الفصل الأول: الكهرباء الساكنة

لا يمكن لشحنة كهربائية أن تأخذ أي قيمة عددية كانت وبالفعل فإن كل شحنة كهربائية هي مضاعف طبيعي للشحنة الأساسية

$$q = \pm n.e \quad (n \in N)$$

وهذا يترجم المبدأ الأساسي لتكميم الشحنة الكهربائية

ملاحظات

- لا يؤثر جسم مشحون كالبروتون بقوة كهربائية على جسم غير مشحون كالنيوترون بينما يؤثر عليه بقوة الجاذبية لأن لكل منهما كتلة، لكن لا يؤثر على جسم عديم الكتلة والشحنة كالضوء بأي قوة ويؤثر على الالكترونات بقوة الجذب الكهربائي
- عند نزع عدد من الالكترونات من جسم يصبح موجب الشحنة أما عند إضافة عدد من الالكترونات إليه يصبح سالب الشحنة
- الشحنة النقطية هي تجريد علمي، وهي جسم مشحون أبعاده مهملة بالمقارنة مع المسافات التي تفصله عن باقي المؤثرات وهي تؤدي نفس الدور الذي تؤديه النقطة المادية في الميكانيك
- الاجسام الحاملة للنوع نفسه من الشحنات تتنافر، والاجسام الحاملة لنوعين مختلفين تتجاذب، أما الاجسام التي لا تتبادل التأثير الكهربائي فهي متعادلة كهربائيا

قانون كولوم

- ✓ القوة الكهرو ساكنة محمولة على المستقيم الواصل بين الشحنتين
- ✓ تتناسب القوة طردا مع جداء الشحنتين حيث:
  - إذا كانت q_1 و q_2 من إشارة واحدة فالجداء يعطي إشارة موجبة
  - إذا كانت q_1 و q_2 متعاكستين في الإشارة فالجداء يعطي إشارة سالبة
- ✓ تتناسب القوة عكسيا مع مربع البعد بين الشحنتين r^2
- ✓ العبارة الرياضية لقانون كولوم هي:

$$\vec{F}_{12} = K.\frac{q_1 q_2}{r^2}\vec{u} \quad \checkmark$$

حيث: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$

الثابت K يدعى "الثابت الكهربائي" أو "ثابت كولوم

$$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9.10^9\ N.m^2.C^{-2}$$

- تخضع القوى الكهربائية إلى مبدأ التراكب فالقوة الكهربائية المؤثرة على الشحنة q_0 من طرف الشحنات $q_1, q_2, q_3 \dots \dots q_N$ تساوي المجموع الشعاعي لكل القوى (هذا المبدأ لا يصلح إلا في حالات الشحنات الساكنة) $\vec{F}$

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^{N} \vec{F}_{i0} = \vec{F}_{10} + \vec{F}_{20} + \cdots \dots \dots \dots + \vec{F}_{N0}$$

- إن قانون كولوم مشابه لقانون الجذب العام (أو الكوني) بين جسمين كتلتهما m_1 و m_2 وهذا ما نسميه بالتماثل ما بين قوانين الطبيعة

$$\vec{F} = -G\frac{m_1\, m_2}{r^2}\vec{u}$$

النواقل والعوازل

إن الناقل الجيد هو عنصر يحتوي على عدد كبير من الكترونات الحرة (لها حرية الانتقال) وبالمقابل العازل هو العنصر الذي يملك عددا قليلا من الكترونات الحرة، العازل المثالي هو الذي لا يتوفر على أي إلكترون حر.

الحقل الكهربائي

الشحنة تولد في المجال الفضائي من حولها حقلا كهربائيا ينتج عنه قوة كهربائية يخضع لها أي جسم مشحون موجود هناك.

نسمي الحقل الكهرو ساكن $\vec{E}$ النسبة بين القوة الكهروساكنة $\vec{F}$ والشحنة الكهربائية q_0 المتأثرة بالقوة $\vec{F}$ (q_0 صغيرة جدا بحيث لا تؤثر على غيرها)

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \qquad \left(^N/_C\right)$$

$\vec{F}$ و $\vec{E}$ لهما نفس الحامل، أما الاتجاه في هذه الحالة يتعلق بإشارة q_0

. الحقل الكهروساكن الناتج عن شحنة نقطية

الحقل الكهربائي المتولد عن شحنة نقطية يكون:

- قطريا: حامله يمر من الشحنة
- موجها نحو الخارج إذا كانت $q > 0$
- موجها نحو الداخل إذا كانت $q < 0$
- شدته: $E(M) = K\frac{|q|}{r^2}$

الحقل الكهروساكن الناتج عن عدة شحنات نقطية

- $\vec{E}(M) = \sum_{i=1}^{n} K\frac{q_i}{r_i^2}\vec{u}_i$

الكمون الكهربائي

يعرف الكمون الكهربائي بأنه الطاقة الكامنة التي تعطى للإلكترون ليتمكن من الحركة ويرمز له بالرمز V ويقاس بوحدة الفولط.

نعرف الكمون الكهربائي لشحنة نقطية q بالعلاقة:

$$V = K\frac{q}{r}$$

. الكمون الكهروساكن الناتج عن عدة شحنات نقطية

$$V(M) = K\sum_i \frac{q_i}{r_i}$$

الفصل الثاني النواقل المتزنة

تعريف النواقل المتزنة

الناقل الكهربائي هو كل جسم يمكن لحاملات الشحنة أن تنتقل بداخله بحرية. و نقول عن ناقل أنه في حالة توازن كهروساكن إذا كانت كل الشحنات المتواجدة بداخله ساكنة (محصلة القوى الكهروساكنة المطبقة على كل شحنة q هي معدومة)

خواص النواقل المتزن

- ***داخل الناقل المتزن***

بما أن الشحنات داخل الناقل المتزن ساكنة فهي لا تخضع لأية قوة و هذا يعني أن الحقل الكهروساكن داخل الناقل المتزن معدومة $\vec{F} = \vec{0} \Rightarrow \vec{E} = \vec{0}$

المتزن معدومة و الكمون ثابت في كل نقطة داخل الناقل Q_{int}الشحنة

- ***على سطح الناقل المتزن***

يتم توزيع شحنة الناقل Q على السطح لأنه لا يمكن أن تكون في الداخل. الشحنات الكهربائية المتحركة تتراكم على السطح حتى يصبح الحقل الذي تنتجه مساويا للحقل الخارجي المطبق على هذا السطح مما يؤدي إلى حالة توازن.

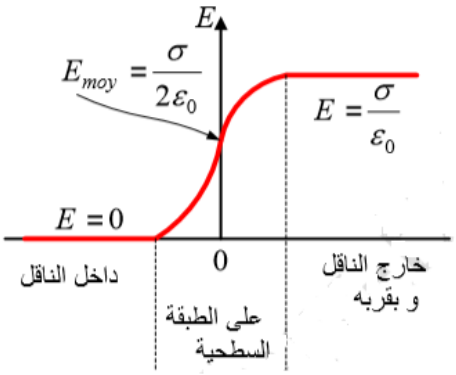
يشكل الناقل حجما لتساوي الكمون و السطح الخارجي للناقل هو سطح تساوي الكمون . يتعامد شعاع الحقل الكهربائي مع سطح الناقل المتوازن.

نظرية كولوم

بجوار ناقل متوازن، الحقل عمودي على سطح الناقل و عبارة شدته هي

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

حيث σ تمثل الكثافة السطحية للناقل



الضغط الكهروساكن

الشحنات الموجودة على سطح الناقل تكون خاضعة لقوى التنافر الشحنات الأخرى.

لنحسب القوة المطبقة في وحدة السطح، و هو ما يسمى بالضغط الكهروساكن. بما أن الضغط يتم في الطبقة السطحية لذلك نستعمل الحقل المتوسط

$$P = \frac{dF}{ds} = \frac{\sigma ds E_{moy}}{ds} = \sigma E_{moy} = \frac{\sigma^2}{2\varepsilon_0}(Pa)$$

السعة الذاتية لناقل معزول

الشحنة للناقل المعزول في حالة اتزان كهروساكن متناسبة مع كمونه V أي:

$$C = \frac{q}{V}$$

الثابت C: يدعى سعة الناقل. وحدة السعة في النظام الدولي هي الفاراد يرمز لها ب F

الطاقة الداخلية لناقل مشحون و معزول

لتكن q شحنة الناقل و V كمونه و C سعته في حالة الاتزان

$$E_P = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C} = \frac{1}{2}CV^2 = \frac{1}{2}qV$$

- عند شحن ناقل بواسطة مولد قوته المحركة الكهربائية V ثابتة فان المولد يعطي طاقة مقدارها

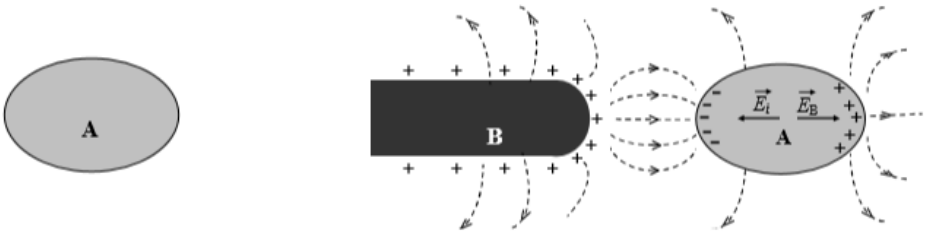
$W = \int_0^Q V dq = qV$ من اجل شحنة q. نصف هذه الطاقة تعطى للناقل لشحنه و النصف المتبقي تحول الى طاقة حرارية اثناء عملية نقل الشحنات من المولد الى الناقل (فعل جول)

- عند تفريغ ناقل مشحون بوصله بالأرض بواسطة خيط ناقل فان هذه الطاقة الداخلية (الطاقة الكامنة E_P) تظهر على شكل طاقة حرارية (فعل جول)

التأثير الجزئي

نعتبر ناقلا A معتدلا كهربائيا (غير مشحون, أنظر الشكل a). نضع A بجوار ناقل مشحون B بشحنة موجبة. الناقل B يولد في كل نقطة من الفضاء المحيط به, و خاصة داخل الناقل A حقلا كهربائيا $\vec{E}_B$.

يجبر الحقل $\vec{E}_B$ الإلكترونات الحرة للناقل A من الانتقال نحو الوجه الموالي لناقل B فتشحن هذه المنطقة سلبا $-Q_A$. بسبب هجرة الإلكترونات للوجه المعاكس يشحن هذا الأخير إيجابا $+Q_A$ (أنظر الشكل b).



(a) (b)

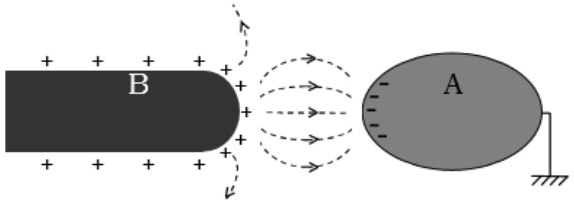
الشحنات $-Q_A$ و $+Q_A$ تنتج بدورها حقلا معاكسا $\vec{E}_i$ للحقل $\vec{E}_B$. تتوقف هجرة الإلكترونات عندما يصبح: $\vec{E}_B + \vec{E}_i = \vec{0}$ فتصبح للناقل A كل خصائص الناقل المتزن حيث:

- الحقل داخل الناقل معدوما
- سطحه متساوي الكمون
- الشحنات متوزعة على سطح الناقل و حصل هنا تكهرب بالتأثير. الشحنة الكلية للناقل A تبقى معدومة, كلما هناك أننا فرقنا بين الشحنتين المتساويتين و المتعاكستين في الاشارة $-Q_A$ و $+Q_A$.
- $|Q_B| > |Q_A|$: هذا يعني أن كل خطوط الحقل المنبعثة من الناقل B لا تصل إلى الناقل A و هذا ما يميز التأثير الجزئي.

ملاحظة

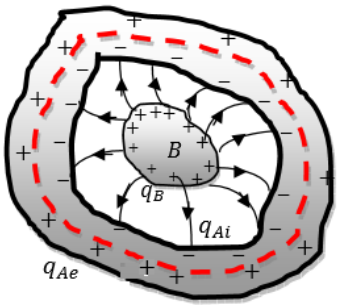
إذا تم وصل الناقل A السابق بالأرض (كمون يساوي الصفر) ، حيث تصبح الأرض و الناقل جسما واحدا فتتسرب الشحنات الموجبة إلى الأرض, و يبقى كمون الناقل معدوم ولا يخرج منه أي خط أما الشحنات السالبة فتبقى مكانها لا تتسرب إلى الأرض بفعل التأثير من طرف الناقل B .

التأثير الكلي



الناقلان A و B في حالة تأثير كلي عندما يحيط الناقل A المتأثر كليا بالناقل تصل إلى A . يتبين لنا أنه داخل الناقل A الحقل $E = 0$ و أن السطح الداخ

$= -Q_A$

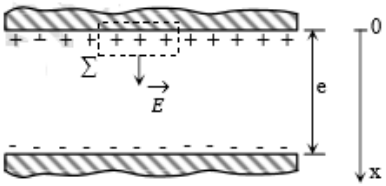


- إذا كان A معزولا و متعادلا من البداية, فإنه حسب مبدأ انحفاظ الشحنة للناقل A فإنه : $Q_{Ai} + Q_{Ae} = 0$
  يستوجب على السطح الخارجي لـA أن يحمل شحنة:
  $Q_{Ae} = -Q_{Ai} = Q_B$
- إذا كان A معزولا و مشحونا بـQ_0 من البداية, فإنه حسب مبدأ إنحفاظ الشحنة

للناقل A فإنه : $Q_{Ae} + Q_{Ai} = Q_0 \quad \Rightarrow Q_{Ae} = Q_0 + Q_B$

كيفية حساب سعة المكثفة

❖ **المكثفة المستوية** $C = \frac{Q}{V} = \frac{\varepsilon_0 S}{e}$



حيث: S سطح المكثفة المستوية و e البعد بين السطحين

❖ **المكثفة الأسطوانية**

تتشكل المكثفة الأسطوانية من أسطوانتين ناقلين لهما نفس المحور يفصل بينهما عازل و ذات أنصاف أقطار على التوالي R_1 و R_2 و h ارتفاعها.

$$C = \frac{q}{V} = \frac{\varepsilon_0 2\pi h}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$$

❖ **المكثفة الكروية**

تتكون المكثفة الكروية من كرتين لهما نفس المركز يفصل بينهما عازل,

و ذات أنصاف أقطار على التوالي R_1 و R_2.

$$C = \frac{q}{V} = \frac{\varepsilon_0 4\pi R_2 R_1}{R_2 - R_1}$$

ملاحظات

- سعة المكثفة بكل أنواعها تتعلق فقط بالشكل الهندسي للبوسين و الوسط, الذي يعتبر في حالتنا الفراغ المعطى ب ε_0 .

- للحصول على مكثفة ذات سعة كبيرة فإن المعاملات الهندسية التي نهتم بها هي سطح اللبوسين الذي يجب أن يكون كبيرا كفاية, و المسافة بين اللبوسين يجب أن تكون صغيرة جدا بالنسبة لأبعاد السطح.

- في الحقيقة, بالنسبة للمكثفة المستوية الناقلان ليسا في تأثير كلي, و بما أن المسافة الفاصلة بين لبوسي المكثفة صغيرة مقارنة بسطح اللبوسين, في هذه الحالة يمكن اعتبار أن التأثير كلي

جمع المكثفات على التفرع

$$C_{éq} = \sum_{i=1}^{n} C_i$$

جمع المكثفات على التسلسل

$$\frac{1}{C_{éq}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{C_i}$$

الفصل الثالث

التيار الكهربائي

التيار الكهربائي هو انتقال جماعي و منظم لحاملات الشحنة (إلكترونات أو شوارد). يظهر تيار كهربائي في الناقل عندما يوجد فرق في الكمون بين طرفي هذا الأخير.

شدة التيار الكهربائي

الشدة المتوسطة

الشدة المتوسطة للتيار الكهربائي هي كمية الكهرباء (الشحنة) التي تجتاز مقطعا من الناقل خلال واحدة الزمن

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

الشدة اللحظية

هي مشتق الشحنة الكهربائية بالنسبة للزمن

$$i = \frac{dQ}{dt}$$

وحدة التيار في النظام الدولي هي أمبير (Ampère A) : $A = C/s$

إتجاه التيار الكهربائي

برهنت معظم هذه التجارب على أن للتيار الكهربائي اتجاها, و قد اصطلح على أنه نتيجة لحركة الشحنات الموجبة من القطب السالب إلى القطب الموجب داخل المولد, و من القطب الموجب إلى القطب السالب خارج المولد.

كثافة التيار الكهربائي

كثافة التيار الكهربائي هي المقدار الشعاعي $\vec{J}$ المساوي للشحنة المارة خلال واحدة الزمن عبر واحدة السطح

$$\vec{J} = n.q.\vec{v}$$

شدة التيار الكهربائي هي

$$I = \vec{J}.\vec{S} \qquad \Rightarrow I = n.q.v.S$$

قانون أوم

بالنسبة لناقل معدني, تحت درجة حرارة ثابتة, فإن النسبة بين فرق الكمون (التوتر) بين طرفيه, و شدة التيار الكهربائي I الذي يجتازه, ثابتة و تساوي مقاومة الناقل

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

ربط النواقل الأومية (المقاومات)

الربط على التسلسل

$$R_{éq} = \sum_{i=1}^{n} R_i$$

. الربط على التفرع

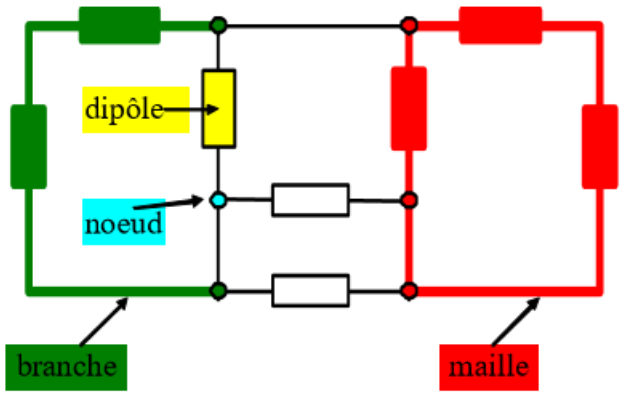
$$\frac{1}{R_{éq}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i}$$

فعل جول

في المقاومة الكهربائية, احتكاك الالكترونات داخل المادة يؤدي إلى تبدد الطاقة الكهربائية على شكل طاقة حرارية. هنا تتجلى لنا فائدة النواقل الفائقة الناقلية, أي المواد ذات المقاومة المعدومة التي تسمح لنا بنقل التيار الكهربائي بدون أي ضياع للطاقة.

عناصر الدارة الكهربائية

تتكون الدارة الكهربائية من مجموعة عناصر تسمى ثنائيات القطب موصلة فيما بينها بأسلاك ناقلة فتشكل بنية مغلقة.



- العقدة (nœud) هي نقطة من الدارة حيث تصل ثلاث أسلاك أو أكثر
- الفرع (branche) هو جزء من الدارة محصور بين عقدتين
- العروة (maille) هي مجموعة فروع تشكل حلقة مغلقة
- ثنائي القطب (dipôle) ينحصر في دارة كهربائية بواسطة قطبين يدخل التيار من أحدهما و يخرج من الثاني, يتميز ثنائي القطب بالاستجابة لفرق الكمون بين طرفيه.
- ثنائي القطب الخامل (dipôle passif) يستهلك الطاقة الكهربائية
- ثنائي القطب النشط (dipôle actif) ينتج تيارا كهربائيا
- أسلاك التوصيل (Fils de jonction) نهمل مقاوماتها أمام مقاومات ثنائيات القطب أخرى
- الشبكة (Réseau) هي مجموعة من الدارات الكهربائية

دور المولد: القوة المحركة الكهربائية

لحقل الكهروساكن لا يضمن استمراريه تيار كهربائي في دارة مغلقة إذن يجب على قوة أخرى غير القوة الكهروساكنة من تمكين حاملات الشحنة صعود الكمون و التغلب عليه. للحصول على تيار كهربائي متواصل في دارة مغلقة لا بد من تغذية الدارة بطاقة تنتجها المولدات الكهربائية.

يجب على المولد أن يكون قادرا على بذل عمل كهربائي على الشحنات لتمريرها من خلاله من القطب ذي الكمون المنخفض إلى القطب ذي الكمون العالي. يمكن تعريف القوة المحركة الكهربائية هي فرق الكمون المعطى من طرف المولد (وحدتها فولط)

الجهد (الكمون) المستعمل من طرفي المولد: $V_A - V_B = e - rI$

نعرف مردود المولد على أنه النسبة بين الاستطاعة المستعملة في الدارة الخارجية و الاستطاعة الكهربائية المقدمة من طرف المولد,

القوانين المسيرة للدارات الكهربائية

1. معادلة الدارة الكهربائية

في الحالة العامة إذا رمزنا ب r للمقاومات الداخلية و ب R للمقاومات الخارجية فإن شدة التيار الكهربائي في دارة كهربائية تساوي المجموع الجبري للقوى المحركة الكهربائية مقسومة على مجموع المقاومات, تسمى هذه العلاقة بمعادلة الدارة الكهربائية:

$$I = \frac{\sum e}{\sum r + \sum R}$$

فرق الكمون بين نقطتين من دارة (قانون أوم المعمم)

قانون أوم المعمم:

$$V = \left(V_A - V_B\right) = \left(\sum R_i\right) I - \sum e_i$$

ملاحظة

إذا كانت النقطة A منطبقة على النقطة B (دارة مغلقة) فإن:

$$\left(\sum R_i\right) I - \sum e_i = 0$$

قانون كيرشوف

قانون كيرشوف الاول (قانون العقد)

و هو يمثل قانون انحفاظ الشحنة الكهربائية في العقدة حيث أن في عقدة من دارة كهربائية مجموع شدات التيارات الداخلة يساوي مجموع شدات التيارات الخارجة:

$$\sum I_{entrants} = \sum I_{sortants}$$

قانون كيرشوف الثاني (قانون العروات)

و هو يمثل قانون انحفاظ الطاقة, حيث أن التغيير الكلي للكمون على مسار عروة يساوي الصفر أي في عروة k من دارة كهربائية, المجموع الجبري لحاصل جداء المقاومة في التيار يساوي المجموع الجبري للقوى المحركة الكهربائية:

$$\sum_{k=1}^{n} e_k = \sum_{k=1}^{n} R_k I_k$$

هذا القانون مطابق لقانون فرق الكمون بين نقطتين من دارة إذا كانت منطبقة على النقطة فإن:

$$\left(\sum R\right) I - \sum e = 0$$

- نطبق قانون كيرشوف الاول (قانون العقد), إذا كان لدينا n عقدة سنحصل على $(n-1)$ معادلة
- نطبق قانون كيرشوف الثاني (قانون العروات) إذا كان لدينا b فرعا فإن عدد معادلات العروات $m = b - (n-1)$
- أفصل الشبكة إلى مكوناتها من العروات المستقلة, أي لها على الأقل فرع غير مشترك مع عروة أخرى, و أطبق قانون الثاني لكيرشوف.