

## 8- التيار الكهربائي electric current

هو عبارة عن حركة منتظمة لحاملات الشحنة الكهربائية (سالة أو موجبة) تحت تأثير الحقل الكهربائي (كمون كهربائي).

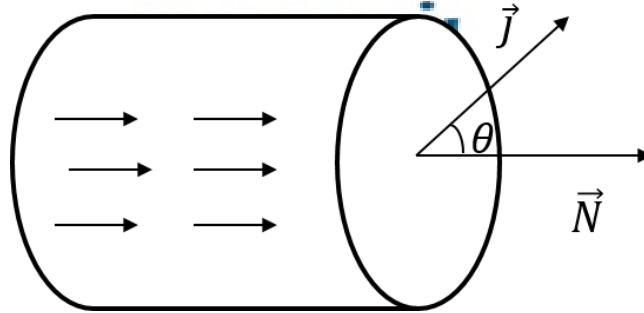
كثافة التيار الكهربائي: نرمز له ب  $\vec{j}$  وهي تساوي شدة التيار بوحدة السطح الذي تجتازه الشحنات الكهربائية، أي أن:

$$j = \frac{dI}{dS} \quad (48)$$

$$\rightarrow dI = \vec{j} d\vec{S}$$

$$\rightarrow I = \oiint \vec{j} d\vec{S} = \oiint j dS \cos \theta$$

$$\rightarrow I = \oiint j_n dS \quad (49)$$



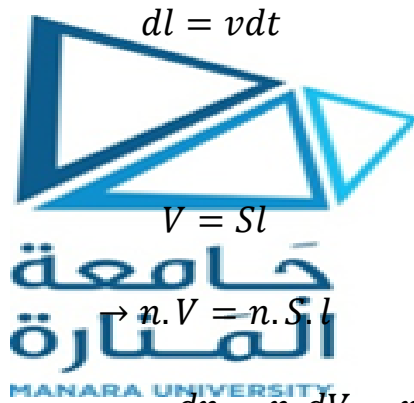
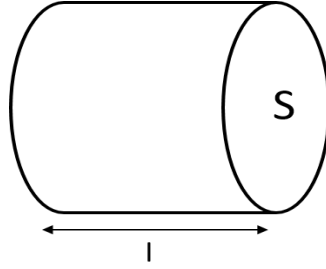
الشكل (18): شكل يوضح اتجاه كثافة التيار الكهربائي.

حيث  $j_n$  مسقط المتجه  $\vec{j}$  على الناظم  $\vec{N}$  و  $\theta$  الزاوية المحصورة بين  $\vec{j}$  و  $\vec{N}$ .

وبالتالي التيار هو تدفق متجهة كثافة التيار من خلال السطح المغلق العمودي على حركة حاملات الشحنة الكهربائية على سطح الناقل.

لا بد من الإشارة إلى أن وحدة التيار الكهربائي هي الأمبير A, بينما وحدة كثافة التيار الكهربائي هي  $\frac{A}{m^2}$ .

1-8- علاقة شدة التيار الكهربائي بسرعة حاملات الشحنة charge carrier



ولكن الحجم يعطى بالعلاقة:

$$dn = n \cdot dV = n \cdot S \cdot v \cdot dt \quad (50)$$

حيث n عدد حاملات الشحنة الكهربائية، v السرعة، S مساحة السطح و V الحجم.

وبالتالي فإن:

$$d\phi = n \cdot q \cdot v \cdot S \cdot dt \quad (51)$$

ولكن حسب تعريف التيار نكتب:

$$I = \frac{d\phi}{dt} = \frac{n \cdot q \cdot v \cdot S \cdot dt}{dt} \quad (52)$$

$$\rightarrow I = n \cdot q \cdot v \cdot S \quad (53)$$

نلاحظ من العلاقة السابقة أنه عندما  $v = 0$  فإن  $I = 0$  أما كثافة التيار فتعطى بالعلاقة:

$$j = \frac{I}{S} = \frac{n \cdot q \cdot v \cdot S}{S}$$

$$\rightarrow j = n \cdot q \cdot v \quad (54)$$

ملاحظة: نعرف  $\rho = n \cdot q$  بالكثافة الحجمية للشحنات الكهربائية.

## 2-8- معادلة انحفاظ الشحنة الكهربائية (معادلة الاستمرار) charge conservation

إن كثافة التيار الكهربائي  $j$  وكثافة الشحنة الكهربائية الحجمية  $\rho$  مرتبطان إحداهما بالأخرى بمعادلة تفاضلية تسمى معادلة الاستمرار (معادلة حفظ الشحنة)

$$I = \oiint j dS = - \frac{dq}{dt} \quad (55)$$

إشارة السالب دلالة على وجود تناقص في التدفق، ولكن الكثافة الحجمية  $\rho$ :

$$\rho = \frac{dq}{dV} \rightarrow dq = \rho dV$$

$$\rightarrow q = \iiint \rho dV \quad (56)$$

نعوض في علاقة رقم 55 فنجد:

$$I = - \frac{dq}{dt} = \oiint j dS = - \frac{d}{dt} \iiint \rho dV$$

ندخل التفاضل الكلي إلى داخل التكامل فيصبح تفاضل جزئي:

$$\oiint j dS = - \iiint \frac{\partial \rho}{\partial t} dV \quad (57)$$

ولكن نظرية غوص تنص على أن تدفق أي متجه وليكن  $\vec{A}$  من خلال سطح مغلق وليكن  $dS$  يساوي إلى تفرق هذا المتجه من خلال الحجم الذي يستند إلى هذا السطح, أي أن:

$$\oiint \vec{A} d\vec{S} = \iiint \vec{\nabla} \cdot \vec{A} dV \quad (58)$$

وبتطبيق هذه النظرية على المعادلة رقم 57 السابقة نجد:

$$\iiint \vec{\nabla} \cdot \vec{J} dV = - \iiint \frac{\partial \rho}{\partial t} dV$$

$$\rightarrow \vec{\nabla} \cdot \vec{J} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (59)$$

$$\rightarrow \vec{\nabla} \cdot \vec{J} = - \frac{\partial \rho}{\partial t} \quad (60)$$

وهي معادلة الاستمرار (معادلة حفظ الشحنة).

ملاحظة: نعرف الاستطاعة الكهربائية  $P$  بأنها العمل الذي تنجزه وحدة الشحنة الكهربائية خلال وحدة الزمن:  $P = \frac{W}{t}$  وواحدتها هي الواط Watt.

ملاحظة 2: العمل  $W$  هو عبارة عن حاصل جداء القوة بالانتقال, وهذه القوة هي القوة الخاصة بالحقل الذي يولد هذا الحقل.

ملاحظة 3: تعطى العلاقة التي تربط الاستطاعة الكهربائية  $P$  بشدة التيار  $I$  وفرق الكمون  $V$  بالشكل التالي:

$$P = I \cdot V$$

## 9- قانون أوم Ohm's law

ليكن لدينا مادتين مختلفتين لهما نفس الأبعاد الهندسية (نفس الطول ونفس سطح المقطع). نطبق فرق في الكمون بين طرفي هاتين المادتين المختلفتين بخواصهما الفيزيائية والمتشابهان بأبعادهما الهندسية,

عندئذٍ نلاحظ اختلاف مرور التيار الكهربائي في كل منهما، تسمى هذه الظاهرة المميزة بين هاتين المادتين

بالمقاومة. نلاحظ أنه كلما زاد فرق الكمون زاد التيار الكهربائي بشكل طردي، وبالتالي نكتب:

$$\frac{V_1}{I_1} = \frac{V_2}{I_2} = \dots = \frac{V_n}{I_n} = R \quad (61)$$

تدعى R في العلاقة الأخيرة بالمقاومة ووحدتها هي الأوم  $\Omega$ . بينما يدعى مقلوب المقاومة بالناقلية G.

$$G = \frac{1}{R} \text{ ووحدتها هي } \Omega^{-1}.$$

إذن:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{E \cdot x}{j \cdot S} = \frac{E \cdot l}{j \cdot S} \quad (62)$$

ولكن المقاومة النوعية تعطى بالعلاقة  $\rho = \frac{E}{j}$  ووحدتها هي  $\Omega m$  وبالتالي:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (63)$$

ملاحظة: يدعى مقلوب المقاومة النوعية بالناقلية النوعية  $\sigma = \frac{1}{\rho}$  ويرمز لها، واحدا  $(\Omega m)^{-1}$ .

الشكل التفاضلي لقانون أوم

$$R = \frac{V}{I} \rightarrow \rho \frac{l}{S} = \frac{E \cdot l}{j \cdot S}$$

$$\rightarrow \rho = \frac{E}{j} \rightarrow j = \frac{E}{\rho}$$

$$\rightarrow j = \sigma \cdot E \quad (64)$$

وهو الشكل التفاضلي لقانون أوم.

كل إلكترون مرّ من الناقل سوف يتأثر بالقوة  $\vec{F}_e$  ونفرض أن  $m$  هي كتلة الإلكترون و  $\vec{a}$  تسارعه فيكون لدينا:

$$\vec{F} = m\vec{a} = q\vec{E}$$

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = q\vec{E}$$

$$\rightarrow \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{q\vec{E}}{m}$$



$$\rightarrow d\vec{v} = \frac{q\vec{E}}{m} dt$$

$$\rightarrow \vec{v} = \frac{q\vec{E}}{m} \int_0^t dt$$

$$\vec{v} = \frac{q\vec{E}}{m} t + c$$

الثابت  $c$  هو السرعة الابتدائية, نعتبرها مساوية للصفر.

$$\vec{v} = \frac{q\vec{E}}{m} t = \frac{qt}{m} \cdot \vec{E}$$

$$\vec{v} = \mu \cdot \vec{E} \quad (65)$$

وهو الشكل البدائي لقانون أوم, حيث  $\mu = \frac{qt}{m}$  هي حركية الشحنات الكهربائية ووحدتها هي  $\frac{m^2}{volt.s}$ .

يمكن كتابة العلاقة التي تربط قيمة الناقلية النوعية بحركية الشحنات الكهربائية بواسطة عامل الكثافة

الحجمية بالشكل التالي:

$$\sigma = \mu \cdot \rho \quad (66)$$

تمارين للطلاب (علاقة  $\rho$  بدلالة  $T$ )

### 10- قانون جول – لينز Joule-Lenz law

نعلم أن:  $P = \frac{dW}{dt}$  وايضاً  $P = V \cdot I$ . حيث  $P$  الاستطاعة الكهربائية،  $W$  العمل الذي تنجزه الشحنات و  $V$  فرق الكمون المطبق بين طرفي الناقل.



حيث  $Q$  كمية الحرارة، ولكن  $V = R \cdot I$  وبالتالي:

$$\rightarrow \frac{dQ}{dt} = R \cdot I \cdot I$$

$$\rightarrow dQ = R \cdot I^2 dt$$

ولكن نعلم أن  $R = \rho \frac{l}{S}$  و  $I = j \cdot S$  وبالتالي:

$$\rightarrow dQ = \rho \frac{dl}{dS} \cdot (j^2 dS^2) dt$$



$$\rightarrow dQ = \rho \cdot dl \cdot j^2 \cdot dS \cdot dt$$

ولكن  $V = S \cdot l$  اي أن  $dV = dS \cdot dl$  وبالتالي:

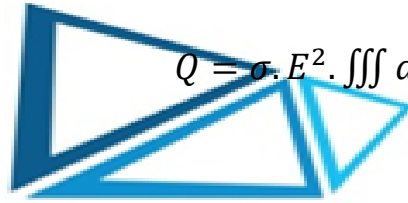
$$\rightarrow dQ = \rho \cdot j^2 \cdot dV \cdot dt$$

ولكن  $j = \sigma E$  فيكون:

$$\rightarrow dQ = \rho \cdot \sigma^2 \cdot E^2 \cdot dV \cdot dt$$

ولدينا  $\sigma = \frac{1}{\rho}$  فتصبح العلاقة الأخيرة بالشكل:

$$\rightarrow dQ = \sigma \cdot E^2 \cdot dV \cdot dt$$



$$Q = \sigma \cdot E^2 \cdot \iiint dV \int_0^t dt \quad (67)$$

وهو قانون جول – لينز التفاضلي.

جامعة  
المنارة  
MANARA UNIVERSITY

## الدارات الكهربائية electrical circuits

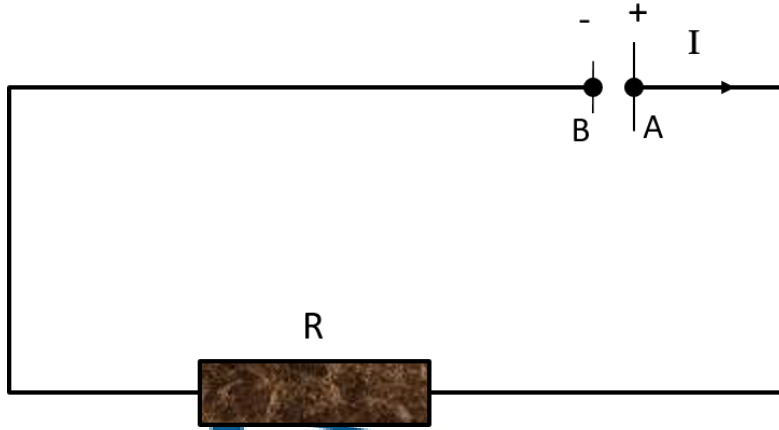
### 1- الدارات الكهربائية electrical circuit – التيار مستمر direct current

تعرف الدارة الكهربائية بأنها عبارة عن منحنى مغلق ترسمه حامله الشحنة الكهربائية لدى مرورها بمجموعة من العناصر المربوطة مع بعضها البعض (مقاومة, مكثفة, ملف .... الخ) وعودتها.

إن كل عنصر من عناصر الدارة الكهربائية له قطبين, قطب موجب يخرج منه التيار الكهربائي وقطب سالب يدخل إليه التيار الكهربائي.



المولد الكهربائي: جهاز وظيفته الاحتفاظ بقيمة ثابتة لفرق الكمون بين مربطي هذا العنصر المستهلك للطاقة (يقوم بتحريك الشحنات الكهربائية). إذن ينتقل التيار الكهربائي في الدارة الكهربائية من القطب الموجب (القطب ذو الكمون المرتفع) إلى القطب السالب (القطب ذو الكمون المنخفض).



الشكل (1): دارة مقاومة (التيار مستمر).

حسب قانون جول - لينز نكتب:

$$dW = (V_A - V_B)dq + r.I^2.dt \quad (1)$$

حيث أن المقاومة الداخلية للمولد وواحدتها أوم،  $dW$  الطاقة الكلية وهي الطاقة الخارجية (فرق الكمون بين A و B) + الطاقة الداخلية الحرارية التي تولدت ضمن المولد.

$$\text{ولكن } V_A - V_B = V \text{ و } dq = I.dt$$

$$\rightarrow dW = V.I.dt + r.I^2.dt$$

$$\rightarrow dW = I.dt(V + r.I)$$

ولكن  $e = V + r.I$  تدعى بالقوة المحركة الكهربائية.



$$\rightarrow dW = e \cdot I \cdot dt$$

$$\rightarrow e = \frac{dW}{I \cdot dt}$$

ولكن الاستطاعة الكهربائية تعطى بالعلاقة  $P = \frac{dW}{dt}$

$$\rightarrow e = \frac{P}{I}$$

$$I = \frac{dq}{dt} \text{ ولكن}$$

$$\rightarrow e = \frac{P}{\frac{dq}{dt}} = \frac{P \cdot dt}{dq} = \frac{dW}{dq}$$

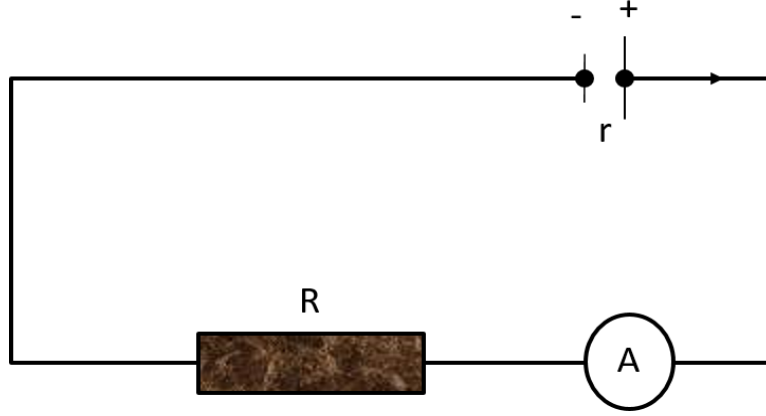
$$\rightarrow e = \frac{dW}{dq} \quad (2)$$

إذن القوة المحركة الكهربائية  $e$  هي نسبة العمل أو الطاقة التي يقدمها المولد على الشحنة الكهربائية التي تجتازها. أو أنها نسبة الاستطاعة الكهربائية التي يقدمها المولد على شدة التيار المار فيه.

جامعة المنارة  
MANARA UNIVERSITY

## 2- قانون أوم في الدارات الكهربائية Ohm's law in electrical circuits

ليكن لدينا مولد كهربائي قوته المحركة الكهربائية  $e$  ومقاومته الداخلية  $r$



الشكل (2): دارة مقاومة (التيار مستمر).

$$e = V + r \cdot I$$

$$\rightarrow e = R \cdot I + r \cdot I$$

$$\rightarrow e = I (R + r)$$
 جامعة  
 المنارة  
 MANARA UNIVERSITY

وبالتالي

$$\rightarrow I = \frac{e}{R+r} \quad (3)$$

وهو قانون أوم الثالث.

ملاحظة: الدارة القصورية: تعرف بأنها عبارة عن توصيل قطبي المولد بناقل ذي مقاومة صغيرة جداً، أي قصر المقاومة الخارجية عند التيارات الكهربائية الصغيرة، وبالتالي يمكن اعتبار المقاومة الخارجية R مهملة أمام الداخلية r فيصبح قانون أوم بالشكل:

$$I = \frac{e}{r}$$

### 3- الشبكات المتشعبة mesh circuit وقانونا كيرشوف Kirchhoff's circuit laws

الشبكة: مجموعة من المقاومات والمولدات والأخذات موصولة ببعضها البعض.

العقدة node: ملتقى تيارين كهربائيين أو أكثر.

الفرع: المحل الهندسي لعقدتين متتاليتين.

الحلقة loop: مجموعة من الأفرع.

### 3-1- قانون العقد (قانون انحفاظ التيار الكهربائي) Kirchhoff's current law

ينص هذا القانون على أن المجموع الجبري للتيارات المتلاقية في العقدة من الشبكة يساوي الصفر.


$$\sum I = 0 \quad (4)$$

نصطلح على كون التيارات الداخلة إلى العقدة موجبة، بينما الخارجة منها سالبة.

ملاحظة: لا يمكن تخزين التيار الكهربائي، فالتيار الذي يدخل إلى العقدة يساوي التيار الخارج منها.

### 3-2- قانون الحلقات (قانون انحفاظ القوة المحركة الكهربائية) Kirchhoff's voltage law

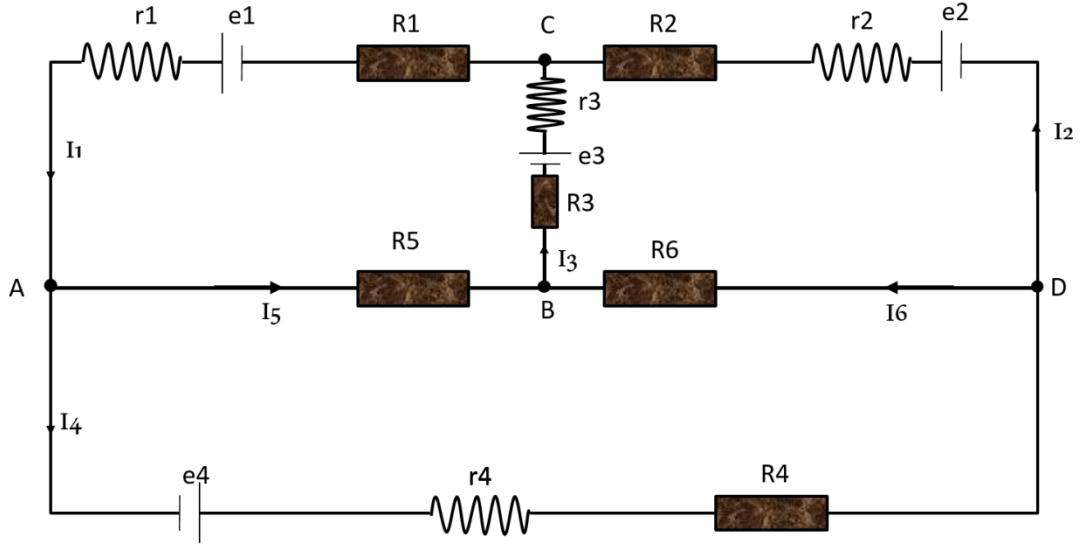
ينص على أن مجموع القوى المحركة الكهربائية في أي دائرة كهربائية يساوي مجموع المقاومات الداخلية

والخارجية في هذه الدائرة مضروبة بشدة التيار.

$$\sum e_x = \sum (R + r) \cdot I_x \quad (5)$$

لتكن لدينا الدارة الآتية، طبق قانونا كيرشوف الأول والثاني على الدارة، علماً أن الجهة الموجبة للتيار

اصطلاحاً هي عكس عقارب الساعة.



الشكل (3): دائرة لآعلى التعيين من أجل تطبيق قوانين كيرشوف

ملاحظة: الاتجاه يكون مصطلح, في الدارة السابقة أخذنا الاتجاه عكس عقارب الساعة موجب.

العقد:  $\sum I_x = 0$

العقدة A:  $I_1 - I_5 - I_4 = 0$

العقدة B:  $I_5 + I_6 - I_3 = 0$

العقدة C:  $I_3 + I_2 - I_1 = 0$

العقدة D:  $I_4 - I_6 - I_2 = 0$

الحلقات:  $\sum e_x = \sum (R + r) \cdot I_x$

الحلقة  $ABe_3e_1A$ :

$$e_3 + e_1 = R_5 I_5 + (R_3 + r_3) \cdot I_3 + (R_1 + r_1) \cdot I_1$$



الحلقة  $BDe_2e_3B$ :

$$e_2 - e_3 = -R_6I_6 + (R_2 + r_2) \cdot I_2 - (R_3 + r_3) \cdot I_3$$

الحلقة  $Ae_4DBA$ :

$$e_4 = (R_4 + r_4) \cdot I_4 + R_6I_6 - R_5I_5$$

