

أسس الهندسة الكهربائية

Basics of Electrical Engineering

د. بديع زريفة

مقدمة Introduction:

الكهرباء-هي علم عن نظريات وتطبيقات الظواهر الكهربائية والمغناطيسية. إن الظواهر الكهربائية قديمة قدم البرق الذي عرفه الإنسان منذ الأزل وتملكه الرعب والخوف أمامه، لدرجة أنه اتخذ آلهة عرفت باسم آلهة البرق وآلهة الرعد.

إلا أنه مع التطور العلمي تم اكتشاف هذه الظواهر ومعرفتها وكذلك كيفية التغلب على تأثيرها والاستفادة منها. لقد اكتشف الإنسان واستخدم بعض الظواهر الكهربائية والمغناطيسية مثل استخدام البوصلة قبل البدء بأبحاث الكهرباء. ويمكن اختصار تاريخ الكهرباء بالمراحل التالية:

المرحلة الأولى: بدأت هذه المرحلة في عام 1600 حيث بدأت الأبحاث الأولية للظواهر الكهربائية والمغناطيسية، وذلك عندما قام العالم الإنكليزي جلبرت (Gilbert) بكتابة مقالاً بعنوان "المغناطيس والأجسام المغناطيسية والمغناطيس الكبير - الأرض"، وفي عام 1790 اخترع العالم الإيطالي فولتا (Volta) أول منبع كيميائي للطاقة الكهربائية (خلية كهروكيميائية) وعندها اكتُشف التيار الكهربائي.

تُنسب المرحلة الثانية إلى النصف الأول من القرن التاسع عشر. ففي هذه المرحلة توجهت قوى العلماء إلى اكتشاف ماهية الظواهر الكهربائية. ففي عام 1800 اكتشف العالم الإنكليزي فاراداي (Faraday) ظاهرة التحليل الكهروكيميائي. وتمكن العالم الإنكليزي جول من تحديد قانون تحويل الطاقة الكهربائية إلى حرارية، وفي هذه المرحلة قام العالم الفرنسي أمبير (Ampere) بصياغة قانون التأثير المتبادل للتيارات، وفي نفس الوقت (في عام 1826) تمكن العالم الألماني أوم (Ohm) من وضع قانونه الشهير الذي يربط بين التيار والتوتر والمقاومة. واكتشف فاراداي في عام 1831 ظاهرة التحريض الكهروطيسي التي كان لها الدور الأكبر في مجال الآلات الكهربائية، واستطاع العالم الروسي لينز (Lenz) في عام 1833 أن يحدد العلاقة بين تغيرات الحقل المغناطيسي والقوة المحركة الكهربائية التحريضية. في عام 1845 وضع العالم الألماني كيرشوف قانونين شهيرين يتم على أساسهما حالياً إجراء الحسابات اللازمة للدارات الكهربائية.

بهذا الشكل فقد تم خلال المرحلة الثانية دراسة الخواص الحرارية والكيميائية والمغناطيسية والضوئية للتيار الكهربائي. امتدت المرحلة الثالثة على النصف الثاني من القرن التاسع عشر. ففي هذه المرحلة (عام 1873) قام العالم الإنكليزي ماكسويل بنشر بحثه الشهير " النظرية الكهرومغناطيسية العامة"، كما تم في هذه الفترة اختراع الآلات الكهربائية والمحولات وأجهزة كهربائية أخرى.

امتدت المرحلة الرابعة من بداية القرن العشرين حتى أيامنا هذه وتتصف بدخول الكهرباء في جميع المجالات الصناعية والعلمية والنقل والمسكن وبظهور اتجاهات جديدة في إنتاج ونقل واستخدام الطاقة الكهربائية.

الفصل الأول

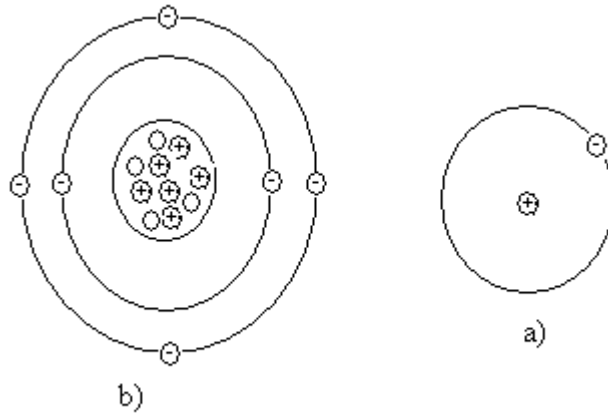
مفاهيم أساسية عن التيار والدارات الكهربائية

Fundamental Concepts about Electrical Current and Circuit

1-1- البنية الذرية للمادة Atomic Structure:

لفهم بعض الظواهر الكهرومغناطيسية يجب فهم بنية المادة فبحسب نظرية بور Bohr "تتألف أية مادة -ذات وزن معين وتشغل حيزاً في الفراغ- من جزيئات ناتجة عن اتحاد جسيمات صغيرة تدعى الذرات Atoms، وتتألف الذرة من نواة تضم بروتونات Protons ذات شحنة موجبة ونيوترونات Neutrons معتدلة الشحنة، ومن إلكترونات Electrons ذات شحنة سالبة تدور حول النواة Nucleus في مدارات محددة".

تسمى الإلكترونات غالباً بحاملات الشحنة وتساوي شحنة الإلكترون الواحد $[C] = 1.6 \cdot 10^{-19} q_e$ ، أما شحنة البروتون فتساوي شحنة الإلكترون وتعاكسها بالإشارة. كتلة الإلكترون الواحد $[kg] = 9.108 \cdot 10^{-31}$ بينما كتلة البروتون والنيوترون أكبر من كتلة الإلكترون بمقدار 1837 مرة. يكون عدد البروتونات يساوي عدد الإلكترونات وبذلك تكون الذرة معتدلة كهربائياً.



الشكل 1-1- ذرة الهيدروجين وذرة الكربون.

يختلف عدد الإلكترونات من مادة لأخرى، فعلى سبيل المثال تتألف ذرة الهيدروجين - والتي تعد أبسط أنواع الذرات - من إلكترون واحد وبروتون واحد (الشكل a-1-1)، بينما ذرة الكربون تتألف من ستة بروتونات في النواة يقابلها ستة إلكترونات تدور حول النواة (الشكل b-1-1).

تقع الإلكترونات أثناء دورانها حول النواة تحت تأثير قوتين:

- قوة التجاذب بين الشحنة الموجبة للنواة والشحنة السالبة للإلكترون وهي متجهة نحو الداخل.

- قوة طاردة مركزية ناتجة عن دوران الإلكترون وهي متجهة نحو الخارج.

ونتيجة لتساوي هاتين القوتين بالقيمة وتعاكسهما بالاتجاه فإن الإلكترون لا ينجذب نحو النواة وإنما يبقى متحركاً على مداره بانتظام وبشكل دائم.

إن الخواص الكيميائية والكهربائية للذرات تعتمد على عدد الإلكترونات المتوضعة على المدار الأخير، وعندما يكون عدد هذه الإلكترونات أقل من السعة القصوى لذلك المدار تكون الذرة نشطة كيميائياً وتسعى لجعل عدد الإلكترونات على المدار الأخير مساوياً للسعة العظمى ويتم ذلك إما بجذب إلكترونات من ذرات أخرى فتتأين الذرة سلبياً أو بالتخلي عن إلكترونات موجودة على المدار الأخير لصالح ذرات أخرى فتتأين إيجابياً (الشكل 2-1).



الشكل 2-1- الأيونات السالبة والموجبة

2-1- التيار الكهربائي Electrical Current:

تقسم الأجسام إلى ثلاثة أنواع:

النوع الأول: وهو المواد التي تحوي عدداً كبيراً من حاملات الشحنة (الإلكترونات) وتبدي مقاومة صغيرة جداً إزاء تحرك هذه الإلكترونات وتسمى النواقل الكهربائية conductors (المقاومة النوعية

للنواقل $\rho = 10^{-6} - 10^{-4} \Omega \cdot cm$). يمكن تصنيف هذه النواقل إلى صنفين:

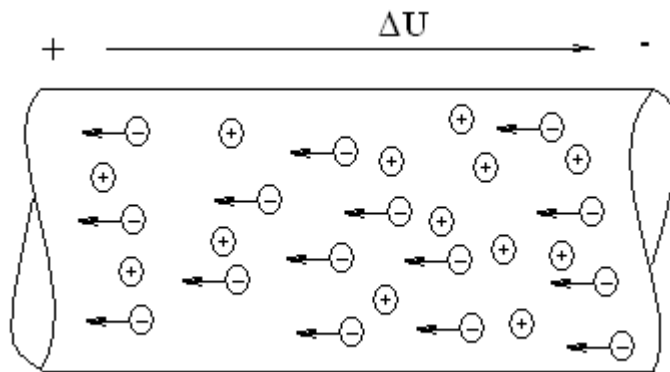
- المعادن وينتج فيها التيار عن حركة الإلكترونات الحرة.

- السوائل الناقلة مثل الزئبق المنصهر والغازات المتأينة وينتج فيه التيار عن حركة الأيونات.

النوع الثاني: وهو المواد التي تحوي عدداً قليلاً من حاملات الشحنة وتبدي مقاومة كبيرة لحركة حاملات الشحنة وتسمى العوازل Insulators (المقاومة النوعية للعوازل $\rho = 10^{10} - 10^{18} \Omega \cdot cm$) مثل الماء المقطر والزيوت والبورسلان.

النوع الثالث: وهو المواد التي تمتلك مواصفات مشتركة بين المواد الناقلة والمواد العازلة وتسمى أنصاف النواقل Semiconductors (المقاومة النوعية لأنصاف النواقل $\rho = 10^{-3} - 10^9 \Omega \cdot cm$)، حيث تكون عازلة عند درجات الحرارة المنخفضة وتصبح ناقلة عندما تتعرض لطاقة معينة (حرارية، ضوئية، كهربائية). ومن هذه المواد السيليكون والجرمانيوم.

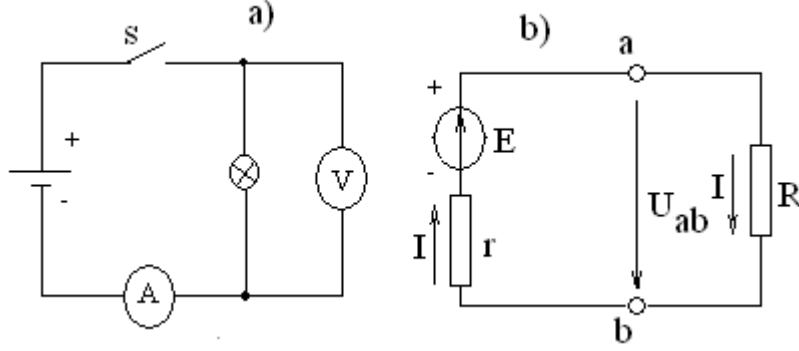
يعرف التيار الكهربائي بأنه تحرك الشحنات الكهربائية في اتجاه محدد وتحت تأثير قوة معينة (فرق كمون). فكما ذكرنا يوجد في المواد الناقلة عدد كبير من حاملات الشحنة (الإلكترونات) التي تتحرك بحرية داخل المادة وعند تسليط فرق كمون على طرفي المادة الناقلة تنتظم حركة حاملات الشحنة باتجاه محدد بتأثير الحقل الكهربائي الناتج عن الفرق في الكمون ويزداد كذلك عدد حاملات الشحنة الناقلة للتيار (انظر الشكل 3-1).



الشكل 3-1. حركة التيار الكهربائي.

3-1- الدارة الكهربائية Electrical circuit:

تعرف الدارة الكهربائية بأنها مجموعة أجهزة وعناصر كهربائية، ويمكن التعبير عن العملية الكهرومغناطيسية التي تجري بداخلها بواسطة القوة المحركة الكهربائية والتيار والتوتر والمقاومات، وتؤمن توصيل التيار الكهربائي من جهة التوليد (المنبع) إلى جهة الاستهلاك (الحمل). إن العناصر الأساسية للدارة الكهربائية هي: المنبع والحمل كما هو مبين في الشكل 4-1.



الشكل 4-1. الدارة الكهربائية المبدئية (a) والمكافئة (b)

يتم في المنبع تحويل الطاقات المختلفة، مثل الطاقة الكيميائية (البطاريات والمدخرات) أو الميكانيكية (المولدات الكهربائية) أو الحرارية والضوئية (الخلايا الشمسية)، إلى طاقة كهربائية أو كهرومغناطيسية.

ويتم في الحمل عملية عكسية-تتحول الطاقة الكهربائية إلى طاقات أخرى (كيميائية، ميكانيكية، حرارية وضوئية).

بالإضافة للعناصر الأساسية تحتوي الدارة الكهربائية على عناصر إضافية مثل المفاتيح الكهربائية وأجهزة القياس والحماية والمقاومات المتغيرة للتحكم بالتيار.

هناك نوعان أساسيان من الدارات الكهربائية:

- الدارة المبدئية (الشكل a-4-1) وهي تُظهر رموز العناصر والتوصيلات فيما بينها، وتستخدم أثناء تركيب أو تصليح الدارة.

- الدارة المكافئة (الشكل b-4-1) وهي دارة كهربائية تستخدم من أجل إجراء الحسابات الكهربائية. وتحذف منها جميع العناصر التي لا تؤثر على العمليات الحسابية مثل أجهزة القياس، أما المنبع فيعبر عنه بمنبع مثالي ومقاومته الداخلية.

4-1- تصنيف الدارات الكهربائية

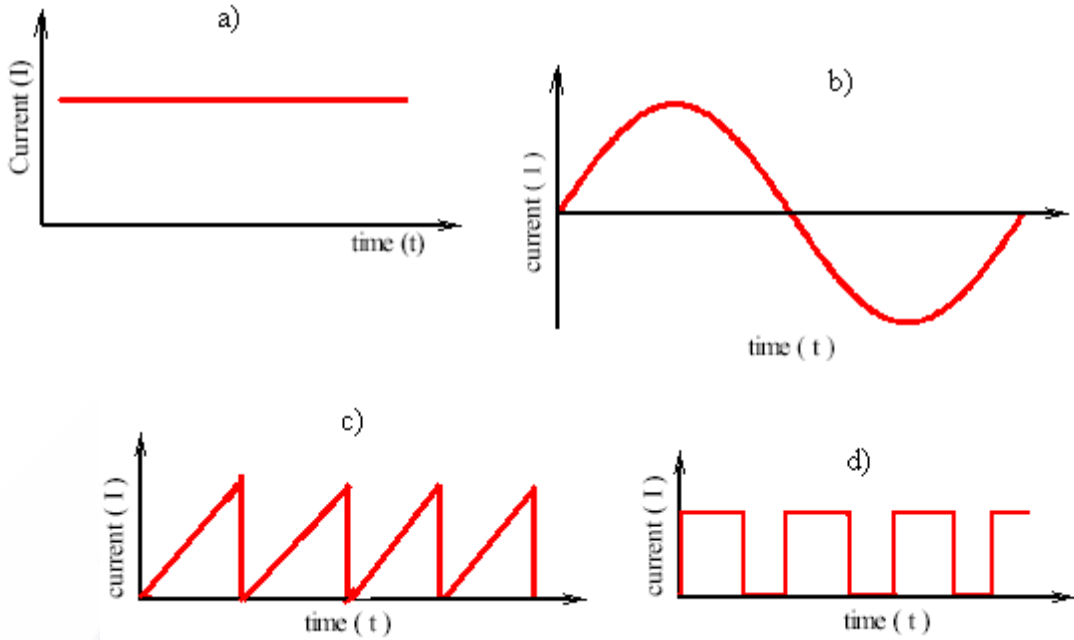
: Classification of the Electrical Circuits

1-4-1- التصنيف بحسب نوع التيار:

تقسم الدارات الكهربائية بحسب نوع التيار إلى دارات تيار مستمر ودارات تيار متناوب ودارات تيار متغير. فالتيار المستمر هو التيار الثابت الذي لا يتغير مع الزمن t . أما باقي التيارات فهي متغيرة مع

الزمن أو متناوبة. إن دارات التيار المتناوب هي الدارات التي يتغير فيها التيار بحسب علاقة جيبيية أو تجيبيية.

يبين الشكل a-5-1 شكل التيار المستمر والشكل b-5-1 يبين شكل التيار المتناوب أما شكل التيار المتغير فمبين في الشكل d,c-5-1.



الشكل 5-1. بعض أشكال التيار.

1-4-2- التصنيف بحسب خواص عناصر الدارة:

تقسم الدارات الكهربائية إلى دارات خطية ودارات لاخطية. تكون الدارة خطية عندما لا تتعلق مقاومة أي جزء منها باتجاه ومقدار التيار أو الجهد. أما مقاومة الدارة اللاخطية فتتعلق باتجاه أو بمقدار التيار أو الجهد.

1-4-3- التصنيف بحسب وجود أو عدم وجود منبع للطاقة الكهربائية:

تقسم أجزاء الدارات الكهربائية إلى فعالة وغير فعالة. يسمى جزء الدارة الكهربائية الذي يحتوي على منبع للطاقة الكهربائية بالجزء الفعال، والجزء الذي لا يحتوي على منبع بالجزء غير الفعال.

5-1- مفاهيم اساسية:

- يمر نفس التيار في جميع عناصر الدارة التسلسلية. فعلى سبيل المثال التيار في المقاومة R_1 هو نفس التيار في المقاومة R_5 (انظر الشكل 6-1).

- العقدة Node: هي نقطة وصل بين عنصرين أو أكثر.

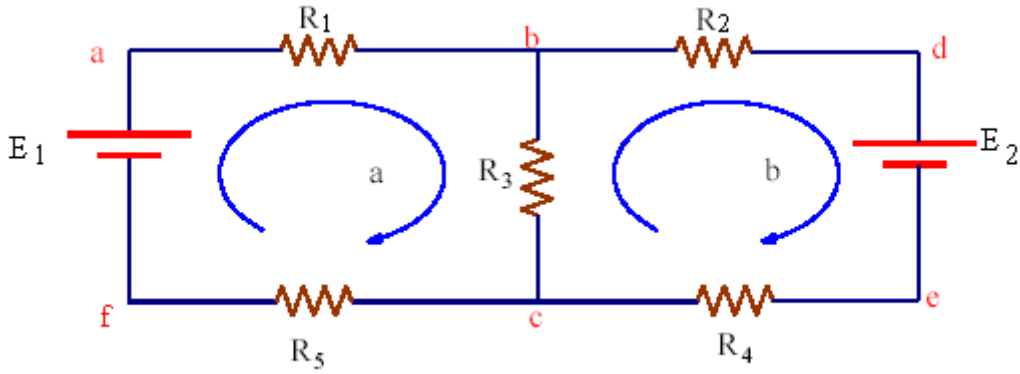
- العقدة الرئيسية Base node: هي نقطة وصل بين أكثر من عنصرين (النقطة b و النقطة c في الشكل 6-1). سوف نستخدم في هذا المقرر كلمة عقدة للدلالة على العقدة الرئيسية.

- العقدة البسيطة Transit node: هي نقطة اتصال بين عنصرين فقط (النقاط a و d و e في الشكل 6-1).

- الحلقة Mesh: هي أي مسار مغلق في الدارة الكهربائية، الذي يبدأ وينتهي بنفس النقطة شرط عدم المرور على عقدة ما في الدارة مرتين. (انظر الحلقة a والحلقة b في الشكل 6-1).

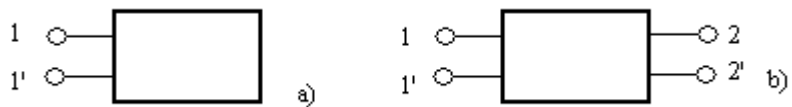
- الفرع البسيط Simple branch: جزء من دارة يحتوي على عنصر واحد فقط (الفرع b-c في الشكل 6-1).

- الفرع الرئيسي Base branch: عنصر أو مجموعة عناصر مربوطة على التسلسل بين عقدتين رئيسيتين (الفرع bdec في الشكل 6-1).



الشكل 6-1.

- ثنائي الأقطاب: هو جزء من الدارة الكهربائية له قطبين توصيل (الشكل a-7-1).
- رباعي الأقطاب: هو جزء من الدارة الكهربائية له أربعة أقطاب توصيل (الشكل b-7-1).



الشكل 7-1.