

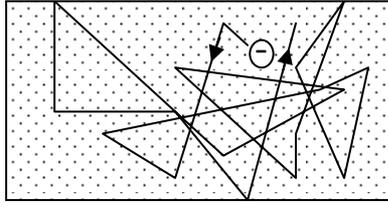
الفصل العاشر / التيار الكهربائي Electric Current

(1-10) التيار الكهربائي

حتى الآن اقتصرت دراستنا على خواص الشحنات الكهربائية الساكنة وان كنا نعرف أن معظم التطبيقات العملية للكهرباء تنطوي على شحنات تتحرك. فدوائر الأجراس العادية والأجراس المنغمة والمنبه الكهربائي ما هي إلا وسائل للتنبيه تعمل بسبب مرور الشحنات الكهربائية في ملفاتها. والمصابيح الكهربائية تشع الضوء بسبب مرور الشحنات في فتيلاتها. وهذا يعني أننا في هذا الفصل نتعامل مع المواد الموصلة للكهربائية ذلك إن الموصل فيه ناقلات الشحنة تمتلك حرية الحركة في الوسط الموصل وتستجيب إلى أبسط المجالات الكهربائية. وعلى الرغم من أن معظم الأجهزة الكهربائية خاصة المستخدمة منها في المنازل تدار بالتيار المتناوب A.C. حيث تسري الشحنات خلال الموصلات بشكل جيئة و رواح، إلا أننا سنصب اهتمامنا الرئيسي على التيار المستمر D.C. حيث تسري الشحنات خلال الموصلات بشكل دائم في نفس الاتجاه، والسيارة التي تدار بالكهرباء مثلاً على استخدام دوائر التيار المستمر.

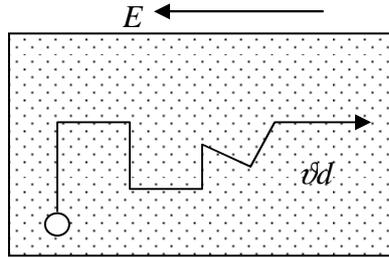
وقد اشرنا إلى أن الموصلات الكهربائية التي تحتوي على شحنات حرة الحركة خلال المواد تسمى الالكترونات، وتأتي المعادن مثل الفضة والنحاس في مقدمة المواد التي تحتوي على هذه الالكترونات الطليقة التي تتميز بحركتها العشوائية في جميع الاتجاهات. ويجب أن لا يغيب عن الأذهان أن الاصطدامات الالكترونية المتكررة مع ذرات المادة والناجمة عن الطاقة الحرارية بغياب المجال الكهربائي أو أي عامل مؤثر خارجي هي السبب في الحركة العشوائية للالكترونات. إن محصلة المسافة التي يقطعها كل إلكترون لفترة طويلة ستكون صفراً وهذا يعني إن معدل السرعة الحرارية للإلكترون هي الأخرى تساوي صفراً كما يوضحها الشكل (1-10).

من المعروف أن الالكترونات الطليقة هي المسؤولة عن تكوين التيارات الكهربائية في الموصلات المعدنية. ويجب أن نكون قد أدركنا أن هذه التيارات لا تنتج بغياب



الشكل (10-1) : الحركة العشوائية لإلكترون بغياب المجال الكهربائي.

المؤثرات الخارجية لذا فان انسياب الالكترونات المكونة للتيارات الكهربائية داخل الموصل تحدث إذا فرضنا أن مجالاً كهربائياً انشأ داخل الموصل وهذا المجال يرتبط بفرق جهد مسلط على طرفي الموصل المعدني. وبذا أصبح كل إلكترون تحت تأثير قوة المجال الكهربائي (eE) وهذه القوة تكسبه تعجلاً بنفس اتجاه القوة المؤثرة. وبسبب اصطداماتها المتكررة مع ذرات المادة تتباطأ حركتها لكنها لا تلبث أن تتعجل مرة أخرى عند تأثير قوة المجال، وهكذا تكون حركة الالكترونات تباطؤ وتسارع تكسيها في النهاية سرعة وسطية بطيئة تكون بعكس اتجاه المجال الكهربائي تسمى سرعة الانحراف أو الانسياب $Drift\ Velocity$. إن سرعة الانحراف هذه تعد بطيئة جداً مقارنةً بـسرعته الحرارية (العشوائية) بغياب المجال الكهربائي، والمرتمس في الشكل (10-2) يمثل حركة الإلكترون تحت تأثير المجال الكهربائي.



الشكل (10-2) : انسياب إلكترون تحت تأثير المجال الكهربائي.

صار مناسباً الآن التكلم عن كمية يطلق عليها التيار الكهربائي*. لنفترض أن محصلة الشحنة الكهربائية q تتحرك عبر مساحة مقطع مستعرض من سلك موصل فيه

* الكلام يكون عن الموصلات المعدنية حيث الشحنات الفعلية التي تتحرك داخلها الكترولونات.

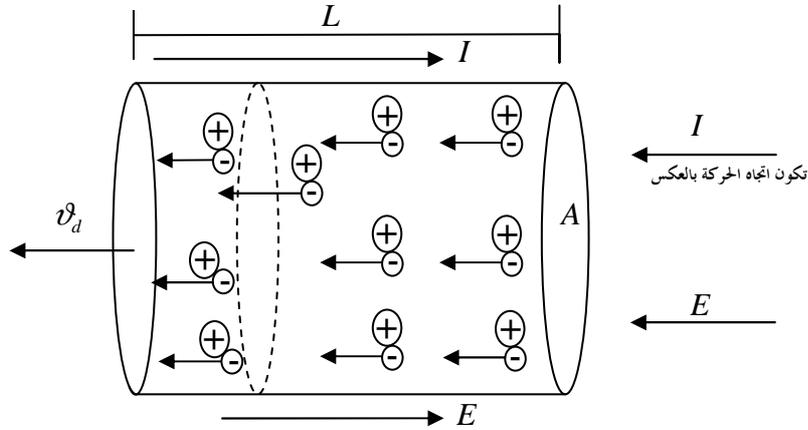
مجال كهربائي ناتج عن وجوده بين قطبي مصدر طاقة كهربائية (شكل 10-3) خلال زمن قدره t ، فان التيار الكهربائي خلال السلك هو:

$$I = \frac{q}{t} \dots\dots\dots(1-10)$$

إن وحدة q هو الكولوم و t هي الثانية. وعليه فان وحدة التيار الكهربائي I حسب النظام الدولي للوحدات SI هي الأمبير* ، أي أن:

$$1\text{Ampere} = \frac{1\text{colomb}}{1\text{second}}$$

وهناك أجزاء لهذه الوحدة تستعمل لقياس التيارات الكهربائية الضعيفة كالملي أمبير mA ويعادل واحد من ألف من الأمبير والميكرو أمبير μA ويعادل واحد من مليون من الأمبير.



الشكل (10-3): رسم تخطيطي لحركة الكترولونات التوصيل في سلك معدني موصل تظهر فيه الايونات الموجبة الثقيلة مثبتة في مواضع منتظمة في التركيب البلوري.

المعادلة (1-10) تصح في حالة التيار منتظم التوزيع أي أن انسياب الشحنات منتظمٌ خلال مقطع السلك. إلا أن الحال لا يكون هكذا دائماً، فإذا كان التيار غير منتظم التوزيع أي أن انسياب الشحنات غير منتظمٍ ففي هذه الحالة يجب اعتبار الشحنة

* أطلق على وحدة التيار الأمبير على شرف الفيزيائي الفرنسي اندريه ماري أمبير.

الكلية dq التي تعبر المقطع في فترة زمنية صغيرة dt ، عندئذ يكون الكلام عن التيار الآني ويعبر عنه رياضياً بالشكل الآتي :

$$i = \frac{dq}{dt} \quad \dots\dots\dots(2-10)$$

يُعرّف التيار في الموصلات بدلالة تدفق الشحنة السالبة، على أنه من الناحية التاريخية وقبل أن تُعرف إشارة ناقلات الشحنة كان يُعرف بدلالة حركة الشحنات الموجبة. وبمجرد أن عرفت طبيعة ناقلات الشحنة لم يكن هناك إلزام بتغيير التعريف وذلك لان التكافؤ بين الشحنة الموجبة والشحنة السالبة بسيط للغاية. بيّنا سابقاً أن التيارات الكهربائية في الموصلات المعدنية مسؤولة عنها الكترولونات طليقة. ولكنه يجب أن نتذكر أن التيارات قد تنتج أيضاً عن حركة الايونات الموجبة أو السالبة أو كليهما معاً كما في حالة المحاليل الإلكتروليتية والموصلات الغازية.

مثال (1-10)

سلك مصنوع من الفضة طوله L ومساحة مقطعه A ينقل شحنة قدرها q في زمن t . احسب سرعة انجراف الالكترولونات في السلك.
الحل :

مجموع الالكترولونات الطليقة التي يحتويها جزء السلك الذي طوله L يساوي nAL حيث n تمثل عدد الالكترولونات الحرة في وحدة الحجم من السلك، وعليه:

$$q = nALe$$

بتعويض قيمة q في المعادلة (1-10) ينتج:

$$I = \frac{nALe}{t}$$

ومنها

$$L = \frac{It}{nAe}$$

وبهذا يمكن إيجاد سرعة الانجراف من المعادلة :

$$v_d = \frac{L}{t} = \frac{It}{nAet} = \frac{I}{nAe} \quad \dots\dots\dots(3-10)$$

(10-2) كثافة التيار الكهربائي Electric Current Density

كما عملنا في موضوع العلاقة بين فيض المجال الكهربائي وشدته في البند (8-6) من الفصل الثامن، حيث عبرنا عن شدة المجال الكهربائي بوصفها صفة مميزة لنقطة على السطح بدلاً من السطح ككل وهي كمية متجهة. أما الفيض فهو صفة مميزة للسطح ككل وهو كمية عددية. هنا بالمثل يجري التعبير عن التيار بوصفه صفة مميزة للموصل وهو كمية عددية، أما كثافة التيار فهي صفة مميزة لنقطة داخل الموصل بدلاً من الموصل ككل. ولتيار I يسري خلال جميع مقطع موصل بشكل متجانس (أي الحالة التي تكون فيها كثافة التيار J متساوية لجميع أجزاء الموصل) تكون العلاقة بين هاتين الكميتين على النحو الآتي :

$$I = \vec{J} \cdot \vec{A} \quad \dots\dots\dots (4-10)$$

وفي الحالات الخاصة التي يكون فيها المقطع سطحاً مستوياً منتظماً بحيث أن كثافة التيار تكون عمودية على ذلك السطح فإن العلاقة بينهما تأخذ شكلها الآتي :

$$I = JA \quad \dots\dots\dots (5-10)$$

في هذه الحالة يقاس المقطع العرضي A بالمليمتر مربع، لذا فوحدة كثافة التيار الكهربائي هي (أمبير/ملم²)، وان اتجاهه بنفس اتجاه التيار.

ولتيار يسري باتجاه غير عمودي على مساحة المقطع وهو غير متجانس بالنسبة إلى نقاط السطح المار من خلالها، فإن العلاقة بين الكميتين I و J تأخذ الصيغة الآتية :

$$I = \int \vec{J} \cdot d\vec{A} \quad \dots\dots\dots (6-10)$$

حيث تمثل dA عنصراً تفاضلياً من مساحة السطح.

(10-3) الدائرة الكهربائية المغلقة Loop Electric Circuit

لنأخذ الدائرة الكهربائية المغلقة المبيّنة في الشكل (10-4a)، وهي تتكون من بطارية ذات فرق جهد ثابت، وقد ربط قطباها بسلكين معدنيين من مادة النحاس وصلنا بسلك من مادة الحديد. وبما إن النحاس من الموصلات ذات التوصيل الكهربائي الجيد جداً مقارنة بالحديد، لذا تكون مقاومة سلك النحاس جزءاً مهماً، وعلى هذا فإن سلك

خلالها سوف لن تتغير، بعبارة أخرى أن جميع نقاط سلك النحاس المتصل بالطرف الموجب للبطارية متساوية الجهد. وبالمثل جميع نقاط سلك النحاس المتصل بالطرف السالب للبطارية متساوية الجهد. إن ذلك يقودنا إلى حقيقة وهي أن فرق الجهد عبر سلك الحديد (المقاوم) هو نفس فرق الجهد عبر البطارية V .

يتم تمييز المقاوم عادة بمقاومته R . وإذا تسبب فرق جهد مقداره V عبر المقاوم في مرور تيار I خلاله فان المقاومة تعرف بالعلاقة:

$$R = \frac{V}{I} \quad \dots\dots\dots(10-7)$$

وهي خاصية كهربائية وتمثل فيزيائياً مقدار الصعوبة التي تلاقىها الشحنات (الالكترونات) المارة خلال الموصل عند تسليط فرق جهد بين طرفيه.

إن وحدة المقاومة في نظام SI هي فولت لكل أمبير وتسمى اوم (Ω). وعرفت هذه الوحدة على إنها مقاومة الموصل الذي يمر خلاله تيار شدته واحد أمبير إذا كان فرق الجهد بين طرفيه واحد فولت، أي أن :

$$1\text{Ohm} = \frac{1\text{Volt}}{1\text{Ampere}}$$

وهناك مضاعفات لتلك الوحدة تستخدم لقياس المقاومات العالية مثل الكيلواوم ($K\Omega$) ويساوي ألف اوم، والميكاوم ($M\Omega$) الذي يساوي مليون اوم*.

وجد بالتجارب العملية أن للأسلاك ذات الحجم والشكل الواحد المصنوعة من مواد مختلفة مقاومات مختلفة. فسلك النحاس مثلاً مقاومته اقل من مقاومة سلك حديدي له نفس الحجم. وتعليل ذلك إن انسياب الشحنات بين ذرات وجزيئات المادة يلاقي مقاومة ناتجة عن تصادمها بذرات والكترونات المادة ومن ذلك يتضح إن إعاقاة انسياب الشحنات في المادة يرتبط بطبيعة المادة وتركيبها الذري والبلوري، فكلما ازدادت الإعاقاة لمرور الشحنات خلال المادة كلما ازدادت مقاومتها للتيار الكهربائي المار فيها. كما وجد بالتجارب العملية انه كلما زاد طول السلك كلما ازدادت قيمة مقاومته، أي أن

* إذا كانت قيمة المقاومة مقدرة بالكيلواوم ، فان التيار سيكون ذو قيمة من فئة ملي أمبير، وإذا كانت المقاومة مقدرة بالميجا آوم، فالتيار الناتج يكون ذو قيمة من فئة ميكروامبير.

مقاومة السلك تتناسب طردياً مع طوله وهذا مرتبط بزيادة مسافة الإعاقلة لمرور الشحنات خلال السلك. ووجد بالتجارب العملية أيضاً أن مقاومة السلك تزداد كلما قلت مساحة مقطعه العرضي أي أن مقاومة السلك تتناسب عكسياً مع مساحة مقطعه، ولذلك فإننا بحاجة إلى وسيلة من شأنها تمييز خصائص المقاومة الذاتية.

لنعتبر سلكاً طوله L ومساحة مقطعه العرضي A (شكل 10-3)، وكما ذكرنا فقد أوضحنا التجارب بالفعل أن :

$$R \propto \frac{L}{A}$$

ومنها

$$R = \rho \frac{L}{A} \dots\dots\dots(8-10)$$

حيث ρ مقدار ثابت يسمى المقاومة وهو خاصية مميزة للمادة المصنوع منها السلك. وعندما تكون L بوحدة المتر و A بالمتر المربع و R بالأوم فان وحدات ρ تكون اوم.متر ($\Omega.m$). والجدول (10-1) يبين اختلاف قيمة المقاومة النوعية لبعض الموصلات والعوازل في درجة حرارة الغرفة.

جدول (10-1) : المقاومة النوعية عند درجة حرارة الغرفة			
$\rho(\Omega.m)$	المادة	$\rho(\Omega.m)$	المادة
25	الدهون	1.629×10^{-8}	الفضة
$10^8 - 10^{12}$	الخشب	1.724×10^{-8}	النحاس
$10^{10} - 10^{14}$	الزجاج	1.47×10^{-8}	الذهب
$10^{11} - 10^{15}$	الميكال	2.86×10^{-8}	الألمنيوم
10^{15}	الكبريت	5.6×10^{-8}	التنجستن
$10^{15} - 10^{19}$	البولي ستايرين	10×10^{-8}	الحديد
75×10^{16}	الكوارتز	44×10^{-8}	منغائين
		3.5×10^{-8}	الجرافيت
		1.5	الدم

قد نحتاج في بعض الأحيان التعامل مع كميات فيزيائية أخرى مثل التوصيلية G conductance وهي مقلوب المقاومة R ، أي :

$$G = \frac{1}{R} \quad \dots\dots\dots(9-10)$$

وكذلك الموصلية الكهربائية أو ما تعرف بقابلية التوصيل الكهربائي σ (conductivity) وهي مقلوب المقاومة النوعية ρ ، أي:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad \dots\dots\dots(10-10)$$

ويلاحظ من المعادلتين إن وحدة التوصيلية Ω^{-1} ووحدة الموصلية الكهربائية $\Omega^{-1}m^{-1}$.

مثال (2-10)

مصدر الكترونات في دائرة تلفزيون يطلق حزمة الكترونية شدة تيارها $1 \times 10^{-5} A$. ما عدد الالكترونات التي ترتطم بشاشة التلفزيون كل ثانية ، -2 ما هي كمية الشحنة التي ترتطم بالشاشة كل دقيقة.

الحل: $I = \frac{q}{t} - 1$

$$q = ne$$

$$\therefore I = \frac{ne}{t}$$

ومنها نجد عدد الالكترونات التي ترتطم بالشاشة كل ثانية (n) وهي:

$$n = \frac{It}{e} = \frac{1 \times 10^{-5} \times 1}{1.6 \times 10^{-19}} = 6.25 \times 10^3$$

-2 كمية الشحنة التي ترتطم بالشاشة كل دقيقة هي:

$$q = It = 1 \times 10^{-5} \times 60$$

$$= 6 \times 10^{-4} C$$

مثال (3-10)

احسب فرق الجهد بين طرفي سلك مقاومته 5Ω إذا كانت الشحنة التي تمر خلاله كل دقيقة هي $720C$.

الحل :

$$I = \frac{q}{t} = \frac{720}{60} = 12A$$

$$\therefore V = RI = 5 \times 12 = 60V$$

مثال (4-10)

إذا كانت مقاومة موصل نحاسي معزول طوله 1km هي 11.9Ω . احسب مقطع الموصل.

الحل :

بتطبيق المعادلة:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

وبالتعويض عن المعطيات واستعمال قيمة المقاومة النوعية لمادة النحاس في الجدول (1-10) نجد:

$$A = \rho \frac{L}{R} = 1.724 \times 10^{-8} \times \frac{1 \times 10^3}{11.9} = 0.1448 \times 10^{-5} \text{m}^2 = 1.448 \text{mm}^2$$

مثال (5-10)

تضخ مضخة مياه كهربائية الماء إلى منزل يبعد عنها مسافة 11m . فإذا كانت قيمة مقاومة الدائرة الكهربائية التي تُؤمّن عمل المضخة 0.56Ω . جد مساحة مقطع الموصل النحاسي المغذي علماً أن الدائرة تتألف من سلكين.

الحل :

بتطبيق المعادلة:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

وبالتعويض عن المعطيات واستعمال قيمة المقاومة النوعية لمادة السلك في المثال السابق مع مراعاة أن الدائرة تتألف من سلكين نجد:

$$A = \rho \frac{L}{R} = 1.724 \times 10^{-8} \frac{2 \times 11}{0.56} = 6.772 \times 10^{-7} \text{m}^2 = 0.6772 \text{mm}^2$$

مثال (10-6)

سلك مقاومته 5Ω تم تمريره خلال جهاز تشكيل ليجمعه سلكاً جديداً أطول ثلاث مرات من طوله الأصلي. ماهي المقاومة الجديدة.

الحل :

نستعمل المعادلة $R = \rho \frac{L}{A}$ لإيجاد مقاومة السلك الجديدة:

$$\rho = \frac{A_o}{L_o} R$$

حيث L_o و A_o أبعاد السلك الأصلية

$$\therefore \rho = \frac{A_o}{L_o} \times 5$$

ومن معطيات المسألة فان $L = 3L_o$ ، حيث L طول السلك الجديد، ولإيجاد A بدلالة A_o (A تمثل مساحة السلك الجديد) نقول أن حجم السلك لم يتغير، ويكون :

$$V_o = LA \quad \text{و} \quad V_o = L_o A_o$$

ومنها نجد أن:

$$LA = L_o A_o$$

أو

$$A = \frac{L_o}{L} A_o = \frac{L_o A_o}{3L_o} = \frac{A_o}{3}$$

$$\therefore R = \rho \frac{L}{A} = \frac{\left(\frac{A_o}{L_o} \times 5\right) \cdot 3L_o}{A_o/3} = 45\Omega$$

Resistances Uses**(10-5) استعمال المقاومات**

إن المقاومات من أعظم المكونات الكهربائية شيوعاً، فهي من الأدوات الكهربائية التي يجب أن يكون لها قسم محدد في مستودعات قطع غيار الأجهزة

الإلكترونية، لأنها أصبحت ضرورية لصانعي الأجهزة الإلكترونية المتقلة مثل أففال الأبواب الكهربائية ودوائر التوقيت وأجهزة التحكم عن بعد وحتى في تفريغ شحنات المكثفات. وفيما يأتي نستعرض بعض استعمالاتها المهمة :

أولاً:- تحديد شدة التيار : **Finite of Current Density**

تعمل المقاومات على إعاقة مرور التيار الكهربائي وذلك من خلال امتصاص جزء من الطاقة الكهربائية وتبديدها على شكل حرارة، أي أنها تعمل على التحكم بمرور التيار. فمن المعلوم إن التوصيل مباشرةً إلى بعض مكونات الجهاز الإلكتروني دون وجود أجهزة تحد من شدته قد يؤدي إلى تلفها. فعلى سبيل المثال لو كان لدينا مصباح قدرة 60 واط يغذى مباشرةً بتيار شدته 1 أمبير فانه سيتلف في الحال. ولكن عند إضافة أداة لتحديد التيار الواصل إليه مثل المقاومة فأنها ستحد من التيار الكهربائي الواصل إليه وبالتالي سيعمل بطريقة سليمة.

ثانياً :- تجزئة الجهد : **Potential Discrimination**

في بعض الأحيان تتطلب الحاجة إلى السيطرة على فرق الجهد قبل أن يسלט على طرفي دائرة كهربائية. فعلى سبيل المثال إذا كان لدينا مقاومتان في دائرة كهربائية متصلتان على التوالي، فان فرق الجهد عند نقطة ملتقى المقاومتين يكون جزءاً من فرق الجهد الكلي للمصدر الكهربائي المغذي للدائرة، وبالتالي فان إعطاء قيم مختلفة للمقاومتين يؤدي إلى تغيير فرق الجهد بينهما، وهذا يؤدي إلى الحصول على الجهد اللازم لعمل ذلك الجزء من الجهاز. ومن الجدير بالذكر إن الريوستات (سنأتي إلى شرحها لاحقاً) يمكن استعمالها أيضاً لهذا الغرض.

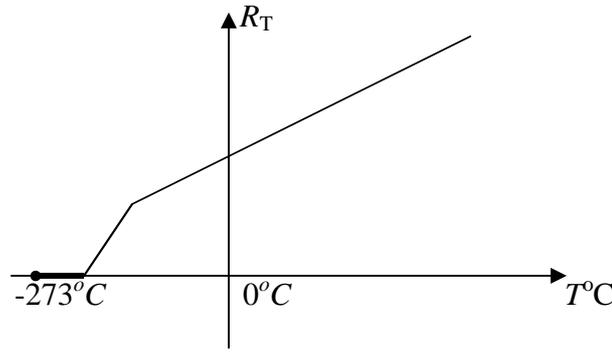
(10-6) معايير تقييم المقاومات The Criteria For

هناك العديد من المعايير والمواصفات التي يمكن بواسطتها تحديد قدرة المقاومة على تأدية مهامها بشكل مناسب، وتحديد دقتها عند الاستخدام، ومن أهم تلك المعايير: المعامل الحراري للمقاومة ونسبة سماح المقاومة والاستجابة للتردد ومعامل الجهد والثباتية والموثوقية. وسنتكلم في هذا البند عن واحدة من أهم هذه المعايير وهي المعامل الحراري للمقاومة **Temperature Coefficient of Resistance**.

وجد بالتجربة إن مقاومة سلك من مادة موصلة كالنحاس مثلاً، تزداد بزيادة درجة حرارته. ويعزى هذا إلى إن ارتفاع درجة حرارة السلك يتسبب في تحرير بعض الإلكترونات المدارات الخارجية لمادة السلك وازدياد حركتها مما يتسبب في مقاومة التيار الكهربائي المار خلالها. فإذا كانت مقاومة السلك عند درجة حرارة الغرفة T_0 هي R_0 فإن مقاومته R_T عند درجة حرارة T هي:

$$R_T = R_0 + \alpha R_0 (T - T_0) \quad \dots\dots\dots(11-10)$$

حيث α تمثل مقداراً ثابتاً يدعى المعامل الحراري للمقاومة لمادة السلك وهي تتغير عادةً مع درجة الحرارة. المعادلة (11-10) تعد صحيحة فقط لمدى محدود من درجات الحرارة قد ينحصر بين $0^\circ C$ إلى $100^\circ C$ أو بالكثير $200^\circ C$ ، حيث تكون العلاقة المرسومة بين R_T و T خطاً مستقيماً، على أنها تبقى صحيحة حتى في حالة انخفاض درجة الحرارة عن الصفر المتوي وإلى حدود لا تتعدى درجة حرارة $-260^\circ C$. بعدها ولعدد غير قليل من المواد تصبح المقاومة صفراً وتدخل المادة في الحالة فائقة التوصيل Superconductivity كما مبين في الشكل (10-5).



الشكل (10-5) : تغير المقاومة مع درجة الحرارة.

توجد علاقة مماثلة لتغير المقاومة مع درجة الحرارة. فإذا كانت ρ_T و ρ_0 هي قيمة المقاومة عند T و T_0 على التوالي فإن:

$$\rho_T = \rho_0 + \alpha \rho_0 (T - T_0) \quad \dots\dots\dots(12-10)$$

القيم النموذجية لمعامل تغير المقاومة مع درجة الحرارة الواردة في الجدول (10-2) تكون صحيحة فقط لدرجات حرارة قريبة من درجة حرارة الغرفة ($20^\circ C$).

جدول (10-2) معامل تغير المقاومة مع درجة الحرارة عند $20^{\circ}C$			
$\infty^{\circ}C^{-1}$	المادة	$\infty^{\circ}C^{-1}$	المادة
0.00088	الزئبق	0.005	الحديد
0.000002	الكونستنتان	0.0045	التنكستن
0.0000	المنغانين	0.0043	الرصاص
-0.0005	الجرافيت	0.0039	النحاس
-0.05	الجرمانيوم	0.0038	الفضة
-0.07	السليكون	0.0034	الألمنيوم
		0.002	البراص

وعلى الرغم من أن مقاومة معظم الموصلات (كالمعادن مثلاً) تزداد بزيادة درجة الحرارة، إلا أن هناك مواد موصلة أخرى مثل الجرافيت ومعظم أشباه الموصلات وجميع السوائل الالكتروليتيية تشد عن تلك القاعدة. حيث تقل مقاومتها النوعية بزيادة درجة الحرارة (لاحظ الإشارة السالبة في الجدول 10-2). كما توجد عدد من السبائك التي تمتاز بفضالة التغير الحاصل في مقاومتها النوعية لمدى غير قليل من درجات الحرارة ومثال ذلك سبيكة المنغانين 4%Ni, 12%mn, 84%Cu وسبيكة الكونستنتان 40%Ni و 10%Cu لذلك يستعمل المنغانين مثلاً في صناعة المقاومات القياسية.

مثال (10-7)

سلك ملف من الألمنيوم مقاومته 3.6Ω عند درجة حرارة الغرفة $20^{\circ}C$. احسب الهبوط في قيمة المقاومة إذا برّد إلى درجة حرارة $0^{\circ}C$. علماً أن معامل المقاومة الحراري للألمنيوم (∞) تساوي $3.4 \times 10^{-3} C^{-1}$.

الحل :

$$R = R_o + \infty R_o (T - T_o)$$

$$R = 3.6 + 3.4 \times 10^{-3} \times 3.6(0 - 20)$$

$$R = 3.6 - 0.2448 = 3.355 \Omega$$

ويكون مقدار الهبوط في المقاومة بعد أن برّدت إلى درجة حرارة $0^{\circ}C$ هو 0.265Ω .

مثال (8-10)

في دائرة كهربائية استعمل مقاوم ألمنيوم مقاومته 3.4Ω عند $0^\circ C$ على التوالي مع مقاوم كربون مقاومته 27Ω عند $0^\circ C$ أيضاً، فإذا علمت أن $\alpha_{AL} = 3.4 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ C^{-1}$ (للألمنيوم) و $\alpha_c = 0.5 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ C^{-1}$ (للكربون). جد مقاومة المجموعة عند درجة حرارة الغرفة ($20^\circ C$).

الحل:

$$R = [R_{AL} + \alpha_{AL} R_{AL} (T - T_o)] + [R_c + \alpha_c R_c (T - T_o)]$$

$$R = [3.4 + 3.4 \times 10^{-3} \times 3.4 (20 - 0)] + [27 + 0.5 \times 10^{-3} \times 27 (20 - 0)] \\ = 30.9 \Omega$$

مثال (9-10)

سلكان احدهما من النحاس والآخر من النيكل، مقاومتهما 12.7Ω و 11.6Ω على الترتيب في درجة حرارة $20^\circ C$ ، فعند أية درجة تتساوى مقاومتهما؟ علماً أن $\alpha_{Cu} = 0.0039 \text{ } ^\circ C^{-1}$ (للكحاس) و $\alpha_{Ni} = 0.006 \text{ } ^\circ C^{-1}$ (للكيكل).

الحل:

$$R_{Cu} = 12.7 + 0.0039 \times 12.7 (T - 20)$$

$$R_{Ni} = 11.6 + 0.006 \times 11.6 (T - 20)$$

وعند $R_{Ni} = R_{Cu}$ نجد:

$$12.7 + 0.0039 \times 12.7 (T - 20) = 11.6 + 0.006 \times 11.6 (T - 20)$$

$$\therefore T = 75^\circ C$$

(7-10) أنواع المقاومات Types of Resistances

للمقاومات استعمالات كثيرة وعلى سبيل المثال لا الحصر تستعمل المقاومات في معظم الأجهزة الكهربائية تقريباً وخاصة في الأجهزة اللاسلكية وأجهزة الراديو والتلفزيون وفي تشغيل الصمامات الإلكترونية، وكذلك تستعمل المقاومات ذات القدرة

العالية في التحكم بتشغيل المحركات الكهربائية، وفي حماية المحركات الكهربائية عند بدء التشغيل عند مرور تيار البدء العالي، وتقسّم المقاومات إلى قسمين رئيسيين، هما :

أولاً:- المقاومات المتغيرة Rheostat

المقاومة المتغيرة عبارة عن أداة تزيد أو تقلل المقاومة في الدائرة الكهربائية، ويتم التحكم بكمية التيار المار في الدائرة عن طريق تغيير قيمة المقاومة. تتكون أبسط أنواع المقاومات المتغيرة من سلك معدني مقاوم ملفوف حول اسطوانة من مادة عازلة، و ذراع معدني يتزلق على طول لفات السلك بحيث يلمس كل لفة أثناء الحركة (شكل 6-10). يمر التيار في لفات السلك ومن ثم ينتقل إلى الذراع المتحرك، وكلما كان عدد لفات السلك كبيراً كانت المقاومة أكبر وقلت قيمة التيار المار خلالها.

تعد المقاومة المتغيرة مفيدة حينما تكون قيمة المقاومة المطلوبة في الدائرة الكهربائية غير معروفة مسبقاً، لإمكانية التحكم بها مباشرة لكي تتلاءم مع القيمة المطلوبة، بعكس المقاومة الثابتة التي تم تحديدها من قبل المصنع.



الشكل (6-10) : احد أنواع المقاومات المتغيرة

ثانياً:- المقاومات الثابتة Fixed Resistances

تحدد قيمة المقاومة الثابتة في المصنع عند تصنيعها، ولا يمكن تغيير قيمتها من قبل المستخدم، ولكل منها غرض محدد، ولهذا يوجد العديد من المقاومات الثابتة منها :

1- مقاومات السلك الملفوف Precision Wire Wound Resistances

وهي مقاومة عالية الدقة، إذ لا تزيد درجة الانحراف فيها عن $\pm 0.005\%$ وذات معامل حراري منخفض يصل إلى ثلاثة أجزاء من المليون

لكل درجة مئوية. ونظراً لأن تصنيعها مكلف جداً فأغراضها لا تستعمل إلا في أغراض خاصة.

2-مقاومات السلك الملفوف الفعالة Power Wire Woun Resistances

وتُصنع بلف أسلاك معدنية على أنابيب أو قضبان من الخزف، أو على قضبان مكسوة بالألومنيوم، أو أعمدة من الألياف الزجاجية، ويمكن أن يصنع منها الألياف الزجاجية، كما يمكن أن يصنع منها أنواع دقيقة جداً لاستخدامها في راسم الإشارات وأجهزة القياس الأخرى.

يستعمل هذا النوع من المقاومات حينما يكون هناك حاجة لتخزين كمية كبيرة من الطاقة، حيث يمكنها أن تحتزن طاقة لكل وحدة حجوم أكبر من أي مقاومة أخرى، وقد تتكون هذه المقاومات من سلك ملفوف فقط يشبه عنصر التسخين، لذلك فأغراضها عادة تحتاج إلى بعض أشكال التبريد لكي تصبح قادرة على أداء مهامها بشكل جيد. ومن أشكال التبريد المروحة أو الغمر في أنواع مختلفة من السوائل تتراوح ما بين الزيوت المعدنية إلى سوائل السليكون عالية الكثافة.

3-المقاومات المنصهرة Fuse Resistances

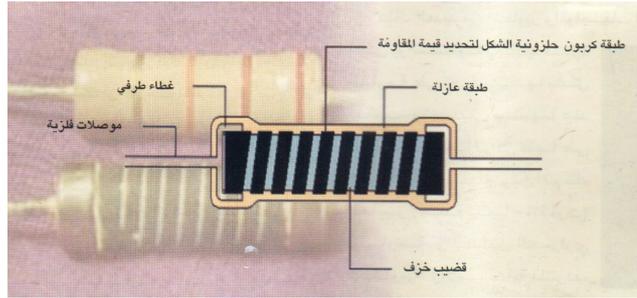
وتستعمل في أغراض مزدوجة حيث تعمل كمقاومة ومنصهر وهي مصممة بحيث تفتح مع التدفق الكبير للتيار. يمكن حساب تيار الانصهار لهذا النوع من المقاومات بناءً على كمية الطاقة اللازمة لصهر المادة المقاومة، وتمثل درجة انصهار المادة مضافاً إليها كمية الطاقة اللازمة لتبخير المواد المقاومة.

4-مقاومات مكونات الكربون Composition Carbon Resistances

وتعد من أكثر المقاومات انتشاراً في السوق. فهي لا زالت تتمتع بتسويق جيد وأسعار منافسة. وتصنع من قضبان كربونية تقسّم إلى أطوال مناسبة ثم تشكّل مع الرصاص حيث يمكن تغيير نسبة الكربون في الخليط للحصول على القيمة المطلوبة للمقاومة.

5-مقاومات شريحة الكربون Carbon Film Resistances

وتُصنع من طلاء قضبان الخزف بخليط من المواد الكربونية، ويتم الطلاء بطرق مختلفة، ومن أكثرها شيوعاً غطس أو دحرجة أو طباعة أو رش قضيب الكربون في المحلول المناسب. ويمكن التحكم في سماكة الطلاء من لزوجة وكتافة المحلول. يعد هذا النوع من المقاومات من أفضل الأنواع من حيث الاستجابة الترددية، يشترك في كثير من المميزات مع مقاومة مركبات الكربون مثل الضجيج، ومعامل فرق الجهد، إلا أن معامل مقاومته الحرارية تكون اقل. يتم تصنيع مقاومة شريحة الكربون بترسيب طبقة رقيقة من الكربون على قضيب صغير من الخزف، ثم يعمل في تلك الطبقة شقاً حلزونياً بواسطة آلة حفر آلية يبدأ من احد الأطراف وينتهي بالآخر كما في الشكل (10-7). ثم تثبت فيه موصلات معدنية وغطاء في كل طرف، وتغطية كامل المقاومة بطبقة عازلة، ومن ثم وضع الملفات الملونة التي تدل على قيمتها، ويعد هذا النوع من المقاومات غير مكلف، و متاح بدرجة انحراف تتراوح ما بين $\pm 5\%$ إلى $\pm 10\%$ من القيمة المسجلة عليها.



شكل (10-7) : مقاومة شريحة الكربون.

6- مقاومات شريحة المعدن Metal Film Resistances

وتعد من أفضل المقاومات من حيث اشتراكها في كثير من خصائص المقاومات الأخرى ومع أنها ليست دقيقة ولا تتمتع بمعامل حراري عالي أو ثباتية كمقاومات السلك الملفوف الدقيقة، إلا أنها تتميز بمعامل حراري منخفض أكثر من مقاومات شريحة الكربون. وإلى تميزها بمستوى منخفض من

الضحيج واستجابة ترددية ممتازة، ويتم تصنيعها عن طريق التبخير والترسيب، إذ ييخر الفلز الأساس في الفراغ ثم يرسب على قضبان أو شرائح من الخزف.

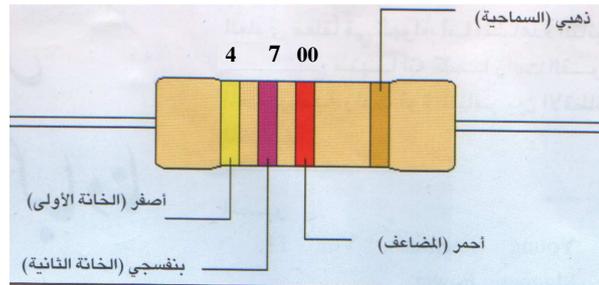
7- مقاومات رقائق القصدير Foil Resistances

وهي تشبه في خواصها مقاومات الشريحة المعدنية، وتتفوق عليها في الثباتية، وتقل عنها في معامل المقاومة الحراري، وتتميز باستجابة ترددية ممتازة.

Color Coding of Resistances (8-10) الترميز اللوني للمقاومات

تصنّف المكونات الرئيسية المستعملة في صناعة الالكترونيات إلى مجموعتين رئيسيتين، هما المكونات الفعالة كالترانزستورات والدوائر المتكاملة، وغير الفعالة كالمقاومات والمكثفات، ويتمثل الفرق بينهما في إن المكونات الفعالة تتطلب طاقة بشكل ما لكي تعمل، كما أنها تستعمل لتضخيم الإشارات.

كانت المقاومات في العصور المتقدمة كبيرة الحجم بحيث يمكن كتابة قيمة المقاومة عليها مباشرةً. وبعد أن أصبحت صغيرة جداً تطلب الأمر استعمال الألوان للدلالة على قيمتها وهي حلقات على جسم المقاومة (المكثفات أيضاً). حيث يدل كل لون على قيمة معينة (شكل 8-10). ومن تلك الحلقات يمكن حساب قيمة المقاومة. تعد المقاومات التي يكون فيها معدل الانحراف $\pm 5\%$ أكثر المقاومات شيوعاً. ويوجد لهذا النوع من المقاومات أربع حلقات ملونة، تعطي الحلقات الأولى والثانية من اليسار الخانتين الأولى والثانية من الرقم الذي يدل على قيمة المقاومة. أما الحلقة الثالثة



الشكل (8-10) : نموذج الترميز اللوني للمقاومات (الطريقة الأمريكية).

فتعطي عدد الرقم الذي يضاعف به رقم الخانتين الأولى والثانية. فإذا كان لون الحلقة الثالثة ذهبياً فإن الرقم الذي تضاعف به الخانتين هو 0.1. أما إذا كان لونها فضي فيكون رقم المضاعفة هو 0.01. وبهذا يكتمل العدد المعبر عن قيمة المقاومات بالآومات . ولكون القيم المعطاة للمقاومات الكربونية ليست دقيقة، لذا تقوم الجهة المنتجة بإضافة حلقة رابعة للتعبير عن مقدار الانحراف للمقاومة (أو كما تسمى في كثير من الأحيان السماحية). فإذا كان لون هذه الحلقة ذهبياً كان معدل الانحراف $\pm 5\%$. أما إذا كان اللون فضياً فالانحراف $\pm 10\%$ وهكذا (انظر جدول 10-3).

جدول (10-3) : الرموز اللونية للمقاومات			
لون الحلقة	قيمة الحلقة	المضاعف	السماحية
اسود	0	1	-
بني	1	10	$\pm 1\%$
احمر	2	10^2	$\pm 2\%$
برتقالي	3	10^3	-
اصفر	4	10^4	-
اخضر	5	10^5	$\pm 0.5\%$
ازرق	6	10^6	$\pm 0.25\%$
بنفسجي	7	10^7	$\pm 0.10\%$
رمادي	8	10^8	$\pm 0.05\%$
ابيض	9	10^9	-
ذهبي	-	0.1	$\pm 5\%$
فضي	-	0.01	$\pm 10\%$
لاشيء	-	-	$\pm 20\%$

ولتوضيح كيفية استعمال الجدول في استخراج قيمة المقاومة، نأخذ الأمثلة الآتية :

1- اصفر، بنفسجي، احمر ثم ذهبي

$$R = 4700 \mp 5\% = 4700 + 4700 \times \frac{5}{100} = 4700 \mp 235\Omega$$

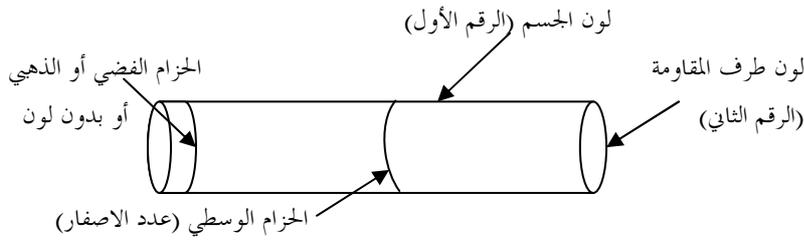
2- اخضر، اخضر، برتقالي ثم فضي

$$R = 55000 \mp 10\% = 55000 \mp 55000 \times \frac{10}{100} \\ = 55000 \mp 5500\Omega$$

3- احمر، احمر، ذهبي

$$R = 22 \times 0.1 \mp 20\% = 2.2 \mp 2.2 \times \frac{20}{100} = 2.2 \mp 0.44\Omega$$

ولابد من الإشارة إلى أن الطريقة التي تم فيها استخراج قيمة المقاومة هي طريقة أمريكية، أما في الطريقة الأوروبية فالأمر يختلف. في هذه الطريقة يطلى جسم المقاومة كله بلون واحد تتوسطه دائرة بلون آخر. ثم يلوّن أحد طرفي المقاومة بلون ثالث والطرف الآخر يكون أما ملوناً باللون الفضي أو الذهبي أو أن يترك بدون لون أي بنفس لون جسم المقاومة. ولقراءة قيمة المقاومة وفق هذه الطريقة نمسك المقاومة وطرفها المتحالف للون الجسم إلى اليمين ثم نضع الرقم الأول الذي يرمز للون الجسم وعلى يمينه الرقم الثاني الذي يرمز إليه اللون الذي على طرف المقاومة. ثم يوضع عدد الاصفار التي يرمز إليها لون الدائرة التي في وسط جسم المقاومة، إذا كان طرف المقاومة الآخر عليه لون ذهبي فلذلك يعني أن نسبة الخطأ في قيمة المقاومة 5% من القيمة الأصلية للمقاومة وإذا كان اللون فضي فان نسبة الخطأ تكون 10%. وإذا كان بدون لون أي بلون جسم المقاومة فلذلك يعني أن نسبة الخطأ 20%. كما في الشكل (9-10).



الشكل (9-10) : نموذج للترميز اللوني للمقاومات (الطريقة الأوروبية).

في عام 1825 توصل عالم ألماني يدعى جورج سيمون اوم G.S.Ohm (1789-1854) بعد عدة تجارب عملية إلى علاقة تربط بين شدة التيار المار في موصل وفرق الجهد على طرفي هذا الموصل، وقد سمي هذا القانون باسمه تخليداً له. وينص القانون على أن: شدة التيار المار في موصل يتناسب تناسباً طردياً مع فرق الجهد الواقع على طرفيه وذلك عند ثبوت درجة الحرارة. والتعبير الرياضي لهذا القانون هو:

$$V \propto I$$

أو

$$V = \text{const} \cdot I$$

وقد اعتبر هذا المقدار الثابت مقياساً لمقاومة الموصل لمرور التيار الكهربائي خلاله أي عرف الثابت بمقاومة الموصل R وعليه:

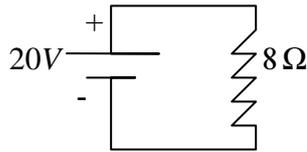
$$V = RI \quad \dots\dots\dots(10-13)$$

أطلق على وحدة قياس قيمة المقاومة الاوم كما مر ذكره في بنود سابقة. وتجدر الإشارة هنا إلى أن قانون اوم ينطبق فقط على المقاومات الثابتة والتي لا تتغير قيمتها مهما تغير مقدار فرق الجهد المسلط عليها والتيار المار فيها، وعموماً تعد الموصلات المعدنية مقاومات خطية إذا كانت تحت درجة حرارة ثابتة.

مثال (10-10)

في الدائرة المبينة في الشكل (10-10) احسب التيار المار في المقاومة.

الحل :



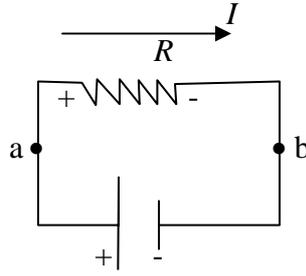
الشكل (10-10).

بتطبيق قانون اوم نجد:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{20}{8} = 2.5A$$

(10-10) معدل الطاقة الحرارية المتولدة في مقاوم Heat Energy Generated In Resistor.

عندما تبعث بطارية بتيار كهربائي خلال مقاومة فان هذا التيار لا بد وان يبذل مقدراً من الشغل لكي يتغلب على مقدار المقاومة. وبالفعل فان نقل وحدة الشحنات الموجبة خلال المقاومة من الموضع **a** باتجاه **b** كما موضح في الشكل (10-11) يتسبب في زيادة طاقتها الحركية لتأثرها بالجال الكهربائي، إلا أنها تفقد في نفس الوقت قسماً من طاقتها الكهربائية الكامنة بحيث تبقى طاقتها الكلية ثابتة. إن التغير الحاصل في الطاقة الكهربائية الكامنة بين الموضعين **a** و **b** يساوي الشغل الذي يبذله التيار الكهربائي ليستمر سريان الشحنات في المقاومة، ومقداره يعتمد على اختلاف نوع المقاومة وشدة التيار الكهربائي المار فيها إضافة إلى زمن مرور هذا التيار في المقاومة.



الشكل (10-11): دائرة كهربائية بسيطة.

إن مقدار فقد الطاقة الكامنة في المقاومة يظهر على شكل حرارة يستفاد منها لأغراض صناعية مهمة كثيرة، منها صناعة السخان الكهربائي والمكواة الكهربائية والمشواة الكهربائية والمدفأة الكهربائية والمصابيح وغيرها. وعلى الرغم من هذه الاستخدامات المفيدة إلا أن تولد هذه الحرارة تسبب أضراراً بالغة في عدد من الصناعات الأخرى كما في حالة الأجهزة الكهربائية الكبيرة كالمحركات الكهربائية.

ولحساب الطاقة الحرارية المتولدة في المقاومة **R** نكتب مقدار الشغل الذي يبذل على كمية من الشحنة مقدارها Δq لإمرارها خلال فرق جهد **V** بين طرفي المقاومة الذي يساوي الزيادة في طاقة الوضع الكهربائي للشحنة، أي:

$$W = \Delta E_{P.E.} = V\Delta q \quad \dots\dots\dots(14-10)$$

فإذا تحركت الشحنة Δq خلال المقاومة R في زمن قدره Δt فإن الشغل المبذول خلال هذا الزمن يعطي القدرة التي تسلمها البطارية وتكون حسب المعادلة :

$$P = \frac{W}{\Delta t} = V \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

وحيث أن الكمية $\frac{\Delta q}{\Delta t}$ تعبر عن التيار المار في الدائرة. إذن :

$$P = VI \quad \dots\dots\dots(15-10)$$

المعادلة (15-10) تستعمل لحساب القدرة المستهلكة بواسطة عدد من الأجهزة الكهربائية وذلك لتحديد مقدار التيار الكهربائي اللازم لتشغيلها كي يتم اختيار أسلاك التوصيل المناسبة عند قيامنا بهذا العمل، وذلك لان في حالة استعمال أسلاك كهربائية لا تتحمل مقدار التيار المار بها، سيؤدي ذلك إلى احتراق السلك وبالتالي يمكن أن يؤدي إلى مخاطر عدة، لذلك يكون تفهمنا لهذه العلاقة أمراً ضرورياً للغاية.

إن وحدة القدرة هي الجول/الثانية أو أواط ($Watt$) نسبة إلى اسم العلامة جيمس واط. ومضاعفات هذه الوحدة هي الكيلو واط ($Watt K$) وتساوي ألف واط، والميكروواط ($\mu Watt$) وتساوي مليون واط.

وفي الحالة الخاصة التي تكون فيها R مقاومة اومية أي تخضع لقانون اوم المتمثل بالمعادلة $V=IR$ كما مرّ ذكره في البند السابق، عندئذ يمكن كتابة المعادلة (15-10) بالشكل الآتي :

$$P = I^2 R = \frac{V^2}{R} \quad \dots\dots\dots(16-10)$$

وهذا يعني أن المعدل الزمني لتوليد الحرارة (أو القدرة الحرارية) في مقاومة ثابتة يتناسب تناسباً طردياً مع مربع التيار، وتسمى هذه النتيجة بقانون جول نسبة إلى مكتشفها العالم جيمس جول (1818-1889).

قد يكون من المفيد أن نذكر أن الطاقة التي تمكّن التيار الكهربائي من بذل مقدار من الشغل كما أسلفنا تعرف بالطاقة الكهربائية وهي تستمد من المصدر الكهربائي للتيار، مقدرة بوحدات الكيلو واط-ساعة وهي تكافئ بالجول 3.6×10^6 . إن مقدار الطاقة المستهلكة من المصدر الكهربائي يتوقف على نفس العوامل التي يتوقف عليها مقدار

الشغل المبذول، وهي شدة التيار الكهربائي، وقيمة المقاومة وزمن مرور التيار في هذه المقاومة.

يتم قياس القدرة بواسطة جهاز ألواط ميتر، لكن بالنسبة للوحدة التجارية للطاقة المستهلكة وهي الكيلو واط-ساعة فإنه يستعمل لذلك جهاز الكيلو واط-ساعة وهو ما يعرف باللعة الدارحة بالعداد الكهربائي الذي لا يخلو منه أي منزل.

مثال (11-10)

احسب قيمة التيار الكهربائي الأعظم والجهد المسلط على مقاومة قدرها $16\text{ k}\Omega$ وقدرة 3 Watt دون أن تزداد سخونتها فوق الحدود الطبيعية.

الحل :

من المعادلة (10-6) لدينا :

$$V^2 = PR \Rightarrow V = \sqrt{PR} = \sqrt{3 \times 16 \times 10^3} = 219V$$

ولدينا من المعادلة ذاتها :

$$P = I^2 R \Rightarrow I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{3}{16 \times 10^3}} = 1.369 \times 10^{-2} A = 13.69 mA$$

مثال (12-10)

احسب مقدار التيار الكهربائي والطاقة الكهربائية المستهلكة بالكيلو واط-ساعة نتيجة إضاءة ثمانية مصابيح قدرة 100 Watt لمدة خمس ساعات من مصدر للتيار المتناوب 220 V .

الحل :

$$P_{tot} = 8 \times 100 = 800W \quad (\text{القدرة الكلية للمصابيح})$$

$$P = VI \Rightarrow \therefore I = \frac{P}{V} = \frac{800}{220} = 3.63 A$$

و إن

$$W = VIt = Pt = \frac{800}{100} \times 5 = 40\text{ kWatt} - hr$$

مثال (10-13)

سخان كهربائي قدرته $500Watt$. احسب مقدار التيار الكهربائي المستهلك نتيجة لتشغيل هذا السخان ومقدار الطاقة الكهربائية المستهلكة، إذا كانت فترة تشغيل السخان ساعتين من مصدر للتيار المتناوب $220V$.

الحل :

$$P = VI \Rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{500}{220} = 2.27 A$$

$$W = pt = 500 \times 2 = 1000 Watt - hr = 1kWatt - hr$$

مثال (10-14)

غسالة كهربائية قدرة الموتور الكهربائي المستعمل بها $\frac{1}{3}$ حصان. احسب مقدار الطاقة الكهربائية المستهلكة بالكيلو واط-ساعة نتيجة لتشغيل الغسالة لمدة خمس ساعات من مصدر للتيار المتناوب $220V$.

الحل :

$$\frac{746}{3} = 248 W \quad (\text{قدرة الغسالة بالواط})$$

$$W = pt = \frac{248}{1000} \times 5 = 1.240 kWatt - hr$$

(10-11) المكافئ الميكانيكي Mechanical Equivalent

انطلاقاً من المبدأ العام لقانون حفظ الطاقة، فإن الطاقة المستهلكة بواسطة عدد من المكونات الكهربائية (مثل المقاومات) والحرارة المتولدة بسببها كميتان متكافئتان دائماً. ولقد عبرنا في جميع مناقشاتنا السابقة عن الطاقة بوحدة الجول، وهذه الوحدة هي في الأساس ميكانيكية، ولكن في الغالب يعبر عن الطاقة على شكل حرارة بوحدة السعرة. لقد أجريت تجارب كثيرة على دوائر كهربائية لاستنباط الصياغة المثالية بين الجول والسعرة أو كما اشرنا بين وحدة الطاقة الميكانيكية والحرارية، فإذا مرَّ تيار كهربائي شدته I من الامبيرات لفترة زمنية t من الثواني خلال مقاومة فرق الجهد بين

طرفيها V من الفولتات، فان الطاقة الكهربائية المستهلكة (W) في المقاومة مقدرة بالجولتات تساوي:

$$W=VIt \quad \dots\dots\dots(17-10)$$

حيث تتحول هذه إلى طاقة حرارية مقدارها H من السرعات ويطلق على مقدار الطاقة اللازم بذها لتوليد وحدة حرارية واحدة بالمكافئ الميكانيكي للحرارة ويرمز له بالرمز J حيث :

$$J=\frac{W}{H} \quad \dots\dots\dots(18-10)$$

وهذه العلاقة الكمية بين W و H يعطيها قانون جول وهي تمثل صيغة مثالية خاصة للقانون الأول في الترموديناميك ويذكر أن قيمة J تتوقف على نوع الوحدات المستعملة في قياس الطاقة المستهلكة W وكمية الحرارة H وهي تساوي 4.18 جول لكل سعره.

Exercices التمارين

- (1-10) : مصباح يعمل بقدرة $100W$ ، فإذا علمت أن التيار المار فيه هو $500mA$ والجهد المسلط عليه هو $120V$ ، احسب مقاومته.
- (2-10) : سلك ألومنيوم دائري المقطع نصف قطره $3mm$ وطوله $2.5km$ ، فإذا علمت أن المقاومة النوعية لمادة السلك تساوي $2.86 \times 10^{-8} \Omega.m$ ، احسب مقاومته.
- (3-10) : يستعمل قضيب تجميع نحاسي (bar-bus) في لوحة توزيع أبعاده كالاتي: الطول $50cm$ والمقطع $(1 \times 3)cm^2$ فإذا علمت أن المقاومة النوعية لمادة السلك تساوي $(1.7 \times 10^{-8} \Omega.m)$ ، احسب المقاومة بين نهايتي القضيب.
- (4-10) : إذا كانت مقاومة سلك نحاسي هي 5.7Ω ، احسب مقاومة سلك من الألومنيوم طوله ضعف السلك النحاسي وقطره ثلاث مرات أكثر منه، علماً بأن النسبة بين المقاومة النوعية للألومنيوم والمقاومة النوعية للنحاس هي 1.7 .
- (5-10) : سلك من التنكستن مقاومته 3.2Ω عند درجة حرارة $20^\circ C$. ماهي مقاومته في الدرجة $10^\circ C$ ، إذا علمت أن معامل المقاومة الحراري له عند الدرجة $20^\circ C$ هو $4.5 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ C^{-1}$.
- (6-10) : سلكتان احدهما من النحاس والآخر من الكربون، فإذا كانت مقاومة الأول 20Ω والثاني 22Ω في درجة حرارة الغرفة، وان معامل المقاومة الحراري للنحاس $0.0039^\circ C^{-1}$ وللكربون $-0.0005^\circ C^{-1}$ ، جد درجة الحرارة التي عندها تتساوى مقاومة السلكتين.
- (7-10) : احسب أعظم قيمة للتيار الكهربائي الذي يمكن أن يمر عبر مقاومة مقدارها $40k \Omega$ وقدرة $10W$ دون أن تزداد سخونته فوق الحدود الطبيعية.
- (8-10) : عبّر عن معدل توليد الحرارة لمقاومة بدلالة :
- 1- فرق الجهد والتيار.
 - 2- المقاومة والتيار.
 - 3- فرق الجهد والمقاومة.

(10-9) : احسب التيار المار في مقاومة قدرها 2.2Ω عند تسليط فرق جهد عليها قدره $9V$.

(10-10) : احسب التيار المار عبر مقاومة قدرها $2k\Omega$ ، إذا كان هبوط الجهد عليها $16V$.