الفصل السادس

التيار و المقاومة

6-1 التيار

هو كمية الشحنة الصافية q الماردة في مقطع عرضي للموصل لوحدة الزمن t وبذلك فإن قيمة التيار تكون ثابتة وتحسب من العلاقة:

$$\boxed{I = \frac{q}{t}} \quad \text{..... (1)}$$

ويقاس التيار بوحدات الأمبير إذا كانت الشحنة المارة تساوي كولوم واحد خلال زمن مقداره ثانية واحدة أي أن:

$$Amp = coul/sec$$

أما إذا كان معدل تغير الشحنة لوحدة الزمن غير ثابت، أي أن التيار يتغير مع الزمن فإن:

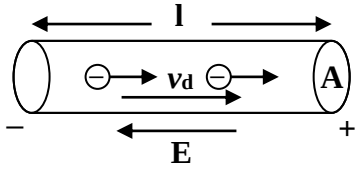
$$\boxed{I = \frac{dq}{dt}} \quad \text{..... (2)}$$

إن اتجاه التيار في الدائرة الكهربائية يأخذ عادة اتجاه الشحنات الموجبة وبذلك فإن اتجاه الشحنات السالبة عكس اتجاه التيار.

$I \rightarrow$ $\qquad$ $E \quad +ve \longrightarrow -ve$

$+ve \rightarrow$

إن اتجاه حركة الإلكترونات في الموصل (التيار) يكون معاكساً لاتجاه المجال الكهربائي فإذا ربطت طرفي سلك موصل ببطارية فرق جهدها V فإن مجال كهربائي يتولد ينظم حركة الإلكترونات في السلك باتجاه مختلف عن اتجاه المجال تماماً أي معاكساً له.



6-1-1 كثافة التيار

إذا تم توزيع التيار بصورة منتظمة على مقطع عرضي لموصل مساحته A فإن كثافة التيار لوحدة المساحة للمقطع يعبر عنها كما يلي:

$$\boxed{J = I / A} \quad \text{..... (3)}$$

أي أن:

$$I = JA$$

إن اتجاه J يكون باتجاه الشحنات الموجبة $+ve \rightarrow J$

أما إذا كانت هناك إلكترونات فإن الاتجاه يكون (J−) أو $-J \rightarrow -ve$.

* وبشكل عام فإن العلاقة بين كثافة التيار لأي سطح لموصل معين حيث يمثل التيار فيض اتجاه كثافة التيار حول السطح

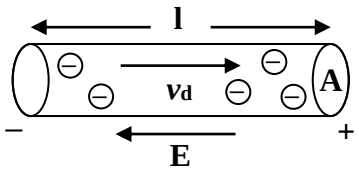
$$I = \int J.ds$$

وهو كمية عددية وتمثل ds مساحة سطح العنصر.

* لا تتغير قيمة التيار مع تغير شكل السلك أي عند حنيه أو عمل عقدة فيه.

* يمكن حساب سرعة انجراف الإلكترونات v_d في موصل من معرفة كثافة التيار J.

يبين الشكل حركة الإلكترونات في السلك من اليسار إلى اليمين على افتراض سرعة الانجراف ثابتة v_d.



عدد إلكترونات التوصيل في الشكل = nAl

حيث أن n = عدد إلكترونات التوصيل لوحدة الحجم

Al = حجم السلك

لذا فإن الشحنة q تساوي

$q = (nAl)e$ تتجه إلى اليمين

أما الزمن اللازم لحركة الإلكترونات مسافة مقدارها l فيحسب:

$$t = \frac{l}{v_d}$$

$$\therefore I = \frac{q}{t} = \frac{(nAl)ev_d}{l} = nAev_d$$

سرعة الانجراف $\therefore v_d = \frac{I}{nAe}$

$$\because \frac{I}{A} = J$$

$$\boxed{\therefore v_d = \frac{J}{ne}}$$

وتعرف ***سرعة الانجراف على أنها سرعة الإلكترونات الحرة خلال الموصل.***

مثال:

سلك من الألمنيوم قطره 0.1 cm. تم لحمه مع سلك نحاسي قطره 0.046 cm. يحمل السلك الجديد تيار ثابت قيمته 10 Amp. احسب كثافة التيار لكل سلك على انفراد.

إن التيار يوزع بانتظام على مساحة مقطع كل سلك عدا بالقرب من نقطة الاتصال (اللحام) بين السلكين.

أي أن J ثابتة

للألمنيوم $A = \pi r^2 = 3.14 \times (0.05)^2 = 0.0079\ cm^2$

للنحاس $A = 3.14 \times (0.032)^2 = 0.0032\ cm^2$

$$J_{Al} = \frac{10}{0.0079} = 1300\ Am/cm^2$$

$$J_{Cu} = \frac{10}{0.0032} = 3100\ Am/cm^2$$

مثال:

احسب سرعة انجراف الإلكترونات في سلك النحاسي في المثال السابق إذا علمت أن $J = 480\ Amp/cm^2$ وأن $Z = 64$ وكثافة النحاس = $\rho = 9\ gm/cm^3$.

عدد الإلتكرونات $n = \frac{\rho N_o}{Z} = \frac{9 \times 6.02 \times 10^{23}}{64} = 8.4 \times 10^{22}\ elec/cm^3$

$$v_d = \frac{J}{ne} = \frac{480}{8.4 \times 10^{22} \times 1.6 \times 10^{-19}} = 3.6 \times 10^{-2}\ cm/sec$$

6-2 المقاومة

إذا سلطنا فرق جهد متساوي بين نهايتي قضيبين متساويين من النحاس ومن الخشب فينتج تياران مختلفان تماماً.

إن ما يميز الموصل هو مقاومته، لذا تعرف المقاومة للموصل إنه عند تسليط فرق جهد مقداره V بين نقطتي موصل يمر تيار مقداره I وإن المقاومة تكون عبارة عن النسبة بين الجهد والتيار

$$R = \frac{V}{I} \qquad V = IR$$

وإذا كانت وحدات V بالفولت و I بالأمبير فتكون وحدات R بالأوم. وإن الموصل يقاوم مرور الشحنات الكهربائية خلاله وتظهر هذه المقاومة بسبب اصطدام الشحنات المتحركة بالذرات المتذبذبة للأجسام الصلبة والجزيئات الأخرى في الموصل لذا فإن قسماً من طاقة الشحنات المتحركة تتبدد وتظهر بصورة أخرى من الطاقة كالحرارة والضوء. تقل مقاومة الذرات وبذلك يقل احتمال تصادم الإلكترونات بها.

6-2-1العوامل المؤثرة في المقاومة الكهربائية لموصل معدني

1. درجة الحرارة – تزداد R بازدياد درجة الحرارة عدا الكاربون حيث تقل مقاومته بازدياد درجة الحرارة.

2. الطول – عند زيادة طول السلك بثبوت العوامل الأخرى فإن التيار يقل لفرق جهد معين وبذلك تزداد المقاومة. حيث بزيادة الطول يزداد عدد الاصطدامات التي يصطدم بها الإلكترون عند مروره في السلم وبذلك فإن المقاومة تتناسب طردياً مع طول السلك، أي أن:

$$\frac{\text{ق}_1}{\text{ق}_2} = \frac{\text{ل}_1}{\text{ل}_2}$$

3. مساحة المقطع – ق ∝ 1/مس بثبوت العوامل الأخرى أي أن:

ق$_1$ مس$_1$ = ق$_2$ مس$_2$ لسلكين

4. نوع المادة – لكل مادة مقاومتها الكهربائية

أي أن مقاومة أي مادة تعتمد على شكله وأبعاده وليس على طبيعة مادته.

مما سبق يمكن القول بأن:

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

$$\therefore R = \rho \frac{l}{A}$$

ρ ثابت التناسب تسمى بالمقاومة النوعية

ρ لا تعتمد على شكل الجسم أو أبعاده.

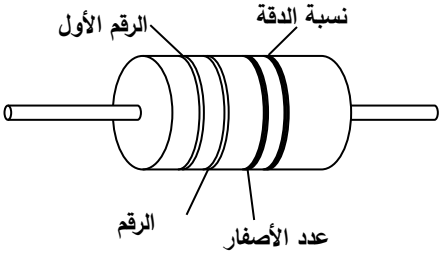
6-2-2 أنواع المقاومات المستخدمة عملياً

يستفاد من خاصية المقاومة في تنظيم مرور التيار وتحديد قيمته في فروع الدائرة الكهربائية.. ومن أنواعها:

1. المقاومة الثابتة (السلكية)

وهي ذات طابع مستقر وقيمة ثابتة مضبوطة إلى حد بحيث يمكن استخدامها في القياسات الاعتيادية. من أنواعها: مقاومات القدرة حيث لها القابلية على تحمل قدرة عالية تصل إلى مئات الواطات.

* تصنع من مادة المنكانين على شكل سلك أو صفيحة وتمتاز بمقاومتها النوعية العالية جداً ومعامل المقاومة الحراري لها منخفض جداً.
* أو تكون عبارة عن سلك ملفوف مصنوع من مادة النكروم أو المنكانين. ومن أنواعها المقاومات الكاربونية التي تصنع من خلط مسحوق الكاربون مع عجينة السيراميك أو من مادة الكرافايت. وتعمل بشكل قضبان اسطوانية صغيرة ويربط سلكان قرب نهايتي القضيب عند نقطتين يحدد موضعهما على ضوء القيمة المطلوبة وتستعمل عادة في الدوائر الإلكترونية التي تحمل في فروعها تيارات ضعيفة وتحدد قيمة المقاومة مع نسب التفاوت في القيمة المعطاة بواسطة منظومة من الألوان التي تطلى على غلاف المقاومة وتدعى دليل الألوان.

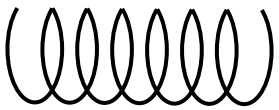


2. المقاومات القياسية

* ويتميز هذا النوع من المقاومة بالمحافظة على قيمتها المحددة لفترة طويلة رغم تغير الظروف الجوية المحيطة بها.
* كما تمتاز بمقاومتها النوعية العالية ومعاملها الحراري المنخفض جداً مثل سبيكة المنكانين لكي لا يحدث تغير في قيمتها عند ارتفاع درجة حرارة السلك أثناء مرور التيار ولتجنب حدوث حث ذاتي في السلك حيث تتساوى التأثيرات الحثية في النصف الأول من لفات السلك مع التأثيرات الناتجة المماثلة عن لفات النصف الآخر وتعاكسها ويصبح التأثير الحثي الكلي صفر.

يثبت هذا الملف المقاوم داخل وعاء مقفل مملوء بالزيت للتخلص من تأثيرات الرطوبة الجوية على قيمتها.

تستخدم في مختبرات التقييس والسيطرة النوعية.



مقاومة خالية من الحث

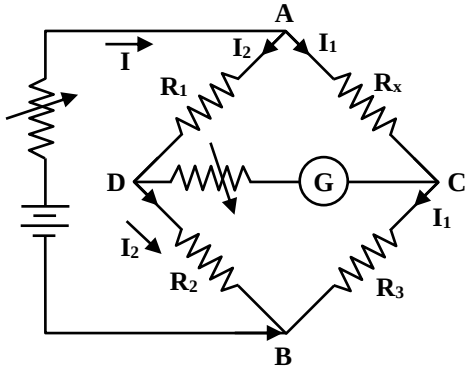
3. المقاومات المتغيرة

ويرمز لها بالرمز وتمتاز بإمكانية تغيير قيمتها بالتدريج لكي يتم بواسطتها تغيير التيار المار بالدائرة حسب ما مطلوب.

* تتكون من سلك النكروم المؤكسد ملفوف على جسم اسطواني معزول بحيث تلاصق كل لفة مجاورتها. ويعتبر الأوكسيد بمثابة مادة عازلة تفصل اللفات المتلاصقة عن بعضها.
* لهذه المقاومة ثلاثة أطراف توصيلية بالدائرة الخارجية، طرفين متصلين بنهايتي السلك المقاوم وهناك طرف ثالث ينزلق على الجزء العلوي من اللفات ويلامسها. حيث أن تحريك هذا الطرف يؤدي إلى تغيير قيمة المقاومة وبالتالي تغيير قيمة التيار المار بها.
* وقد تكون على شكل صناديق تحتوي على سلك ملفوف على قلب عازل يوضع في مركزها محور يرتكز عليه ذراع يلامس لفات السلك. فعند تدوير المحور يتغير موضع التلامس بين الذراع واللفات فتتغير قيمة المقاومة ويمكن استعمالها كمجزئات للجهد.

4. قنطرة وتستون Wheatston Bridge

تتكون قنطرة وتستون من شبكة كهربائية بسيطة ذات أربع أذرع يحتوي كل ذراع على مقاومة. الأذرع الثلاثة الأولى مقاوماتها معلومة قياسية. أما الذراع الرابعة فمقاومتها مجهولة تقاس بواسطة القنطرة.



النقطتان A و B مربوطتان إلى طرفي البطارية مع مقاومة متغيرة للتحكم بقيمة التيار في الدائرة.

أما الطرفين C و D يتصلان بجهاز كلفانومتر للتحسس بالتيار مع مقاومة متغيرة لتقليل التيار المار في الكلفانومتر وحمايته من التلف. حيث تنظم على قيمة عالية ثم تقلل بالتدريج.

مبدأ القنطرة: هو شرط الاتزان الذي يكون التيار الماء في الكفانومتر مساوياً صفر، وذلك بتنظيم قيم للمقاومات المعلومة وتغييرها بالتدريج أي أن التيار في AC = التيار في CB، وكذلك التيار في AD = التيار في DB.

كما أن $V_D = V_C$ لتصبح قراءة (G) = صفر

$$\therefore V_{AC} = V_{AD} \rightarrow I_1 R_x = I_2 R_1 \text{ ..... (1)}$$
$$V_{CB} = V_{DB} \rightarrow IR_3 = I_2 R_2 \text{ ..... (2)}$$

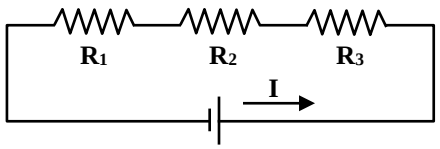
بقسمة (1) على (2) نحصل على:

$$\frac{R_x}{R_3} = \frac{R_1}{R_2}$$
$$\therefore R_x = \frac{R_1 R_3}{R_2}$$

6-2-3 ربط المقاومات

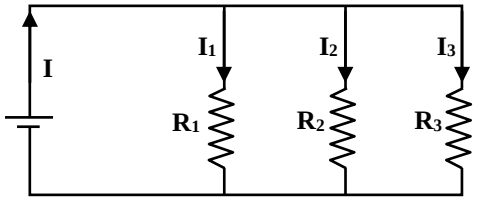
1. ربط التوالي

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = ... I_n$$
$$V = V_1 + V_2 + V_3 + ... V_n$$
$$R_{(eq)} = R_1 + R_2 + R_3 + ... R_n$$



2. ربط التوازي

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + ... I_n$$
$$V = V_1 = V_2 = V_3 = ... V_n$$
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ... \frac{1}{R_n}$$

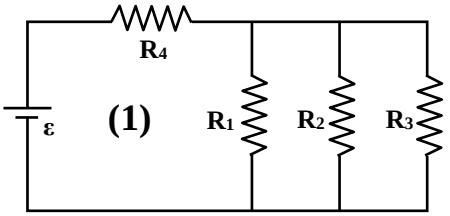


المقاومة المكافئة في حالة التوازي $R_{eq} < R_1, R_2, R_3$

المقاومة المكافئة في حالة التوالي $R_{eq} > R_1, R_2, R_3$

3. الربط المختلط

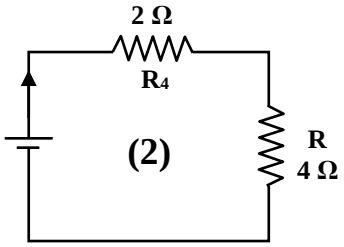
المقاومات R_1، R_2، R_3 على التوازي وقد وصلت هذه المجموعة على التوالي مع R_4.



مثال:

إذا علمت أن $R_1 = 16\ \Omega, R_2 = 16\ \Omega, R_3 = 8\ \Omega, \varepsilon = 6\ V$ في الدائرة أعلاه، احسب:

1. المقاومة المكافئة لهذه المجموعة من المقاومات.
2. التيار المار في المقاومة (R_4)
3. التيار المار في المقاومة (R_1)

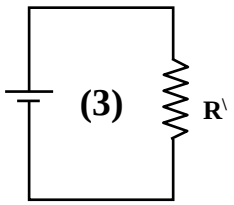


1. $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{16} + \frac{1}{16} + \frac{1}{8}$

$R = 4\ \Omega$

$\therefore R' = 2 + 4 = 6\ \Omega$

2. $I = \frac{\varepsilon}{R_4 + R} = \frac{6}{6} = 1\ \text{Amp.}$



3. في الدائرة (2) فرق الجهد عبر طرفي R هو

$V = IR = 1 \times 4 = 4\ \text{Volt} = V_1 = V_2 = V_3$

$\therefore I_1R_1 = RI$

$16\ I_1 = 4$

$\therefore I_1 = \frac{4}{16} = 0.25\ \text{A}$

3-6 المقاومة النوعية

صفة من صفات المواد الكهربائية. وتعرف على أنها ***النسبة بين المجال الكهربائي وكثافة التيار*** أي أن:

$$\rho = \frac{E}{J}$$

حيث ρ المقاومة النوعية وتقاس بوحدات $\Omega.m$

حيث يقاس $E = \frac{V}{m}$ و $J = amp/m^2$

لذا فإن واحد ρ هي $\Omega.m$.

* تكون قليلة جداً بالنسبة للمواد جيدة التوصيل وعالية بالنسبة للمواد العازلة.

* تتغير المقاومة النوعية بتغير درجة الحرارة لذلك الموصل أما التوصيلية الكهربائية فهي مقلوب المقاومة النوعية أي أن

التوصيلية الكهربائية $\sigma = \frac{1}{\rho}$

ووحداتها $(\Omega.m)^{-1}$

أما بالنسبة لاعتماد المقاومة النوعية مع درجة الحرارة فإنه

$$\rho_t = \rho_o\,[1 + \alpha(T - T_o)]$$

حيث α = معامل الحرارة للمقاومة النوعية.

T_o = درجة حرارة الغرفة.

ρ_o at T_o، ρ عند أية درجة حرارة T.

$$\therefore \alpha = \frac{1}{\rho_o}\,\frac{\rho - \rho_o}{T - T_o}$$

* المقاومة النوعية ρ لعدد كبير من المعادن تهبط بصورة فجائية وتصبح صفر عند درجات الحرارة المنخفضة جداً (من 0.1 K إلى 10 K) وهذه الظاهرة تسمى فرط الإيصال Superconductivity. فإذا تم تكون تيار في دائرة مغلقة مفرطة الإيصال يستمر هذا التيار من تلقاء نفسه بالدوران في أسلاك الدائرة لوقت قد يدوم أسابيع دون الحاجة إلى وجود بطارية للدائرة.

* أما أشباه الموصلات كالكاربون مثلاً فقد لوحظ أن مقاومتها النوعية تتناقص بزيادة درجة حرارتها لأنها تصبح موصلة جيدة وبالعكس.

* إن مقلوب المقاومة النوعية يدعى التوصيل النوعي σ أي أن

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

مثال:

سلك نحاسي طوله 20 m ومساحة مقطعه 4 mm2.

a) احسب مقاومة السلك في درجة حرارة مقدارها 20 °C إذا علمت أن المقاومة النوعية للنحاس في هذه الدرجة تساوي $1.72 \times 10^{-8}\ \Omega m$.

b) كم تصبح مقاومة السلك إذا سخن إلى درجة 80 °C؟ علماً أن معامل المقاومة النوعية الحراري للنحاس هو $0.00393\ C^{-1}$.

من العلاقة بين المقاومة والمقاومة النوعية

a) $R = \frac{\rho L}{A} = \frac{1.72 \times 10^{-8} \times 20}{4 \times 10^{-6}} = 0.086\ \Omega$

b) $\rho_t = \rho\,[1 + \alpha(t - T_o)]$

$\rho_{80} = 1.72 \times 10^{-8}\,[1 + 3.93 \times 10^{-3}\,(80 - 20)] = 2.13 \times 10^{-8}\ \Omega m$

ومن المعادلة $R = \frac{\rho L}{A}$

مقدار المقاومة $R = \frac{2.13 \times 10^{-8} \times 20}{4 \times 10^{-6}} = 10.65 \times 10^{-2}\ \Omega$

نلاحظ أنه تم إهمال الزيادة الحاصلة في طول السلك وفي مساحة المقطع عند تطبيق معادلة المقاومة لأنها قليلة جداً إذا ما قورنت بالزيادة الحاصلة في مقاومة السلك نتيجة تسخينه.

6-3-1 العلاقة بين المقاومة والمقاومة النوعية لموصل

1. خذ موصل اسطواني الشكل مساحة مقطعه العرضي A وطوله l يحمل تيار مقداره I.
2. سلط فرق جهد عبر نهايتيه مقداره V.
3. إذا كانت نهايتي الاسطوانة سطوح متساوية الجهد فإن المجال الكهربائي وكثافة التيار يكونان ثابتين لجميع النقاط في الاسطوانة وتكون قيمتها:

$$E = \frac{V}{l} \quad , \qquad J = \frac{I}{A} \quad \text{..... (1)}$$

J، E ثابتان

$$\rho = \frac{E}{J} = \frac{V/l}{I/A} \quad \text{..... (2)}$$

$$\because R = \frac{V}{I}$$

$$\boxed{\therefore R = \frac{\rho l}{A}} \quad \text{..... (3)}$$

ولعنصر طوله dl فإن كل من التيار وفرق الجهد يمكن إيجادهما بالتكامل كما يلي:

$$I = \int J.ds \qquad\qquad V_{ab} = -\int_a^b E.dl$$

$$R = \frac{V_{ab}}{I} = \frac{-\int_a^b E.dl}{\int J.ds}$$

أما إذا كان الموصل اسطوانة طويلة مساحة مقطعها العرضي A ونهايتها a، b فإن معادلة المقاومة تصبح:

$$R = \frac{El}{JA} = \rho\frac{l}{A}$$

والتي تمثل مقاومة سلك طوله l ومساحة مقطعه A.

مثال:

متوازي سطوح مصنوع من الكاربون أبعاده 1 cm × 1 cm × 20 cm.

أ) احسب المقاومة بين نهايتي الوجهين المربعين.

ب) المقاومة بين وجهي متوازي السطوح المتقابلين علماً بأن المقاومة النوعية للكاربون في درجة 20 °C = $3.5 \times 10^{-5}\ \Omega m$.

أ) بالنسبة للوجهين المربعين:

$$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{3.5 \times 10^{-5} \times 0.5}{1 \times 10^{-4}} = 0.18\,\Omega$$

ب) بين الوجهين المتقابلين

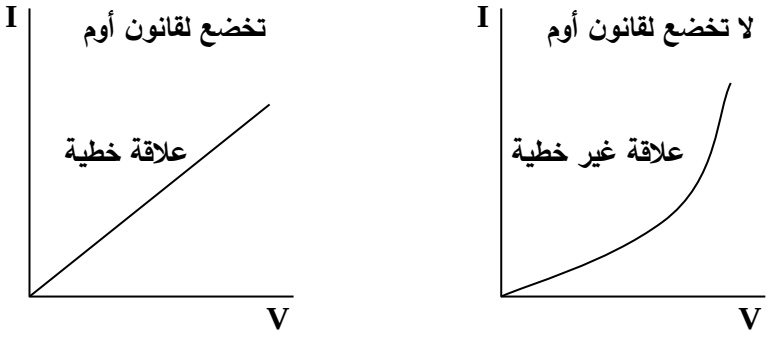
$$R = \rho \frac{l}{A} = \frac{3.5 \times 10^{-5} \times 10^{-2}}{0.5 \times 1 \times 10^{-4}} = 7 \times 10^{-5}\ \Omega$$

وهذا معناه أنه لنفس الموصل عدة مقاومات اعتماداً على كيفية تسليط فرق الجهد على الأوجه.

6-4 قانون أوم

عند تسليط فرق جهد مختلف بين طرفي مقاومة ثابتة فإن قيمة التيار تتغير تبعاً لذلك (تزداد قيمة التيار بزيادة فرق الجهد).

* إن العلاقة بين فرق الجهد والتيار تكون علاقة خطية عند ثبوت درجة الحرارة. وهذا معناه أن قيمة المقاومة للموصل ثابتة مهما كانت قيمة فرق الجهد عبر طرفي الموصل.



* هناك عدد من الموصلات لا تخضع لقانون أوم مثل أنابيب التفريغ. ونلاحظ ذلك من منحني I، V حيث أن قيمة المقاومة تعتمد على فرق الجهد المستخدم لقياس قيمتها ويكون على شكل منحني.
* أشباه الموصلات هي الأخرى لا تخضع لقانون أوم وكذلك الترانزستورات.
* بالنسبة للقانون $R = \frac{V}{I}$

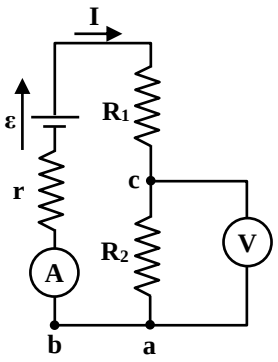
فهو حالة عامة لإيجاد المقاومة سواء كان الموصل يخضع لقانون أوم أم لا يخضع.

* إلا أن العلاقة الخطية بين V و I هي الوحيدة التي تبين خضوع المادة الموصلة لقانون أوم.
* وهذا معناه: أن المادة تخضع لقانون أوم إذا كانت العلاقة بين E و J علاقة خطية لأن المقاومة النوعية (ρ) للمادة ثابتة ولا تعتمد على E و J كما هو الحال في المقاومة R فهي لا تعتمد على V و I فهي الأخرى كمية ثابتة.

* لذا فإن قانون أوم عبارة عن خاصية محددة لمواد معينة وليس قانوناً عاماً للكهرومغناطيسية كما هو الحال في قانون كاوس.

6-4-1 قياس التيار وفرق الجهد

* إن الجهاز الذي يستخدم لقياس التيار يسمى الأميتر Ammeter او ملي أميتر أو مايكروأميتر (للتيارات الصغيرة) معتمداً على قيمة التيار في الدائرة الكهربائية.
* يربط الأميتر عادة في الدائرة الكهربائية بواسطة أسلاك لمعرفة التيار المار في تلك الدائرة عن طريق الأسلاك.
* إن مقاومة الأميتر RA صغيرة جداً وذلك لأجل مرور أكبر تيار ممكن منه وهذا معناه أن $RA << r + R1 + R2$



والأميتر المثالي هو إذا كانت مقاومته = صفر.

* يرمز له بالرمز (A) في الدائرة.
* يربط الأميتر على التوالي عند قياس تيار مار في عنصر ما في الدائرة.
* أما الجهاز المستخدم لقياس فرق الجهد بين نقطتين في دائرة كهربائية فهو الفولتميتر أو الملي فولتميتر أو المايكروفولتميتر معتمداً على فرق الجهد في الدائرة.
* يربط الفولتميتر على التوازي مع نقطتين في الدائرة.
* مقاومة الفولتميتر عالية جداً مقارنة بالمقاومة المربوطة في الدائرة الكهربائية لتلافي مرور تيار كهربائي فيها أي أن:

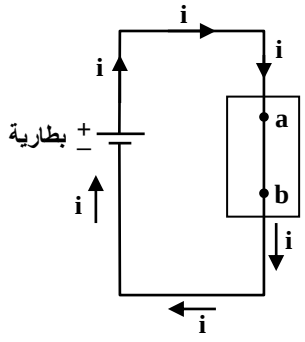
$R_V >> R_1 \ \& \ R_2$

وفي الدوائر الإلكترونية تبلغ قيمة R_V بحدود $10^6\ \Omega$ للفولتميتر المطلوب منه قياس فرق الجهد لهذه الدوائر.

* يرمز له بالرمز (V) في الدائرة.

6-4-2 انتقالات الطاقة في الدائرة الكهربائية

تبين الدائرة المتألفة من بطارية مربوطة إلى صندوق



* التيار ثابت ومستقر عبر الأسلاك ومقداره (i) وفرق الجهد ثابت مقداره (Vab) بين الطرفين a، b. ربما يحتوي هذا الصندوق على مقاومات، ماطور، بطارية خزن أو غير ذلك.
* الطرف a مربوط بالطرف الموجب للبطارية جهده عالي وأعلى من جهد الطرف b أي أن

$Va > Vb$

* إذا اعتبرنا شحنة مقدارها dq تتحرك خلال الصندوق من a إلى b فإن طاقة الجهد الكهربائية سوف تتناقص بمقدار (dqVab) أي أن:

$$dU = dqV_{ab}$$

ومن قانون حفظ الطاقة فإن بعض الطاقة الكامنة الكهربائية تتحول إلى نوع آخر من الطاقة يعتمد على ما موجود في الصندوق خلال زمن مقداره dt حيث تنتقل الطاقة داخل الصندوق وتصبح

$$dU = dqV_{ab} = idtV_{ab}$$

نلاحظ أن المعدل الزمني لانتقال الطاقة P يصبح

$$\boxed{P = \frac{dU}{dt} = iV_{ab}}$$

فإذا كان الموجود في الصندوق ماطور فإن الطاقة تظهر على شكل شغل ميكانيكي ينجز من قبل الماطور. وإذا كان بطارية فإن الطاقة تكون على شكل طاقة كيميائية ويشحن البطارية. أما إذا كان مقاومة فإن الطاقة تظهر على شكل طاقة حرارية في المقاومة. وفي هذه الحالة: إذا كانت قيمة المقاومة R فإن معدل الطاقة لوحدة الزمن تصبح:

حيث إن $V_{ab} = iR$

$$\boxed{P = I^2R}$$

أو

$$\boxed{P = \frac{V^2}{R}}$$

ويقاس بوحدات J/sec وتسمى الواط.

∴ يعرف الواط على أنه معدل الطاقة المتولدة بمقدار 1 جول خلال فترة زمنية مقدارها 1 sec.

مثال:

سلك معدني طوله (20 cm) يستخدم للتسخين مقاومته (24 Ω). هل يتم الحصول على حرارة أكثر إذا تم لفه لتكوين ملف واحد أم إذا تم قطعه ولفه إلى ملفين منفصلين. إذا كان فرق الجهد المسلط على الملف في كل حالة (110 V).

قدرة الملف الواحد (الطول الكلي) $P_1 = \frac{V^2}{R}$

$$= \frac{(110)^2}{24} = 500 \text{ Watt}$$

قدرة الملف في الحالة الثانية (نصف الطول الأصلي أي 10 cm)

$$P_2 = \frac{V^2}{R} = \frac{(110)^2}{12} = 1000 \text{ Watt}$$

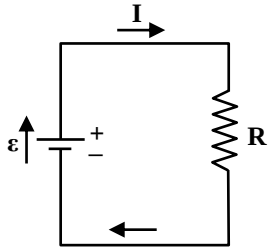
وللملفين: فإن مجموع القدرة تصبح 1000 + 1000 = 2000 W

∴ في حالة قطع السلك نحصل على حرارة أكثر وتساوي أربعة أضعاف الحالة الأولى.

$$\therefore P_2 = 4P_1$$

5-6 القوة الدافعة الكهربائية

من الضروري في كل دائرة كهربائية استخدام وسيلة كالبطارية أو الداينمو لإدامة سريان التيار الكهربائي في دائرة كهربائية. هذه الوسيلة تسمى مصدر القوة الدافعة الكهربائية (emf).



في الدائرة المبينة: دائرة كهربائية بسيطة وكما معلوم فإن للبطارية نهاية موجبة الجهد يرمز لها بالإشارة (+) ونهاية سالبة الجهد يرمز لها بالإشارة (−).

* وحسب سريان التيار فإن الشحنات الموجبة تندفع في الجزء الخارجي من الدائرة الكهربائية من الجهد العالي (القطب الموجب للبطارية) خلال المقاومة إلى الجهد الواطيء (القطب السالب للبطارية).
* أما في داخل البطارية فإن التفاعلات الكيميائية فيها تكون هي المسؤولة عن نقل الشحنات الموجبة من القطب السالب إلى القطب الموجب. وبذلك تستمر دورة الشحنات في الدائرة الكهربائية.
* مما تقدم فإن البطارية أو أي مصدر قوة دافعة كهربائية يجب أن يكون قادراً على بذلك شغل كهربائي لإمرار الشحنات خلاله وتوليد التيار الكهربائي. ويكون هذا الشغل مستمداً من الطاقة الكيميائية المخزونة في البطارية وذلك بتحويل طاقتها الكيمياوية الكامنة إلى طاقة كهربائية.

أما الخلايا الشمسية تقوم بتحويل الطاقة الضوئية والحرارية إلى كهربائية.

∴ مهمة مصدر القوة الدافعة الكهربائية هي قدرته على تحويل الطاقة من أي شكل من الأشكال إلى طاقة كهربائية.

وعند انتقال شحنة dq خلال فترة زمنية dt فإن التيار في الدائرة خلال سلك مساحة مقطعه A يكون:

$$i = dq/dt$$

وتعرف القوة الدافعة الكهربائية: ε على أنها النسبة بين الشغل المنجز لوحدة الشحنة

$$\varepsilon = dW/dq$$

حيث dW الشغل المنجز لنقل شحنة موجبة من القطب السالب إلى القطب الموجب (في البطارية).

dq الشحنة المنتقلة في الدائرة الكهربائية.

وتقاس ε بوحدات الفولت حيث أن:

$$1\,V = \frac{1\,Joul}{Coul}$$

ولحساب التيار في دائرة كهربائية: إذا كانت الشحنة المنتقلة (dq) في دائرة كهربائية قوتها الدافعة الكهربائية ε خلال فترة زمنية dt فإن:

$$dq = idt$$
$$\because dW = \varepsilon dq$$
$$\therefore dW = \varepsilon idt$$

وهذا يمثل الشغل المنجز لنقل الشحنة

ومن قانون حفظ الطاقة فإن الشغل المنجز لنقل الشحنة يكون عبارة عن الطاقة الحرارية في مقاومة تلك الدائرة ($P = i^2R$)

حيث أن:

$dW = Pdt$

$dW = \varepsilon i dt = i^2 P dt$

$$\boxed{\therefore \varepsilon = iR} \Rightarrow \boxed{i = \frac{\varepsilon}{R}}$$

مثال:

مدفأة كهربائية قدرتها 2000 W عندما تستخدم فولتية قدرها 220 V. ما مقدار الطاقة المستهلكة إذا استعملت بمعدل ثلاثون يوم بمعدل ثمانية ساعات في اليوم الواحد؟

$W = Pt = 2000 \times (30 \times 8) = 480000$ Watt.hr

$= 480$ KW.hr

مثال:

ربطت نهايتا بطارية قوتها الدافعة الكهربائية ε وذات مقاومة داخلية r بطرفي مقاومة خارجية R.

a) أوجد مقدار القدرة التي تنتج في المقاومة الخارجية.

b) ما مقدار المقاومة الخارجية لكي تنتج أقصى قدرة؟