الأكاديمية العربية الدولية

الأكاديمية العربية الدولية

المقررات الجامعية

www.aiacademy.info | care@aiacademy.info

كتاب

أساسيات الهندسة الكهربائيـة والإلكترونيـة

علي إبراهيم المحمد

هندسة الاتصالات والإلكترون

2021

الفهرس

الفصل الأول: اساسيات في الكيمياء

الفصل الثاني: الكهرباء الساكنة

الفصل الثالث: التيار الكهربائي

الفصل الرابع: الجهد الكهربائي

الفصل الخامس: المقاومة الكهربائية

الفصل السادس: قانون أوم

الفصل السابع: الطاقة والقدرة

الفصل الثامن: الدائرة الكهربائية

الفصل التاسع: البطاريات

الفصل العاشر: المقاومة في دوائر التيار المستمر

الفصل الحادي عشر: المكثف في دوائر التيار المستمر

الفصل الثاني عشر: التيار المتردد

علي المحمد

أساسيات الهندسة الكهربائية

الفصل الأول: أساسيات في الكيمياء

علي المحمد

أولاً: تعاريف ومبادئ أساسية

المادة: هي كل ما يشغل حيزاً من الفراغ وله ثقل. كالهواء والماء والحديد والأوكسجين.

تتركب المادة من أجزاء صغيرة جداً تسمى جزيئات، ويعبر عنها بثلاث مفاهيم وهي الكتلة والحجم والكثافة.

الكتلة (Mass): هي كمية المادة التي يحتويها الجسم، وتقاس بالكيلو غرام أو الغرام.

الحجم: هو مقدار الحيز من الفراغ الذي تشغله المادة، ويقاس بالليتر أو المتر المكعب.

الكثافة: هي مقدار المادة التي يمتلكها الجسم في حجم معين، الكثافة = الكتلة / الحجم $p = \frac{m}{V}$.

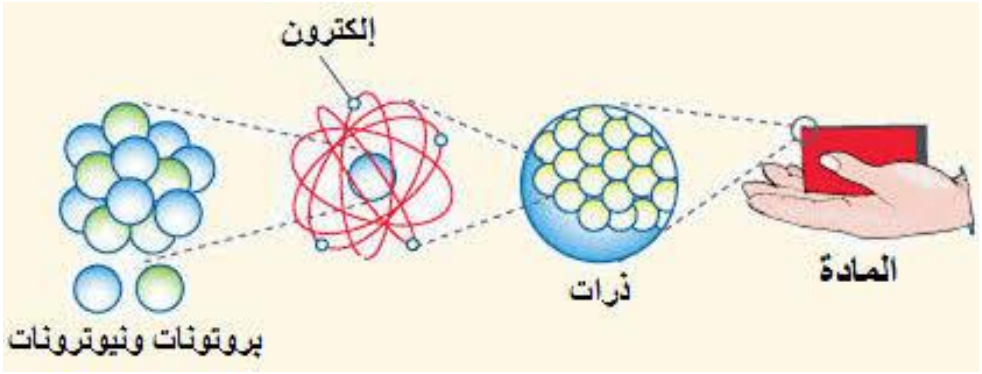
حالات المادة:

- **الحالة الصلبة:** يكون للمادة شكل وحجم ثابتين، وتمتاز بالتجاذب الكبير بين جزيئاتها إذ ترتص جزيئاتها على مسافات ثابتة من بعضها ولا تتحرك، مما يعطيها شكل وحجم ثابتين مثل الحديد.
- **الحالة السائلة:** يكون للمادة حجم ثابت وشكل متغير، وهي مرحلة وسطية بين بين الحالة الغازية والسائلة، والمسافة بين جزيئاتها أكبر منها في الصلبة، لذلك فهي غير ثابتة في موضعها، مثل الماء.
- **الحالة الغازية:** يكزن للمادة شكل متغير وحجم متغير، وكثافة الغازات أقل من حالات المادة الأخرى، و تتوضع جزيئات الغاز على مسافات كبيرة من بعضها البعض، وتكون الروابط فيما بينها ضعيفة نسبياً مما يسمح لها بالتحرك والانتشار بحرية. مثل الهواء.

الجزي: إن أصغر جزء في المادة عنصر أو مركب تتضح فيه خواص المادة ويوجد منفرداً مثل جزيء الكلور ثنائي الذرات أو جزيء الأوزون ثلاثي الذرات، ويتركب من ذرات.

العنصر: مادة أولية لا يمكن تحليلها إلى مواد أبسط منها لا بالطرق الفيزيائية ولا بالطرق الكيميائية، ويبلغ عدد العناصر التي تم اكتشافها حتى الآن 107 عناصر، وتتركب العناصر من دقائق صغيرة جداً تدعى الذرات.

المركب: مادة ناتجة عن اتحاد عنصرين أو أكثر اتحاداً كيميائياً، مثل الماء.



ثانياً: تطور مفهوم البناء الذري

اقترح العلماء نماذج مختلفة لتركيب الذرة وكل نموذج كان الأفضل في وقته، ثم نتيجة الملاحظات والتجارب أخذ النموذج يتطور وصولاً للأكثر قبولاً من الناحية العلمية، وسنتعرف على هذه النماذج حسب تسلسلها الزمني.

- **نموذج دالتون:**

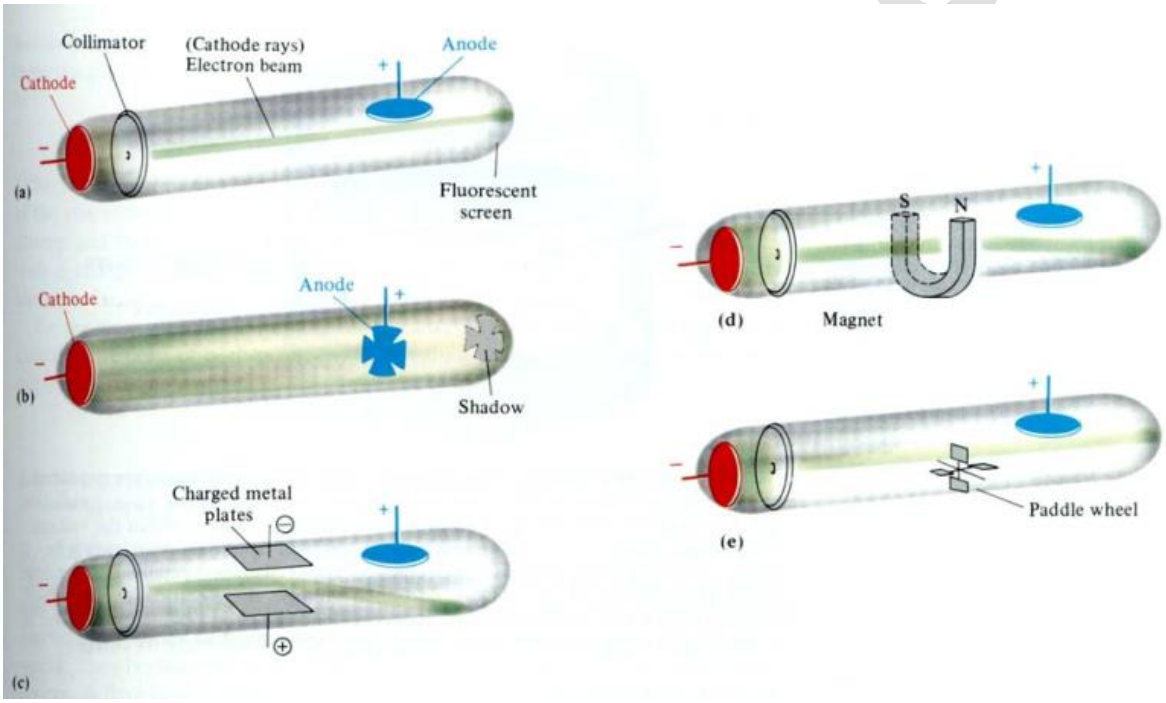
بين عام 1805 و 1808 نشر العالم الإنكليزي جو دالتون أولى الفرضيات الحديثة التي تصف وجود وطبيعة الذرة، وتمتاز فرضية دالتون بقرب مضمونها فرضيات النظرية الذرية الحديثة لذلك يعتبر دالتون أباً ومؤسساً للنظرية الذرية الحديثة، وأهم فرضياته:

- جميع المواد تتكون من جسيمات صغيرة جداً غير قابلة للانقسام تدعى الذرات.
- تمتاز ذرات العنصر الواحد بخواص فيزيائية وكيميائية متطابقة وتختلف عن خواص ذرات العنصر الآخر.
- ذرات العناصر المختلفة يمكن أن تتحد بأعداد صحيحة بسيطة لتكوين مركبات.

(علماً أن ذرات العناصر المختلفة تفقد معظم خواصها (ماعدا الوزن الذري) عند تكوينها للمركبات).

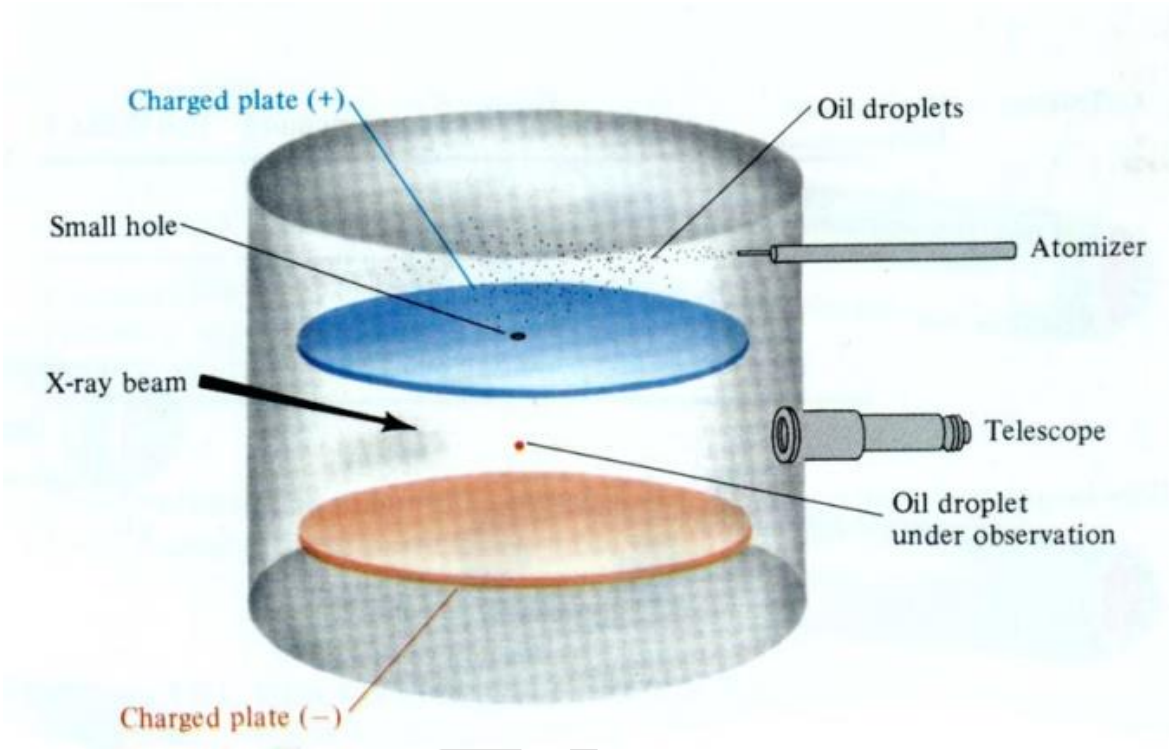
- **نموذج تومسون:**

في عام 1897 قام العالم الإنكليزي جي تومسون بتجربته مستخدماً فيهل انبوباً زجاجياً مفرغاً من الهواء ومتصل بملف يدعى الملف الوميضي (الشراري)، فلاحظ تومسون انبعاث شعاع من الضوء عند تسليط فرق جهد مناسب على طرفي الأنبوب المفرغ سمي هذا الشعاع بالشعاع الكاثودي، ولاحظ انحراف هذا الشعاع عند مروه في كل من المجالين الكهربائي والمغناطيسي، ونتيجة ذلك توصل تومسون إلى أن الشعاع الكاثودي يتألف من جسيمات متناهية في الصغر تحمل شحنة كهربائية سالبة سماها الإلكترونات، لذلك يعتبر تومسون مكتشف الإلكترون، ثم وجد نسبة الشحنة الكهربائية للإلكترون إلى كتلته ، وقد منح جائزة نوبل في عام 1906.



- **نموذج مليكان:**

في عام 1909 تمكن العالم الأمريكي روبرت مليكان من قياس كمية الشحنة الكهربائية الموجودة على الإلكترون وذلك باستخدام الجهاز المبين.

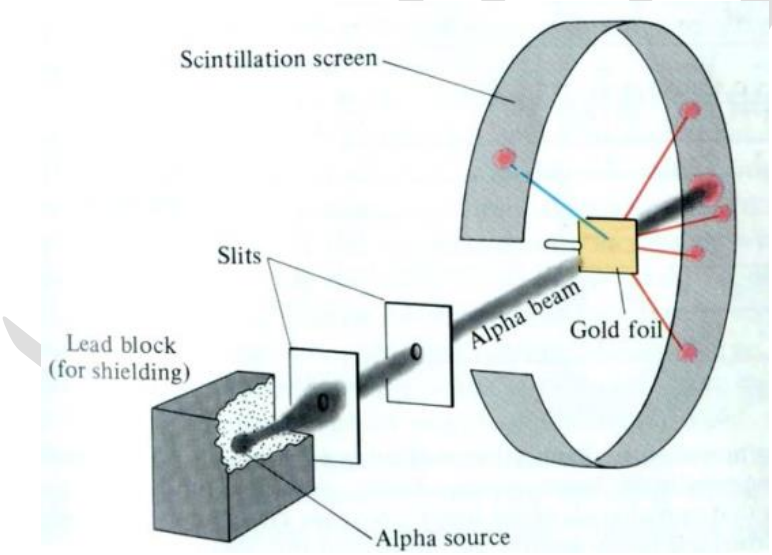


وتتضمن تجربة مليكان دفع رذاذ زيت إلى داخل حجرة أو تجويف حيث أن بعض قطرا ت الزيت وبشكل عشو ائي فقدت إلكترون وبعضها اكتسبت إلكترون، مما أدى إلى تكوين قطرات تحمل شحنة سالبة وأخرى تحمل شحنة موجبة على التوالي، ومن خلال ضبط أو تعدبل للمجال الكهربائي الموجود بين الصفيحتين الموجبة والسالبة يمكن التحكم بالحركة العلوية للقطرات سالبة الشحنة، حيث يتم متابعة حركة قطرة الزيت سالبة الشحنة بواسطة ناظور مناسب، ومعرفة معدل سرعة القطرة نحو الأعلى، شدة المجال الكهربائي وكذلك كتلة أووزن القطرة وكل ذلك قاد مليكان لحساب كمية الشحنة السالبة على قطرة الزيت والتي تساوي كمية الشحنة السالبة على الإلكترون الواحد، وبفضل الجمع بين نتائج مليكان وتومسون تمكن مليكان من حساب كتلة الإلكترون والتي تساوي 9.11×10^{-28} g .

- **نموذج رذفورد:**

في عام 1911 قام العالم الإنكليزي إيرنست رذفورد بتجربته الشهيرة المسماة تجربة رقيقة الذهب، حيث اسقط رذفورد حزمة من دقائق ألفا موجبة الشحنة (اشعة الفا عبارة عن تيار من نويات عنصر الهليوم) على رقيقة الذهب فلاحظ:

- **انحراف عدد قليل من جسيمات ألفا، وهذا يدل على مرورها بالقرب من جسيم ذري متمركز يحمل شحنة موجبة.**
- **عدد قليل من جسيمات ألفا يقدر بـ $(\frac{1}{8000})$ ارتدت بمسار مستقيم إلى مصدر الأشعة، وهذا يدل على اصطدامها بالجسم الذري موجب الشحنة.**
- **عدد كبير من جسيمات الفا مر بمسار مستقيم خلال الرقيقة، وهذا يدل على وجود مساحات فارغة بين الجسم الذري ذو الشحنة الموجبة والإلكترونات ذات الشحنة السالبة.**



إن التجارب اللاحقة التي قام بها العالم رذفورد كشفت أن الجسيم الكثيف ذو الشحنة الموجبة (النوية) يحتوي على جسيمات تحوي شحنة موجبة تدعى البروتونات، وسرعان ما أدرك رذفورد أن البروتونات ليست المكون الوحيد للنواة وذلك بسبب وجود فرق بين كتلة هذه البروتونات وكتلة النوية، ولهذا السبب توقع رذفورد وجود جسيمات أخرى متعادلة الشحنة في النوية.

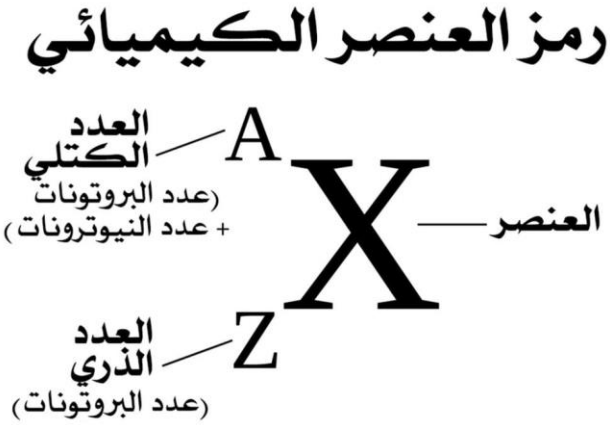
وفي عام 1932 قام العالم الإنكليزي جيمس جادوك من اكتشاف الجسيمات النووية المتعادلة الشحنة والمسماة بالنيترونات.

<u>ملاحظة:</u>

يتجاوز عدد الجسيمات الموجود في الذرة الـ 90 ولكن أشهرها ما تم ذكره سابقاً.

العدد الذري والعدد الكتلي:

- العدد الذري = عدد البروتونات(P^+) = عدد الإلكترونات (e^-)
- يعتبر العدد الذري من مميزات ذرات العنصر الواحد حيث لجميع ذرات العنصر الواحد نفس العدد الذري ولكنه يختلف عن العدد لذرات العناصر الأخرى، لذلك يمكن استخدام العدد الذري للتمييز بين ذرات العناصر المختلفة.
- العالم الإنكليزي هنري موسللي هو أول من عين الأعداد الذرية لمجموعة من العناصر باستخدام أشعة أكس.
- مجموع عدد البروتونات والنترونات في نوية يسمى عدد الكتلة، العدد الكتلي = عدد البروتونات(P^+) + عدد النترونات.



ثالثاً: نموذج بور

في عام 1913 تقدم العالم الفيزيائي الدنماركي نيلز بور بنموذج يلخص تركيب الذرة.

- **الذرة:**

تعريفها: الذرة هي أصغر جزء من العنصر، ويحمل الخواص الكيميائية لذلك العنصر وتتكون من أجزاء أصغر منها.

يعود الفرق بين ذرات عنصر ما وذرات عنصر آخر إلى اختلاف عدد البروتونات التي تحتوي عليها كل ذرة.

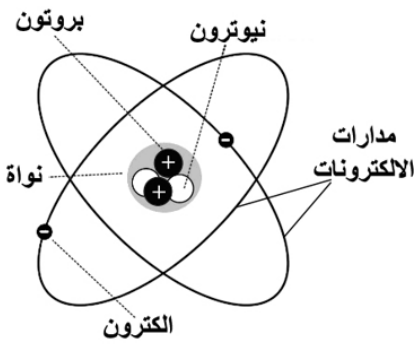
- **مكونات الذرة:**

a) - النواة: هي الجزء المركزي من الذرة، تتركز فيها أغلب الكتلة الذرية، تحمل شحنة موجبة (+)، وتتألف من:

- البروتون(p): عبارة عن جسيم يحمل شحنة موجبة (+) ، وشحنته تساوي شحنة الإلكترون، وله كتلة أكبر من كتلة الإلكترون بـ 1836 مرة تقريباً، كتلته تساوي 1.63×10^{-24} gr

- النيوترون(n): عبارة عن جسيم غير مشحون كهربائياً (متعادل الشحنة) أي أنه ليس له شحنة، له كتلة مساوية لكتلة البروتون تقريباً.

b) - الإلكترونات(e): عبارة عن جسيمات تحمل شحنة سالبة (-)، تحيط بالنواة ، وتوجد في مدارات تدور حولها بسرعة كبيرة، وينشأ من سرعة الدوران هذه قوة طاردة مركزية تتعادل مع قوة جذب النواة للإلكترونات، شحنة الإلكترون تساوي 1.6×10^{-19} c وكتلة الإلكترون تساوي 9.11×10^{-28} gr ويمكن إهمال وزن الإلكترون في الذرة لإن شحنته أقل بكثير من شحنة البروتون.



- **توزع الإلكترونات حول النواة:**

تختلف العناصر عن بعضها من حيث وزنها وصفاتها باختلاف تكوين ذرة كل عنصر منها، وتختلف ذرة أي عنصر عن ذرة أي عنصر آخر في عدد بروتوناتها ونتروناتها وإلكتروناتها أما عدد المدارات التي تدور فيها الإلكترونات حول النواة فيعتمد على عدد إلكترونات الذرة، ولكل مدار سعة قصوى من الإلكترونات، ولكن يمكن أن يتواجد في كل مدار عدد من الإلكترونات أقل من سعته القصوى، والسعة القصوى لكل مدار تساوي $2n^2$ حيث (n)رقم المدار، وتسمى المدارات بالأغلفة الرئيسية.

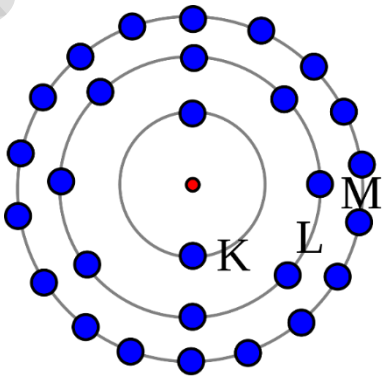
رقم المدار	1	2	3	4	5	6	7
الحرف المميز	K	L	M	N	O	P	Q
عدد الإلكترونات الأعظمي في المدار	2	8	18	32	50	72	98

تقل الطاقة

Q > P > O > N > M > L > K

7 > 6 > 5 > 4 > 3 > 2 > 1

تزداد الطاقة



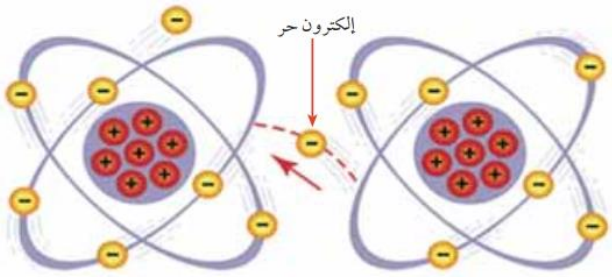
عدد التكافؤ وعدد التأكسد:

كل ذرة من خلال اتحادها مع ذرة أو مجموعة ذرات تحاول أن تمتلك غلافاً أو مستوى طاقياً خارجياً تاماً (وهذا يعني أن المستوى الأخير للذرة يحتوي على العدد من الإلكترونات)، إن امتلاك الذرة لمستوى خارجي تام أو مشبع يمكن أن يتم من خلال اكتساب أو فقدان الذرة لعدد من الإلكترونات أو مشاركة الذرات ببعضها بالإلكترونات.

رابعاً: الإلكترونات الحرة

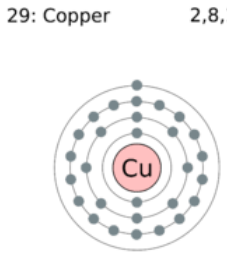
ترتبط الإلكترونات سالبة الشحنة مع النواة موجبة الشحنة بقوة جذب تتناسب مع بعد مداراتها عن النواة، فكلما كان المدار أقرب للنواة كانت قوة الجذب أكبر، وكلما ابتعد عن النواة كانت قوة الجذب أقل، ومن جانب آخر فتكون طاقة الإلكترون أقل كلما كان أقرب للنواة، وتكون طاقته أكبر كلما كان يدور في مدار أبعد عن النواة، و يتضح أن المستوى (K) هو أقل المستويات طاقة وقوة جذبه للنواة أكبر، والمستوى (Q) هو أكبر المستويات طاقة وقوة جذبه للنواة أقل، ويحتاج الإلكترون إلى طاقة لكي ينتقل من مستوى أدنى إلى مستوى أعلى، ويجب أن يكتسب الإلكترون طاقة لينتقل من مداره إلى مدار أعلى فيفلت ويصبح حر الحركة.

يسمى المدار الأخير (الخارجي) في الذرة مدار التكافؤ (Valence)، وتسمى الإلكترونات في هذا المدار إلكترونات التكافؤ (الإلكترونات السطحية) (Valence Electrons)، وهي الأبعد عن النواة وتتعرض لقوة جذب أقل، وإن لهذه الإلكترونات أهمية بالغة وخاصة في علم الكهرباء والإلكترون، بسبب إمكانية تحريرها بسهولة، وهي التي تحدد الخواص الكهربائية للعنصر.



لنناقش ذرة النحاس:

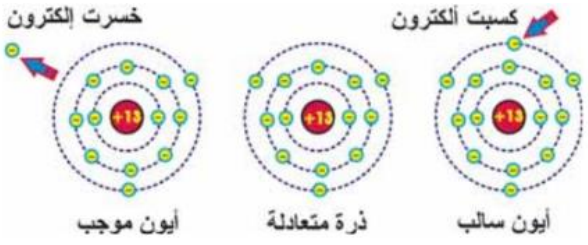
نلاحظ أن ذرة النحاس تحوي في مدراها الأخير(مدار التكافؤ) إلكترون واحد فقط وهو أبعد الإلكترونات عن النواة، وبالتالي فهو يتعرض إلى أقل قوة جذب من النواة، وهذا الإلكترون يمكن أن يفلت من سيطرة النواة ويصبح حر الحركة ويمكن أن يتجول عشوائياً بين ذرة وأخرى وإذا اكتسب طاقة إضافية مثل الحركة داخل مجال مغناطيسي أو الاحتكاك أو التفاعل الكيميائي أو الضوء أو مجرد قوة التنافر مع إلكترونات الذرات المجاورة ، ولذلك فإن قطعة من سلك النحاس تحوي ملايين الإلكترونات الحرة التي تتجول ضمن التركيب الذري للمادة مما يجعل النحاس موصل جيد للتيار الكهربائي.



خامساً: الأيونات(Ions)

تكون الذرة متعادلة (متوازنة) كهربائياً في الحالة الطبيعية أي أن عدد إلكتروناتها يساوي عدد بروتوناتها، أما إذا فقدت الذرة إلكتروناً واحداً أو أكثر فإن عدد بروتوناتها يصبح أكبر من عدد إلكتروناتها وبالتالي تصبح مشحونة بشحنة كهربائية موجبة وتسمى حينها أيوناً موجباً (كاتيون)، أما إذا اكتسبت الذرة إلكتروناً واحداً أو أكثر فإن عدد إلكتروناتها يصبح أكبر من عدد بروتوناتها وبالتالي تصبح مشحونة بشحنة كهربائية سالبة وتسمى حينها أيوناً سالباً(أنيون).

الأيونات الموجبة والسالبة هي الأساس في نشوء التيار الكهربائي سواءً في الغازات أو المحاليل الإليكتروليتية (المحاليل المتأينة الموصلة للتيار الكهربائي)



سادساً: الروابط الكيميائية

عدد كبير من ذرات العناصر تميل إلى الاتحاد مع ذرة أخرى أو أكثر من ذرات العنصر نفسه أو من ذرات العناصر الأخرى، وذلك للوصول إلى الحالة التي تكون فيه الذرة المتحدة أكثر استقراراً، تسمى قوة الجذب التي تساعد على بقاء أو استمرار هذا الاتحاد بالروابط الكيميائية.

- **الرابطة الأيونية:**

هو قوة جذب كهربائي بين ذرتين مختلفتين أو أكثر، ويتكون هذا الرابط عند انتقال الكترون واحد أو أكثر من غلاف تكافؤ ذرة (غالباً ماتكون ذات طاقة تأين وسالبية كهربائية قليلتين) إلى غلاف تكافؤ ذرة أخرى (غالباً ماتكون ذات طاقة تأين وسالبية كهربائية عاليتين)، وبعد هذا الانتقال يسمى ماينتج عن الذرة الفاقدة للإلكترون أو أكثر بالأيون الموجب أو بالكاتيون، أما مانتج عن استلام الذرة لإلكترون أو أكثر فيسمى بالأيون السالب أو الأيون.

يحمل كل من الأيون الموجب والأيون السالب شحنة مساوية لعدد الإلكترونات المفقودة أو المكتسبة.

تسمى المركبات الناتجة عن هذا النوع بالروابط الأيونية.

<u>خواص المركبات الأيونية:</u>

- درجة انصهار وغليان عالية
- محاليها أو منصهراتها موصلة جيدة للتيار الكهربائي

- **الرابطة المشتركة:**

تشترك الذرات في هذه الرابطة مع بعضها بعدد من الإلكترونات التي تدور في المدار الأخير لكل منها بحيث يحتوي بحيث يحتوي المدار الأخير لكل ذرة على العدد الإلكترونات اللازم لتحقيق سعته القصوى.

- **الرابطة المعدنية:**

تشترك كافة ذرات المعدن في هذه الرابطة بإلكترونات المدار الأخير حيث يكون لهذه الإلكترونات طاقة كافية تجعلها تتغلب على قوة التجاذب الكهربائية بينها وبين النواة ضمن البنية البلورية للمعدن وتنتقل بشكل عشوائي بين ذرات المعدن وتبدو بنية المعدن البلورية لذلك وكأنها مؤلفة من إيونات موجبة مرتبطة مع بعضها في شبكة ثابتة تسبح الإلكترونات الحرة حولها وهذه الإلكترونات الحرة هي سبب توصيل التيار الكهربائي في الأجسام المعدنية ويمكن الاستنتاج استناداً إلى النظرية الذرية إن للشحنات الكهربائية طبيعة جسيمية وأن أية شحنة سالبة مهما كانت ماهي إلا إحدى مضاعفات شحنة الإلكترون وإن أية شحنة موجبة مهما كانت ماهي إلا إحدى مضاعفات شحنة البروتون وإن عملية شحن أي جسم كان بشحنة موجبة أو سالبة هي في الواقع عملية نزع الإلكترونات من هذا الجسم أو إضافة إلكترونات إليه وإن أي إلكترون يكسبه جسم ما يجب أن يفقد هذا الإلكترون جسم آخر حتماً.

أساسيات الهندسة الكهربائية

الفصل الثاني: الكهرباء الساكنة

علي المحمد

أولاً: شحن الأجسام

عند دلك قضيب من البلاستيك بقطعة من الفرو سوف تنفصل بعض الالكترونات السالبة من قطعة الفراء (بعد الدلك) وتلتحق بذرات القضيب البلاستيكي وتصبح شحنة القضيب سالبة (بسبب اكتسابها الكترونات)، في حين تصبح قطعة الفراء موجبة (بسبب فقدانها الكترونات).

<u>ملاحظة:</u>

شحن الجسم بشحنة موجبة هي عملية نزع الإلكترونات من ذراته، وشحنه بشحنة سالبة هي عملية إضافة إلكترونات سالبة إلى ذراته.

تكهرب الأجسام (طرق الشحن):

تسمى الحالة التي يكتسب أو يفقد بها جسم ما إلكترونات بالتكهرب أي يصبح عدد البروتونات (الشحنات الموجبة) غير مساو لعدد الإلكترونات (الشحنات السالبة) بحيث تصبح حالته الكهربائية غير متعادلة، ويمكن للأجسام أن تتكهرب بإحدى الطرق التالية:

- <u>التكهرب (الشحن) بالدلك:</u>

هو انتقال الإلكترونات من جسم إلى آخر

تكون الأجسام قبل الدلك متعادلة كهربائياً، فإذا دلك جسم بآخر فإن الجسم الدالك إما أن ينتزع عدداً من الإلكترونات من الجسم المدلوك الذي يصبح مشحون بشحنة كهربائية موجبة، أو أن يعطي الجسم المدلوك عدداً من الإلكترونات ويصبح مشحوناً بشحنة كهربائية سالبة، فكل من الدالك والمدلوك ينشحن بعد الدلك أحدهما بشحنة كهربائية موجبة والآخر بشحنة سالبة وتكون الشحنتان الكهربائيتان متساويتان.

- **التكهرب (الشحن) باللمس:**

هو انتقال الإلكترونات من جسم مشحون إلى آخر

إذا دلكنا قضيباً من الزجاج بقطعة من القماش فإنه ينشحن بشحنة كهربائية موجبة ولنجعل هذا القضيب يلامس كرة معدنية غير مشحونة ومستندة على قاعدة من مادة عازلة فنجد أن الكرة تنشحن بشحنة موجبة، ولندلك قضيباً من مادة بلاستيكية بقطعة قماش فينشحن بشحنة كهربائية سالبة ولنجعل هذا القضيب يلامس كرة معدنية غير مشحونة فنجد أن الكرة تنشحن بشحنة كهربائية سالبة، فمما سبق نستنتج أنه إذا لامس جسم مشحون كهربائياً جسماً آخر فإنه يعطيه جزءاً من شحنته الكهربائية وكذلك نجد أن الشحنات الكهربائية تتوزع بانتظام على السطح الخارجي للكرات.

- **التكهرب (الشحن) بالتأثير:**

هو تحرك الإلكترونات إلى جزء من الجسم بسبب الشحنة الكهربائية لجسم آخر لايلامسه

تنشحن النو اقل بالتأثير إذا وضعت بالقرب من جسم مشحون كهربائياً وتكون شحنة الطرف القريب من الجسم المشحون عكش شحنة الجسم المشحون وتساويها بالقيمة بينما ينشحن الطرف البعيد بشحنة من النوع نفسه لشحنة الجسم المشحون وتساويها بالقيمة، ويفسر ذلك بأنه لو فرضنا أن شحنة الجسم المشحون موجبة فإن عدداً من الإلكترونات الموجبة تنتقل من الطرف البعيد للجسم الناقل إلى الطرف القريب المقابل للجسم المشحون، وبذلك تصبح شحنته سالبة وشحنة الطرف البعيد موجبة، بينما تكون منطقة الوسط من الناقل متعادلة كهربائياً، ويجب ملاحظة أن الشحنتين المتكونتين بالتأثير ليستا دائمتين بل تزولان بزوال المؤثر (الجسم المشحون) كما أنه يمكن فصل إحدى الشحنتين بوصل أحد طرفي الناقل بالأرض.

ملاحظة:

إن إمكانية شحن المواد كهربائياً يختلف من مادة إلى أخرى.

ثانياً: الشحنة الكهربائية

مقدار شحنة الإلكترون يساوي مقدار شحنة البروتون ويسمى هذا المقدار بالشحنة الأساسية أو الشحنة النوعية للإلكترون ويرمز لها بالرمز (e)، وهي من الثوابت الفيزيائية وهي أصغر كمية للشحنة، وتستخدم كوحدة طبيعية لقياس الشحنة، بمعنى أن أي كمية من الشحنات تكون مضاعفاً صحيحاً لهذه الكمية وقيمتها:

$$e = 1.6021892 \times 10^{-19}\ C$$

إن مقدار شحنة أي جسم يمكن حسابها من العلاقة التالية: $q = n \cdot e$

حيث:

n : عدد صحيح من الإلكترونات ..... n=1,2,3, .

q : كمية الشحنة الكهربائية، وتقاس بالكولوم، رمزها (C).

لنحسب عدد الإلكترونات في 1 كولوم:

$$q = n \cdot e \Rightarrow n = \frac{q}{e} \Rightarrow n = \frac{1}{1.6021892 \times 10^{-19}} = 6.25 \times 10^{18}\ electron$$

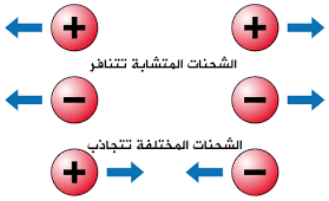
قانون بقاء الشحنة:

الشحنة الكهربائية محفوظة أي أنه ما يفقده جسم من الشحنات يكتسبه جسم آخر، وبمعنى آخر القيم الابتدائية والنهائية لمجموع الشحنات الكهربائية الداخلة في التفاعل يجب أن تكون واحدة.

خواص الشحنات الكهربائية:

الشحنة الكهربائية نوعان موجبة وهي شحنة البروتون أو سالبة وهي شحنة الإلكترون.

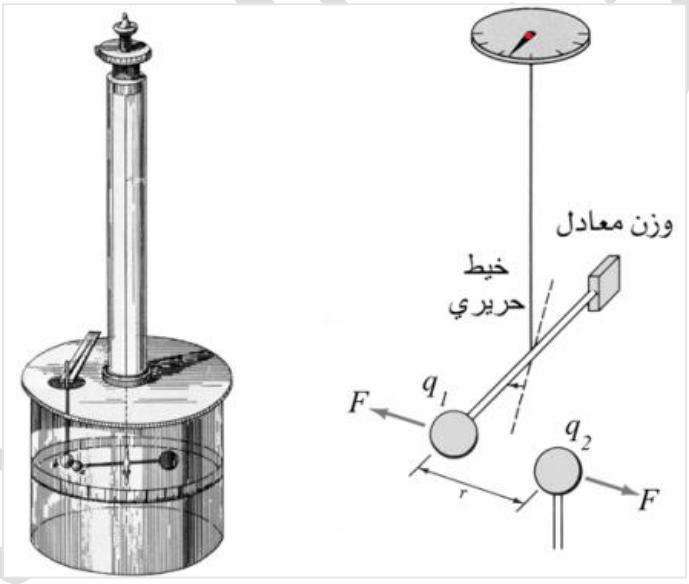
الشحنات المتماثلة تتنافر (++) أو (- -) والمختلفة تتجاذب (+ -).



ثالثاً: قانون كولوم (Coulomb's Law)

تمكن العالم الفرنسي (coulomb) في العام 1795 م من دراسة القوى المتبادلة بين الشحنات الكهربائية الساكنة دراسة تجريبية وذلك باستخدام ميزان اللي الذي صممه لهذا الغرض حيث تمكن من التوصل إلى القانون الذي يعطي العلاقة الرياضية بين القوة الكهروستاتيكية وسميت بهذا الاسم بسبب بقاء الشحنات الكهربائية ثابتة في مكانها - ومقدار الشحنات والمسافة الفاصلة بينهما.

إن ميزان اللي المكون من كرة معدنية صغيرة تحمل شحنة كهربائية مقدراها (q_1) متصلة بوزن يعادلها لهذا لغرض الاستقرار بواسطة محور متصل بقرص مدرج ومثبت عليه مؤشر يقيس زاوية الإنحراف بسبب التأثير المتبادل بين الشحنة المعلقة و أية شحنة أخرى حيث أن مقدر زاوية الأنحراف يتناسب مع قوة التنافر بين الشحنتين وبتغير مقدار الشحنتين والمسافة بينهما في الفراغ توصل كولوم إلى ما يلي :



ميزان اللي للعالم كولوم، ويبين القوة الكهربائية بين شحنتين

القوة الكهروستاتيكية (F) تتناسب طرداً مع مقدار الشحنتين النقطيتين(q_1,q_2) وتتناسب عكساً مع مربع المسافة الفاصلة بينهما(r^2):

$$\mathbf{F} = K\frac{q_1 q_2}{\mathbf{r}^2}$$

دلالات الرموز والواحدات:

q_1 . q_2 : مقدار الشحنتين النقطيتين وتقاس بالكولوم (C).

r : المسافة بين مركزي الشحنتين النقطيتين وتقاس بالمتر(m).

K : ثابت التناسب (الثابت الكهروستاتيكي) وتقاس بـ($\mathrm{N}\ m^2C^{-2}$).

$$\mathrm{K} = \frac{1}{4\pi\varepsilon}$$ وفي الفراغ $$\mathrm{K} = \frac{1}{4\pi\ \varepsilon_0} = 9 \cdot 10^9\ \mathrm{N}\ m^2C^{-2}$$

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

حيث:

ε_0 السماحية للهواء وتساوي ($\mathrm{F/m}$) $8 \cdot 855 * 10^{-12}$

ε_r: السماحية النسبية (الهواء أو الفراغ= 1) (ليس له واحدة)

ε: السماحية الكهربائية المطلقة $\varepsilon = \varepsilon_0\ \varepsilon_r$

<u>مناقشة:</u>

K : ثابت التناسب (الثابت الكهروستاتيكي) يعتمد على الواحدات المستخدمة لقياس القوة والشحنة والمسافة ، كما يعتمد على الوسط الفاصل بين الشحنات الكهربائية ، ولتحديد مقدار الثابت وباستخدام النظام العالمي للقياس ، استخدم كولوم (تعريف الكولوم) المقادير التالية:

$$q_1 = q_2 = 1\ C\ .\ \mathrm{r} = 1\ \mathrm{m}$$

فوجد أن قوة التنافر الكهروستاتيكية المتبادلة بينهما تساوي: $\mathrm{F} = 9 \cdot 10^9\ \mathrm{N}$

وبالرجوع للعلاقة الرياضية الأولى نجد أن ثابت التناسب يساوي:

$$\mathrm{K} = \frac{\mathrm{F\ r^2}}{q_1 q_2} = \frac{(9 \cdot 10^9\ \mathrm{N})(1\ m^2)}{1\ C^2} = 9 \times 10^9\ \mathrm{N}\ m^2C^{-2}$$

وعليه يمكننا إعادة كتابة العلاقة الرياضية على النحو الآتي: $\mathbf{F = 9 \cdot 10^9 \ \frac{q_1 q_2}{r^2}}$

ويمكننا إعادة كتابة الثابت على الشكل: $\mathbf{K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}}$

يمكننا إيجاد المقدار العددي لـ (ε_0) كما يلي:

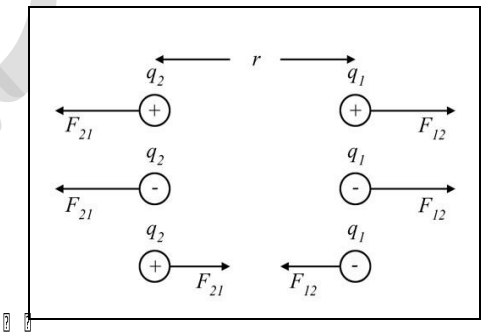
$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi K} = \frac{1}{4\pi(9\cdot 10^9)} = 8 \cdot 855 * 10^{-12} \ N^{-1} \cdot m^{-2} \cdot C^2$$

تعريف الكولوم:

هو مقدار الشحنة الكهربائية التي إذا وضعت في الفراغ على مسافة متر واحد من شحنة أخرى مماثلة لها، كانت القوة الكهروستاتيكية المتبادلة بينهما: $\mathbf{F = 9 \cdot 10^9 \ N}$

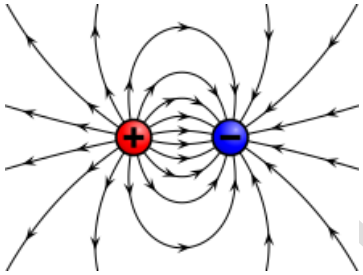
ملاحظة:

لابد لنا من الانتباه إلى ضرورة تحديد اتجاه تأثير القوة الكهروستاتيكية، وذلك لكي يكتمل تعريفنا للكمية الاتجاهية



رابعاً: الحقل الكهربائي (المجال الكهربائي) الساكن

تولد الشحنة الكهربائية حولها مجالاً كهربائياً يمتد في المنطقة المحيطة بها ويؤثر هذا المجال بقوة في أي شحنة كهربائية أخرى توضع فيه، فلو فرضنا أن شحنة كهربائية نقطية موجبة وضعت للاختبار بالقرب من جسم مشحون فإن هذه الشحنة تتعرض لقوة جذب أو دفع تنشأ من الشحنة الموجودة على الجسم.



تعريف المجال الكهربائي (أو الحقل الكهربائي): هو الفضاء المحيط بشحنة كهربية وهذا المجال يؤثر بقوة على الأجسام المشحونة.

يتم الاستدلال على وجود المجال الكهربائي بالاستعانة بشحنة نقطية موجبة تسمى شحنة الاختبار(q_0).

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0}$$

دلالات الرموز:

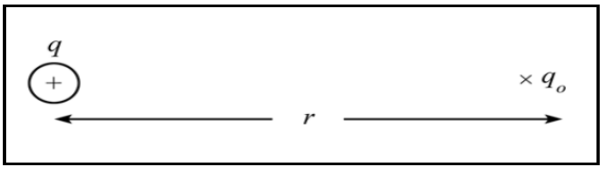
$\vec{E}$: شدة المجال الكهربائي ويقاس بواحدة (نيوتن/كولوم) رمزها ($\frac{N}{c}$) أو يقاس بواحدة (فولت/متر) رمزها($\frac{v}{m}$) ، وهي كمية شعاعية ذات قيمة مطلقة ويكون اتجاهها نفس اتجاه القوة ($\vec{F}$).

q_0 : الشحنة الاختبارية الموجبة وتقاس بواحدة كولوم (C).

$\vec{F}$: القوة الكهربائية وتقاس بواحدة نيوتن(N).

ومن الجدير بالذكر أن الشحنة الاختبارية سميت بهذا الاسم لإن مهمتها هي اختبار وجود المجال الكهربائي فقط، وليس لها أي أثر على طبيعته أو مقداره، إنما ينشأ المجال الكهربائي بسبب شحنة الجسم (q)، ويلاحظ من الشكل القوة الكهروستاتيكية المؤثرة على (q_0):

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq_0}{r^2}\vec{r}$$



الشحنة الاختبارية (q_o) تقع داخل حيِّز المجال الكهربائي للشحنة (q)

حيث (r) هي المسافة الفاصلة بين الشحنتين، أما شدة المجال الكهربائي فتكون:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\vec{r}$$

وهكذا تبين أن الشحنة الاختبارية لا علاقة لها بالمجال الكهربائي ومتجه الوحدة ($\vec{r}$) يشير إلى أن اتجاه المجال ($\vec{E}$) باتجاه القوة($\vec{F}$).

المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة نقطية:

المجال الكهربائي ($\vec{E}$) الناشئ عن شحنة نقطية مقدرها (q) عند نقطة تبعد عنها مسافة مقدراها (r) هو:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\vec{r}$$

والصيغة الرياضية المتداولة لحساب شدة المجال الكهربائي: $E = K\frac{q}{r^2}$

حيث:

K : ثابت التناسب (الثابت الكهروستاتيكي) وتقاس بـ ($N\ m^2C^{-2}$).

E : شدة المجال الكهربائي بواحدة نيوتن/كولوم($\frac{N}{c}$)

r^2 :مربع المسافة بين الشحنتين وتقاس بواحدة (m^2)

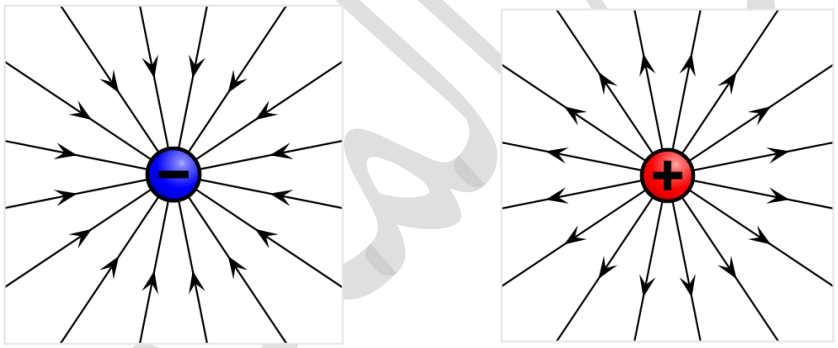
q : مقدار الشحنة الكهربائية وتقاس بالكولوم، رمزها(C)

خطوط المجال الكهربائي:

يمكن تمثيل خطوط المجال الكهربائي لشحنة بخطوط وهمية تسمى خطوط المجال الكهربائي وكل خط يدل على المسار الذي تسلكه شحنة الاختبار عند وضعها في مجال كهربائي

خصائص خطوط المجال الكهربائي:

- خطوط المجال الكهربائي خطوط وهمية لا تتقاطع، ولو تقاطعت لكان للمجال أكثر من اتجاه، لإنه لا يكون لشدة المجال الكهربائي عند نقطة إلا اتجاه واحد.
- تخرج من الشحنة الموجبة وتدخل في السالبة.
- عدد خطوط (كثافة خطوط) المجال الكهربائي الناتج من شحنة يتناسب طردياً مع مقدار تلك الشحنة.
- كثافة خطوط المجال الكهربائي تدل على مقدار المجال الكهربائي.

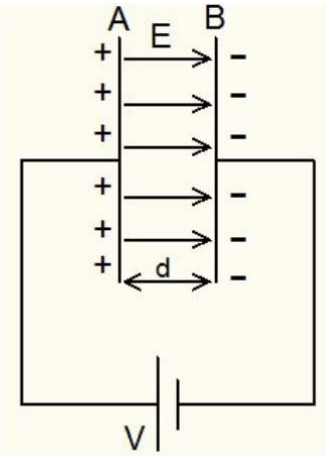


الشحنات الكهربائية ومجالاتها الكهربائية

مبدأ مصونية الشحنات الكهربائية:

هو مجموع الشحنات الكهربائية لنظام كهربائي محدد ضمن سطح مغلق أو معزول عن الوسط الخارجي أي لايتبادل أثر كهربائي مع الخارج (يبقى ثابتاً).

المجال الكهربائي المنتظم:



إذا كان لدينا لوحين موصلين متوازيين المسافة بينهما ووصلنا فرق جهد بين اللوحين فنلاحظ تبعاً لقطبية مصدر الجهد تكون شحنة موجبة على اللوح المتصل بالقطب الموجب وشحنة سالبة على اللوح المتصل بالقطب السالب، وإن هاتان الشحنتان متساويتان في المقدار وتكونان مجالاً كهربائياً منتظماً بين اللوحين يكون اتجاهه خارجاً من اللوح الموجب إلى اللوح السالب.

يمثل المكثف ذا اللوحين المتوازيين الذي سنتحدث عنه عند الحديث عن السعة الكهربائية.

وحيث أن فرق الجهد بين اللوحين يمثل الشغل المبذول لتحريك وحدة الشحنات لمسافة ما والشغل يمكن اعتباره فيزيائياً:

$$\mathbf{W = F \cdot d}$$

فنجد أن القوة هي شدة المجال بين اللوحين وعليه يمكننا القول:

$$\mathbf{v_A - v_B = E \times d}$$

أو بعبارة أخرى اللوحين الموصولين توازياً

$$\boldsymbol{E = \frac{V}{d}}$$

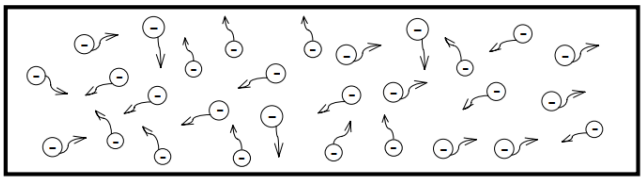
أساسيات الهندسة الكهربائية

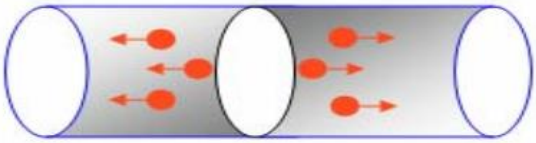
الفصل الثالث: التيار الكهربائي

علي المحمد

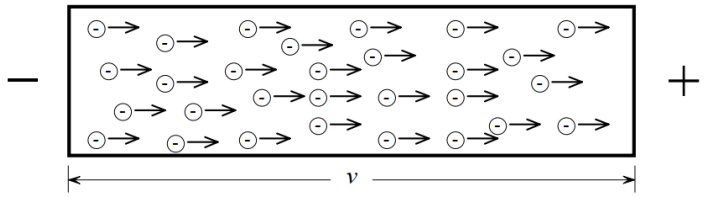
أولاً: التيار الكهربائي Electrical Current

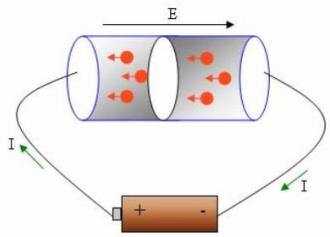
تحتوي الإلكترونات سالبة الشحنة على طاقة كامنة تجعلها تتحرك في جميع الاتجاهات بصورة مستمرة وعشوائية داخل الموصلات، أي أن عدد الإلكترونات الذي يعبر المقطع من جانب يساوي عدد الإلكترونات الذي يعبر المقطع من الجانب الآخر، أي أن محصلة الشحنات الكهربائية في الموصلات في هذه الحالة تساوي الصفر.





ولكن عند وضع جهد كهربائي بين أطراف هذا الموصل بحيث يكون أحد الأطراف موجباً والآخر سالباً، فإن مجالاً كهربائياً سينشأ خلال الموصل مما يؤدي إلى حركة الإلكترونات الحرة باتجاه القطب الموجب وذلك بسبب خاصية تجاذب الشحنات المختلفة أي في اتجاه يعاكس اتجاه المجال.





وبصورة أخرى فإن الشحنات الكهربائية الساكنة ينتج عنها مجال كهربي وجهد كهربي في المنطقة المحيطة بهما ولكن هذه الشحنات لا تنتج تياراً، أما إذا تحركت هذه الشحنات بشكل منتظم داخل منتظم داخل الموصل من نقطة إلى أخرى فنقول أن تياراً نشأ داخل الموصل وعليه فإن التيار الكهربي يعرف بأنه معدل سريان الشحنة الكهربية

ثانياً: تعريف التيار الكهربائي

هو عبارة حركة الإلكترونات الحرة التي تم تحريرها من مداراتها داخل النواة باتجاه واحد داخل الموصل، ويحمل التيار الكهربائي الطاقة الكهربائية من المنبع إلى أجزاء الدارة.

يقاس التيار الكهربائي في النظام الدولي للقياس بالأمبير، والأمبير هو مقدار تيار ثابت يبذل قوة مقدارها ($2 \times 10^{-7}\ N$) لكل متر واحد بين سلكين ناقلين مستقيمين متوازيين طويلين جداً يمر بهما تياران باتجاهين متعاكسين تفصلهما عن بعضهما مسافة مقدارها متر واحد في الفراغ حيث أن مساحة مقطع السلكين الدائرية مهملة لصغرها.

شدة التيار الكهربائي: هو كمية الشحنات الكهربائية التي تمر خلال مقطع الموصل وينشأ عنها نيار قيمته أمبير واحد في زمن قدره ثانية واحدة تحت تأثير القوة الدافعة الكهربائية (فرق الجهد الكهربائي) وتكون قيمته: $$\mathbf{I = \frac{q}{t}}$$

حيث:

$\mathbf{I}$: شدة التيار الكهربائي وتقاس بواحدة($\frac{\mathbf{coulomb}}{\boldsymbol{Second}}$) أي ($\frac{\mathbf{c}}{\mathbf{t}}$) وتسمى بالأمبير رمزها ($\mathbf{A}$).

$\mathbf{q}$: كمية الشحنة الكهربائية المتدفقة وتقاس بالكولوم، رمزها ($\mathbf{c}$).

$\mathbf{t}$: زمن التدفق وتقاس بالثانية، رمزها ($\mathbf{s}$).

$$\mathbf{1Ampere = \frac{1\ coulomb}{1\ \boldsymbol{Second}}}$$

وإذا اعتبرنا أن عدد الإلكترونات المارة في المقطع هو (n) خلال زمن قدره (t) فإن الشحنة الكلية المحمولة في المقطع المذكوروفي الزمن المحدد تعطى بالعلاقة: $q = n \cdot e$

وإذا تغيرت كمية الكهرباء التي تسري في ناقل ما، فإن التيار الكهربائي في ذلك الناقل سيتغير إيضاح وتعطى القيمة الآنية للتيار بالعلاقة التفاضلية التالية: $i = \frac{dq}{dt}$

حيث:

dq : تغيركمية الكهرباء، وتقاس بالكولوم، رمزها(Q).

dt : تغير الزمن، وتقاس بالثانية، رمزها(S).

i : القيمة الآنية للتيار، وتقاس بالأمبير، رمزها(A).

تعريف الأمبير:

(1A) يمثل حركة (6.24×10^{18}) من حوامل الشحنة (عادة الإلكترونات) التي تجتازنقطة ثابتة محددة من ناقل كهربائي خلال زمن قده(1 ثانية)

ثالثاً: كمية الكهرباء (Quantity of Charge)

تعريفها: هي كمية الإلكترونات التب تمر خلال مقطع الناقل في الثانية الواحدة رمزها (Q) واحدتها كولوم، رمزها (C). $Q = I \times t$

حيث:

Q : كمية الكهرباء، وتقاس بالكولوم، رمزها(Q).

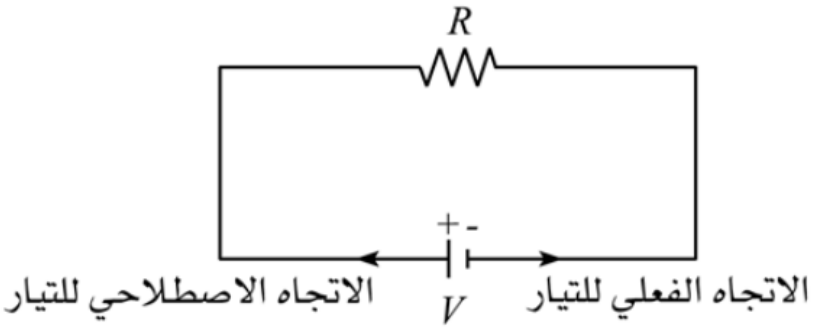
t : الزمن، وتقاس بالثانية، رمزها(S).

I : شدة التيار الكهربائي، وتقاس بالأمبير، رمزها(A).

أي أنه يمكن الحصول على كمية كهرباء قدرها (1C) عند مرورتيار كهربائي شدته(1A) لمدة (1S).

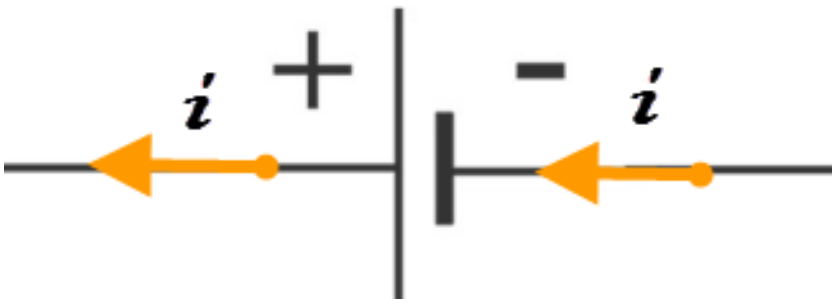
رابعاً: اتجاه التيار الكهربائي

التيار الكهربائي هو كمية عددية إلا أنه يجب تحديد اتجاهه في الدارة الكهربائية، والشحنات الموجبة تتحرك باتجاه المجال الكهربائي (E)، والشحنات السالبة تتحرك بعكس اتجاه المجال الكهربائي، يسري التيار الكهربائي من القطب الموجب إلى القطب السالب لمصدر الجهد خارجياً (الاتجاه الإصطلاحي)، و من القطب السالب إلى القطب الموجب داخلياً (الاتجاه الحقيقي) وهذا هو اتجاه حركة الإلكترونات، أي أن حركة التيار تكون من النقطة ذات الجهد الأعلى (المرتفع) إلى النقطة ذات الجهد الأقل (المنخفض)، القطب الموجب لمصدر الجهد يدفع حاملات التيار الموجبة بعيداً عنه باتجاه القطب السالب والذي يقوم بدوره بجذبها وهذا هو الذي يجعل الشحنات تدور في الدارة الكهربائية بعكس الاتجاه الإصطلاحي.



شكل يوضح الإتجاهين الحقيقي والإصطلاحي للتيار الكهربائي

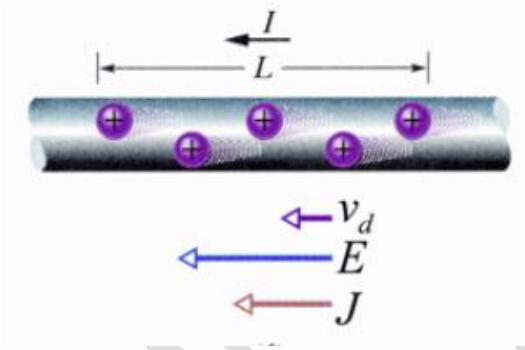
- التيار يمر داخل منبع الجهد من السالب إلى الموجب:



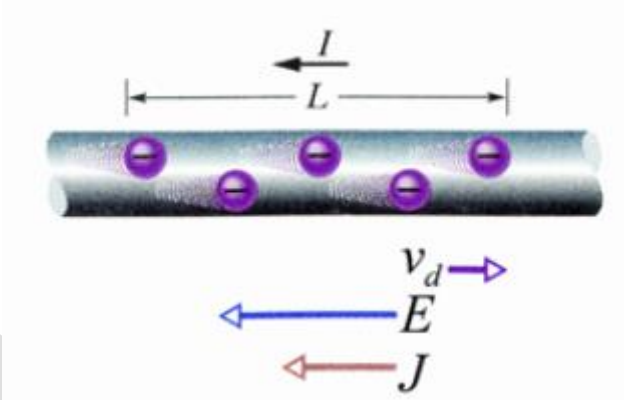
خامساً: كثافة التيار الكهربائي

تعريف كثافة التيار الكهربائي: هي نسبة التيار إلى المقطع (s) ويرمز لها بالرمز (J) ويقاس المقطع في هذه الحالة بالمليمتر المربع وتعطى واحدة كثافة التيار الكهربائي بالأمبير/ مم٢ ، رمزها $\mathbf{A/(mm^2)}$.

$$\mathbf{J = \frac{I}{s} \quad A/(mm^2)}$$



يبين الشكل ناقلات موجبة للتيار الكهربائي تنجرف بسرعة ($\mathbf{v_d}$) باتجاه المجال الكهربائي نفسه



يبين الشكل ناقلات سالبة للتيار تنجرف بسرعة ($\mathbf{v_d}$) بعكس اتجاه المجال الكهربائي، ومن الملاحظ أن كثافة التيار (J) باتجاه المجال الكهربائي ($\vec{\mathbf{E}}$).

في الشكل الأول وفي نقطة معينة من الناقل الموضح، نلاحظ أن الشحنة الكهربائية الموجبة تسري باتجاه المجال الكهربائي ($\vec{\mathbf{E}}$) نفسه ولغرض التعبير الصحيح عن هذا السريان نحتاج الآن إلى استخدام مفهوم كثافة التيار الكهربائي الذي يرمز له بالرمز ($\vec{\mathbf{J}}$) وهي كمية اتجاهية لها اتجاه المجال الكهربائي نفسه

ويبين الشكل كذلك أن التيار الكهربائي يتوزع بشكل منتظم خلال المقطع العرضي للناقل ذي الشكل المنتظم ويعبر عن كثافة التيار الكهربائي في هذه الحالة بالعلاقة الرياضية التالية:

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

وفي كلا الحالتين يكون اتجاه كثافة التيار $(\vec{J})$ باتجاه المجال الكهربائي $(\vec{E})$ بغض النظر عن إشارة الشحنة الكهربائية، ومن الممكن التعبير بشكل عام عن كثافة التيار الكهربائي خلال سطح ما إذا كان عمودياً أم لا بالعلاقة الرياضية التالية:

$$I = \int \vec{J} \cdot \overrightarrow{dA}$$

حيث $\overrightarrow{dA}$ هو متجه المساحة العمودي على عنصر المساحة التفاضلي (dA) ونلاحظ أن كل من $(\vec{J})(\overrightarrow{dA})$ مرتبطان بعلاقة الضرب القياسية السابقة

ومن الممكن أن نعبر عن شدة التيار الكهربائي المار في الناقل بدلالة سرعة الانجراف للشحنات المتحركة والمقصود بسرعة الانجراف (drift velocity) هو التدفق المباشر للإلكترونات الناقلة خلال ناقل منتظم، ويشار لها اختصاراً بالرمز $(\overrightarrow{v_d})$ ، والجدير بالذكر أن الإلكترونات لا تسير في الناقل في خطوط مستقيمة ، ولكنها تسير بخطوط متعرجة نتيجة التصادمات المتتالية بذرات الناقل ولكنها تبقى متحركة ببطء في اتجاه معاكس للمجال الكهربائي بسرعة متوسطة، وهي التي نطلق عليها سرعة الانجراف.

ولو عدنا للشكل السابق لرأينا أن الشحنات الناقلة للتيار الكهربائي تسير نحو اليسار بسرعة انجراف $(\overrightarrow{v_d})$، كما أن عدد الشحنات المارة خلال الطول (L) من الناقل هو (n AL) ، حيث (n) هو عدد الشحنات لوحدة الحجوم (AL) و(A) هي مساحة سطح المقطع للسلك وهكذا نجد أن مقدار الشحنة المارة خلال الفترة الزمنية (Δt) هي (Δq):

$$\Delta q = (n A L)\, e$$

حيث (e) هي شحنة الإلكترون المعروفة، و Δq تجتاز طولاً من الناقل مقداره (L) إذاً نجد الزمن اللازم لذلك هو:

$$\Delta t = \frac{L}{\overrightarrow{v_d}}$$

وبالتعويض نجد:

$$\mathbf{I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{(n\,AL)e}{L/v_d}}$$

$$\mathbf{I = nev_d}$$

وبقسمة الطرفين على المقدار (A) *نجد أن:*

$$\mathbf{\frac{I}{A} = nev_d}$$

وبملاحظة أن الطرف الأيسر هو عبارة عن كثافة التيار $(\vec{J})$ نجد أن:

$$\mathbf{\vec{J} = (ne)\overrightarrow{v_d}}$$

حيث $(\overrightarrow{v_d})$ هو متجه سرعة الانتشار

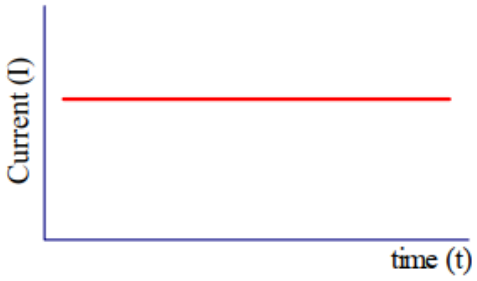
نلاحظ أن كل من $(\vec{J})$و$(\overrightarrow{v_d})$ لهما الاتجاه نفسه ، أما المقدار (ne) هو عبارة عن كثافة الشحنات الناقلة وتقاس بواحدة (c / m^3) كولوم لكل متر مكعب

ملاحظة:

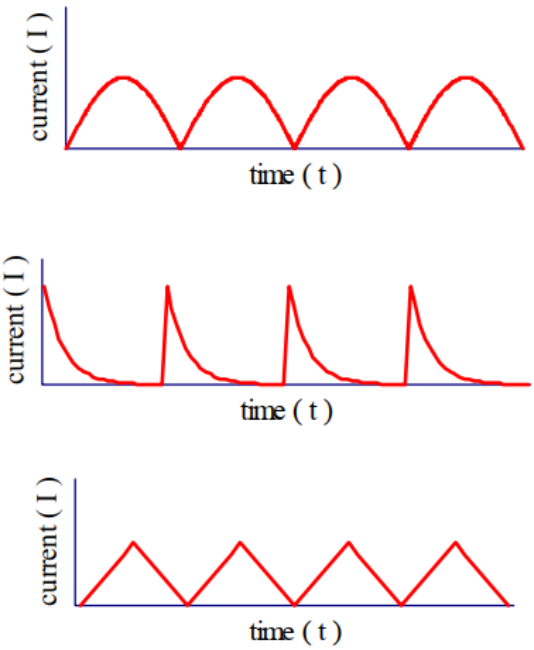
تختلف قيم التيار الكهربائي بالأمبير في الحياة العملية من دائرة كهربائية إلى أخرى، وقد تكون قيمته كبيرة جداً في بعض الدوائر بحيث تصل إلى مئات الآلاف من الأمبير مثل أفران صهر المعادن، وقد تكون قيمته صغيرة جداً لا تتعدى الجزء من المليون من الأمبير في الدوائر الإلكترونية .

سادساً: أنواع التيار الكهربائي

- **التيار المستمر (DC):** هو التيار الثابت القيمة والاتجاه رغم تغير الزمن.
- وفيه يسري التيار بتجاه واحد من القطب الموجب الى القطب السالب ونحصل عليه من البطاريات والمحولات المستمرة

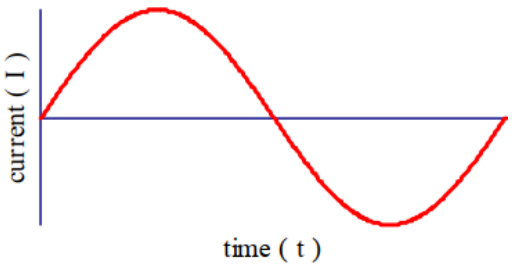


- **تيار موضعي:** هو تيار مستمر تتغير قيمته دورياً ولا يغير اتجاهه.



- **التيار المتردد (AC):** هو التيار المتغير القيمة والاتجاه دورياً مع تغير الزمن.
- يتغير اتجاه التيار عدة مرات محدودة في الثانية الواحدة ويطلق عليها مرات التغير (التردد) ويمكن الحصول عليها من المحولات المترددة

- التيار المتردد هو الأكثر استخداماً لعدة استخدام منها لسهولة نقله وسهولة رفع وخفض جهد التيار عن طريق المحولات



سابعاً: تأثيرات التيار الكهربائي:

- التأثير الحراري: عند مرو تيار كهربائي في سلك تسخين (من مادة مقاومة) فإن التيار سوف يتسبب في توليد حارة داحل السلك، ويستخدم في الدفايات والأفران الكهربائية وأجهزة تسخين الماء وكاويات اللحام والمدافئ.
- التأثير المغناطيسي: عند مرور تيار كهربائي في موصل فإنه يحدث تأثيراً مغناطيسياً حول الموصل يعتمد على مقدار و اتجاه التيار.
- التأثير الضوئي: عند مرور التيار الكهربائي في فتيل المصباح فإنه يتوهج، ويستخدم في المصابيح المتوهجة والفلورية والثنائيات الضوئية.
- التأثير الكيميائي: إذا مر تيار كهربائي في محلول كيميائي فإنه يتحلل إلى مركباته الأولية، ويستخدم في عمليات استخلاص وتنقية وطلاء المعادن.
- التأثير الفسيولوجي: نعلم أن الأوامر العصبية عبارة عن تيارات كهربائية ضعيفة تنتقل من الدماغ إلى العضلات، وعندما يتعرض جسم الإنسان إلى جهد خارجي عال فإنه يحدث خللاً في هذه العملية، وتحدث تشنجات في العضلات ناتج عن التيار الكهربائي غير المنتظم القادم من المصدر الخارجي، ويمكن قياس التيارات الذاتية للجسم عن طريق جهاز تخطيط القلب أو الدماغ.

<u>ملاحظة</u>:المقاومة الوسطية للجسم البشري (1000 Ω) ، ويبدأ التيار المستمر بالتأثير على جسم الإنسان عند قيم (120 mA أي 120 V)، وبالنسبة للمتناوب (50 mA أي 50 V)، وتدعى هذه القيم بالقيم الحدية.

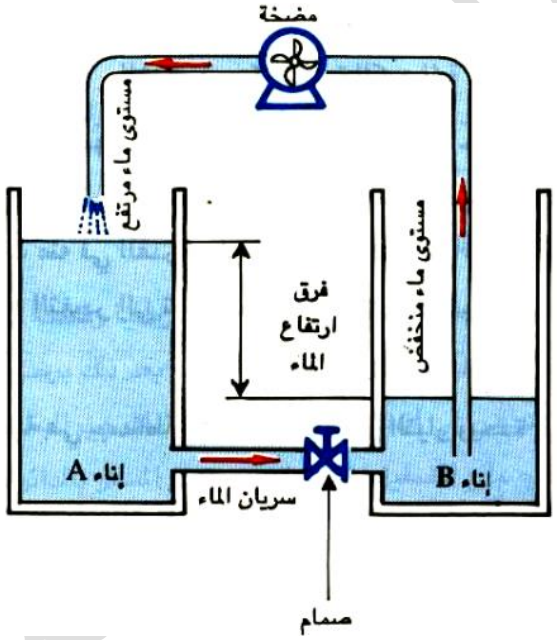
أساسيات الهندسة الكهربائية

الفصل الرابع: الجهد الكهربائي

علي المحمد

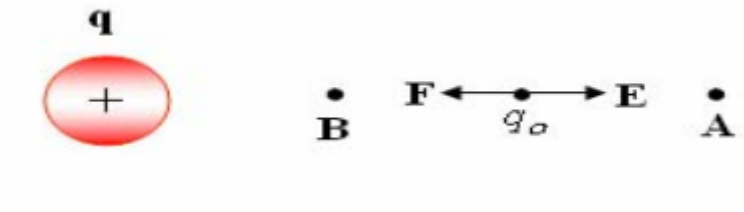
أولاً: الجهد الكهربائي أو الكمون الكهربائي Eiectic Voltage :

إن انتقال الشحنات الكهربائية بين الأجسام أو من نقطة إلى أخرى ضمن المجال الكهربائي يشبه بعض الظواهر الطبيعية التي نراها في الحياة اليومية، ومن المثال على ذلك انتقال الحرارة من الجسم الساخن إلى الجسم البارد عند تلامسهما حتى تصبح درجة حرارة كل منهما متساوية، وكذلك ينتقل الماء من الضغط العالي في الأناء (A) إلى الضغط المنخفض في الأناء (B) حتى يتساوى ضغط الماء في كلا الإنائين أي حتى يتساوى سطح الماء في كلا الإنائين، إن الفرق في مستوى الماء في كلا الإنائين يمثل فرق الجهد الكهربائي، والمضخة تمثل مصدر الجهد (البطارية)، و سريان الماء فيمثل التيار الكهربائي، والصمام يمثل المقاومة الكهربائية.



مفهوم الجهد الكهربائي

إذا قمنا بتوصيل جسمين مشحونين كهربائياً فإن الشحنات تبدأ بالانتقال من أحدهما إلى الآخر، وهذا لا يمكن أن يحدث إلا إذا كان الجهد الكهربائي لاحدهما أعلى من الآخر، فلنفرض أن لدينا كرتان من المعدن مشحونتين كهربائياً ولكن الشحنة لأحدهما أكبر من الأخرى، فإذا حدث تلامس بينهما فإن الشحنات الكهربائية تبدأ بالانتقال من الكرة ذات الجهد الكهربائي المرتفع (التي لها مقدار أكبر من الشحنات) إلى الكرة ذات الجهد الكهربي المنخفض ويستمر هذا الانتقال حتى يتساوى الجهد الكهربائي في كلا الكرتين.



نعلم أن شحنة الكهربائية موجبة (q) تولد حولها مجالاً كهربائياً، بحيث لو وضعنا شحنة اختبار موجبة (q_0) عند النقطة (B) فإن المجال سوف يدفع الشحنة (q_0) إلى النقطة(A) مثلاً، ولإعادة الشحنة (q_0) من النقطة(A) إلى النقطة (B) نؤثر عليها بقوة مقدارها $(\vec{F})$ أي أننا سنبذل شغلاً على الشحنة (q_0) مقدارها W_{AB} ويخزن هذا الشغل على شكل طاقة تسمى طاقة وضع كهربائية ويرمز لها بالرمز (ΔPE) حيث:

$$W_{AB} = \Delta PE = PE_B - PE_A$$

ولو تركنا للشحنة (q_0) حرية الحركة فإنها تستهلك طاقة الوضع الكهربائية على هيئة طاقة حركية للإنتقال من (B)إلى (A)

لنقسم طرفي المعادلة على (q_0) لنحصل على كمية جديدة كما يلي:

$$\frac{W_{AB}}{q_0} = \frac{PE_B - PE_A}{q_0}$$

إذاً الكمية الجديدة هي $\frac{PE}{q}$ وتسمى بالجهد الكهربائي ويرمز لها بالرمز V حيث $V = \frac{PE}{q}$

PE: طاقة الوضع الكهربائية وتقاس بواحدة الجول (J).

q: مقدار الشحنة وتقاس بالكولوم، رمزها(C).

V: الجهد الكهربائي ويقاس بواحدة الطاقة مقسوماً على وحدة الشحنة أي $\frac{\text{جول}}{\text{كولوم}}$ رمزه ($\frac{J}{c}$) ويساوي فولت رمزه (V)

نستنتج أن التغير في طاقة الوضع الكهربائي مقسوماً على الشحنة المنقولة يساوي تساوي فرق الجهد بين نقطتين

$$\Delta V = V_B - V_A$$

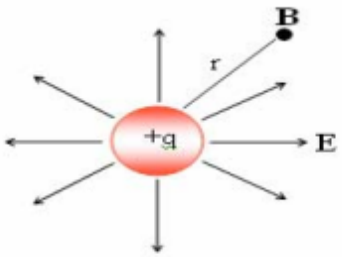
$$\Delta V_{BA} = \frac{PE_B - PE_A}{q}$$

إذاً نعرف فرق الجهد بين نقطتين بأنه الطاقة المفقودة من وحدة الشحنات الكهربائية عند انتقالها بين هاتين النقطتين

أما واحدة القياس الفولت فنعرفها على أنها فرق الجهد بين نقطتين عندن يفقد الكولوم الواحد طاقة مقدارها ($1J$) بين هاتين النقطتين

الجهد الكهربائي الناشئ عن شحنة كهربائية:

لحساب الجهد الكهربائي في نقطة (B) مثلاً تبعد مسافة (r). عن الشحنة (q) كما في الشكل:



ولا بد من أختيار نقطة مرجعية يكون الجهد عندها مساوياً للصفر، وقد أصطلح أن الجهد في اللانهاية يساوي الصفر لذلك عندما نحسب الجهد الكهربائي عند النقطة (B) فإننا نحسب فرق الجهد بين تلك النقطة و المالانهاية، ويعرف الجهد الكهربائي V في نقطة بأنه:

الشغل المبذول في تحريك وحدة الشحنات الكهربائية من ما لانهاية إلى تلك النقطة دون إحداث أي تغير في طاقتها الحركية ورياضياً على الشكل التالي:

$$V = \frac{w}{q_0}$$

ولكن:

$$w = \frac{q\, q_0}{r}$$

وبالتعويض عن الشغل W نحصل على ما يلي:

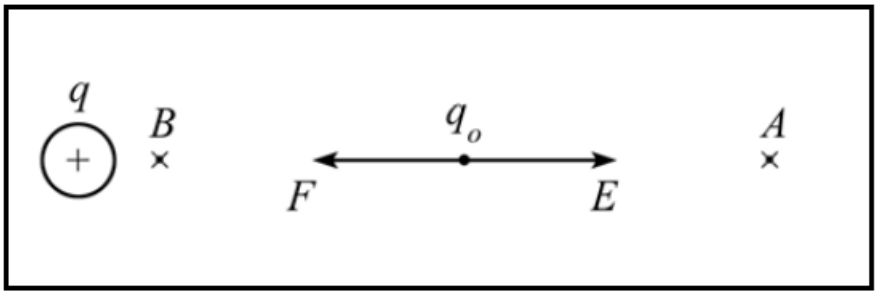
$$\mathbf{w = k\frac{q}{r}}$$

فإذا كانت النقطة (B) و اقعة في مجال عدد من الشحنات فإن جهدها يساوي المجموع الجبري للجهود الناشئة عن كل شحنة على حدة في تلك النقطة:

$$\mathbf{w = k\ \Sigma\ \frac{q}{r}}$$

يكون الجهد موجباً أو سالباً تبعاً للشحنة المولدة للمجال لذلك يجب التعويض عن قيمة الشحنة بإشارتها وفي الجواب النهائي إذا ظهرت إشارة الجواب موجبة دل على أن الجهد موجب و أذا ظهرت سالبة دل أنه سالب.

طريقة أخرى:



فرق الجهد لشحنة كهربائية اختبارية $(\mathbf{q_0})$

إذا تحركت الشحنة الكهربائية الإختبارية (q_0) من النقطة (A) إلى النقطة (B) وبسرعة ثابتة داخل مجال تأثير الشحنة الموجبة (q+) فإن مقداراً من الشغل يبذل عليها ويختزن فيها على شكل طاقة تسمى الطاقة الكامنة الكهربائية (electric potential enegry)، و المقدار الناتج عن قسمة الشغل المبذول في تحريك هذه الشحن الاختبارية بين نقطة البداية (A) و النهاية (B) على الشحنة الاختبارية ذاتها يسمى فرق الجهد بين هاتين النقطتين (potential difirernce) ونستطيع التعبير رياضياً عن هذا المفهوم بالعلاقة الآتية:

$$\mathbf{V_{BA} = V_B - V_A = \frac{W_{A\rightarrow B}}{q_0}}$$

$$W_{A\to B} = (V_B - V_A)q_0 = \Delta U$$

حيث:

$W_{A\to B}$: الشغل المبذول بواسطة القوة الخارجية (F) لنقل الشحنة (q_0) من (A) إلى (B).

V_B:الجهد الكهربائي عند النقطة (B).

V_A: الجهد الكهربائي عند النقطة(A).

ΔU: التغير في الطاقة الكامنة للشحنة (q_0).

ولبيان العلاقة بين الشغل المبذول على الشحنة (q_0) وطاقتها الكامنة الكهربائية نتأمل مرة أخرى الشكل السابق لنجد أن القوة (F) تساوي المقدار() وتعاكسه في الاتجاه وهذا مايفسرلنا أن الشغل هو مقدارسالب ، أي أن:

$$-W_{A\to B} = -\Delta U$$

ونستطيع الآن أن نعرف حاصل ضرب الشحنة في الجهد عند نقطة ما بأنه الطاقة الكامنة للشحنة في تلك النقطة ، فمثلاً الطاقة الكامنة للشحنة (q_0) عند النقطة (B) تساوي ($V_B\ q_0$) وبناءً على ما تقدم فإن فرق الجهد بين نقطتين ($V_B - V_A$) يساوي مقدار التغير الحاصل في طاقة الوضع الكهربائية مقسوماً على الشحنة المنقولة ومعنى ذلك :

$$V_B - V_A = \frac{\Delta U}{q_0} = \frac{UB - UA}{q_0}$$

وبصفة عامة يمكننا إيجاد الشغل الكهربائي المبذول بين نقطتين داخل المجال الكهربائي للشحنة النقطية (q) والمؤثرة على شحنة اختبارية (q_0) من العلاقة الرياضية:

$$w = F \cdot r = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq_0}{r^2}r = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{qq_0}{r}$$

حيث (r) هي المسافة الفاصلة بين النقطتين (B) و(B) ونلاحظ أيضاً أن كلاً من (F) لهما ذات الاتجاه أي أن الزاوية بينهما تساوي الصفر.

ملاحظة:

يصحب أي انفصال في الشحنة الكهربائية استهلاك طاقة أو شغل، وتكتسب الإلكترونات جزءاً من الطاقة أو الشغل ، وتكتسب الإلكترونات جزءاً من الطاقة المستهلكة عند فصل الشحنات ويمكن هذا الشغل من مرور الإلكترونات عبر دارة كهربائية مغفلة إلى القطب الموجب لمصدر الجهد مسبباً توازناً في الشحنات ويسمى هذا بالشغل الكهربائي، أو بمعنى أصح يسمى فرق الجهد بين نقطتين بأنه الشغل المبذول لتحريك وحدة الشحنات الموجبة بين النقطتين في اتجاه عكس المجال الكهربائي الموجود بينهما.

تعريف الجهد الكهربائي في نقطة ما: هو الشغل المبذول لتحريك وحدة الشحنات الكهربائية (الكولوم) من الـ "مالانهاية" إلى النقطة المطلوبة دون إحداث أي تغير في طاقتها الحركية ويقاس الجهد بوحدة ($\frac{J}{c}$) وهي عبارة عن الفولت (V) .

أو هو الطاقة التي تعطى للإلكترون ليتمكن من الحركة.

تعريف الفولت: هو جهد نقطة يلزم جولاً واحداً لنقل كولوم واحد إليها من الـ "ملانهاية"، وهو أيضاً فرق الجهد بين نقطتين يلزم جولاً واحداً لتحريك كولوم واحد بينهما.

يقاس الجهد الكهربائي بواحدة الفولت (V) نسبة للعالم الإيطالي فولت.

تعريف الكمون: الكمون الكهربائي لنقطة معينة من نقاط المجال يساوي العمل الذي تنجزه قوة المجال الكهربائي لتحريك واحدة الشحنة الموجبة من هذه النقطة إلى خارج المجال.

أما فرق الكمون بي نقطتين (V_1،V_2) من نقاط المجال فتساوي للعمل الذي تصرفه قوة المجال الكهربائي من أجل تحريك واحدة الشحنة من النقطة ذات الكمون المرتفع إلى النقطة ذات الكمون الأقل.

$$\mathbf{v = \frac{w}{q}\ ;\ \ q = I \cdot t}$$

$$\mathbf{v = \frac{w}{I \times t} = \frac{w/t}{I} = \frac{P}{I}}$$

حيث:

P: الاستطاعة (القدرة المصروفة خلال واحدة الزمن) ومنه نجد:

$$p = I \cdot V$$

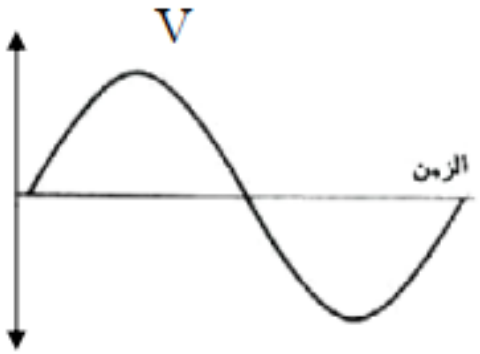
إذا قدرت (P) بالواط و (I) بالأمبير فعندئذ (V) تقدر بالفولت أي:

$$1\ \text{Volt} = \frac{1\ watt}{1\ Apere}$$

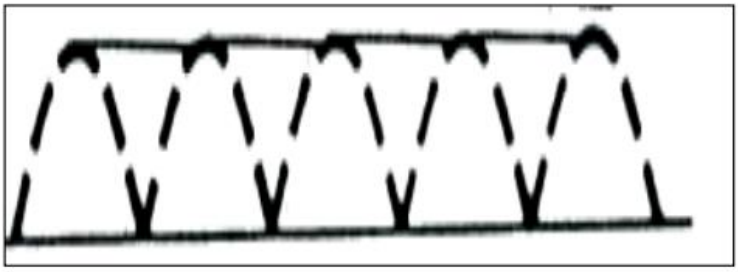
ثانيا: أنواع الجهد الكهربائي:

الجهد المستمر (DC): وهو ثابت القيمة والاتجاه مع تغير الزمن، إما دائما موجب (أو دائما سالب) ولكنه قد يزداد أو ينقص . ويمكن الحصول عليه من البطاريات والخلايا الشمسية ومولدات التيار المستمر.

الجهد المتردد (AC): وهو متغير القيمة والاتجاه مع تغير الزمن، ويمكن الحصول عليه من مولدات التيار المتردد (محطات توليد الكهرباء) وهو التيار المنزلي.



الجهد المختلط: وهو متغير القيمة ثابت الإتجاه مع تغير الزمن، ويمكن الحصول عليه من دارات تقويم التيار المتردد.

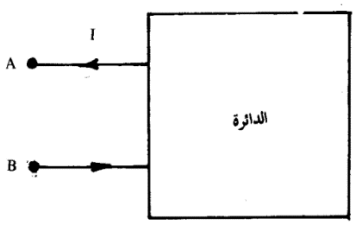


مصادر الجهد الكهربائي:

البطاريات، المولدات الكهربائية، الخلايا الشمسية، المولدات الحرارية، المولدات النووية، وحدات الإمداد بالقدرة الكهربائية، محطات توليد القدرة باستخدام الرياح

قامون حفظ الطاقة:

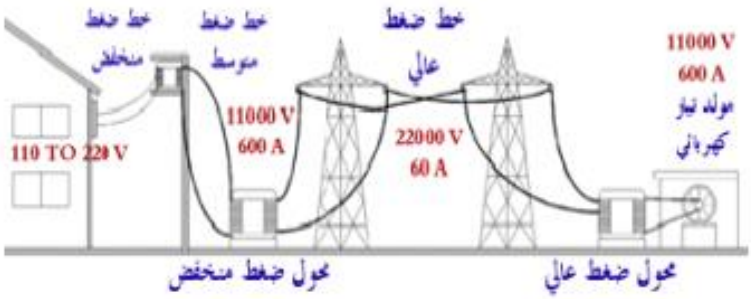
الطاقة التي تصرف لدفع التيار خلال العنصر سوف تظهر في محل آخر



توليد الكهرباء:

تقوم المولدات الضخمة بتحويل الطاقة الميكانيكية للمحركات إلى طاقة كهربائية وهذه الطاقة الناتجة تكون بحدود (١١٠٠٠ الى ٢٠٠٠٠ فولت) فتدخل الكهرباء في محول رفع يقوم برفع الكهرباء إلى حدود ٢٢٠٠٠٠

فولت والسبب في رفع الفولت هو تخفيض قيمة التيار الكهربائي حتى يساعد في في التوصيل إلى الى مسافات بعيدة دون الحاجة الى اسلك سميكة تستهلك كمية كبيرة من النحاس و ترتفع بذلك كلفة التوصيل إضافى إلى ذلك استهلاك جزء كبير من التيار على شكل حرارة ناتجة من الأسلاك .



المنابع الكهربائية (Electric Sourse)

ويمكن أن نطلق عليها مصادر الطاقة الكهربائية، ولها عدة أنواع:

- البطاريات: وفيها تتحول الطاقة الكيميائية أثناء عملية التفريغ إلى طاقة كهربائية وهي تنتج فرق صغير جزئياً بين طرفيها ويسري التيار خارج البطارية من القطب الموجب (عبر الأحمال المختلفة) إلى القطب السالب، وتعتبر من منابع التيار المستمر.

- المولدات الكهربائية: وفيه تتحول القوة الميكانيكية (وفيها يتم تحويل الحركة عن طريق بخار الماء – الوقود) إلى طاقة كهربائية عن طريق التفاعل الذي يحدث في المولد بين المجال المغناطيسي والتيار المار في اسلاك المولد ويوجد نوعان من المولدات مولدات التيار المستمر والمتناوب.

- الخلية الشمسية: تقوم الخلية الشمسية بتحويل ضوء الشمس مباشرة إلى طاقة كهربائية باستخدام اشباه الموصلات، عن طريق اكساب الالكترونات طاقة عن طريق الضوء تتحول الطاقة الضوئية الى كهرباء نتيجة تحرر زوج من الإلكترونات الحرة

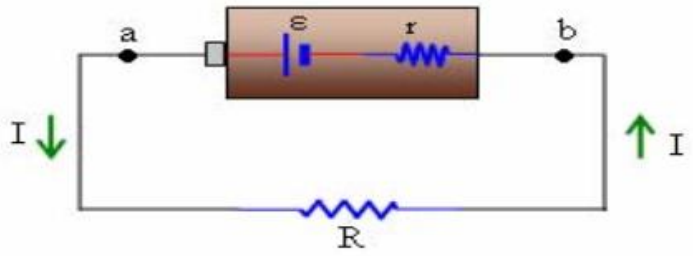
القوة المحركة الكهربائية (Electron-Motive Force) (E.M.F):

لكي تتحرك الإلكترونات المكونة للتيار لابد لها من طاقة تكتسبها من منبع الطاقة الكهربائية قد يكون على شكل بطارية أو مولد كهربائي مثلاً وتسمى هذه الطاقة بالقوة المحركة الكهربائية للمصدر ويرمز لها بالرمز ε (emf) واختصارا (E)، وتقاس بواحدة الفولت (V) وتعرف بأنها: الطاقة الكهربائية التي يعطيها المولد لكل كولوم يجتازه.

ففي البطارية تتحول الطاقة الكيميائية أثناء عملية التفريغ إلى طاقة كهربائية، وهي تتيح لنا فروق جهد صغيرة نسبياً بين طرفيها ،و يسري التيار الكهربائي خارج البطارية من القطب الموجب عبر الأحمال المختلفة إلى القطب السالب، والتيار لابد أن يسري في مجال مغلق، أي أنه لابد أن يسري داخل البطارية من القطب السالب إلى القطب الموجب والشغل المبذول لتحريك وحدة الشحن من القطب السالب إلى القطب الموجب داخل البطارية يسمى القوة المحركة الكهربائية.

وفي مولدات التيار المستمر تتحول الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية، وهذه الطاقة تتيح فرق جهد عالي نسبياً ، ومثل البطاريات فإن هناك قوة دافعة كهربائية تدفع التيار إلى المرور من القطب السالب للمولد إلى القطب الموجب للمولد داخل أسلاك المولد نفسه تسمى القوة الدافعة الكهربائية.

في حال كان لدينا مصدراً للطاقة (بطارية مثلاً) قوته المحركة الكهربائية (ε) ومن مقاومة خارجية (R)



إن تياراً يسري من القطب الموجب إلى القطب السالب عبر المقاومة الخارجية (R) ، وكذلك فإن هذا التيار يسري داخل مصدر الجهد من القطب السالب إلى القطب الموجب ويجد مقاومة وتسمى المقومة الداخلية (r)، وبالتالي يمكن تقسيم الجهد الكهربائي الكلي الذي تمثله القوة المحركة الكهربائية (ε) إلى قسمين:

الجهد الخارجي (V) بين النقطتين a وb والذي يدفع التيار خارج المصدر عبر المقاومة (R) يعطى بالعلاقة:

$$V = \mathbf{R} \cdot \mathbf{I}$$

الجهد الداخلي (V_r) وهو الجهد الذي يدفع التيار داخل مصدر الجهد عبر المقاومة (r) يعطى بالعلاقة:

$$V_r = \mathbf{I} \cdot \mathbf{r}$$

والعلاقة بين القوة الدافعة الكهربائية (ε) والجهد بين طرفيه (V) يعطى بالعلاقة:

$$\varepsilon = \mathbf{V} + \mathbf{V_r}$$

ويلاحظ من هذه العلاقة أن القوة المحركة الكهربائية (ε) أكبر من فرق الجهد بين طرفيه ($\mathbf{V}$) ويتساويان في حالتين:

- أن تكون (r) صغيرة جداً مقارنة بـ ($\mathbf{R}$) وبالتالي يمكن أهمال (r)
- عندما تكون الدارة مفتوحة وبالتالي لا يمر أي تيار كهربائي في الدارة.

ولحساب التيار الكلي المار في الدارة من العلاقة التالية:

$$\varepsilon = \mathbf{V} + \mathbf{V_r}$$

$$\varepsilon = \mathbf{R} \cdot \mathbf{I} + \mathbf{I} \cdot \mathbf{r}$$

$$\varepsilon = \mathbf{I} \cdot (\mathbf{R} + \mathbf{r})$$

$$\mathbf{I} = \frac{\varepsilon}{\mathbf{R} + \mathbf{r}}$$

<u>وتسمى المعادلة الأخيرة بمعادلة الدارة الكهربائية.</u>

الفرق بين القوة المحركة الكهربائية والجهد:

الجهد: فرق الكمون بين نقطتين في دارة كهربائية والذي يسبب مرو التيار الكهربائي

القوة المحركة الكهربائية: هو العامل المسبب لمرور التيار الكهربائي في دارة كهربائية بالرغم من وجود المقاومات فيها.

تقاس كل من القوة المحركة الكهربائية والجهد بالفولت أو أجزاءه أو مضاعفاته

يتم الحصول على القوة المحركة الكهربائية كيميائياً بواسطة الأبيال أو المدخرات وميكانيكياً بواسطة المولدات.

فمثلاً: القوة المحركة الكهربائية لبطارية 12 V تعني أن البطارية تعطي لكل كولوم (1 C) يجتازه طاقة مقدارها 12 J .

علي المحمد

أساسيات الهندسة الكهربائية

الفصل الخامس: المقاومة الكهربائية

علي المحمد

أولاً: المقاومة

جميع النظم الطبيعية تخضع لقانون الطبيعة (Fundamental Law) واستجابة النظام للقوة التي يتعرض لها تتناسب مباشرة، كما أن القوة التي تؤثر على النظام تلقى مقاومة معاكسة لها، فعلى سبيل المثال أن معدل تدفق الماء في نظام معين يعتمد على الضغط ويتناسب عكسياً مع مقاومة الأنابيب نتيجة سريان الماء فيها، أما إذا تغير تدفق الماء وتحول إلى أنابيب ذات أقطار صغيرة فإنه يلقى مقاومة أكبر لذلك فإنه في مجال الدوائر الكهربائية تكون جميع العناصر الإلكترونية المكونة تخضع للعلاقات الأساسية أي تدفق سريان الماء وكذلك الضغط والإعاقة له.

تدعى الخاصية التي تمتلكها المواد والتي تسبب إعاقة أو معاكسة سريان التيار الكهربائي فيها عند تسليط فرق جهد عليها بالمقاومة (electrical resistance) لهذه المواد، وتختلف المواد في مقدار إعاقتها لمرور التيار الكهربائي، فالمقاومة العالية تسمح بمرور القليل من التيار فالبلاستيك والزجاج والهواء مقاومته عالية والتيار لا يسري فيها، بينما المعادن مثل الذهب والفضة والنحاس مقاومتها منخفضة فهي تسمح بمرور التيار بسهولة، إذاً الموصل الجيد تكون مقومته صغيرة والعكس صحيح، بينما تقع مقاومة السيليكون (شبه الموصل) بين النواقل والعوازل أي أن مقاومته أكبر من مقاومة النحاس و أقل من مقاومة المطاط، فالسلك الكهربائي مكون من جزء معدني يسمح بسريان التيار وهذا الجزء يكون مغطى بغلاف بلاستيكي مقاومته عالية لا يسري به تيار.

ان عبور التيار الكهربائي لجسم موصل أو شبه موصل ينتج عنه اصطدام الإلكترونات بذرات هذا الجسم مما يسبب فقدان بعض طاقتها، وبالتالي فإنه كلما زادت الاصطدامات كان مرور الإلكترونات صعباً، أي أن ممانعة الجسم لمرور التيار أكبر، هذه الممانعة تسمى مقاومة.

تعرف مقاومة الأجسام عموماً بأنها ممانعة هذه الأجسام لمرور التيار الكهربائي فيها.

أما المقاومة كعنصر: فهي عنصر إلكتروني سلبي يعمل على إعاقة وممانعة مرور التيار الكهربائي (أي يقلل من شدته)، وبالتالي فإنه يتم اسقاط جهد معين بين طرفيه حتى يستطيع التيار المرور من خلاله.

الرمز في القوانين والحسابات: R.

واحدات قياس المقاومة: (الأوم Ω ، الكيلو أوم K Ω ، الميغا أوم M Ω).

الرمز في الدوائر الكهربائية والإلكترونية:

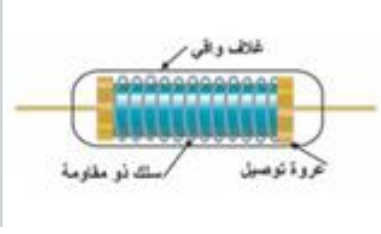
الرمز العالمي الرمز الأوربي

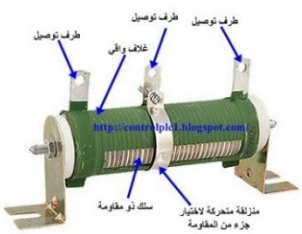
ثانياً: أنواع المقاومات

1- المقاومات الثابتة (المقاومات العيارية): وتتميز هذه المقاومات بأنه لا يمكن تغيير قيمتها الأومية، وتكون قيمتها مكتوبة عليها بشكل مباشر (أرقام) أو غير مباشر(ألوان)، وبالتالي تضاف قيمتها الكلية إلى قيمة مقاومة الدائرة الكهربائية التي توصل بها، وتختلف في الاستخدام على حسب قدرتها على تمرير التيار الكهربائي فمنها ذات الحجم الكبيروالتي تستخدم مع التيارات الكبيرة ومنها الصغيرالتي تستخدم مع التيارات الكبيرة،

- المقاومة الكربونية: تكون المادة الناقلة فيها مصنوعة من الكربون، ويكون لها قيم أومية كبيرة ولكن استطاعتها صغيرة.

- المقاومة السلكية: تكون المادة الناقلة فيها عبارة عن سلك ملفوف على جسم المقاومة ويجب أن يكون هناك مسافة بين كل لفة ويكون لها قيم أومية صغيرة نوعاً ما، ولكن الاستطاعة تكون كبيرة.



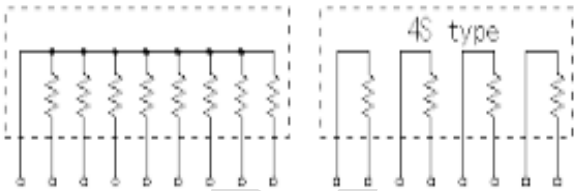


- **المقاومة السطحية(SMD):** مقاومات مخصصة للتركيب على وجه واحد للوحة الإلكترونية دون الحاجة للثقوب والتثبيت.

- **المقاومة الشبكية:** هذا النوع من المقاومات تكون متوضعة في غلاف واحد أسود اللون بأرجل عمودية وتكون المقاومات موصولة من نهايتها بنقطة واحدة مشتركة وتكون بداياتها حرة، وتتوفر بسبع مقاومات وثمانية وأربعة، وفي بعض الأحيان تكون عبارة عن عدد من المقاومات في غلاف دارة متكاملة وتكون حرة البداية والنهاية

مقاومة شبكية

الشكل

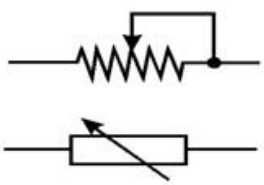


الرمز

2- **المقاومة المتغيرة:** تصمم بحيث يمكن تغيير قيمتها ميكانيكياً (يدوياً) بواسطة وصلة متحركة (منزلقة)، وتستخدم في تقسيم الجهد والتحكم بالتيار الكهربائي.

شكل (1)

شكل (2)

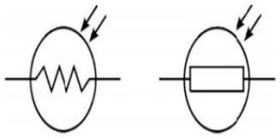


الرمز

ملاحظة:

يمكن اعتبار المقاومات التي تتغير قيمتها ذاتياً بسهولة ضوئياً (المقاومة الضوئية) أو حرارياً (المقاومة الحرارية) أنها مقاومات متغيرة.

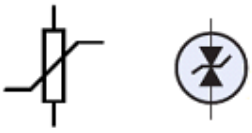
3-المقاومة الضوئية(الكهروضوئية)(LDR): وهي تقوم بتحويل الضوء إلى مقاومة، وتصنع هذه المقاومات من مادة سلفيد الكاديوم (CDS) وتنخفض قيمتها الأومية عند ازدياد شدة الإضاءة ، وتزداد قيمتها عند انخفاض شدة الضوء (تصل قيمتها الأعظمية في الظلام إلى (2 MΩ) ، وفي الضوء الشديد الناصع تصل قيمتها إلى (100Ω).



الرمز

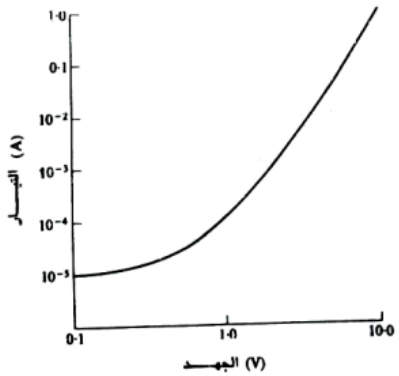
الشكل

4 - مقاومة الكمون المتغير(VDR) الفايرستور (Voltage Dependent resistor): وهي مقاومات مصنوعة من كربيد السليكون وهو عنصر يغير قيمته طبقاً للجهد المطبق على طرفيه حيث أن مقاومته تقل لحظياً وبذلك تمتص جزءاً من الطاقة المباغتة فتكسر حدتها إذا ازداد الجهد المطبق على طرفيه، والقطبية غير مهمة بالنسبة لهذا العنصر، ويستخدم في الدارات لحمايتها من ارتفاع الجهد فوق عتبة معينة في دارات التيار المتناوب والمستمر ويوصل دوماً على التوازي مع العناصر والأحمال المراد حمايتها.



الرمز

الشكل

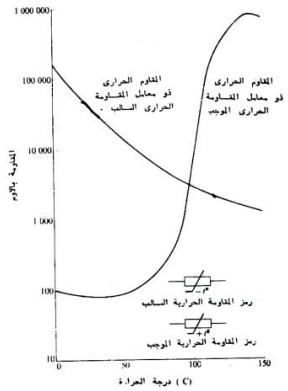


العلاقة بين الجهد والتيار للمقاومة تابعة الجهد (الفايرستور)

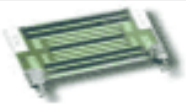
5- المقاومة الحرارية (الترمستور): وهو عنصر إلكتروني يحول الحرارة إلى مقاومة وتتغير قيمته تبعاً لدرجة الحرارة المحيطة ، ويوجد نوعان من تلك المقاومات الحرارية:

الرمز الأمريكي　　الرمز العالمي

- المقاومة الحرارية الموجبة (Positive Temperature Coefficient Thermistor) (PTC) تزداد قيمتها الأومية عند ارتفاع درجة الحرارة، وتختلف قيمتها بحسب نوعها.
- المقاومة الحرارية السالبة (Negative Temperature Coefficient Thermistor) (NTC) تنقص قيمتها الأومية عند ارتفاع درجة الحرارة، وتختلف قيمتها بحسب نوعها.



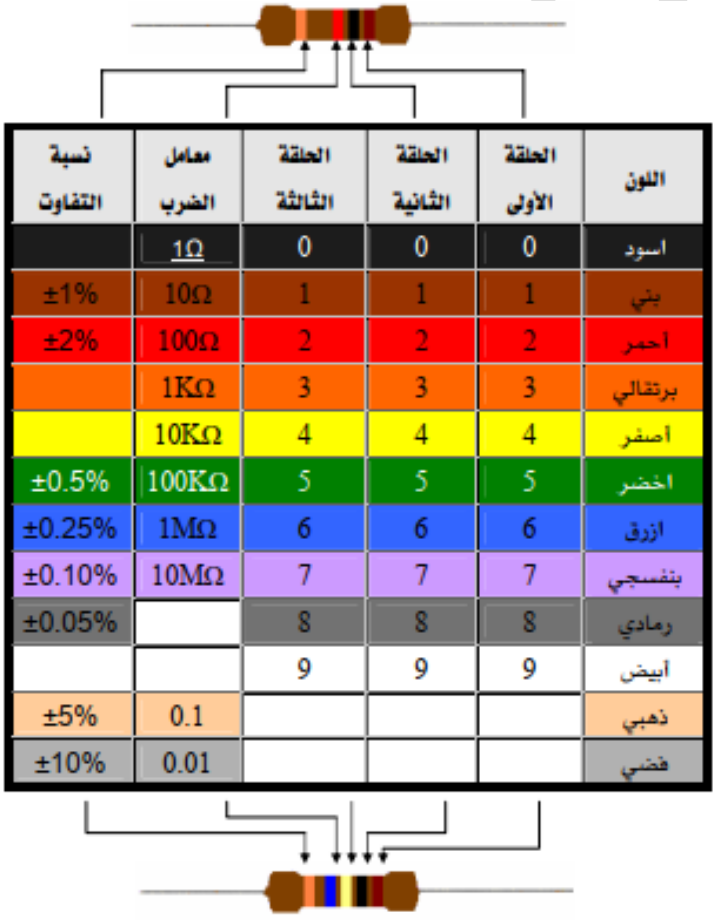
جدول لبعض أنواع المقاومات:

 المقاومة(الوصلة) الصفرية Jumper (Zero Ohm)	 المقاومة المغطاة بألمنيوم Aluminum Housed
 المقاومة ذات الأوم المنخفض Low Ohm	 المقاومة الكربونيةCarbon Comp
 المقاومة الشبكية Network	 المقاومة السيراميكية Ceramic Encased
 المقاومة الفلمية ذات الجهد العالي Power Film	 المقاومة الفلمية Film
 المقاومة الخاصةSpecialty	 المقاومة الغطائيةFoil
 المقاومة السطحية Surface Mount	 المقاومة المصهرية Fusible
 المقاومة الحساسة للحرارةTemp ensitity	 المقاومة ذات الجهد العالي High Voltage
 المقاومة السلكية Wire wound	 المقاومة ذات الأوم العالي High Ohm

ثالثاً: قراءة قيمة المقاومة:

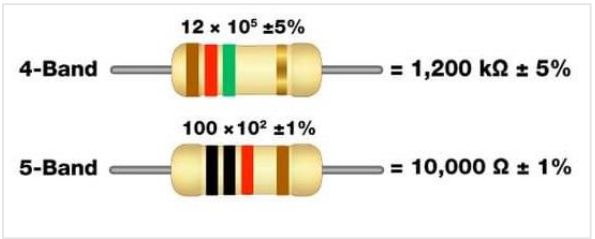
نظراً لصعوبة كتابة قيمة المقاومة لصغر حجمها فقد استخدام الألوان بحيث تطبع على جسم المقاومة لتدل على قيمتها وهنالك طريقتان للترميز اللوني:

- رباعية النطاق اللوني: بحيث يدل اللون الأول والثاني على رقم اللون، واللون الثالث على القيمة المضروبة، ويبعد اللون الرابع عن بقية الألوان ليعبر عن نسبة التفاوت في القيمة.
- خماسية النطاق اللوني: وفيه يدل اللون الأول والثاني والثالث على رقم اللون، والرقم الرابع على القيمة المضروبة، ويبعد اللون الخامس عن بقية الألوان ليعبر عن نسبة التفاوت في القيمة .



اللون	الحلقة الأولى	الحلقة الثانية	الحلقة الثالثة	معامل الضرب	نسبة التفاوت
اسود	0	0	0	1Ω	
بني	1	1	1	10Ω	±1%
احمر	2	2	2	100Ω	±2%
برتقالي	3	3	3	1KΩ	
اصفر	4	4	4	10KΩ	
اخضر	5	5	5	100KΩ	±0.5%
ازرق	6	6	6	1MΩ	±0.25%
بنفسجي	7	7	7	10MΩ	±0.10%
رمادي	8	8	8		±0.05%
ابيض	9	9	9		
ذهبي				0.1	±5%
فضي				0.01	±10%

مثال:



أساسيات الهندسة الكهربائية

الفصل السادس: قانون أوم

علي المحمد

أولاً: قانون أوم Ohm Law

قام العالم الألماني جورج سيمون أوم (Gorge Simon Ohm) عام (1826) بدراسة فرق الجهد بين طرفي مقاومة كهربائية وشدة التيار الكهربائي المار فيها، وينص قانون أوم على أن التيار الكهربائي المار في موصل يتناسب طرداً مع فرق الجهد بين طرفيه عند ثبوت درجة الحرارة وهذا ما يسمى بقانون أوم التجريبي.

$$\mathbf{V = I \cdot R}$$

V: الجهد على المقاومة، ويقاس بواحدة الفولت، رمزها(**V**).

I: التيار المار في المقاومة، ويقاس بالأمبير، رمزه(A).

R:المقاومة، وتقاس بالأوم، رمزها(**Ω**).

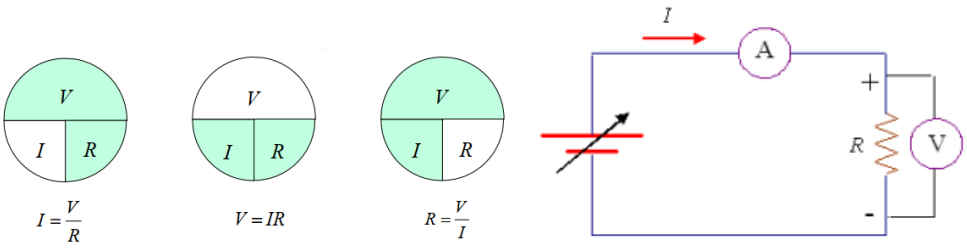
ثانياً: وحدة قياس المقاومة

يمكن كتابة العلاقة السابقة على الشكل: $\mathbf{R = \frac{V}{I}}$ ومنه وحدة قياس المقاومة في النظام الدولي هي (فولت/أمبير) ($\frac{V}{I}$) وتكافئ (أوم) رمزها(**Ω**).

الأوم: هي مقاومة موصل فرق الجهد بين طرفيه (1 فولت) عند يمر فيه تيار شدته (1 أمبير).

ثالثاً: علاقة المقاومة بالتيار والجهد

أثبت أوم أن العلاقة بين المقاومة والجهد طردية (كلما زادت المقامة زاد الجهد على طرفيها)، وأن العلاقة بين المقاومة التيار خطية وكذلك العلاقة بينهما عكسية (أي كلما زادت المقاومة قل التيار المار فيها)، وكذلك فإن العلاقة بين الجهد والتيار طردية (أي كلما زادت قيمة الجهد على طرفي المقاومة زاد التيار المار فيها).



رابعاً: مقاومة السلك الموصل (Resistance of Wire):

تعتمد قيمة المقاومة لعنصر ما على شكله الهندسي (الطول والمساحة والمقطع العرضي) وكذلك على خاصيته المقاومية (resistivity) لذلك العنصر، وتعتمد الأخيرة على التركيب الذري للعنصر ودرجة حرارته وكثافة الشحنات الحاملة للتيار الجاهزة للحركة تحت تأثير مجال قوة (فرق الجهد على سبيل المثال) وهي خاصية ذاتية ولذلك:

حيث:

R: مقاومة الناقل (Resistance) ،واحدتها(أوم) (***Ohm***) رمزها (**Ω**).

L: طول الناقل (Length)، واحدته متر، رمزه (**m**).

A: مساحة مقطع الناقل (Cross-section Area) ، واحدته (متر^{2})، رمزه ($\mathbf{m^2}$).

$\boldsymbol{\rho}$: المقاومة النوعية للناقل ، واحدتها (أوم. متر) رمزها (**Ωm**).

خامساً: المواصلة الكهربائية (الناقلية الكهربائية) (Conductance):

وهي مقلوب المقاومة الكهربائية

$$\mathbf{G = \frac{1}{R}}$$

$$\mathbf{R = \frac{1}{G}}$$

$\mathbf{I = G \cdot V}$ (**I** تتناسب طردياً مع V عند ثبوت درجة الحرارة)

حيث:

G: المواصلة أو الناقلية، وتقاس بالسيمنز(Siemens)، رمزها(S)

سادساً: المقاومة النوعية (المقامية)(Resistivity):

وهي خاصية للمادة أو ثابت يخص المادة، وتختلف قيمتها من ناقل إلى آخر وذلك طبعاً للمعدن المصنوع منه الناقل.

إذا مر تيار كهربائي شدته (1A) في موصل طوله(1m) عند تطبيق فرق في الكمون قدره (1V) تكون مقاومته النوعية $(\mathbf{1\Omega m})$

و هي مقاومة موصل منتظم المقطع طوله(1m) ومساحة مقطعه($1m^2$)، رمزها $(\boldsymbol{\rho})$ وتسمى (رو)، وتقاس بواحدة $(\frac{\Omega m^2}{m})$ وتساوي $(\mathbf{\Omega m})$.

<u>جدول يوضح الفرق في المقاومة النوعية في الموصلات، وأشباه الموصلات:</u>

Element	Resistivity (Ωm)	Element	Resistivity (Ωm)
Lithium	8.9×10^{-8}	Germanium	0.46
Sodium	4.2×10^{-8}	Selenium	10^{-2}
Sodium	4.2×10^{-8}	Silicon	10^{-3}
Copper	1.7×10^{-8}	Tellurium	4.4×10^{-3}
Silver	1.6×10^{-8}		
Tin	1.1×10^{-7}	Boron	1.8×10^{4}
Barium	5.0×10^{-7}	Phosphorus	10^{9}
Manganese	1.9×10^{-6}	C (diamond)	10^{11}

سابعاً: الناقلية النوعية الكهربائية (الموصلية الكهربائية)

وهي مقلوب المقاومة النوعية، وهي خاصية فيزيائية للفلز تعتمد على نوع المادة ودرجة الحرارة وهي تعبر عن قدرة المادة على التوصيل الكهربائي، ويرمز لها $(\boldsymbol{\sigma})$

إذا مر تيار كهربائي شدته (1A) في موصل طوله(1m) عند تطبيق فرق في الكمون قدره (1V) تكون مقاومته النوعية$(1\ \frac{S}{m})$

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

$\boldsymbol{\sigma}$: الناقلية النوعية، واحدتها $(\frac{I}{\text{أوم·متر}})$ أي $(\frac{I}{\Omega \cdot m})$ أو $(\frac{\text{سمنز}}{\text{متر}})$ أي $(\frac{S}{m})$.

ثامناً: العلاقة بين كثافة شدة التياروفرق الجهد الكهربائي:

$$V = I \cdot R$$

$$V = I \cdot \rho \frac{L}{A}$$

$$V = \rho \cdot L \cdot J$$

$$E \cdot L = \rho \cdot L \cdot J$$

ومنها:

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

ولكن:

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

إذاً:

$$J = \sigma \cdot E$$

حيث:

J:شدة كثافة التيار الكهربائي، واحدتها (أمبير/ مم٢)، رمزها $A/(mm^2)$

E: شدة المجال الكهربائي، ويقاس بواحدة (نيوتن/كولوم) رمزها $(\frac{N}{c})$.

وهي صيغة أخرى لقانون أوم، ويطلق عليها قانون أوم النظري، وينص على أن: (كثافة شدة التيار تتناسب طرداً مع شدة المجال المؤثر داخل الموصلات الفلزية).

تاسعاً: تأثير درجة الحرارة على مقاومة الموصل

بما أن مقاومة الموصل تعتمد على درجة الحرارة ارتفاعاً و انخفاضاً فإن العلاقة بين الجهد والتيار تكون غير خطية، وإن التغير في درجة الحرارة يسبب تغيراً في المقاومة النوعية، وفق العلاقة:

$$\mathbf{R = R_0(1 + \alpha\,\Delta T)}$$

$$\mathbf{\rho = \rho_0(1 + \alpha\,\Delta T)}$$

$\mathbf{(R)}$ و$\mathbf{(\rho)}$: المقاومة النوعية والمقاومة عند درجة الحرارة الجديدة.

$\mathbf{(R_0)}$ و$\mathbf{(\rho_0)}$: المقاومة النوعية والمقاومة عند درجة الحرارة المعلومة.

$\mathbf{\alpha}$: معامل المقاومة النوعية، واحدته $(\frac{1}{C^\circ})$ أو$(\frac{1}{K^\circ})$.

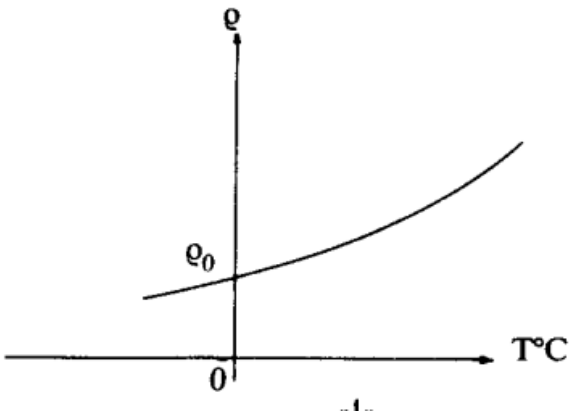
$\mathbf{\Delta T}$: التغير في درجة الحرارة $(\mathbf{T_2 - T_1})$، وواحدته(C°) أو(K°).

وهذه المعادلات تصلح فقط للمعادن.

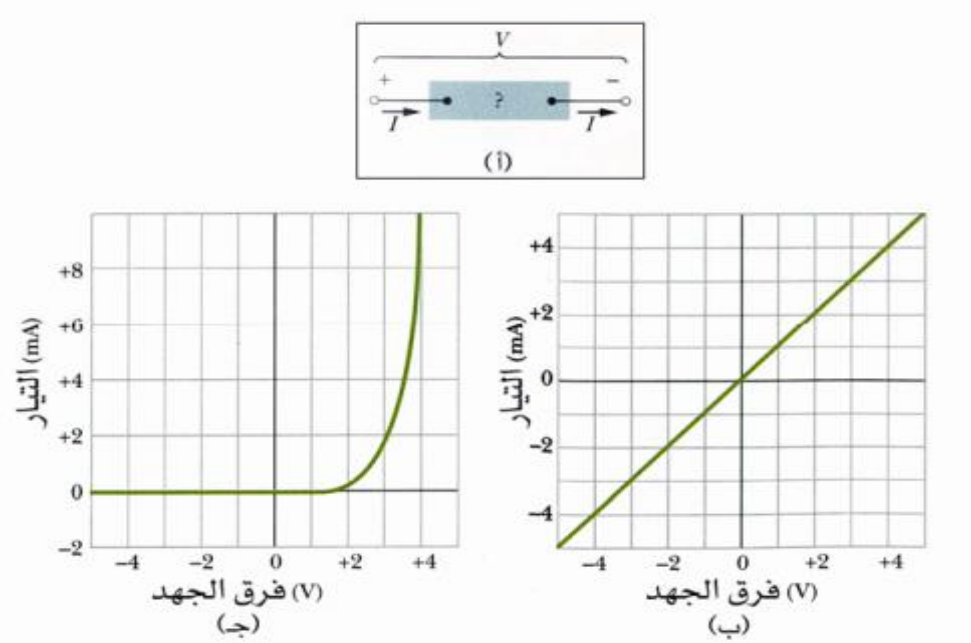
عاشراً: تصنيف الموصلات حسب انطباق قانون أوم عليها

- المقاومات الأومية (الخطية): العلاقة بين $\mathbf{(V)}$و$\mathbf{(I)}$ خطية، أي أن كل تغير في الجهد يتبعه تغير في التيار، وتكون قيمة $\mathbf{(R)}$ ثابتة، ولا تعتمد على مقدار فرق الجهد المؤثر، ويكون الميل ثابتاً، ويمثل الميل $(\frac{1}{V})$ ويساوي قيمة ثابتة في الموصلا ت المعدنية وتحت تأثير ثابت في درجة الحرارة.
- المقاومات اللا أومية (الغير خطية): العلاقة بين $\mathbf{(V)}$و$\mathbf{(I)}$ غير خطية، أي أن التغير في الجهد لا يتبعه تغير منتظم في التيار، وتكون قيمة $\mathbf{(R)}$ متغيرة، لذلك لا تخضع هذه المقاومات لقانون أوم، ولذلك تسمى غير أومية كأشباه الموصلات مثل الثنائيات والمقاومات التي تتغير بتغير درجة الحرارة أو شدة الضوء الساقط عليها.

<u>إن المقاومة النوعية لأشباه الموصلات تقل بارتفاع درجة الحرارة وذلك بسبب زيادة عدد الإلكترونات الحرة</u>



العلاقة بين المقاومة النوعية (ρ) ودرجة الحرارة (T) للموصلات.



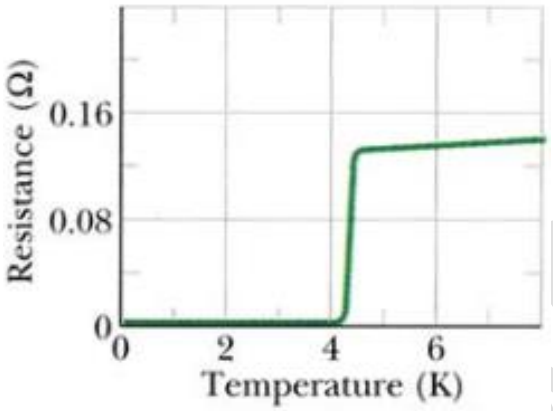
أ- فرق الجهد *(V)* يؤمن تياراً ثابتاً مقداره *(I)*.

ب- خط بياني يوضح كيف يتغير التيار *(I)* مع فرق الجهد *(V)* عندما يكون الجهاز عبارة عن مقاومة (١٠٠٠ Ω).

جـ- خط بياني يوضح كيف يتغير التيار *(I)* مع فرق الجهد *(V)* عندما يكون الجهاز عبارة عن ثنائي بلوري *(p.n)*

أخيراً: فرط التوصيل أو فوق التوصيل (Super Conductivity)

تمكن العالم الفيزيائي الألماني (Kammerlingh Onnes) من اكتشاف أن المقاومة النوعية للزئبق تختفي تماماً و تنعدم عند درجة حرارة المقاربة للمقدار(4K)، ويكون الزئبق عنده صلباً.



إن لهذه الظاهرة أهمية في عالم التكنولوجيا وذلك لإن الشحنات الكهربائية يمكنها المرور في هذه الحالة دون أن تفقد أي جزء من المقدار $(\mathbf{I^2 \cdot R})$ في معادلة القدرة الكهربائية وفق المعادلة($\mathbf{w = I^2 \cdot R}$)والتي تسمى قانون جول للتسخين، كما أن القصدير هو الآخر تتلاشى مقاومته النوعية عند درجة الحرارة (7,2K) وعلى وجه العموم فإن جميع المعادن تقترب مقاومتها النوعية من الصفر كلما أقتربت درجة الحارة من الصفر المطلق.

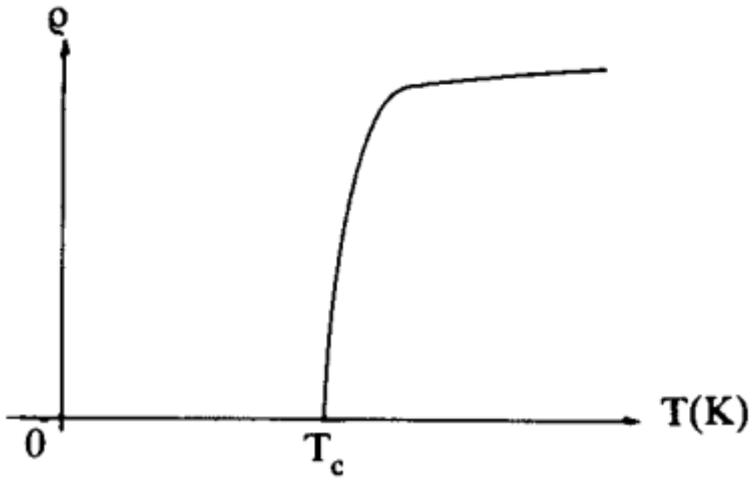
في عام 1986 أن مركباً من مادة السيراميك وهو مادة عازلة يمتلك هذه الخاصية عند درجة الحرارة (125K).

<u>الخلاصة:</u>

المواد التي تمتلك صفة فرط التوصيل تفقد مقاومتها فقداً تاماً عند درجات الحرارة المنخفضة، كما أن البحوث الحديثة تشير على أن الأمر ليس مقتصراً على درجات الحرارة المنخفضة بل تحصل عند درجات الحرارة مرتفعة نسبياً تؤدي إلى حصولها في درجة حرارة الغرفة مثلاً، وعلى أسوأ الاحتمالات عند درجة حرارة النتروجين السائب (77K).

ملاحظة:

في حال السوائل الموصلة فإن المقاومة تنخفض بارتفاع درجة الحرارة نتيجة انخفاض لزوجة المحلول بارتفاع درجة الحرارة مما يؤدي زيادة سرعة الأيونات ولذلك فإن المعامل الحراري لهذه المقاومات يكون سالباً.



العلاقة بين المقاومة النوعية (ρ) ودرجة الحرارة (T) للمواد فائقة التوصيل.

أساسيات الهندسة الكهربائية

الفصل السابع: الطاقة والقدرة

علي المحمد

أولاً: الطاقة والقدرة الكهربائية

الكهرباء هي أحد أشكال الطاقة، وكما هو معروف فإن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث من العدم، و إنما تتحول من شكل إلى آخر، ويمكن إنتاج الطاقة الكهربائية بتحويل مختلف أشكال الطاقة الميكانيكية والحرارية والضوئية والكيميائية إلى طاقة كهربائية لتشكيل المنابع الكهربائية، كما تستخدم الأجهزة الكهربائية لتحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة المفيدة كالطاقة الحرارية والضوئية والميكانيكية والكيميائية.

نستنتج بأن العمل الذي ينجزه منبع الطاقة الكهربائية خلال زمن (t)، أو العمل الذي تبذله القوى الخارجية عند فصل الشحنات داخل المنبع يساوي إلى الطاقة الكهربائية للمنبع وتساوي:

$$\mathbf{w = E \times Q = E \times I \times t}$$

وفي الحمل تحدث عملية عكسية حيث تتحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة أخرى (ضوئية – حرارية – ميكانيكية)

إن العمل (أو الطاقة) التي يصرفها تيار كهربائي شدته $\mathbf{I}$ (في الحمل) خلال الزمن $(\mathbf{t})$ عند جهد (V):

$$\mathbf{w_L} = V \times I \times t = R \times I^2 \times t = \frac{V^2 \times t}{R}$$

تعبر الاستطاعة عن شدة تحول الطاقة من شكل لآخر خلال واحدة الزمن (أي الطاقة التي يأخذها أو يعطيها المنبع خلال واحدة الزمن)، وإن استطاعة منبع التيار المستمر تساوي:

$$\mathbf{P = \frac{w}{t} = E \times I}$$

وللحمل:

$$\mathbf{P_L = \frac{w_L}{t}} = RI^2 = V \times I = \frac{V^2}{R}$$

ثانياً: القدرة الكهربائية(الاستطاعة) (Electric Power)

معدل بذل الشغل أو قياس مدى سرعة بذل الطاقة وهي مقدار معين من الطاقة(W) المبذولة خلال فترة زمنية محددة (t)

أو هي معدل الشغل المبذول (W) لتحريك شحنة (q) بين نقطتين في زمن (t) لوجود فرق جهد قدره (V).

$$\text{القدرة} = \frac{\text{الطاقة}}{\text{الزمن}} \qquad \text{Power} = \frac{\text{Energy}}{time} \qquad P = \frac{E}{t}$$

$$\text{القدرة} = \frac{\text{العمل (الشغل) المبذول}}{\text{الزمن}} \qquad \text{Power} = \frac{\text{Work}}{time} \qquad P = \frac{W}{t}$$

حيث:

P: القدرة (Power)، وتقاس بالوات (Watt).

E: الطاقة (Energy)، وتقاس بالجول رمزها(J).

W: العمل المبذول (Work)، ويقاس بالجول، رمزها(J)

t: الزمن(time)،ويقاس بالثانية (second)رمزها (s).

الوات(Watt):

هو كمية الشغل المبذول مقداره واحد جول لفترة زمنية مقدارها ثانية واحدة، أي أن الوات يمثل واحد جول لثانية واحدة. أي أن: $\text{Watt} = \frac{\text{Joule}}{\text{second}}$

أو بصورة أخرى، الوات هو القدرة المبذولة في دارة كهربائية إذا مر فيها تيار كهربائي شدته أمبير واحد تحت فرق جهد مقداره فولت واحد.

والوات هو الواحدة الأساسية لقياس القدرة في الدارات الكهربائية والإلكترونية التي لا تحوي رديه(Reactance).

واحدات قياس القدرة:

الكيلوواط : $\mathbf{1KW = 1000\,W}$

القدرة الحصان (Horse Power): تعطى قدرة المحركات والمضخات الكهربائية في بعض الأحيان بالحصان الميكانيكي، ويرمز لها بالرمز(HP). 1 HP=746 W

ثالثاً: القدرة في الدارة الكهربائية

$$P = \frac{W}{t} = \frac{W}{t} \times \frac{Q}{Q} = \frac{W}{Q} \times \frac{Q}{t} = V \times I$$

إذاً: $P = V \times I$

$\mathbf{V}$: الجهد، ويقاس بواحدة الفولت، رمزها $(\mathbf{V})$.

$\mathbf{I}$: التيار المار في المقاومة، ويقاس بالأمبير، رمزه (A).

Q: الشحنة الكهربائية، وتقاس بالكولوم، رمزها(C).

صور أخرى للقدرة:

من قانون أوم: $\mathbf{V = I \cdot R}$

$$\mathbf{p = v \cdot I = (I \cdot R) \cdot I = I^2 \cdot R}$$

$$\mathbf{p = V\left(\frac{V}{R}\right) = \frac{V^2}{R}}$$

رابعاً: الطاقة الكهربائية المستهلكة (Electrical Energy)

هي المقدرة على بذل الشغل أو أداء العمل، وهي محصلة جداء الاستطاعة بالزمن.

$$E = P \cdot t \qquad \text{أو} \qquad W = P \cdot t$$

وتقاس بواحدة (الجول) (Joul)، رمزها(J)، أو تقاس بواحدة (وات . ثانية) (Joul.second) رمزها (J.s).

الجول: يكافئ أمبير عند فولت واحد لكل ثانية

واحدات قياس الطاقة:

الكيلووات ساعي: $$KWh = \frac{watt \times hours}{1000}$$

خامساً: الطاقة(الاستطاعة) المبددة في المقاومة

إن الاستطاعة التي تبددها المقاومة (أو أي عنصر آخر) تعبر عن هبوط الجهد على طرفيها عند مرور التيار الكهربائي فيها.

من قانون أوم: $$V = I \cdot R$$

يمثل المقدر $(V \cdot I)$ الاستطاعة المستهلكة وبالتالي فإن الطاقة في هذه الدارة تكون:

$$p = v \cdot I = (I \cdot R) \cdot I = I^2 \cdot R$$

يعبر الحد $(I^2 \cdot R)$ عن الضياعات النحاسية، ويعرف أحياناً بالضياع $(I^2 \cdot R)$، وبشكل مشابه يمكن التعبير عن الطاقة كما يلي:

$$p = V\left(\frac{V}{R}\right) = \frac{V^2}{R}$$

سادساً: القدرة المقننة في المقاومات (Power Rating of Resistors)

- تعريفها: هي القدرة القصوى التي تفقدها (تبددها) المقاومة دون أن تتضرر بسبب الزيادة الكبيرة في درجة الحرارة.

ملاحظة:

المقاومة الكربونية لها معايير محددة للقدرة المقننة (Power Rating) كما يلي:

$$(\frac{1}{8}\mathrm{w}\ \ \frac{1}{4}\mathrm{w}\ \ \frac{1}{2}\mathrm{w}\ \ 1\mathrm{W}\ \ \mathrm{and}\ \ 2\mathrm{w})$$

- القيمة القصوى للقدرة التي تبددها والمسموح بها للمقاومة تعتمد على مساحة سطح المقاومة (Surface Area) أي أنه كلما زادت مساحة سطح المقاومة زادت القدرة التي يمكن للمقاومة أن تبددها أو تفقدها.

- **اختيار القدرة المناسبة للمقاومة في الدوائر الكهربائية:**

عند استخدام المقاومة في الدوائر الكهربائية المختلفة، فإنه يجب ألا تتجاوز القدرة المبددة (المفقودة) تحت ظروف التشغيل (الحد الأقصى المنصوص عليها من طرف الصانع) لذا يجب معرفة أقصى قيمة للقدرة التي تفقدها (تبددها) المقاومة في الدارة.

- **أعطال (أعطاب) المقاومات في الدارة الكهربائية (Resistor Failures):**

إذا كانت القدرة المفقودة على المقاومة أعلى من الحد المسموح به للقدرة المقننة للمقاومة، فإن ذلك سيؤدي إلى احتراق المقاومة أو تغير في قيمتها، حيث تظهر آثار الاحتراق على المقاومة، أما تغير قيمتها فيمكن التأكد منه باستخدام الأفو.

سابعاً: الكفاءة (Efficiency)

تنتقل الطاقة الكهربائية من المصدر الكهربائي إلى الأحمال عبر الموصلات الكهربائية ويمكننا أن نعرف الكفاءة(η) :

$$\eta = Po / Pi$$

حيث:

Po: القدرة الخارجة وتقاس بالوات حيث:

$$Pi = Po + Ploss$$

Pi: القدرة الداخلة (قدرة المنبع) وتقاس بالوات

وتحسب بطريقتين:

- $Pi = E \times I$ **(E: جهد المنبع ، I: التيار الداخل)**
- $Pi = Po + Ploss$ **حيث(Ploss) هي القدرة المفقودة في الموصل** $Ploss = I^2 \times R$

حيث (I: شدة التيار ، R: المقاومة)

ويمكننا حساب الكفاءة بدلالة الطاقة: $\eta = W_o / W_i$

حيث: W_i: الطاقة الداخلة، W_o: الطاقة الخارجة

توازن الاستطاعة:

الاستطاعة المستهلكة في الدارة: $P1 = I_{eq}^2 \times R_{eq}$

الاستطاعة المقدمة من المولد: $P2 = E \times R_{eq}$

تكون الاستطاعة متوازنة إذا كان: $P2 = P1$

ثامناً: قانون جول (Jouls Law)

عند مرور التيار في السلك الناقل فإن هذا السلك يسخن نتيجة اصطدام الإلكترونات بالذرات، ويحدد قانون جول كمية الحرارة الناتجة عن مرور التيار في الموصل.

فحسب هذا القانون تتناسب كمية الحرارة (Q_t) الناتجة في السلك الناقل طرداً مع مربع التيار ومع مقاومة هذا الناقل(R):

$$Q_t = R \times I^2 t \ [J]$$

وبمقارنة هذه العلاقة مع العلاقة ($W_L = V \times I \times t = RI^2 = \frac{V^2 \times t}{R}$)

نجد أن كمية الطاقة التي يطلقها الموصل تساوي كمية الطاقة التي اكتسبها هذا الموصل عند مرور التيار به، تقاس كمية الحرارة في علم الفيزياء بالحريرة [cal] (الحريرة هي كمية الحرارة اللازمة لتسخين غرام واحد من الماء درجة مئوية واحدة (1J = 0.24 cal) فيصبح قانون جول في هذه الحالة كالتالي:

$$Q_t = 0.24\ R \times I^2\ t\ [cal]$$

أساسيات الهندسة الكهربائية

الفصل الثامن: الدائرة الكهربائية

علي المحمد

أولاً: الدارة الكهربائية Electrical Circuit

تعريف الدارة الكهربائية: هي ربط لمجموعة أجهزة وعناصر كهربائية فيها على الأقل مسار مغلق يمر فيه تيار كهربائي.

مكونات الدارة الكهربائية:

هناك أربعة أجزاء رئيسية يجب أن تتوفر في أي دارة كهربائية وهي:

- المنبع الكهربائي: وهو مصدر الجهد الذي يوفر الجهد اللازم لسريان التيار الكهربائي.

يتم في المنبع تحويل الطاقات المختلفة، كالكيميائية (البطاريات والمدخرات) أو الميكانيكية (المولدات الكهربائية) أو الحرارية والضوئية (الخلايا الشمسية) إلى طاقة كهربائية أو كهرو مغناطيسية، ويتم في الحمل عملية عكسية _ تتحول الطاقة الكهربائية إلى طاقات أخرى (ميكانيكية، كيميائية، وحرارية وضوئية).

- النو اقل: وهي اسلاك توصيل التي تشكل مجرى سريان التيار بين المنبع الكهربائي والحمل، وغالباً ما تكون من النحاس أو الألمنيوم، وتعتبر في دارات التيار المستمر مهملة المقاومة.

- الحمل(المقاومة): وهو عبارة عن أحد الأجهزة الكهربائية التي تستجر تيار كهربائي كالمصباح أو المقاومة أو المكثف أو الملف.

- القاطعة: تستخدم من أجل تشغيل و إيقاف الدارة الكهربائية، حيث تكون الدارة الكهربائية مغلقة عندما تكون أجهزتها جميعها متصلة ببعضها وتمثل مساراً مغلقاً للتيار الكهربائي، وتكون الدارة الكهربائية مفتوحة إذا كان أحد أجزائها مفصولاً أو تالف.

تصنف عناصر الدارة الكهربائية إلى فئتين هما:

عناصر فعالة:

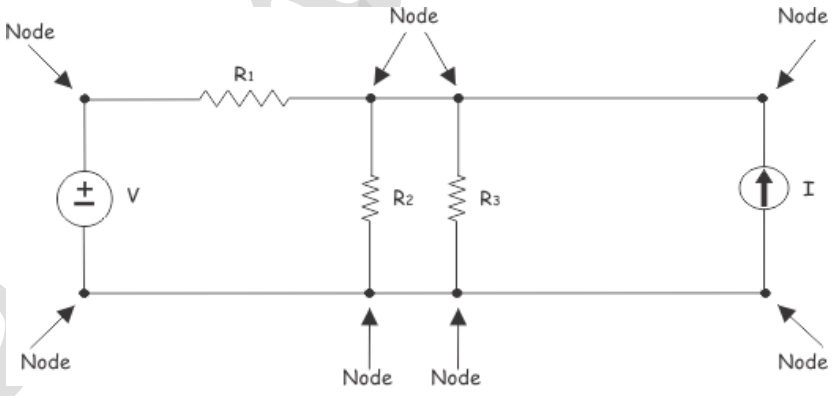
وهي العناصر القادرة على أيصال الطاقة للدارة الكهربائية عن طريق تحويل الطاقة من مصادر الطاقة غير الكهربائية إلى طاقة كهربائية ومن الأمثلة عليها البطارية.

عناصر غير فعالة:

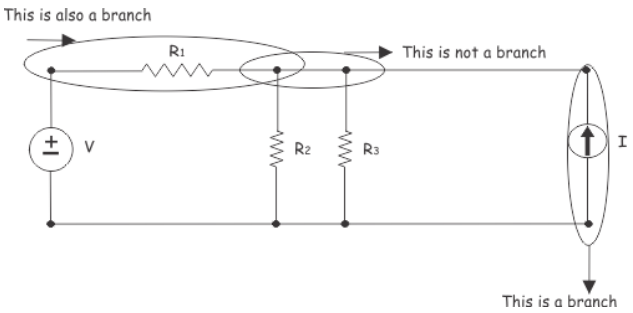
على عكس العناصر الفعالة فهي تستهلك طاقة كهربائية عوضاً عن تزويد الدارة بها ومن الأمثلة عليها المكثف والملف والمقاومة

ثانياً: تعاريف ومصطلحات أساسية

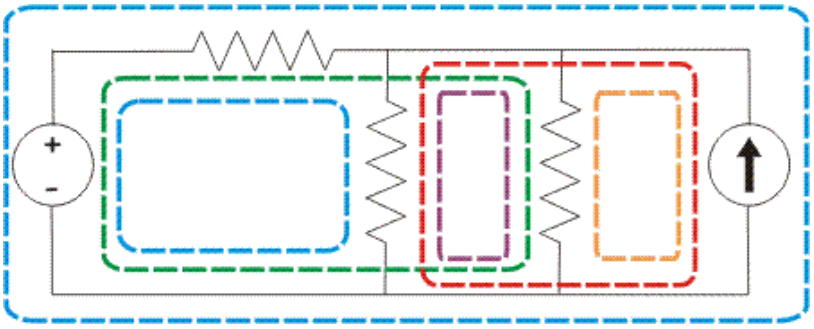
العقدة (Node): هي نقطة اتصال ثلاثة أسلاك (عناصر) بشكل ثابت في الدارة.



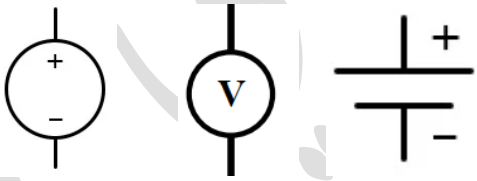
الفرع (Branch): هو عبارة عن سلك توصيل يصل بين عقدتين ويحوي على عنصر كهربائي واحد على الأقل مصدر جهد أو مقاومة.



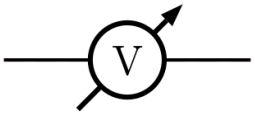
الحلقة(Loop): هو أي مسار مغلق في الدارة الكهربائية التي شكلتها الفروع، وهي مسار مغلق يتكون من البدأ من عقدة ويمر عبر مجموعة من العقد والعودة إلى عقدة البداية، دون المرور عبر أي عقدة أكثر من مرة.



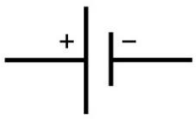
ثالثاً: بعض رموز الدارة الكهربائية



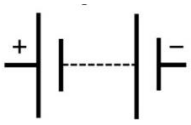
رموز مصدر الجهد المستمر الثابت



رموز مصدر الجهد المستمر المتغير

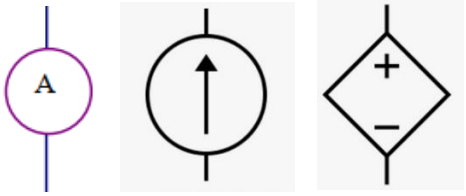


بطارية واحدة

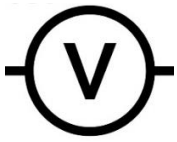


عدة بطاريات

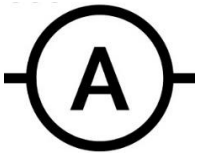
رموز مصدر الجهد المتناوب



رموز مصدر التيا



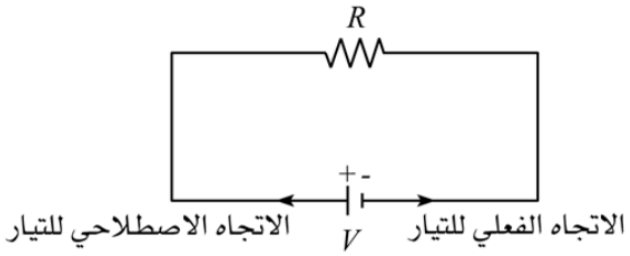
رمز مقياس فولت



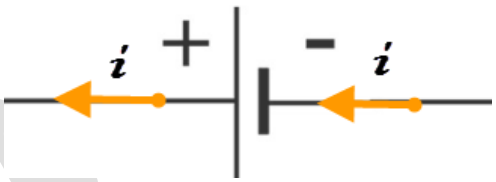
رمز مقياس أمبير

رابعاً: ملاحظات هامة

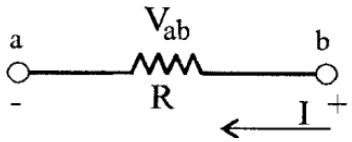
- في الدارة الكهربائية نتعامل مع التيار الاصطلاحي (الافتراضي) وليس التيار الحقيقي.



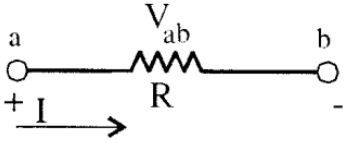
- التيار يمر من مصدر الجهد من الجهد الأدنى (-) إلى الجهد الأعلى (+).



- التيار يمر خلال المقاومة من الجهد الأعلى (+) إلى الجهد الأدنى (-).



$b \rightarrow a \quad V_R = +IR$



$a \rightarrow b \quad V_R = -IR$

- اتزان الدارة: أي ارتفاع للجهد خلال مصدر الجهد من (-) إلى (+) يقابله انخفاض للجهد خلال المقاومة من (-) إلى (+). وهذا سوف يتضح في قانون كيرشوف.

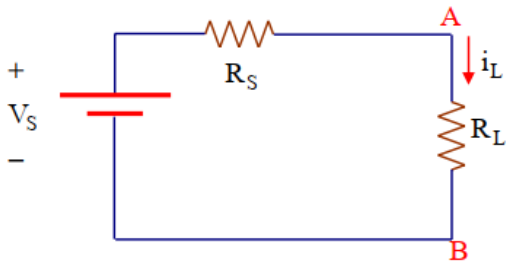
خامساً: مصادر تشغيل الدارة الكهربائية

جميع الدوائر الكهربائية يمكن تشغيلها عن طريق مصدر جهد (*Voltage Source*) أو مصدر تيار (Current Source) لذلك يجب معرفتها:

1 - مصادر الجهد:

- **مصدر الجهد الحقيقي (Voltage Source):**

هو المصدر($\mathbf{E}$) والذي يغذي الحمل بجهد ثابت في الدارة الكهربائية ويكون متصلاً معه على التوالي مقاومة داخلية ($\mathbf{R_S}$) وهي صغيرة جداً، فرق الجهد على طرفي المصدر هو ($\mathbf{V_S}$)، يتعلق فرق الجهد ($\mathbf{V_S}$) بقيمة التيار ($\mathbf{Is}$) المار في المصدر، فكلما زاد التيار ($\mathbf{Is}$) المسحوب منه قل الجهد ($\mathbf{V_S}$) على طرفي المصدر، أي أن الجهد على طرفي مصدر الجهد يتعلق بمقاومة الحمل الموصلة مع هذا المصدر. ويكون $\mathbf{V_S = E - i_L \times R_L}$ ويكون شكل الدارة كما يلي:



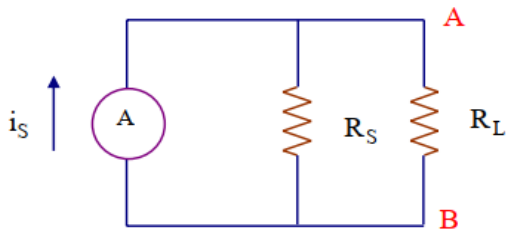
- **مصدر الجهد المثالي (Ideal Voltage Source):**

حتى يصبح مصدر الجهد مثالياً (Ideal Voltage Source) يجب أن تكون ($\mathbf{R_S}$) أصغر ما يمكن، أي أن مصدر الجهد المثالي هو مصدر جهد موصول مع مقاومة داخلية ($\mathbf{R_S}$) صغيرة جداً بحيث يمكن إهمال قيمتها أي يجب أن يتحقق الشرط $\mathbf{R_S \ll R_L}$ ، ويكون الجهد على طرفي مصدر الجهد المثالي هو: $\mathbf{V_S = E}$ ، أي أن الجهد على طرفيه يبقى ثابتاً ولا يتعلق بقيمة التيار المسحوب منه، أو قيمة تيار الحمل ($\mathbf{i_L}$) مهما كان التيار الحمل المسحوب، ويكافئ مصدر الجهد المثالي بدارة لا تحوي المقاومة ($\mathbf{R_S}$).

2 - مصادر التيار:

- **مصدر التيار الحقيقي (Current Source):**

هو المصدر ($\mathbf{J}$) والذي يغذي الحمل بتيار ثابت ويكون متصلاً معه على التوازي مقاومة داخلية ($\mathbf{R_S}$)، والذي يعطي تياراً ($\mathbf{i_S}$) تتعلق شدته بفرق الكمون على طرفيه، أي أن التيار ($\mathbf{i_S}$) يتعلق بالمقاومة الموصولة معه على التوازي، ويكون $\mathbf{J = i_S + i_L}$.

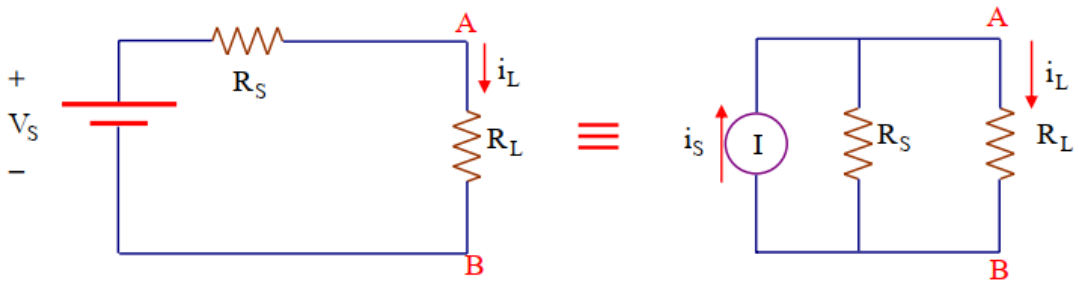


- **منبع التيار المثالي (Ideal Current Source):**

حتى يصبح مصدر التيار مثالياً (Ideal Current Source) يجب أن تكون ($\mathbf{R_S}$) أكبر ما يمكن، أي أن منبع التيار المثالي هو منبع تيار موصول على التوازي مع مقاومة كبيرة جداً ($\mathbf{R_S}$) أي أن $\mathbf{R_S = \infty}$، وتضل قيمة التيار ثابتة مهما تغيرت قيمة مقاومة الحمل ، أي يجب أن يتحقق الشرط التالي: $\mathbf{R_S \gg R_L}$، ويكون $\mathbf{J = i_L}$ ونلاحظ هنا أن المقاومة الداخلية لمصدر التيار عالية القيمة على الأقل تساوي عشر مرات من مقاومة الحمل المتصل،

3 - تحويلات المصادر الجهد:

يفضل احياناً تحويل مصدر الجهد إلى مصدر تيار أو العكس حسب الحاجة في الدارة، وذلك بغرض تسهيل عملية التحليل، ويوجد شروط لتحويل منبع الجهد إلى منبع تيار وبالعكس، فلتحويل مصدر الجهد إلى مصدر تيار يجب أن يكون مصدر الجهد موصول مع مقاومة على التوالي ليتحول إلى مصدر التيار موصول مع مقاومة على التوازي، ولتحويل مصدر التيار إلى مصدر جهد يجب أن يكون مصدر التيار موصول مع مقاومة على التوازي ليتحول إلى مصدر جهد موصول مع مقاومة على التوالي.



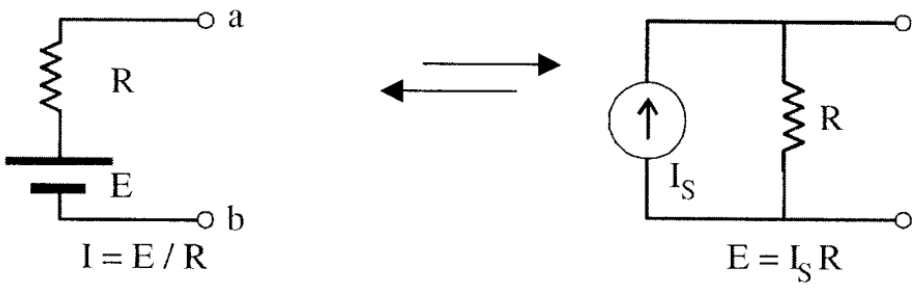
مصدر جهد ثابت وتيار ثابت متكافئان

من دائرة مصدر الجهد نجد أن تيار الحمل (I_L) يساوي: $I_L = \frac{v_S}{R_S+R_L}$

ومن دائرة مصدر التيار نجد أن التيار المار في الحمل يساوي: $I_L = (\frac{v_S}{R_S+R_L})i_S$

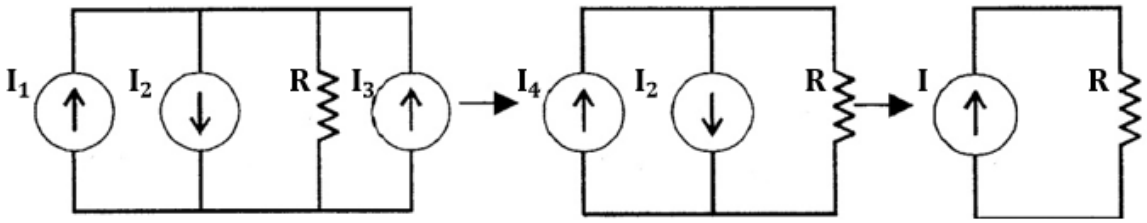
وبمساواة العلاقتين نجد: $v_S = R_S \times i_S$

وبصورة أخرى:



سادساً: وصل منابع التيار

المنابع المتماثلة بالجهة تجمع والمختلفة تطرح.



نلاحظ أن : المنبعين I_3 و I_1 بنفس الجهة أما المنبع I_2 فباتجاه معاكس لهما لذلك يكون:

$$I_4 = I_1 + I_3$$

$$I = I_4 - I_2$$

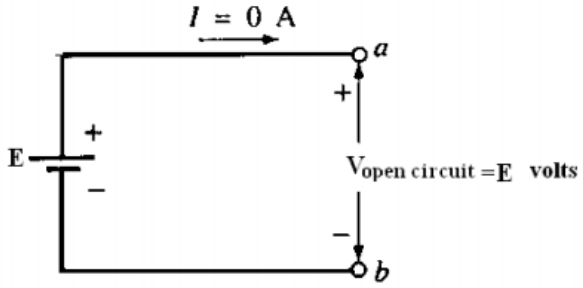
ملاحظات هامة جداً:

- مصادر التيار المختلفة لا يجوز وصلها على التوالي مطلقاً.
- مصادر الجهد المختلفة لا يجوز وصلها على التوازي مطلقاً.

سابعاً: الدائرة المفتوحة ودائرة القصر (Open and Short Circuits)

- الدارة المفتوحة أو فتح الدارة (Open Circuit):

الدائرة المفتوحة يكون لها جهد بين طرفيها المفتوحين ويكون التيار المار فيها يساوي الصفر.

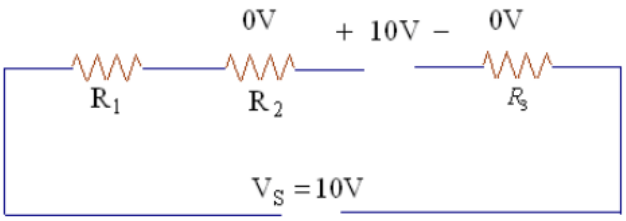


يبين الشكل دائرة لكهربائية مفتوحة عند الطرفين (a ،b)، ويكون الجهد بين طرفيه

$(I = 0\ A$ و $V_{ab} = E)$.

<u>ملاحظة:</u>

إن احتراق المقاومة في دو ائر التوالي يؤدي إلى فتح الدارة (*Open Circuit*)، ومعنى فتح الدارة أن تصبح الدارة مفتوحة والتيار لا يمر في الدائرة



نتيجة عدم وجود مسار مغلق، وعند فحص الدائرة و اكتشاف العطل هناك ملحوظتان:

عند فحص الجهد على المقاومات غير المحترقة نجد أن فرق الجهد على كل مقاومة صالحة يساوي الصفر نتيجة عدم مرور تيار وطبقاً لقانون أوم:

$$I = 0\ A \ \Rightarrow \ V = R \times I = 0\ V$$

عند فحص المقاومة المحترقة (Cheek For Burned Resistor) عند قياس الجهد على الجزء الذي أحدث عملية فتح الدارة نجد أن الجهد هو جهد المصدر $V = V_s$

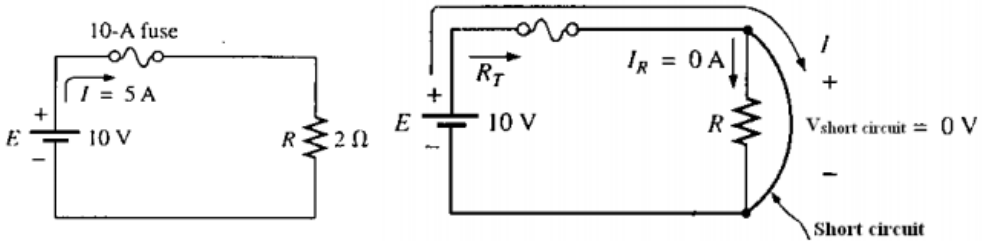
نلاحظ وطبقاً للقاعدتين السابقتين أن الجهد على المقاومات السليمة يساوي الصفر، أما الجهد على الجزء المحترق يساوي جهد المصدر.

- الدارة المقصورة أو قصر الدارة (Short Circuit):

يكون الجهد بين الطرفين المقصورين دوماً يساوي الصفر بينما يمر فيهما تيار

$$R = 0\ \Omega \Rightarrow V = R \times 0 = 0\ V$$

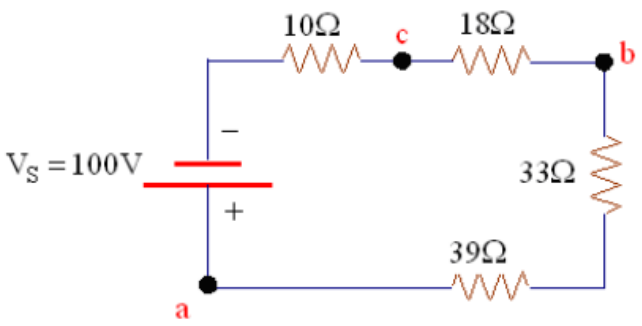
$$I = \frac{E}{0} = \infty$$



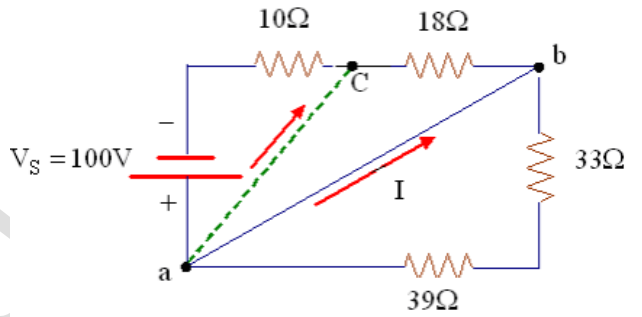
ملاحظة:

يحدث القصر عند تلامس ناقلين أو تلامس عنصرين مختلفين فيحدث نتيجة لذلك زيادة مفاجئة في قيمة التيار المار في الدائرة وتنتهي بحدوث مشكلة نتيجة لارتفاع التيار، وهذه المشكلة شائعة الحدوث في الدوائر ذات الكثافة العالية.

<u>مناقشة رياضية:</u>

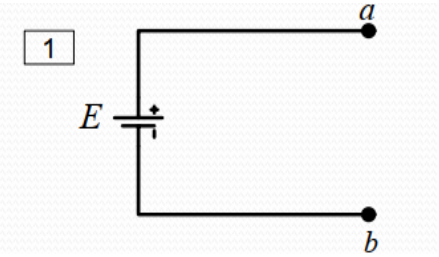


قبل حدوث القصر قيمة التيار المارة في الدارة تساوي ($I = 1A$)



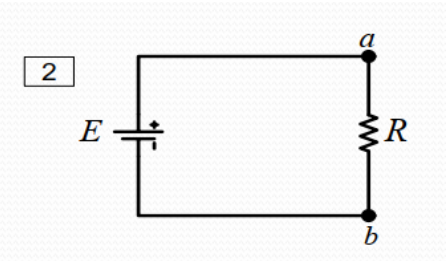
بعد حدوث القصر بين النقطتين (a،b) تصبح قيمة التيار($I_{sc} = 3.57A$)

ملخص لما سبق:



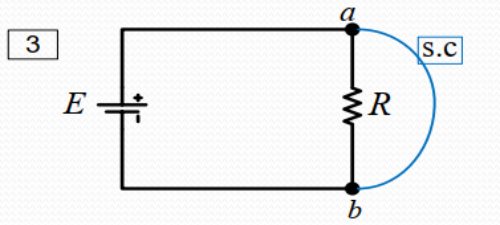
$$V_{ab} = E$$

$$I = 0$$



$$V_{ab} = V_R$$

$$I = \frac{E}{R}$$



$$V_{S.C} = 0$$

$$I_{S.C} = \infty$$

$$R = 0$$

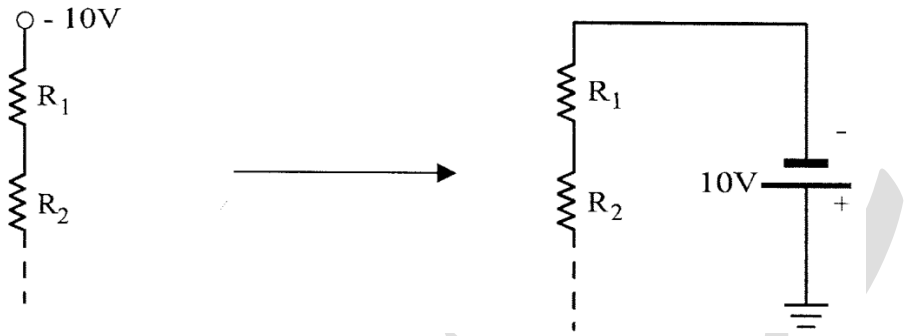
سابعاً: التأريض (Grounding)

رمز الأرضي:

دوماً عند قياس أو قراءة الجهد يكون منسوباً إلى نقطة أخرى تسمى كنقطة مرجعية لقيمة الجهد (Reference Point) ، وإذا تم توصيل هذه النقطة بالأرضي فإنها تأخذ جهد الأرضي والذي يساوي صفراً، وكمثال على ذلك فعندما نقول أن قيمة الجهد عند نقطة معينة يساوي 10 V فهذا يعني أن فرق الجهد بين هذه النقطة والأرضي يساوي 10V ، وهذا يقودنا إلى مفهوم أرضي الدائرة (Circuit Ground) وتأريض

الدائرة يعني أن يكون هناك نقطة مشتركة لتوصيل الدائرة أو عناصر الدائرة وهي ما تسمى النقطة المرجعية أو الأرضي(Ground) إذا تم توصيلها بالأرض.

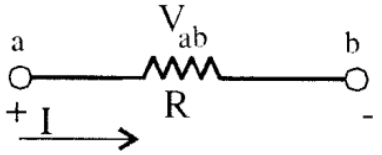
ملاحظة (1):



دائرتان متكافئتان

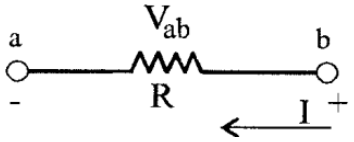
ملاحظة (2):

التيار يمر خلال المقاومة من الجهد الأعلى (+) إلى الجهد الأدنى (-).



$$a \rightarrow b \qquad V_R = -IR$$

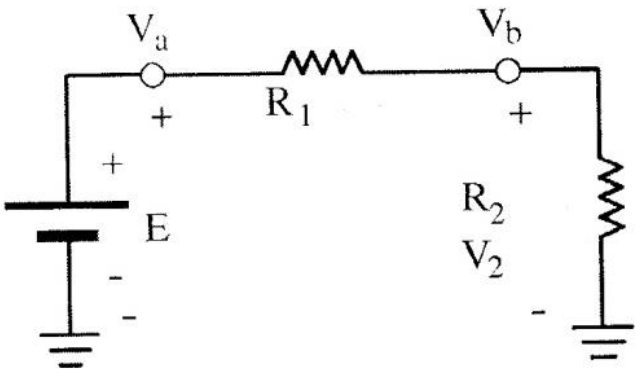
الجهد V_{ab} سالب أي النقطة (a) أعلى جهداً من النقطة (b)



$$b \rightarrow a \qquad V_R = +IR$$

الجهد V_{ab} موجب أي النقطة (b) أعلى جهداً من النقطة (a) .

ملاحظة (3):



الجهد $(\mathbf{V_a})$ يقرأ من النقطة (a) للأرضي مروراً بمصدر الجهد $(\mathbf{E})$ فيكون $\mathbf{V_a = E}$

الجهد $(\mathbf{V_b})$ يقرأ من النقطة (b) للأرضي مروراً بالمقاومة $(\mathbf{R_2})$ والتي جهدها $(\mathbf{V_2})$ فيكون $\mathbf{V_b = V_2}$

الجهد على المقاومة $(\mathbf{R_1})$ هو $(\mathbf{V_{ab}})$ وهو عبارة عن: $\mathbf{V_{ab} = V_a - V_b = E - V_2}$

طرق الحساب في الدوائر الكهربائية:

هناك طريقتان:

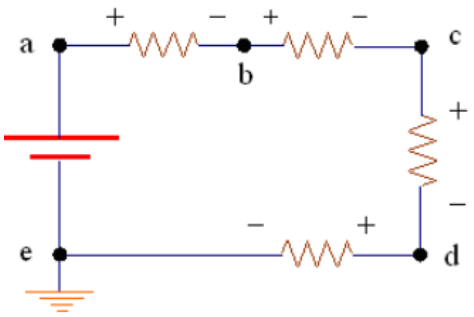
الطريقة الأولى: عند وجود النقطة المرجعية (الأرضي):

يمكن حساب الجهد عند أي نقطة بدءاً من النقطة المتصلة بالأرض على اعتبار أنها تساوي صفراً، بعد ذلك تضاف قيمة الجهد على النقطة التي تليها وهكذا

الطريقة الثانية: فلا توجد نقطة مرجعية (المرجع هو مصدر الجهد في الدائرة(E))

فإنه يمكن حساب الجهد عند أي نقطة بدءاً من أول نقطة من جهة المصدر ثم نتحرك في اتجاه عقارب الساعة أي في اتجاه مرور التيار الكهربائي في الدائرة، وسوف نجد في هذه الحالة أن الجهد عند أول نقطة بعد المصدر يساوي قيمة المصدر مطروحاً منه قيمة الانخفاض في الجهد على المقاومة التي تسبق

النقطة (هبوط الجهد على المقاومة يساوي التيارفي المقاومة)، أي يكون حساب الجهد بداية من النقطة (a) ثم النقطة التي تليها (b , c , d ← e).



الطريقة الأولى:

$$v_e = v_{Gruond} = 0$$

$$v_d = v_e$$

$$v_c = v_d + v_e$$

$$v_b = v_c + v_d + v_e$$

$$v_a = v_b + v_c + v_d + v_e$$

الطريقة الثانية:

$$v_a = E$$

$$v_b = v_c + v_d + v_e$$

$$v_c = E - I \times R_1 - I \times R_2$$

$$v_d = E - I \times R_1 - I \times R_2 - I \times R_3$$

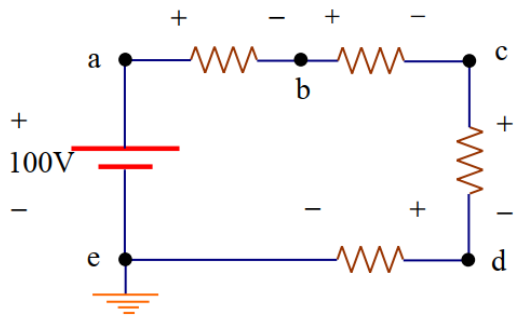
$$v_e = E - I \times R_1 - I \times R_2 - I \times R_3 - I \times R_4 = 0$$

علي المحمد

تطبيق:

لنوجد قيمة الجهد عند كل نقطة في كل دائرة من الدوائر التالية باعتبار الجهد على كل مقاومة ($25\ V$).

الدائرة الأولى:



الطريقة الأولى:

$$V_e = v_{Gruond} = 0V$$

$$V_d = 25\ V$$

$$V_c = 50\ V$$

$$V_b = 75\ V$$

$$V_a = 100V$$

الطريقة الثانية:

$$V_a = V_S = 100V$$

$$V_b = 100 - 25 = 75\ V$$

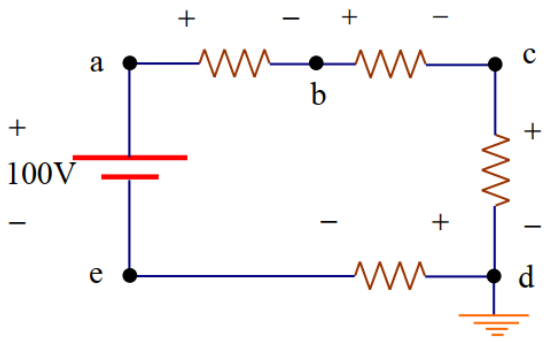
$$V_c = 100 - 25 - 25 = 50\ V$$

$$V_d = 100 - 25 - 25 - 25 = 25\ V$$

$$V_e = 100 - 25 - 25 - 25 - 25 = 0\ V$$

عدي المحمد

الدائرة الثانية:



الطريقة الأولى:

$$V_e = -25\ V$$

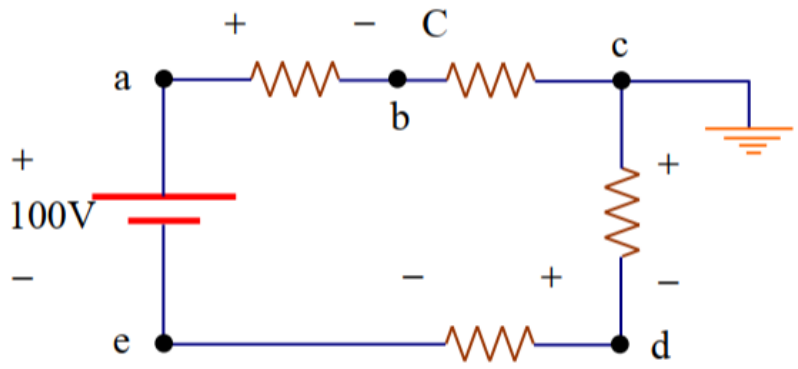
$$V_d = v_{Gruond} = 0V$$

$$V_c = +25\ V$$

$$V_b = 50V$$

$$V_b = 75V$$

الدارة الثالثة:



الطريقة الأولى:

$$\mathbf{V_e = -50V}$$

$$\mathbf{V_d = -25V}$$

$$\mathbf{V_c = 0\ V}$$

$$\mathbf{V_b = 25\ V}$$

$$\mathbf{V_a = 50\ V}$$

علي المحمد

أساسيات الهندسة الكهربائية

الفصل التاسع: البطاريات

علي المحمد

أولاً: البطاريات (المدخرات) (Batteries)

مقدمة:

تعتبر البطاريات من مصادر الطاقة الكهربائية وتحديداً من منابع التيار المستمر، ولها الكثير من الاستخدامات في الحياة العملية كإقلاع المحركات وفي إنارة السيارات وفي تغذية المستشفيات في حالات الطوارئ، ويبرز دورها في منظومة الطاقة الشمسية.

توفر مصدر محمول للطاقة الكهربائية من دون الحاجة لوجود اسلاك أو منافذ كهربائية مما يجعل الكثير من وسائل الراحة الحديثة في متناول اليد، وتوجد في الكثير من الأجهزة كالهواتف الذكية والساعات والحواسيب المحمولة.

المخترع:

الفيزيائي الإيطالي أندرو فولتا في عام 1799 م .

مبدأ العمل:

تعمل البطارية على تحويل الطاقة الكيميائية مباشرة إلى طاقة كهربائية أثناء عملية التفريغ، ثم تعمل على تحويل الطاقة الكهربائية المستمدة من المولد (الدينامو) إلى طاقة كهربائية أثناء عملية الشحن

الأنواع:

- **من حيث قابلية الشحن:**

بطاريات قابلة للشحن (بطاريات ثانوية)، وبطاريات غير قابلة للشحن (بطاريات أولية).

ملاحظة:

البطاريات القابلة لإعادة الشحن يقل عمر التشغيل لها (خلال دورة شحن واحدة) عن عمر تشغيل البطارية غير القابلة لإعادة الشحن، فعلى سبيل المثال قد يصل عمر تشغيل البطارية القابلة للشحن من 20% إلى 30% من عمر تشغيل البطارية القلوية الغير قابلة للشحن.

- **من حيث الحجم:**

متناهية في الصغر كالمستخدمة في ساعة اليد (البطارية الزر)، الحجم AAA، الحجم AA، الحجم C، الحجم D.

- من حيث الجهد:

تتوفر البطاريات بجهود مختلفة، ويمكن الحصول على أي جهد آخر باستخدام التوصيل على التوالي والتوازي كي نحصل على الجهد والتيار المطلوبين، والجهود الأكثر استخداماً هي (1.5 V، 6 V ، 9 V، 12 V).

- من حيث نوع الإلكتروليت:

البطارية الجافة: تتوفر بقوة دافعة كهربائية تتراوح ما بين (1.5 V) إلى (12 V)، وتستخدم تشغيل الأجهزة التي تعمل لفترات متقطعة وقصيرة، وحتى يتم استغلال العمود الجاف أكبر مدة ممكنة ولفترات طويلة يلاحظ انخفاض الجهد لإن ثنائي أوكسيد المنغنيز لا يستطيع امتصاص الأيدروجين الناتج عن التفاعل، وتتركب من طرفين (-) و (+) وقضيب كربون وعلبة زنك وعجينة وغطاء.

البطاريات السائلة: وتعتبر من العناصر المهمة في السيارة إذا تعمل على تزويد السيارة بالطاقة الكهربائية اللازمة لبدء التشغيل، كما تعمل على تغطية احتياجات الأنظمة المختلفة في السيارة من الطاقة الكهربائية أثناء توقف محرك السيارة وتكون القوة الدافعة الكهربائية لهذه البطاريات (12 V) و (24 V)، وتتركب من:

قطبين موجب وسالب.

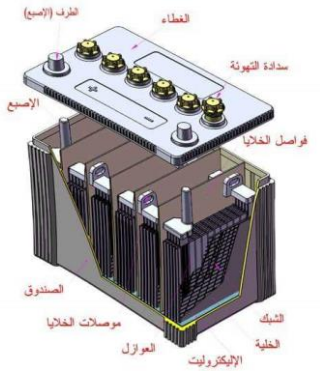
غلاف خارجي للبطارية يصنع من المطاط المضغوط، ويقسم من الداخل إلى حجرات لإيواء الأعمدة، بحيث لا تلامس قاع الصندوق، ويترك فراغ في أسفل الصندوق حتى يسمح للمواد الكيميائية المترسبة من التفاعلات بالتجمع فيها، وكي لا تحدث هذه تماساً بين الأعمدة،

فتحات عليا تغطى بأغطية من البلاستيك تحتوي على ثقوب تنفيس لخروج الغازات الناتجة عن التفاعلات أناء عملية الشحن والتفريغ، و انسداد هذه الثقوب يؤدي إلى حبس الغازات وزيادة الضغط الداخلي يؤدي إلى تلف الألواح، وقد يؤدي إلى انفجار البطارية، ولمنع المحلول من الانسكاب من البطارية تشكل نهايات مجموعات الألواح لكل عمود ضمن غطاء المركم حيث توصل فيما بينها بوصلات من الرصاص.

ألواح موجبة وهذه تفصل بينها مسافات متساوية لمنع حدوث تلامس بين الألواح.

ألواح سالبة ويزيد عدد الألواح السالبة عن الألواح الموجبة بلوح واحد فقط حيث يكون كل لوح موجب محاط بلوحين سالبين.

عوازل أو فواصل لفصل الألواح الموجبة والسالبة عن بعضها، وتكون الصفائح الفاصلة مسامية لتسمح بمرور المحلول من خلالها إلى جميع الألواح.



البطاريات الفولاذية: هذا النوع من البطاريات يتوفر بقوة دافعة كهربائية (1.5 V) و(3 V) ويستخدم في الأجهزة الإلكترونية الصغيرة التي لا تحتاج لقدرة كهربائية كبيرة والجزء الخارجي لهذه البطاريات من الفولاذ.

ثانياً: سعة البطارية وتيار الشحن

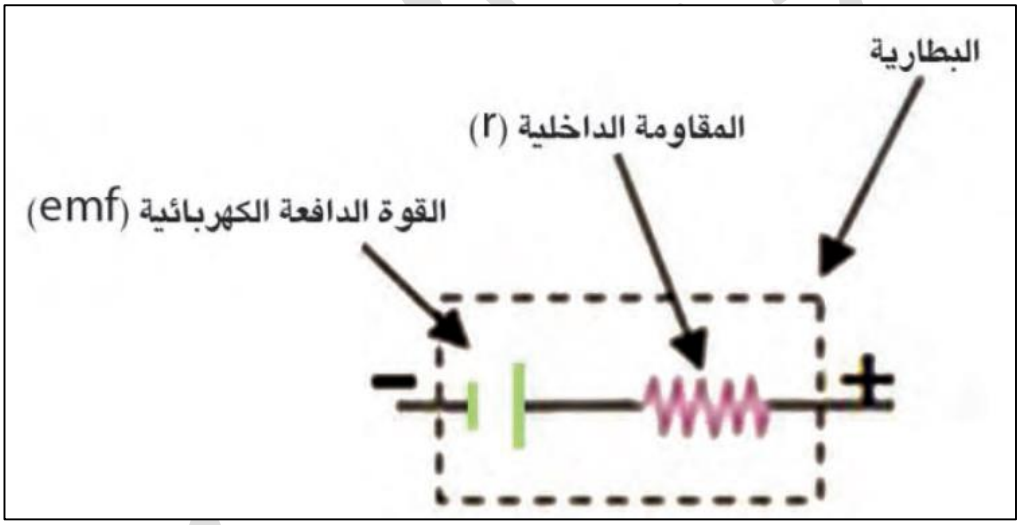
سعة البطارية (AH) = التيار المسحوب (AH) / زمن السحب بالساعة(H).

فمثلاً إذا كانت سعة البطارية (100 AH) فهذا يعني أنه إذا كان تيار السحب أمبير واحد كان زمن السحب ساعة واحدة، وإذا كان تيار السحب نصف أمبير كان زمن السحب مئتي ساعة، وإذا كان تيار السحب

أمبيرين أثنين كان زمن السحب نصف ساعة وهكذا، أي أنه كلما زاد التيار المسحوب قل زمن الاستعمال والعكس صحيح.

ثالثاً: ماذا يحدث عن وصل الأقطاب مباشرةً

في حال تم وصل الأقطاب مباشرة عبر سلك دون إضافة حمل، فإن الإلكترونات سوف تنتقل بسرعة كبيرة من القطب السالب إلى القطب الموجب مؤدية إلى استهلاك البطارية في وقت سريع جداً، كما أن العملية تكون خطيرة جداًفي حال التوصيل المباشر في البطاريات الأكبر حجماً كبطاريات السيارات مثلاً لإن من شأن ذلك التسبب بحريق أو انفجار.



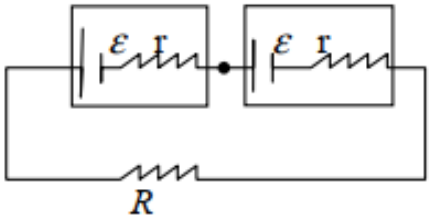
شكل يبين الدارة المكافئة للمدخرة (البطارية)

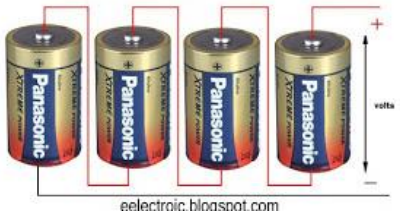
رابعاً: وصل البطاريات

الوصل على التوالي (التسلسل):

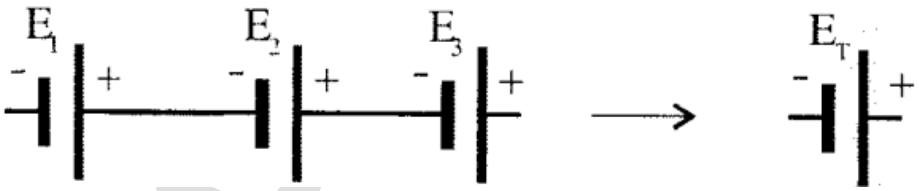
طريقة التوصيل: يتم وصل الطرف الموجب لكل بطارية مع الطرف السالب للبطارية التي تليها، ثم توصل مقاومة الحمل بين القطب الموجب للبطارية الأولى مع القطب السالب للبطارية الأخيرة.

الغاية من التوصيل: الحصول على فرق جهد كبير.





إذا كانت لدينا دارة مكونة من (n) بطارية، وجهد كل خلية (E)، والمقاومة الداخلية لكل منها (r) ومقاومة الأحمال في الدارة (R).



الجهد الكلي للبطاريات: $Eeq = E1 + E2 + E3$ ، وإذا كانت متساوية: $Eeq = E$

n.

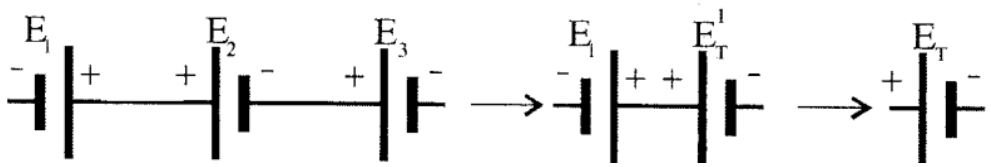
المقاومة الداخلية للبطاريات: $req = r_1 + r_2 + r_3$ ، وإذا كانت متساوية: $req =$

n r.

المقاومة الكلية في الدارة: $Req = R + n\,r$

ملاحظة:

في حال وجود بطارية أو أكثر موصولة على التضاد مع البطاريات الأخرى نقوم بجعل إشارة المنبع الموصول على التضاد سالبة، أما المقاومة الداخلية للبطاريات فلا تتغير:



الجهد الكلي للبطاريات: $\mathbf{Eeq = E1 - E2 - E3}$

المقاومة الداخلية للبطاريات: $\mathbf{req = r_1 + r_2 + r_3}$

المقاومة الكلية في الدارة: $\mathbf{Req = R + n\,r}$

التيار الكلي المار في الدارة (تيار الحمل) حسب قانون أوم: $\mathbf{I = \frac{n \times E}{R + n \times R}}$

إذا كانت $\mathbf{R << n\,r}$ يكون:

$$\mathbf{I = \frac{n \times E}{n \times r} = \frac{E}{r}}$$

أي أن التيار في هذه الحالة هو تيار البطارية الواحدة، وهو لا يزيد بتوصيل البطاريات على التوالي.

أما إذا كانت $\mathbf{R \gg n\,r}$ فيكون:

$$\mathbf{I = \frac{n \times E}{R}}$$

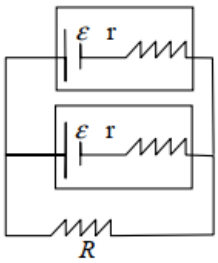
أي أن التيار يزيد هنا بعدد $\mathbf{(n)}$ مرة من التيار الناتج عن البطارية الواحدة ، ولذلك فإن مجموعة البطاريات تعطي أقصى تيار للحمل إذا كانت مقاومة البطاريات صغيرة جداً بالنسبة لمقاومة الحمل، وعلى هذا الأساس فإن الوصل على التوالي يستعمل في حال كانت مقاومة الحمل كبيرة جداً بالنسبة للبطاريات.

الوصل على التوازي(التفرع):

طريقة التوصيل: توصل جميع الأقطاب الموجبة مع بعضها وجميع الأقطاب السالبة مع بعضها،

(باعتبار أن البطاريات متشابهة وموصولة بنفس الاتجاه)

الغاية من التوصيل: الحصول على تيار كبير.



إذا كانت لدينا شبكة مكونة من (n) بطارية، وجهد كل خلية (E)، ومقاومتها الداخلية (r).

الجهد الكلي للبطاريات: $$Eeq = E1 = E2 = E3$$

المقاومة الداخلية للبطاريات: $$req = \frac{r}{n}$$

المقاومة الكلية في الدائرة: $$R + (r/n)$$

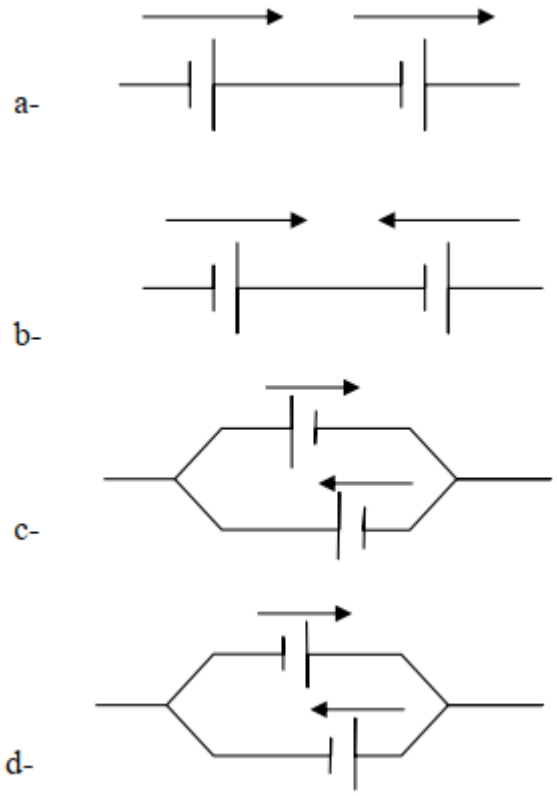
التيار الكلي المار في الدارة (تيار الحمل) حسب قانون أوم: $$I = \frac{n \times E}{R + (r/n)}$$

إذا كانت (r / n) << R فيكون:

I = E / R أي أن التيار الكلي يساوي التيار الناتج عن بطارية واحدة، أي أنه لا فائدة من هذا التوصيل بهذه الوضعية.

أما إذا كانت r / n >> R فيكون:

I = n (E /r) وهو يساوي (n) مرة من التيار الذي يمكن أن نحصل عليه من بطارية واحدة، ولذلك نستخدم الوصل على التوازي إذا كانت مقاومة الحمل صغيرة جداً بالنسبة لمقاومة مجموعة البطاريات



الحالات الأربعة لطريقتي الوصل على التسلسل والتفرع

التوصيل المختلط:

إذا كان عدد البطاريات الموصولة على التوالي في كل خط (N) بطارية فإن، وكان عدد الخطوط الموصولة على التوازي (M) خط فإن:

المقاومة الداخلية لخلايا الخط الواحد = $\mathbf{n \times R}$

وتكون المقاومة الداخلية لعدد (n) خطاً = $\mathbf{n \times \frac{R}{m}}$

المقاومة الكلية في الدارة = $\mathbf{R + (n \times \frac{R}{m})}$

جهد البطارية يساوي جهد الخط الواحد = $\mathbf{nE}$

تيار البطارية:

$$\mathbf{I = \frac{n \times E}{R + (n \times \frac{R}{m})} = \frac{m \times nE}{m \times R + n \times r} = \frac{NE}{m \times R + n \times r}}$$

حيث العدد الكلي للخلايا هو N: $\mathbf{N = nm}$

والقيمة القصوى للتيار تكون عندما يصير المقام $(\mathbf{m \times R + n \times r})$ أقل مايمكن ، وبفرض أن :

$$\boldsymbol{y} = \mathbf{m \times R + n \times r}$$

$$= \sqrt{(\mathbf{n \times R})^2} + \sqrt{(\mathbf{m \times R})^2}$$

$$= \left(\sqrt{\mathbf{m \times r}} - \sqrt{\mathbf{n \times r}}\right)^2 + \mathbf{2}\sqrt{\mathbf{m \times R}}\sqrt{\mathbf{n \times R}}$$

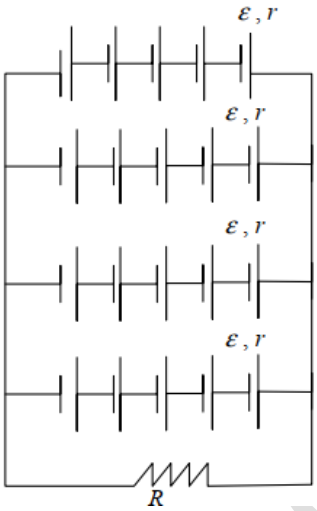
ويكون هذا المقدار أقل ما يمكن عندما يكون المقدار الذي بين القوسين أقل ما يمكن أي أن:

$\mathbf{m \times R = n \times r}$ << المقاومة الداخلية تساوي المقاومة الخارجية >>

وتكون الجودة (الكفاءة) في هذه الحالة % 50، وهذا يعني أن نصف القدرة المعطاة من البطارية يستنفذ في الحمل الخارجي والنصف الآخر يستنفذ في المقاومة الداخلية للبطارية.

ويلاحظ أنه يمكن حساب التكوين الذي يعطي أعلى تيار من المعادلتين:

$\mathbf{N = n \times m}$ ، $\mathbf{m \times R + n \times r}$



جودة المجموعة η يمكن حسابها كما يلي:

$$\eta = \frac{output}{input} = \frac{useful\ power}{total\ power\ produced}$$

$$\eta = \frac{I^2R}{I^2R+I^2r} = \frac{R}{R+r}$$

حيث r هي المقاومة الداخلية للبطارية و R هي مقاومة لحمل.

ملاحظة:

إن طريقة وصل البطاريات من حيث اتجاه الأقطاب تنطبق على جميع مصادر الجهد المستمر.

أساسيات الهندسة الكهربائية

الفصل العاشر: المقاومة في دوائر التيار المستمر

علي المحمد

أولاً: وصل المقاومات

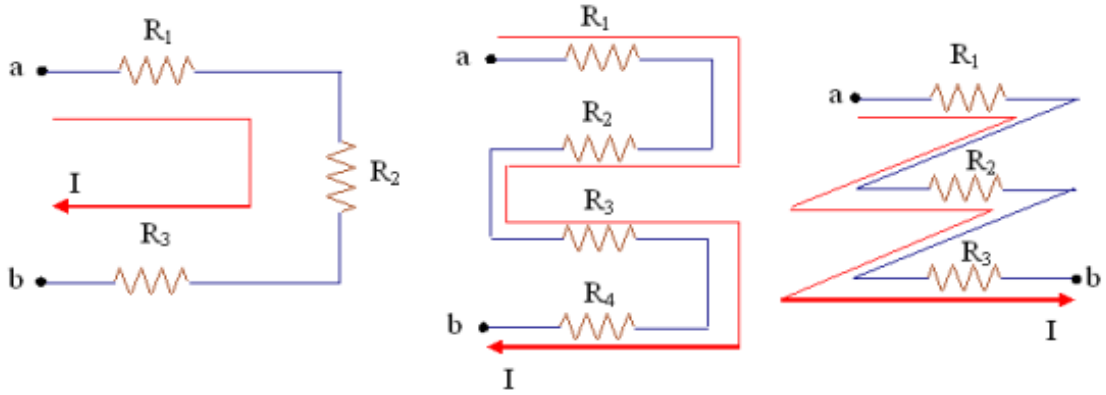
1- الوصل على التوالي(التسلسل):

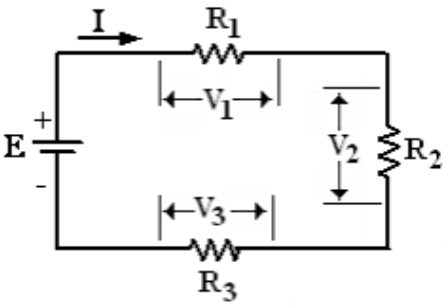
تعريف دو ائر التوالي:

عندما تكون عدد من المقاومات متصلة بحيث تمثل مساراً واحداً لمرور التيار الكهربائي، إي أن التيار ثابت القيمة في جميع المقاومات، وفي هذه الحالة تكون المقاومات متصلة على التوالي، حيث توصل نهاية المقاومة الأولى ببداية المقاومة الثانية، ونهاية المقاومة الثانية ببداية المقاومة الثالثة .... وهكذا.

ملاحظة:

إذا كانت هناك قيمة واحدة للتيار بين أية نقطتين، تصبح جميع المقاومات بين هاتين النقطتين موصولة على التوالي.





- المقاومة الكلية: $\mathbf{R_T = R_1 + R_2 + R_3}$
- التيار: $\mathbf{I_T = I_1 = I_2 = I_3}$
- الجهد: $\mathbf{V_T = V_1 + V_2 + V_3}$
- قانون أوم:

$$\mathbf{V_T = R_T \times I_T}$$

$$V_1 = R_1 \times I_1 \ = R_1 \times I_T$$

$$V_2 = R_2 \times I_2 \ = R_2 \times I_T$$

$$V_3 = R_3 \times I_3 \ = R_3 \times I_T$$

- **القدرة:**

- **القدرة الكلية:**

$$P_T = I_T^2 \times R_T \text{ أو } P_T = \frac{V_T^2}{R_T} \text{ أو } P_T = I_T \times V_T \text{ أو } P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

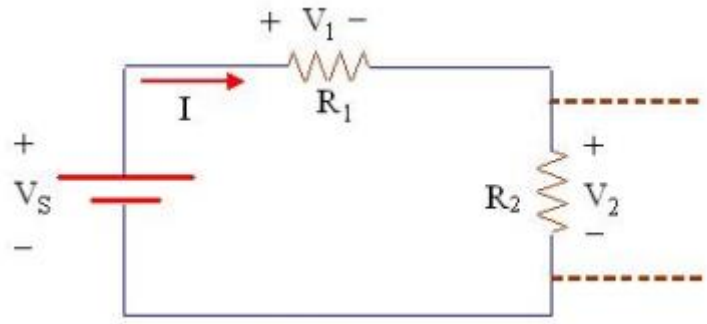
- **القدرة على كل مقاومة:**

$$P_1 = I_1 \times V_1 = I_1^2 \times R_1 = I_T^2 \times R_1 = \frac{V_1^2}{R_1}$$

$$P_2 = I_2 \times V_2 = I_2^2 \times R_2 = I_T^2 \times R_2 = \frac{V_2^2}{R_2}$$

$$P_3 = I_3 \times V_3 = I_3^2 \times R_3 = I_T^2 \times R_3 = \frac{V_3^2}{R_1}$$

- **قانون مقسم الجهد (Voltage Divider Rule):**



$$R_T = R_1 + R_2$$

$$V_1 = R_1 \times I_1 = R_1 \times I_T = R_1 \times \frac{V_T}{R_T} = \frac{R_1 \times V_T}{R_T}$$

$$V_2 = R_2 \times I_2 = R_2 \times I_T = R_2 \times \frac{V_T}{R_T} = \frac{R_2 \times V_T}{R_T}$$

القانون العام لمقسم الجهد:

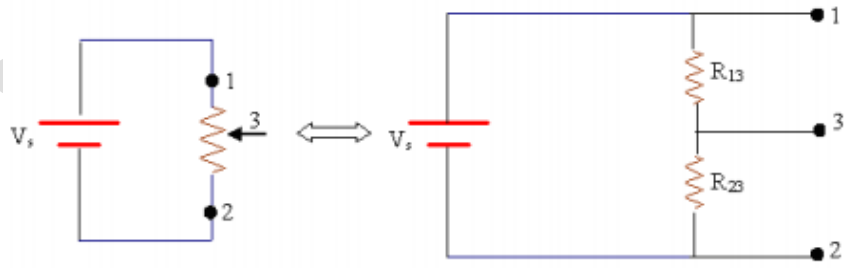
$$V_X = \frac{R_X \times V_T}{R_T}$$

<u>ملاحظة:</u>

الجهد على كل مقاومة يتناسب طردياً مع قيمة المقاومة، بمعنى أن الجهد الإجمالي يتجزأ على المقاومات الموصلة على التوالي نسبياً حسب قيمة كل مقاومة بمعنى أنه كلما كانت المقاومة أكبر كان الجهد عليها أكبر والعكس صحيح.

<u>ملاحظة:</u>

المقاومة المتغيرة تعتبر مجزئة للجهد (Potentiometer) ويمكن التحكم فيها كما في الشكل:

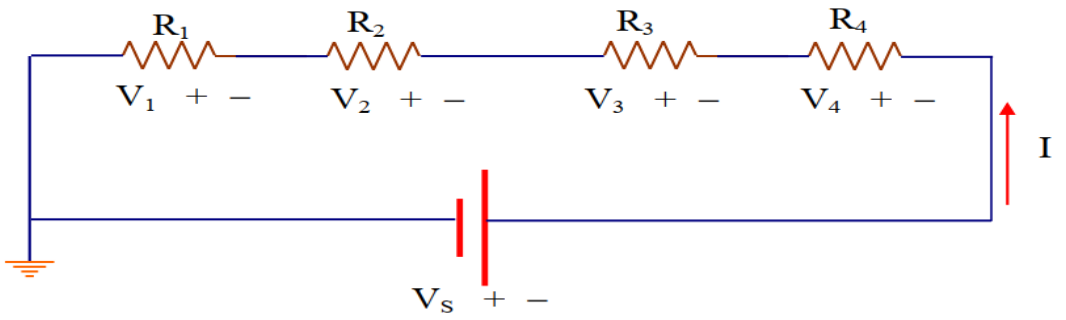


الدائرة المكافئة لمجزئ الجهد

قانون كيرشوف الثاني للجهد(Kirchhoff's Voltage Law) (KVL):

في أي مسار مغلق يكون جهد المصدر يساوي مجموع الانخفاض في الجهد على مقاومات المسار المتوالية.

أو بمعنى آخر: المجموع الجبري للجهود في حلقة مغلقة يساوي الصفر.



في الاتجاه الأول:

$$V_S - V_1 - V_2 - V_3 - V_4 = 0 \quad \Leftrightarrow \quad V_S = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

أو $V_S - IR_1 - IR_2 - IR_3 - IR_4 = 0 \Leftrightarrow V_S = IR_1 + IR_2 + IR_3 + IR_4$

في الاتجاه الثاني:

$$-V_S + V_1 + V_2 + V_3 + V_4 = 0 \quad \Leftrightarrow \quad -V_S = -V_1 - V_2 - V_3 + V_4$$

أو $-V_S + IR_1 + IR_2 + IR_3 + IR_4 = 0 \Leftrightarrow -V_S = -IR_1 - IR_2 - IR_3 - IR_4$

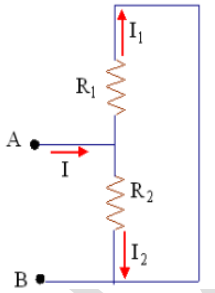
<u>ملاحظة:</u>

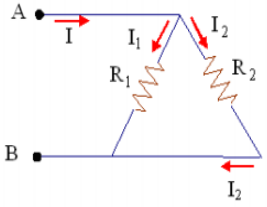
يعرف الانخفاض في الجهد بأنه الجهد المطبق على المقاومات، ونتيجة مرور التيار في المقاومات فإنه ينشأ جهد معاكس في القطبية بالنسبة لجهد المصدر الرئيس في الدائرة ، و إنه يعمل على هبوط جهد المصدر إلى الصفر.

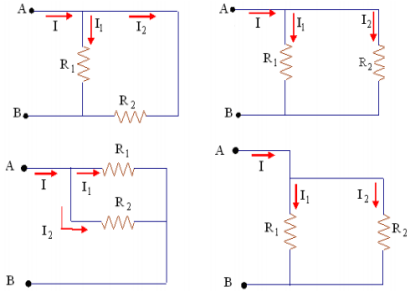
ملاحظات هامة:

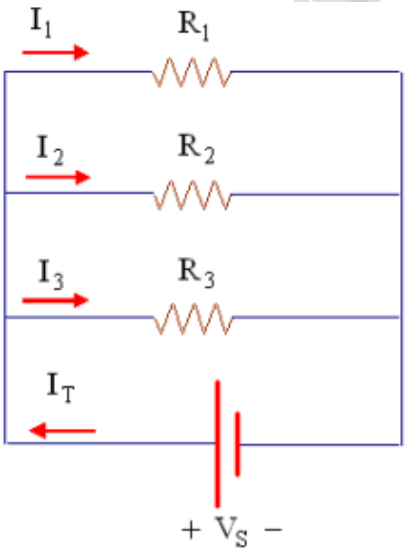
- في حالة التحرك في المسار، في حال المرورعلى بطارية من قطبها الموجب إلى قطبها السالب، تعتبرأن هناك انخفاضاً في الجهد، ولذلك توضع إشارة البطارية بالسالب.
- في حالة التحرك في المسار، في حال المرورعلى بطارية من قطبها السالب إلى قطبها الموجب، تعتبرأن هناك ارتفاعاً في الجهد، ولذلك توضع إشارة البطارية بالموجب.
- في حالة كان المسار في نفس اتجاه التيار وعند المرور على المقاومة يعتبر الجهد على طرفي المقاومة انخفاضاً في الجهد، وتوضع إشارة جهد المقاومة بالسالب.
- في حالة كان المسارفي عكس اتجاه التياروعند المرورعلى المقاومة يعتبرالجهد على طرفي المقاومة ارتفاعاً في الجهد، وتوضع إشارة جهد المقاومة بالموجب.

2- الوصل على التفرع(التوازي):









- المقاومة الكلية: $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$

أو:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

أو:

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2 \times R_3}{R_1 \times R_2 + R_1 \times R_3 + R_2 \times R_3}$$

ملاحظة:

- عند وجود عدد من المقاومات موصولة على التوازي نستطيع أ ن نكتب:

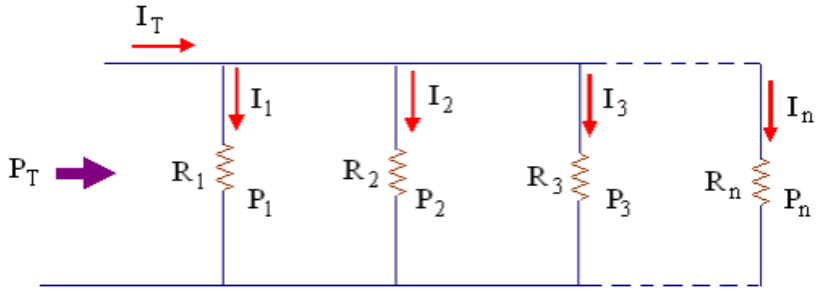
$$R_1 \backslash\backslash R_2 \backslash\backslash R_3 \backslash\backslash R_n$$

- وفي حال اردنا جمع عدة مقاومات موصولة على التوازي نستطيع أن نكتب:

$$R_T = R_1 \backslash\backslash R_2 \backslash\backslash R_3 \backslash\backslash R_n$$

- الناقلية: $G_T = G_1 + G_2 + G_3$
- التيار: $I_T = I_1 + I_2 + I_3$
- الجهد: $V_T = V_1 = V_2 = V_3$

- القدرةفي دو ائر التوازي(Power in Parallel Circuits):



- القدرة الكلية:

$$P_T = I_T^2 \times R_T \text{ أو } P_T = \frac{V_T^2}{R_T} \text{ أو } P_T = I_T \times V_T \text{ أو } P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

- القدرة على كل مقاومة:

$$P_1 = I_1 \times V_1 = I_1^2 \times R_1 = \frac{V_1^2}{R_1} = \frac{V_T^2}{R_1}$$

$$P_2 = I_2 \times V_2 = I_2^2 \times R_2 = \frac{V_2^2}{R_1} = \frac{V_T^2}{R_2}$$

$$P_3 = I_3 \times V_3 = {I_3}^2 \times R_3 = \frac{{V_3}^2}{R_1} = \frac{{V_T}^2}{R_1}$$

- قانون أوم:

$$V_T = R_T \times I_T$$

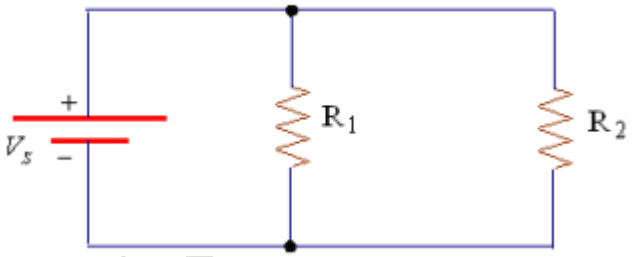
$$V_1 = R_1 \times I_1 = V_T$$

$$V_2 = R_2 \times I_2 = V_T$$

$$V_3 = R_3 \times I_3 = V_T$$

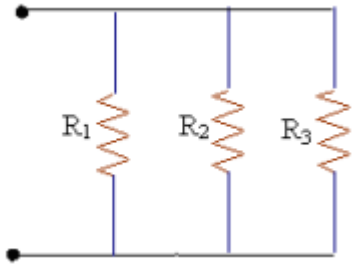
- الحالات الخاصة لإيجاد المقاومة الكلية في الوصل على التوازي:

- المقاومة الكلية لمقاومتين موصولتين على التوازي (حالة خاصة):



$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

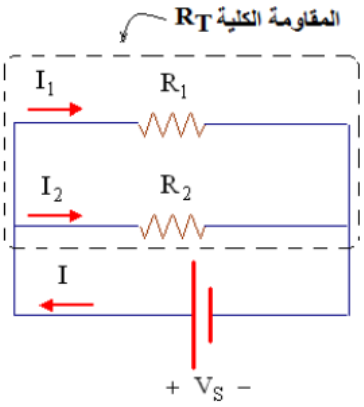
- المقاومة الكلية لمجموعة مقاومات متساوية (عددها N مقاومة) موصولة على التوازي(حالة خاصة):



$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \Rightarrow \frac{1}{R_T} = \frac{N}{R} \Rightarrow R_T = \frac{R}{N}$$

وتكون الموصلية الكلية في هذه الحالة: $G_T = N \times G$

- قانون مقسم التيار(Current Divider Rule):



$$V_T = R_T \times I_T$$

$$V_1 = R_1 \times I_1$$

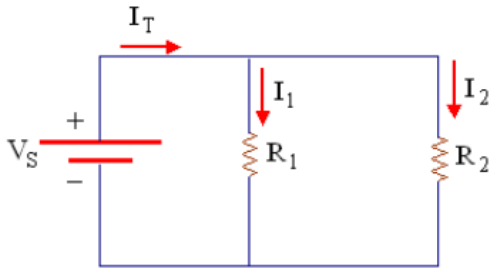
ولكن: $V_T = V_1$

$$\Rightarrow R_1 \times I_1 = R_T \times I_T \quad \Rightarrow I_1 = I_T \times \frac{R_T}{R_1}$$

القانون العام لمقسم التيار:

$$I_X = I_T \times \frac{R_T}{R_X}$$

ويمكن التعبير عن قانون مقسم التيار بصورة أخرى:



$$I_1 = I_T \times \frac{R_T}{R_1}$$

ولكن :

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\Rightarrow I_1 = I_T \times \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

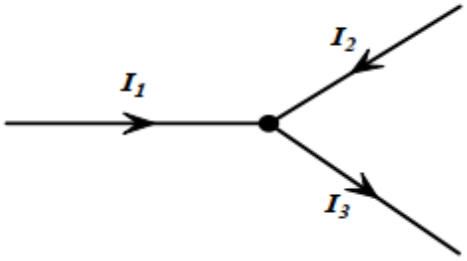
و بنفس الطريقة :

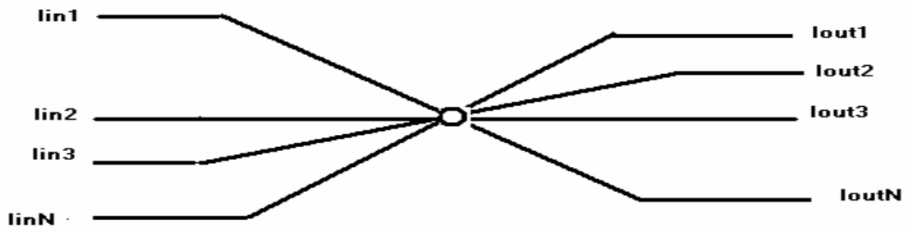
$$\mathbf{I_2 = I_T \times \frac{R_1}{R_1 + R_2}}$$

قانون كيرشوف الأول للتيار (Kirchhoff's Current Law):

مجموعة التيارات الداخلة إلى نقطة التفرع (العقدة) في دائرة ما يساوي مجموع التيارات الخارجة منها.

أو بمعنى آخر: المجموع الجبري لكل التيارات الداخلة والخارجة بالنسبة لنقطة معينة في دائرة كهربائية يساوي الصفر.

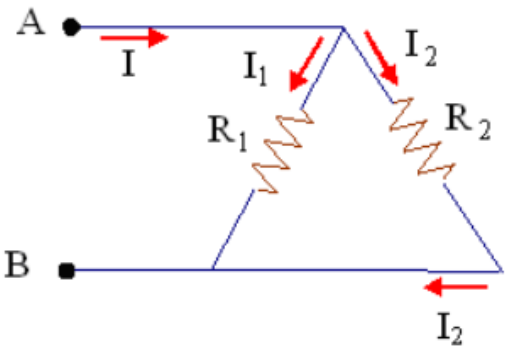




$$\sum I_{Entering} = \sum I_{Leaving}$$

$$I_{(in_1)} + I_{in_2} + I_{in3} + ... + I_{inN} = I_{out_2} + I_{out_2} + ...I_{outN}$$

وبالنسبة لدوائر التوازي:



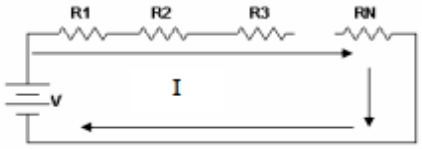
$$\mathbf{I = I_1 + I_2 + I_3}$$

وبصورة أخرى:

$$\mathbf{I - I_1 - I_2 - I_3 = 0}$$

ثالثاً: مقارنة بين دوائر التوالي والتوازي

مقاومات على التوالي



$R_1 + R_2 + ...R_N$

يمر فيها التيار في مسار واحد

مقدار التيار ثابت عبر كل المقاومات

المقاومة الإجمالية:

$R_T = R_1 + R_2 + ...R_N$

حالة مقاومين $R_T = R_1 + R_2$

حالة كل المقاومات متساوية : $R_T = NR$

القدرة الاجمالية : $P_T = P_1 + P_2 + P_3 + ...P_N$

$P_T = V_S I = I^2 . R_T = \frac{V^2_S}{R_T}$

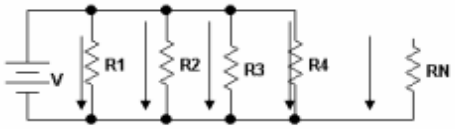
قانون كيرشوف للجهد

$V_S = V_1 + V_2 + ...V_N$

مجزئ جهد Voltage Divider

$V_X = \frac{R_X}{R_T} V_S$

مقاومات على التوازي



$R_1 \backslash\backslash R_2 \backslash\backslash .....\backslash\backslash R_N$

يتفرع التيار فيها إلى عدة مسارات

نفس فارق الجهد عبر كل المقاومات

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ... \frac{1}{R_N}}$$

$$R_T = \frac{R_1 . R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_T = \frac{R}{N}$$

$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + ...P_N$

$P_T = V_s I_T = I_T^2 R_T = \frac{V^2_s}{R_T}$

قانون كيرشوف للتيار

$I_T = I_1 + I_2 + ... + I_N$

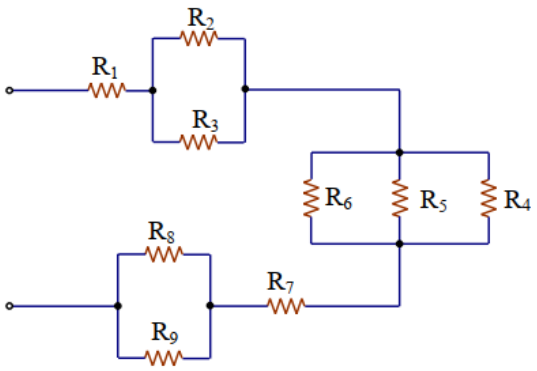
مجزيء تيار Current Divider

$I_x = \frac{R_T}{R_x} I_T$

رابعاً: وصل المقاومات المختلط (توازي – توالي)

دائرة التوالي – التوازي:

هي دائرة مكونة عناصر على التوالي، وبعض هذه العناصر تمثل دائرة التوازي.



تحليل الدوائر المختلطة (Analysis of Series-Parallel Circuits)

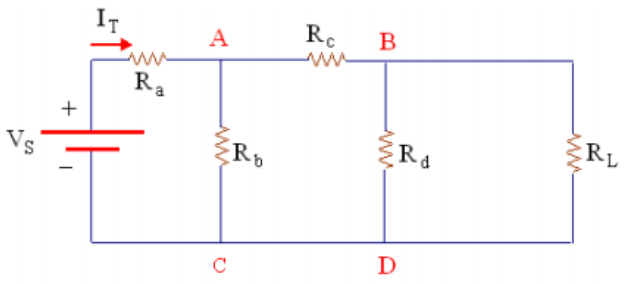
1 - حساب المقاومة الكلية (Total Resistance):

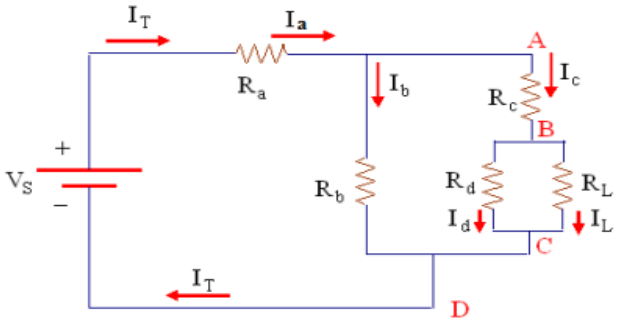
ولإيجاد المقاومة المكافئة نتبع الخطوات التالية:

- نحدد المقاومات الموصولة على التوازي ونوجد المقاومة المكافئة لها.
- نحدد المقاومات الموصولة على التوالي ونوجد المقاومة المكافئة لها.
- نرسم الدائرة الجديدة ثم نستمر في تبسيط الدائرة ثم نستمر في تبسيط الدائرة بإيجاد المقاومة المكافئة لكل من التوالي والتوازي حتى نحصل على المقاومة الكلية للدائرة (R_T).

2 - حساب التيار (Calculation of Current):

- التيار الكلي (Total Current): باستخدام قانون أوم.





$$I_T = \frac{V_T}{R_T}$$

- التيار المار في فروع الدائرة (Branch Current):

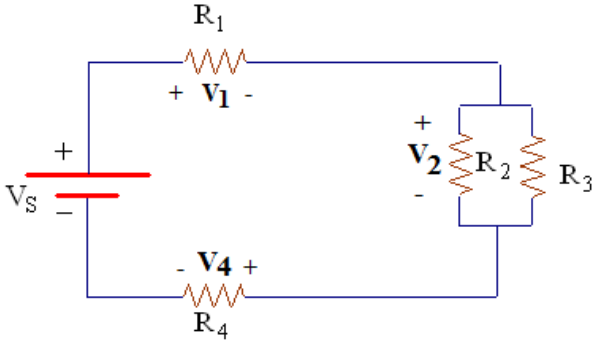
نستخدم قانون أوم في حال كانت كل الجهود والمقاومات في الدائرة معلومة، وكذلك قوانين كيرشوف، وكذلك يمكن استخدام مجزئ الجهد والتيار لإيجاد القيم المجهولة وذلك للحصول على قيمة التيار المحدد.

3- حساب الهبوط في الجهد (Calculation of Voltage Drop):

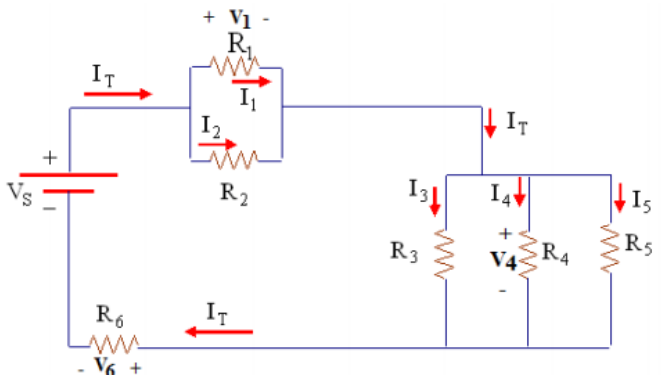
من المفيد حساب هبوط الجهد على أي جزء من أجزاء الدارة باستخدام قانن مجزئ الجهد وكذلك قانون أوم وقانون كيرشوف للجهد.

الجهد والتيار في الدوائر المركبة (Voltage and Currrent in Comlex Circuits) :

الهبوط في الجهد في دوائر التوالي تساوي جهد مصدر التغذية، وهذا ينطبق على الدوائر المركبة، حيث أن الجهد على دوائر التوازي يمكن التعامل معه كعنصر واحد بمعنى أن الجهد متساو على مقاومات التوازي وبالتالي فإن الهبوط في الجهد على مجموعة التوازي يساوي الهبوط في الجهد على أية مقاومة من مقاومات التوازي.

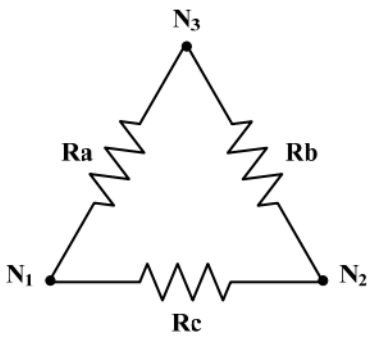


$$Vs = V_1 + V_2 + V_4$$

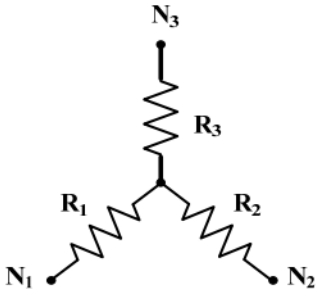


$$IT = I3 + I4 + I5$$

خامساً: التحويل من النجمي إلى مثلثي وبالعكس



التحويل من (Δ) إلى (Y)



التحويل من (Y) إلى (Δ)

$$R_1 = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b + R_C}$$

$$R_2 = \frac{R_b R_C}{R_a + R_b + R_C}$$

$$R_1 = \frac{R_a R_C}{R_a + R_b + R_C}$$

$$R_a = \frac{R_3R_2 + R_2R_1 + R_3R_1}{R_2}$$

$$R_b = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_3}$$

$$R_C = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_1}$$

أساسيات الهندسة الكهربائية

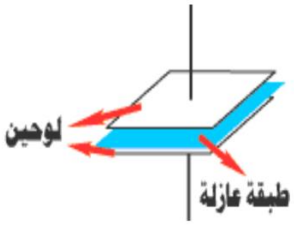
الفصل الحادي عشر: المكثف في دوائر التيار المستمر

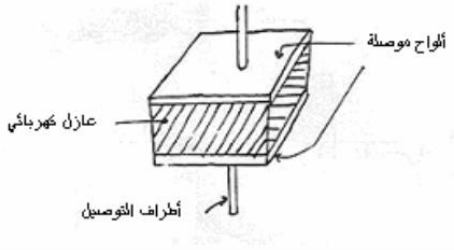
علي المحمد

المكثف Capacitor

أولاً: مقدمة:

تعريفه: هو عنصر كهربائي فعال يعمل على تخزين الطاقة الكهربائية (تخزين الشحنات الكهربائية) لفترة من الزمن على شكل مجال كهربائي، يتكون من لوحين (صفيحتين) متوازيين موصلين للتيار الكهربائي، يحمل كل من اللوحين شحنة متساوية في المقدار ومتعاكسة في الإشارة، ومن ثم تستخدم الشحنة الكهربائية أو تتبدد في الوقت المناسب، يفصل بين اللوحين عازل كهربائي (Dielectric) وقد يكون هذا العازل الهواء.





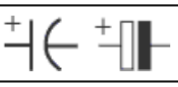
المخترع: ايوالد جورج فون كلايست.

واحدة القياس: الفاراد، ويتم استخدام أجزائها بسبب كبرها منها الميكروفاراد و البيكوفاراد و النانوفاراد.

الاختصار	Prefix	المسمى	القيمة بالفراد	أو
p	pico	بيكو	0.000000000001	10^{-12}
n	nano	نانو	0.000000001	10^{-9}
μ	micro	مايكرو	0.000001	10^{-6}
m	milli	ملي	0.001	10^{-3}

الرمز في المعادلات والحسابات: C.

الرمز في الدارة الكهربائية:

		
مكثف متغير	مكثف مستقطب	مكثف عادي

ثانياً: السعة (capacitance):

إذا ملأنا إناءين مختلفين في الحجم بالماء إلى الارتفاع نفسه فإن كمية الماء فيها غير متساوية ونقول إن كمية الماء في ذلك الإناء أنه ذو سعة أكبر، وكذلك الأمر الكهرباء إذا شحنا موصلين مختلفين إلى الجهد نفسه فإن شحنة أحد الموصولين أكبر من شحنة الآخر ونقول لذلك الموصل أنه ذو شحنة كهربائية أكبر.

تعتبر السعة الكهربائية من أهم التطبيقات المباشرة على مفهوم الكهرباء الساكنة، وذلك بعد وصل طرفي المكثف الكهربائي(capacitor) بفرق جهد مناسب، وإن السعة (capacitance) صفة من صفات المكثف والذي يصمم بأشكال مختلفة تناسب الغرض المقصود من استعمالها، إذ أن هذا الاستعمال يؤدي إلى تخزين الطاقة الكهربائية في المكثف، كما يؤدي إلى نشوء مجال كهربائي بين لوحيه له تطبيقات عديدة في الدوائر الكهربائية والإلكترونية، وكما نعلم فإن المكثف هو عبارة لوحين متوازيين مصنوعين من مادة ناقلة للكهرباء يفصل بينهما وسط عازل، يحمل الوجهان الداخليان للوحين المتوازيين شحنات كهربائية متعاكسة بسبب فرق الجهد الكهربائي (V) بينهما، إن كمية الشحنة المختزنة (storage charge)(q) في المكثف تتناسب تناسباً طردياً مع فرق الجهد بين لوحيه، أي أن:

$$q \propto V$$

وهذا يؤكد ما تمت دراسته في الجهد الكهربائي حيث أننا وجدنا أن مقدار الجهد الكهربائي لموصل يتناسب طردياً مع شحنة هذا الموصل.

حيث أن ثابت التناسب هنا هو ما نطلق عليه "السعة الكهربائية" للمكثف (C)، والتي يعتمد مقدارها على الأبعاد الهندسية (مساحة اللوحين وشكلهما الهندسي والمسافة الفاصلة بينهما) للمكثف ونوع المادة العازلة بين اللوحين، أي أن:

$$q = C \times V \quad \Rightarrow \quad C = \frac{q}{V}$$

C: سعة المكثف الكهربائي، وتقاس بالفاراد (**F**).

V: الجهد الكهربائي على طرفي المكثف، ويقاس بالفولت (**V**).

q: الشحنة الكهربائية وتقاس بالكولوم (**C**).

السعة الكهربائية: هي النسبة الثابتة بين شحنة الموصل ومقدار جهده الكهربائي

$$1\ \text{Farad} = \frac{1\ \text{Coulomb}}{1\ \text{Volt}} \qquad 1\ \text{F} = \frac{1\ \text{C}}{1\ \text{V}}$$

الفاراد: هو مقدار السعة الكهربائية لموصل إذا أعطي شحنة كهربائية قدرها كولوم واحد تغير جهده بمقدار فولت واحد.

ويعتبر الفاراد واحدة كبيرة جداً لقياس السعة الكهربائية للمكثف لذلك نلجأ إلى استعمال أجزاء الفاراد.

إن سعة المكثف المتوازي اللوحين يمكن حسابها وذلك بحساب شدة المجال الكهربائي $(\vec{E})$ الناشئ بين اللوحين وذلك باعتماد قانون غاوس (Gauss law) الذي يربط بين كل من المجال الكهربائي والشحنة الكهربائية بالعلاقة الرياضية: $\varepsilon_0 \int \vec{E} \cdot d\vec{A} = q$

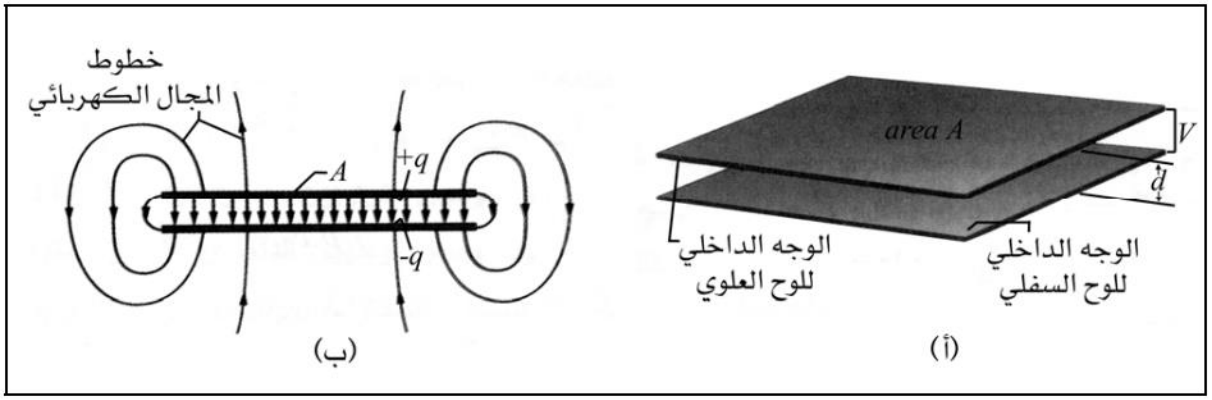
حيث (q)هي الشحنة الكهربائية الموضوعة على السطح، والتكامل هنا يشمل السطح الكلي للوح الناقل، أما (dA) هو الجزء التفاضلي من السطح الكلي ذي المساحة (A)، بيما يمثل المتجه $(d\vec{A})$ متجه المساحة العمودي عليها، أما إذا لم يكن عمودياً فنلاحظ أن إشارة الضرب القياسي الموجودة بين متجه المجال $(\vec{E})$ ومتجه المساحة $(d\vec{A})$، هي التي تضبط هندسياً هذه العلاقة، وباعتبار أن كلاً من $(\vec{F})$ و(ε_0) من جهة و$(\vec{E})$ و(dA) من جهة أخرى موازية لبعضها البعض، أي الزاوية بين $(\vec{E})$ و$(d\vec{A})$تساوي الصفر، إذا يمكننا إعادة صياغة المعادلة ($V = k\frac{q}{r}$)على النحو التالي: $\varepsilon_0 \vec{E} \cdot \vec{A} = q$

ذلك أن تكامل الجزء التفاضلي من المساحة (dA) هو المساحة الكلية (A) كما يمكننا حساب فرق الجهد(V) بين لوحي المكثف وذلك بعد أن عرفنا مقدار المجال الكهربائي من المعادلة المعروفة:

$$V = E \times d \Rightarrow E = \frac{V}{d}$$

حيث:

E: شدة المجال الكهربائي الناتج بين لوحي المكثف ويقاس فولت/متر) رمزها $(\frac{V}{m})$.



يظهر الشكل (أ) المكثف ذو اللوحين المتوازيين والمتساويين في المساحة (A)، والذان تفصل بينهما مسافة (d)، وفرق الجهد بينهما (V)، والشحنتان على وجهيهما (q+) و(q-)، ويظهر الشكل (ب) خطوط المجال الكهربائي ($\vec{E}$) وهو مجال منتظم بينما يتهدب عند حافتي المكثف، ويتم إهمال مجال منطقة التهدب لصغر المسافة (d) مقارنة بالمسافة (A).

ونعلم أن كثافة الشحنة للمكثف تساوي شحنته على مساحة السطح لأحد لوحيه:

$$D = \frac{q}{A}$$

وبقسمة المعادلة (D) على المعادلة (E) نحصل على قيمة ثابتة تسمى ثابت السماحية (permitivity) ويرمز لها بالرمز (ε):

$$\varepsilon = \frac{D}{E} = \frac{\frac{q}{A}}{\frac{V}{d}} = \frac{q \times d}{V \times A}$$

ولكن: $$q = C \times V$$

نعوض نجد: $$\varepsilon = \frac{q \times d}{V \times A} = \frac{C \times V \times d}{V \times A} = \frac{C \times d}{A}$$

ومنه نجد: $$C = \varepsilon \frac{A}{d}$$

ملاحظة:

هذه المعادلة تستخدم لحساب سعة المكثف متوازي الألواح فقط.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \Rightarrow \varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

القانون العام لسعة المكثف: $C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \frac{A}{d}$

وفي حالة الفراغ (العازل هو الفراغ) تكون: $(\varepsilon_r = 1) \Leftarrow (\varepsilon = \varepsilon_0)$

وتكون سعة المكثف في هذه الحالة: $C = \varepsilon_0 \frac{A}{d}$

حيث:

C: سعة المكثف، وتقاس بالفاراد، رمزه (F).

A: هي مساحة الصفيحتين وتقاس بالمتر المربع، رمزها(m^2).

d: هي المسافة الفاصلة بين الصفيحتين وتقاس بالمتر، رمزها(m).

ε: ثابت السماحية (العازلية للمادة)

ε_0: ثابت السماحية في الفراغ $(\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}\ F/m)$

ε_r: ثابت السماحية النسبية للمادة العازلة (relative permitivity) وهو النسبة $(\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0})$.

<u>ملاحظة:</u>

يمكن تعريف ثابت العزل بأنه النسبة بين سعة المكثف في وجود الفراغ وسعة المكثف في وجود عازل.

أي أن: $(\varepsilon_r = \frac{C}{C_0})$.

حيث:

C: سعة المكثف عند وجود عازل.

C_0: سعة المكثف عند عدم وجود عازل.

والجدول التالي يوضح قيم ثابت العزل لبعض المواد:

مادة العازل Dielectric Material	قيمة ثابت العزل ε_r Dielectric Constant
الهواء (الفراغ) *Air(Vacuum)*	1
Teflon	2
paper(paraffin)	2.5
الزيت *Oil*	4
الميكا *Mica*	5
الزجاج *Glass*	7.5
السيراميك *Ceramic*	1200

ملاحظة:

تتم اختيار سعة المكثف بناءاً على عاملين أساسيين هما سعة المكثف، وفرق الجهد المطبق على طرفيه.

العوامل المؤثرة على سعة المكثف:

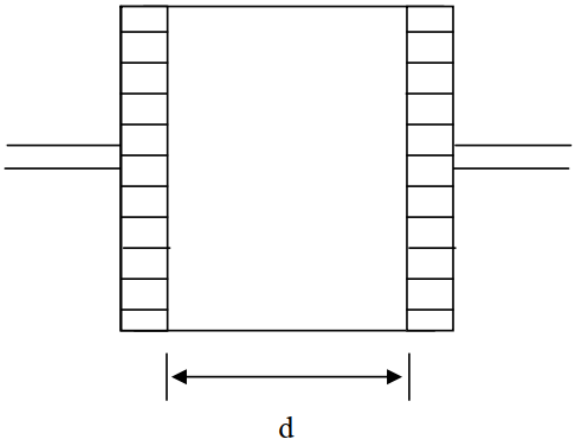
من العلاقة $C = \varepsilon \frac{A}{d}$ نلاحظ أن سعة المكثف تتوقف على هدة عوامل وهي:

- **المساحة السطحية للألواح (Plate Area) (A):**

سعة المكثف تتناسب طرداً مع المساحة السطحية للألواح، فإذا زادت مساحة سطح اللوح زادت سعة المكثف وذلك لزيادة استيعابه للشحنات الكهربائية، وبالعكس تقل سعة المكثف كلما قلت هذه المساحة، ويمكن اعتبار المساحة الفعلية للمكثف على أنها مساحة الأجزاء المتقابلة من الصفيحتين.

- **المسافة بين الألواح (Plate Separation) (d):**

سعة المكثف تتناسب بشكل عكسي مع المسافة بين لوحيه، حيث تقل السعة عندما تزداد المسافة بين الألواح وتزداد كلما قلت تلك المسافة.



تأثر سعة المكثف بالمسافة الفاصلة بين الصفيحتين

- **ثابت العزل (المادة العازلة)(ε):**

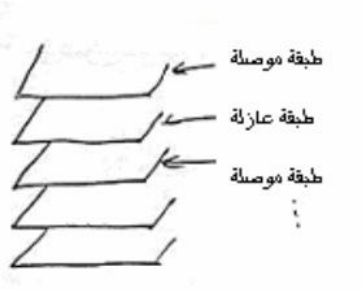
تتغير سعة المكثف بتغير المادة العازلة بين الألواح، ويعتبر الهواء الوحدة الأساسية لمقارنة قابلية عزل المواد الأخرى المستعملة في صناعة المكثفات، يوجد لكل مادة ثابت عزل يطلق عليه إبسلون (ε).

ثالثاً: أنواع المكثفات Types of capacitors:

- **المكثفات الثابتة (Fixed capacitors):**

- **مكثفات المايكا Mica capacitors:**

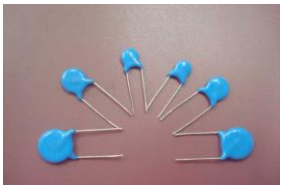
تستعمل مادة المايكا كعازل كهربائي بين لوحي المكثف، بحيث تتناوب الطبقات، طبقة موصلة وأخرى عازلة، وهذه الطبقات تغلف بعد ضغطها باستخدام أجهزة خاصة.



وقيمة السعة في هذا النوع تتراوح بين $\mathbf{0.1\mu f \rightarrow 1\mu F}$ ، أما الحد الأقصى للفولطية (الجهد) فيتراوح بين $\mathbf{1000\ V \rightarrow 2500\ V}$ ،والمعامل الحراري بين $\mathbf{-20\ PPm/C° \rightarrow 100\ PPm/C°}$.

- **مكثفات السيراميك Ceramic capacitors:**

تستعمل مادة السيراميك كعازل كهربائي بين لوحي المكثف، حيث أن لمادة السيراميك خاصية هامة وهي ارتفاع قيمة ثابت العازل، وبالتالي يمكن الحصول على قيم مرتفعة للسعة مع حجم صغير للمكثف، وقيمة السعة في هذا النوع تتراوح بين $\mathbf{1pF \rightarrow 2.2pF}$، والفولطية المقننة تصل حتى $\mathbf{6000}$، أما المعامل الحراري فيصل إلى القيمة $\mathbf{200000\ PPm/C°}$، وقيمة هذا المعامل مرتفعة جداً مقارنة بمكثفات الميكا.

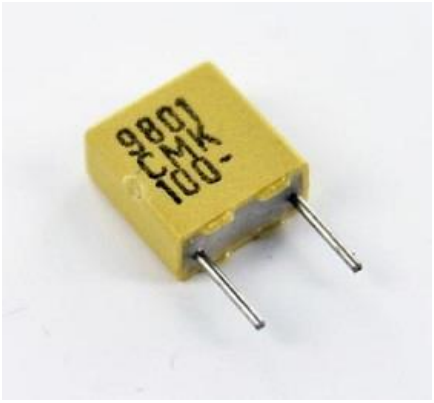


- **المكثف البلاستيكي Ceramic capacitors:**

للمكثف البلاستيكي أنواع متعددة تبعاً لنوع البلاستيك المستعمل كعازل كما يلي:

كربونات البولي (Poly Carbonate)، البروبيلين (Propylene)، البوليست (Polyester).

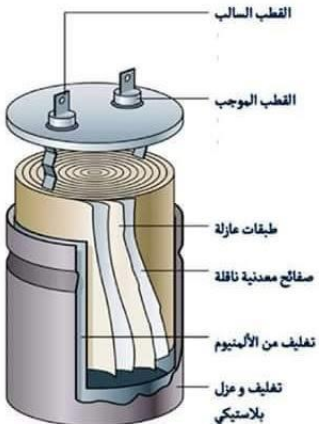
حيث أن بعض هذه المكثفات تصل سعتها إلى 100µF.



- **المكثف الإلكتروليتي Electrolytic capacitors:**

إن مادة الإلكتروليت هي عبارة عن محلول كيميائي له خاصية توصيل التيارو التحليل عند عبور تيارفيه. وتكون هذه المكثفات عبارة عن مكثفات مستقطبة (أي أن لها قطبية) فهناك صفيحة ذات قطبية موجبة وأخرى سالبة. أيضاً هذه الأنواع تستعمل للقيم العالية للسعة، تقريباً 200000µf.

ولكن الحد الأقصى للجهد محدود، حيث يصل إلى 350 V، كما تعاني هذه النوعية من المكثفات من معدل التسرب العالي.



ملاحظة:

يتم تحديد أقطاب المكثف بطريقتين،الأولى أن الرجل الأقصر تمثل القطب السالب والرجل الأطول تمثل الموجب، والثانية أن اللون الأبيض المكتوب عليه إشارة (-) بشكل صريح يمثل القطب السالب.

- **المكثفات المتغيرة (Variable capacitors):**

وهي التي يمكن التحكم في سعتها أما يدوياً أو آلياً، ورمزها كما في الشكل التالي:

- **المكثف الهوائي Air capacitors:**

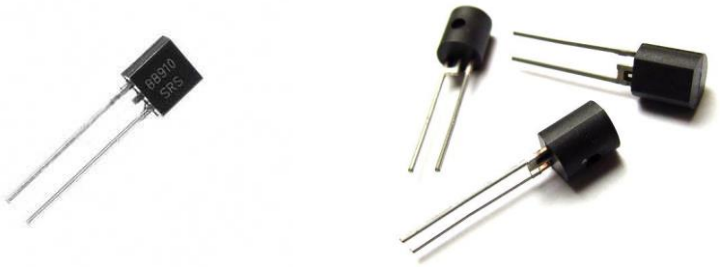
يتم التحكم في سعة هذه المكثفات عن طريق تغيير المساحة الفعلية للصفائح، حيث يكون العازل الكهربائي بين هذه الصفائح هو الهواء، وهذه المكثفات عن عبارة تناوب طبقات موصلة ثابتة وأخرى موصلة متحركة، حيث يمكن تغيير المساحة الفعلية بين الصفيحتين وبالتالي تغيير السعة.

- **مكثف تريمر Trimmers capacitors:**

يمكن أن نتحكم في تغيير سعته، أو يترك دون تعديل لفترات زمنية طويلة وقد نلجأ لضبط قيمته عند أجراء أعمال الصيانة والإصلاح في الدائرة الإلكترونية.

- **مكثف الفاراكتور Varactors capacitors:**

هو عنصر شبه موصل يتحكم في سعته عن طريق الجهد بين الصفيحتين.



رابعاً: خواص المكثفات:

- **الجهد المقنن أو الفولطية المقننة Voltage Rating:**

تختلف الجهود المكتوبة على المكثفات باختلاف أنواعها وأحجامها، بحيث أن كل مكثف يمكنه أن يتحمل حد أقصى من الجهد، هذا الحد الأقصى يدعى بالجهد المقنن أو الفولطية المقننة (Voltage Rating)، ويمكن تعريف الجهد المقنن بأنه قيمة الجهد القصوى التي يمكن أن يتحملها المكثف عند تسليطها عليه دون حدوث أي تلف له، وتكون هذه القيمة مكتوبة على المكثف، وعند تصميم أو تركيب الدوائر الكهربائية المختلفة يجب أخذ قيمة الجهد المقنن بعين الاعتبار، لأن اختيار القيمة الخطأ يؤدي لتلف و انفجار المكثف.

- **المعامل الحراري Temprature Coefficient:**

من العوامل المؤثرة على قيمة سعة المكثف درجة الحرارة، بحيث أن كل مكثف له معامل حراري Temprature Coefficient، هذا المعامل يعبر عن مدى تغير السعة تبعاً لتغير درجة الحرارة، فإذا كان هذا المعامل موجباً فهذا يعني أن سعة المكثف تزيد مع ارتفاع درجة الحرارة، أما إذا كان المعامل الحراري سالباً فهذا يعني أن سعة المكثف تنخفض بزيادة درجة الحرارة، ويمكن الحصول على وحدة قياس المعامل الحراري كما يلي: (parts/millian)/C°، ويرمز لها ppm//C°.

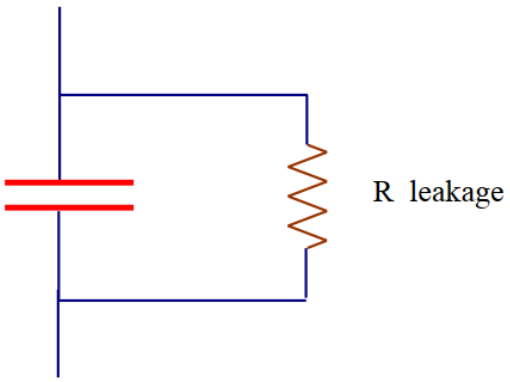
- متانة العازل Dielectric Strength:

تعرف بأنها مقدرة العازل على تحمل الجهد المسلط عليه دون أن ينهار. أما الوحدة التي تقاس بها متانة العازل فهي: volt / millimeter ويمكن اختصارها volt/mm، فعلى سبيل المثال إذا كانت متانة العازل 1000\mm فهذا معناه أن المليمتر الواحد من سمك المادة العازل يتحمل 1000 V دون أن ينهار.

ومن الضروري الإشارة إلى أنه يمكن أن تصنف أو ترتب الأجسام على حسب الصلابة التي تتمتع بها تنازلياً (أي من الأكثر صلابة إلى الأقل) كما يلي: (الزجاج – الميكا- مادة التفلون – مادة البارفين – السيراميك – الزيت – الهواء).

- التسريب Leakage:

لا يوجد عازل كهربائي مثالي ideal Dielectric، كما أن كل عازل كهربائي ومهما كامت مواصفاته، لابد أن ينقل مقداراً ضئيلاً من التيار، وبالتالي فإن هذا سيؤدي إلى تسرب جزء صغير من شحنة المكثف، حيث أن الدائرة المكافئة لمكثف غير مثالي موضحة في الشكل:



حيث أن R_{Lekage} هي مقاومة العازل وهي مقاومة كبيرة جداً.

خامساً: استعمالات المكثف في الدائرة الإلكترونية:

- تخزين الشحنة الكهربائية.
- تنعيم التيار المتردد في دوائر تحويل التيار المتردد إلى مستمر.
- المكثف عنصر يقاوم التغير المفاجئ في الجهد.
- منع مرور التيار المتردد في دوائر مكبرات الموجات.
- منع مرور التيار المستمر في بعض الدوائر.
- توليد موجات ذات زمن محدد.
- المكثف يعتبر مقاومة في دوائر التيار المتردد ويسمى مفاعلة سعويه.
- تحسين معامل القدرة: حيث يعمل وجود المكثف على تحسين معامل القدرة الكهربائية في الدوائر الكهربائية من خلال تقليل نسبة استهلاك الطاقة غير الفعالة أو المهدورة في الأجهزة الكهربائية.

سادساً: أعطال المكثفات:

تتعرض المكثفات المستخدمة في الدوائر الكهربائية والإلكترونية إلى عدة أعطال تؤثر بالسلب على أداء الدائرة في حالة حدوث أحد أنماط الأعطال الآتية:

دائرة القصر: ينتج هذا العطل من اتصال لوحي المكثف معاً نتيجة انهيار العازل الذي قد ينتج بدوره من تعريض المكثف لفولطية أعلى من فولطية الانهيار له، أو تشغيله في ظروف ترتفع فيها درجة حرارته عن الحد المسموح به، وهذا العطل من أكثر أعطال المكثفات شيوعاً حيث يعطي المكثف عند قياسه مقاومة منخفضة جداً قد تصل إلى صفر.

المكثف يتصرف كأنه مقاومة: يعطي مقاومة ثابتة عند قياس مقاومته، وينتج هذا العطل عادة من انفصال أحد أطرافه أو تلفه، كما يحدث للمواسعات الكيميائية.

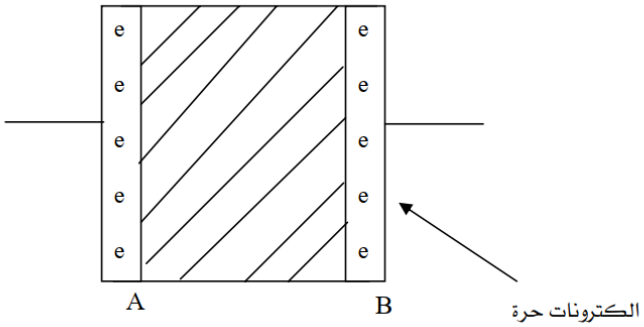
تغير سعة المكثف: يعطي المكثف في هذه الحالة سعة أكبر من سعته المقررة أو أقل بشكل ملحوظ، وينتج ذلك من اختلاف ظروف التشغيل عن الظروف السليمة، ولا يمكن اكتشاف هذا العطل بقياس مقاومة

المكثف، ولابد في هذه الحالة من استخدام جهاز قياس السعة الخاص بالمكثف لقياس سعته ومقارنة قراءة الجهاز بالقيمة المسجلة على جسم المكثف.

شكل كل من المكثف التالف والسليم

سابعاً: طريقة تخزين المكثف للشحنات الكهربائية:

عند توصي المكثف بمصدر جهد مستمر عبر مقاومة فإن هذا المكثف يقوم بتخزين الشحنات الكهربائية، وفي الحالة الطبيعية يكون على الصفائح المعدنية إلكترونات حرة باعتبارها أجسام موصلة، كما هو موضح في الشكل:

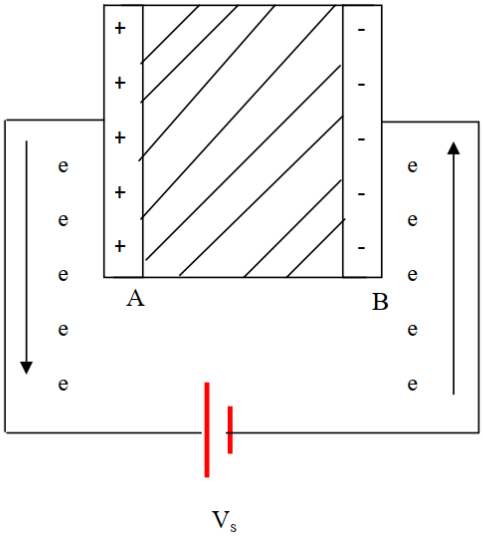


الإلكترونات الحرة

ولكن بعد توصيل المكثف بمصدر للجهد، فإن مجموعة من الإلكترونات الموجودة على الصفيحة (A) تتحرر ويترسب عدد مساو لهذه الإلكترونات الموجودة على الصفيحة (B) في هذه الحالة يقال أن المكثف في حالة شحن.

<u>ملاحظة:</u>

- الإلكترونات تتحرك خلال الأسلاك الموصلة.
- ليس هناك إلكترونات تعبر الوسط العازل لإنه عازل، كما هو موضح في الشكل:



حركة الإلكترونات خلال الأسلاك الموصلة

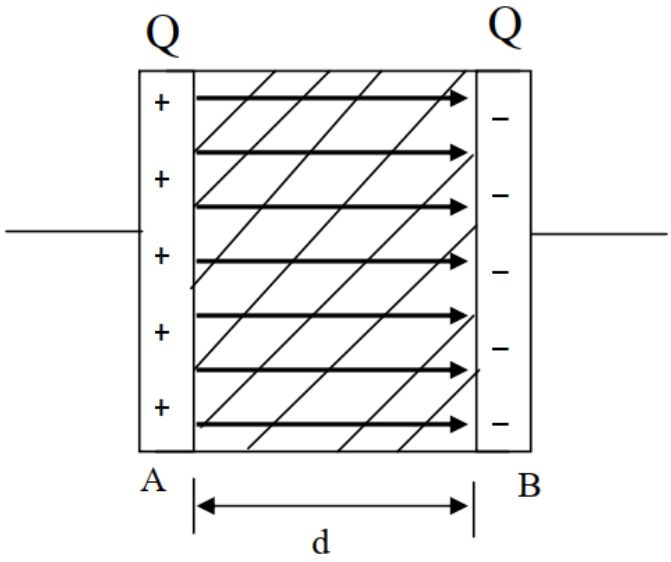
ومن ثم تصبح شحنة الصفيحة (A) موجبة لأن الإلكترونات تغادرها وشحنة الصفيحة (B) سالبة لإن الإلكترونات تترسب عليها.

تتواصل عملية الشحن هذه حتى يصبح فارق الجهد بين الصفيحتين مساوي لجهد المصدر (V_s)، عندئذ تتوقف الإلكترونات عن السريان. وبالتالي فإنه عند فصل المكثف المشحون عن المصدر فإن هذا المكثف يحافظ على شحناته لمدة طويلة.

<u>ملاحظة:</u>

يمكن اعتبار المكثف المشحون كمصدر مؤقت للجهد.

كما ينبغي أن نشير إلى أن المكثف يخزن الطاقة على شكل مجال كهربائي ناتج عن اختلاف الشحنات بين الصفيحتين كما يلي:



المجال الكهربائي الناتج عن اختلاف الشحنات

<u>ملاحظة:</u>

كلما كانت قوة التجاذب أكبر كلما كانت الطاقة أكبر

ثامناً: الطاقة الكهربائية المختزنة في مكثف مشحون Storage Energy In Charged Capacitor:

مقدار الشحنة الكهربائية $(\mathbf{q})$ في المكثف يتناسب مع فرق الجهد $(\mathbf{V})$ بين طرفي المكثف الكهربائي، ومن المعلوم أن الجهد بين طرفي المكثف يبدأ من القيمة $(\mathbf{V = 0})$ عندما تكون الشحنة الكهربائية $(\mathbf{q = 0})$ ثم يزداد تدريجياً إلى القيمة $(\mathbf{V = V})$ عندما يكتمل شحن المكثف وتصل الشحنة الكهربائية إلى المقدار $(\mathbf{q})$، أي أن القيمة المتوسطة للجهد (معدل الجهد) بين طرفي المكثف هي:

$$\overline{\mathbf{V}} = \frac{\mathbf{V + 0}}{\mathbf{2}} = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}}\mathbf{V}$$

حيث $(\mathbf{V})$ هو فرق الجهد بين طرفي البطارية.

أما الشغل اللازم إنجازه لنقل الشحنة الكلية (q) عبر متوسط الجهد $(\bar{V})$ فهو:

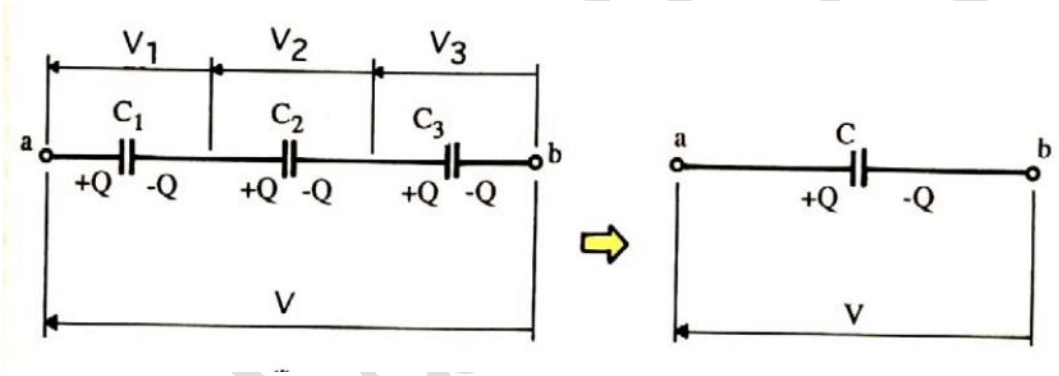
$$w = q\left(\frac{1}{2}v\right) = \frac{1}{2}qv$$

ويتم بعد ذلك تخزين الشغل كطاقة كهربائية كامنة في المجال الكهربائي بين لوحي المكثف، ويمكن حسابه على النحو التالي:

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

تاسعاً: توصيل المكثفات

- **الوصل على التوالي (التسلسل):**



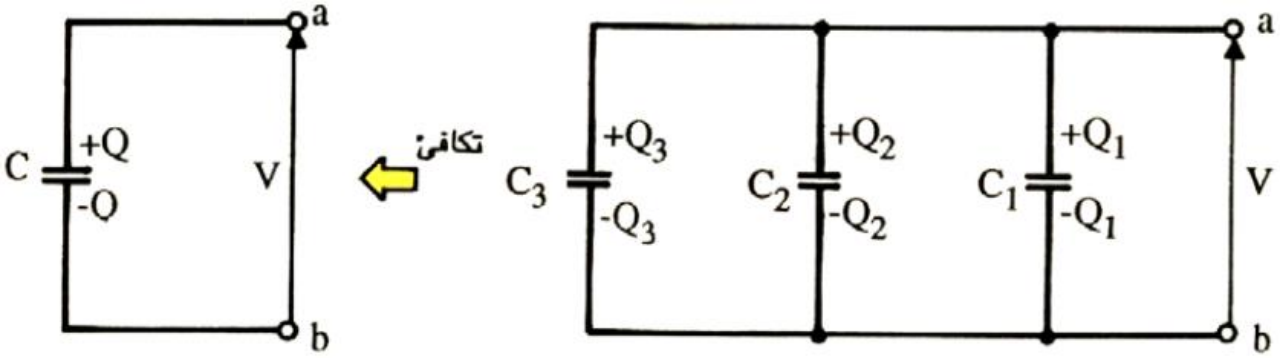
السعة المكافئة: $\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$

وفي حال مكثفين فقط: $C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$

الجهد: $V_T = V_1 + V_2 + V_3$

الشحنة: $Q_T = Q_1 = Q_2 = Q_3$

- الوصل على التوازي (التفرع):



السعة المكافئة: $C_T = C_1 + C_2 + C_3$

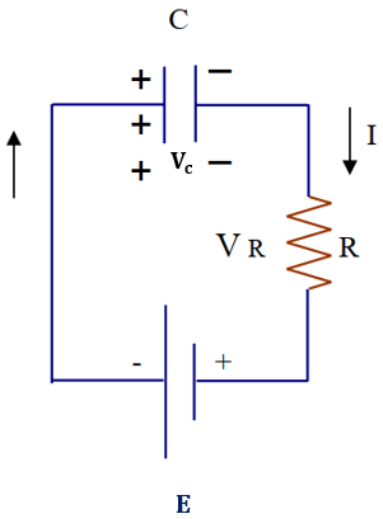
الجهد: $V_T = V_1 = V_2 = V_3$

الشحنة: $Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3$

عاشراً: شحن وتفريغ المكثف Charging and Discharging Capacitors:

أولاً: شحن المكثف (Charging Capacitors):

لدينا مكثف موصول في دارة تيار مستمر



في الدارة حسب قانون كيرشوف يكون: $E = Vc + V_R$

تقسم عملية تفريغ المكثف إلى ثلاثة مراحل:

- المرحلة الأولى: .

في بداية عملية الشحن (عند لحظة غلق المفتاح)($t = 0\ \mathbf{Sec}$) يكون:

$\mathbf{Vc = 0V}$ (وذلك لإن المفاعلة السعوية على المكثف $\mathbf{X_c = 0}$).

$\Leftarrow$ $\mathbf{V_R}$ يكون عند أعلى قيمة له $\Leftarrow$ $\mathbf{E = V_R}$

$\Leftarrow$ $\mathbf{I_R = I_C = \frac{V_R}{R} = \frac{E}{R}}$ (التيار في بداية عملية الشحن في أعلى قيمة له)

يمكن اعتبار المكثف غير المشحون في بداية عملية الشحن كدائرة قصر، أي أن المفاعلة السعوية ($\mathbf{X_c = 0}$).

ملاحظة:

في بداية عملية الشحن تكون حركة الإلكترونات سريعة جداً وتتباطأ عندما يقترب جهد المكثف ($\mathbf{Vc}$) من الوصول إلى قيمة جهد المصدر($\mathbf{E}$).

- المرحلة الثانية: أثناء عملية الشحن يتكون شيئاً فشيئاً فارق جهد عبر المكثف أي أن ($\mathbf{Vc}$) يزيد وبالتالي يقل الجهد المطبق على المقاومة $\mathbf{V_R}$ وبالتالي يكون المجموع ($\mathbf{Vc + V_R}$) دائماً يساوي ($\mathbf{E}$).

$\Leftarrow$ التيار $\mathbf{I_R = \frac{V_R}{R}}$ سوف يتناقص، وبالتالي فإنه كلما زاد الجهد عبر المكثف كلما قل التيار إلى أن يصل إلى القيمة صفر مما يعني أن المكثف أصبح دائرة مفتوحة.

- المرحلة الثالثة: عندما تنتهي عملية الشحن يكون الجهد على المكثف يساوي جهد المنبع أي أن $\mathbf{E = V_C}$)، وحينها يكون الجهد على المقاومة يساوي صفراً أي أن ($\mathbf{V_R = 0}$)، وبالتالي فإن التيار يساوي صفراً،

ولهذا فإنه عندما يكون المكثف مشحوناً تماماً ويثبت عند قيمة معينة ويعتبر حينها دارة مفتوحة، و أيضاً إن المكثف بهذه الحالة يمنع التيار المستمر من المرور وذلك بسبب أن ($\mathbf{X_c = \infty}$)، مما يعني أن المكثف يعيق أو يمنع التيار المستمر من المرور.

$$\mathbf{I = I_R = I_c = 0}$$

$$\mathbf{V_R = I_R \cdot R = 0 \cdot R = 0}$$

$$E = V_C$$

عندما يتساوى جهد المكثف مع جهد المصدر تتوقف حركة الإلكترونات لتكون قيمة الشحنة على اللوحين: $Q = C \cdot V_c = C \cdot E$

<u>ملاحظات:</u>

- انحدار قيمة التيار تكشف عن أن كمية الشحنة على الزمن التي تصل إلى اللوح تقل إيضاً من العلاقة:

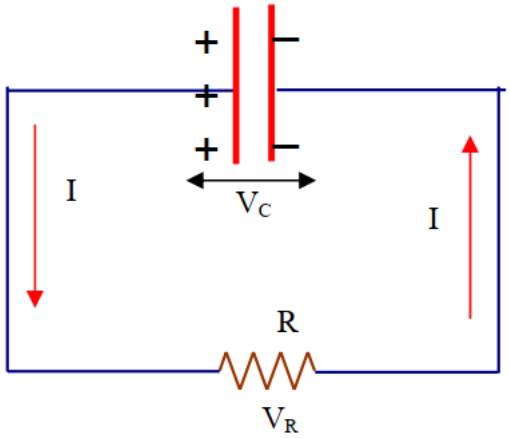
$$I_C = \frac{Q}{t}$$

- الجهد بين لوحي المكثف له إيضاً علاقة مباشرة بالشحنة وذلك من العلاقة:

$$V_C = \frac{Q}{C}$$

ثانياً: تفريغ المكثف (Discharging Capacitors):

عملية تفريغ المكثف تعني أن المكثف غير موصول بمصدر الجهد وتم فصل مصدر الجهد المستمر من الدائرة ويصبح المكثف هو مصدر التغذية في الدارة.



$$Vc = V_R$$

تقسم عملية تفريغ المكثف إلى ثلاثة مراحل:

- المرحلة الأولى: في البداية المكثف مشحون، وذلك يكون الجهد على المقاومة يساوي الجهد على المكثف ويكونان في أقصى مقدار لهما وكذلك التيار $I = \frac{V_R}{R}$.
- المرحلة الثانية: أثناء عملية التفريغ فإن الجهدين $(V_C، V_R)$ ينخفضان شيئاً فشيئاً وكذلك التيار فإن:

$$\downarrow I \Leftarrow \downarrow V_C ، \downarrow V_R$$

- المرحلة الثالثة: تتوقف عملية التفريغ عندما يصبح فارق الجهد بين الصفيحتين يساوي صفراً، وبالتالي فإن قيمة التيار $I = 0$

ملاحظة:

خلال عملية التفريغ يتغير اتجاه التيار وبتغييره تتغير أقطاب المقاومة (R)

$$I_R = I_C = I_{شحن}$$

ثابت الزمن RC Time Constant:

إن عملية الشحن والتفريغ السابقة تستغرق وقتاً معيناً وللدلالة على هذا الوقت نعرف الثابت الزمني، كما يلي:

$$\tau = R \times C$$

حيث:

τ: الزمن اللازم كي تتغير الشحنة على المكثف بمقدار 63% من شحنته القصوى النهائية، وهي كذلك الوقت اللازم كي يفرغ المكثف 63% من شحنته القصوى الأولية.

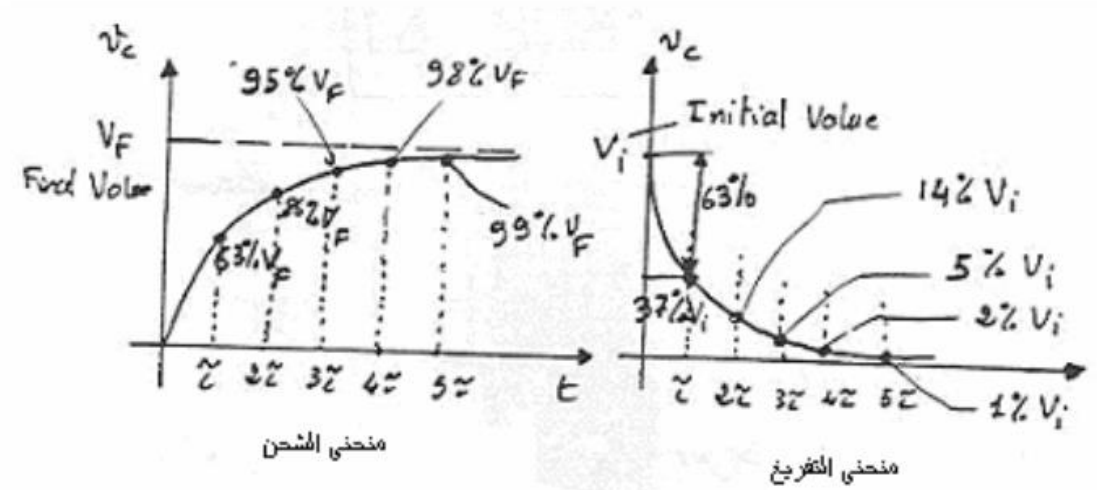
R: المقاومة، وتقاس بالأوم (Ω).

C: سعة المكثف، وتقاس الفاراد، رمزها (F).

منحنيات الشحن والتفريغ Charging and Discharging Curves:

المكثف يشحن ويفرغ على نحو غير خطي، أي لا يتخذ شكلاً خطياً و إنما على نحو أسي أي وفق دالة أسية (Exponential Curves). ويتغير جهد المكثف مع الزمن وفق العلاقة التالية:

حيث:



- في عملية الشحن:

V_i: هي الجهد الأولي عند بداية عملية الشحن.

V_F: هي الجهد النهائي الأقصى.

بحيث يجب أن يكون: $V_F > V_i$

- في عملية التفريغ:

V_i: هي الجهد الأولي عند بداية عملية التفريغ.

V_F: هي الجهد النهائي عند نهاية عملية التفريغ.

بحيث يجب أن يكون: $V_F < V_i$

- حالات خاصة للعلاقة العامة:
- الشحن من نقطة الصفر: في هذه الحالة $\mathbf{V_i = 0}$ ، وبالتالي العلاقة العامة للجهد تصبح كما يلي:
- التفريغ إلى نقطة الصفر: في هذه الحالة $\mathbf{V_F = 0}$ ، وبالتالي العلاقة العامة للجهد تصبح كما يلي:

معادلات الشحن:

تيار الشحن:

$$\mathbf{I_c = \frac{E}{R} \cdot e^{-t/\tau}}$$

جهد الشحن:

$$\mathbf{V_c = E(1 - e^{-t/\tau})}$$

جهد المقاومة:

$$\mathbf{V_R = E \cdot e^{-t/\tau}}$$

معادلات التفريغ:

تيار التفريغ:

$$\mathbf{I_c = \frac{-E}{R} \cdot e^{-t/\tau}}$$

جهد التفريغ:

$$\mathbf{V_c = Ee^{-t/\tau}}$$

جهد المقاومة:

$$\mathbf{V_R = -E \cdot e^{-t/\tau}}$$

علي المحمد

أساسيات الهندسة الكهربائية

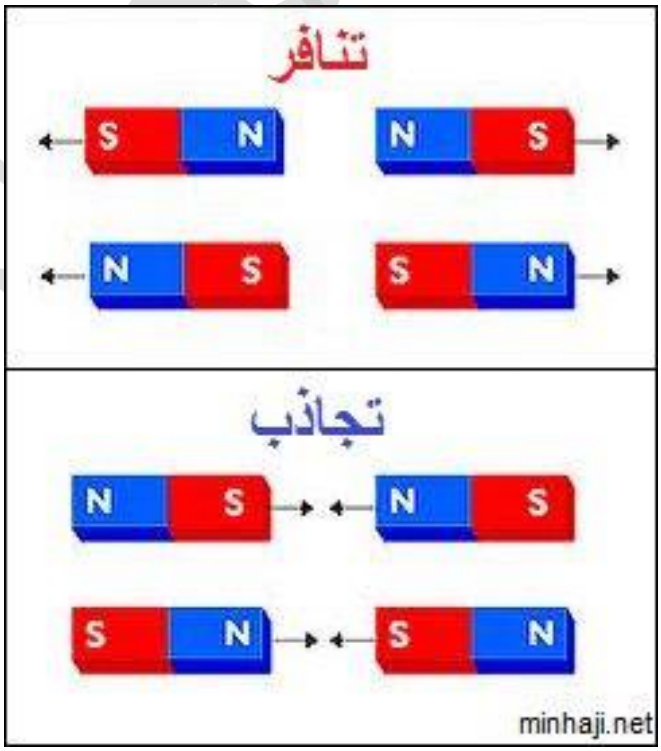
الفصل الحادي عشر: التيار المتناوب

علي المحمد

أولاً: مراجعات في المغناطيسية

- **مقدمة**

- الأقطاب المتشابهة لمغناطيس تتنافر والأقطاب المتماثلة تتجاذب (كحال الشحنات الكهربائية)
- عند تقريب قطعة حديدية من مغناطيس نلاحظ انجذابها له سواء تم تقريبها من القطب الجنوبي أم من الشمالي.
- لاتوجد أقطاب مغناطيسية بشكل مفرد (جنوبي لوحده أو شمالي لوحده) فلو بكسر مغناطيس سوف نحصل على جنوبي جديد وشمالي جديد وهكذا.
- عند نثر برادة حديد على ورقة تحتها مغناطيس سوف تأخذ البرادة أشكالاً منتظمة مكونة لخطوط المجال المغناطيسي وهذا يدل على تأثر برادة الحديد بخطوط المجال المغناطيسي وهذا سوف لن يحدث مع النحاس.
- تستخدم البوصلة لتحديد اتجاه المجال المغناطيسي فرأس إبرة البوصلة يشير إلى الشمال أي إلى القطب الشمالي للكرة الأرضية.



- **الخواص المغناطيسية للمواد**
  - **أنواع المغناطيس :**

- المغناطيس الدائم: وهو الموجود في الطبيعة ويحمل الصفات المغناطيسية.
- المغناطيس الكهربائي: ويتشكل عند مرور تيار كهربائي في ملف فالمجال الناشئ عنه يرتبط بمرور التيار الكهربائي في الملف ويزول هذا المجال بزوال التيار

  - **قابلية المواد للتأثر بالمجال المغناطيس:**

تختلف قابلية المواد للتأثر بالمجال المغناطيس من مادة إلى أخرى تبعاً للنفاذية المغناطيسية، فالنحاس والحديد كلاهما ناقل للتيار الكهربائي ولكن نفاذية النحاس أكبر من نفاذية الحديد آلاف المرات وهو لايتأثر بالمجال المغناطيسي.

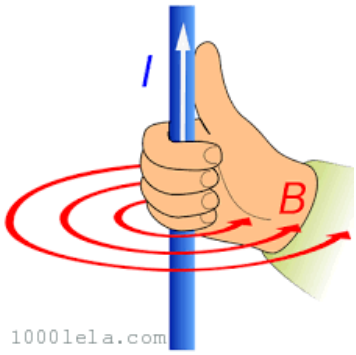
- **المجال المغناطيسي**
  - **المجال المغناطيسي لمغناطيس دائم:**

- تنطلق خطوط المجال من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي.
- كلما زادت كثافة الخطوط زادت شدة المجال المغناطيسي المكون لها.
- خطوط المجال المغناطيسي متصلة وغير متقطعة.

  - **المجال المغناطيسي لتيار كهربائي يمر في سلك:**

- اكتشف وجود هذا المجال العالم اورستد عندما وضع إبرة صغيرة بالقرب من سلك يمر فيه تيار كهربائي فلاحظ إنحراف البوصلة، وعندما فصل التيار عادت البوصلة إلى طبيعتها.
- المجال المغناطيسي يتشكل على هيئة دوائر متحدة المركز ومركزها هو السلك الذي يمر فيه التيار وهي متعامدة مع اتجاه السلك.

- لتحديد اتجاه المجال نطبق قاعة اليد اليمنى لأمبير بأن نقرص على السلك باليد اليمنى ونجعل الإبهام باتجاه التيار فتكون حركة بقية الأصابع تسير إلى اتجاه خطوط المجال.



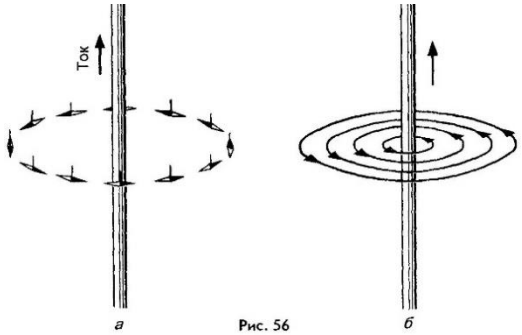


Рис. 56

- <u>المجال المغناطيسي لتيار كهربائي يمر في ملف:</u>

عند مرور تيار كهربائي في ملف (سلك ملفوف) سوف يتولد مجال مغناطيسي كبير، وهذا المجال سيتم قطعه بواسطة ملفات الملف فسوف يتولد جهد في الملف نتيجة هذا القطع، وسيكون هذا الجهد معاكس للجهد الأصلي، وسوف يحارب تغير قيمة التيار الأصلي، لذلك فإن التيار الأصلي لايتزايد بسرعة كبيرة عند مروره في الملف، أي أن الملف يحارب التغير المفاجئ في التيار.

والجهد حول الملف يعتمد على التغير في التيار، وإن لم يتغير التيار فإن الجهد يكون صفر.

- الفيض المغناطيسي (التدفق المغناطيسي):

<u>تعريفه:</u> هو عدد خطوط المجال المغناطيسي الموجودة في الدارة ،

رمزه: $\emptyset$ ، واحدته: ويبر(weber)

يحافظ على قيمته خلال أي جزء مستقيم في الدارة المغناطيسية، ويقابل التيار الكهربائي في الدارة الكهربائية.

- **شدة الحقل المغناطيسي:**

هو قوة الحقل المغناطيسي، ويعرف وفق نظرية أمبير والتي تنص أن التكامل الخطي لشدة المجال المغناطسي حول مسار مغلق يساوي التيار الكلي داخل هذا المسار.

$$H = \frac{NI}{l}$$

حيث:

H: شدة الحقل المغناطيسي، واحدتها (أمبير/ متر) رمزها (A/m)

N: عدد الفات

l: طول المسار/ يقاس بالمتر(m).

I: شدة التيار الكهربائي ، يقاس بالأمبير رمزها (A).

- **معامل النفاذية:**

هوسماحية المادة لنفاذ الحقول المغناطيسية فيها، ولكل مادة نفاذية خاصة فيها

$$\mu = \mu_r \cdot u_0$$

حيث:

μ: نفاذية المادة

μ_r: النفاذية النسبية، واحدتها $\left(\frac{H}{m}\right)$

u_0: نفاذية الهواء ، حيث: $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{H}{m}$

- **كثافة التدفق المغناطيسي:**

هو كمية التدفق(∅)التي تعبر مساحة معينة(A) وتكون عمودية على خطوط المجال المغناطيسي، واحدته(Tesla)(T).

$$B = \frac{\phi}{A} \qquad \text{أو} \qquad B = \mu \cdot H$$

- **المقاومة المغناطيسية:**

هي ممانعة مرور التدفق المغناطيسي ضمن الدارة، رمزه (R_m)، واحدته ($Henery^{-1}$).

$$R_m = \frac{NI}{\phi} = \frac{L}{\mu A}$$

- **القوة المحركة المغناطيسية:**

$$F = N \cdot I$$

واحدتها: AT

علي المحمد

ثانياً: التيار المتناوب Alternative Current

تعريفه: هو تيار كهربائي يعكس اتجاهه بشكل دوري ويتذبذب في مكانه 50 أو 60 مرة في الثانية حسب النظام الكهربائي المستخدم ويمكن توليده فقط حسب قانون فاراداي عن طريق مولد كهربائي متردد.

يعمل التيار المتناوب وفق العلاقة: $V_{(t)} = V_{max} \sin(2\pi ft)$

حيث:

$V_{(t)}$: قيمة الجهد عند لحظة معينة(القيمة اللحظية).

V_{max}: قيمة الجهد الأعظمي (جهد القمة).

f: تردد التيار الكهربائي، ويقاس بالهرتز رمزه (HZ).

مفاهيم أساسية في التيار المتردد:

- الدور(period): هو الزمن الذي تستغرقه الموجة الواحدة بشكل كامل، وهو مقلوب التردد ، $T = \frac{1}{f}$، يقاس بالثانية ، رمزها (Sec).
- التو اتر (التردد)(frequency): هو عدد الدورات في الثانية الواحدة، وهو مقلوب الدور، يقاس بالهرتز.

المطال (القيمة العظمى): هي أكبر قيمة تأخذها الإشارة الجيبية في النبضة الموجبة والسالبة خلال دورة واحدة وتقاس بالفولت.

- القيمة الفعالة(V_{rms}):قيمة الجهد المتناوب الذي يعطي نفس التأثير الحراري عند تطبيق جهد مستمر بنفس الزمن

$$V_{rms} = \frac{V_{max}}{\sqrt{2}}$$

ملاحظة:

القيمة التي تعطى في المسائل هي القيمة الفعالة، وكذلك القيمة التي تقرؤها أجهزة القياس مالم يذكر خلاف ذلك.

التطابق: نقول عن موجتين أنهما متطابقتين في الصفحة إذا كانتا متو افقتين تماماً أي تبدآن معاً وتنتهيان معاً

التعامد: نقول عن موجتين أنهما متعامدتين في حال بدأت إحداهما بربع دور الثانية (أي تكون الزاوية بينهما 90 درجة).

فرق الصفحة: هو فرق الزاوية بين اشارتين أي الفرق بين الإشارتين الأولى والثانية.

قانون لينز: إذا دار ملف كهربائي ضمن حقل مغناطيسي ثابت بسرعة زاوية(ω) أو حقل مغناطيسي يدور بسرعة (ω) ضمن ملف كهربائي فسوف تتولد لدينا قوة محركة كهربائية تعطى بالعلاقة:

$$\varepsilon = -N\frac{\partial \emptyset}{\partial t}$$

حيث:

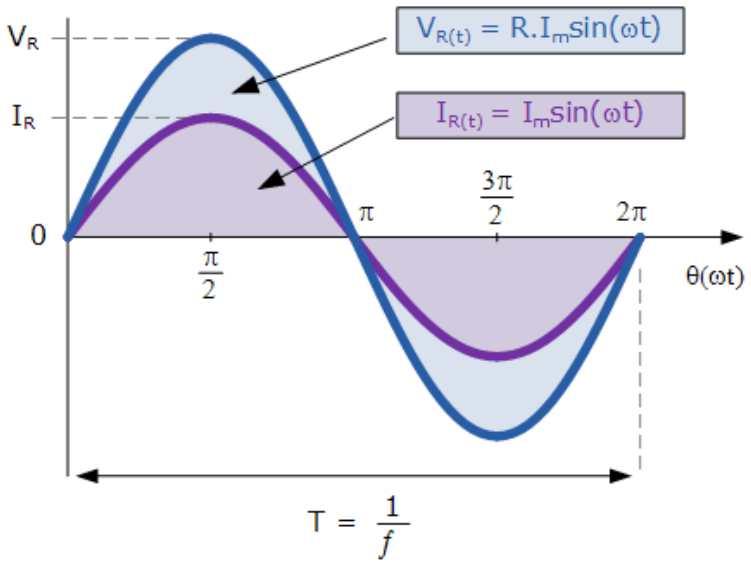
ε : القوة المحركة الكهربائية المتولدة

$\emptyset$:شدة الحقل المغناطيسي

N: عدد اللفات

علي المحمد

ثانياً: المقاومة في دوائر التيار المتردد



- الجهد: $V_{R(t)} = R\,I_m\sin(\omega t)$
- التيار: $I_{R(t)} = \frac{V_m\sin(\omega t)}{R} = I_m\sin(\omega t)$
- الاستطاعة: $p = V \cdot I = I^2R = \frac{v^2}{R}$

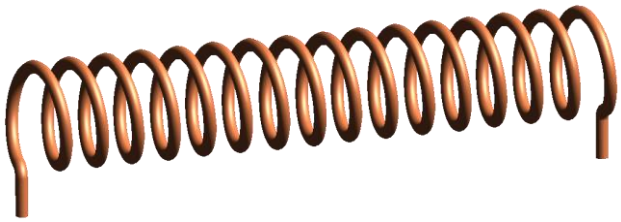
$$p = V_{max} \cdot I_{max} = I^2{}_{max}R = \frac{v^2{}_{max}}{R}$$

- الممانعة: $Z=R$

ملاحظات:

- الاستطاعة موجبة دوماً (وذلك لتوافق التيار والجهد) فالطاقة المستجرة من المنبع تحول لطاقة حرارية بشكل كامل وتسمى بطاقة فعلية
- المقاومة لا تؤخر ولا تقدم أي من التيار والجهد و الزاوية بين التيار والجهد تساوي الصفر

رابعا: الملف



- **تركيب الملف:**

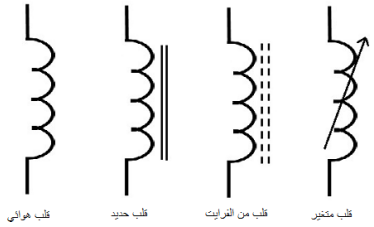
يتركب الملف من سلك معزول ملفوف على إطار من مادة عازلة former ويمكن أن تكون على عدة أشكال منها:

- على شكل أسطوانة أو مكعب أو متوازي مستطيلات .
- على شكل قلب مجوف وفارغ ، ويمكن أن يكون قلب الإطار مشغولاً بشرائح حديدية أو مسحوق حديد أو مادة الفيريت ferrite أو أن يكون الهواء
- يمكن أن يغلف الملف بغلاف من الحديد وذلك عند الرغبة في ألا يتأثر الملف بالمجالات المغناطيسية الخارجية وقد يغلف بغلاف من البلاستيك لحمايته، وقد يترك بدون تغليف.

- **صنع ملف:**

يمكن الحصول على الملف من خلال لف سلك معزول بقطر معين وعدد لفات معينة وبالتالي نحصل على مواصفات مختلفة عن أي سلك آخر.

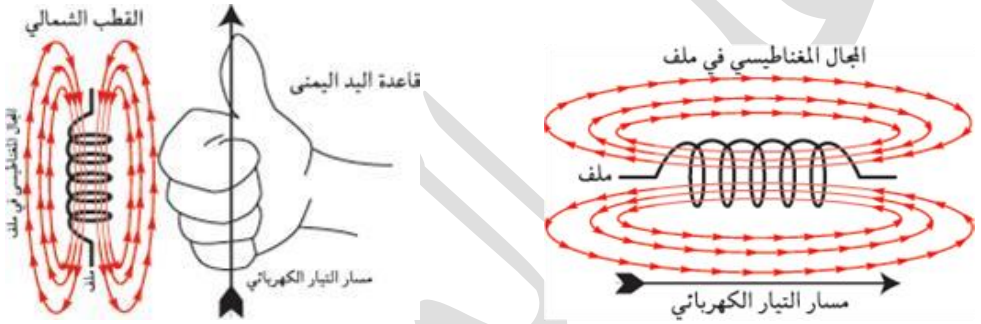
- **رمز الملف في القوانين والحسابات:** L
- **رموز الملف في الدارات الكهربائية والإلكترونية:**



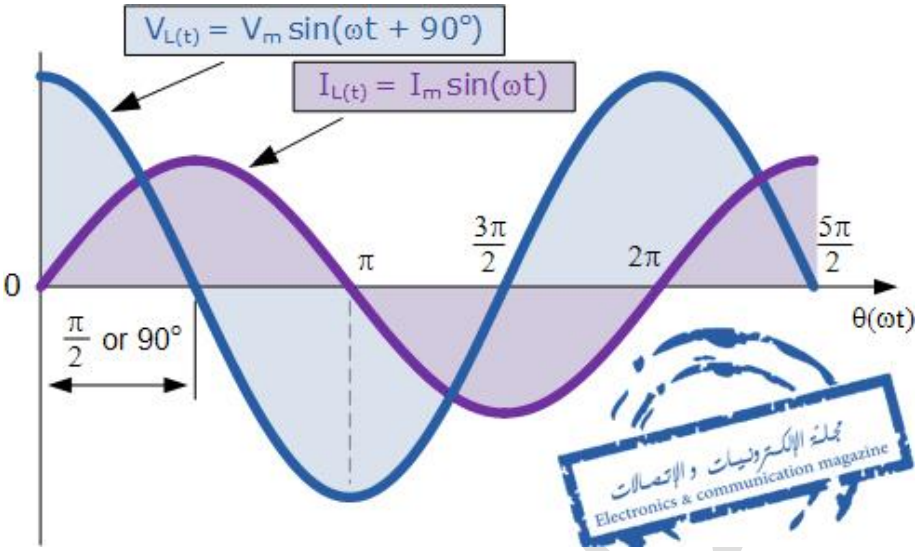
- **الواحدة:** هنري ، رمزها H
- **سلوك الملف:**

عند مرورتياركهربائي في ملف (سلك ملفوف) سوف يتولد مجال مغناطيسي كبير، وهذا المجال سيتم قطعه بواسطة ملفات الملف فسوف يتولد جهد في الملف نتيجة هذا القطع، وسيكون هذا الجهد معاكس للجهد الأصلي، وسوف يحارب تغيرقيمة التيارالأصلي، لذلك فإن التيارالأصلي لايتزايد بسرعة كبيرة عند مرورهـ في الملف، أي أن الملف يحارب التغيرالمفاجئ في التييار.

والجهد حول الملف يعتمد على التغيرفي التيار، وإن لم يتغيرالتيارفإن الجهد يكون صفر.



- الملف عنصرتخزين للتيار، لذلك فإننا لوغذينا مالف من مصدركهربائي فإنه سوف يؤخرالتيارقليلاً لحين تخزينه جزءاً مكنه، وتعتبرهذه الخاصية مهمة في حماية بعض الدوائرمن التيارالزائد الذي يكون في بداية التشغيل حين وضع ملف على التوالي مع مصدرالجهد يجعل التياريمركاملاً بعد فترة وجيزة
- المكثف مع التيارالمستمر: عند مرورتيارمستمرثابت في ملف فإن الملف لايؤثرعلى التيار ويعتبركأنه سلك عادي



مجلة الإلكترونيات والاتصالات
Electronics & communication magazine

الجهد: $$V_L = -e_L = L\frac{di}{dt}$$

التيار: $$I_{L(t)} = I_m \sin(\omega t - 90°)$$

الاستطاعة: $$P = \frac{V_m I_m}{2}\sin(2\omega t)$$

$$I_m = \frac{V_m}{\omega L} = \frac{V_m}{XL}$$

- المانعة: يعمل الملف مع التيار المتردد كمقاومة تسمى مفاعلة تحريضية

$$X_c = wL = 2\pi fL$$

حيث:

X_L: المفاعلة التحريضية للملف واحدتها أوم

f: تردد جهد المصدر واحدتها هرتز

L: ذاتية الملف واحدتها هنري

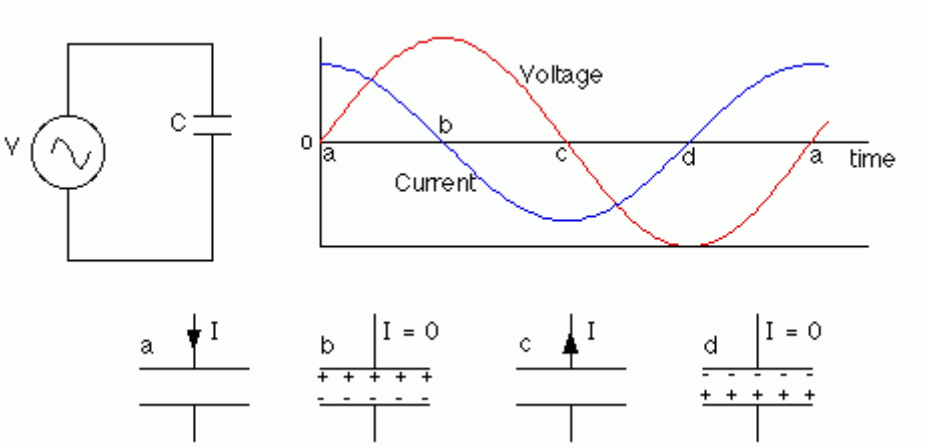
ملاحظة:

في الملف التيار يتأخر على الجهد بزاوية 90 دلرجة

خامساً: المكثف في دوائر التيار المتردد

تعريف: المكثف أداة تخزن الطاقة الكهربائية لفترة من الزمن على شكل مجال كهربائي

- في التيار المستمر وبسبب ثبات الاتجاه سوف يمتلئ المكثف بشكل كامل باستمرار عملية الشحن، ومن ثم يصبح المكثف كدائرة مفتوحة (قاطع مفتوح)
- في التيار المتردد وبسبب تغير الاتجاه فإن عملية الشحن لا تستمر بشكل كامل حيث يشحن المكثف في نصف موجة ويفرغ في النصف الآخر، وهكذا.



الجهد: $$V_{c(t)} = V_m \sin(\omega t)$$

التيار: $$I_{c(t)} = I_m \sin(\omega t + 90°)$$

الاستطاعة: $$P = \frac{V_m I_m}{2} \sin(2\omega t)$$

$$I_m = V_{m \cdot C}$$

- الممانعة: يعمل المكثف مع التيار المتردد كمقاومة تسمى مفاعلة سعويه

$$X_c = \frac{1}{wc} = \frac{1}{2\pi fc}$$

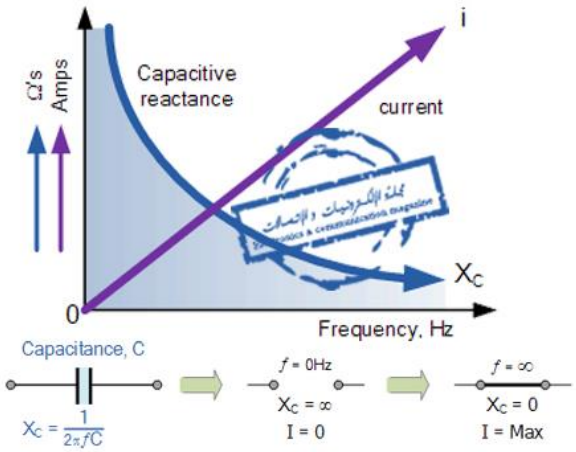
حيث:

X_c: المفاعلة السعوية للمكثف واحدتها أوم

f: تردد جهد المصدر واحدتها هرتز

c: سعة المكثف واحدته فاراد

مناقشة:



ملاحظات:

- المكثف يمرر التيارات العالية ويعيق مرور التيارات المنخفضة
- في المكثف التيار يتقدم على الجهد بزاوية 90°.

علي المحمد

الحساب عى الفيس بوك:

https://www.facebook.com/ali.mhmd.988373

النهاية