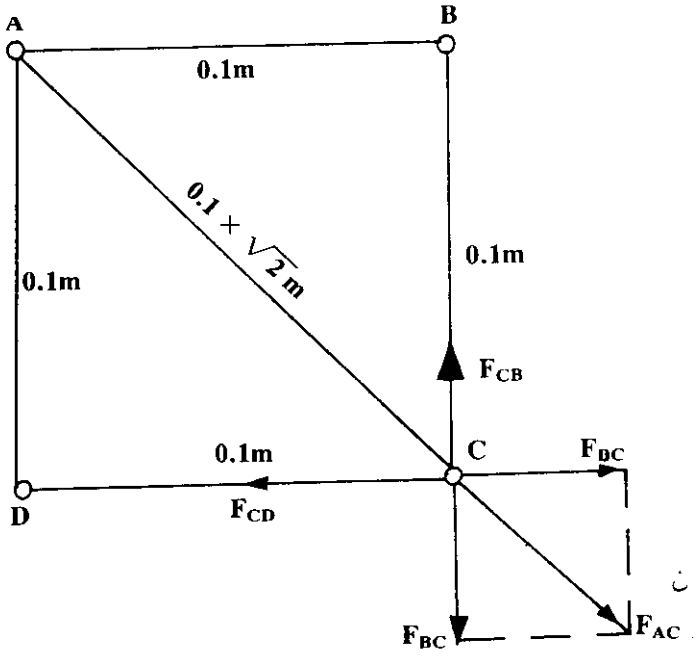
$$F_{AC} = \frac{0.1\times10^{-6}\times0.1\times10^{-6}}{4\pi\times8.854\times10^{-12}\times1\times(0.1\times\sqrt{2})^2} = 4.485\times10^{-3} \quad N$$

$$= 4.575 \times10^{-4} \quad kg\ .\ wt.$$

حيث أن

(9.81 Newton = 1 kg . wt.)

يكون لقوة التنافر F_{AC} مركبتين F_{DC} و F_{BC} كما هو مبين بالشكل . ولذلك يجب وضع شحنتين مخالفتين q- و q عند كل من الركنين B و D بحيث تتعادل قوة الجذب F_{CB} مع قوة التنافر F_{BC} وتتعادل قوة الجذب F_{CD} مع قوة التنافر F_{DC} . وبالتالى نحصل على :



شكل (1-6)

$$F_{CD} = F_{DC} = \frac{F_{AC}}{\sqrt{2}} = 3.23\times10^{-4} \quad kg.\ wt$$

وتحسب القوة F_{CD} حسب قانون كولوم كالآ تى :

$$F_{CD} = \frac{q\times0.1\times10^{-6}}{4\pi\times8.854\times10^{-12}\times1\times(0.1)^2\times9.81} \quad kg.\ wt.$$

وبالتالى نحصل على الشحنة q كالآتى :

$$q = \frac{4\pi \times 8.854 \times 10^{-12} \times 1 \times (0.1)^2 \times 9.81 \times 3.23 \times 10^{-4}}{0.1 \times 10^{-6}} = 35.26 \times 10^{-9} \quad C$$

مثال (1-3):

وضعت شحنتان مقدارهما $10\ \mu c -$ و $1\ \mu c$ على بعد 5 cm من بعضهما . عين موضع النقطة التى تنعدم عندها القوة على شحنة ثالثة q.

الحل

النقطة المطلوبة تقع على الخط الواصل بين الشحنتين . ونظرا لأن الشحنتين مختلفتان فإن هذه النقطة يجب أن تقع خارج الشحنتين من ناحية الشحنة الصغرى . لنفرض أن النقطة المطلوبة تقع على بعد r من الشحنة $1\ \mu c$ كما موضح فى شكل (1-7) ، فيكون

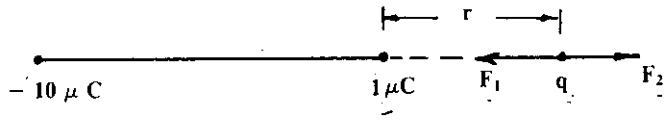
$$F_2 - F_1 = 0$$

أى أن

$$\frac{1\times10^{-6} q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} - \frac{10 \times 10^{-6}\ q}{4\pi\ \varepsilon_0 (r+0.05)^2} = 0$$

ومنها ينتج أن :

$$r = 0.0232 \quad \text{meters}$$



شكل (1-7)

وقد أمكن وضع العلاقات والقوانين التى تصف خواص المجال الكهربائى وصفا جيدا وذلك عن طريق الفروض التى وضعها العلماء والتى بواسطتها يمكن تفسير الظواهر المختلفة للمجال ، وهى كالآتى :

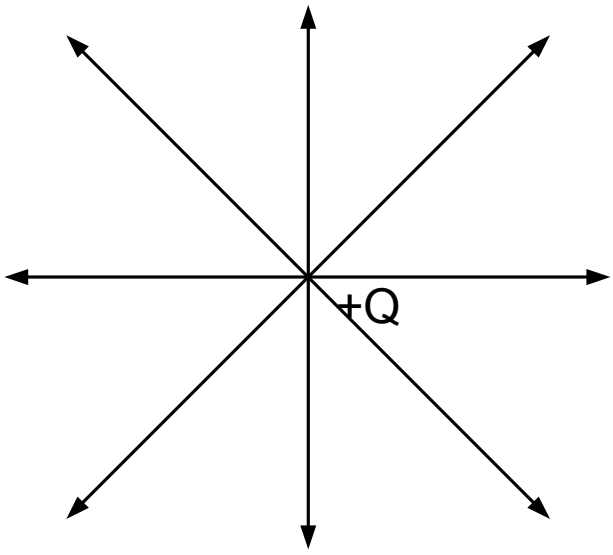
خطوط القوى :

نظرا لأن المجال الكهربى يظهر على شكل قوة تؤثر على الشحنة الكهربائية فإن ذلك يستتبع فرض شكل تخطيطى فى منطقة هذا المجال يبين إتجاه هذه القوة دون مقدارها فى أى نقطة. فالشحنة النقطية مثلا (Point Charge) تظهر خطوط القوى (خطوط الازاحة) حولها على شكل خطوط شعاعية كما موضح فى شكل (1-8) ، ويبين السهم إتجاه القوة. وخطوط القوى الناتجة عن شحنتين متساويتين فى المقدار ومختلفتين فى الإشارة موضحة فى شكل (1-9).، ويجب ملاحظة الآتى :

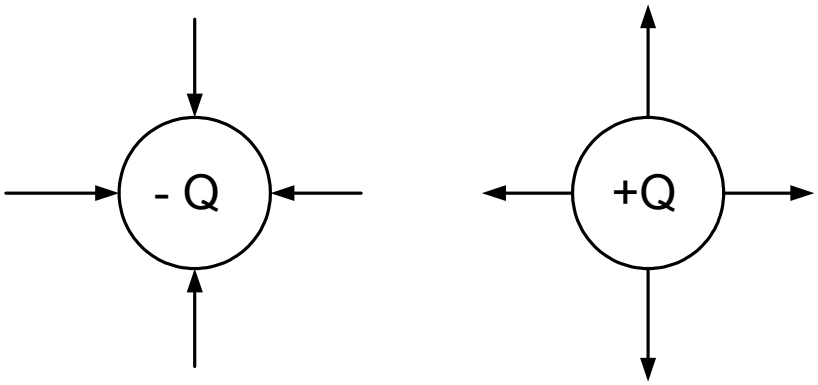
(أ)خطوط القوى هى خطوط وهمية تفرض لتوضيح اتجاه قوة المجال الكهربائى ، واتجاه قوة المجال عند أى نقطة هو إتجاه المماس لخط القوة عند هذه النقطة.

(ب) تنبع خطوط القوى دائما من الشحنة الموجبة وتدخل دائما إلى الشحنة السالبة.

(ج) تخترق خطوط القوى أى سطح موصل فى اتجاه عمودى على هذا السطح.



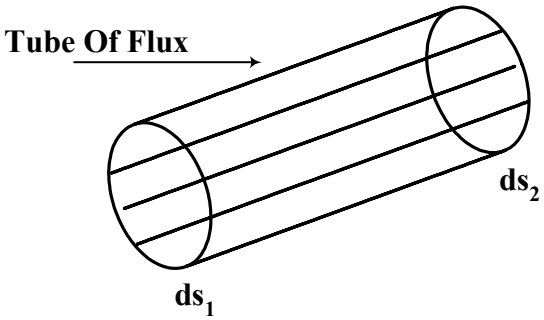
شكل (1-8)



شكل (1-9)

الفيض الكهربى (أنابيب الفيض):

تعرف وحدة أنابيب الفيض بأنها تلك التى تكون الشحنة عند كل من طرفيها عبارة عن وحدة الشحنات. وفى مجموعة الوحدات العملية المنسقة تعرف وحدة أنابيب الفيض بأنها الأنبوبة التى تبدأ عند وحدات شحنات موجبة مقدارها كولوم وتنتهى عند وحدات شحنات سالبة مقدارها كولوم أيضا وتسمى وحدة الأنابيب هذه بأنبوبة فاراداى كما موضح فى شكل (1-10)



شكل (1-10) أنبوبة فاراداي

فإذا كانت الشحنة على موصل مقدارها Q كولوم فإن عدد أنابيب فاراداى التى تبدأ منه أو تنتهى إليه تساوى Q كولوم أيضا . وتسمى أنابيب فاراداى التى تمر من خلال سطح موجود فى مجال كهربى بالفيض الكهربى . ويرمز للفيض الكهربى بالرمز Ψ ، ونظرا لأن الفيض الكهربى (مقاسا بأنابيب فاراداى) يساوى الشحنة بالكولوم عدديا ، وكذلك نجد أن :

$$\Psi = Q \quad \text{coulombs}$$

إذا كانت وحدة أنابيب الفيض تحتوى على عدد معين من خطوط القوى يساوى ε ، حيث ε هى سماحية الوسط المار فيه أنبوبة الفيض ، .فإن عدد خطوط القوى الناتج من شحنة مقدارها Q يساوى $\frac{Q}{\varepsilon}$.

شدة المجال الكهربى (Electric Field Intensity):

يمكن تعريف شدة المجال الكهربى عند نقطة ما هى مقدار القوة المؤثرة على وحدة الشحنات الموجبة الموضوعة عند هذه النقطة . ويحدد اتجاه هذه القوة اتجاه المماس لخط القوة عند هذه النقطة . لذلك فإن وحداتها تكون بالنيوتن لكل كولوم (N/C) ، فإذا وضعت شحنة مقدارها Q كولوم عند نقطة ما فى

مجال كهربى وكانت القوة المؤثرة عليها هى F نيوتن فإن شدة المجال الكهربى عند هذه النقطة ، E تكون :

$$E = \frac{F}{Q}\ (N/C) \qquad (1.4)$$

ويمكن الحصول على شدة المجال الكهربى عند نقطة تبعد مسافة r (متر) عند شحنة مركزة فى نقطة (Point Charge) ومقدارها Q كولوم باستخدام قانون كولوم على النحو التالى :

إذا تصورنا وجود وحدة شحنات موجبة عند النقطة المطلوب إيجاد شدة المجال الكهربى عندها ، نجد أن القوة المؤثرة على هذه الوحدة هى :

$$F = \frac{Q \times 1}{4\pi\varepsilon_0\ \varepsilon_r \times r^2} \qquad N$$

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_r\ r^2} \qquad N/C \qquad (1.5)$$

أو

$$E = \frac{9\times10^9 \times Q}{\varepsilon_r\ r^2} \qquad (N/C) \quad or \quad V/m \qquad (1.6)$$

حيث ϵ_0 الثابت الكهربى ، ϵ_r هى سماحية الوسط . هذا ويمكن تعريف شدة المجال الكهربى عند نقطة بأنها تساوى عدديا خطوط القوى التى تمر عموديا على وحدة المساحات حول هذه النقطة . فبالنسبة للشحنة Q نجد أن عدد خطوط القوى التى تخرج منها عبارة عن Q/ϵ . فإذا كانت هذه الخطوط تسقط عموديا حول النقطة المفروضة على مساحة مقدارها A (m^2) نجد أن :

$$E = \frac{Q/\varepsilon}{A}$$

ولكن $D = Q/A$ ، حيث D هى الإزاحة الكهربية أو هى كثافة أنابيب فاراداى على المساحة المفروضة . وبالتالى فإن شدة المجال E عبارة عن :

$$E = Q / \epsilon A = D / \epsilon = D / \epsilon_0 \epsilon_r \qquad (1.7)$$

مثال(1-4):

عين شدة المجال الكهربى الرأسى الذى يلزم أن يؤثر على إلكترون لكى يمنعه من السقوط فى الهواء . كتلة الالكترون $9.1 \times 10^{-31} Kg$ وعجلة الجاذبية $9.8\ m/s^2$ وشحنة الالكترون $1.6 \times 10^{-19} C$.

الحل

نفرض أن شدة المجال المطلوب هى E ، فتكون القوة المؤثرة على الالكترون هى :

١. وزنه (mg):

$$mg = 9.1 \times 10^{-31} \times 9.8$$

٢ . قوة المجال الكهربى :

$$F = E \times e = E \times 1.6 \times 10^{-19}$$

وبمساواة القوتين ينتج :

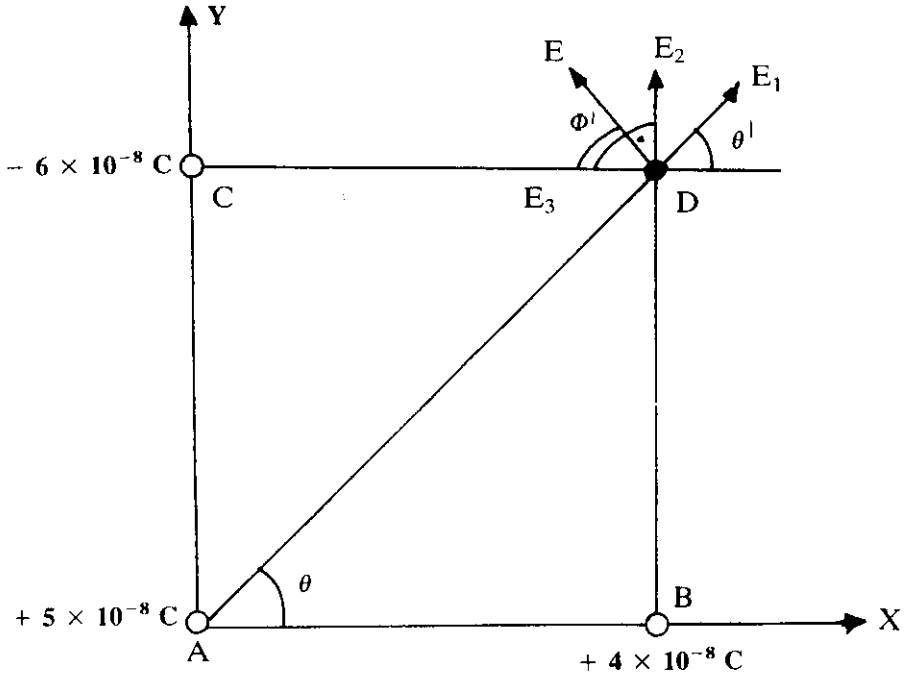
$$E = 5.6 \times 10^{-11} \qquad N/C$$

مثال (1-5) :

وضعت ثلاث شحنات نقطية فى مستوى على النحو التالى :

شحنة مقدارها $5 \times 10^{-8} C$ عند النقطة meters (0 , 0) ، وشحنة مقدارها $4 \times 10^{-8} C$ عند النقطة meters (3, 0) وشحنة مقدارها $-6 \times 10^{-8} C$ عند النقطة meters (0, 4) . عين شدة المجال الكهربى عند النقطة meters (3, 4) .

الحل



شكل (1-11)

يمكن أن نحصل على شدة المجال الكهربى وذلك باستخدام المعادلة (1.6) كما موضح فى شكل (1-11) كالآتى :

$$AD = \sqrt{(3)^2 + (4)^2} = 5 \text{ m}$$

$$E_1 = 9 \times 10^9 \times 5 \times 10^{-8} / 5^2 = 18 \quad V / m$$
$$E_2 = 9 \times 10^9 \times 4 \times 10^{-8} / 4^2 = 22.5 \quad V / m$$
$$E_3 = 9 \times 10^9 \times 6 \times 10^{-8} / 3^2 = 60 \quad V / m$$

وتؤثر شدة المجالات E_1 و E_2 و E_3 فى الاتجاهات الموضحة فى شكل (1-11) ، وبإيجاد مركباتها الأفقية والرأسية :

$$E_x = E_1 \cos\theta - E_3 = 18 \cos 53.3 - 60 = -49.2 \quad V / m$$
$$E_y = E_1 \sin\theta + E_2 = 18 \sin 53.3 + 22.5 = 36.9 \quad V / m$$

وبالتالى نحصل على شدة المجال المحصل E كالآتى :

$$E = \sqrt{(-49.2)^2 + (36.9)^2} = 61.5 \quad V / m$$

وهى تؤثر فى الاتجاه DE بحيث يكون :

$$\tan \Phi = 36.9 / 49.2 = 0.75$$

أى أن

$$\Phi = 36.9^0$$

كثافة الفيض الكهربى (الازاحة الكهربية) :

وهذه عبارة عن الفيض الكهربى العمودى على وحدة المساحات . فإذا مر فيض كهربى عموديا على مساحة مقدارها $A\ (m^2)$ ، وكانت قيمة الفيض Ψ كولوم نجد أن الازاحة الكهربية عبارة عن :

$$D = \frac{\Psi}{A} \quad C / m^2 \qquad (1.8)$$

والعلاقة بين شدة المجال الكهربى E أوالازاحة الكهربية D هى :

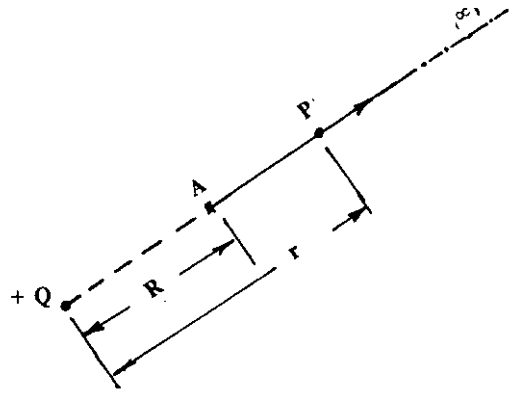
$$D = \epsilon_0 \epsilon_r \ E \square \qquad (1.9)$$

وهذا يعنى أنه فى أى وسط ذى سماحية وسط ϵ_r يكون حاصل ضرب قيمة شدة المجال الكهربى E عند أى نقطة فى سماحية الوسط مساويا لقيمة الازاحة الكهربية عند هذه النقطة. وتكون الازاحة الكهربية D كمية متجهة مثل شدة المجال الكهربى E وتأخذ اتجاهها إلا أن قيمتها تكون مختلفة عن قيمة E .

الفصل الثانى

الجهد الكهربائي

الجهد الكهربى عند نقطة هو مقياس للحالة الكهربية لهذه النقطة . وهو يعطى أيضا مقياسا للطاقة المختزنة فى المجال حتى هذه النقطة . يعرف جهد أى نقطة بأنه يساوى الشغل المبذول على وحدة الشحن النقطية الموجبة الذى يلزم بذله ضد قوى المجال لاحضار هذه الشحنة من خارج المجال الكهربى حتى موضع النقطة المعنية . ويقصد بالتعبير " خارج المجال الكهربى " المنطقة التى ينعدم فيها المجال الكهربى . لإيجاد الجهد الكهربى عند نقطة A تبعد مسافة R عن شحنة نقطية موجبة Q كما موضح فى شكل (2 -1) . باتباع تعريف الجهد ، فإن المجال الكهربى عند أى نقطة عامة مثل P تبعد مسافة r عن الشحنة Q هو :



شكل (2-1)

$$E = \frac{Q}{4\pi\varepsilon r^2} \qquad (2.1)$$

ويمتد هذا المجال نظريا حتى قيمة r تساوى مالانهاية وهى المنطقة التى ينعدم فيها المجال . وعلى ذلك فإن جهد النقطة A تبعا للتعريف هو V_A حيث :

$$V_A = \int_{r=\infty}^{r=R} -E.\ dr$$

والإشارة السالبة وضعت لأن الشغل ضد قوة المجال ، ونظرا لأن E منطبقة على dr كما موضح فى شكل (2-1) فإن المعادلة تصبح :

$$V_A = \int_{r=\infty}^{r=R} - \frac{Q}{4\pi\varepsilon r^2} \, dr$$

أى أن

$$V_A = \left[\frac{Q}{4\pi\varepsilon r}\right]_{r=\infty}^{r=R} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon R} \qquad (2.2)$$

ويلاحظ أن الجهد كمية قياسية ليس لها اتجاه . ويسمى V_A بالجهد المطلق للنقطة A .

فرق الجهد (Potential Difference) :

لو انتقلت وحدة الشحن النقطية الموجبة من نقطة فى المجال مثل B إلى نقطة أخرى مثل A فإن الشغل المبذول فى هذا الانتقال ضد قوة المجال هو الفرق فى الجهد بين النقطة A والنقطة B . فإذا كانت قيمة هذا الشغل المبذول موجبة فإن جهد A يصبح أعلى من B ، وعلى العكس إذا كانت قيمة هذا الشغل سالبة فإن جهد B يصبح أعلى من A . أى أن :

$$V_{A-B} = V_A - V_B = \int_B^A -E \, .dr$$

ونحسب فرق الجهد بين النقطتين A و B (حيث أن النقطة A تبعد مسافة r_A عن الشحنة Q والنقطة B تبعد مسافة r_B عن الشحنة Q) كالآتى :

$$V_{A-B} = V_A - V_B = \int_{rB}^{rA} - \frac{Q}{4\pi\varepsilon r^2} \, dr = \left[\frac{Q}{4\pi\varepsilon r}\right]_{rB}^{rA}$$

$$V_{A-B} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon}\left[\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B}\right] \qquad (2.3)$$

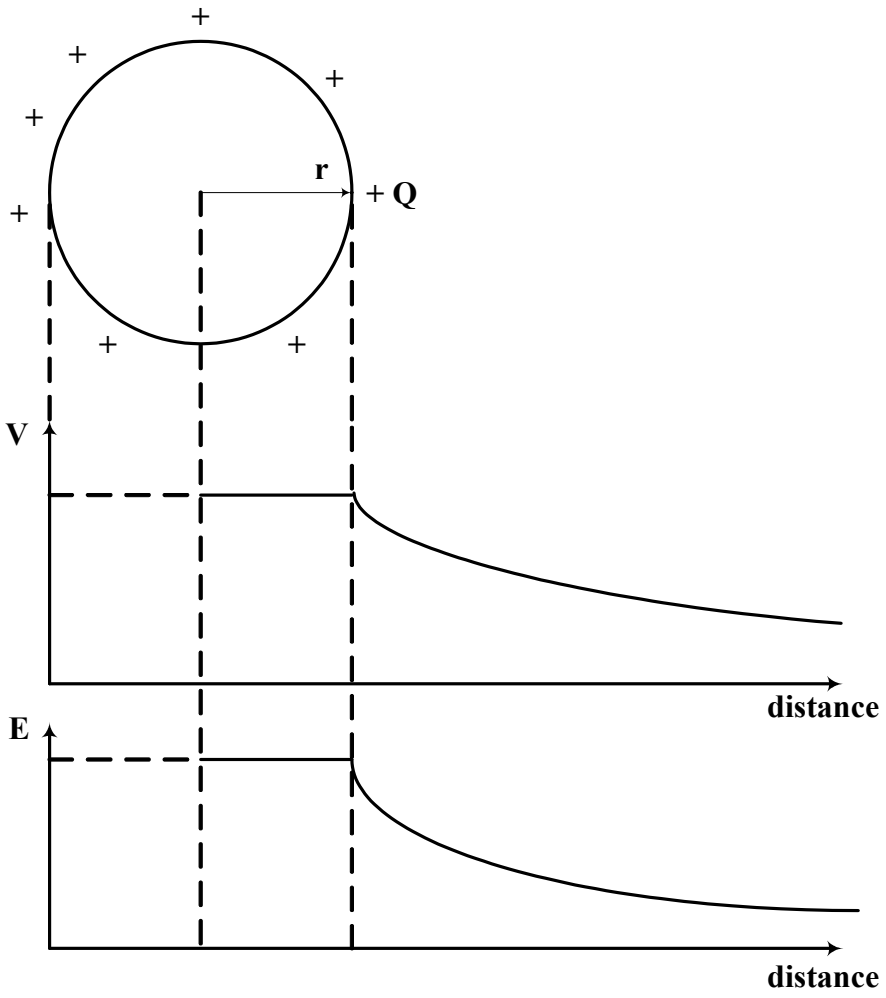
وهو كمية موجبة ، أى أن جهد A أعلى من جهد B . ونلاحظ أنه فى المعادلة السابقة (2.3) لو وصلت B إلى اللانهاية نحصل على الجهد المطلق للنقطة A المعطى بالمعادلة (2.2) .

وإذا كان المجال عند نقطة معينة ناتج عن عدة شحنات Q_1 و Q_2 و Q_3 و ..... Q_n وكانت المسافة بين هذه الشحنات وهذه النقطة على الترتيب هى r_1 و r_2 و r_3 و ..... r_n فإن الجهد عند هذه النقطة يعطى بالمعادلة :

$$V = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left(\frac{Q_1}{r_1} + \frac{Q_2}{r_2} + \frac{Q_3}{r_3} + ... + \frac{Q_n}{r_n}\right) = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\sum_n \frac{Q_n}{r_n} \qquad (2.4)$$

جهد الكرة : (Potential of a Sphere)

عندما تكون الكرة جوفاء بالنسبة للكرة المشحونة بشحنة Q+ نجد أن الجهد متساوى عند أى نقطة داخلها وكذلك شدة المجال الكهربى ، بينما يتناسب عكسيا مع المسافة خارجها كما موضح فى شكل (2-2)وذلك بالنسبة للكرة المفرغة من الداخل أو الخالية وهى التى يطلق عليها قشرة كروية .



شكل (2-2)جهد الكرة

الجهد وشدة المجال داخل كرة مادة موصلة :

لقد وجد بالتجربة أنه إذا اكتسب أى جسم موصل شحنة كهربية فإنها تستقر على سطحه الخارجى ، ففى حالة الجسم الذى على شكل كرة سواء كانت هذه الكرة مصمتة أو جوفاء فإن الشحنة تستقر على السطح الخارجى ، وعلى ذلك نجد فى هذه الحالة أن :

١. الفيض الكهربى داخل الكرة يساوى صفرا $\Psi = 0$

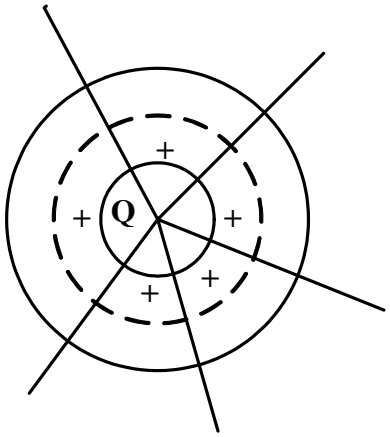
٢. شدة المجال الكهربى داخل الكرة تساوى صفرا .

٣. جميع النقط داخل الكرة لها نفس الجهد الموجود على سطح الكرة .

٤. الشحنة داخل الكرة تساوى صفرا .

السطوح متساوية الجهد : (Equipotential Surfaces)

يكون السطح متساوى الجهد عندما يكون الجهد ذا قيمة واحدة عند جميع النقط على هذا السطح ويسمى سطح متساوى الجهد ، وتكون السطوح المحيطة بكرة مشحونة خارجها متساوية الجهد كما موضح فى شكل (2-3).



شكل (2-3) السطوح متساوية الجهد

يتضح مما سبق أن المجال الكهربى يتميز برسم تخطيطى يحتوى على :

(أ)خطوط القوى ، وهى تبين اتجاه قوى المجال .

(ب)سطوح الجهد المتساوى ، وهى تبين المحلات الهندسية فى الفراغ ذات الجهد المتساوى . وتقطع خطوط القوى دائما سطوح الجهد المتساوى على التعامد .

مثال (2-1) :

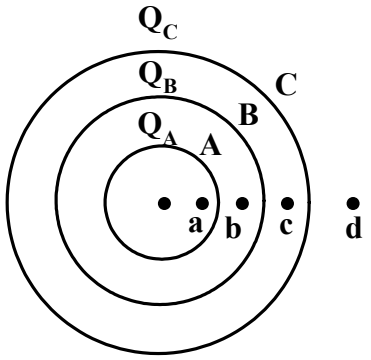
ثلاث كرات معدنية متحدة المركز أنصاف أقطارها 4 cm و 6 cm و8 cm وتحمل شحنات 8+ pc و 6– pc و 4 pc على الترتيب . أوجد الجهد وشدة المجال الكهربى عند النقاط التى تبعد عن المركز 2 cm و 5 cm و 7 cm و 10 cm .

الحل

يوضح شكل (2-4) الكرات بشحناتها والنقاط a و b و c و d على الأبعاد المطلوبة من المركز .

يجب قبل حل هذا المثال ملاحظة الآتى :

١. أن شدة المجال الكهربى خارج الكرة نحصل عليها باعتبار أن الشحنة مركزة عند مركزها .
٢. أن شدة المجال الكهربى داخل الكرة يساوى صفرا .
٣. أن الجهد الكهربى عند أى نقطة داخل الكرة ثابت ويساوى الجهد الكهربى عند سطحها .



شكل (2-4)

(أ) بالنسبة للنقطة a التى تبعد 2 cm من المركز كما موضح فى شكل (٢ -٤) ، حيث أن هذه النقطة توجد داخل جميع الكرات فإن شدة المجال الكهربى E عند هذه النقطة تساوى صفرا . أى أن $E = 0$.أما بالنسبة للجهد عند a فهو عبارة عن المجموع الجبرى للجهود على السطوح الثلاثة :

$$V_a = \frac{q}{4\,\pi\,\varepsilon_0\,r} = 9\times10^9 \sum\frac{Q}{r}$$

$$= 9\times10^9 \left(\frac{8\times10^{-12}}{0.04} - \frac{6\times10^{-12}}{0.06} + \frac{4\times10^{-12}}{0.08}\right) = 1.35 \ \ V$$

(ب) بالنسبة للنقطة b فنجد أنها خارج الكرة A وداخل كل من الكرتين B و C ولذلك تتحدد شدة المجال الكهربى لها على أساس تركيز شحنة الكرة A عند المركز . أى أن :

$$E_b = \frac{Q_A}{4\,\pi\,\varepsilon_0\,r^2} = 9\times10^9\,\frac{Q_A}{r^2}$$

$$= 9\times10^{9}\times\frac{8\times10^{-12}}{(0.05)^2} = 28.8 \quad V/m$$

$$V_b = 9\times10^{9}\left(\frac{8\times10^{-12}}{0.05}-\frac{6\times10^{-12}}{0.06}+\frac{4\times10^{-12}}{0.08}\right) = 0.99 \quad V$$

(ج) تتحدد شدة المجال الكهربى بالنسبة للنقطة C على أساس تركيز كل من شحنتى الكرتين A و B عند المركز . أى أن :

$$E_c = 9\times10^{9}\left(\frac{8\times10^{-12}}{(0.07)^2}-\frac{6\times10^{-12}}{(0.07)^2}\right) = 3.67 \quad V/m$$

$$V_c = 9\times10^{9}\left(\frac{8\times10^{-12}}{0.07}-\frac{6\times10^{-12}}{0.07}+\frac{4\times10^{-12}}{0.08}\right) = 0.77 \quad V$$

(د) تتحدد شدة المجال الكهربى بالنسبة للنقطة d على أساس تركيز الشحنات الثلاث عند المركز ، أى

$$E_d = 9\times10^{9}\left(\frac{8\times10^{-12}}{(0.1)^2}-\frac{6\times10^{-12}}{(0.1)^2}+\frac{4\times10^{-12}}{(0.1)^2}\right) = 5.4 \quad V/m$$

$$V_d = 9\times10^{9}\left(\frac{8\times10^{-12}}{0.1}-\frac{6\times10^{-12}}{0.1}+\frac{4\times10^{-12}}{0.1}\right) = 0.45 \quad V$$

مثال (2-2):

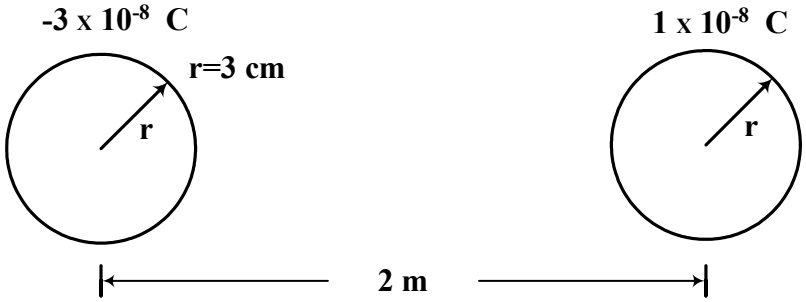
كرتان معدنيتان نصف قطر كل منهما 3 cm وإحداهما تحمل شحنة مقدارها 1×10^{-8} C والأخرى تحمل شحنة مقدارها -3×10^{-8} وكل موزعة بانتظام . فإذا كانت المسافة بين مركزيهما 2 cm ، احسب :

(أ) الجهد الكهربى عند نقطة فى منتصف المسافة بين مركزيهما ، (ب) الجهد الكهربى لكل كرة .

الحل

(أ) سوف نوجد الجهد عند نقطة خارج كرة مشحونة (عند منتصف المسافة بين الكرتين) كما يوضح شكل (2-5) :

$$V = V_1 + V_2$$



شكل (2-5)

حيث الجهد V يمكن حسابه من العلاقة:

$$V = \frac{q}{4 \pi \varepsilon_0 r}$$

تظهر الشحنة وكأنها مركزة فى المركز ويعطى الجهد

$$V_1 = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 10^{-8}}{1} = 90 \qquad V$$

$$V_2 = 9 \times 10^9 \times \frac{-3 \times 10^{-8}}{1} = -270 \qquad V$$

$$V = 90 - 270 = -180 \qquad V$$

(ب)جهد كل كرة : الجهد على سطح كرة موصلة هو جهد متساو ويعطى بالعلاقة :

$$V = \frac{q}{4 \pi \varepsilon_0 R} \qquad V$$

حيث R هو نصف قطر الكرة . ففى حالة الكرة الأولى (شحنة سالبة) يكون الجهد :

$$V_- = 9 \times 10^9 \times \frac{-3 \times 10^{-8}}{3 \times 10^{-2}} = -900 \qquad V$$

وفى حالة الكرة الثانية يكون الجهد :

$$V_+ = 9 \times 10^9 \times \frac{1 \times 10^{-8}}{3 \times 10^{-2}} = 300 \qquad V$$

مثال (2-3) :

مكثف مكون من لوحين معدنيين متوازيين ، وسمكه 0.25 cm وإذا أدخلت طبقة عازلة بين اللوحين لها سماحية نسبية مقدارها 5 وسمكها 0.23 cm ، وبقية المسافة بين اللوحين هواء . وإذا كان فرق الجهد بين اللوحين 2500 V ، إحسب شدة المجال الكهربى و فرق الجهد فى كل من الطبقة العازلة والهواء .

الحل

نفرض أن شدة المجال الكهربى فى الفراغ الهوائى E_1 وداخل العازل هى E_2 و كما موضح فى شكل (2-6) . وشدة المجال الكهربى هذه تساوى فى نفس الوقت معدل انحدار الجهد فى كل منهما ، أى أن

$$E_1 = \frac{V_1}{t_1}$$

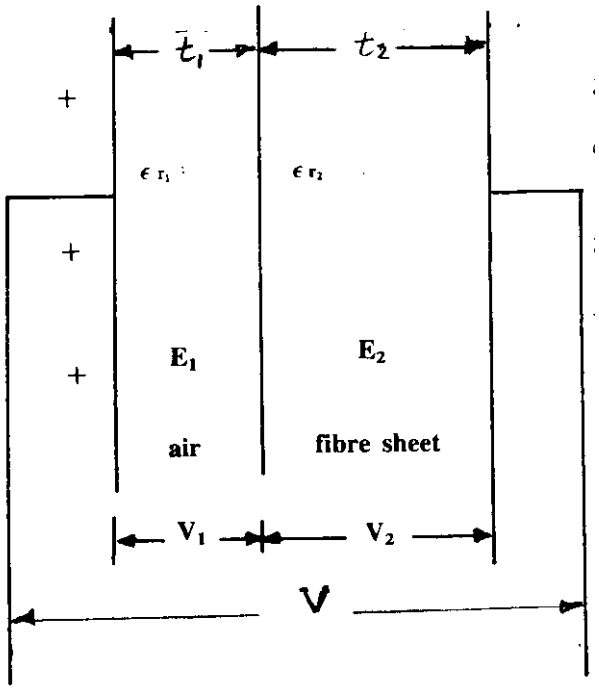
وبالتالى

$$V_1 = E_1 t_1 = 0.02 \times 10^{-2} \; E_1$$

وبالمثل

$$E_2 = \frac{V_2}{t_2}$$

$$V_1 = E_1 t_1 = 0.02 \times 10^{-2} \; E_1$$



شكل (2-6)

وبالمثل

$$V_2 = E_2 t_2 = 0.23 \times 10^{-2} \; E_2 \qquad (2.5)$$

$$V_1 + V_2 = 2500 = 0.02 \times 10^{-2} E_1 + 0.23 \times 10^{-2} \; E_2 \qquad (2.6)$$

وحيث أن الازاحة الكهربية D ثابتة فى الوسطين لأنها لا تتوقف على الوسط المحيط . أى أن :

$$D = \varepsilon_0 \varepsilon_{r1} E_1 = \varepsilon_0 \varepsilon_{r2} \; E_2$$

وبالتالى

$$E_1 = 5\ E_2 \qquad (2.6)$$

بحل المعادلتين (2.5) و (2.6) نحصل على :

$$E_1 = 3.788 \times 10^6 \quad V/m$$

$$E_2 = 0.757 \times 10^6 \quad V/m$$

الفصل الثالث

المكثفات

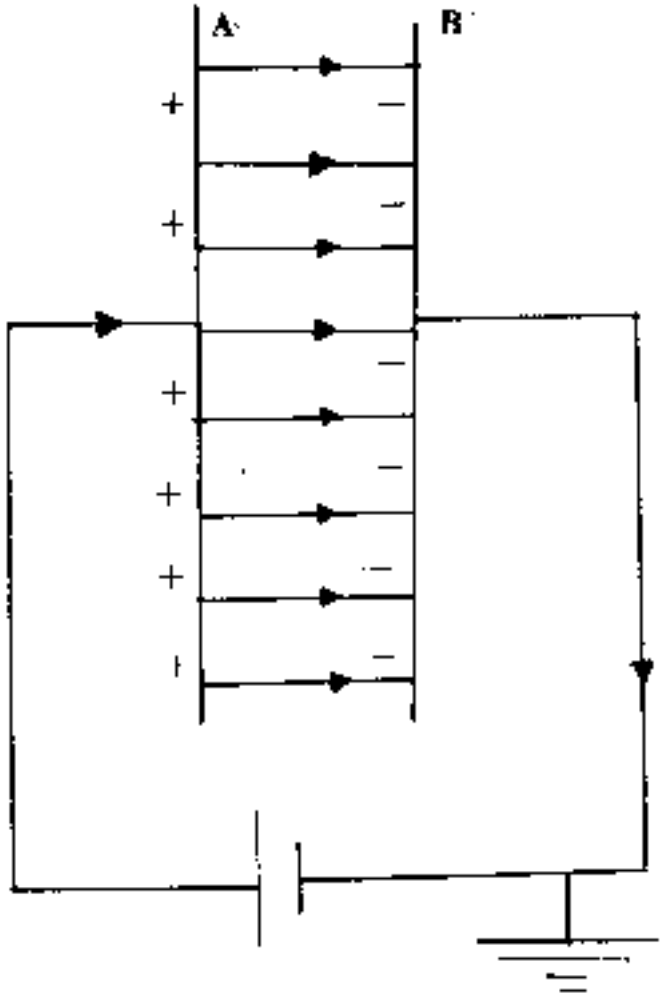
المكثف هو جهاز يستعمل لتخزين الطاقة الكهربائية بفعل الاجهاد الكهروستاتيكى فى المادة العازلة (Electrostatic Stress) . ويتكون المكثف أساسا من سطحين موصلين يفصل بينهما طبقة من مادة عازلة يطلق عليها اسم العازل الكهربى . وسعة المكثف (Capacitance) تعطى مقياسا لقدرة المكثف على اختزان الطاقة عند فرق جهد معين بين سطحيه . وهى تعطى أيضا مقياسا لقدرة المكثف على اختزان الشحنة عند فرق جهد معين .

يبين شكل (3-1) مكثف يتكون من لوحين متوازيين A و B حيث اللوح A موصل مع الطرف الموجب للبطارية واللوح B موصل مع الطرف السالب ، وقد يكون موصلا بالأرض . وقد وجد بالتجربة أنه فى حالة وجود اللوح B وتوصيله بالأرض فإن اللوح A يمكن أن يستوعب شحنة أكبر بكثير من تلك التى يستوعبها عند عدم وجود اللوح B . وعند توصيل اللوحين A و B إلى البطارية يسرى تيار وقتى حيث يتم سحب الالكترونات من اللوح A الذى يصبح موجب التكهرب ، وتضاف هذه الالكترونات إلى اللوح B حيث يصبح سالب التكهرب ، وبذلك يصبح هناك فرقا فى الجهد بين اللوحين A و B يساوى القوة الدافعة الكهربائية للبطارية عندما تتوقف عملية انتقال الالكترونات من اللوح A إلى اللوح B ويتوقف بذلك مرور التيار الوقتى ، الذى يمثل تيار الشحن فى هذه الحالة . ومن الواضح أن تيار الشحن يكون بأكبر قيمة له . بمجرد توصيل اللوحين بطرفى البطارية وقبل أن يكتسبا أى شحنة يتناقص التيار تدريجيا حتى يتوقف تماما ويساوى الصفر عندما يصبح فرق الجهد بين اللوحين مساويا للقوة الدافعة الكهربية للبطارية .

السعة : (Capacitance)

تسمى خاصية قدرة المكثف على اختزان الطاقة الكهربية بالسعة . وتعرف سعة المكثف بأنها كمية الشحنة اللازمة لإيجاد فرق جهد بين لوحيه يساوى الوحدة ، فإذا اكتسب أحد اللوحين فى مكثف شحنة مقدارها Q كولوم ، مما يؤدى إلى جعل فرق الجهد بين طرفيه V فولت فإنه على حسب التعريف السابق تصبح قيمة السعة C بالفاراد عبارة عن :

$$C = Q / V \qquad F \ (Coulomb / Volt) \qquad (3.1)$$



شكل (3-1) مكثف مكون من لوحين متوازيين

ويكون تعريف الفاراد فى هذه الحالة أنه سعة المكثف الذى يصبح فرق الجهد بين لوحيه فولت واحد عندما يكتسب شحنة تساوى كولوم واحد . والفاراد يعتبر وحدة كبيرة جدا من الناحية العملية ولذالك يستعمل عادة الميكروفاراد($1\mu F = 10^{-6} F$) فى تحديد قيمة السعة .

سعة كرة معزولة :

يبين شكل (3-2) كرة معزولة فى الهواء ومشحونة بشحنة مقدارها Q كولوم ونصف قطرها a .

يكون جهد هذه الكرة بالنسبة للأرض عبارة عن :

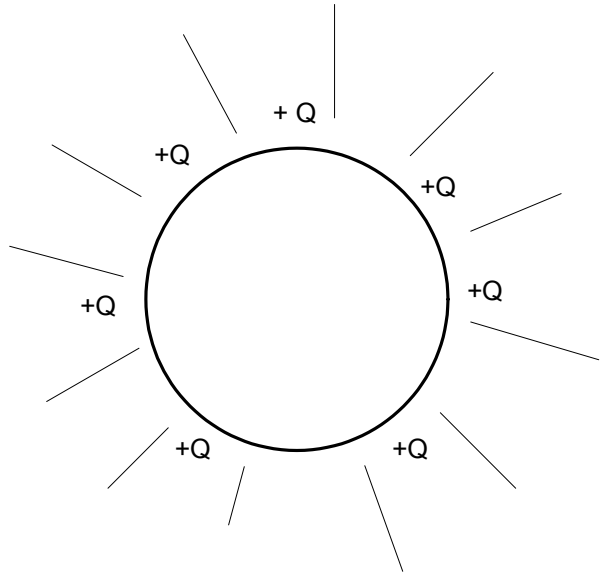
$$V = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 a}$$

ولذلك تكون سعة الكرة فى الهواء هى :

$$C = \frac{Q}{V} = 4\pi\varepsilon_0 a$$

وتكون سعة الكرة فى وسط معامل عزله النسبى ϵ_r :

$$C = 4\pi\varepsilon_0 \varepsilon_r a \qquad (3.2)$$



شكل (3-2) كرة معزولة في الهواء

سعة مكثف كروى :

(أ) سعة مكثف كروى مؤرض سطحه الخارجى :

يوضح شكل (3-3) مكثف كروى يتكون من سطحين كرويين ، ونفرض أن الكرةالداخلية قد تم شحنها بشحنة موجبة مقدارها Q+ فإنها تنشئ بالتأثير شحنة سالبة –على السطح الداخلى للكرة الخارجية ، وشحنة موجبة Q+ على السطح الخارجىلهذه الكرة . عند توصيل الكرة الخارجية بالأرض تتسرب الشحنة الموجبة التىعليها إلى الأرض بينما تبقى الشحنة السالبة التى على سطحها الداخلى . ويصبح جهد الكرة الخارجية مساويا للصفر . جهد الكرة الداخلية V_a بسبب الشحنة الموجبة على سطحها Q+ كولوم عبارة عن :

$$V_a = \frac{Q}{4\pi\varepsilon a} \quad V$$

حيث a هو نصف قطر الكرة الداخلية. ويكون جهد الكرة الداخلية V_b بسبب وجود الشحنة Q- على السطح الداخلى للكرة الخارجية هو :

$$V_b = \frac{-Q}{4\pi\varepsilon b} \qquad (3.3)$$

حيث b هو نصف قطر الكرة الخارجية. ويكون جهد الكرة الداخلية هو :

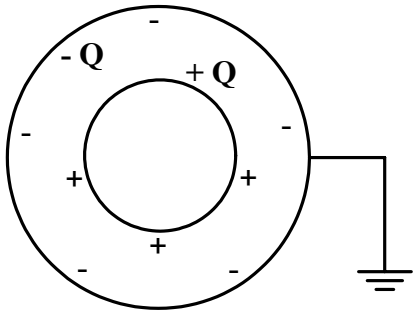
$$V = V_a + V_b = \frac{Q}{4\pi\varepsilon}(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon}(\frac{b-a}{ab}) \qquad (3.4)$$

وتكون السعة C بوحدة الفاراد عبارة عن :

$$C = \frac{Q}{V} = 4\pi\varepsilon\,(\frac{ab}{b-a}) \qquad F \qquad (3.5)$$

حيث أن

$$\varepsilon = \varepsilon_0\,\varepsilon_r$$



شكل (3-3) مكثف كروي مؤرض سطحه الخارجي

(ب) سعة مكثف كروى مؤرض سطحه الداخلى :

نفترض أن أعطيت شحنة موجبة مقدارها Q+ كولوم على سطح الكرة الخارجية من هذا المكثف الموضح فى شكل (3-4) ، فإنها توزع على سطحى الكرة الخارجية بحيث تستقر شحنة مقدارها Q_1 على السطح الداخلى لهذه الكرة وشحنة مقدارهاQ_2 على السطح الخارجى لها بحيث يكون :

$$Q = Q_1 + Q_2 \qquad (3.6)$$

تؤثر الشحنة Q_1 على الكرة الداخلية بحيث يتولد على سطحها الخارجى بالتأثير شحنة مقدارها $-Q_1$ ، وعلى سطحها الداخلى شحنة $Q_1 +$ فتتسرب هذه الشحنة $Q_1 +$ إلى الأرض ، وتبقى الشحنة $-Q_1$ على سطح الكرة الداخلية . فى هذه الحالة يتكون لدينا على هذا النحو مكثفان :

(١) المكثف الأول وسعته C_1 يتكون من السطح الداخلى للكرة A والسطح الخارجى للكرة B . نحصل على C_1 باستخدام المعادلة (3.5):

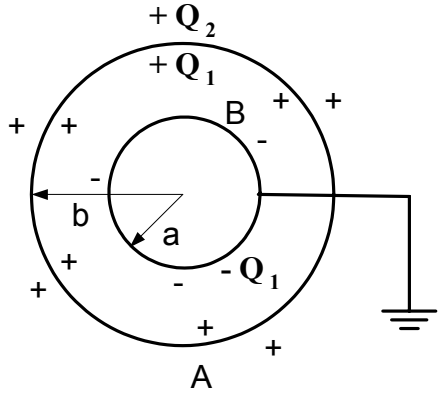
$$C_1 = \frac{Q}{V} = 4\pi\varepsilon\,(\frac{ab}{b-a}) \qquad F$$

(٢) المكثف الثانى يتكون من السطح الخارجى للكرة B والأرض .، فإن سعة هذا المكثف C_2 عبارة عن:

$$C_2 = 4\pi\varepsilon\ b \qquad F$$

وتكون سعة المكثف الكروى C هى مجموع السعتين أى أن :

$$C = C_1 + C_2$$



شكل (3-4) مكثف كروي مؤرض سطحه الداخلي

سعة مكثف متوازى اللوحين :

(١)عندما يكون بين اللوحين عازل كهربى :

يوضح شكل (3-5) مكثف مكون من لوحين متوازيين M و N مساحة كل منهما A متر مربع ويفصل بينهما عازل معامله النسبى ϵ_r والمسافة بينهما d متر . إذا اكتسب اللوح M شحنة مقدارها Q كولوم فإن الفيض الذى يمر وسط اللوحين يكون مقداره $\psi = Q$ وتكون كثافة الفيض (الازاحة الكهربية) :

$$D = \psi / A = Q / A \qquad (3.7)$$

وتكون شدة المجال الكهربى E عبارة عن :

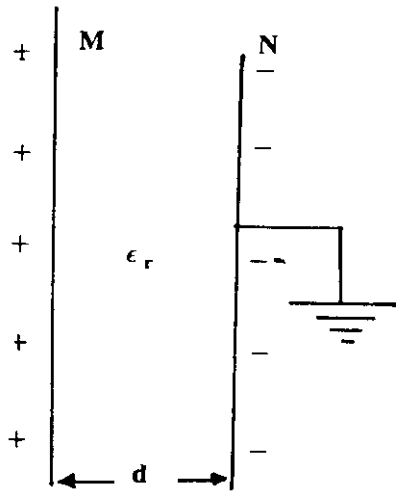
$$E = V / d \quad , \quad D = \epsilon E \qquad (3.8)$$

من المعادلات (3.7) و (3.8) ينتج أن السعة C عبارة عن :

$$C = Q / V = \frac{DA}{(D/\varepsilon).d} = \epsilon A / d \qquad F \qquad (3.9)$$

حيث أن

$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$



شكل (3-5) مكثف متوازي اللوحين بينهما عازل

(٢)عندما يشغل عازل مسافة بين اللوحين و باقى الحيز هواء :

نفرض أن المادة العازلة التى معامل عزلها النسبى ϵ_r تشغل مسافة سمكها t_2 متر فى الحيز بين اللوحين ويكون باقى الحيز الذى سمكه t_1 متر هواء كما موضح فى شكل (3-6) . تكون كثافة الفيض الكهربى واحدة فى المادة العازلة والهواء على السواء حيث :

$D = \psi / A$

ولكن شدة المجال الكهربى تختلف على حسب الوسط فيكون E_1 فى الهواء و E_2 فى المادة العازلة حيث:

$E_1 = D / \epsilon_0 \epsilon_{r1}$

$E_2 = D / \epsilon_0 \epsilon_{r2}$

ويكون فرق الجهد بين اللوحين V عبارة عن :

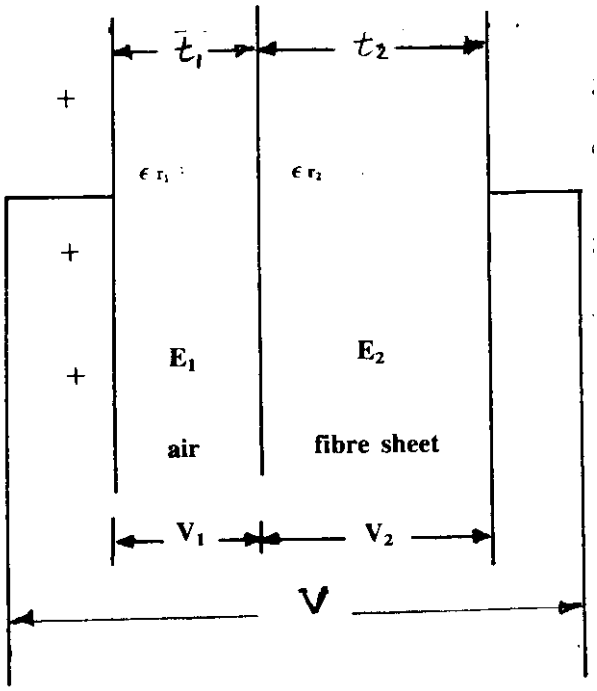
$V = E_1 . t_1 + E_2 t_2$

$= [(D / \epsilon_0 \epsilon_{r1})] t_1 + [D / \epsilon_0 \epsilon_{r2}] t_2$

$= (D / \epsilon_0) [(t_1 / \epsilon_{r1}) + (t_2 / \epsilon_{r2})] = (Q / \epsilon_0 A) [(t_1 / \epsilon_{r1}) + (t_2 / \epsilon_{r2})]$

ولذلك تكون السعة بين اللوحين C عبارة عن :

$$C = Q / V = \epsilon_0 \ A / [(t_1 / \epsilon_{r\,1}) + (t_2 / \epsilon_{r\,2})] \qquad (3.10)$$



شكل (3-6) مكثف متوازي اللوحين بينهما عازل وحيز من الهواء

(٣)عندما يشغل الحيز بين اللوحين أكثر من عازل :

نفرض أنه يوجد ثلاث مواد عازلة بين اللوحين ومعاملات العوازل النسبية لها هى ϵ_{r1} و ϵ_{r2} و ϵ_{r3} وسمك كل طبقة عازلة هى t_1 و t_2 و t_3 متر على الترتيب كما موضح فى شكل (3-7) ، وبالتالى نجد أن :

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = E_1 \, . \, t_1 + E_2 \, . \, t_2 + E_3 \, . \, t_3$$

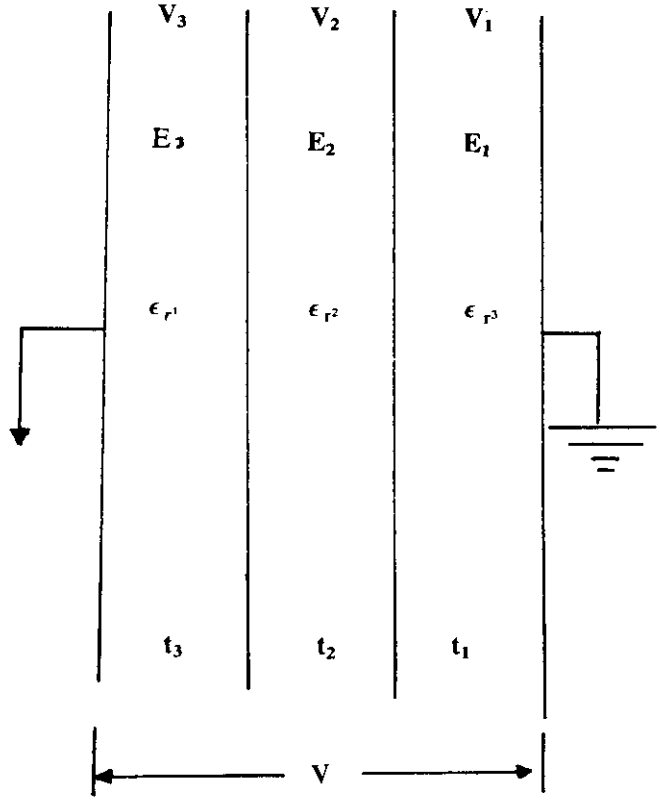
$$V = [D / \epsilon_0 \epsilon_{r1}] t_1 + [D / \epsilon_0 \epsilon_{r2}] t_2 + [D / \epsilon_0 \epsilon_{r3}] t_3$$

$$= (D / \epsilon_0) [(t_1 / \epsilon_{r\,1}) + (t_2 / \epsilon_{r\,2}) + (t_3 / \epsilon_{r3})]$$

$$= (Q / \epsilon_0 \ A) [(t_1 / \epsilon_{r\,1}) + (t_2 / \epsilon_{r\,2}) + (t_3 / \epsilon_{r3})]$$

وبالتالى نحصل على السعة C فى الصورة :

$$C = Q / V = \epsilon_0 \ A / \ [(t_1 / \epsilon_{r\,1}) \ + \ (t_2 / \epsilon_{r\,2}) \ + \ (t_3 / \epsilon_{r3}) \ ] \qquad (3.11)$$



شكل (3-7) مكثف متوازي اللوحين بينهما أكثر من عازل

(٤) المكثفات متعددة الألواح ومتغيرة السعة :

تتكون هذه المكثفات من مجموعتين من الألواح كل مجموعة على حامل بحيث يمكن تحريك إحدى المجموعتين داخل أو خارج المجموعة الأخرى لكى يمكن الحصول على قيمة متغيرة للسعة. ويكون الهواء هو العازل الكهربى بين الألواح حيث يفصل بينه بمسافات متساوية كل منها d متر . فإذا كانت A هى مساحة كل لوح من الألواح بالمتر المربع وعدد هذه الألواح n ، نجد أنه يتكون عددا من المكثفات عددها (n – 1) وتعطى سعة مقدارها C بحيث :

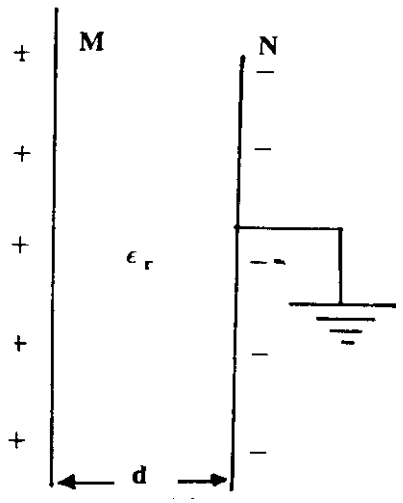
$$C = \frac{(n-1)\ \varepsilon_0 \quad \varepsilon_r \ A}{d} \qquad \text{Farad} \qquad (3.12)$$

مثال (3-1) :

مكثف متوازى اللوحين مساحة كل من لوحيه $3\ m^2$ والمسافة بينهما $3\ cm$ والوسط بينهما فراغ ، فإذا كان فرق الجهد بين لوحى المكثف $15000\ V$ ، إحسب :

(أ) سعة المكثف (ب) الشحنة على كل لوح (ج) شدة المجال والإزاحة الكهربية بين اللوحين .

الحل



شكل (3-8)

(أ) كما موضح فى شكل (٣ -٨) نحسب سعة المكثف من العلاقة:

$$C = \varepsilon_0 A / d = (8.854 \times 10^{-12} \times 3) / (3 \times 10^{-3}) = 8.854 \times 10^{-3}\ \mu F$$

سنوجد الشحنة على كل لوح من العلاقة:

$$Q = C V = 8.854 \times 10^{-3} \times 15000 = 132.75 \times 10^{-6}\ C$$

ويمكن حساب شدة المجال E بين اللوحين من العلاقة :

$$E = Q / (\varepsilon_0 A) = (132.75 \times 10^{-6}) / (8.854 \times 10^{-12} \times 3) = = 5 \times 10^6\ V / m$$

ويمكن حساب شدة المجال E بين اللوحين أيضا من العلاقة :

$$E = V / d = 15000 / (3 \times 10^{-3}) = 5 \times 10^6\ V / m$$

ونوجد الإزاحة الكهربية D كالآتى :

$$D = \varepsilon_0 E = 8.854 \times 10^{-12} \times 5 \times 10^6 = 44.25 \times 10^{-6}\ C / m^2$$

مثال (3-2) :

مكثف مكون من لوحين معدنيين متوازيين ، مساحة كل لوح $50\ cm^2$ وسمكه 1cm وإذا أدخلت طبقة عازلة بين اللوحين لها سماحية نسبية مقدارها 4 وسمكها 0.7 cm ، وبقية المسافة بين اللوحين هواء . وإذا كان فرق الجهد بين اللوحين 10 V ، إحسب السعة الكلية للمكثف .

الحل

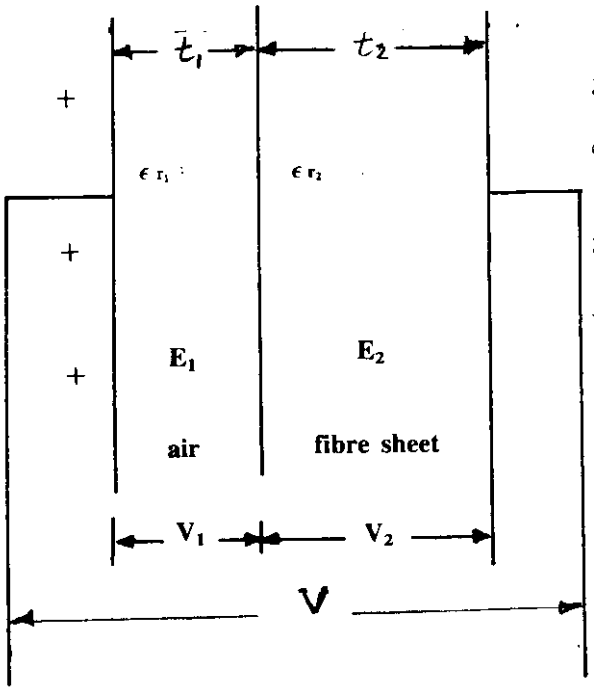
سعة المكثف فى هذه الحالة تعطى من العلاقة (3.10) :

$$C = \epsilon_0 \ A \ / \ [\ (t_1 / \epsilon_{r\,1}) \ + \ (t_2 / \epsilon_{r2}) \ ]$$

حيث A هي مساحة اللوح ، t_1 و t_2 هما سمكا طبقة الهواء وطبقة العازل على الترتيب كما هو موضح في شكل (3-9) وبالتالي فإن :

$$C = (8.854 \times 10^{-12} \times 0.5 \times 0.5) / [(3 / 1) + (7 / 4)] \times 10^{-3}$$
$$= 466 \quad \mu F$$

الحل



شكل (3-9)

مثال (3-3)

مكثف مكون من لوحين معدنيين متوازيين ، مساحة كل لوح $2\ m^2$ ، ويفصل بينها ثلاث طبقات من عوازل مختلفة ذات سماحية نسبية (6 , 3 , 2) وسمك (1.2 mm , 0.6 , 0.4) على الترتيب . وإذا كان فرق الجهد بين اللوحين 1000 V إحسب : (أ) السعة الكلية للمكثف ، (ب) شدة المجال الكهربى فى كل طبقة .

الحل

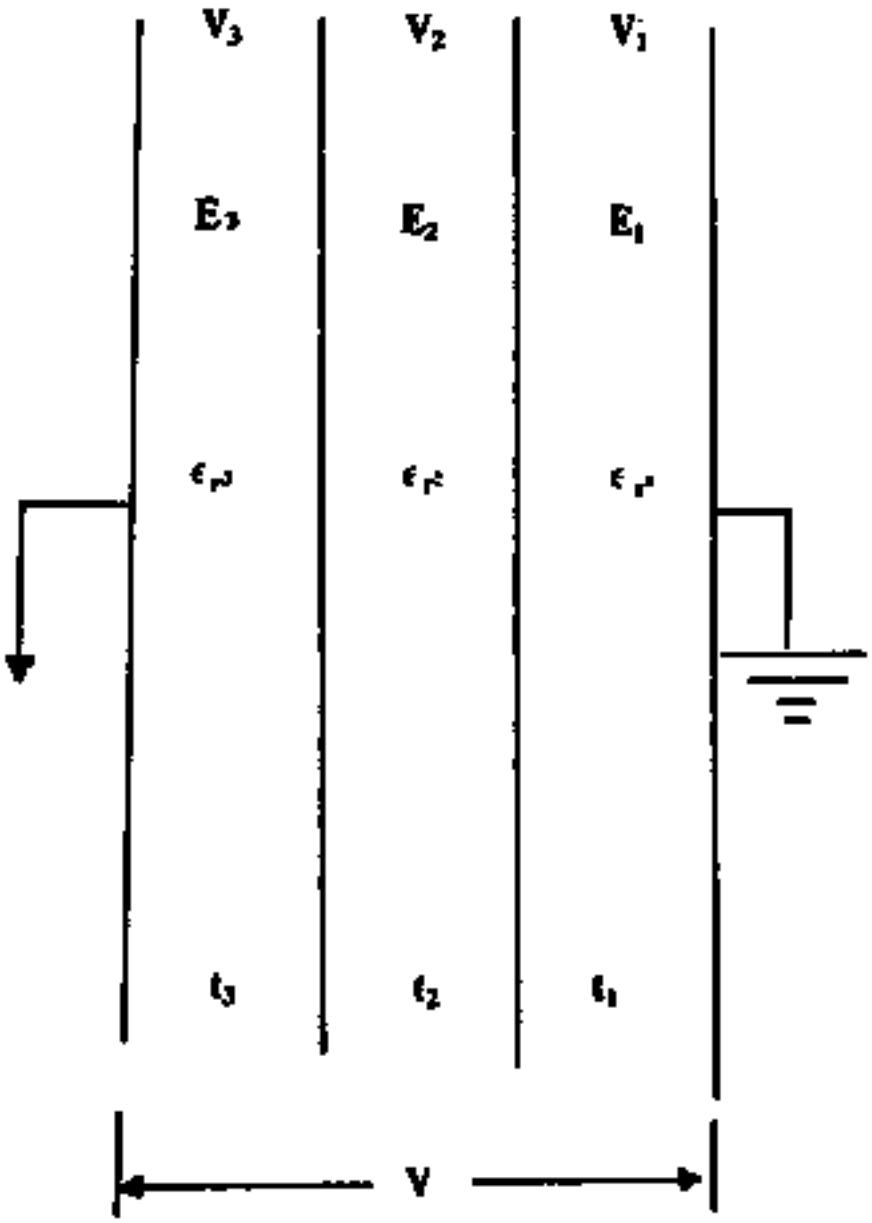
كما موضح فى شكل (3-10) يمكننا حساب السعة C من العلاقة (3.11) كما يلي :

$$C = Q / V = \epsilon_0\ A / \ [(t_1 / \epsilon_{r\,1}) \ + \ (t_2 / \epsilon_{r\,2}) \ + \ (t_3 / \epsilon_{r3})]$$

$$C = \frac{8.854 \times 10^{-2} \times 2}{\frac{0.4 \times 10^{-3}}{2} + \frac{0.6 \times 10^{-3}}{3} + \frac{1.2 \times 10^{-3}}{6}} = 0.0295 \ \ \mu F$$

$$Q \ = \ C\,V = 0.0295 \ \text{x} \ 10^{-6} \ \text{x} \ 1000 = 29.5 \ \text{x} \ 10^{-6} \quad C$$

$$D = Q /A \ = \ 29.5 \ \text{x} \ 10^{-6} / 2 \ = 14.75 \ \text{x} \ 10^{-6} \quad C / m^2$$



شكل (3-10)

وحيث أن الإزاحة الكهربية D ثابتة فى الطبقات العازلة ، لذلك فإنه يمكن حساب شدة المجال الكهربى فى كل طبقة عازلة كالآتى :

$E_1 = D / \varepsilon_0 \varepsilon_{r1} = 14.75 \times 10^{-6} / (8.854 \times 10^{-12} \times 2) = 833.3$ KV / m

$E_2 = D / \varepsilon_0 \varepsilon_{r2} = 14.75 \times 10^{-6} / (8.854 \times 10^{-12} \times 3) = 555.4$ KV / m

$E_3 = D / \varepsilon_0 \varepsilon_{r3} = 14.75 \times 10^{-6} / (8.854 \times 10^{-12} \times 6) = 277.7$ KV / m

مثال (3-4)

مكثف ذو ألواح متوازية يتكون من 15 لوحا مساحة كل منها $0.25\ m^2$ ويفصل بين كل لوحين عازل سمكه $0.2\ cm$ وسماحيته النسبية 3 ، إحسب سعة هذا المكثف .

الحل

لإيجاد سعة هذا المكثف نستخدم هذه العلاقة(3.12):

$$C = \frac{(n-1)\ \varepsilon_0\ \ \varepsilon_r\ A}{d} \qquad \text{Farad}$$

أى أن

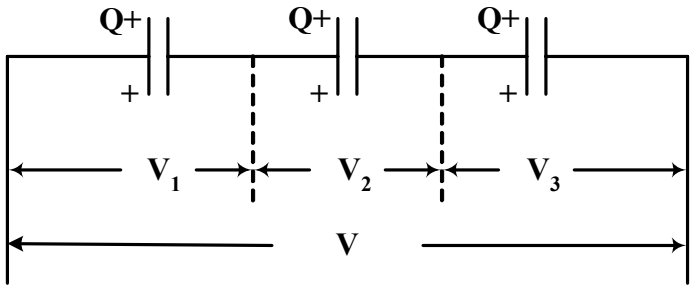
$$C = \frac{14 \times 8.854 \times 10^{-12} \times 3 \times 0.25}{2 \times 10^{-3}} = 46.48 \times 10^{-3} \qquad \mu F$$

توصيل المكثفات :

توصل المكثفات بعدة طرق مختلفة للحصول على سعات أكبر أو أصغر من القيم الأساسية لكل مكثف على حدة . والقيمة الجديدة لسعة المكثفات المتصلة تمثل السعة المكافئة لها حسب طريقة توصيل الدائرة . وتوصل المكثفات عادة إما على التوالى وإما على التوازى .

(أ) توصيل المكثفات على التوالى :

يوضح شكل (3-11) ثلاث مكثفات متصلة على التوالى . عند التوصيل على التوالى تتساوى الشحنات Q_1 و Q_2 و Q_3 على جميع المكثفات ، وبالتالى نحصل على :



شكل (3-11) توصيل المكثفات علي التوالي

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$$

$$C_1V_1 = C_2V_2 = C_3V_3 = CV$$

حيث C هى السعة المكافئة للمكثفات الثلاثة ، V هو فرق الجهد الكلى بين طرفى المكثفات ، وبالتالى نحصل على :

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

لذلك نحصل على :

$$\frac{Q}{C}=\frac{Q}{C_1}+\frac{Q}{C_2}+\frac{Q}{C_3}$$

أى أن

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3} \qquad (3.13)$$

عند توصيل مكثفين على التوالى معا نجد أن السعة المكافئة C عبارة عن :

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2} = \frac{C_1+C_2}{C_1 C_2}$$

أى أن

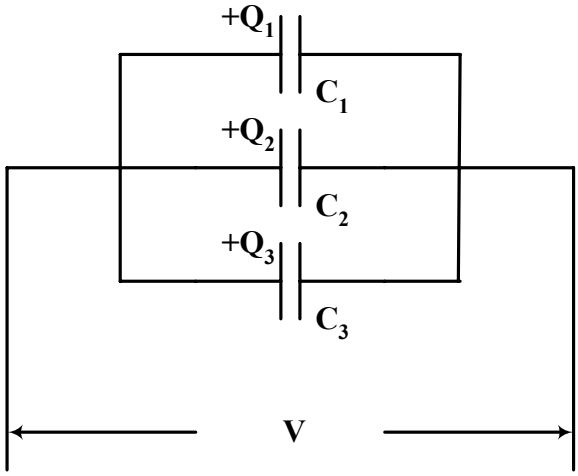
$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1+C_2} \qquad (3.14)$$

نلاحظ أن السعة الكلية دائما أقل من سعة أى من المكثفات المتصلة على التوالى . وبصفة عامة ، لعدد n من المكثفات الموصلة على التوالى :

$$\frac{1}{C}=\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i} \qquad (3.15)$$

(ب) توصيل المكثفات على التوازى :

يوضح شكل (3-12) ثلاث مكثفات متصلة على التوازى ، وفى هذه الحالة فإن فرق الجهد بين لوحى كل من المكثفات له القيمة نفسها V ، بينما الشحنة الكلية Q تساوى مجموع الشحنات التى على المكثفات . ولذلك نحصل على :



شكل (3-12) توصيل المكثفات علي التوازي

$V_1 = V_2 = V_3 = V$
$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

أى أن

$$CV = C_1V_1 + C_2V_2 + C_3V_3$$

وبالتالي نحصل على السعة المكافئة للمكثفات C فى الصورة :

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \qquad (3.16)$$

نلاحظ أن السعة الكلية دائما أكبر من سعة أى من المكثفات المتصلة على التوازى . وبصفة عامة ، لعدد n من المكثفات الموصلة على التوازى :

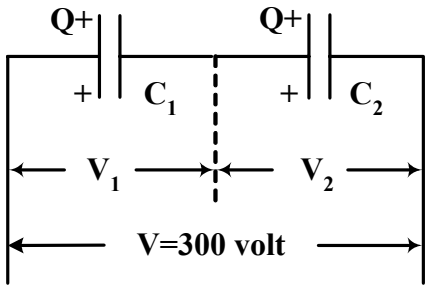
$$C = \sum_{i=1}^{n} C_i \qquad (3.17)$$

مثال (3-5) :

مكثفان سعتهما 2 μ F و 8 μ F وصلا على التوالى ، فإذا كان فرق الجهد الكلى على المكثفين 300 V ، (أ) إحسب السعة المكافئة وكذلك الشحنة وفرق الجهد على كل مكثف (ب) إذا وصلا المكثفان على التوازى ، إحسب السعة المكافئة وكذلك الشحنة وفرق الجهد على كل مكثف .

الحل

(أ) عند توصيل المكثفان على التوالى كما موضح فى شكل (3-13)، وتكون السعة المكافئة



شكل (3-13)

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2 \times 8}{2 + 8} = 1.6 \quad \mu F$$

$$Q = C\,V = 1.6 \times 10^{-6} \times 300 = 4.8 \times 10^{-4} \quad C$$

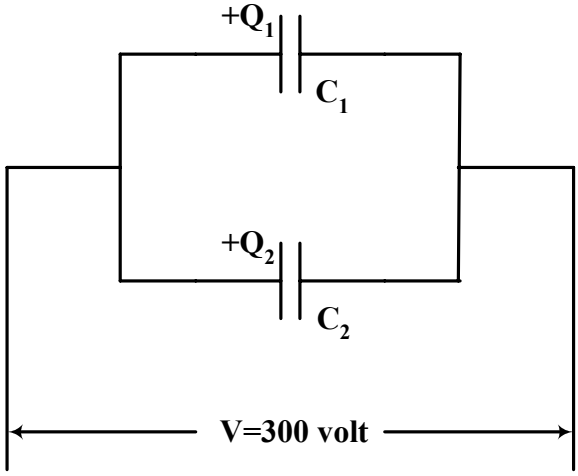
وحيث أن المكثفين موصلان على التوالى فتكون الشحنة متساوية ولكن فرق الجهد مختلف ، وبالتالى

$$V_1 = Q_1 = Q_2 = Q = 4.8 \times 10^{-4} \quad C$$

$$V_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{4.8 \times 10^{-4}}{2 \times 10^{-6}} = 240 \quad V$$

$$V_2 = \frac{Q}{C2} = \frac{4.8 \times 10^{-4}}{8 \times 10^{-6}} = 60 \quad V$$

(ب) عند توصيل المكثفان على التوازى كما موضح فى شكل (3-14) تكون السعة المكافئة:



شكل (3-14)

$$C = C_1 + C_2 = 2 + 8 = 10 \quad \mu F$$

فى هذه الحالة يكون فرق الجهد متساويا ، بينما تكون الشحنة مختلفة ، أى أن

$$V_1 = V_2 = V = 300 \quad V$$

$$Q_1 = C_1 V = 2 \times 10^{-6} \times 300 = 6 \times 10^{-4} \quad C$$

$$Q_2 = C_2 V = 8 \times 10^{-6} \times 300 = 2.4 \times 10^{-3} \quad C$$

الطاقة المختزنة فى المكثف :

إن شحن المكثف يستلزم إعطاؤه طاقة كهربية من المنبع الكهربى الذى يقوم بشحنه ، وهذه الطاقة تختزن فى المجال الكهربى الذى يتكون فى العازل الكهربى . وعند تفريغ المكثف يضمحل هذا المجال الكهربى فتنطلق الطاقة الكهربية من المكثف .

فإذا فرضنا أنه فى خلال شحن المكثف يكون فرق الجهد على طرفيه V عندما تكون الشحنة على اللوح q نجد أن زيادة الشحنة بمقدار dq يستلزم وضع طاقة مقدارها فى المكثف $dW = V\,dq$ ، أى أن

$$dW = V\,dq$$

وعند الشحنة q يحدد الجهد بالعلاقة :

$$q = C\,V$$

أى أن

$$dq = C\,dV$$

وبالتالى

$$dW = C\,V\,dV$$

ولذلك نحصل على الطاقة المختزنة كالآتى :

$$W = \int_0^V C\,V\,dV = C\left[\frac{V^2}{2}\right]_0^V = \frac{1}{2}\,C\,V^2 \qquad \text{Joules} \qquad (3.18)$$

وحيث أن

$$Q = C\,V \quad , \quad V = Q / C$$

ولذلك نحصل على صور أخرى للطاقة المختزنة كالآتى :

$$W = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} Q V = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \qquad \text{Joules} \qquad (3.19)$$

إذا كانت مساحة اللوح فى المكثف $A\ (m^2)$ والمسافة بين اللوحين d متر ، اى أن سمك العازل الكهربى d متر ومعامل عزله الكهربى ϵ ، نجد أن الطاقة المختزنة فى وجدة الحجم من العازل الكهربى هى :

$$W = \frac{1}{2} \frac{CV^2}{Ad} = \frac{1}{2} \frac{\varepsilon A V^2}{d\ Ad} = \frac{1}{2} \varepsilon \left(\frac{V}{d} \right)^2$$

$$= \frac{1}{2} \epsilon E^2 = \frac{1}{2} D E = \frac{1}{2} \frac{D^2}{\varepsilon} \qquad \text{Joules / m}^3 \qquad (3.20)$$

مثال (3-6):

وصل مكثفان على التوازى وكانت سعة الأول 20 μF وفرق الجهد بين طرفيه 1000 V والثانى سعته 10 μF وفرق الجهد بين طرفيه 100 V ، إحسب الطاقة الكلية قبل التوصيل . ومقدار فقدان الطاقة بعد التوصيل . إحسب كذلك فرق الجهد الكلى بين طرفى المكثفات بعد التوصيل .

الحل

يمكن حساب السعة لكل مكثف كما يلى :

$$Q_1 = C_1\ V_1 = 20\ x\ 10^{-6}\ x\ 1000 = 0.02 \quad C$$

$$Q_2 = C_2\ V_2 = 10\ x\ 10^{-6}\ x\ 100 = 0.001 \quad C$$

أما السعة الكلية فهى

$$C = C_1 + C_2 = (20 + 10)\ x\ 10^{-6} = 30\ x\ 10^{-6} \quad F$$

وتكون الطاقة الكلية قبل التوصيل على التوازى هى :

$$W_1 = \frac{1}{2} C_1 V_1^2 + \frac{1}{2} C_2 V_2^2$$

$$W_1 = \frac{1}{2} \times 20 \times 10^{-6} \times (1000)^2 + \frac{1}{2} \times 10 \times 10^{-6} \times (100)^2 = 10.05 \quad \text{Joules}$$

أما الطاقة الكلية بعد التوصيل فهى :

$$W_2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

حيث أن Q هى الشحنة الكلية وهى :

$$Q = Q_1 + Q_2 = 0.02 + 0.001 = 0.021 \quad C$$

وبالتالى فإن الطاقة الكلية بعد التوصيل تكون :

$$W_2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} \times \frac{(0.021)^2}{30 \times 10^{-6}} = 7.55 \quad \text{Joules}$$

وبالتالى فإن الفقد فى الطاقة الكلية هو :

$$W = W_1 - W_2 = 10.05 - 7.55 = 2.7 \quad \text{Joules}$$

أما فرق الجهد الكلى فهو :

$$V = \frac{Q}{C} = \frac{0.021}{30 \times 10^{-6}} = 700 \quad V$$

الفصل الرابع

البطاريات

البطارية عبارة عن مجموعة من الخلايا الكهربائية موصلة على التوالى أو على التوازى لتعطى جهدا معينا وتيارا معينا. وتنقسم الخلايا الكهربائية إلى نوعين هما الخلايا الابتدائية والخلايا الثانوية .

الخلايا الابتدائية (الأعمدة الابتدائية):

وتنتج الطاقة الكهربية هنا نتيجة لتفاعلات كيميائية تتغير معها المواد المستعملة مما يستدعى تغييرها لإعادة استخدام الخلية . وتتكون الخلية هنا من قطبين مغمورين فى محلول الكتروليتى ومثال ذلك خلية لاكلانشيه والتى تسمى أيضا الخلية المنجنية حيث تستخدم ثانى اكسيد المنجنيز . فالقطب الموجب مصنوع من ثانى أكسيد المنجنيز ، والقطب السالب مصنوع من الزنك ، والمحلول الالكتروليتى عبارة عن محلول ملح من أملاح النوشادر مثل محلول كلوريد النوشادر بنسبة ٢٠ ٪ .

والبطارية الجافة عبارة عن حالة من هذا النوع من الخلايا حيث يستبدل السائل الالكتروليتى بعجينة من محلول كلوريد النوشادر المخلوط بنشارة الخشب والدقيق والخميرة .

الخلايا الثانوية (الأعمدة الثانوية) :

تقوم هذه الخلايا بعمليات كهروكيميائية تبادلية ينتج عنها شحن الخلية فى اتجاه ثم أخذ الطاقة الموجودة بها فى الاتجاه المعاكس للتفاعل . وتتكون هذه الخلايا من مجموعات لتكون مراكمات.

وهناك نوعان من هذه الخلايا وهما الحامضى والقلوى.

(ا) الخلايا الحامضية :

ويصنع قطبى البطارية من الرصاص للقطب السالب وأكسيد الرصاص للقطب الموجب ، والسائل الالكتروليتى هو حامض الكبريتيك .

وللمحافظة على البطارية فى حالة جيدة يجب مراعاة الآتى :

١. عدم ترك البطارية بدون شحن خاصة عندما يبلغ جهدها أقل قيمة للجهد .
٢. عدم ترك البطارية فارغة لمدة طويلة .
٣. يجب بقاء مستوى السائل الإالكتروليتى مغطيا الألواح تماما وعدم تعريض الألواح للهواء مع اضافة الماء المقطر (فقط) عند اللزوم عند نقص السائل .

(ب) الخلايا القلوية :

ويوجد نوعان شائعا الإستعمال من هذه الخلايا وهى خلية النيكل - كادميوم وخلايا النيكل -حديد .

١. خلايا النيكل - كادميوم : والقطب الموجب هنا مصنوع من ايدروكسيد النيكل ، بينما القطب السالب من الكادميوم الاسفنجى . والسائل الالكترويتى عبارة عن محلول البوتاس بنسبة ٢٠ ٪ . وتصنع الأقطاب من ألواح من الحديد المطلية بالنيكل وبها ثقوب تحمل المادة الفعالة والاناء الحاوى يصنع أيضا من الحديد المطلى بالنيكل .

٢. خلايا النيكل -حديد :

ويكون القطب الموجب هن من ايدروكسيد النيكل بينما القطب السالب من الاسفنجى ، والسائل الالكترويتى هو محلول البوتاس . ويلاحظ هنا أيضا عدم تغير تركيز السائل الالكترويتى مما يجعل وزن وحجم البطارية صغيرا .

ومن مزايا البطاريات القلوية ثبات المواد الفعالة على الألواح مما يجعلها أكثر تحملا للصدمات وهى كذلك أخف وزنا وأقل حجما لنفس السعة .

تجميع الخلايا فى بطاريات :

إن التيار الكهربى هو نتيجة تحرك شحنات كهربية ، وهذه الشحنات المتحركة تلقى معارضة للحركة نتيجة لتصادمها مع ذرات وأيونات الوسط الذى تتحرك فيه . ويطلق على هذه المعارضة المقاومة ويسمى الوسط الذى تحدث فيه هذه المقاومة بالوسط المقاوم . ويرمز لها بالرمز R .

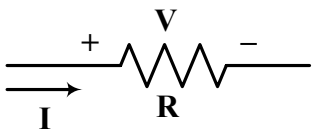
وتعرف المقاومة بأنها خارج قسمة فرق الجهد المسلط بين طرفى المقاومة على شدة التيار المار فيه . أى أن

$$R = V / I$$

وبالتالي يمكن كتابة قانون أوم كالآتي:

$$I = V / R$$

حيث R هى المقاومة (Resistance)، V هو فرق الجهد المسلط ، I هوالتيار المار . ووحدة R هى Volt / Ampere ويطلق عليها أوم (Ohm) نسبة إلى العالم الألمانى جورج سيمون أوم الذى يعتبر أول من لاحظ هذه العلاقة عام ١٨٢٧ م. ويرمز للأوم بالحرف اللاتينى (Omega Ω) . وتعرف العلاقة السابقة بقانون أوم (Ohm's law) .وشكل (4-1) يوضح اتجاه التيار I وكذلك فرق الجهد V عبر المقاومة R .



شكل (4-1)

وعموما سوف يتم شرح قانون أوم بالتفصيل في الفصل الخامس.

تجمع الخلايا فى مجموعات موصلة على التوالى والتوازى لتكوين بطارية أو مراكم ، ونلاحظ فى هذه الحالة ما يأتى :

(أ) تجميع التوالى :

إذا فرضنا أن عدد الخلايا الموصلة مع بعضها على التوالى n ، وجهد كل خلية E ، ومقاومتها الداخلية r ، فيكون :

الجهد الكلى للبطارية = n E فولت

المقاومة الداخلية الكلية = n r أوم

المقاومة الكلية بالدائرة = R + n r أوم

ويكون التيار المار فى الدائرة (طبقا لقانون أوم) هو:

$$I = \frac{nE}{R+r}$$

فإذا كانت $R << n\,r$ فيكون :

$$I = \frac{nE}{nr} = \frac{E}{r}$$

أى ان التيار I فى هذه الحالة هو تيار الخلية الواحدة ، وهو لايزيد بتوصيل الخلايا على التوالى . أما إذا كانت $R >> n\,r$ فإن التيار يصبح :

$$I = \frac{nE}{R} = n\ \frac{E}{R}$$

أى أن التيار يزيد هنا بعدد n مرة من اتيار الناتج عن خلية واحدة . ولذلك فإن البطارية تعطى أقصى تيار للحمل إذا كانت مقاومة الخلايا صغيرة جدا بالنسبة لمقاومة الحمل R . وعلى هذا الأساس فإن تجميع التوالى يستعمل فى حالة كون مقاومة الحمل كبيرة بالنسبة للمقاومة الداخلية للبطارية .

(ب) تجميع التوازى :

وتوصل جميع الأقطاب الموجبة مع بعضها والأقطاب السالبة مع بعضها ، وبذلك يكون جهد البطارية E مساويا لجهد الخلية الواحدة . والمقاومة الداخلية لمجموعة خلايا قدره خلية ، ومقاومة كل منها r (1/n) أوم ، وتكون

المقاومة الكلية بالدائرة :

$$R + (r/n)$$

وتيار الحمل يصبح :

$$I = \frac{E}{R+(r/n)}$$

فإذا كانت $R >> r / n$ فإن

$$I = E / R$$

اى يصبح التيار مساويا للتيار الناتج عن خلية واحدة . أى لا فائدة تعود من هذه التوصيلة بهذا الوضع .

أما إذا كانت $R << r / n$ فإن $I = n (E / r)$ وهو يساوى (n) مرة التيار الذى يمكن أن نحصل عليه من خلية واحدة . ولذا نستعمل مجموعات التوازى إذا كانت مقاومة الحمل صغيرة جدا بالنسبة لمقاومة البطارية .

(ج) التجميع المركب :

إذا كان عدد الخلايا الموصلة على التوالى فى كل خط n خلية ، وكان عدد الخطوط الموصلة على التوازى m خط ، فتكون

المقاومة الداخلية لخلايا الخط الواحد = n r أوم ،

وتكون :

المقاومة الكلية لعدد m خط = $n r / m$ أوم .

المقاومة الكلية بالدائرة = $R + (nr / m)$.

جهد البطارية = جهد الخط الواحد = E n فولت .

تيار البطارية :

$$I = \frac{nE}{R+(nr/m)} = \frac{m\,nE}{mR+nr} = \frac{NE}{mR+nr}$$

حيث العدد الكلى للخلايا N هو :

$$N = m . n$$

والقيمة القصوى للتيار تكون عندما يصير المقام (m R + n r) أقل ما يمكن ، وبفرض أن :

$$y = m R + n r = (\sqrt{mR})^2 + (\sqrt{nr})^2 = (\sqrt{mR} - \sqrt{nr})^2 + 2\sqrt{mR}\,\sqrt{nr}$$

ويكون هذا المقدار أقل ما يمكن عندما يكون المقدار الذى بين القوسين أقل ما يمكن ، أى أن :

$$m R = n r$$

أى أن المقاومة الخارجية = المقاومة الداخلية للبطارية .

و تكون الجودة (الكفاءة) فى هذه الحالة ٥٠ ٪ ، ويعنى هذا أن نصف القدرة المعطاة من البطارية يستنفذ فى الحمل الخارجى والنصف الآخر يستنفذ فى المقاومة الداخلية للبطارية . ويلاحظ أنه يمكن حساب التكوين الذى يعطى أعلى تيار من المعادلتين :

$m\,n = N \quad , \quad m\,R = n\,r$

جودة المجموعة المركبة η يمكن حسابها كالآتى :

$$\eta = \frac{\text{output}}{\text{input}} = \frac{\text{useful power}}{\text{total power produced}} = \frac{I^2 R}{I^2 R + I^2 r'} = \frac{R}{R + r'}$$

حيث r هى المقاومة الداخلية الكلية للبطارية و R هى مقاومة الحمل .

مثال (4-1):

مجموعة بطاريات تتكون من 15 خلية كل منها كل منها 1.4 V ولها مقاومة داخلية 0.8 Ω ومحملة بمقاومة قدرها 30 Ω . أوجد : (أ) تيار التغذية ، (ب) الجهد على طرفى البطارية .

الحل

جهد البطارية :

$E = 15 \times 1.4 = 21\ V$

المقاومة الداخلية الكلية للمجموعة:

$= 0.8 \times 15 = 12\ \Omega$

المقاومة الكلية للدائرة :

$= 12 + 30 = 42\ \Omega$

(أ) تيار التغذية :

$I = 21 / 42 = 0.5\ A$

(ب) الجهد على طرفى البطارية :

$V = I.\ R = 0.5 \times 30 = 15\ V$

أو الجهد على طرفى البطارية:

$V = E - I\,r = 21 - 0.5 \times 12 = 15$

مثال (4-2) :

يوجد ٢٤ خلية والمطلوب تشكيل هذه الخلايا فى بطارية مجمعة لتعطى أكبر تيار فى مقاومة حمل قدرها 5 Ω ، فإذا كان جهد اللاحمل لكل خلية 2.1 V ومقاومتها الداخلية 2 Ω ، أوجد أحسن تشكيل وقيمة التيار فى الحمل .

الحل

شرط الحصول على أعلى تيار هو :

$m\,n = N \quad , \quad m\,R = n\ r$

حيث r هى مقاومة الخلية الواحدة ، R هى مقاومة الحمل ، n هو عدد الخلايا الموصلة على التوالى فى كل خط ، m هو عدد الخطوط الموصلة على التوازى ، N هو العدد الكلى للخلايا .

$m\,R = n\ r \quad \text{or} \quad 5\,m = 2\,n \quad \text{or} \quad n = (5 / 2)\,m \qquad (4.1)$

وكذلك

$$mn = N = 24 \qquad (4.2)$$

وبالتعويض من (٤,١) في (٤,٢) نحصل على

$$m\,(5/2)\,m = (5/2)\,m^2 = 24 \qquad \text{or} \quad m^2 = (24)(2)/5 = 9.6$$

خلية فى كل خط . وتكون قيمة التيار المار فى $n = 8$ خط ، فيكون $m = 3$ حينئذ يمكن أن نحتار الحمل فى هذه الحالة :

$$I = \frac{nE}{R + (nr/m)} = \frac{8 \times 2.1}{5 + (8 \times 2)/3} = 1.63 \quad A$$

تمارين على الوحدة الأولى

١. وضعت شحنتان قيمة كل منهما Q فى ركنين متقابلين من مربع ، مهى قيمة الشحنة q التى يجب أن توضع فى كل من ركنى المربع الأخريين وذلك لكى تنعدم القوة المؤثرة على كل من الشحنتين Q و Q .

٢. وضعت ثلاث شحنات نقطية فى مستوى على النحو التالى :

شحنة مقدارها 6×10^{-8} C عند النقطة (0 , 0) meters ، وشحنة مقدارها 3×10^{-8} C عند النقطة (4, 0) meters وشحنة مقدارها -7×10^{-8} C عند النقطة (0, 5) meters . عين شدة المجال الكهربى عند النقطة (4,5) meters .

٣.احسب الجهد الكهربى عند مركز مربع طول ضلعه مترا واحدا ووزعت عند أركانه الشحنات التالية على الترتيب $q_1 = 1.\times10^{-8}$ C و $q_2 = -2\ q_1$ و $q_3 = 3\times10^{-8}$ C و $q_4 = 2q_1$.

٤. مكثف مكون من لوحين معدنيين متوازيين ، وسمكه 0.35 cm وإذا أدخلت طبقة عازلة بين اللوحين لها سماحية نسبية مقدارها 4 وسمكها 0.30 cm ، وبقية المسافة بين اللوحين هواء . وإذا كان فرق الجهد بين اللوحين 3000 V ، إحسب شدة المجال الكهربى و فرق الجهد فى كل من الطبقة العازلة والهواء .

٥. شحن مكثف متوازى اللوحين ، وكانت مساحة كل لوح $100\ cm^2$ بحيث أصبحت الشحنة على اللوح الموجب 8.9×10^{-7} C وشحنة مماثلة على اللوح الآخر . فإذا كانت شدة المجال الكهربى داخل العازل الكهربى بين اللوحين هى 1.4×10^{6} V / m ، احسب ثابت العزل الكهربى .

٦ . مكثف مكون من لوحين معدنيين متوازيين ، مساحة كل لوح $2\ m^2$ ، ويفصل بينها ثلاث طبقات من عوازل مختلفة ذات سماحية نسبية (6 , 4 , 3) وسمك (1.1 mm , 0.7 , 0.5) على الترتيب . وإذا كان فرق الجهد بين اللوحين 1100 V إحسب : (أ) السعة الكلية للمكثف ، (ب) شدة المجال الكهربى فى كل طبقة .

٧. وصل مكثفان على التوازى وكانت سعة الأول 25 μF وفرق الجهد بين طرفيه 1100 V والثانى سعته 15 μF وفرق الجهد بين طرفيه 150 V ، إحسب الطاقة الكلية قبل التوصيل . ومقدار فقدان الطاقة بعد التوصيل . إحسب كذلك فرق الجهد الكلى بين طرفى المكثفات بعد التوصيل .

دوائر وقياسات كهربائية- ١

دوائر التيار المستمر

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة : معرفة وفهم التعريفات والقوانين الأساسية وطرق التوصيلات المختلفة المستخدمة فى حل دوائر التيار المستمر .

الأهداف :

عندما تكتمل هذه الوحدة يكون لدى الطالب القدرة على معرفة وفهم :

(١)التعريفات الأساسية للكميات الكهربائية للتيار المستمر مثل شدة التيار ، فرق الجهد ، المقاومة وكذلك العلاقات المختلفة مثل قانون أوم وطرق حساب القدرة والطاقة الكهربائية.

(٢)كيفية حل الدوائر الكهربية الموصلة على التوالى وتطبيق قانون كيرشوف للجهد وقاعدة توزيع الجهد.

(٣)كيفية حل الدوائر الكهربية الموصلة على التوازى وتطبيق قانون كيرشوف للتيار وكذلك قاعدة توزيع التيار.

(٤)طرق حساب الكميات الكهربية المختلفة للدوائر الموصلة على التوالى والتوازى معا.

مستوى الأداء المطلوب : أن يصل المتدرب إلى اتقان هذه الوحدة بنسبة ٩٠ ٪.

الوقت المتوقع للتدريب : ١٢ ساعة.

الفصل الخامس

الكميات الكهربائية الأساسية

تقوم المنظومات الكهربائية بوظيفتين ، فإما ان تكون وسيطا فى استغلال الطاقة المتوفرة فى الطبيعة بأنواعها المختلفة ، وذلك بتحويلها الى طاقة كهربائية يسهل نقلها وتوزيعها إلى حيث الحاجة ، فيعاد تحويلها الى الشكل الذى يستفاد منه كطاقة حرارية أو ميكانيكة أو غير ذلك . وإما أن تقوم المنظومة الكهربائية بدور الوسيط لنقل المعلومات ، وعندئذ تكون الطاقة الكهربائية واسطة نقل معلومات ، ويلزم لذلك الحد الأدنى من الطاقة التى تكفى لتحويل المعلومات إلى إشارات كهربائية والتى يمكن أن تنقل إلى أماكن بعيدة ، ومن ثم يعاد تحويلها إلى الصيغ التى يستفاد منها كأن تكون إشارات صوتية أو إشارات توجيه أو سيطرة .

فى هذا الفصل سيتم شرح التعريفات الأساسية للكميات الكهربائية المستخدمة فى دوائر التيار المستمر مثل شدة التيار وفرق الجهد والمقاومة والقدرة والطاقة الكهربائية بالإضافة إلى دراسة العلاقات والقوانين الهامة مثل قانون أوم وطرق حساب القدرة والطاقة الكهربائية.والكفاءة.

شدة التيار الكهربائى : Electric Current))

يقصد بالتيار الكهربى تحرك أو سريان شحنة كهربائية فى إتجاه ما تحت تأثير قوة المجال الكهربى . وكما ذكرنا فى الجزء الأول (الكهروستاتيكية) فإنه يوجد نوعان من الشحنة الكهربائية ، شحنة موجبة (شحنة البروتون) وشحنة سالبة (شحنة الالكترون) ، وسريان شحنة موجبة فى إتجاه ما يكافئ سريان شحنة سالبة متساوية فى المقدار ومتضادة فى الاتجاه . وذلك لأن إنتقال شحنة سالبة من مكان ما يترك وراءها نقصا فى الشحنة السالبة أى زيادة مساوية فى الشحنة الموجبة . ولقد أصطلح على إعتبار اتجاه التيار الكهربى بأنه هو اتجاه سريان الشحنة الموجبة ، أى أن إتجاه التيار فى هذه الحالة هو عكس اتجاه سريان الالكترونات الحرة .

وتعرف شدة التيار الكهربى المار فى موصل عبر مقطع ما بأنها كمية الشحنة الموجبة (أو ما يكافئها من الشحنة السالبة) التى تعبر هذا المقطع فى الثانية الواحدة .ويرمز لشدة التيار بالرمز I والشحنة بالرمز Q والزمن بالرمز t ، وعليه فإن شدة لتيار تعطى بالمعادلة :

$$I = \frac{dQ}{dt} \qquad \text{Coulomb /second} \quad (C/s) \qquad (5.1)$$

ووحدة التيار هى ألأمبير (ampere) فى النظام العالمى ، أى أن

1 Ampere = Coulomb /second

وحيث أن التيار المستمر هو تيار ثابت فى المقدار والإتجاه (أى لا يعتمد على الزمن) وبالتالى فيأخذ الصورة :

$$I = \frac{Q}{t} \qquad \text{Ampere} \quad (A) \qquad (5.2)$$

كمية الكهرباء : (Quantity of Charge)

تعرف كمية الكهرباء على أنها عدد الالكترونات التى تمر خلال مساحة مقطع مستعرض لموصل فى الثانية الواحدة .

ويرمز لكمية الكهرباء بالرمز Q ووحدتها هى الكولوم (وحدة الشحنة الكهربية) وبالتالى يمكن الحصول على كمية الكهرباء من التعريف السابق لشدة التيار ، أى أن

$$Q = I \cdot t \qquad \text{Ampere – second (Coulomb)} \qquad (5.3)$$

حيث I هى شدة التيار الكهربى ، t هو الزمن .

أى أنه يمكن الحصول على كمية كهرباء قدرها ١ كولوم عند إمرار تيار كهربى مقداره ١ أمبير لفترة مقدارها ثانية واحدة .

الجهد الكهربائى : (Electric Potential)

يصحب أى انفصال فى الشحنة الكهربائية استهلاك فى الطاقة ، أو شغل . وتكتسب الإلكترونات جزءا من الطاقة المستهلكة عند فصل الشحنات . ويمكن الشغل هذا من مرور الإلكترونات عبر دائرة كهربائية مقفلة إلى القطب الموجب لمصدر الجهد ، مسببة توازنا فى الشحنات . ويسمى الشغل هذا بالجهد الكهربائى .

القوة الدافعة الكهربائية : (Electromotive Force)

سبق أن عرفنا فى الفصل الثانى فرق الجهد بين نقطتين بأنه الشغل المبذول لتحريك وحدة الشحن الموجبة بين النقطتين فى إتجاه عكس المجال الكهربى الموجود بينهما . ومن المنابع التى لها فرق جهد ما يلى:

(١) البطاريات :

لقد سبق شرحها فى الفصل الرابع وفيها تتحول الطاقة الكيميائية أثناء عملية التفريغ إلى طاقة كهربائية . وهى تتيح لنا فروق جهد صغيرة نسبيا بين طرفيها. ويسرى التيار الكهربى خارج البطارية من القطب الموجب عبر الأحمال المختلفة إلى القطب السالب . والتيار لابد أن يسرى فى مسار مقفل ، أى أنه لابد أن يسرى داخل البطارية من القطب السالب إلى القطب الموجب . والشغل المبذول لتحريك وحدة الشحن من القطب السالب إلى القطب الموجب داخل البطارية يسمى القوة الدافعة الكهربية للبطارية ، والتى يرمز لها بالرمز E ووحدتها هى وحدة فرق الجهد أى الفولط(Volt).

(٢)المولدات الكهربية :

وهى مولدات التيار المستمر وفيها تتحول الطاقة الحركية إلى طاقة كهربية ، وهذه الطاقة تتيح فرق جهد عاليا نسبيا . ومثل البطاريات فإن هناك قوة دافعة كهربية تدفع التيار على المرور من القطب السالب للمولد إلى القطب الموجب للمولد داخل أسلاك المولد نفسه . ويرمز لها أيضا بالرمز E .

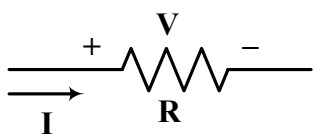
المقاومة وقانون أوم : (Resistance and Ohm's law)

إن التيار الكهربى هو نتيجة تحرك شحنات كهربية ، وهذه الشحنات المتحركة تلقى معارضة للحركة نتيجة لتصادمها مع ذرات وأيونات الوسط الذى تتحرك فيه . ويطلق على هذه المعارضة المقاومة ويسمى الوسط الذى تحدث فيه هذه المقاومة بالوسط المقاوم . ويرمز لها بالرمز R .

وتعرف المقاومة بأنها خارج قسمة فرق الجهد المسلط بين طرفى المقاومة على شدة التيار المار فيه . أى أن

$$R = V / I \qquad (٥,٤)$$

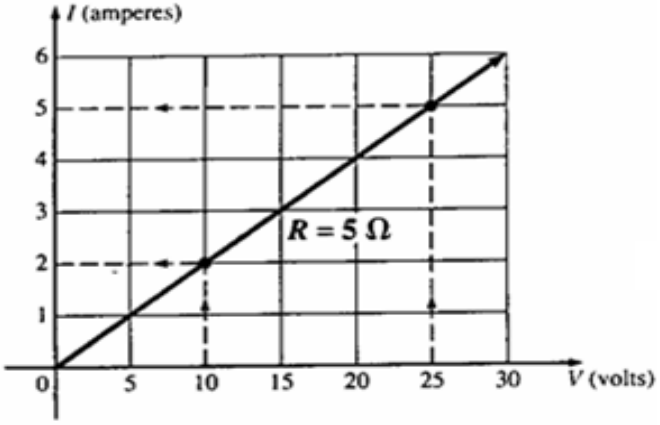
حيث R هى المقاومة ((Resistance، V هو فرق الجهد المسلط ، I هوالتيار المار . ووحدة R هى Volt / Ampere ويطلق عليها أوم (Ohm) نسبة إلى العالم الألمانى جورج سيمون أوم الذى يعتبر أول من لاحظ هذه العلاقة عام ١٨٢٧ م. ويرمز للأوم بالحرف اللاتينى Ω (Omega) . وتعرف العلاقة (٥,٤) بقانون أوم (Ohm's law) . شكل (٥ -١) يوضح اتجاه التيار I وكذلك فرق الجهد V عبر المقاومة R .



شكل (٥ -١)

ولقد لاحظ أوم أن مقاومة الموصلات المعدنية ثابتة عند درجة حرارة معينة ولا تتوقف على أى من فرق الجهد أو التيار . أى أن العلاقة بين فرق الجهد V المسلط عبر طرفيه وبين التيار الناتج I هى علاقة خطية عند درجة حرارة معينة ، أى أن هذه العلاقة تمثل بخط مستقيم كما فى شكل (٥ -٢). وميل هذا الخط المستقيم بالنسبة لمحور التيار هو المقاومة R ومن أمثلة المقاومات الخطية الموصلات المعدنية .

والعوامل التى تتوقف عليها مقاومة موصل هى:



شكل (٥ -٢)العلاقة بين فرق الجهد والتيار المار في الموصل

(١) طول الموصل

(٢) مساحة المقطع

(٣) نوع مادة الموصل

(٤) درجة الحرارة

تتناسب مقاومة الموصل تناسبا طرديا مع طول الموصل وتتناسب عكسيا مع مساحة مقطعه وذلك عند ثبوت درجة الحرارة ، ولذلك أمكن الحصول على العلاقة :

$$R = \rho \ell / A \qquad (5.5)$$

حيث ρ ثابت يتوقف على نوع المادة وتسمى المقاومة النوعية (Resistivity) ، ووحدتها هى أوم_متر (Ohm_meter) . و ℓ هى طول الموصل ، و A هى مساحة مقطعه . وجدير بالذكر أن نعرف هنا ما يسمى الموصلية النوعية (Conductivity σ) وهى مقلوب المقاومة النوعية ρ ، أى أن

$$\sigma = 1 / \rho = \ell / R A \qquad (5.6)$$

ووحدة σ هى $(\text{Ohm- meter})^{-1}$ أو S /m حيث $1 \text{ siemens (S)} = 1 (\text{ohm})^{-1}$.

ويجدر بنا أيضا أن نعرف هنا ما يعرف بالموصلية (G (Conductance وهى مقلوب المقاومة ، أى أن

$$G = 1 / R \quad (\text{mho})$$

أى أن وحدة G هى mho أو $(ohm)^{-1}$ ، أو S (Siemens)

تأثير درجة الحرارة على مقاومة الموصل :

تتغير المقاومة النوعية للمواد المختلفة مع تغير درجة الحرارة ، وتأخذ الصورة :

$$\rho_T = \rho_0 (1+ \alpha 0 \ T) \qquad (5.7)$$

حيث T هى درجة الحرارة مقيسة بالتقدير المئوى ، α_0 يسمى المعامل الحرارى للمقاومة النوعية منسوبا للصفر المئوى . ويمكن الحصول على العلاقة التى تمثل تغير المقاومة مع درجة الحرارة كالآتى :

$$R_T = \rho_T \ell / A \quad , \quad R_0 = \rho_0 \ell / A$$

وبالتالى يمكن الحصول على الصورة :

$$R_T = \rho_T \ell / A = \rho_0 \ (\ell / A) (1+ \alpha_0 \ T)$$

أى أن

$$R_T = R_0 (1+ \alpha_0 \ T) \qquad (5.8)$$

ويمكن الآن إيجاد المقاومة عندما ترتفع درجة الحرارة من T_1 إلى T_2 كالآتى :

$$R_{T1} = R_0 (1+ \alpha_0 \ T_1) \quad , R_{T2} = R_1 (1+ \alpha_1 \ T_2) \qquad (5.9)$$

وبالتالى يمكن الحصول على الصورة :

$$R_{T2} = R_{T1} [1+ \alpha_{T1} (T_2 – T_1)] \qquad (5.10)$$

حيث

$$\alpha_{T1} = \alpha_0 / (1 + \alpha_0 T_1) \qquad (5.11)$$

حيث α_{T1} المعامل الحرارى للمقاومة النوعية منسوبا لدرجة الحرارة T_1 . وهذا المعامل الحرارى يكون موجبا للموصلات المعدنية ، أى أن المقاومة R تزداد بازدياد درجة الحرارة T .

مثال (٥ -١) :

موصل نحاسى طوله ٥ m وقطر مقطعه الدائرى المستعرض ٥,٠ mm ، إحسب مقاومته عند درجة حرارة $20^{\circ} C$ إذا كانت المقاومة النوعية للنحاس عند $20^{\circ} C$ تساوي $1.72 \times 10^{-8} \ \Omega.m$

الحل

يمكن الحصول على مقاومة الموصل من العلاقة التالية :

$$R = \rho \ell / A$$

حيث ℓ طول الموصل ، ρ هى المقاومة النوعية ، A هى مساحة مقطعه وهى تساوى

$$A = \pi D^2 /4$$

حيث D هو قطر الموصل ، لذلك يمكن الحصول على المساحة كالآتى :

$$A = \pi D^2 /4 = \pi (5 \text{ x } 10\text{-}3)2 /4 = 6.25 \pi \text{ x } 10\text{-}6 \quad m^2$$

ولذلك يمكن الحصول على المقاومة R كالآتى :

$$R = \rho \ell / A = (1.72 \text{ x } 10\text{-}8) (5) / (6.25 \pi \text{ x } 10\text{-}6) = 4.38 \quad m \Omega$$

مثال (٥ -٢) :

تبلغ مقاومة موصل معدنى 7Ω عند $0^{O}C$، وتصبح 7.8 Ω عند 200 ˚C ، إحسب معامل درجة حرارة المعدن عند 200 ˚C .

الحل

يمكن حساب معامل درجة حرارة المعدن باستخدام العلاقة الآتية:

$$R_{T2} = R_{T1} [1+ \alpha_{T1} (T_2 – T_1)]$$

أى أن

$$R_0 = R_{T1} [1+ \alpha_{T1} (T_0 – T)]$$

وبالتعويض عن القيم المعطاه فى الصورة السابقة ، أى

$$7 = 7.8 [1+ \alpha_{T1} (0 – T)]$$

ومن ذلك نحصل على α_{T1} (معامل درجة الحرارة عند 200 C˚) = ٠.005130 C^{-1}

مثال (٥ -٣) :

موصل مقاومته ٢٥Ω تزداد مقاومته بمقدار 10% عندما تزداد درجة حرارته من ١٥ إلى 500 ˚C ، إحسب متوسط إرتفاع درجة حرارة الموصل عند درجة حرارة محيطة تبلغ 200 ˚C عندما تكون مقاومته 30Ω ويكون معامل درجة الحرارة ثابتا .

الحل

يمكن حل هذا المثال باستخدام العلاقة الآتية:

$$R_T = R_0 (1+ \alpha_0 T)$$

وبالتالى يكون

$R_{15} = 25 = R_0 (1+ 15\alpha_0)$,
$R_{50} = 25+2.5 = 27.5 = R_0 (1+ 50\alpha_0)$

بحل المعادلتين السابقتين معا نحصل على :

$\alpha_0 = 0.0029850\ C\text{-}1$, $R_0 = 23.9286\ \Omega$

ويمكن حساب درجة حرارة الموصل عندما تكون مقاومته 30 Ω كالآتى :

$R_T = 30 = R_0 (1+ \alpha_0\ T) = 23.9286 (1+ 0.002985\ T)$

وبالتالى نحصل على درجة الحرارة $T = 85^0\ C$

وبالتالى يكون الإرتفاع فى درجة الحرارة ΔT

$\Delta T = 85 - 20 = 650\ C$

القدرة والطاقة الكهربائية : Electric Power and Energy

عند مرور تيار كهربى قدره I فى موصل مقاومته R فإن طاقة كهربية تتحول إلى طاقة حرارية تعمل على رفع درجة حرارة المقاومة . فإذا كان الجهد بين طرفى هذا الموصل هو V فإن شحنة قدرها dQ تمر فى زمن قدره dt تعطى بالعلاقة لتالية:

$dQ = I\ dt$

وتكون بالتالى الطاقة التى تكتسبها هذه الشحنة (كما سبق دراسته فى الوحدة الأولى) فى الصورة :

$dW = V\ dQ = V\ I\ dt$

والقدرة الكهربية التى تعرف على أنها معدل تغير الطاقة بالنسبة للزمن تكون :

$P = dW / dt = V\ I\ dt / dt = V\ I$ (5.12)

أى أن القدرة الكهربية P تعطى قيمتها من شدة التيار وفرق الجهد ، ووحدتها هى joule / s أو ((Watt ومن قانون أوم نجد أن

$V = I\ R$, $I = V / R$

لذلك يمكن أن تأخذ القدرة P الصور التالية :

$P = VI = I^2\ R = V^2 / R$ Watt (5.13)

فى حالة المنبع الكهربى فإن الشحنة تتحرك داخله من النقطة الأقل جهدا إلى النقطة الأعلى جهدا ، أى أنها تكتسب طاقة كهربية أثناء مرورها داخل المنبع ، وهذا لابد أن يأتى من صورة مختلفة من صور الطاقة ، فإذا كان المنبع مثلا بطارية فإن الطاقة الكيميائية تتحول إلى طاقة كهربية ، وتكون القدرة فى هذه الحالة :

$$P = E\,I \qquad \text{Watt} \qquad (5.14)$$

حيث E هى القوة الدافعة الكهربية للبطارية .

ويمكننا الحصول على الطاقة الكهربية المفقودة أو المكتسبة W كالآتى :

$$W = P\,t \qquad (\text{Watt-sec or Joules}) \qquad (5.15)$$

الكفاءة :(Efficiency)

تنتقل الطاقة الكهربية من المصدر الكهربى إلى الأحمال عبر الموصلات الكهربية و يمكننا أن نعرف عندئذ الكفاءة η للنظام كالآتى :

$$\eta = P_o / P_i \qquad (5.16)$$

حيث P_o هى القدرة الخارجة (قدرة الحمل) و P_i هى القدرة الداخلة (قدرة المنبع) و التى يمكن حسابها كالآتى :

$$P_i = E\ I \qquad (5.17)$$

حيث E هو جهد المنبع ، I هو التيار الداخل . ويمكن كذلك حساب P_i كما يلى :

$$P_i = P_o + P_{loss} \qquad (5.18)$$

حيث P_{loss} هى القدرة المفقودة فى الموصل ، والتى يمكن حسابها كالآتى :

$$P_{loss} = I^2 R$$

حيث I هو شدة التيار و R هى المقاومة .

ويمكننا كذلك أن نعرف الكفاءة η بدلالة الطاقة كالآتى :

$$\eta = W_o / W_i$$

حيث W_o هى الطاقة الخارجة و W_i هى الطاقة الداخلة .

مثال (٥ -٤) :

إحسب التيار المار فى المقاومة ٢ K Ω إذا كان فرق الجهد بين طرفيها 16 V .

الحل

يمكن حساب التيار الكهربى I اطبقا لقانون أوم كالآتى :

$$I = V / R = (16 / 2000) = 8\ m\,A$$

حيث V هو فرق الجهد بين طرفى المقاومة ، R هى المقاومة .

مثال (٥ -٥):

إحسب القدرة المفقودة فى المقاومة 5Ω إذا كان التيار المار بها ٤ A .

الحل

القدرة المفقودة فى المقاومة هى :

$$P = I^2 R = (4)^2 (5) = 80 \text{ W}$$

مثال (٥ -٦) :

إحسب الطاقة الكهربية اللازمة لإضاءة مصباح كهربى قدرته ٦٠ W لمدة سنة .

الحل

يمكن حساب الطاقة الكهربية W كالآتى:

$$W = P\,t = 60\ (24)\ (\ 365\ )\ /\ 1000 = 525.6 \text{ KWh}$$

حيث P هى القدرة الكهربية و t هو الزمن .

مثال (٥ -٧) :

إحسب قدرة المحرك الكهربى إذا كانت الكفاءة 80% وكان التيار المغذى للمحرك ٨ A عند 120 V

الحل

حيث أن الكفاءة η تعطى بالعلاقة :

$$\eta\ \% = (\ P_o\ /\ P_i\ )\ (100\ \%)$$

$$P_i = V\ I = (120)\ (8) = 960 \text{ W}$$

ولذلك نحصل على قدرة المحرك P_o كما يلى :

$$0.80 = (\ P_o\ /\ 960)$$

$$P_o = (\ 0.8\ )\ (960\ ) = 768 \text{ W}$$

ويمكن الحصول على قدرة المحرك بالحصان (hourse_ Power (hp)) كالآتى :

$$P_o = 768\ W\ (\ 1\ hp / 746\ W\ ) = 1.029\ hp$$

مثال (٥ -٨) :

تبلغ القدرة التى يأخذها ملف مقاوم مصنوع من سلك نحاسى ٢٢٠ W عند ١١٠ V و ٢٠ ° C . إحسب القدرة التى يستهلكها الملف عند ١١٠ V و ١٢٠ ° C ، إذا كان معامل درجة الحرارة عند 20^0 C هو $٠,٠٠٣٩٣C^{-1}$.

الحل

يمكننا الحصول على القدرة المطلوبة P_{120} كما يلى :

$$P_{20} = V^2 / R_{20}$$

$$R_{20} = V^2 / P_{20} = (110)^2 / 220 = 55$$

$$R_{120} = R_{20} [\ 1 + \alpha_{20} (\ 120 - 20\ )\ ] = 55 [\ 1 + 0.00393\ (\ 100\ )]$$

$$= 76.615\ \Omega$$

$$P_{120} = V^2 / R_{120} = (110)^2 / 76.615 = 157.93\ W$$

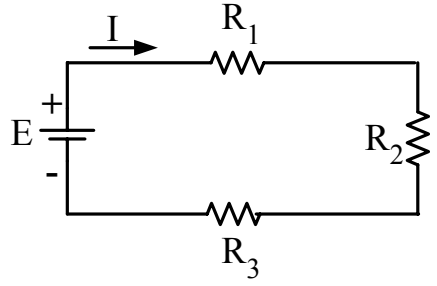
الفصل السادس

توصيل الدوائر على التوالى

فى هذا الفصل سيتم شرح كيفية توصيل المقاومات والبطاريات على التوالى فى الدوائر الكهربية ، بالاضافة إالى شرح قانون كيرشوف للجهد وقاعدة تويع الجهد ، مع توضيح ذلك بأمثلة متنوعة .

توصيل المقاومات على التوالى :

إذا ما تم توصيل عدد من المقاومات بشكل ما بحيث يسرى نفس التيار فى كل منها ، فإن هذا التوصيل يسمى بالتوصيل على التوالى كما موضح فى شكل (٦ -١) . من هذا الشكل يمكننا إيجاد المقاومة الكلية R_T كالآتى :



شكل (٦ -١) توصيل المقاومات علي التوالي

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 \quad \Omega$$

ويمكننا إيجاد المقاومة الكلية فى الصورة العامة لعدد N من المقاومات الموصلة على التوالى كما يلى.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \text{----------} + R_N \quad \Omega \qquad (6.1)$$

يمكن الحصول كذلك من شكل (٦ -١) على التيار I طبقا لقانون أوم ، أى أن :

$$I = E / R_T \quad A \qquad (6.2)$$

حيث E هى القوة الدافعة الكهربية للبطارية . ويمكن كذلك إيجاد فرق الجهد عبر كل مقاومة فى الصورة العامة طبقا لقانون أوم كما يلى :

$$V_1 = I R_1 \ , V_2 = I R_2 \ , V_3 = I R_3 \ , \text{----------}, V_N = I R_N \quad V \qquad (6.3)$$

والقدرة المفقودة فى كل مقاومة يمكن حسابها باستخدام أى من المعادلات التالية الموضحة (فى حالة المقاومة R_1) :

$$P_1 = V_1 I_1 = I_1^2 R_1 = V_1^2 / R_1 \quad W \qquad (6.4)$$

وقدرة المنبع تكون فى هذه الحالة :

$P_{del} = E\ I \qquad W$

ولأى عدد N من المقاومات موصلة على التوالى تكون القدرة المفقودة فى هذه المقاومات :

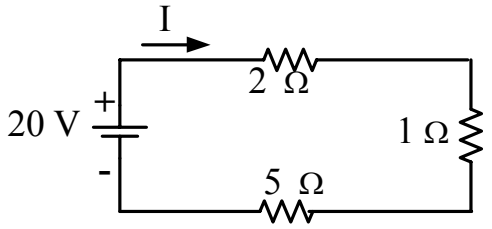
$P_{del} = P_1 + P_2 + P_3 + \text{----------} + P_N \qquad (6.5)$

ونلاحظ هنا أن قدرة المنبع تساوى القدرة المفقودة فى المقاومات المتصلة على التوالى بهذا المنبع .

مثال (٦ -١) :

للدائرة الموضحة فى شكل (٦ -٢) ، إحسب : (أ) المقاومة الكلية والتيار الكهربى . (ب) فروق الجهد الكهربى V_1 و V_2و V_3 عبر المقاومات R_1 و R_2 و R_3 .

(ج) القدرة المفقودة فى المقاومات R_1 و R_2 و R_3 ، وكذلك قدرة المنبع .



شكل (٦ -٢)

الحل

(أ) المقاومة الكلية R_T نحصل عليها من المعادلة (٦,١) وهى :

$R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 2 + 1 + 5 = 8 \qquad \Omega$

وطبقا لقانون أوم نحصل على التيار I المار فى الدائرة ، أى أن

$I = E / R_T = 20 / 8 = 2.5 \quad A$

(ب) وفروق الجهد الكهربى V_1 و V_2 و V_3 عبر المقاومات R_1 و R_2 و R_3 هى :

$V_1 = I\ R_1 = (2.5)\ (2) = 5 \qquad V$
$V_2 = I\ R_2 = (2.5)\ (1) = 2.5 \qquad V$
$V_3 = I\ R_3 = (2.5)\ (5) = 12.5 \qquad V$

(ج) القدرة المفقودة فى المقاومات R_1 و R_2 و R_3 هى على الترتيب :

$P_1 = I_1^2\ R_1 = (2.5)^2\ (2) = 12.5 \qquad W$
$P_2 = V_2\ I_2 = (2.5)\ (2.5) = 6.25 \qquad W$
$P_3 = V_3^2 / R_3 = (12.5)^2 / 5 = 31.25 \qquad W$

وقدرة المنبع هى :

$P_{del} = E\ I\ = (20)\ (\ 2.5) = 50 \qquad W$

ونلاحظ هنا أن

$P_1 + P_2\ + P_3 = 12.5 + 6.25 + 31.25 = 50\ \ W\ = P_{del}$

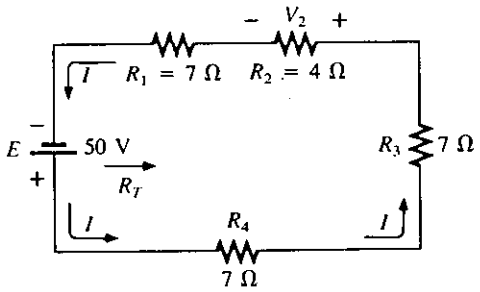
فى حالة توصيل عد N من مقاومات متساوية R على التوالى تكون المقاومة الكلية هى :

$R_T = N\ R \qquad (\ 6.6\ )$

مثال (٦ -٢):

أوجد المقاومة الكلية R_T والتيار I وفرق الجهد V_2 للدائرة الموضحة فى شكل (٦ -٣) .

الحل



شكل (٦ -٣)

لأن المقاومات $R_1 = R_3 = R_4$ ، فإن المقاومة الكلية تكون :

$R_T = N\ R_1 + R_2 = (3)\ (7) + 4 = 25 \qquad \Omega$

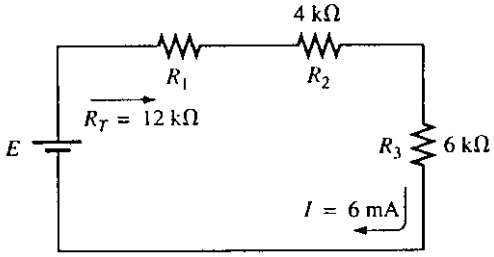
$I\ = E\ /\ R_T = 25\ /\ 25 = 2 \qquad A$

$V_2 = I\ R_2 = (2)\ (4) = 8 \qquad V$

مثال (٦ -٣) :

فى الدائرة الموضحة فى شكل (٦ -٤)المقاومة الكلية R_T والتيار I لها قيم معلومة ، أوجد المقاومة R_1 وجهد البطارية E .

الحل



شكل (٦ -٤)

$R_T = R_1 + R_2 + R_3$

$12 = R_1 + 4 + 6$

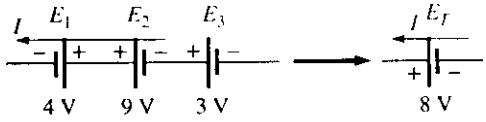
$R_1 = 12 - 10 = 2 \quad k\,\Omega$

$E = I R_T = (6)(10^{-3})(12)(10^{3}) = 72 \quad V$

توصيل المنابع الكهربية على التوالى :

عندما يوصل أكثر من منبع جهد على التوالى ، فإن الجهد الكلى للنظام هو مجموع هذه الجهود بحيث كل جهد يكون مأخوذا بإشارته (موجب أو سالب) ، وبالتالى فإن الجهد الكلى للنظام ممكن أن يزيد أو ينقص إشارة (إتجاه) هذه المنابع . وكما موضح فى شكل (٦ -٥) فإن الجهد الكلى يكون :

$E_T = E_2 + E_3 - E_1 = 9 + 3 - 4 = 8 \quad V$

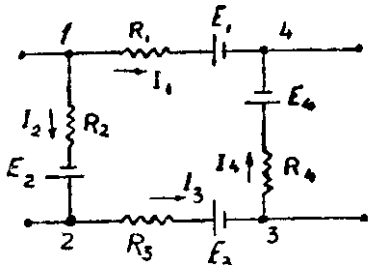


شكل (٦ -٥)

قانون كيرشوف للجهد :(Kirchhoff's Voltage Law)

يعرف هذا القانون على أن : المجموع الجبرى لكل من مقادير القوى الدافعة الكهربية للمنابع المختلفة فى دائرة كهربية مقفلة ومقادير الهبوط فى الجهد فى مقاومات الدائرة المختلفة مساويا للصفر .

ويلاحظ هنا أن إتجاه الهبوط فى الجهد على أية مقاومة يضاد إتجاه التيار المار في هذه المقاومة . ولتوضيح تطبيق هذا القانون بدون الوقوع فى بعض الأخطاء الشائعة نفرض أن شكل (٦ -٦) يمثل إحدى الدوائر المقفلة التى تتكون منها دائرة كهربية والتى يراد تطبيق القانون عليها . نفرض أن اتجاه التيارات فى الفروع المختلفة كما موضح فى الشكل ونبدأ تطبيق القانون من نقطة معينة (ولتكن النقطة ١) . طبقا



شكل (٦ -٦)

لقانون كيرشوف يجب أن يكون مجموع القوى الدافعة الكهربية ومجموع مقادير الهبوط فى الجهد فى مقاومات الدائرة المختلفة مساويا للصفر ابتداء من النقطة ١ حتى تعود إليها فى أى الإتجاهين ، أى أن فى الإتجاه الأول ١ ٤ ٣ ٢ ١ يكون :

$$-I_1 R_1 - E_1 + E_4 + I_4 R_4 + E_3 + I_3 R_3 - E_2 + I_2 R_2 = 0$$

أو فى الإتجاه ألآخر ١ ٢ ٣ ٤ ١ يكون

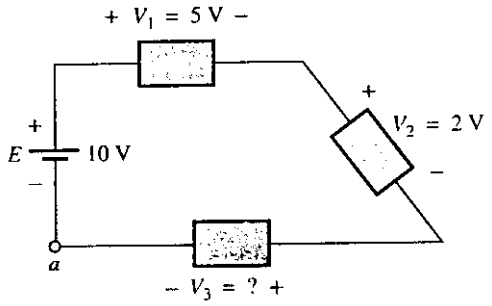
$$-I_2 R_2 + E_2 - I_3 R_3 - E_3 - I_4 R_4 - E_4 + E_1 + I_1 R_1 = 0$$

يلاحظ من المعادلتين السابقتين أن القوة الدافعة الكهربية للبطارية تدخل فى المعادلة بإشارة موجبة عندما يكون المرور عليها أثناء تطبيق القانون من القطب السالب إلى القطب الموجب ، كما أن مقدار الهبوط فى الجهد على المقاومة يدخل فى المعادلة بإشارة سالبة عندما يكون المرور على المقاومة أثناء تطبيق القانون فى اتجاه التيار .

مثال (٦ -٤) :

إحسب فرق الجهد V_3 للدائرة الموضحة فى شكل (٦ -٧) باستخدام قانون كيرشوف للجهد .

الحل



شكل (٦ -٧)

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد وذلك بإخذ مسار فى إتجاه عقارب الساعة إبتداء من النقطة a فنحصل على :

$$E - V_1 - V_2 - V_3 = 0$$

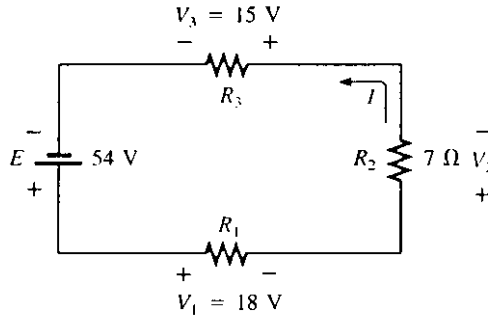
أى أن

$$V_3 = E - V_1 - V_2 = 10 - 5 - 2 = 3 \quad V$$

مثال (٦ -٥):

للدائرة الموضحة فى شكل (٦ -٨) ، أوجد فرق الجهد V_2 و التيار I وأوجد كذلك قيمة المقاومتين R_1 و R_3 .

الحل



شكل (٦ -٨)

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد (بأخذ مسار فى اتجاه عقارب الساعة) نحصل على

$$-E + V_3 + V_2 + V_1 = 0$$

ومنها

$$V_2 = E - V_1 - V_3 = 54 - 18 - 15 = 21 \text{ V}$$
$$I = V_2 / R_2 = 21 / 7 = 3 \ \Omega$$
$$R_1 = V_1 / I = 18 / 3 = 6 \text{ A}$$
$$R_3 = V_3 / I = 15 / 3 = 5 \text{ A}$$

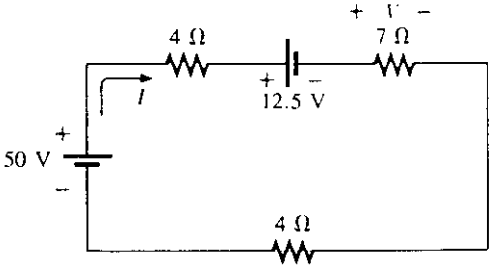
مثال (٦ -٦):

إحسب للدائرة المبينة فى شكل (٦ -٩) التيار I وفرق الجهد عبر المقاومة 7Ω وكذلك القدرة المفقودة فى المقاومة 7Ω .

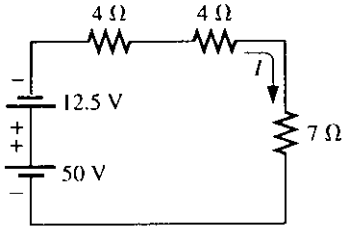
الحل

يمكننا هنا إبدال موضع العناصر فى الدائرة بدون أن يحدث أى تغيير فى المقاومة الكلية للدائرة أو التيار أو القدرة لأى من هذه العناصر . ففى شكل (٦ -١٠) قمنا بتغيير وضع البطارية 12.5 V وكذلك وضع المقاومة 4 Ω بدون أن يؤثر ذلك على الدائرة الأساسية .

$R_T = 4 + 4 + 7 = 15\ \Omega$
$I = E / R_T = (50\text{-}12.5) / 15 = 37.5 / 15 = 2.5\ A$
$V_{7\Omega} = I\ R = (2.5)\ (7) = 17.5\ V$
$P_{7\Omega} = I^2\ R = (2.5)^2\ (7) = 43.75\ W$



شكل (٦ -٩)



شكل (٦ -١٠)

قاعدة توزيع الجهد : (Voltage Divider Rule)

فى حالة توصيل مقاومات على التوالى مع منبع جهد كهربى ، فإن فرق الجهد عبر أى مقاومة فى هذه الدائرة يساوى حاصل ضرب هذه المقاومة فى جهد المنبع مقسوما على المقاومة الكلية للدائرة . ويمكن استنتاج هذه القاعدة وذلك من الدائرة الموضحة فى شكل (٦ -١١) كالآتى :

$R_T = R_1 + R_2$

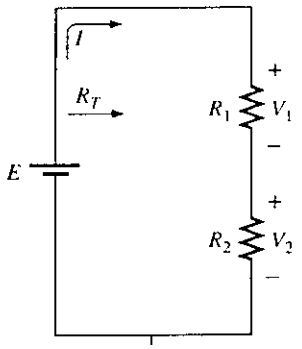
حيث R_T هى المقاومة الكلية ، وبتطبيق قانون أوم نحصل على :

$I = E / R_T$

$V_1 = I\ R_1 = (E / R_T)\ R_1 = (R_1\ E / R_T)$
$V_2 = I\ R_2 = (E / R_T)\ R_2 = (R_2\ E / R_T)$

ويمكن كتابة هذه القاعدة فى الصورة العامة ، أى أن :

$$V_x = (R_x\ E / R_T) \qquad (6.7)$$

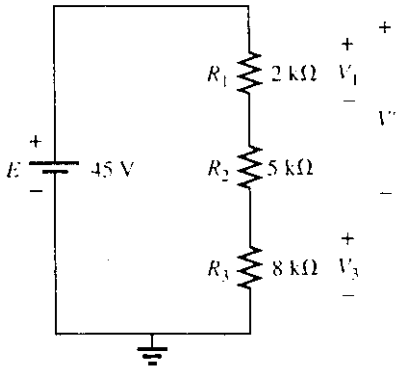


شكل (٦ -١١)

مثال (٧ -٦) :

باستخدام قاعدة توزيع الجهد ، إحسب فرقى الجهد V_1 و V_3 للدائرة المبينة فى شكل (٦ -١٢) .

الحل



شكل (٦ -١٢)

يمكن حساب فرقى الجهد V_1 و V_3 بتطبيق قاعدة توزيع الجهد كما يلى :

$V_1 = (R_1 E / R_T) = (2 \times 10^3)(45) / (2 + 5 + 8) \times 10^3$
$= 90 / 15 = 6$ V

$V_3 = (R_3 E / R_T) = (8 \times 10^3)(45) / (2 + 5 + 8) \times 10^3$
$= 360 / 15 = 24$ V

الفصل السابع

توصيل الدوائر على التوازى

سيتم فى هذا الفصل شرح كيفية توصيل المقاومات على التوازى وكذلك قانون كيرشوف للتيار بالإضافة إلى قاعدة توزيع التيار ، وكذلك الدوائر المفتوحة ودوائر القصر. وقد تم توضيح ذلك بأمثلة متنوعة .

توصيل المقاومات على التوازى :

إذا تم توصيل عدد من المقاومات بشكل ما بحيث أن فرق الجهد عبر أى منها متساو ، فإن هذا التوصيل يسمى بالتوصيل على التوازى .

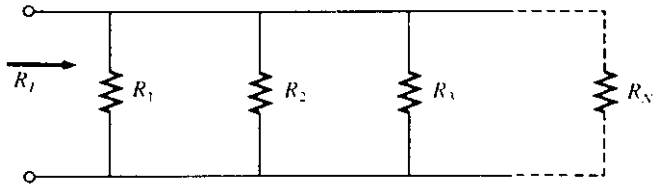
لأى عدد من الموصلية G موصلة على التوازى ، يمكننا أن نحصل على الموصلية الكلية G_T كالآتى :

$$G_T = G_1 + G_2 + G_3 + \text{---------} G_N \qquad (7.1)$$

حيث أن G (كما عرفت فى الفصل الخامس) هى مقلوب المقاومة R ($R = 1 / G$)، وبالتالى فإن :

$$1 / R_T = 1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_3 + \text{---------} + 1 / R_N \qquad (7.2)$$

حيث R_T هى المقاومة الكلية كما موضح فى شكل (١ -٧) .

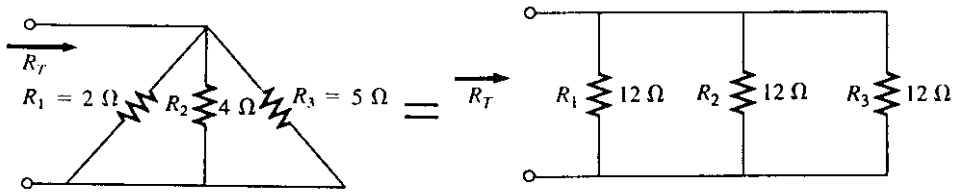


شكل (7-1) توصيل المقاومات علي التوازي

مثال (7-1) :

للدائرة الموضحة فى شكل (7-2) ، إحسب المقاومة الكلية R_T وكذلك الموصلية الكلية G_T.

الحل



شكل ((7-2)

$1 / R_T = 1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_3$
$= 1 / 2 + 1 /4 + 1 / 5 = 0.95 \ S$
$R_T = 1 / 0.95 = 1.053 \ \Omega$
$G_T = 0.95 \ S$

المقاومة الكلية لمقاومات متساوية موصلة على التوازى :

يمكن إيجاد المقاومة الكلية لعدد N من المقاومات المتساوية قيمة كل منها R والموصلة على التوازى كالآتى :

$1 / R_T = 1 / R + 1 / R + 1 / R + ---------- + 1 / R = N (1 / R)$

أى أن المقاومة الكلية R_T تكون

$R_T = R / N$

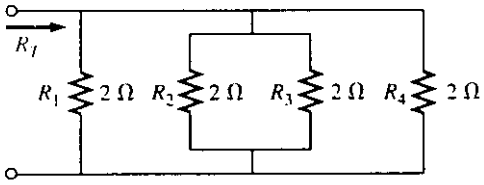
وتكون الموصلية الكلية G_T لعدد N متساو من الموصلية G فى هذه الحالة :

$G_T = N G$

مثال (٧ -٢)

للدائرة الموضحة فى شكل (٧ -٣) ، إحسب المقاومة الكلية R_T .

الحل



شكل (٧ -٣)

كما موضح فى شكل (٧ -٣) حيث المقاومات متساوية ، فتحسب R_T كالآتى :

$R_T = R / N = 2 / 4 = 0.5 \ \Omega$

قاعدة هامة :

١. إذا وصلت مقاومتين R_1 و R_2على التوازى فتحسب المقاومة الكلية R_T كما يلى

$1/ R_T = 1 / R_1 + 1 / R_2 = (R_1 + R_2) / R_1 R_2$

أى أن

$R_T = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$ (7.3)

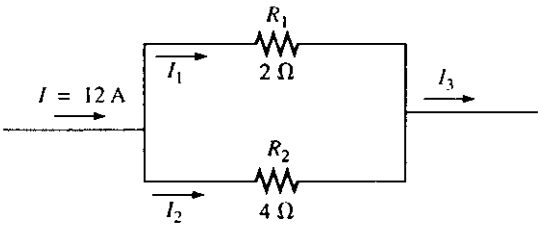
٢. إذا وصلت ثلاث مقاومات R_1و R_2 و R_3على التوازى فتحسب المقاومة الكلية R_T كذلك كما يلى :

$R_T = R_1 R_2 R_3 / (R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)$ (7.4)

مثال (٧ -٣):

إحسب المقاومة الكلية R_Tللدائرة المبينة فى شكل (٧ -٤) باستخدام المعادلة (7.3).

الحل



شكل (٧ -٤)

باستخدام المعادلة (7.3) يمكننا حساب R_T كما يلى :

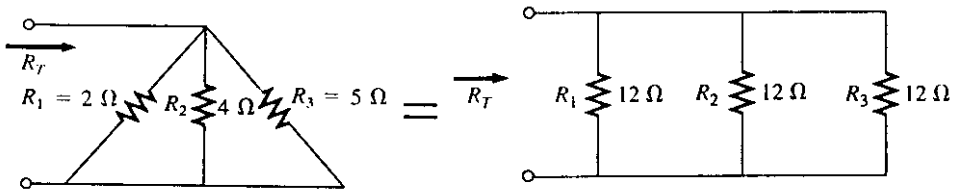
$$R_T = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = (2) (4) /(2 + 4) = 1.3333 \ \Omega$$

مثال (٧-٤) :

أعد حل مثال (٧ -١) باستخدام المعادلة (7.4) .

الحل

باستخدام المعادلة (7.4) يمكننا حساب R_T كما موضح فى شكل(٧ -٥) كالآتى :



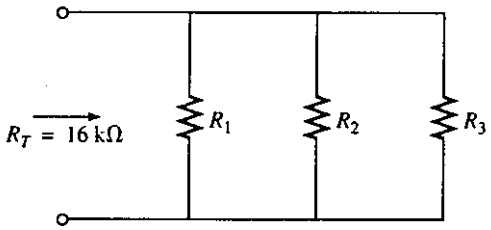
شكل(٧ -٥)

$$R_T = R_1 R_2 R_3 / (R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3)$$
$$= (2) (4) (5) / [(2) (4) + (2) (5) + (4) (5)] = 40 / 38 = 1.053 \ \Omega$$

مثال (٧ -٥):

إحسب المقاومات R_1 و R_2 و R_3 للدائرة المبينة فى شكل (٧ -٦) وذلك إذا كان $R_2 = 2 R_1$ و $R_3 = 2 R_2$ وكانت المقاومة الكلية $R_T = 16 \ k\Omega$.

الحل



شكل (٧ -٦)

كما موضح فى شكل (٧ -٦) يمكننا أن نحصل على :

$$1 / R_T = 1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_3$$

وحيث أن $R_2 = 2 R_1$ و $R_3 = 2 R_2 = 2 (2 R_1) = 4 R_1$ وبالتعويض فى الصورة السابقة عن R_2 و R_3 وكذلك عن قيمة R_T نحصل على :

$$1 / 16 = (1 / R_1) + (1 / 2R_1) + (1 / 4R_1) = 1.75 (1 / R_1)$$

ومنها نحصل على المقاومة R_1 ، أى أن

$$R_1 = 1.75 (16) = 28 \ \Omega$$

وبالتالى نحصل على المقاومات R_2 و R_3 كما يلى :

$$R_2 = 2 R_1 = 2 (28) = 56 \ \Omega \quad , \quad R_3 = 4 R_1 = 4(28) = 112 \ \Omega$$

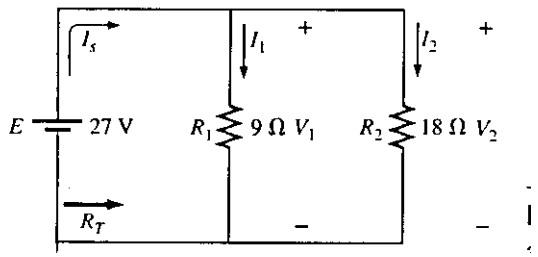
مثال (٧ -٦) :

لدائرة التوازى الموضحة فى شكل (٧ -٧) إحسب :

(أ) المقاومة الكلية R_T والتيار الكلى I_S وكذلك التيارات I_1 و I_2 .

(ب)القدرة المفقودة فى كل مقاومة ، وكذلك قدرة المنبع (البطارية) .

الحل



شكل (٧ -٧)

(أ) المقاومة الكلية R_T والتيارات I_s و I_1 و I_2 يمكن حسابهم كما يلى :

$$R_T = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = (9) (18) /(9 + 18) = 162 / 27 = 6 \ \Omega$$

$I_S = E / RT = 27 / 6 = 4.5$ A
$I_1 = V1 / R1 = E / R1 = 27 / 9 = 3$ A
$I_2 = V2 / R2 = E / R2 = 27 / 18 = 1.5$ A

نلاحظ هنا أن التيار $I_S = I_1 + I_2$ ، أى أن $1.5 + 3 = 4.5$ وهذا يعتبر تاكيدا لصحة الحل .

(ب) نوجد القدرة المفقودة فى كل مقاومة ، وقدرة المنبع (البطارية) كالآتى :

$P_1 = V_1 I_1 = E I_1 = (27) (3) = 81$ W
$P_2 = V_2 I_2 = E I_2 = (27) (1.5) = 40.5$ W
$P_S = E I_S = (27) (4.5) = 121.5$ W

نلاحظ هنا أن القدرة $P_S = P_1 + P_2$ ، أى أن $40.5 + 81 = 121.5$.

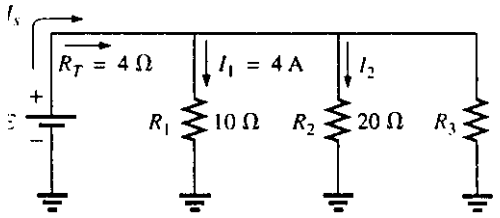
مثال (٧ -٧) :

للدائرة الموضحة فى شكل (٧ -٨) ، إحسب :

(أ) المقاومة R_3 وجهد البطارية E وكذلك تيار المنبع I_S .

(ب)التيار I_2 والقدرة المفقودة فى المقاومة R_2 أى P_2 .

الحل



شكل (٧ -٨)

(أ)يمكن حساب المقاومة R_3 وجهد البطارية E وكذلك تيار المنبع I_S كما يلى:

$1 / R_T = 1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_3$
$1 / 4 = 1 / 10 + 1 / 20 + 1 / R_3$
$0.25 = 0.1 + 0.05 + 1 / R3$
$0.25 = 0.15 + 1 / R_3$, $1 / R_3 = 0.1$, $R_3 = 10\ \Omega$
$E = V_1 = I_1 R_1 = (4) (10) = 40$ V
$I_T = E / R_T = 40 / 4 = 10$ A

(ب)يمكننا حساب التيار I_2 والقدرة المفقودة فى المقاومة R_2 أى P_2 كما يلى :

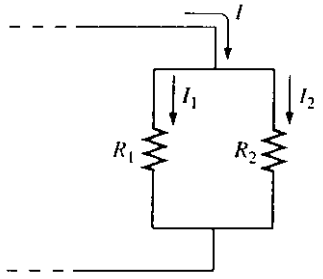
$I_2 = V_2 / R_2 = E / R_T = 40 / 20 = 2$ A
$P_2 = I_2^2 R_2 = (2)2 (20) = 80$ W

قانون كيرشوف للتيار : (Kirchhoff's Current Law)

ينص هذا القانون على أن المجموع الجبرى للتيارات الكهربية الداخلة إلى عقدة معينة يساوى مجموع التيارات الخارجة منها . ويقصد بالعقدة فى الدائرة الكهربية النقطة التى تلتقى عندها أو تتفرق منها فروع الدائرة . وكما هو موضح فى شكل (٧ -٩) فإنه طبقا لقانون كيرشوف للتيار يكون :

$$I = I_1 + I_2$$

حيث التيار I هو التيار الداخل إلى العقدة و التيارت I_1 و I_2 هى التيارت الخارجة منها .

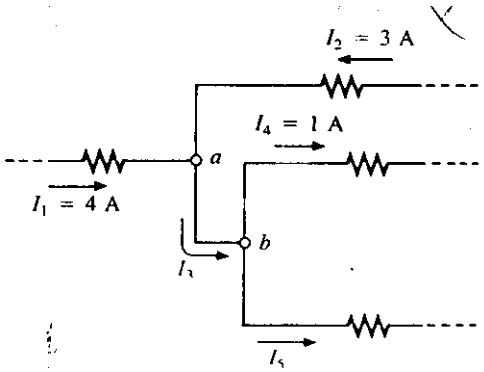


شكل (٧ -٩)

مثال (٧ -٨) :

إحسب التيارات I_3 وI_5 فى شكل (٧ -١٠) وذلك بتطبيق قانون كيرشوف للتيار. .

الحل



شكل (٧ -١٠)

طبقا لقانون كيرشوف للتيار فإن التيار I_3 يكون :

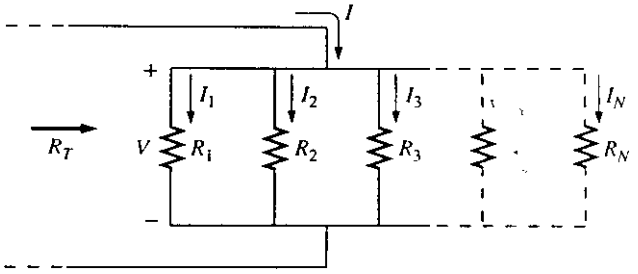
$$I_3 = I_1 + I_2 = 4 + 3 = 7 \quad A$$

وكذلك التيار I_5 نحصل عليه طبقا لنفس القانون ، أى أن

$$I_3 = I_4 + I_5$$
$$7 = 1 + I_5$$
$$I_5 = 7 - 1 = 6 \quad A$$

قاعدة توزيع التيار :

نطبق هذه القاعدة وذلك عندما نرغب فى حساب التيار فى أى فرع من فروع دائرة كهربية موصلة على التوازى كما موضح فى شكل (٧ -١١) . فإذا أردنا مثلا إيجاد قيمة التيار I_x المار فى المقاومة R_x ، فإننا نحسب أولا التيار I حيث $I = V / R_T$ ويكون فرق الجهد V عبر المقاومة R_x هو $V = I_x R_x$ (شكل (٧ -١١))، أى أن :



شكل (٧ -١١)

$$I = V / R_T = I_x R_x / R_T$$

حيث R_T هى المقاومة الكلية للدائرة ، وبالتالى يكون

$$I_x = (R_T / R_x) I \qquad (7.5)$$

المعادلة السابقة تمثل الصورة العامة لقاعدة توزيع التيار . فمثلا لإيجاد أى تيار وليكن I_1 فطبقا لهذه القاعدة يكون :

$$I_1 = (R_T / R_1) I$$

وهكذا يمكن إيجاد أى تيار فى الدائرة الموضحة فى شكل (**7 -9**) طبقا لهذه القاعدة . وبالتالى يكون كذلك التيار I_2

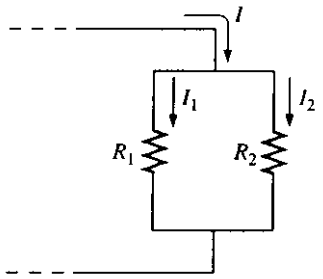
$$I_2 = (R_T / R_2) I$$

وفى حالة خاصة إذا ما كانت الدائرة الكهربية عبارة عن مقاومتين على التوازى كما مبين فى شكل (٧ -١٢) ، فتكون المقاومة الكلية R_T فى هذه الحالة :

$$R_T = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$$
$$I_1 = (R_T / R_1) I = [(R_1 R_2 / (R_1 + R_2)) / R_1] I$$

أى أن التيار I_1 يكون

$$I_1 = I R_2 / (R_1 + R_2) \qquad (7.6)$$



شكل (7 -12)

وبالمثل يمكن الحصول على التيار I_2 ، أى أن

$$I_2 = I R_1 / (R_1 + R_2) \qquad (7.7)$$

مثال (٧ -٩) :

أوجد قيمة التيار I_1 للدائرة المبينة فى شكل (٧ -١٣) .

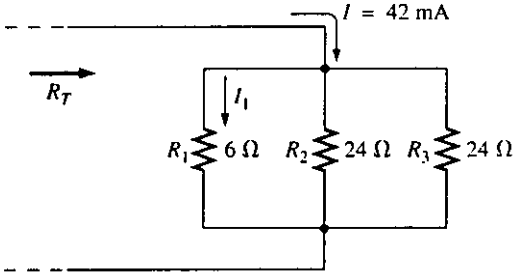
الحل

$R_{T1} = 24 / 2 = 12 \quad \Omega$

وبالتالى المقاومة الكلية R_T تكون

$R_T = R_{T1} R_1 / (R_{T1} + R_1) = (12) (6) / (12 + 6) = 72 / 18 = 4 \quad \Omega$

وبالتالى طبقا لقاعدة توزيع التيار يكون التيار I_1



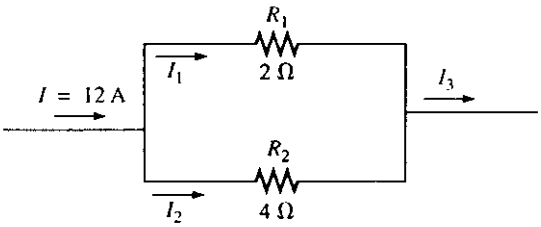
شكل (٧ -١٣)

$I_1 = (R_T / R_1) I = (4 / 6) (42) = 28 \quad mA$

مثال (٧ -١٠) :

أوجد قيمة التيارات I_1 و I_2 و I_3 للدائرة المبينة فى شكل (٧ -١٤) .

الحل



شكل (٧ -١٤)

باستخدام قاعدة توزيع التيار يكون التيار I_1

$I_1 = [R_2 / (R_1 + R_2)] I = [(4) / (2 + 4)] (12) = 8 \quad A$

وبالمثل يمكن الحصول على التيار I_2 طبقا لنفس القاعدة ، أى أن

$I_2 = [R_1 / (R_1 + R_2)] I = [(2) / (2 + 4)] (12) = 4 \quad A$

ويمكن كذلك الحصول على التيار I_2 بتطبيق قانون كيرشوف للتيار ، أى أن

$I_2 = I - I_1 = 12 - 8 = 4 \quad A$

وبتطبيق قانون كيرشوف للتيار أيضا يمكن حساب التيار I_3 ، أى أن

$I_3 = I_1 + I_2 = 8 + 4 = 12 \quad A$

مع ملاحظة أنه يمكن حساب التيار I_3 مباشرة وذلك باعتبار أن التيار الكلى الداخل للمقاومتين R_1 و R_2 يجب أن يكون مساويا للتيار الخارج منهما وذلك طبقا لقانون كيرشوف للتيار ، أى أن

$I_3 = I = 12 \quad A$

مثال (٧ -١١) :

أوجد قيمة المقاومة R_1 للدائرة المبينة فى شكل (٧ -١٥) .

الحل

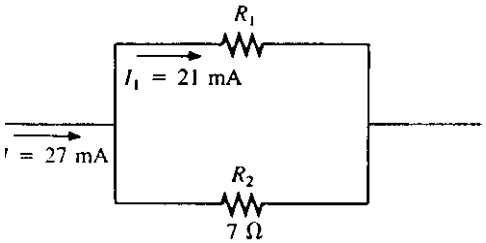
بتطبيق قاعدة توزيع التيار للدائرة المبينة فى شكل (٧ -١٥) للتيار I_1 ، أى أن

$I_1 = [R_2 / (R_1 + R_2)] I$

أى أن

$(R_1 + R_2) I_1 = R_2 I$

$R_1 I_1 + R_2 I_1 = R_2 I$



شكل (٧ -١٥)

$R_1 I_1 = R_2 I - R_2 I_1 = R_2 (I - I_1)$
$R_1 = [R_2 (I - I_1)] / I_1$

وبالتعويض عن قيم I و I_1 و R_2 فى العلاقة السابقة نحصل على المقاومة R_1 ، أى

$R_1 =[R_2 (I - I_1)] / I_1 =[(7) (27 - 21)] / (21) = (7) (6) / (21) = 2 \quad \Omega$

حل آخر :

بتطبيق قانون كيرشوف للتيار يمكن الحصول على التيار I_2 ، أى أن

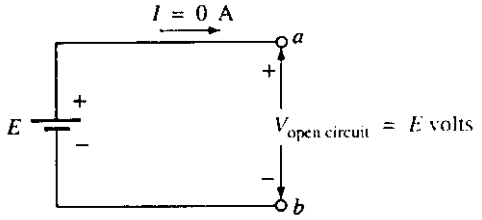
$I_2 = I - I_1 = 27 - 21 = 6$ mA

وبالتالى يمكن حساب فرقى الجهد V_2 و V_1 وكذلك المقاومة R_1 كما يلى :

$V_2 = I_2 R_2 = (6) (7) = 42 \quad$ mV
$V_1 = I_1 R_1 = V_2 = 42 \quad$ mV
$R_1 = V_1 / I_1 = (42$ mV$) / (21$ mA$) = 2 \quad \Omega$

الدوائر المفتوحة ودوائر القصر:(Open and Short Circuits)

الدائرة الكهربية المفتوحة يكون لها فرق جهد بين طرفيها المفتوحين ، بينما التيار يكون دائما مساويا للصفر بين هذين الطرفين المفتوحين . يبين شكل (٧ -١٦) دائرة كهربية مفتوحة عند الطرفين a و b فيكون فرق الجهد بين طرفيه $V_{ab} = E$ والتيار $I = 0$.



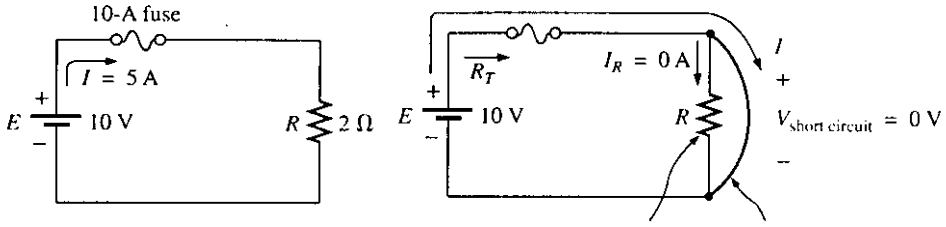
شكل (٧ -١٦)

أما بالنسبة لدائرة القصر فيكون فرق الجهد بين طرفيه الذى تم القصر بينهما دائما مساويا للصفر بينما يمر بين هذين الطرفين تيار كهربى. الدائرة الموضحة فى شكل(١٧ -٧) تبين أن القصر حدث بين طرفى المقاومة R ، وبالتالى يكون فرق الجهد بين طرفى المقاومة بعد حدوث القصر هو

$V = I R = (I) (0) = 0 \quad$ V

ويكون التيار بعد حدوث القصر (شكل(٧ -١٧)) بين طرفى المقاومة R هو

$I = E / R = E / 0 = \infty \quad$ A

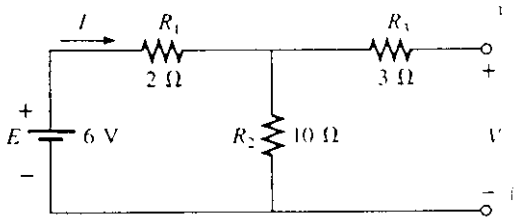


شكل(٧ -١٧)

مثال (٧ -١٢) :

إحسب قيمة التيار I وفرق الجهد V للدائرة المبينة فى شكل (٧ -١٨) ، ثم أعد حساب التيار I وفرق الجهد V بعد حدوث قصر بين طرفى المقاومة R_2 .

الحل



شكل (٧ -١٨)

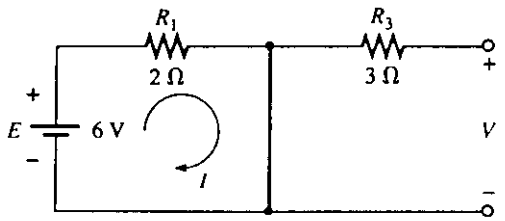
حيث أن الدائرة مفتوحة عند الطرفين فيكون التيار الكلى I هو التيار المار فى المقاومتين R_1 و R_2 فقط حيث أن التيار المار فى المقاومة R_3 يكون مساويا للصفر . أى أن

$R_T = R_1 + R_2 = 2 + 10 = 12 \quad \Omega$

$I = E / R_T = 6 / 12 = 0.5 \quad A$

$V = I R_2 = (0.5)\ (10) = 5 \quad V$

أما بعد حدوث القصر بين طرفى المقاومة R_2 فتكون المقاومة $R_T = R_1$ كما موضح فى شكل(٧ -١٩) وبالتالى يكون التيار I هو



شكل(٧ -١٩)

$I = E / R_T = E / R_1 = 6 / 2 = 3 \quad A$

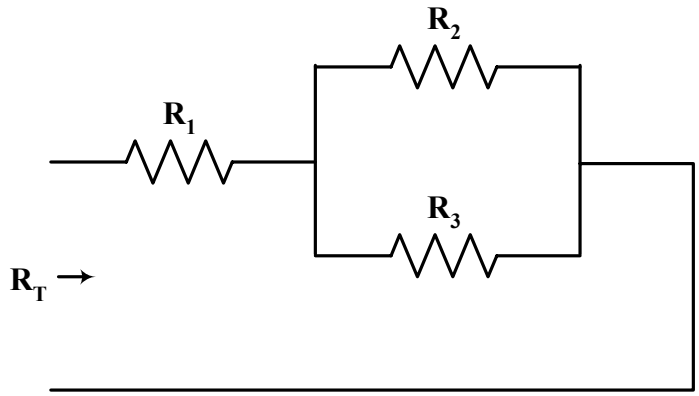
أما فرق الجهد V فيكون مساويا للصفر ، أى

$V = I R_2 = (I)\ (0) = 0 \quad V$

الفصل الثامن

توصيل الدوائر على التوالى - توازى

هذه الدوائر هى التي تتكون من دوائر التوالي والتوازي معا كما هو موضح في شكل (٨ -١)وبالتالي يمكن إيجاد المقاومة الكلية R_T لهذه الدائرة كما يلي:



شكل (٨ -١)

$$R_T = R_S + R_P$$

حيث المقاومة R_S هي مجموع المقاومات الموصلة علي التوالي ، المقاومة R_P هي المقاومة المكافئة للمقاومات الموصلة علي التوازي. وبالتالي يكون حساب هذه المقاومات في شكل (1-8) كالتالي:

$$R_S = R_1 \quad , \quad R_P = (R_2 R_3) / (R_2 + R_3)$$

لذلك تكون المقاومة الكلية لهذه الدائرة هي :

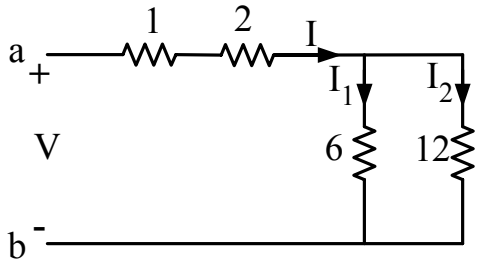
$$R_T = R_S + R_P = R_1 + (R_2 R_3) / (R_2 + R_3)$$

وسوف نقوم بحل أمثلة توضيحية لهذا النوع من الدوائر الكهربائية.

مثال (٨ -١):

أحسب فرق الجهد الذي يجب أن يوصل عبر الطرفين ab بحيث يكون فرق الجهد عبر المقاومة 2 Ω هو 10 V كما موضح فى شكل (٨ -٢).

الحل



شكل (٨ -٢).

التيار الداخل إلى الدائرة الموضحة فى شكل (٨ -٢).يكون

$$I = \frac{10}{2} = 5A$$

$$R_T = \frac{6 \times 12}{6+12} = 4\Omega$$
$$R_T = 1 + 2 + 4 = 7\Omega$$
$$V = IR_T = 7 \times 5 = 35\ V$$

مثال(٨ -٢)

فى مثال (٨ -١)احسب فرق الجهد عبر المقاومة ٦ Ω ومن ثم احسب التيارين I_1 و I_2 .

الحل

$$V_{6\Omega} = V - V_{2\Omega} - V_{1\Omega} = 35 - 10 - 5 = 20V$$

$$I_1 = \frac{20}{6} = 3.333\ A$$
$$I_2 = \frac{20}{12} = \frac{10}{6} A$$

مثال (٨ -٣) :

نريد تشغيل أربعة مصابيح 60W و 110V من منبع 230V حدد قيمة المقاومة المتصلة على التوالي مع الخط حتى لا يزيد الجهد الداخلى عبر المصابيح عن 110V .

الحل

القدرة الإجمالية المسحوبة من المنبع في الدائرة المبينة في شكل (8 -٣) تكون

$P = 40 \times 60 = 240 \quad W$

ويكون تيار الدخل

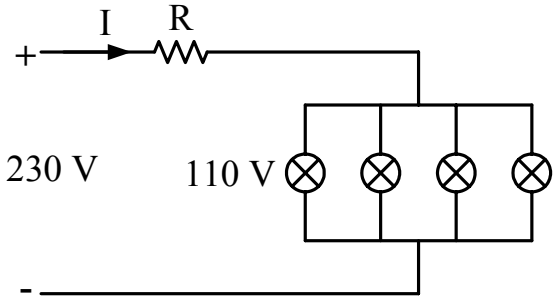
$I = P / V = 240 / 110 = 2.1818 \quad A$

وفرق الجهد عبر المقاومة R المتصلة على التوالى يكون

$V_R = 230 - 110 = 120 \quad V$

وبالتالى تصبح المقاومة R هى

$R = V_R / I = 120 / 2.1818 = 55 \quad \Omega$

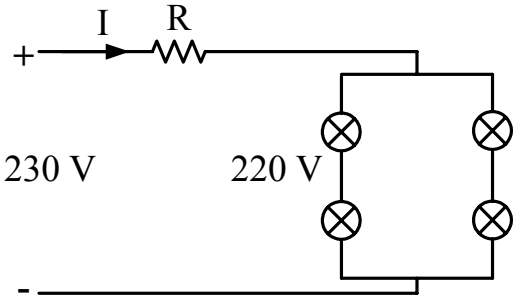


شكل (**3-8**)

مثال (**4-8**) :

ثمة طريقة بديلة لتشغيل مصابيح مثال ((**3-8**) بتوصيلها كما في شكل (**4-8**) مع مقاومة على التوإلى احسب قيمة المقاومة التى على التوالي وحدد أي الطريقتين أفضل مع تعليل ذلك .

الحل



شكل(**8-4**)

في هذه الحالة

$$I = \frac{P}{V_L} = \frac{240}{220} = 1.0909A$$

$$V_R = 230 - 220 = 10V = RI$$

وهكذا نحصل على R

$$R = \frac{10}{1.0909} = 9.167\Omega$$

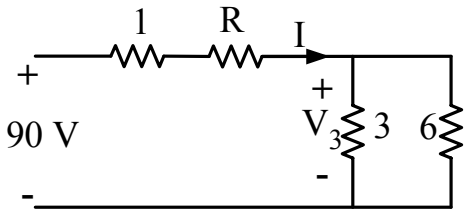
القدرة المفقودة (I^2R) في طريقة مثال (٨ -٣) هى ($P_{loss} = 120^2/55 = 43.3\ W$) والقدرة المفقودة في الطريقة التي يعتمدها المثال الحالى هى($P_{loss} = 10^2/9.167 = 10.9W$) .

وهكذا تكون الطريقة الثانية أكثر فاعلية ولكن إن احترق مصباح فلن يعمل إلا مصباحان فقط .

مثال (٨ -٥) :

أحسب المقاومة R فى الدائرة المبينة في شكل (**8-5**) بحيث تكون القدرة المفقودة في المقاومة 3 Ω هى 300 W .

الحل



شكل (**8-5**)

$$P_{3\Omega} = \frac{V_3^2}{3} = 300W$$

أى أن

$$V_3 = 30V$$

$$I_{3\Omega} = \frac{V_3}{3} = \frac{30}{3} = 10A$$

أو

$$I_{6\Omega} = \frac{V_3}{6} = \frac{30}{6} = 5A$$

$$I = 10+5 = 15A = \frac{V}{1+R+(6\times3)/(6+3)} = \frac{V}{3+R}$$

وحيث أن

$$V = 45+15R = 90 \ V$$

لذلك فإن

$$R = \frac{90-45}{15} = 3\Omega$$

مثال (٨ -٦) :

أحسب القدرة التي تمتصها كل مقاومة في مثال (٨ -٥) أثبت أن القدرة الإجمالية التي يتم الحصول عليها تكون مماثلة لتلك التي يزودها المنبع .

الحل

القدرة الإجمالية الممتصة فى المقاومات هى

$$P_{loss} = (30^2/6) + (30^2/3) + 3\times15^2 + 1\times15^2 = 1350 \quad W$$

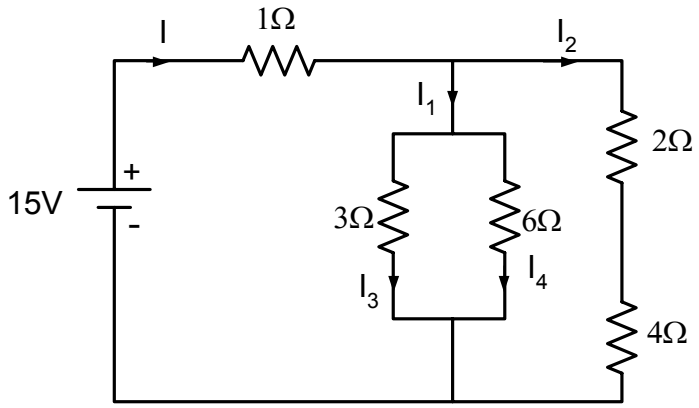
القدرة التي يزودها المنبع

$$P = 15 \times 90 = 1350 \quad W$$

وواضح أن القدرة التى يزودها المنبع تكون مماثلة للقدرة الممتصة فى المقاومات .

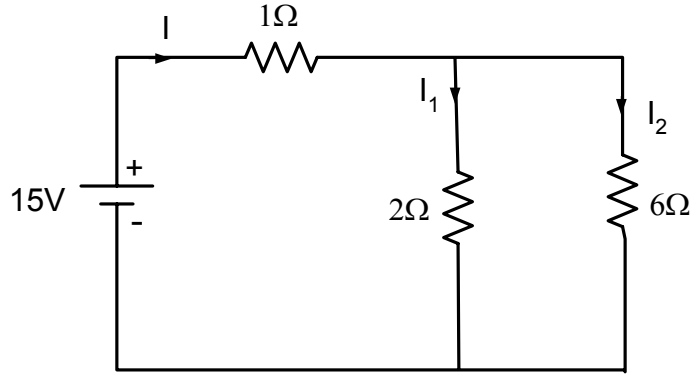
مثال(٨ -٧) :

إحسب التيار المسحوب من البطارية 15V في الدائرة المبينة في شكل (8 -6a)



شكل (8 -6a)

سنقوم أولاً باختزال الدائرة إلى مقاومة مكافئة واحدة وذلك كما موضح في شكل (8 - 6 b)، ومن شكل (8 - 6 a) نحصل على المقاومة الكلية R_T والتيار I كما يلى :



شكل (8 -6b)

$$R_T = 1 + \frac{(2)(6)}{2+6} = 1 + (3/2) = 5/2\ \Omega$$

ويكون التيار I هو

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{15}{5/2} = 6A$$

مثال(٨-٨):

إحسب القدرة المفقودة فى المقاومة 2 Ω للدائرة الموضحة فى شكل (8 -6a)فى مثال (٨ -٧)

الحل

من مثال (٨ -٧) لدينا التيار(I=6A) وعند تطبيق قاعدة تقسيم التيار على هذه الدائرة المبينة في شكل (8 -6b) نحصل على

$$I_2 = [2/(2+6)]6 = 1.5A$$

وبالتالى تكون القدرة المفقودة فى المقاومة 2 Ω هى :

$$P_{2\Omega} = I_2^2(2) = (1.5)^2 2 = 4.5W$$

مثال (8-9):

إحسب قيمة القدرات التي تمتصها المقاومات الموضحة في شكل (8 -6a)فى مثال (8-7) ثم أثبت أن مجموع هذه القدرات يساوي القدرة المسحوبة من البطارية.

الحل

من شكل (8 -6b)فى مثال (٨ -٧) لدينا التيار

$$I_1 = 6\ [\ 6/\ (\ 2+6\ )\ ] = 4.5 \quad A$$

ومن شكل (8 -6a)فى مثال (٨ -٧) نحصل على

$$I_3 = \frac{6}{3+6}(4.5) = 3A$$

$$I_4 = \frac{3}{3+6}(4.5) = 1.5A$$

ومن مثال (٨ -٨) لدينا التيار ($I_2 = 1.5$ A) وحيث أن القدرة المفقودة فى المقاومة هى

$$P = I^2 R$$

ولذلك فإن

$$P_{3\Omega} = (3)^2 3 = 27W \qquad P_{2\Omega} = (1.5)^2 2 = 4.5W \qquad P_{1\Omega} = (6)^2 1 = 36W$$

$$P_{6\Omega} = (1.5)^2 6 = 13.5W \qquad P_{4\Omega} = (1.5)^2 4 = 9W$$

وبالتالي تكون القدرة الكلية P_T هي :

$$P_T = 36 + 4.5 + 27 + 9 + 13.5 = 90 \quad W$$

تدقيق:

$$P_{battery} = V\ I = 15\ x\ 6 = 90\ W = P_T$$

حيث $P_{battery}$ هي القدرة المسحوبة من البطارية.

تمارين على الوحدة الثانية

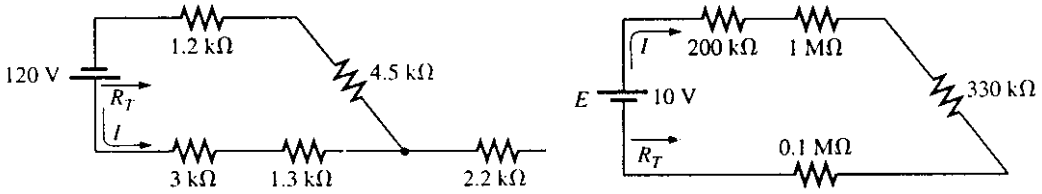
١.موصل نحاسى طوله ٤ m وقطر مقطعه الدائرى المستعرض ٠,٤ mm ، إحسب مقاومته عند درجة حرارة ٢٠ C إذا كانت المقاومة النوعية للنحاس عند ٢٠ C تساوى $1.72 \times 10^{-8}\ \Omega.m$

٢. موصل مقاومته ٢٨Ω تزداد مقاومته بمقدار ١٢ % عندما تزداد درجة حرارته من ١٨ إلى ٦٠ C ، إحسب متوسط إرتفاع درجة حرارة الموصل عند درجة حرارة محيطة تبلغ ٢٠ C عندما تكون مقاومته 35 Ω ويكون معامل درجة الحرارة ثابتا .

٣. إحسب التيار المار فى المقاومة ٤ Ω إذا كان فرق الجهد بين طرفيها 20 V.

٤. إحسب كفاءة المحرك الكهربى إذا كانت القدرة الخارجة منه ٨٥٠ W وكان التيار المغذى للمحرك ٨ A عند ١٢٠ V .

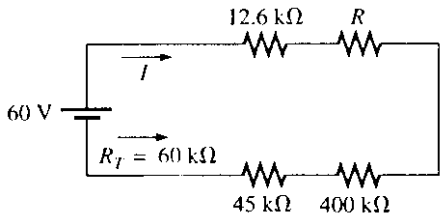
٥. احسب المقاومة الكلية والتيار الكل من الدوائر الكهربية التالية والموضحة فى شكل (١) .



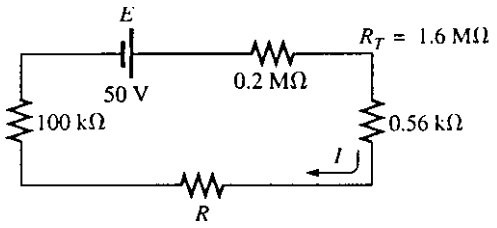
(ب) (أ)

شكل (١)

٦. إذا علمت المقاومة الكلية للدوائر الموضحة فى شكل (٢) ، احسب المقاومات المجهولة وكذلك التيار I لكل من هذه الدوائر .



(أ)



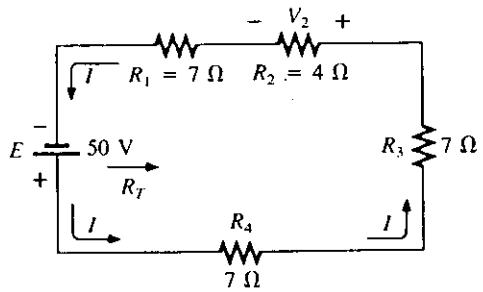
(ب)

شكل (٢)

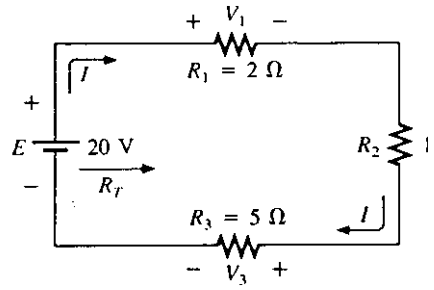
٧. للدوائر الكهربية الموضحة فى شكل (٣) احسب :

(أ)المقاومة الكلية والتيار وفرق الجهد عبر كل مقاومة .

(ب)القدرة المفقودة فى كل مقاومة وكذلك قدرة البطارية واثبت أن القدرة المفقودة فى المقاومات تساوى قدرة المنبع (البطارية) .



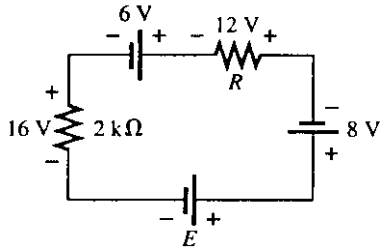
(أ)



(ب)

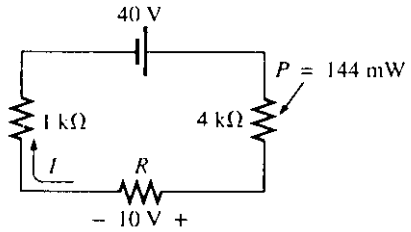
شكل (٣)

٨. احسب المقاومة R وجهد البطارية E للدائرة الموضحة فى شكل (٤) .



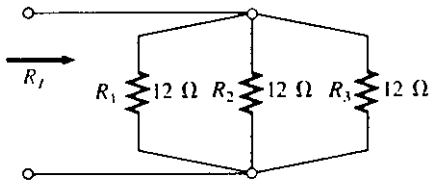
شكل (٤)

٩. احسب للدائرة الموضحة فى شكل (٥) المقاومة R و فرق الجهد عبر كل مقاومة .

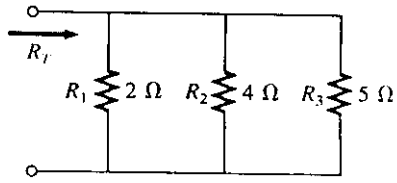


شكل (٥)

١٠ . احسب المقاومة الكلية للدوائر الموضحة فى شكل(٦)



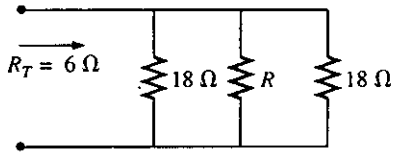
(أ)



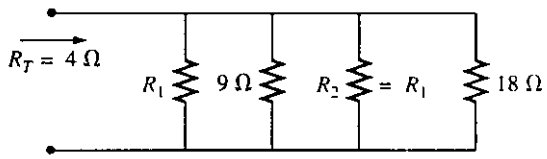
(ب)

شكل (٦)

١١. احسب المقاومات المجهولة للدوائر الموضحة فى شكل (٧) .



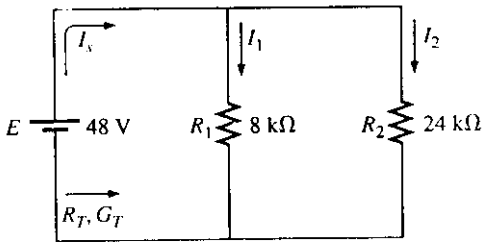
(أ)



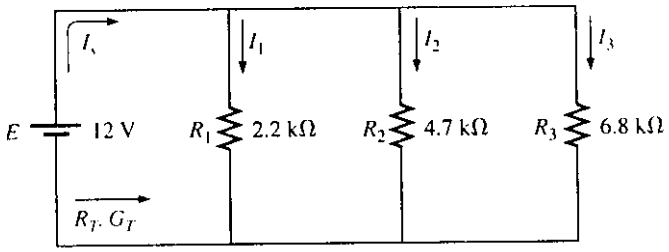
(ب)

شكل(٧)

١٢. احسب المقاومة الكلية والتيار I_S وكذلك التيارات فى كل فرع بالاضافة إلى القدرة المفقودة فى كل مقاومة وذلك للدوائر الموضحة فى شكل (٨) .



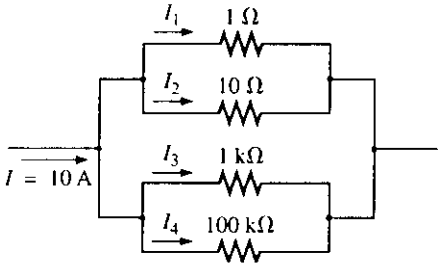
(أ)



(ب)

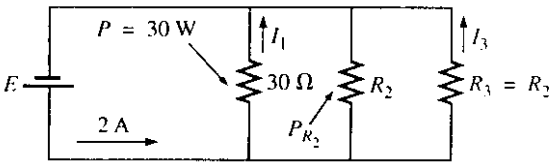
شكل(٨)

١٣. احسب المقاومة الكلية للدائرة المبينة فى شكل (٩) واحسب كذلك التيارات المارة فى كل مقاومة .



شكل (٩)

١٤. احسب الكميات المجهولة فى الدائرة الموضحة فى شكل (١٠) .



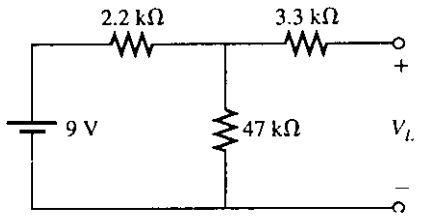
شكل (١٠)

١٥. للدائرة الموضحة فى شكل (١١) احسب :

أ. فرق الجهد V_L بين طرفى الدائرة المفتوحة .

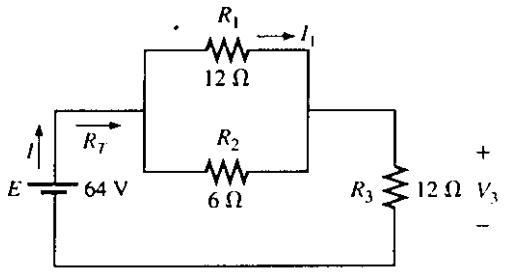
(ب)إذا تم عمل قصر بين طرفى المقاومة 2.2 K Ω احسب قيمة V_L .

(ج) إذا تم عمل قصر بين طرفى V_L احسب تيار القصر فى هذه الحالة .



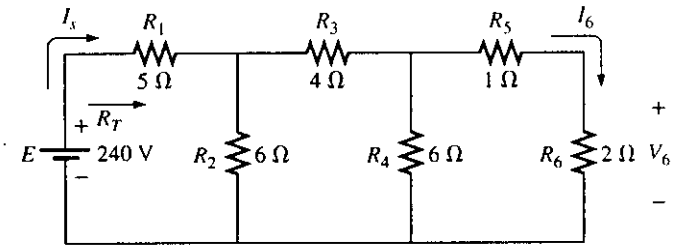
شكل(١١)

١٦. احسب الكميات المجهولة فى الدائرة الموضحة فى شكل (١٢) .



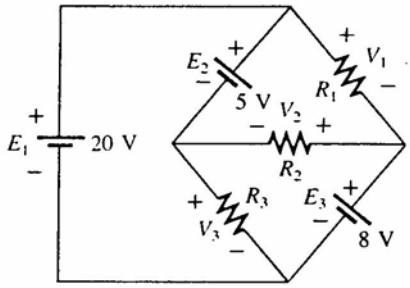
شكل (١٢)

١٧. احسب الكميات المجهولة فى الدائرة الموضحة فى شكل (١٣) .



شكل (١٣)

١٨. احسب الكميات المجهولة فى الدائرة الموضحة فى شكل (١٤) .



شكل (١٤)

دوائر وقياسات كهربائية- ١

قياسات التيار المستمر

جميع الحقوق محفوظة للمؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني

الجدارة : معرفة أساسيات وأخطاء القياس المختلفة والتعرف على الأجهزة المختلفة وكيفية استخدامها فى قياسات التيار المستمر .

الأهداف :

عندما تستكمل هذه الوحدة يكون لدى الطالب القدرة على معرفة وفهم :

١.طرق القياس الصحيحة والأخطاء المختلفة الناجمة عن القياس وطرق تجنبها.

٢.الأجهزة المختلفة المستخدمة فى قياس التيار المستمر مثل مقياس التيار ، مقياس الجهد ، مقياس المقاومة ، القناطر الكهربائية ، وكذلك طرق معايرة بعض هذه الأجهزة.

مستوى الأداء المطلوب : أن يصل المتدرب إلى اتقان هذه الوحدة بنسبة ٩٠ ٪.

الوقت المتوقع للتدريب : ٦ ساعات

الفصل التاسع

مبادىء القياسات الكهربائية

تعد قراءات أجهزة القياس الكهربائية أساسا لتقييم عمل معدات الهندسة الكهربائية ، ويتم دائما قياس المقادير الكهربائية مثل شدة التيار وفرق الجهد والقدرة الكهربائية وغيرها بواسطة الظواهر الفيزيائية مثل التأثير الحرارى والكيميائى لشدة التيار وغير ذلك . وتبرز إهمية القياسات الكهربائية فى معرفة قيمة فرق الجهد والتيار والقدرة الكهربائية والطاقة الكهربائية فى الدوائر الكهربائية المختلفة حيث تخضع جميع المقادير الكهربائية للقياسات الكهربائية .

بالإضافة إلى هذا فإن القياسات الكهربائية تتصف بحساسية أعلى ودقة أكبر وذلك إذا ما قورنت بأنوع القياس الأخرى . ولهذا السبب فإن القياسات الكهربائية تستخدم لقياس معظم المقادير الفيزيائية مثل درجة الحرارة والضغط والضوء والسرعة وغيرها .

قياس الكميات الكهربائية :

إن عملية القياس فى الحقيقة هى لإيجاد قيمة لكمية فيزيائية معينة نسبة لكمية أخرى فمثلا يمكن قياس التيارات فى دائرة كهربائية لمعرفة نسبة كل منها إلى الآخر ، وقد يكون الهدف فى حالات أخرى هو إيجاد الكمية الحقيقية بالمعنى الفيزيائى للتيار . أو أن تكون القيمة نسبة إلى مقدار ثابت كما فى حالة قياس المسافات بالمتر أو التيار بالأمبير وفرق الجهد بالفولت . ولقد تم الإتفاق دوليا على وحدات قياسية دولية والتى يمكن بموجبها تمييز كافة الكميات الكهربائية وعليه تعتبر وحدة القياس العالمية والمتفق عليها هى المرجع عند الحاجة لأجل المعايرة أو تدقيق القياس والتأكد من صلاحيتها للعمل والقراءة الصحيحة .

وهناك عاملان يجب مراعاتهما بصورة خاصة فى القياس :

(أ)إستخدام أقل عدد من الأجهزة التى تمكن من القيام بكل القياسات المطلوبة .

(ب)يجب أن تكون القياسات بسيطة بقدر الإمكان لكى نوفر من الوقت والتكلفة

لا يوجد قياس يحسب بدقة مطلقة أبدا ، فلابد أن يكون هناك خطأ نسبى فى القياس ، وبإجراء تحليلات معينة ودراسة خواص الجهاز ومواصفاته ومواصفات الدائرة الكهربائية يمكن إيجاد قيمة الخطأ وتصحيح القراءات بموجبها .

أخطاء القياس :

سنتطرق فى دراستنا لأخطاء القياس إلى أمرين هامين أولهما كيف يمكن تقليل الأخطاء وثانيهما كيفية الاستفادة من النتائج واستنباط الأرقام الحقيقية منها . ويوجد عدد من المصطلحات الهامة والتى يجب تعريفها وشرحها أولا وهى :

(أ) الخطأ : ونعنى به خطأ القراءة فى القياس لأنه لا تخلو أى قراءة من الخطأ وتدخل الرياضيات والإحصاء فى تكوين معادلات وقوانين خاصة بالأخطاء . والخطأ هو تقدير لقيمة الشك فى القراءة ، أو فرق القيمة الحقيقية عن القيمة المقاسة .

(ب) جهاز القياس : هو الأداة المستخدمة لإيجاد قيمة لكمية أو لمتغير كهربائى أو غير ذلك .

(ج) القياس المضبوط Accuracy)) : وهو درجة تقارب القياسات المختلفة .

(د) دقة القياس (Resolution) : وهو أقل تغيير فى الكمية المقاسة يمكن أن يتحسسها الجهاز وذلك لأجل التمييز بين القياس المضبوط والقياس المتقن . ولتوضيح ذلك ، فيقال عن الجهاز ذى قياس مضبوط أى تكون تأشيرات القياس فيه واضحة وتقسيمات التدرج دقيقة ، وأما الجهاز ذو القياس المتقن فبسبب تكوينه الداخلى أو لوجود اضافات خاصة يسهل أخذ القراءة منه مثل المرآة المضافة للتدرج للتأكد من تطابق المؤشر مع صورته فى المرآة أثناء النظر إلى القراءة . ويمكن أن يكون القياس مضبوطا لمقياس معين ولكن بسبب عدم إجراء التصفير أو خطأ اختيار التدرج نحصل على قياس غير متقن .

تصنيف الأخطاء :

تنشأ الأخطاء من مصادر متعددة ولذلك فإن طرق تصنيفها متعددة أيضا ، ويمكن تقسيم الأخطاء إلى قسمين :

أولا : الأخطاء النظامية : (Systematic Errors)

وهى التى يمكن تجنبها أو تصحيحها ، وتنشأ من سوء القراءة أو الخلل فى الجهاز أو تأثير البيئة عليه أو سوء الإختيار فى توصيل التجربة أو نوع القياس . وتنقسم الأخطاء النظامية إلى :

١.الأخطاء الإجمالية أو العامة: (Gross errors)

وهى تنتج من أخطاء فى القراءة وعدم التصفير وسوء إختيار الجهاز أو التدريج أو أخطاء الحسابات الرياضية عند تحليل القراءات أو غير ذلك . ويعد هذا النوع من الخطأ فى القياس من أوضح الأنواع وأسهلها للإكتشاف والعامل الأساسى فيها هو الإنسان نفسه أو ظروف التجربة والتوصيل . ويمكن تصنيف هذه الأخطاء إلى أنواع :

النوع الأول : وهذا الخطأ يحدث نتيجة إختلاف القراءة بسبب توصيل الدائرة لفترة من الزمن أو بسبب تغيير أسلوب التوصيل ، وكمثال على ذلك التغيير الذى يحدث فى قيمة مقاومة معينة عند اختلاف قيمة التيار المار فى المقاومة نفسها أو التغيير الذى يحدث فى القراءات نتيجة إضافة جهاز أو تغيير توصيل الدائرة . فبالنسبة للحالة الأولى يمكن التغلب عليها وذلك بقياس المقاومة أكثر من مرة ، وأما بالنسبة للحالة الثانية فيمكن فى كثير من الحالات اهمال الفروق الطفيفة أو أخذ أكثر من قراءة وإيجاد القيمة المتوسطة لها .

النوع الثانى : وهو ما يسمى بالخطأ النظرى أى الأخطاء التى تحدث عند إجراء الحسابات وتطبيق المعادلات أو عند استخدام معادلات تكون ظروف تطبيقها لا يشابه ظروف التجربة نفسها .

النوع الثالث : وهى الناتجة عن الإهمال وعدم الإهتمام عند أخذ القراءة ، فالأخطاء التى تحدث من قراءة الجهاز نسبة إلى تدريج غير التدريج الصحيح ، أو كأن يحدث خطأ نتيجة لعدم إجراء التصفير بعد تغيير التدريج ، أو أن يقف القارئ بوضع منحرف بحيث لا يستطيع أخذ القراءة الصحيحة من مؤشر الجهاز .

النوع الرابع : وهو نتيجة سوء اختيار الجهاز كأن يختار جهاز غير مختص بالتجربة المراد عمل إجراءات القياس لها .

(٢)أخطاء الجهاز : (Instrument Errors)

ويكون السبب هنا هو عطل الجهاز أو تقصير معين فى أدائه مثل خطأ إجراء التغيير أو خطأ داخلى ، أو تغير قيمة أحد العناصر المكونة للجهاز أو أى خلل أو نقص فى الجهاز أو استهلاك أحد أجزاءه . وتحدث معظم أخطاء الجهاز نتيجة لمعايرة الجهاز والتى يجب اجراءها بين فترة وأخرى بالمقارنة مع جهاز قياسى وذلك بسبب تغير قيم عناصر الدائرة الكهربية مع الوقت . بالإضافة إلى أنه ممكن أن تحدث أخطاء الأجهزة بسبب تعقيد الدائرة الكهربية واعتماد معظم المقاييس على الحركات الميكانيكية ودوران بعض أجزائها وتعرضها للالاستهلاك أو تعرض بعض أجزائها للصدأ ، أو إرتخاء النابض الميكانيكى أو اختلاف قيم العنار الكهربية . ولذلك يجب على المستخدم للجهاز الإنتباه إلى أخطاء الجهاز ومعالجتها وذلك بإجراء الصيانة المستمرة للجهاز .

(٣)أخطاء البيئة :(Enviromental Errors)

وتشمل هذه الأخطاء التأثيرات الفيزيائية على التجربة أو على الجهاز المستخدم فى القياس أو القيمة المراد قياسها ، ومن هذه التأثيرات الحرارة والضغط والرطوبة والإضطرابات الطارئة وكذلك تأثير المجالات الكهرمغناطيسية التى تنتج من بعض الأجهزة وما شابه ذلك . وللتقليل من تأثيرات البيئة فقد تم

اتباع عدد من الإجراءات مثل أن مكونات الدائرة الكهربية للجهاز تصنع بحيث تتحمل الحرارة والإهتزاز الميكانيكى . هذا بالإضافة إلى أنه يمكن استخدام التبريد بالطرق المناسبة أو عزل الجهاز بالحواجز المعدنية لمنع هذه التأثيرات .

(٤)أخطاء القراءة : Measurment Errors))

وتحدث نتيجة عدم كفاءة القارئ أو ضعف التقديرات أو بعض التصرفات الغريبة أثناء القراءة أو أى أشياء مشابهة لذلك . وتكون كذلك تأشيرات التدريج وحجم المؤشر وتزاحم الأرقام على التدريج وعدم وضوح التدريج للناظر من أخطاء القراءة . ويمكن التغلب على معظم هذه الأخطاء وذلك باجراء تصميمات جديدة للأجهزة بغرض تلافى احتمالات هذه الأخطاء .

ثانيا : الأخطاء العشوائية : (Random Errors)

وهى الأخطاء التى لا يمكن السيطرة عليها ولا يمكن تجنبها على الرغم من زوال جميع الأخطاء النظامية الأخرى . وهذه الأخطاء لا تخضع لقواعد معينة أو أسلوب معين ، ويكون سببها فى الغالب هو تراكم مجموعة أمور ، وممكن أن يكون بعضها معروفا والبعض الآخر غير معروف . وفى كثير من الحالات لا يمكن تجنب هذه الأخطاء مالم يتم تبديل الكمية المراد قياسها .

طرق تجنب أخطاء القياس:

يوجد عدد من الطرق والأساليب التى تساعد على تجنب الأخطاء فى القياس وهى :

(أ)استيعاب القياس :

يجب على من يقوم بإجراءات القياس أن يعلم مخصصات ومحددات والأداء الاعتيادى للجهاز ، وأن يكون لدي خلفية نظرية كافية لفهم مشاكل القياس . ويجب كذلك أن يكون قادرا على إيجاد طرق بديلة ، وأن يستخدم الرياضيات وأن يلم بالقيم النظرية المتوقعة لمقارنتها مع القراءة الفعلية .

(ب)أسلوب القياس :

يجب على من يقوم بالقياس اختيار الجهاز المناسب وإبداله أو فحصه عند الشعور برداءة القراءة أو إيجاد دوائر توصيل بديلة لإيجاد القراءة نفسها ، وأن يكون قادرا على تفسير بعض الظواهر والمزايا تفسيرا علميا .

(ج) الثقة بالنفس :

يجب على من يقوم بالقراءة أن يخطط لطريقة العمل والقراءة وأن يعمل بعناية وهدوء ، وأن يقوم بتسجيل النتائج مباشرة وبطريقة منتظمة ، وأن يقوم أيضا بتسجيل القراءات الشاذة أو الظواهر السلبية والغريبة وذلك لغرض الرجوع إليها عند الحاجة .

الفصل العاشر

أجهزة قياس التيار المستمر

نتطرق فى هذا الفصل إلى عدد من الأجهزة الكهربائية المستخدمة فى قياس الكميات الكهربائية الرئيسية ، مع توضيح الأسس التى تعمل بها هذه الأجهزة . إننا نتمكن بواسطة أجهزة القياس معرفة قيمة الكميات الكهربائية بصورة مباشرة وذلك عن طريق مؤشر القياس عند إجراء القياس أو قراءة رقم يوضح قيمة الكمية بصورة مباشرة أو من لوحة الرسم الإلكترونى وغيرها . وتوجد أسس كثيرة يعتمد عليها عمل أجهزة القياس الكهربائية مثل اعتماد قسم منها على تأثيرات مغناطيسية أو كهرومغناطيسية أو تأثيرات فيزيائية أخرى . إن الكمية الكهربية الأساسية التى تتفرع منها بقية الكميات هو التيار الكهربى ، ولذلك فإن قياس الكميات الكهربية والعناصر الكهربية يمكن أن يستمد من قياس التيار الكهربى . إن الطريقة الأكثر شيوعا فى الاستخدام لقياس التيار هى قياس الأثر الميكانيكى الناجم عن مرور تيار فى ملف موضوع فى مجال مغناطيسى ، وتستخدم هذه الطريقة فى قياس التيار ، وهى الطريقة المتبعة فى عمل أجهزة القياس الكهربية .

الجلفانوميتر :

وهو جهاز يستخدم للكشف عن التيار أو لقياس كميته ، والاستخدام الأول هو الأكثر شيوعا خاصة عند استخدام الجهاز مثلا فى القناطر الكهربائية حيث يكون الغرض من استخدامه فى هذه الحالة هو الحصول على حالة التعادل دون النظر إلى قيمة التيار . ونظرية تشغيل أغلب أجهزة الجلفانوميتر تعتمد أساسا على العزم الزاوى الذى يسببه مرور التيار الكهربى فى ملف يقع فى مجال مغناطيسى دائم .

ويبين شكل (١٠ -١) أجزاء الجلفانوميتر ذو الملف المتحرك . ويتكون الجهاز من ملف مصنوع من سلك رفيع معلق فى مجال مغناطيسى وهذا المجال يتولد من المغناطيس الدائم الداخل ضمن تكوين الجهاز . ونظرية عمل هذا الجهاز تتلخص فى أنه عندما يمر تيار كهربى فى الملف الموجود فى المجال المغناطيسى فإنه طبقا للقوانين الكهرومغناطيسية يتولد عزم كهرومغناطيسى الذى يعمل بدوره على تدوير الملف ، ثم تتوازن هذه الحركة بنابض حلزونى متصل بالملف ويتحرك المؤشر فوق تدريج ثم يعود للصفر عند زوال التأثير الكهرومغناطيسى بسبب استعادة النابض الحلزونى للعزم الذى اختزنه عند دوران المؤشر .

ويلاحظ من شكل (١٠ -١) وجود أثقال مثبتة على المؤشر لجعل حركة المؤشر بطيئة ومنتظمة وأكثر استقرارا حيث بدونها فإن المؤشر سوف يقفز مرة واحدة إلى قيمة التيار ولا يستطيع الثبوت عند تلك

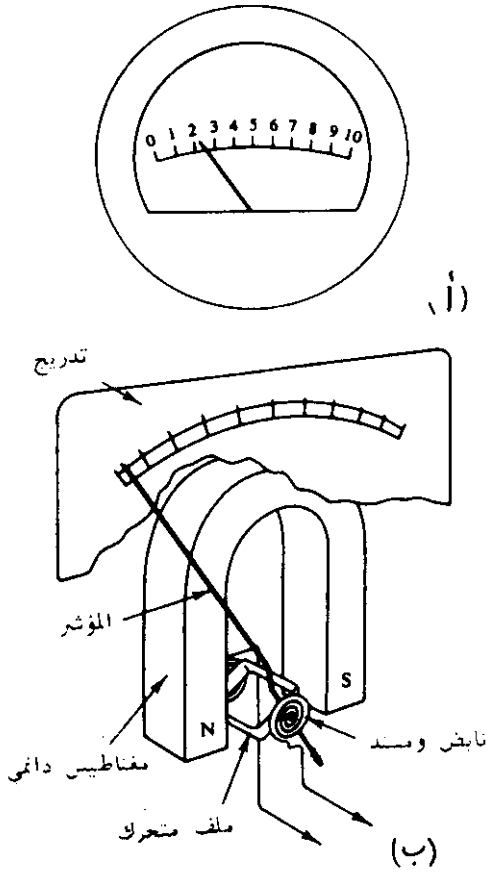
القيمة بسبب القصور الذاتى الذى أحدثته حركة المؤشر السريعة ، وعند ذلك يقوم المؤشر بالتذبذب عند تلك القيمة التى يستقر فيها وربما يستغرق ذلك مدة من الزمن .

يمكن أن نحصل من قوانين الكهرومغناطيسية على العزم الكهرومغناطيسى T الذى يعمل على دوران الملف وذلك فى الصورة :

$$T = B\,A\,I\,N \qquad \text{Newton- meter (N-m)} \qquad (10.1)$$

حيث B هى كثافة الفيض المغناطيسى ووحدته $weber / m^2$ ، A هى مساحة الملف ، I هو تيار الملف ، N هو عدد لفات الملف . ويلاحظ من القانون السابق أن عزم دوران الملف يتناسب طرديا مع التيار المار فى الملف I لأن باقى الكميات فى المعادلة ثابتة ، أى أن :

$$T \alpha I$$



شكل (١٠ -١) الجلفانوميتر ذو الملف المتحرك

وحيث أن عزم دوران النابض يتناسب مع زاوية المؤشر θ ، وأن عزم دوران النابض يعادل كذلك عزم دوران الملف ، فنستنتج من ذلك أن الزاوية θ تتناسب طرديا مع تيار الملف ، أى أن

$$\theta \alpha I$$

أى أن زاوية دوران المؤشر تحدد قيمة التيار ، وأن تدريج الجهاز يكون كذلك منتظم القراءات .

حساسية الجلفانوميتر :

تعرف حساسية الجهاز على أنها نسبة المدى الذى يتحركه المؤشر مقاسا بالمليمتر إلى قيمة القراءة الحقيقية سواء كانت تيارا أو جهدا أو غير ذلك .

ويمكن تعريف حساسية التيار بالمعادلة التالية :

$$S_I = d / I \qquad (10.2)$$

حيث S_I هى حساسية التيار و d مقدار انحراف المؤشر و I هو التيار .

وكذلك الحال بالنسبة إلى حساسية الجهد والتى تعرف بالمعادلة الآتية :

$$S_V = d / V \qquad (10.3)$$

حيث S_V هى حساسية الجهد و d مقدار انحراف المؤشر و V هو الجهد .

مثال (١٠ -١):

فى جهاز الجلفانوميتر ، كان تيار أقصى انحراف مار فى الملف هو ١,٥ µA ، إحسب حساسية التيار عندما يكون إنحراف المؤشر ٧٥ mm و ١٥٠ mm على الترتيب .

الحل

حسب المعادلة (١٠,٢) التى تعرف حساسية التيار يكون :

$$S_I = d / I$$

ففى الحالة الأولى تكون قيمة الحساسية :

$$S_{I1} = d_1 / I = 75 / 1.5 = 50 \ \ mm / \mu A$$

وفى الحالة الثانية تكون قيمة الحساسية :

$$S_{I2} = d_2 / I = 150 / 1.5 = 100 \ \ mm / \mu A$$

مثال (١٠ -٢) :

إذا كانت كثافة الفيض المغناطيسى فى الفجوة الكهربائية بين قطبى المغناطيس الدائم فى جهاز الجلفانوميتر لقياس التيار هى ٠,١ $Weber / m^2$ وكانت أبعاد الملف المستطيل الشكل هى ١ cm و cm ٠,٨ وكان عدد اللفات ٥٠ لفة . إحسب العزم اللازم ليقرأ الجهاز أقصى قيمة له (٠,١ mA) ، علما بأن عزم الإنحراف مسيطر عليه بواسطة النابض الحلزونى .

الحل

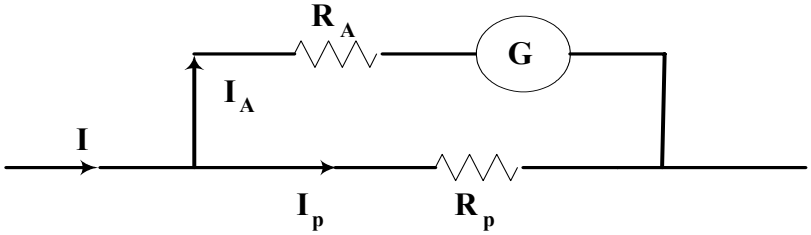
باستخدام المعادلة (**10.1**) وبالتعويض عن القيم المعطاة نوجد العزم T كالآتى :

$$T = B\,A\,I\,N = 0.1 \times 0.8 \times 1. \times 10^{-4} \times 0.1 \times 10^{-3} \times 50$$
$$= 4 \times 10^{-8} \quad \text{N-m}$$

مقياس التيار المستمر : (Ammeter)

مقياس التيار المستمر أو الأميتر هو جهاز كهربى يستخدم لقياس شدة التيار المار فى حمل أو فرع معين ، ويوصل الأميتر على التوالى مع الحمل الذى يراد حساب شدة لتيار المار فيه . ونظرية عمل الأميتر تعتمد على مبدأ تحويل الطاقة لكهرومغناطيسية إلى طاقة ميكانيكية حيث أن الملف الكائن فى مجال مغناطيسى دائم يشرع فى لدوران عند مرور التيار الكهربى فى ملفاته كما شرحنا سابقا فى نظرية عمل الجلفانوميتر نوع دى ارسنفال . ويمكن تحوير هذا المقياس الأساسى (الجلفانوميتر) إلى مقياس تيار أو جهد أو مقاومة أو إلى مقياس متعدد الأغراض .

حتى لايتأثر أو يقل التيار المار فى الدائرة بعد توصيل الأميتر على التوالى فى هذه الدائرة عما كان قبل وضع الأميتر ، ولذلك يجب أن تكون مقاومة الأميتر صغيرة جدا بالنسبة للمقاومة التى سيوضع الأميتر على التوالى معها لقياس شدة التيار . ويرمز للأميتر بالحرف A مكتوبا داخل دائرة ويوضح شكل (١٠ -٢) توصيل أميتر على التوالى مع مقاومة R لقياس شدة التيار المار بها . ونظرا لأن هذا الجهاز له القدرة على تحمل محدود للتيار بسبب دقة أسلاك الملف المحتوى عليه هذا الجهاز ، لذلك فإن إضافة مقاومة على التوازى (مجزئ تيار) مع ملف الأميتر وذلك لتمرير نسبة عالية من التيارالمراد قياسه وتبقى القيمة التى يتحملها الجهاز تمر فى الملف كما مبين فى شكل (١٠ -٢) . ويمكن إيجاد قيمة التيار المار فى الأميتر I_A بدلالة التيار الكلى I المار فى الدائرة وذلك باستخدام قاعدة توزيع التيار التى تم شرحها فى الوحدة الثانية (الفصل السابع) ، أى أن :



شكل(١٠ -٢) مقياس التيار المستمر

$$I_A = I \left[R_P / (R_A + R_P) \right] \qquad (10.4)$$

حيث R_A هى مقاومة الأميتر الداخلية و R_P هى المقاومة التى على التوازى مع الأميتر .

وبالمثل يمكن إيجاد قيمة التيار I_P المار فى المقاومة R_P ، أى أن

$$I_P = I \left[R_A / (R_A + R_P) \right] \qquad (10.5)$$

والتيار I_P يمكن الحصول عليه أيضا وذلك بتطبيق قانون كيرشوف للتيار ، أى أن

$$I_P = I - I_A \qquad (10.6)$$

ويمكن أيضا الحصول على المقاومة R_P بدلالة فرق الجهد V بين طرفى الأميتر ، أى

$$V = I_A R_A = R_P I_P \qquad (10.7)$$

وبالتالى فإن المقاومة R_P تكون

$$R_P = V / I_P \qquad (10.8)$$

مثال(١٠ -٣) :

باستخدام أميتر له مقاومة داخلية ١٠٠٠ Ω والتيار الخاص به (I_A) كان ٥٠ μA ، إحسب قيمة المقاومة R_P التى يجب أن توصل على التوازى مع الأميتر عندما يكون التيار الكلى المراد قياسه هو ٥٠ mA .

الحل

كما موضح فى شكل(١٠ -٢) فإن التيار المار فى المقاومة R_P هو

$$I_P = I – I_A = 50 – 50 \text{ x } 10\text{-}3 = 49.95 \text{ mA}$$

ويكون فرق الجهد بين طرفى الأميتر هو

$$V = I_A R_A = 50 \text{ x } 10\text{-}6 \text{ x } 1000 = 50 \text{ mV} = I_P R_P$$

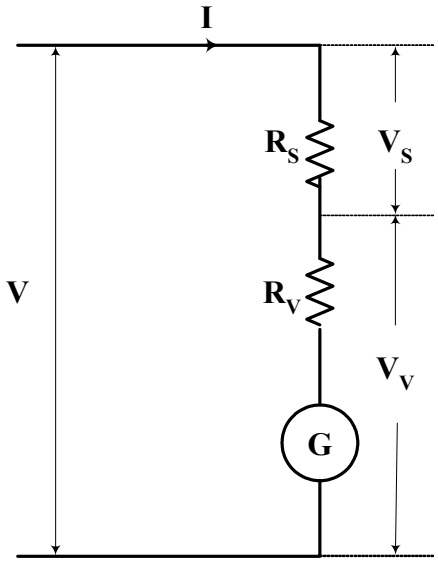
ومن العلاقة السابقة نستطيع أن نحصل عل المقاومة R_P ، أى أن

$$R_P = V / I_P = 50 / 49.95 = 1\ \Omega$$

مقياس الجهد :

(أ) الفولتميتر : (**Voltmeter**)

يستخدم مقياس الجهد أو الفولتميتر لقياس فرق الجهد بين نقطتين ، وذلك بتوصيل الجهاز بين هاتين النقطتين على التوازى مع العناصر الموجودة بين هاتين النقطتين . أى أنه يوصل على التوازى مع الحمل أو المقاومة التى يراد قياس فرق الجهد عبرها . ونظرا لأن مقاومة الفولتميتر يجب أن تكون كبيرة جدا بالنسبة لمقاومة الحمل الذى سيوصل الجهاز بين طرفيه وذلك حتى لا يقل التيار المار فى مقاومة الحمل كثيرا وبالتالى لا يقل فرق الجهد المراد قياسه . وحيث أن مقاومة ملفات الفولتميتر صغيرة لذا فإن مقاومةR_S كبيرة توصل معه على التوالى ، ويوضح شكل (١٠ -٣) طريقة توصيل الفولتميتر على التوازى مع حمل لقياس فرق الجهد V بين طرفيه ، أى أن



شكل (١٠ -٣) الفولتميتر

$$V = V_S + V_V$$
$$V = I\,(R_V + R_S)$$
$$R_S = (V - V_V) / I$$

وعند الانحراف الكامل نجد أن فرق الجهد V يصل إلى أكبر قيمة ممكنة ، وعندئذ نجد أن فرق الجهد المطلوب قياسه هو

$$V = (R_V + R_S)\, V_V / R_V$$
$$V = K\ V_V$$

إن هذا يعنى أنه يمكن إبقاء التدريج على الجهاز كما هو عليه مع الضرب فى هذه النسبة (K) لتصحيح القراءة أو تغيير الجهاز من جديد على ضوء قيمة (K) . وتكون المقاومة الفعلية فى هذه الحالة هى :

$$R_T = R_V + R_S$$

مثال (١٠ -٤) :

جهاز متحرك يحتوى على مقاومة مقدارها ٥ Ω ويعطى انحرافا بمقياس كلى عندما يمر فيه تيار مقداره ١٥ mA ، ويطلب استخدامه كفولتميتر ذى انحراف تام فى المقياس مقداره ٥V ، إحسب قيمة المقاومة المطلوب اضافتها على التوالى مع الفولتميتر .

الحل

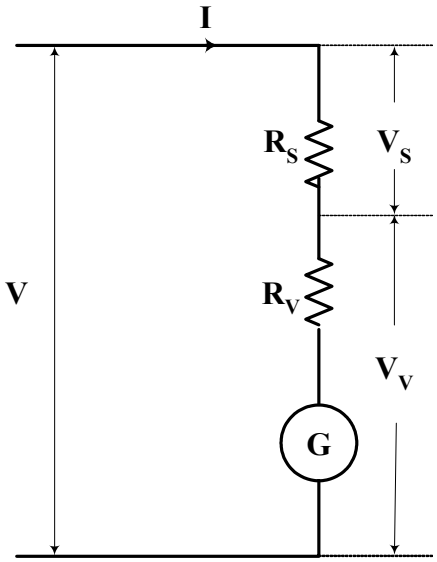
كما موضح فى شكل (١٠ -٤) يمكننا أن نوجد الآتى :

$$V_V = I\ R_V\ RV = 15 \times 10\text{-}3 \times 5 = 75 \times 10\text{-}3 \quad V$$

$$V_S = V - V_V = 5 - 75 \times 10\text{-}3 = 4.925 \quad V$$

ولذلك فإن المقاومة التى يجب أن توصل على التوالى مع الجهاز تكون

$$R_S = V_S / I = 4.925 / (15 \times 10\text{-}3) = 328.33 \quad \Omega$$



شكل (١٠ -٤)

حساسية الفولتميتر:

يعبر عن حساسية مقياس الجهد (الفولتميتر) بمقلوب تيار الإنحراف للتدريج الكامل (I_{fsd}) فى المقياس الأساسى ووحدتها Ω / V ، أى أن الحساسية S تكون :

$$S = 1 / I_{fsd} \quad \Omega / V \qquad (10.9)$$

مثال (١٠ -٥):

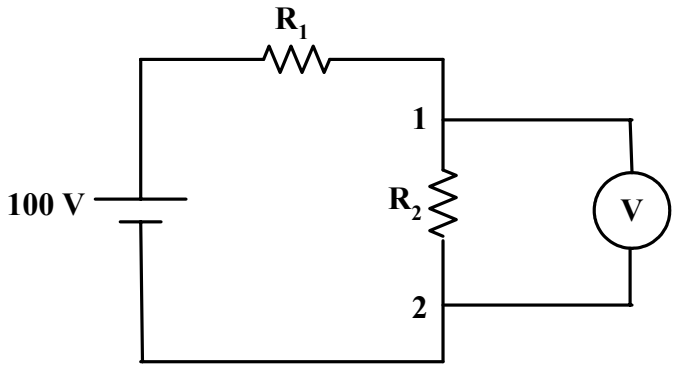
يراد قياس فرق الجهد بين طرفى المقاومة R_2 الموضحة فى شكل (١٠ -٥)، ويوجد لهذا الغرض فولتيمتران الأول حساسيته $١٠٠٠ \Omega / V$ والثانى $٢٠٠٠٠ \Omega / V$ والاثنان لهما نفس التدريج وهو ٥٠ V . والمطلوب هو :

(أ)إيجاد قراءة كل فولتميتر (ب) مقدار الخطا فى كل جهازبالنسبة للقراءة الصحيحة.

الحل

القراءة الصحيحة V تحسب أولا كالآتى :

$$V = V_S \; R_2 / (R_1 + R_2) = (100) \; (10 \times 10^3) / (20 + 10) \times 10^3$$
$$= 33.3 \quad V$$



شكل (١٠ -٥)

حيث أن حساسية الفولتميتر الأول هى $١٠٠٠ \Omega / V$ فطبقا للصورة السابقة (١٠,٩) تكون مقاومته عند استخدام التدريج ٥٠ V هى

$$R_{TV} = (1000) \; (50) = 50 \times 10^3 \; \Omega$$

وبالتالى نحسب المقاومة المكافئة R_{12} بين النقطتين (١) و (٢) عندما يكون الفولتميتر الأول هو الموصل بين النقطتين السابقتين كالآتى :

$$1 / R_{12} = 1 / R_2 + 1 / R_{TV} = [1 / (10 \times 103)] + [1 / (50 \times 103)]$$
$$R_{12} = 8300 \; \Omega$$

وتكون المقاومة الكلية للدائرة هى

$R_T = R_1 + R_{12} = 20000 + 8300 = 28300 \quad \Omega$

ويكون فرق الجهد بين النقطتين (١) و (٢) المقاس بواسطة الفولتميتر الأول هو

$V_{12} = V_S (R_{12} / R_T) = (100) (8300 / 28300) = 29 \quad V$

ويكون مقدار الخطأ فى هذه الحالة هو :

$Error = [(33.3 – 29) / (33.3)] \times 100 = 1.2 \%$

وبالمثل فإن حساسية الفولتميتر الثانى هى ٢٠٠٠٠ Ω / V فطبقا للصورة السابقة تكون مقاومته عند استخدام التدريج ٥٠ V هى

$R_{TV} = (20000) (50) = 10 \times 10^5 \ \Omega$

وبالتالى نحسب المقاومة المكافئة R_{12} بين النقطتين (١) و (٢) عندما يكون الفولتميتر الثانى هو الموصل بين النقطتين السابقتين كالآتى :

$1 / R_{12} = 1 / R_2 + 1/ R_{TV} = [1 / (10 \times 10^3)] +[1 / (10 \times 10^5)]$

$R_{12} = 9900 \quad \Omega$

وتكون المقاومة الكلية للدائرة هى

$R_T = R_1 + R_{12} = 20000 + 9900 = 22900 \quad \Omega$

ويكون فرق الجهد بين النقطتين (١) و (٢) المقاس بواسطة الفولتميتر الثانى هو

$V_{12} = V_S (R_{12} / R_T) = (100) (9900 / 29900) = 33.1 \quad V$

ويكون مقدار الخطأ فى هذه الحالة هو :

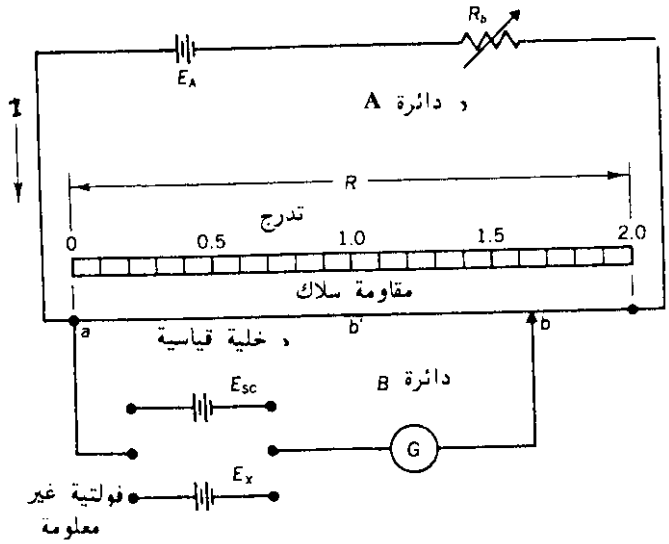
$Error = [(33.3 – 33.1) / (33.3)] \times 100 = 0.6 \%$

وبالتالى من المفضل استخدام الفولتميتر الثانى فى القياس حيث أن الخطأ (٠,٦ %) يكون أقل من الفولتميتر الأول حيث أن الخطأ به (١,٢ % وذلك نظرا للحساسية العالية للفولتميتر الثانى) .

(ب) البوتنشيومتر: (المجهاد)

المجهاد هو جهاز يستخدم لقياس فرق الجهد أو القوة الدافعة الكهربية وذلك بواسطة جهد معادل يمكن الحصول عليه من مرور تيار معلوم فى دائرة المقاومة . يمكن بواسطة المجهاد قياس القوة الدافعة الكهربائية بصورة مباشرة وذلك نسبة إلى قوة دافعة كهربية لخلية قياسية . وفى حالة الجهود العالية يمكن قياسها بإضافة صندوق مقاومات . ويمكن كذلك قياس التيار المار فى دائرة معينة بواسطة المجهاد وذلك باستخدام مقاومة قياسية . وبالتالى يمكن الحصول على القدرة وذلك من قياسات التيار

والجهد بواسطة المجهاد ، ولذلك يعتبر المجهاد من الأجهزة الأساسية فى القياسات الكهربية . ويوضح شكل (١٠ -٦) طريقة استخدام مجهاد التيار المستمر فى قياس فرق جهد مجهول ، حيث يلاحظ هنا ضرورة الحفاظ على التيار خلال القياس ولا نحتاج لمعرفة مقداره .



شكل (١٠ -٦) استخدام المجهاد فى قياس فرق جهد مجهول

مقياس المقاومة :

تعتبر المقاومة أحد العناصر الكهربائية الهامة وهى موجودة فى جميع الدوائر الكهربائية ، وتختلف درجة الدقة المطلوبة لقياس المقاومات حسب الغرض المخصص لهذا القياس ، وتوجد طرق متعددة لقياس المقاومات ومنها :

١ مقياس الأوميتر .

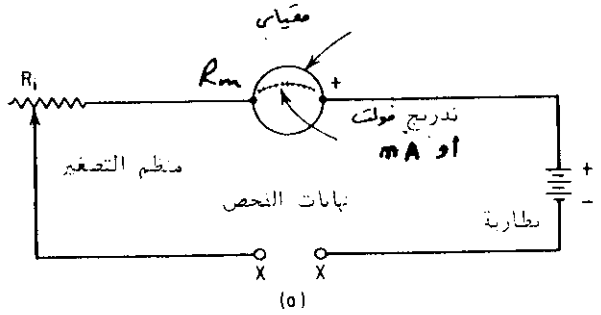
٢.طريقة البتونشيومتر (المجهاد) .

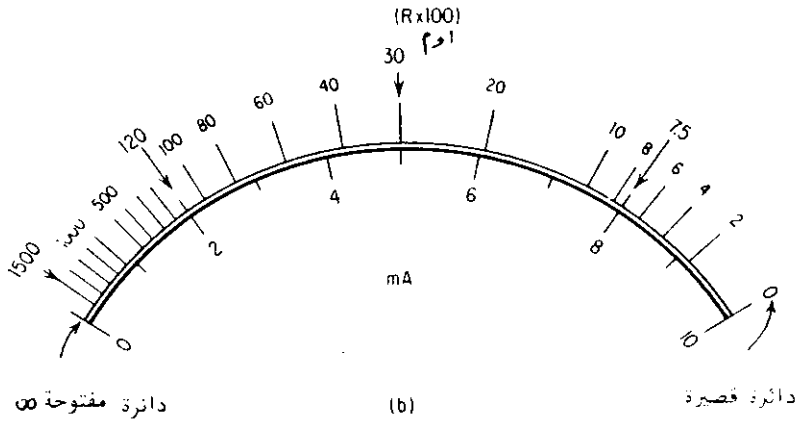
٣.طريقة القنطرة .

وسنركز هنا على الطريقة الأولى اى مقياس الأوميتر ، وذلك لعلاقته المباشرة مع أجهزة القياس ، حيث أن البتونشيومتر (المجهاد) ضمن أجهزة قياس الجهد المستمر ، أما الطرية الثالثة فسوف يتم شرحها فى نهاية هذا الفصل . ويوجد نوعان من مقاييس المقاومة هما نوع التوالى ونوع التوازى ويرجع تسمية هذين النوعين إلى طريقة توصيل المقاومة المجهولة بالنسبة إلى ملف المقياس ، ويوضح شكل (١٠ -٧)مقياس الأوميتر .

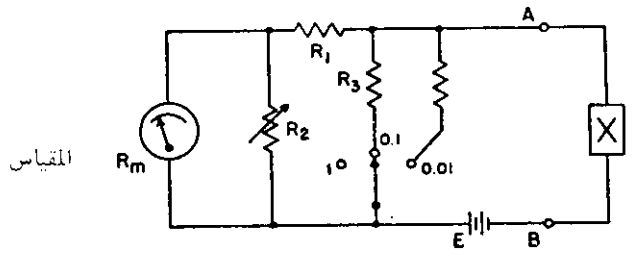
(أ)مقياس المقاومة نوع التوالى :

يعتبر هذا النوع من المقاييس غير الدقيقة على الرغم من استخدامه بكثرة فى المجالات الصناعية والعملية فى قياس المقاومات بصورة تقريبية كما فى حالة فحص العناصر الكهربية المعطوبة أو فحص استمرارية الدائرة الكهربائية فى التأسيسات للتأكد من ربط الأسلاك والكابلات وخلاف ذلك من الفحوصات السريعة والتى لاتحتاج إلى معرفة قيمة المقاومة . ويوضح شكل (١٠ -٨) هذا الأوميتر نوع التوالى.





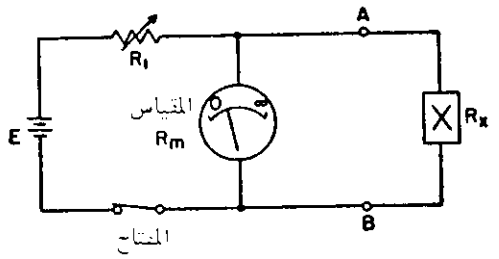
شكل (١٠ -٧) مقياس الأوميتر



شكل (١٠ -٨) أوميتر نوع التوالى

(ب) مقياس المقاومة نوع التوازى :

يعتبر هذا النوع من المقاييس المناسبة بشكل خاص فى قياس المقاومات المنخفضة ، وهو ليس من الأجهزة الشائعة الاستخدام ولكن يمكن استخدامه فى المختبرات خاصة فى قياس المقاومات المنخفضة . ويوضح شكل (١٠ -٩) الدائرة الكهربائية لمقياس المقاومة (أوميتر نوع التوازى)

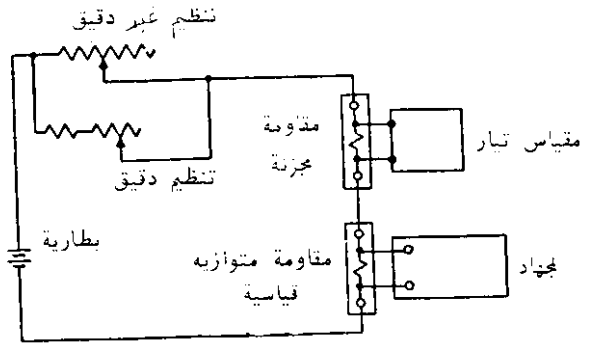


شكل (١٠ -٩) أوميتر نوع التوازى

معايرة مقاييس التيار المستمر :

تختلف طرق معايرة أجهزة القياس باختلاف درجة الدقة المطلوبة للجهاز ، ويعتمد أساس المعايرة على مقارنة قراءة المقياس المطلوب معايرته مع آخر متأكدين من جودته و صحة قراءته . ويمكننا إجراء عملية معايرة أجهزة القياس بواسطة البوتنشيومتر (المجهاد) ، رغم أنها تستغرق و قتا أطول إلا أنها تعطى نتائج جيدة . ويوضح شكل (١٠ -١٠) الدائرة امستخدمة فى معايرة الأميتر حيث توصل مقاومة قياسية على التوالى مع مقياس التيار المطلوب معايرته وبالتالى يمكننا قياس فرق الجهد عبر هذه المقاومة بواسطة المجهاد ، ومن ثم يمكن استنتاج كمية التيار وذلك باستخدام قانون أوم . ويلاحظ هنا أن قيمة التيار ستكون دقيقة وصحيحة إلى درجة كبيرة وذلك يسبب استخدام المجهاد المقاومة المعيارية . وإذا كان المطلوب معايرة مقياس تيار وذلك لغرض تأشيرتدريجه لأول مرة عند صناعته فإنه يتطلب إعادة التجربة عدد من المرات وذلك باستخدام عدد من المقاومات المعيارية تتناسب قيمها مع قيم أقصى تدريج وعد من القراءات الوسطية وتأشير ذلك على التدريج وبعدها يمكن استنتاج القراءات التى تقع بين هذه التأشيرات ويتم حينئذ تثبيتها جميعا .

أما إذا كان المطلوب معايرة الجهاز بعد الاسخدام لمدة معينة وذلك بغرض التأكد من صلاحيته وسلامة قراءته ، فإن ذلك يتم بعدد محدود من القراءات ويفضل أن تكون هذه القراءات موزعة على مدى التدريج وخاصة القراءات القريبة من التهاية العظمى .



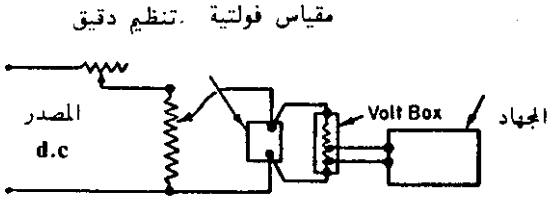
شكل (١٠ -١٠) معايرة مقياس التيار بالمجهاد

معايرة مقاييس الجهد المستمر :

يوضح شكل(١٠ -١١) الدائرة المستخدمة فى معايرة مقاييس الجهد وذلك باستخدام المجهاد . فعندما يراد معايرة مقياس الجهد لأول مرة وذلك بغرض تأشير تدريجه فإن تدريج جهد المصدر يوضع على المكان الذي يعطينا أعلى جهد يمكن قراءته بالمقياس ، ومن ثم يتم تدقيق القراءة بالمجهاد ويصبح ذلك أول نقطة يمكن تأشيرها على التدريج ثم تحفظ قيمة جهد المصدر وذلك بتغيير الجهد بواسطة مقسم الجهد ويتم قراءة الجهد بالمجهاد ونقوم بالتأشير على التدريج ، وهكذا يتم تأشير عدد من النقاط الأساسية الموزعة على مدى التدريج وتؤشر النقاط الوسطية إما بطريقة رسم منحنى أو بأى طريقة أخرى .

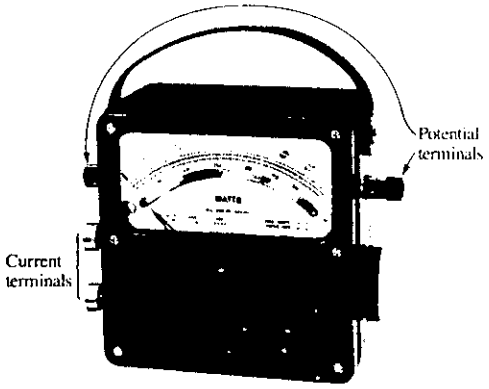
مقياس القدرة الكهربية :(Wattmeter)

يستخدم الواتميتر لقياس قدرة مصدر تيار مستمر أو لقياس القدرة المفقودة فى مقاومة كهربية . ويوضح

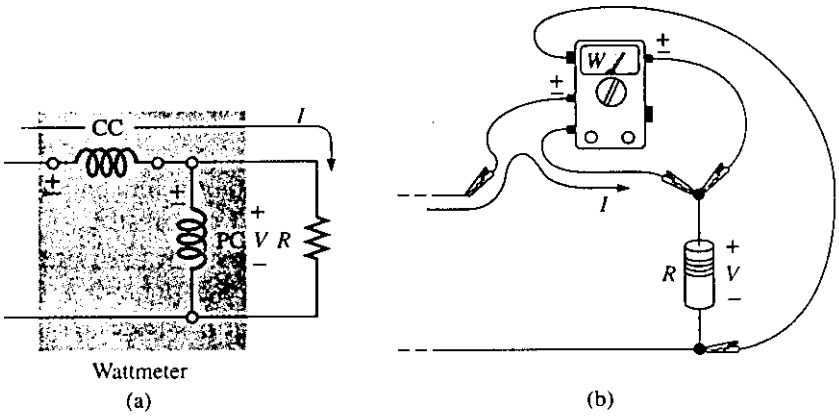


شكل(١٠ -١١) معايرة الفولتميتر بالمجهاد

شكل (١٠ -١٢) جهاز واتميتر . كما يوضح شكل (١٠ -١٣) طريقة توصيل ملفات التيار (CC) وملفات فرق الجهد (PC) لجهاز الواتميتر .



شكل (١٠ -١٢) الواتميتر



شكل (١٠ -١٣) توصيل أطراف الواتميتر

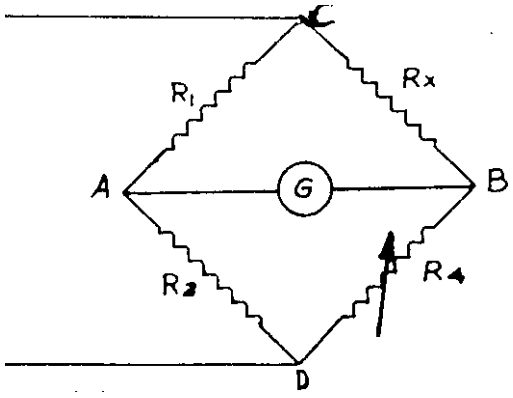
القناطر الكهربائية :

تعتبر القناطر الكهربائية أحد الطرق المستخدمة فى قياس المقاومة الكهربائية ، وسندرس هنا قنطرة ويتستون(Wheststone bridge) واستخدامها لقياس مقاومة مجهولة والتى دائرتها الأساسية موضحة فى شكل (١٠ -١٤) . والدائرة تتكون من ثلاث مقاومات معلومة القيم ، اثنتان منها ثابتتا القيمة وهما R_1 و R_2 والثالثة R_4 يمكن تغيير قيمتها ومقاومة أخرى مجهولة (R_X) المراد معرفة قيمتها . ويوصل الجلفانوميتر (G) بين الطرفين A و B لقطر القنطرة و بينما يوصل مصدر التيار بين طرفى القطر الآخر C و D ، وطريقة القياس تتم بتثبيت قيمتى المقاومتين R_1 و R_2 ثم نغير المقاومة R_4 حتى ينعدم التيار فى الجلفانوميتر

(G) وحينئذ يقال أن القنطرة متزنة وعند هذا الإتزان تتحقق العلاقة :

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_X}{R_4} \qquad (10.10)$$

وبالتالى يمكن من العلاقة السابقة الحصول على المقاومة المجهولة R_X . وتعتبر قنطرة ويتستون من أبسط القناطر لأنها تستخدم مقاومات فقط ، وهى تغذى بمصدر جهد مستمر من الطرفين C و D ويمكن معرفة الاتزان من أحد الطرفين A و B .



شكل (١٠ -١٤) قنطرة ويتستون

تمارين على الوحدة الثالثة

١.عرف معنى الخطأ فى القياس ولماذا وكيف يحدث ؟

٢.أذكر ثلاثة مصادر للأخطاء المحتملة فى القياس .

٣.اشرح مكونات وطريقة عمل كل من الجلفانوميتر ، الأميتر ، الفولتميتر .

٤.اشرح طريقة معايرة مقياس التيار المستمر بواسطة المجهاد .

٥.اشرح طريقة قياس المقاومة باستخدام الأوميتر .

٦.اشرح طريقة التوصيل لقياس المقاومة باستخدام الأوميتر نوع التوالى والأوميتر نوع التوازى .

٧.اشرح طريقة معايرة مقياس الجهد المستمر بواسطة المجهاد .

٨. اشرح كيفية قياس مقاومة مجهولة بواسطة قنطرة ويتستون.

٩. .فى جهاز الجلفانوميتر ، كان تيار أقصى انحراف مار فى الملف هو ١,٦ μA ، إحسب حساسية التيار عندما يكون إنحراف المؤشر ٨٠ mm و ١٦٠ mm على الترتيب .

١٠. باستخدام أميتر له مقاومة داخلية ١١٠٠ Ω والتيار الخاص به (I_A) كان ٥٠μA ، إحسب قيمة المقاومة R_P التى يجب أن توصل على التوازى مع الأميتر عندما يكون التيار الكلى المراد قياسه هو ٥٠ mA .

١١. جهاز متحرك يحتوى على مقاومة مقدارها ٦Ω ويعطى انحرافا بمقياس كلى عندما يمر فيه تيار مقداره ١٥ mA ، ويطلب استخدامه كفولتميتر ذى انحراف تام فى المقياس مقداره ٥ V ، إحسب قيمة المقاومة المطلوب اضافتها على التوالى مع الفولتميتر .

١٢. يراد قياس فرق الجهد بين طرفى المقاومة R_2 الموضحة فى شكل (١٠ -٥) ، ويوجد لهذا الغرض فولتيمتران الأول حساسيته ١١٠٠ Ω / V والثانى ٢١٠٠٠ Ω / V والاثنان لهما نفس التدريج وهو ٥٠ V . والمطلوب هو :

(أ)إيجاد قراءة كل فولتميتر (ب) مقدار الخطا فى كل جهازبالنسبة للقراءة الصحيحة.

المراجع

1. Engineering Electromagnetics, William H. Hayt, JR. Mcgraw Hill, 1981 .
2. Theory and problems of Electromagnetics, Joseph A. Edminister, Shaum's outline series, McGraw Hill, 1979 .
3. Electric Circuits , James W. Nilson, Addison Wiseley, 1990 .
4. Introduction to Electric Circuits, John Wiley & Sons, 1993 .
5. Engineering Circuit Analysis, William H. Hayt, Jr., J.E. Kennerly, , McGaw Hill, 1993.
6. Linear Circuit Analysis , R. A. Decarlo, Pen- Min Lin, Prentice Hill, 1995 .
7. Basic Electrical Measurements, Melville B. Shout, Prentice Hall, 1986.

٨. القياسات الكهربائية وأجهزة القياس ، د. زياد القاضي وآخرين ، دار الفكر للنشر والتوزيع ، ١٩٩٠ .

المحتويات

مقدمة I

تمهيد II

الوحدة الأولى : الكهروستاتيكية III

الفصل الأول : المجال الكهربى ١

الشحنة الكهربائية ١

الحث الكهربى ٢

القوة بين شحنتين (قانون كولوم) ٣

خطوط القوى ٨

الفيض الكهربى ١٠

شدة المجال الكهربى ١٠

كثافة الفيض الكهربى ١٣

الفصل الثانى : الجهد الكهربى ١٤

فرق الجهد ١٥

جهد الكرة ١٦

الجهد وشدة المجال داخل كرة مادة موصلة ١٧

السطوح متساوية الجهد ١٧

الفصل الثالث : المكثفات ٢٣

السعة ٢٣

سعة كرة معزولة ٢٤

سعة مكثف كروي ٢٥

سعة مكثف كروي مؤرض سطحه الخارجي ٢٥

سعة مكثف كروي مؤرض سطحه الداخلي ٢٦

سعة مكثف متوازي اللوحين ٢٧

عندما يكون بين اللوحين عازل كهربى ٢٨

عندما يشغل عازل مسافة بين اللوحين و باقي الحيز هواء ٢٩
عندما يشغل الحيز بين اللوحين أكثر من عازل ٣٠
المكثفات متعددة الألواح ومتغيرة السعة ٣١
توصيل المكثفات ٣٥
توصيل المكثفات على التوالى ٣٥
توصيل المكثفات على التوازى ٣٦
الطاقة المختزنة في المكثف ٣٩
الفصل الرابع : البطاريات ٤٢
الخلايا الابتدائية (الأعمدة الابتدائية) ٤٢
الخلايا الثانوية (الأعمدة الثانوية) ٤٢
الخلايا الحامضية ٤٢
الخلايا القلوية ٤٢
تجميع الخلايا في بطاريات ٤٣
تجميع التوالى ٤٤
تجميع التوازى ٤٥
التجميع المركب ٤٦
تمارين على الوحدة الأولى ٤٨
الوحدة الثانية : دوائر التيار المستمر ٤٩
الفصل الخامس : الكميات الكهربائية الأساسية ٥٠
شدة التيار الكهربائى ٥٠
كمية الكهرباء ٥١
الجهد الكهربائي 51
القوة الدافعة الكهربائية ٥١
المقاومة وقانون أوم ٥٢
تأثير درجة الحرارة على مقاومة الموصل ٥٤
القدرة والطاقة الكهربائية ٥٦
الكفاءة ٥٧

الفصل السادس : توصيل الدوائر على التوالى ٦٠
توصيل المقاومات على التوالى ٦٠
توصيل المنابع الكهربية على التوالى ٦٣
قانون كيرشوف للجهد ٦٣
قاعدة توزيع الجهد ٦٦
الفصل السابع : توصيل الدوائر على التوازي ٦٨
توصيل المقاومات على التوازى ٦٩
قانون كيرشوف للتيار ٧٣
قاعدة توزيع التيار ٧٤
الدوائر المفتوحة ودوائر القصر ٧٧
الفصل الثامن : توصيل الدوائر على التوالي - توازى ٧٩
تمارين على الوحدة الثانية ٨٦
الوحدة الثالثة : قياسات التيار المستمر ٩٣
الفصل التاسع : مبادىء القياسات الكهربائية ٩٤
قياس الكميات الكهربائية ٩٤
أخطاء القياس ٩٥
الفصل العاشر : أجهزة قياس التيار المستمر ٩٨
الجلفانوميتر ٩٨
حساسية الجلفانوميتر ١٠٠
مقياس التيار المستمر ١٠١
مقياس الجهد ١٠٣
الفولتميتر ١٠٣
حساسية الفولتميتر ١٠٥
البوتنشيوميتر ١٠٦
مقياس المقاومة ١٠٧
مقياس المقاومة نوع التوالى ١٠٧
مقياس المقاومة نوع التوازى ١٠٨

معايرة مقاييس التيار المستمر ١٠٩
معايرة مقاييس الجهد المستمر ١١٠
مقياس القدرة الكهربية ١١٠
القناطر الكهربائية ١١٢
تمارين على الوحدة الثالثة ١١٣
المراجع 114

تقدر المؤسسة العامة للتعليم الفني والتدريب المهني الدعم

المالي المقدم من شركة بي آيه إي سيستمز (العمليات) المحدودة

GOTEVOT appreciates the financial support provided by BAE SYSTEMS