الطاقة الكهربائية

م. حسام الدين بن سيف

الطاقة الكهربائية هي القوة الحقيقية الداعمة للاقتصاد، والصناعة، والخدمات العامة، والمعلوماتية، وحتى خدمات النقل في مجمل دول العالم، وهي المفتاح والعنصر المؤثر للأمن الوطني والقومي لمختلف الدول، وعليه فليس من المفاجئ أن تنفق المملكة العربية السعودية - مثلاً - ما يقارب العشرين مليار ريال سنوياً على هذا القطاع، وليس من المفاجئ أيضاً أن تكون شبكة المملكة للطاقة الكهربائية قد غطت عند نهاية عام ٢٠٠٩ م أحد عشر ألف قرية و مدينة سعودية.

بدأت قصة الكهرباء منذ ما يقارب الألفين وستمائة عام، عندما قام العالم الإغريقي **طالس** بالتمعن في ظاهرة جذب قضيب الكهرمان لريش الطيور بعد دلكه، حيث لاحظ أنها بدأت تكتسب خصائص المغناطيس، في ظاهرة أطلق عليها بالإنجليزية (Electricity)، والتي استنبطت من الكلمة اللاتينية القديمة (Elektron) وتعني الكهرمان. أما في اللغة العربية فقد اصطلح على تسمية تلك الظاهرة بالكهرباء. نسبة إلى الكهرمان مباشرة.

تعد ظاهرة الكهرباء الساكنة النواة الأولى لتطور الكهرباء، حيث كانت أبحاث العلماء في الخمسمائة عام الماضية تتمحور وتتوجه في مجملها نحو هذه الظاهرة. ومن المعلوم أن الكهرباء لا يمكن رؤيتها بالعين، ولكن يمكن قياسها وتوليدها ونقلها ومن ثم استهلاكها، وغيرها من الأمور المتعلقة بها، وهو ما سيتناوله هذا المقال.

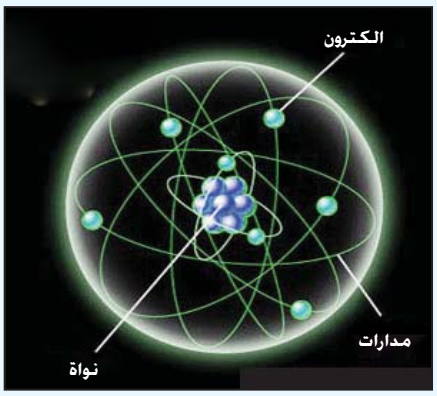
القوة الكهرومغناطيسية

تنقسم القوى الطبيعية التي أوجدها الخالق في هذا الكون والتي توصل لها علم الإنسان حتى الآن، إلى أربع قوى هي : القوة النووية، قوة الروابط الضعيفة، القوة الكهرومغناطيسية، وقوة الجذب.

تعد القوة الكهرومغناطيسية هي أساس ظاهرة الكهرباء، ولفهمها قد يكون من المجدي مقارنتها بقوة الجذب «قوة نيوتن» لتبسيط الفهم. تنص قوة الجذب على أن هناك قوة جذب بين أي جسمين لهما كتلة ، تماماً كما يحدث بين القوة الجاذبة للشمس والأرض، أو بين الأرض والقمر، أو حتى بين جسم الإنسان وكوكب الأرض. وبالمقارنة فإن القوة الكهرومغناطيسية تنص على أن هناك قوة (تجاذب أو تنافر) بين أي جسيمين لهما شحنة، وفي وجه آخر للمقارنة فإن مقدار القوة الكهرومغناطيسية (تماماً مثل قوة الجذب) تتناسب عكسياً مع المسافة بين الجسيمين.

تعد الشحنة الكهربائية خاصية أساسية من خواص المواد، حيث إن كل مادة تتكون من ذرّات و لكل ذرة شحنات، وبالتالي فإنه عند وجود شحنات يمكن الجزم - بنسبة كبيرة - أن هناك خاصية الكهرباء الساكنة. تمتلك كل ذرة من ذرّات المواد شحنات دائمة الدوران في مدارات حول النواة، شكل (١)، وعندما ينتقل إلكترون من مدار ذري إلى مدار ذري آخر، فإنه يحدث تدفقاً كهربائياً أو ما يسمى بالتيار الكهربائي، وتكون للشحنة حالتان اثنتان لا ثالث لهما، إمّا أن تكون موجبة « مثل البروتون»، و إمّا أن تكون سالبة « مثل الإلكترون».

يقوم علم الكهرباء على نظرية استخلصها العالم الفرنسي **كولوم**. سميت وحدة الشحنة الكهربائية باسمه تقديراً لجهوده، وبحسب هذه النظرية فإن الشحنات المتشابهة تتنافر، بينما تتجاذب الشحنات المتضادة، تتناسب حيث قوة الجذب بين الشحنتين عكسياً مع المسافة بينهما (عادة تكون المسافة صغيرة جداً)، وفي حالة وجود فرق بين عدد الشحنات السالبة والشحنات الموجبة ينشأ فرق جهد كهربائي له وحدة أساسية هي «الفولت»، وهو تعبير عن مدى قوة الجذب من شحنات مادة ما إلى أخرى. وعندما تبدأ تلك



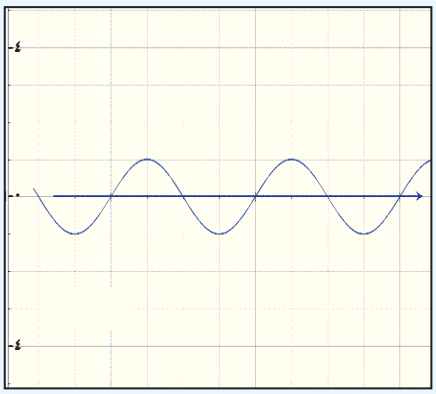
■ شكل (١) .مكونات الذرة.

الشحنات السالبة بالتدفق إلى الشحنات الموجبة نتيجة قوة الجهد الكهربائي الناشئة بينهما، ينشأ التيار الكهربائي، له وحدة أساسية هي «الأمبير».

يعد فرق الجهد الكهربائي «الفولت»، والتيار الكهربائي «الأمبير» من أهم القياسات لأي دارة كهربائية، وهما يعكسان المظهر الحقيقي لظاهرة الكهرباء، حيث إنه لا يمكن رؤية الكهرباء، وبالتالي فإن قياسها يفي بالغرض.

التيار الكهربائي

تتمثل أنواع التيار الكهربائي في نوعين رئيسين، هما: التيار الثابت (Direct Current -DC) والتيار المتناوب (Alternate Current-AC)، ويختلف هاذان النوعان بعضهما عن بعض في أن اتجاه التيار الثابت - سواء كان من الشحنات السالبة إلى الموجبة أو العكس - لا يتغير مع أن كميته قد تزيد وقد تنخفض، أما التيار المتناوب فإن اتجاهه يتغير باستمرار، وقد يصل إلى عدة تغييرات في الثانية، ويسمى مقدار التغير والتناوب في التيار الكهربائي في الثانية الواحدة بالتردد والوحدة الأساسية له هي "الهيرتز"، ويعد التردد أحد المقاييس المهمة التي تعنى بها أي شبكة كهربائية في العالم. شكل (٢). يستخدم التيار المتناوب في العديد من المنشآت، مثل: المنازل، والمصانع، وغيرها؛ بسبب مزاياه العديدة مقارنة بالتيار الثابت، ومن أهمها أنه يمكن من خلاله التحكم في قيمة الجهد الكهربائي إمّا بزيادتها في أجزاء من الشبكة وخفضها في أجزاء أخرى، عن طريق أجهزة تسمى المحولات؛ مما يعني تخفيض الكلفة الاقتصادية بما يزيد عن ٩٠ ٪، وهناك ميزة أخرى للتيار المتناوب، وهي سهولة تصميم و صناعة المحركات التي تعمل على التيار المتناوب عن تلك التي تعمل بالتيار الثابت. وفي المقابل تكمن أهمية التيار الثابت في أنه يمكن تخزينه واستهلاكه في الأجهزة المحمولة المستخدمة في الحياة اليومية.



■ شكل (٢) تغير التيار المتناوب.

الكهرباء و المواد

يمكن للتيار الكهربائي أن يتدفق بسهولة في بعض المواد، ولكنه قد يواجه مقاومة شديدة في مواد أخرى، بينما قد ينعدم التدفق تماماً في بعض المواد، و يمكن تصنيف المواد تبعاً لذلك إلى ما يلي:

● الموصلات

تعد الفلزات مواد ذات مقاومة ضعيفة للتيار الكهربائي، أي إنها موصلات جيدة، حيث إن قدرتها التوصيلية تعتمد على عدد الشحنات - الإلكترونات - التي تكون حرة الحركة حول النواة أو التي ترتبط بالنواة ارتباطاً ضعيفاً نوعاً ما، فمثلاً عند درجة الحرارة العادية - درجة حرارة الغرفة - يعد معدن الفضة أفضل الموصلات الموجودة على الإطلاق، يليه النحاس، ثم الذهب، والألمنيوم. شكل (٣- أ ، ب). تكون خاصية التوصيل عالية جداً عند درجات الحرارة المنخفضة، بينما تقل كفاءة التوصيل عند درجات الحرارة العالية.

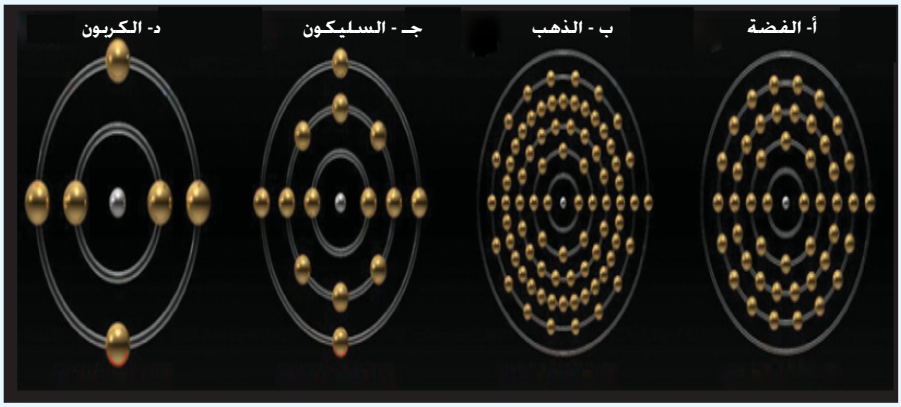
● العوازل

تتصف هذه المواد بمقاومتها العالية لعدم وجود شحنات حرة الحركة أو ضعيفة الارتباط بالنواة، بحيث تكون المدارات قليلة؛ وبالتالي يكون ارتباط الإلكترونات بالأنوية قوياً جداً. شكل (٣- د) قد تكون هذه المواد العازلة سائلة، مثل: بعض أنواع الزيت، أو صلبة كالزجاج والمطاط ، بينما تعد معظم أنواع الغازات مواداً عازلة ، ولو كان غير ذلك لحدث التوصيل عند التعرض للهواء.

تكمن أهمية العوازل في تنوع استخداماتها الصناعية، مثل: صناعة البطاريات أو المكثفات، بالإضافة إلى أنظمة الحماية للدارات الكهربائية وغيرها. ومن الجدير بالذكر أن خصائص العزل لهذه المواد تتلاشى بشكل كامل أو جزئي عند درجات الحرارة العالية؛ مما يتطلب أهمية المحافظة عليها بعيداً عن الأسباب المؤدية لذلك.

● أشباه الموصلات

تتميز هذه المواد بأنها تكون عازلة في حالتها الطبيعية، وموصلة عند ظروف أخرى، مما يجعلها ذات أهمية كبيرة في كثير من الصناعات التقنية، وتعد مادتي السليكون والجرمانيوم من أشهر أنواع أشباه الموصلات، وقد دخلت هذه المواد بقوة في صناعة الحواسيب، والتلفاز، والمذياع، وأجهزة الهاتف وغيرها. ومما يجب التنبيه عليه هو وجوب بقاء هذه المواد عند درجات الحرارة المناسبة لها؛ حتى لا تفقد طبيعة عملها، ويمكن ملاحظة ذلك في أجهزة



■ شكل (٣) مقارنة توصلية بعض المواد من خلال ارتباط الالكترونات الحرة بالنواة.

■ شكل (٤) مقاومات التيار الكهربائي.

الحاسب حيث توجد المروحة التي تقوم بتبريد مادة السليكون. شكل (٣ - ج).

عناصر الدائرة الكهربائية

تشتمل الدائرة الكهربائية على عدة أجزاء، لابد وأن يحتويها أي نظام كهربائي، ومن أهمها ما يلي:

● **المقاومات**

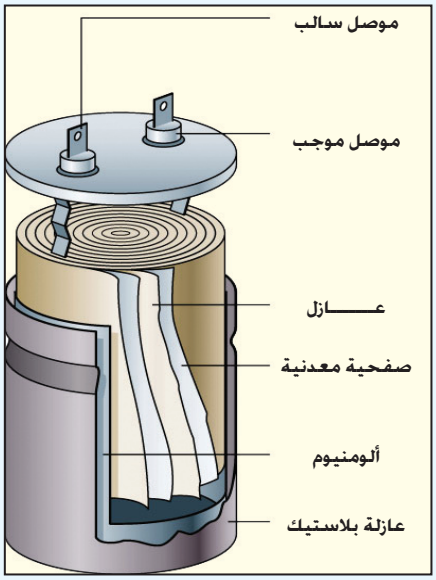
تعرف المقاومات (Resistors)بأنها مواد تقاوم جزيئاتها التيار الكهربائي المار عليها، مما يؤدي إلى ردود فعل مختلفة، فمثلاً تصدر بعض المقاومات الحرارة كرد فعل؛ لتستخدم كسخانات أو أجهزة لحام، وبعضها تكون ردة فعلها انبعاث الضوء فتستخدم في تطبيقات الإنارة، وبعضها يقلل ويثبت الجهد الكهربائي عند قيمة معينة، مما يتيح استخدامها في الأجهزة الإلكترونية كجهاز الحاسب والتلفاز، شكل (٤).

● **المواسعات**

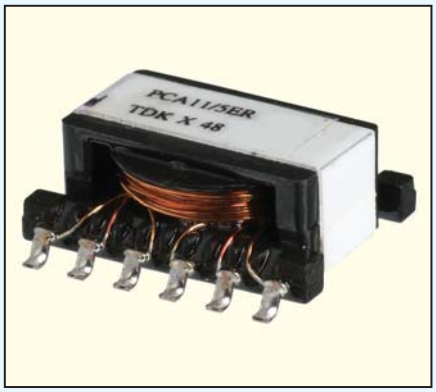
تعد المواسعات(Capacitors) ذات أهمية كبيرة في معظم التطبيقات الإلكترونية، مثل الراديو، والتلفاز وغيرها، تتكون أبسط أنواع المواسعات من ثلاث مواد. منها مادتان لهما خاصية التوصيل، بينما المادة الأخرى عازلة، حيث توضع المادة العازلة بين المادتين الموصلتين؛ لإحداث توسيع وتخزين الجهد الكهربائي، شكل (٥).

● **الملفّات**

يعرف الملف (inductor) بأنه عبارة عن موصل يصمم بشكل ملفوف حول محور معدني، تستخدم



■ شكل (٥) التركيب العام للموسع.



■ شكل (٦) ملفات تخزين المجال المغناطيسي.

الملفات بشكل واسع في المحركات الكهربائية؛ كي تقوم بتخزين المجال المغناطيسي في الأجهزة الكهربائية وتحويله إلى حركة، شكل (٦).

طـــــرق التوليـــد

تعرف عملية التوليد بأنها إنتاج الطاقة الكهربائية، وتتم بطرق مختلفة، هي:

● **الطريقة التقليدية**

تستخدم الطريقة التقليدية لإنتاج التيار المتردد، وذلك بواسطة التوربينات الغازية، وتوربينات الديزل، والتوربينات المائية، والمفاعلات النووية.

● **طريقة غير تقليدية**

تستخدم معظم مصادر الطاقة المتجددة كالطاقة الشمسية وخلايا الوقود وغيرها في إنتاج التيار الثابت، فيما عدا التوربينات المائية، وتوربينات الرياح، والطواحين الهوائية، وطاقة المد والجزر، فإنها تستخدم في إنتاج التيار المتردد بفضل الحركة الدائرية التي تتصف بها هذه المصادر.

التـــــردد الكهـــربائي

يعرف التردد الكهربائي أنه عبارة عن عدد دورات التوربين في الدقيقة الواحدة، الأمر الذي يحدد عدد مرات تناوب التيار الكهربائي في الثانية الواحدة، فمثلاً إذا كان التيار الكهربائي يتناوب في الثانية الواحدة ستين مرة فسيصبح التردد ٦٠ هيرتز. ولذلك فإن اختيار التردد ليس أمراً عشوائياً أو اعتباطياً، وإنما يعتمد بشكل أساسي على تصميم المولدات. يستخدم معظم بلدان العالم نظام التردد ٥٠هيرتز، بينما تستخدم السعودية وكندا وأمريكا وبعض دول أمريكا الجنوبية نظام التردد ٦٠هيرتز.

تكمن أهمية قياس التردد في الحفاظ على استقرارية الشبكة، فمثلاً لو تغير تردد المملكة من ٦٠ إلى٥٩,٥هيرتز، فإنه لابد في هذه الحالة من بناء شبكة كهربائية جديدة؛ نظراً للعواقب الوخيمة التي قد تحدث جراء ذلك. ولفهم دور التردد و أهميته في الشبكة، لنفترض أن لدينا عربة تجرها خيول، ولكي تجر العربة بكفاءة، يجب أن تعمل الخيول بشكل متناسق و بتردد واحد، وكذلك المولّدات يجب أن تعمل على تردد موحد، حتى لا تكون بعض المولدات حمل إضافي لمولّدات أخرى، وهو ما يمكن تصوره للخيول لو أن أحدهم تكاسل وتباطأ، شكل (٧).

■ شكل (٧) توزيع قيم التردد في العالم.

الشبكة الكهربائية

يعد نظام الشبكة الكهربائية من أعقد الأنظمة الاستهلاكية على الإطلاق، لاحتوائها على مجموعة من الأجهزة والمعدات التي تتكامل فيما بينها؛ بهدف إنتاج الطاقة الكهربائية وتوزيعها على المستهلكين لاستخدامها بصورها المختلفة، سواء كانت حركية أو حرارية أو ضوئية وغيرها. وبناءً على ذلك يتم بناء الشبكات الكهربائية للحصول على أعلى كفاءة ممكنة بأقل تكلفة، ولذلك نجد أن معظم دول أوروبا يستخدمون شبكة واحدة ، كما أن كل القارة الأمريكية يمتلكون شبكة كهربائية واحدة.

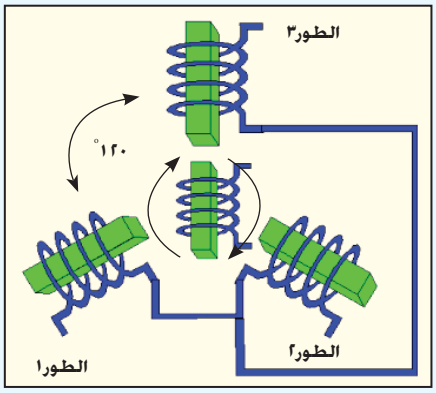
تعد الشبكة الكهربائية في أبسط صورها كالدارة الكهربائية، لها مصدر كهربائي كالتوربينات، ولها موصلات كخطوط النقل، كما أن لها أيضاً حملاً كهربائياً لخدمة مدينة أو قرية ما. وتوجد بين هذه العناصر عدة أجزاء تؤدي أدواراً مختلفة في الشبكة؛ بهدف رفع كفاءة الشبكة والتقليل من الانقطاعات، وكذلك التخفيض من التكاليف، ومن أهم هذه الأجزاء ما يلي:

● المحولات

تعد المحولات (Transformers) من أهم مكونات الشبكة الكهربائية؛ نظراً لدورها الحيوي والحساس الذي يتمثل في رفع قوة الجهد الكهربائي ليصل إلى ٥٠٠ ألف فولت، بهدف خفض قيمة التيار الكهربائي وتكاليف نقله، وعند وصول خط النقل قرب المدينة يتم تخفيض الجهد الكهربائي - رفع التيار الكهربائي - شيئاً فشيئاً حتى يصل إلى درجة الجهد في المنزل، وهي عادة ما تكون ٢٢٠ أو ١١٠ فولت، شكل(٨).

● المحطات الفرعية

يتم في المحطات الفرعية (Substations) استقبال الطاقة الكهربائية بجهد عالٍ، لتقوم بعد ذلك بعدة أدوار، تتمثل في حماية التيار وقياسه وتنظيمه وتوصيله أو قطعه بالإضافة إلى تحويله وتوزيعه على أجزاء الشبكة الكهربائية. ومن الجدير ذكره أن حجم هذه المحطات يتناسب طردياً مع قيمة الجهد الكهربائي، حيث يحتاج الجهد الكهربائي العالي إلى محطات فرعية ضخمة والعكس صحيح.



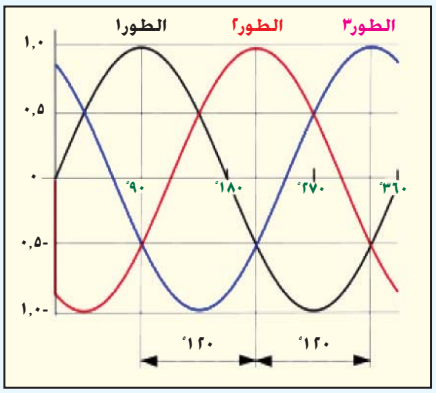
■ شكل (٩) المولد ثلاثي الطور.

● النقل ثلاثي الطور

تعد خطوط النقل بصفة عامة ذات أهمية اقتصادية كبيرة بالنسبة للشبكة الكهربائية في مختلف دول العالم، ويمكن ملاحظة هذه الخطوط على الطرق البرية عند الانتقال من مدينة إلى أخرى، حيث تمتد الأبراج الكهربائية التي تحمل في الغالب ثلاثة موصلات كتقنية ذات كفاءة عالية وجدوى اقتصادية مقبولة، بينما لو زاد عدد الموصلات فقد تصبح بذلك تكلفة النقل أعلى من العائد تقريباً.

يقوم النقل ثلاثي الطور بنقل ثلاثة تيارات مختلفة التموج، ويجب التنبيه إلى أن اختلاف التموج لا يكمن في شكل الموجة، وإنما في توقيتها، شكل (٩)، حيث يلاحَظ أن المولد ثلاثي الأطوار يتكون من أربعة أجزاء، ثلاثة منها تعبر عن الأطوار الثلاثة وتشكل فيما بينها دائرة بزاوية ١٢٠° عن بعضها البعض، بينما يقع الجزء الرابع في المنتصف ويتحرك حركة دوارنية لتقابل أحد الأطوار الثلاثة، وفي هذه الحالة يكون هذا الطور عند قيمته القصوى، وهكذا للأطوار الأخرى. ولهذا فإن الأطوار الثلاثة تتناوب على حمل التيار، فمثلاً في لحظة من اللحظات يحمل الطور الأول قيمة التيار القصوى، ويحمل الطور الثاني القيمة المتوسطة، بينما يحمل الطور الثالث القيمة الدنيا،

■ شكل (٨) أحد المحولات المستخدمة في تحويل الجهد.



■ شكل (١٠) قراءة التيارات الكهربائية ثلاثية الطور على أجهزة القياس.

ثم يختلف هذا الترتيب في لحظة أخرى، وهكذا؛ مما يسمح أن يكون التيار بقيمته القصوى في مختلف الأوقات، شكل (١٠). أما لو كان هناك طور واحد فقط فإن التيار سيكون في قيمته القصوى عندما يكون الحمل الكهربائي عالياً، بينما لو انخفض التيار إلى قيمته المتوسطة أو الدنيا فإن الحمل سينخفض أو ينقطع؛ لعدم كفاية التيار.

منحنى الأحمال

يختلف الاستهلاك الوطني اليومي للطاقة الكهربائية باختلاف الأوقات، فمثلاً عند ساعات الليل وساعات الفجر الأولى يكون استهلاك الطاقة خفيفاً، وذلك بسبب توقف المصانع والدوائر الحكومية و الخاصة و الأسواق و المستودعات، وعندما تشرق الشمس يبدأ الحمل بالارتفاع بشكل مضطرد نظراً لبدء الحركة اليومية للمستهلكين، حتى يصل إلى وقت الذروة عند ساعة الظهيرة، وقد يستمر من عدة دقائق إلى سويعات، ومن ثم يبدأ في الانخفاض عند ساعات العصر و المغرب ليصبح عند ساعات الليل في أدنى مستوياته. ومن الجدير بالذكر أن منحنى الحمل السنوي يشبه إلى حد كبير منحنى الحمل اليومي، بحيث تزداد الأحمال في أشهر الصيف بينما تنخفض في الشتاء والربيع بشكل ملحوظ.

المراجع

1 - **Ulaby, F.T.,** Fundamentals of Applied Electromagnetics, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 407 ,1997 pages. Fifth edition, 2006.

2 - **Halliday, Resnick & Walker,** Fundamentals of Physics, 7th Ed, Extended, Wiley 2005

3 -Fundamentals of electric circuits (concise), 2nd Ed by **Charles K Alexander** and **Matthew N. O. Sadiku.**