

8- التيار الكهربائي electric current

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

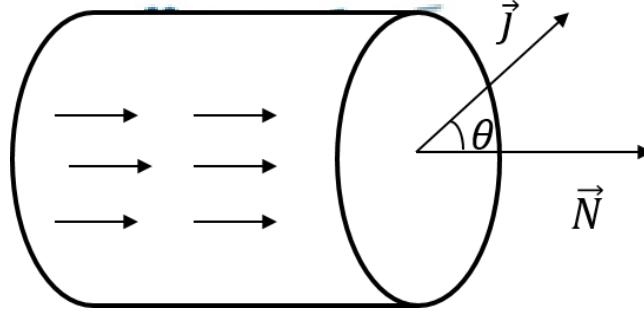
كثافة التيار الكهربائي: نرمزله ب \vec{J} وهي تساوي شدة التيار بوحدة السطح الذي تجتازه الشحنات الكهربائية، أي أن:

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

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

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

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



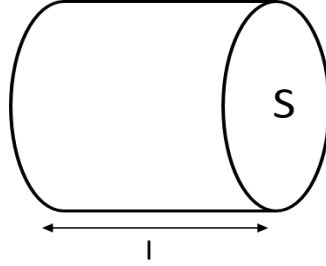
الشكل (18): شكل يوضح اتجاه كثافة التيار الكهربائي.

حيث j_n مسقط المتجه \vec{J} على الناظم \vec{N} و θ الزاوية المحصورة بين \vec{J} و \vec{N} .

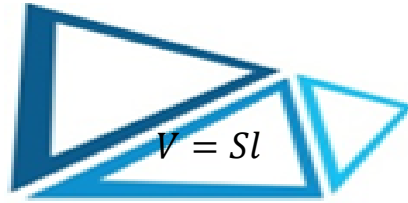
وبالتالي التيار هو تدفق متجهة كثافة التيار من خلال السطح المغلق العمودي على حركة حاملات الشحنة الكهربائية على سطح الناقل.

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



$$dl = v dt$$



ولكن الحجم يعطى بالعلاقة:

$$\rightarrow n \cdot V = n \cdot S \cdot l$$

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

MANARA UNIVERSITY

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

وبالتالي فإن:

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

ولكن حسب تعريف التيار نكتب:

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

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

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 ρ 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 ρ :

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

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

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:

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

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 و فرق 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 Ω . بينما يدعى مقلوب المقاومة بالناقلية G .

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

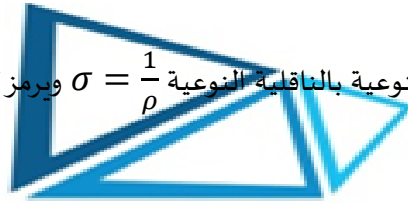
إذن:

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

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

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

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



جَامِعَةُ
الْمَنَارَةِ
MANARA UNIVERSITY

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.

9-1- الشكل البدائي 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:

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

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

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

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

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

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

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:

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

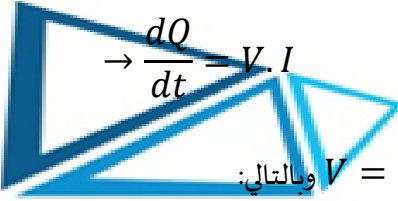
تمارين للطلاب (علاقة ρ بدلالة T)

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.

بمطابقة العلاقتين الأخيرتين نجد:

$$\frac{dW}{dt} = V \cdot I$$


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

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


$$\rightarrow \frac{dQ}{dt} = R \cdot I^2$$

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

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.



جَامِعَةُ
الْمَنَارَةِ
MANARA UNIVERSITY