

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دولة فلسطين

وَاللَّهُ أَكْبَرُ

١١
الجزء الأول

الطاقة المتجددة

النظري

المسار المهني - الفرع الصناعي

فريق التأليف:

م. زياد القواسمي

أ. إبراهيم قدح (منسقاً)

م. هيثم القاضي

م. علي ريان

م. معاذ أبو سليقة



مركز المناهج

قررت وزارة التربية والتعليم العالي في دولة فلسطين
تدريس هذا الكتاب في مدارسها بدءاً من العام الدراسي ٢٠١٧ / ٢٠١٨ م

الإشراف العام

رئيس لجنة المناهج
نائب رئيس لجنة المناهج
رئيس مركز المناهج

د. صبري صيدم
د. بصري صالح
أ. ثروت زيد

الدائرة الفنية

الإشراف الإداري

أ. كمال فحماوي

التحرير اللغوي

د. سهير قاسم

متابعة المحافظات الجنوبية

د. سميرة التخاله

الطبعة التجريبية

٢٠٢٠ م / ١٤٤١ هـ

جميع حقوق الطبع محفوظة ©

دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم



مركز المناهج

mohe.gov.ps | mohe.pna.ps | mohe.ps

MinistryOfEducationWzartAltrbytWaltlym

+970-2-2969350 هاتف | +970-2-2969377 فاكس

حي الماصيون، شارع المعاهد

ص. ب 719 - رام الله - فلسطين

pcdc.edu.ps | pcdc.mohe@gmail.com

يتصف الإصلاح التربوي بأنه المدخل العقلاني العلمي التابع من ضرورات الحالة، المستند إلى واقعية النشأة، الأمر الذي انعكس على الرؤية الوطنية المطورة للنظام التعليمي الفلسطيني في محاكاة الخصوصية الفلسطينية والاحتياجات الاجتماعية، والعمل على إرساء قيم تعزز مفهوم المواطنة والمشاركة في بناء دولة القانون، من خلال عقد اجتماعي قائم على الحقوق والواجبات، يتفاعل المواطن معها، ويعي تراكيبها وأدواتها، ويسهم في صياغة برنامج إصلاح يحقق الآمال، ويلامس الأماني، ويرنو لتحقيق الغايات والأهداف.

ولما كانت المناهج أداة التربية في تطوير المشهد التربوي، بوصفها علماً له قواعده ومفاهيمه، فقد جاءت ضمن خطة متكاملة عالجت أركان العملية التعليمية التعلمية بجميع جوانبها، بما يسهم في تجاوز تحديات النوعية بكل اقتدار، والإعداد لجيل قادر على مواجهة متطلبات عصر المعرفة، دون التورط بإشكالية التشتت بين العولمة والبحث عن الأصالة والانتماء، والانتقال إلى المشاركة الفاعلة في عالم يكون العيش فيه أكثر إنسانية وعدالة، وينعم بالرفاهية في وطن نحمله ونعظمه.

ومن منطلق الحرص على تجاوز نمطية تلقّي المعرفة، وصولاً لما يجب أن يكون من إنتاجها، وباستحضار وإعٍ لعديد المنطلقات التي تحكم رؤيتنا للطالب الذي نريد، وللبنية المعرفية والفكرية المتوخّاة، جاء تطوير المناهج الفلسطينية وفق رؤية محكومة بإطار قوامه الوصول إلى مجتمع فلسطيني ممتلك للقيم، والعلم، والثقافة، والتكنولوجيا، وتلبية المتطلبات الكفيلة بجعل تحقيق هذه الرؤية حقيقة واقعة، وهو ما كان له ليكون لولا التناغم بين الأهداف والغايات والمنطلقات والمرجعيات، فقد تألفت وتكاملت؛ ليكون النتاج تعبيراً عن توليفة تحقق المطلوب معرفياً وتربوياً وفكرياً.

ثمّة مرجعيات تؤطّر لهذا التطوير، بما يعزّز أخذ جزئية الكتب المقرّرة من المنهاج دورها المأمول في التأسيس؛ لتوازن إبداعي خلاق بين المطلوب معرفياً، وفكرياً، ووطنياً، وفي هذا الإطار جاءت المرجعيات التي تم الاستناد إليها، وفي طليعتها وثيقة الاستقلال والقانون الأساسي الفلسطيني، بالإضافة إلى وثيقة المنهاج الوطني الأول؛ لتوجّه الجهد، وتعكس ذاتها على مجمل المخرجات.

ومع إنجاز هذه المرحلة من الجهد، يغدو إجزاء الشكر للطواقم العاملة جميعها؛ من فرق التأليف والمراجعة، والتدقيق، والإشراف، والتصميم، واللجنة العليا أقل ما يمكن تقديمه، فقد تجاوزنا مرحلة الحديث عن التطوير، ونحن واثقون من تواصل هذه الحالة من العمل.

وزارة التربية والتعليم

مركز المناهج الفلسطينية

تشرين الثاني / ٢٠١٧

تسعى وزارة التربية والتعليم بشكل دائم ومستمر على مواكبة التطور التكنولوجي الحديث خاصة في مجال تطوير تخصصات تقنية ومهنية عصرية تؤسس لبناء جيل يتسلح بآخر ما توصل اليه العلم من ابتكارات حديثة بحيث تساعد في بناء مجتمع متقدم وحديث، كما وتعمل في الوقت ذاته على توفير فرص عمل تلبي احتياجات سوق العمل الفلسطيني من خلال تحديث المنهاج الفلسطيني بما يتلاءم مع التطور التكنولوجي الحاصل في المجتمع الفلسطيني ومحيطه الاقليمي والدولي .

يؤسس هذا الكتاب لاستيعاب المفاهيم الاساسية النظرية لدراسة مصادر الطاقة المتجددة الحديثة، كتوليد التيار الكهربائي عبر استخدام الخلايا الفولتضوئية (الخلايا الشمسية)، أو عبر استغلال طاقة الرياح والطاقة الحيوية، حيث يبدو المستقبل واعدا في فلسطين في هذا المجال الحيوي، إذ يشكل تخصص "الطاقة المتجددة" النواه الاساسية لأي اقتصاد فلسطيني مستقل وحديث يبنى على اسس علمية صحيحة.

يبحث هذا الكتاب المفاهيم النظرية لتخصص الطاقة المتجددة من خلال "أربعة وحدات رئيسية"، تتطرق الوحدة الأولى فيه إلى أساسيات علم الكهرباء، من حيث مفهوم الذرة ومكوناتها، والى تصنيف المواد من حيث موصليتها للتيار الكهربائي، وكذلك الى مفهوم فرق الجهد وشدة التيار الكهربائي وارتباط مقاومة المواد مع كل منهما، كما تتطرق أيضا إلى مفهوم الدارة الكهربائية البسيطة ومكوناتها الأساسية، أما الوحدة الثانية فهي تتعلق "بدارات التيار المستمر" والتي تعتبر النواه الاساسية لعملية توليد التيار الكهربائي عبر استخدام الخلايا الفولتضوئية وطرق توصيل المقاومات الكهربائية وحسابات كل من التيار والجهد في دارات التيار المستمر المختلفة باستخدام قانون اوم، واستخدام قانون القدرة والطاقة الكهربائية لحساب مقدار الطاقة الكهربائية المنتجة أو المستهلكة في الأحمال، والى مفهوم المواسعات وطرق توصيلها وأعطالها المتوقعة. اما في الوحدة الثالثة " دارات التيار المتناوب" فتتطرق الى التمييز ما بين مصادر التيار المستمر والمتناوب بالإضافة لدراسة اشكال الموجات الكهربائية وعلى وجه الخصوص الموجة الجيبية وخصائصها وميزاتها وطريقة توليدها ودراسة كيفية التعامل مع داراتها الكهربائية، وتوصيلاتها المختلفة، كما تم التطرق إلى مفهوم القدرة الكهربائية في دارات التيار المتناوب أحادية وثلاثية الطور وحساباتها ومفهوم معامل القدرة الكهربائية وعلاقته بنوعية الاحمال الكهربائية المختلفة وأهمية تحسينه للتقليل من الطاقة الضائعة، كما تم الإشارة إلى المحولات الكهربائية ومكوناتها الاساسية واستخداماتها وطرق توصيلها.

وفي الوحدة الأخيرة، فقد تم التطرق إلى علم الالكترونيات حيث تم دراسة اشباه الموصلات وطريقة تطعيمها والتي تعتبر اللبنة الاساسية للعناصر الالكترونية المختلفة، كالثنائيات العادية وثنائيات الزينر والثنائيات المشعة للضوء وخصائصها ومواصفاتها الفنية بالإضافة لكيفية تصرفها في الدوائر الكهربائية المختلفة واستخداماتها في دوائر التقويم. وفي النهاية تمت دراسة بعض أشهر أنواع الترانزستورات (BJT)، MOSFET، وGBT، ومبدأ عملها وكيفية توصيلها واستخدامها في الأجهزة الالكترونية وتحديد مواصفاتها الفنية الواردة في نشرة بياناتها وكذلك طرق فحصها للتأكد من صلاحيتها واستبدال التالف منها.

تم انجاز هذا الكتاب بجهود فريق عمل متميز، حيث يعتبر هذا الكتاب في السنة الأولى من إصداره نسخة تجريبية بحاجة إلى التنقيح والتعديل بناء على التغذية الراجعة التي تردنا من الميدان، لذا نرجو من معلمينا وأبنائنا الطلبة وإخوتنا أولياء الأمور تزويدنا في الإدارة العامة للمباحث العلمية /مركز المناهج بكافة الملاحظات والاقتراحات من اجل الإثراء والتعديل والتحديث.

الوحدة الأولى : أساسيات الكهرباء

- 2
4
9
- الدرس الأول: الكهرباء الساكنة
الدرس الثاني: الكهرباء المتحركة

الوحدة الثانية : دارات التيار المستمر

- 19
21
29
36
40
44
- الدرس الأول: المقاومة الكهربائية
الدرس الثاني: قانون أوم وتوصيل المقاومات الكهربائية
الدرس الثالث: قوانين كيرشوف
الدرس الرابع: القدرة والطاقة الكهربائية
الدرس الخامس: المواسعات الكهربائية

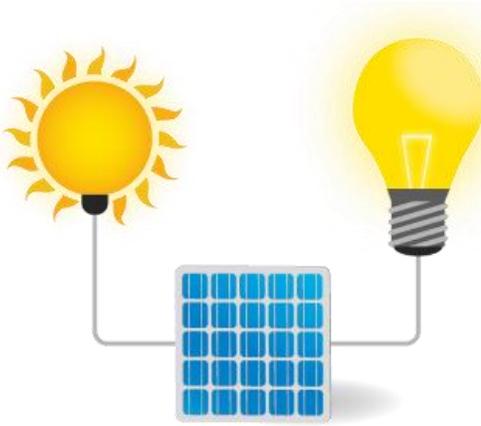
الوحدة الثالثة : دارات التيار المتناوب

- 53
55
59
67
73
80
87
96
- الدرس الأول: مصادر الجهد المستمر والمتناوب
الدرس الثاني: توليد التيار المتردد
الدرس الثالث: الأحمال الكهربائية وتصنيفاتها
الدرس الرابع: القدرة الكهربائية المتناوبة وأنواعها
الدرس الخامس: معامل القدرة وأهمية تحسينه
الدرس السادس: التوصيلات الكهربائية في الدوائر ثلاثية الطور
الدرس السابع: المحولات الكهربائية وتوصيلاتها

الوحدة الرابعة: أساسيات الإلكترونيات

- 108
104
114
126
- الدرس الأول: أشباه الموصلات
الدرس الثاني: الثنائيات
الدرس الثالث: الترانزستور (Transistor)

تكنولوجيا الطاقة المتجددة:



مع تزايد أسعار الوقود التقليديّ عالمياً، وتزايد الانبعاثات الغازية الناتجة عن حرق الوقود، وتأثير ذلك على البيئة والمناخ العالميّ، ظهرت الطاقة المتجددة كبديل عن الطاقة التقليدية، وتعدّ الطاقة الشمسية من أهم الطاقات المتجددة المستخدمة عالمياً؛ لكونها نظيفة ومجانية ولا تتضب، كما تتميز بكون التقنية المستعملة فيها بسيطة نسبياً وغير معقدة، بالمقارنة مع التقنية المستخدمة في مصادر الطاقة الأخرى. والطاقة الشمسية هي البديل الأمثل

والمناسب للطاقة التقليدية في منطقة الشرق الأوسط، بسبب الارتفاع النسبيّ للإشعاع الشمسي في هذه المنطقة، الذي يجعل تطبيقها عملياً واقتصادياً أفضل مقارنة بمناطق أخرى في العالم. وعلى سبيل المثال: تتمتع فلسطين وسائر بلاد الشام بتوافر معدلات مرتفعة من الإشعاع الشمسي الكلي، تتراوح بين 4-8 كيلو وات ساعة/م²/يوم، وهي نسبة عالية مقارنة مع الدول الأخرى. ويمكن لنظام الطاقة الشمسية في فلسطين إنتاج ثلاثة أضعاف الطاقة على الأقل مقارنة بشمال أوروبا.

السوق المحليّ والعالميّ وفرص العمل:

تعدّ الطاقة المتجددة نقطة مضيئة في صناعة الطاقة، وتشغل أعداداً قياسية في صناعة الطاقة الشمسية والمولدة من الرياح ومساقط المياه وهو ما يخفف جزئياً تأثير أكبر موجة من تقلص الوظائف في شتى المجالات الأخرى.

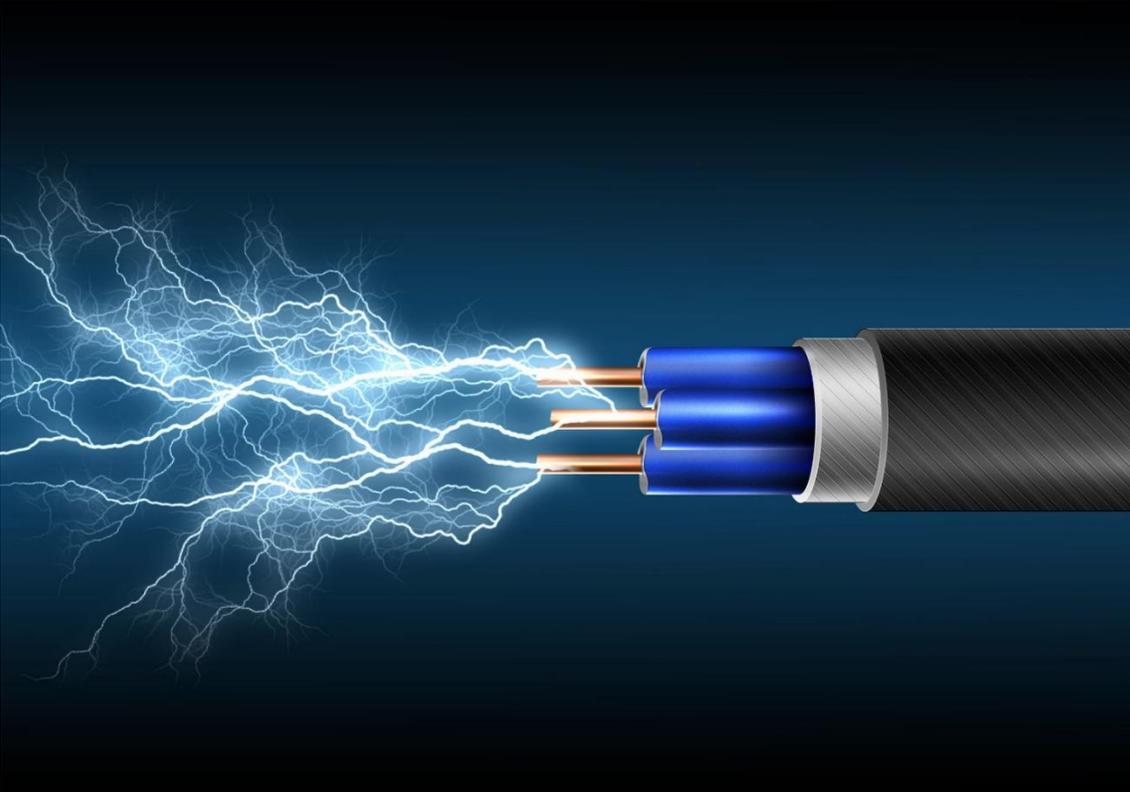


وتأتي هذه الفرص في الوقت الذي يعاني فيه قطاع الطاقة التقليدية من أسوأ ركود له منذ أواخر التسعينات مما يدفع طلبة كليات الهندسة إلى إعادة النظر في خياراتهم، بل إن ذلك يحدث مع أناس في منتصف حياتهم العملية تقريبا بعد أن قضاوا أكثر من عشر سنوات في قطاع النفط. لذلك فالمستقبل المهني مفتوح ومزدهر للفنيين والمهندسين المختصين والمؤهلين في قطاع الطاقة المتجددة وخاصة الطاقة الشمسية.

الوَحدة

1

أساسيات الكهرباء



"اليوم الذي سنفهم فيه الكهرباء على حقيقتها الكاملة، على الأغلب سيكون أهم حدث في التاريخ المكتوب".

مقدمة الوحدة:

تعدّ الكهرباء من أهم الاكتشافات في تاريخ البشرية، فقد بدأ الإنسان في مراقبة ظواهر مرتبطة بالكهرباء مثل البرق منذ آلاف السنين، وما زال منذ ذلك الوقت مهتماً بدراسة الكهرباء وظواهرها المختلفة.

فمنذ بدايات اكتشافها غيرت الكهرباء مجريات التاريخ، وكانت السبب وراء الثورات التكنولوجية والصناعية في العالم المعاصر، فلا أحد يمكنه تخيل الحياة الحديثة دون وجود الكهرباء، فهي التي تجعل هذا العالم هو العالم الذي نحب.

تستخدم الكهرباء تقريباً في كل شيء حولنا، في الإنارة، الاتصالات، التنقل، التكنولوجيا وتطبيقات أخرى تمس حياتنا اليومية. فدراستنا وفهمنا للكهرباء سنتمكن من فهم الكثير من الظواهر والتطبيقات المرتبطة بها، وسنتمكن كذلك من التعرف إلى مستقبلها والتحديات التي تواجهها.

أهداف الوحدة:

- 1- التعرف إلى أساسيات الكهرباء.
- 2- التعرف إلى المصطلحات والرموز الكهربائية الأساسية.
- 3- تقدير أهمية الكهرباء وجهود العلماء في هذا المجال.
- 4- تطبيق بعض التجارب التي ترسخ مبادئ الكهرباء.
- 5- تطبيق الحسابات الكهربائية الأساسية في مظاهر حياتية يومية.

وجود الكهرباء أزلّي، فالإنسان مثلاً كان يرى البرق، ولكنه لم يكن قادراً على تفسيره واستثماره، كذلك الأمر هل شعرت يوماً بقطعة وأنت تسرح شعرك بمشط بلاستيكي؟ هل لسعتك الكهرباء مرة حينما لامست مقبض الباب؟ كل هذه الظواهر مرتبطة بالكهرباء الساكنة، وستتمكن بعد دراسة هذا الدرس من تفسير هذه الظواهر جميعها وظواهر أخرى من حولنا.

نشاط إستهلالي: ادخل إلى غرفة معتمة وأحضر ورقة سميكة، وقم بشقها إلى نصفين بسرعة، انتبه جيداً، هل رأيت شيئاً يلمع؟ حاول تفسيره مع زملائك.

✚ الذرة وتركيبها:

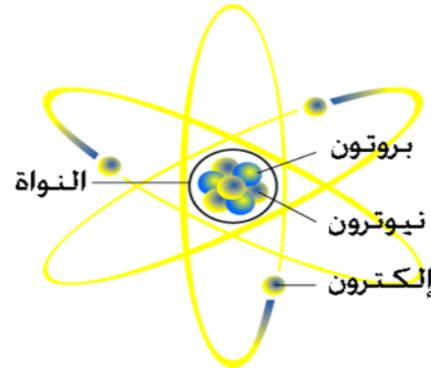
تعرفت سابقاً أن الذرة تتكوّن من أجسام متحركة تحمل طاقة تدور حول بعضها بعضاً في مدارات منظمة. وتتكوّن العناصر الطبيعية جميعها من ذرات، فالذرة (Atom) هي أصغر وحدة بناء للمادة، الشكل المجاور يمثّل تركيب الذرة وتتكون من:

1- النواة Nucleus: مركز الذرة ويوجد بداخلها:

أ - البروتونات Protons: جسيمات موجبة الشحنة.

ب - النيوترونات Neutrons: جسيمات متعادلة (لا تحمل شحنة).

2- الإلكترونات Electrons: جسيمات تحمل شحنة سالبة وتدور في مدارات حول النواة.



الجسيم: أصغر بناء ماديّ يحمل كتلة، وهو البناء الأساسي الذي تتكون منه الأجسام الأكبر.

نشاط (2): عرض فيديو توضيحي يمثّل الذرة وأجزاءها وكيفية دوران هذه الأجزاء حول بعضها.

نشاط (3): مستعينا (بالإنترنت) أو المكتبة عبيء الجدول الآتي لذرات العناصر الآتية:

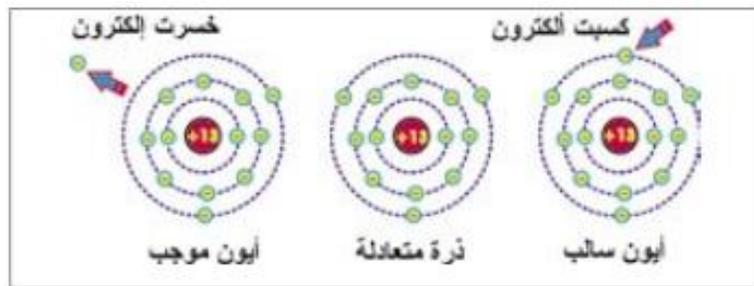
العنصر	عدد الإلكترونات	عدد البروتونات	عدد النيوترونات
الحديد			
الذهب			
الألمنيوم			
النحاس			
السيلكون			

نستنتج من النشاط الآتي أن الذرة بوضعها المستقر متعادلة (لا تحمل شحنة) وذلك يعود إلى تساوي عدد الجسيمات السالبة (الإلكترونات) والجسيمات الموجبة (البروتونات).

الشحنات الكهربائية والأيونات.

لاحظنا من النشاط السابق أن عدد الإلكترونات يساوي عدد البروتونات في الذرة بوضعها الطبيعي، تقع البروتونات في النواة، بينما تدور الإلكترونات في مدارات محددة البعد عن النواة، كلما تحركنا من مدار إلى آخر بعيداً عن النواة تقل قوة جذب النواة للإلكترونات، وفي الوقت نفسه تزداد طاقة هذه الإلكترونات.

تسمى الإلكترونات في المدار الأبعد عن النواة بالإلكترونات الحرة، وتمتاز هذه الإلكترونات بطاقتها العالية وبضعف ارتباطها بالنواة، لذلك من الممكن لهذه الإلكترونات مغادرة ذرة العنصر. وعند مغادرة إلكترون من المدار الأخير في ذرته يصبح عدد البروتونات أكبر من الإلكترونات مما يؤدي إلى اكتساب هذه الذرة لشحنة موجبة، تسمى في هذه الحالة أيون موجب. وفي حال استقبلت الذرة إلكترونات يصبح عدد الإلكترونات أكبر من عدد البروتونات فتكتسب الذرة شحنة سالبة وتسمى أيوناً سالباً. انظر الشكل التالي للتوضيح.



تقاس الشحنة بوحدة الكولوم
نسبة إلى تشارلز كولوم حيث
حددت شحنة الإلكترون
الواحد ب 1.6×10^{-19}
كولوم

مثال:

إذا اكتسب جسم ما شحنة مقدارها 3 ميلي كولوم، فما عدد الإلكترونات التي فقدتها الجسم؟

الحل:

$$ش = 3 \times 10^{-3} \text{ كولوم.}$$

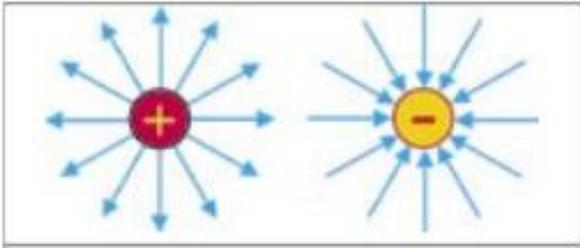
ولكن 1 كولوم يكافئ $10^{18} \times 6.25$ إلكترون.

$$\frac{\text{الشحنة الكلية}}{\text{شحنة الاكترون}} = \text{إذا: عدد الإلكترونات}$$

أو عدد الإلكترونات = ش $10 \times 6.25 \times 10^{18}$

ويساوي: $3 \times 10^{-3} \times 6.25 \times 10^{18} = 1.875 \times 10^{16}$ الكترون.

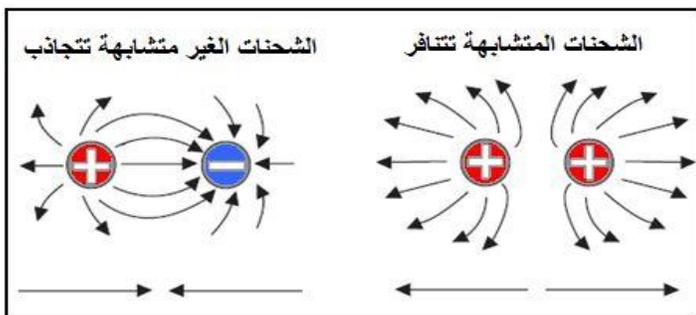
المجال الكهربائي:



تعمل الشحنة الكهربائية الموجودة على توليد مجال كهربائي حولها، حيث إن هذا المجال يؤثر على أي شحنة كهربائية أخرى توضع في نطاق هذا المجال، ويتم تمثيل المجال الكهربائي بخطوط وهمية تدل كثافتها على شدة هذا المجال، فالشحنات المتشابهة تتأثر بقوة تنافر، أما الشحنات المتشابهة فتتأثر بقوة تجاذب.

ومن ميزات خطوط المجال الكهربائي:

- 1- للجسم المشحون بشحنة موجبة، تتجه خطوط المجال الكهربائي من مركز الجسم المشحون إلى الخارج.
- 2- للجسم المشحون بشحنة سالبة، تتجه خطوط المجال من الخارج إلى مركز الجسم المشحون.
- 3- خطوط المجال الكهربائي لا تتقاطع أبداً.



تتحني خطوط مجال الشحنات المتشابهة محاولة تجنب بعضها بعضاً مما يؤدي إلى نشوء قوة تنافر بينهما، أما في حال وجود شحنتين مختلفتين، فإن خطوط المجال الكهربائي ستخرج من الأولى وتتصل داخلياً مع الشحنة الثانية، مما يؤدي إلى قوة تجاذب بين هاتين الشحنتين.

يؤدي وجود تجاذب وتنافر بين الشحنات إلى نشوء قوى متبادلة بينهما، تعرف هذه القوى بالقوى الكهربائية، يصف قانون كولوم هذه القوى بالآتي: القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين كهربائيتين تتناسبان طردياً مع مقدار كل شحنة، وعكسياً مع مربع المسافة بينهما.

⚡ كهرباء العواصف الرعدية:

كان فرانكلين واثقاً تماماً من أن العواصف الرعدية كانت كهربائية، لذا صمم تجربة تتسم بالجرأة رغم بساطتها. لقد كانت تجربة خطيرة للغاية، لذا لا تحاول تكرارها بنفسك!

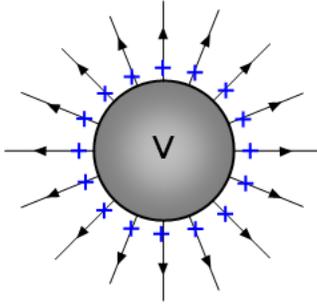
لقد كانت تجربة فرانكلين في خمسينيات القرن السادس عشر أن يطير طائرة ورقية خلال إحدى العواصف، فقد أراد أن يرى ما إذا كانت الكهرباء الصادرة عن العاصفة الرعدية ستسير في السلك الرابط للطائرة أم لا، كانت الطائرة تحتوي على سلك حاد مدبب مثبت فيها لجذب الكهرباء، كما احتوت على جهاز أمان عبارة عن شريط من



الحرير مثبت في نهاية الخيط. ولأن الكهرباء لا تسري خلال الحرير، فإنه وبإمسك الشريط وليس الخيط، حمى فرانكلين نفسه من الصدمة إذا ما ضربت الصاعقة. ومع ارتفاع الطائرة بين السحب، ضرب البرق وانتقلت الكهرباء إلى أسفل السلك الرابط للطائرة، وتطاير الشرر من المفتاح تماماً كما تنبأ فرانكلين!

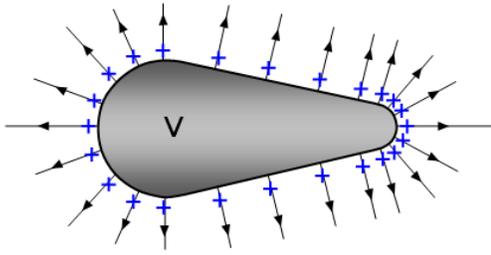
نشاط بحثي: في الصورة السابقة يوجد بجانب القدم الأيسر لفرانكلن شيء يشبه الجرة، ابحث عنه وقدمه في عرض محوسب.

توزيع الشحنات على جسم مشحون:



تتواجد الشحنات على السطح الخارجي للجسم فقط، فمثلاً لو أن هناك كرة زجاجية مشحونة فإن الشحنات لا توجد أبداً داخل الكرة، ولكن توجد فقط على السطح الخارجي لها، يعود ذلك إلى أن الشحنات المتشابهة تتولد بينها قوى تنافر، فتحاول الابتعاد أبعد ما يمكن عن بعضها بعضاً، فتستقر على السطح الخارجي للجسم المشحون كما في الشكل المجاور.

وتوضّح هذه الظاهرة أن طائرات السفر تصاب بضربات برق أثناء مرورها خلال السحب، ولكن الركاب لا يتأثرون، لأن الشحنات تنتزّع فقط على سطح الطائرة الخارجي ولا تصل إلى الداخل.



أما في حال كان الجسم المشحون غير منتظم فإن الشحنات الكهربائية أيضاً تكون موجودة فقط على السطح الخارجي للجسم، ولكن بتركيز أكثر في الأطراف المدببة للجسم كما في الشكل المجاور



وتساعد هذه الظاهرة على استنتاج، لماذا تلسعنا الكهرباء على أطراف أصابعنا عند ملامسة مقبض الباب، لأن معظم الشحنات تتجمع على الأطراف المدببة لأصابعنا.

أسئلة الدرس:

- 1- علل: غالباً الإلكترونات التي تنتقل في عملية شحن الأجسام هي الإلكترونات الحرة.
- 2- احسب عدد الإلكترونات اللازم إضافتها إلى جسم مشحون بشحنة موجبة مقدارها + 13 ميكرو كولم ليصبح متعادلاً الشحنة.

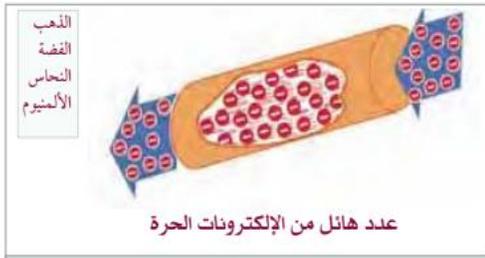


- 3- صف باختصار كيفية التخلص من شحنة جسم مشحون.
- 4- لماذا يبدو شعر البنت بهذا الشكل بعد ترحلقها على المزلاج؟ فسّر؟

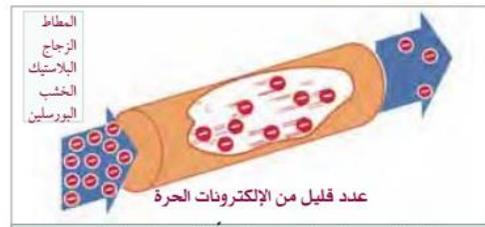
تنشأ الشحنات الكهربائية نتيجة لتعرض الذرات لطاقة تحرر الإلكترونات الحرة من مداراتها، في حالات معينة تبقى الشحنة ساكنة ولا تتحرك لعدم وجود مسار تنتقل من خلاله، ولكن في حالات أخرى يتوفر هذا المسار وتتحرك الشحنات. فماذا يصاحب هذه الحركة من ظواهر؟ وهل يمكن استثمار هذه الحركة والاستفادة منها؟ هل تساءلت يوماً ماذا يجري داخل الأسلاك الكهربائية؟ سنتمكن بعد دراسة هذه الدرس من الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها.

الموصلية:

تحتاج الشحنات الكهربائية إلى وسط تتحرك فيه، ويجب توافر صفات معينة للمواد التي يمكن استخدامها لنقل هذه الشحنات. تقسم المواد من حيث **سماحتها** بتحرك الشحنات فيها إلى ثلاثة أقسام رئيسية.



1- **المواد الموصلة. conductors.** (تتقل الشحنات) يمتاز تركيبها الذري بوجود عدد هائل من الإلكترونات الحرة القابلة للحركة ونقل الشحنات مثل الذهب والفضة والنحاس والألمنيوم.



2- **المواد العازلة. Insulators.** (لا تتقل الشحنات). وهي مواد لا تتقل الشحنات ويرجع ذلك إلى تركيبها الذري الذي يمتاز بعدد قليل جداً من الإلكترونات الحرة، وعليه فإن الشحنات لا تتحرك في هذه المواد إذا ما طبقنا طاقة عليها. من هذه المواد الماء المقطر، الزجاج، البلاستيك.

3- **المواد شبه الموصلة. Semiconductors.** (تتقل الشحنات تحت ظروف معينة)، وهي مواد وسطية بين المواد العازلة والموصلة، بحالتها النقية لا تتقل الشحنات ولكن يمكن التحكم بموصليتها بإضافة مواد أخرى لها، يتم استخدامها بكثرة في صناعة العناصر الإلكترونية، سيتم شرحها باستفاضة في الوحدة الرابعة. أمثلة على هذه المواد السيلكون والجرمانيوم.

الموصلية: هي درجة سماحية المادة لمرور الشحنات الكهربائية من خلالها.

تختلف سماحية المواد لمرور الشحنات، وذلك لاختلاف أعداد الإلكترونات الحرة في ذراتها. فكلما كانت الإلكترونات الحرة متوفرة بشكل أكبر ازدادت الموصلية.

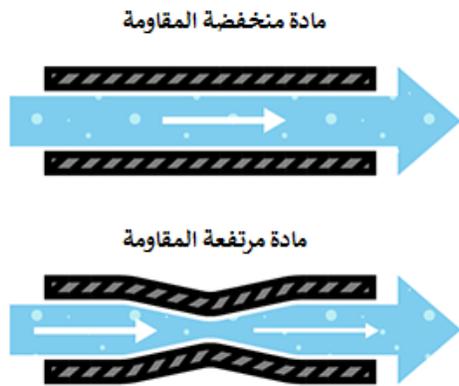
نشاط (1): مستعينا بالمكتبة أو بـ(الإنترنت)، املأ الجدول الآتي:

العنصر	عدد الإلكترونات	عدد الإلكترونات في المدار الأخير (الإلكترونات الحرة)
النحاس		
الألمنيوم		
الكربون		
الزنون		

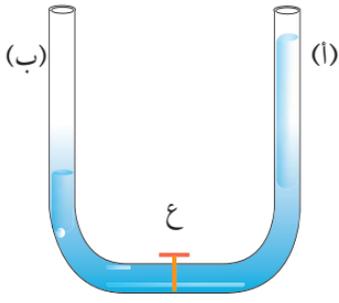
حسب الجدول السابق، صنف المواد السابقة حسب موصليتها للشحنات.

المقاومة:

إن مرور الشحنات في مادة ما ليس أمراً بسيطاً فيمكن أن تصطدم الشحنات بأجزاء تلك المادة مما يسبب مقاومة لحركة الشحنات الكهربائية.



يمكن تعريف المقاومة بما يلي: هي خاصية فيزيائية تتميز بها المواد، تتمثل في إعاقة المادة لمرور الشحنات (الإلكترونات) خلالها. وتحدث الإعاقة في المادة سواء كانت من الموصلات أو غير الموصلات، ولكن بدرجات مختلفة. وحدة قياس المقاومة هي الأوم ohm ويرمز لها بالرمز اللاتيني Ω . انظر الشكل المجاور الذي يوضّح مفهوم المقاومة.



الجدير بالذكر أن الموصلية هي عكس المقاومة، ويرمز لها بالرمز G وتقاس بوحدة mho وهي معكوس كلمة أوم Ohm $\frac{1}{R} = G$

نشاط (2): أحضر خرطوم مياه، وشغله في الوضع الطبيعي، والآن اضغط عليه في المنتصف مسبباً إعاقة لمرور المياه من خلاله، وراقب كمية الماء الخارجة في الحالتين. ناقش مع زملائك، هل يمكن اعتبار ما قمت به هو زيادة لمقاومة الخرطوم؟

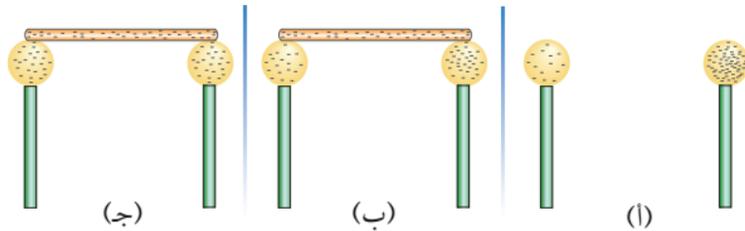
هل تساءلت بعد تنفيذ النشاط السابق: ما هي القوة التي تدفع الماء في الخرطوم؟

✚ فرق الجهد

إن فرق الجهد بين جسمين مشحونين هو الذي يقرر اتجاه انتقال الشحنات فيما بينهما، ولتوضيح ذلك انظر إلى الشكل المجاور، فعند فتح الصمام المغلق (ع) فإن الماء سينتقل من الأنبوب (أ) إلى الأنبوب (ب) حتى يتساوى ارتفاع الماء في الأنبوبين، لذلك يمكننا القول بأن هناك فرق جهد بين الأنبوبين قبل فتح الصمام، وفرق الجهد هذا هو السبب في انتقال المياه من الطرف (أ) إلى الطرف (ب). وأيضا يمكننا القول إن الجهد أصبح متساويا بعد فتح الصمام وتساوى ارتفاع الماء في كلا العمودين.

فرق الجهد: هو الفرق الناتج عن اختلاف كمية الشحنة بين نقطتين.

ويتطبيق المبدأ ذاته على الشحنات الكهربائية كما في الشكل الأسفل، فإن الشحنات ستنقل من الكرة ذات الجهد الأكبر (الجانب الأيمن) إلى الكرة ذات الجهد الأقل (الجانب الأيسر).



سؤال: لماذا لم تنتقل الشحنات من الكرة اليمنى إلى الكرة اليسرى في الحالة (أ) من الشكل السابق.

بعد دراسة الشكلين السابقين، نستنتج أن فرق الجهد ينشأ عند وجود فرق في الشحنات الكهربائية (الإلكترونات). حيث تتوق الشحنات إلى الانتقال من المنطقة الغنية بالشحنات إلى المنطقة التي تعاني نقصاً. فالبطارية مثلاً لديها طرف سالب غنيّ بالشحنات السالبة وطرف موجب فقير بها، ومن أجل أن تتعادل الشحنات تتوق الإلكترونات الموجودة في الطرف السالب إلى الوصول للطرف الموجب، وهذا يعني وجود فرق جهد بين قطبي البطارية. لذلك عند وصل طرفي البطارية بموصل فإن الشحنات مباشرة ستبدأ في الانتقال من الطرف السالب إلى الطرف الموجب من البطارية.



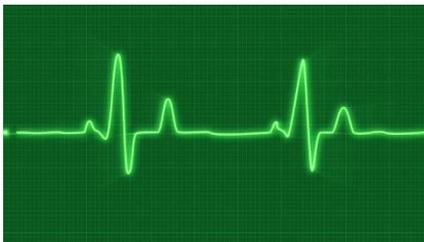
سؤال استنتاجي: حاول تفسير ماذا سيحصل لبطارية إذا وصلنا طرفيها بسلك موصل (كما في الشكل المجاور) وتركناها لفترة كبيرة من الزمن.

الفولت:

الفولت هو وحدة قياس فرق الجهد، ويرمز له بالرمز V ، وبالتعريف فإن 1 فولت: هو فرق الجهد اللازم لتحريك تيار كهربائي شدته 1 أمبير عبر مقاومة مقدارها 1 أوم.

عالمياً فإن هناك أنظمة وقيم معينة للفولتية، فمثلاً في الولايات المتحدة الأمريكية تبلغ قيمة الفولتية في المنازل 110 فولت، وفي بقية دول العالم تبلغ 220 فولتاً. وبالنسبة للبطاريات، تبلغ قيمة الفولتيات السائدة لها 1.5 و 9 فولت، وفي بطاريات السيارات 12 فولتاً و 24 فولتاً. وتتمثل أهمية هذه القيم الثابتة بأن الأجهزة والآلات التي تستخدم في دولة معينة يمكن استخدامها في دولة أخرى لها نظم الفولتية نفسها مباشرة ودون أي حاجة إلى تعديل هذا الجهاز أو الأداة.

نشاط بحثي:



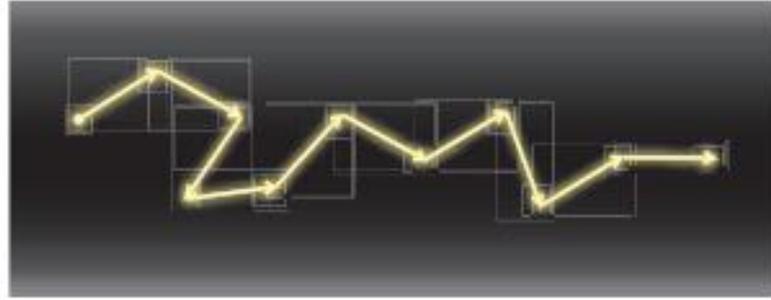
هل تعلم أن الجهد الكهربائي هو ما يحرك قلبنا باستمرار! مستعينا بـ(الأنترنت) أو المكتبة، ابحث عن كيفية توليد إشارة لنبض القلب وقدمها في عرض محوسب.

التيار الكهربائي:



يوجد في المدار الأخير لذرات المواد الموصلة إلكترونات حرة، وبما أن المادة تتكون من ملايين من الذرات فإن الإلكترونات الحرة تبدو على شكل غيمة، ولكن إذا تمكنا من تتبع حركة أحد هذه الإلكترونات فإن حركته ستكون عشوائية (انظر الشكل المجاور).

ولكن إذا طبقنا فرق جهد على طرفي هذه المادة فذلك سيؤدي إلى توجيه لحركة هذه الإلكترونات من الطرف ذي الجهد العالي إلى الطرف ذي الجهد المنخفض. انظر الشكل في الأسفل:



التيار الكهربائي:

هو حركة موجه للإلكترونات الحرة من النقطة ذات الجهد المرتفع إلى النقطة ذات الجهد المنخفض.

$$1 \text{ أمبير} = 1 \text{ كولوم} / \text{ثانية}$$

شدة التيار الكهربائي:

ترتبط شدة التيار الكهربائي بكمية الإلكترونات (الشحنات) المارة خلال موصل في فترة زمنية معينة. فإذا كان عدد الشحنات المارة كبيراً تكون شدة التيار عالية، والعكس صحيح.

ويمكن حساب شدة التيار الكهربائي من خلال المعادلة الآتية:

$$\text{شدة التيار الكهربائي (أمبير)} = \frac{\text{الشحنة الكهربائية (بالكولم)}}{\text{الزمن (بالثانية)}}$$



ومن القانون السابق فإن شدة تيار مقداره واحد أمبير يمكن أن توصف بأنها: تدفق كولوم واحد من الشحنات الكهربائية في موصل خلال 1 ثانية.

مثال:

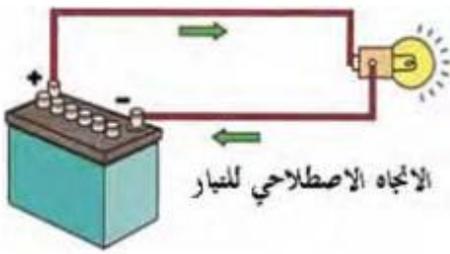
يمر في مقطع موصل نحاسي 20 كولوم كل دقيقة ونصف، احسب شدة التيار في هذا الموصل.

الحل:

$$\text{شدة التيار الكهربائي (أمبير)} = \frac{\text{الشحنة الكهربائية (بالكولم)}}{\text{الزمن (بالثانية)}}$$

$$\text{ويساوي } 0,223 = \frac{20}{1.5 \times 60} \text{ أمبير.}$$

➡ اتجاه التيار الكهربائي:



لقد أُصطلح على أن يكون اتجاه سريان التيار الكهربائي من القطب الموجب (منطقة الشحنات الموجبة) إلى القطب السالب (منطقة الشحنات السالبة) أي بعكس اتجاه سريان الإلكترونات. انظر إلى الشكل المجاور للتوضيح.



تذكر!

التيار الكهربائي الاصطلاحي يسير باتجاه حركة الشحنات الموجبة نفسها، وبالعكس اتجاه الشحنات السالبة.



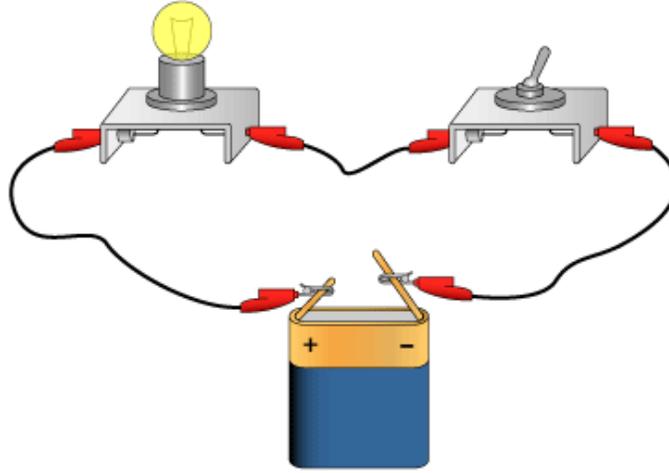
نشاط بحثي: إن من أهم تطبيقات التيار الكهربائي عمليات اللحام بالقوس الكهربائي، ابحث عن كيفية توظيف التيار لمثل هذا الغرض وقدمه في تقرير.

الدارة الكهربائية البسيطة:

تُعرف الدائرة الكهربائية بأنها مجموعة من العناصر الكهربائية تزود بمصدر جهد، ويتم التحكم بها بوسيلة تحكم وحماية بحيث تسمح بمرور التيار عبر موصلاتها عندما تصبح مغلقة.

تتكون الدائرة الكهربائية البسيطة من العناصر الآتية:

- 1- مصدر جهد كهربائي: ووظيفته إعطاء الدائرة الطاقة الكهربائية كالبطارية أو المولد.
- 2- أسلاك التوصيل: حيث توفر موصلاتها المصنوعة من النحاس أو الألمنيوم المسار المغلق اللازم لمرور التيار الكهربائي.
- 3- الحمل: ويمثل العنصر الذي يستهلك الطاقة الكهربائية بتحويلها من شكل إلى آخر (حرارية، ضوئية، حركية، ...) كالمقاومة أو المحرك أو المصباح أو غيرها.
- 4- وسيلة التحكم كالمفتاح: ووظيفته التحكم بتشغيل الحمل أو فصله.
- 5- وسيلة القياس: وتعدّ اختيارية ولكنها في بعض الأحيان ضرورية كجهاز قياس التيار أو الجهد أو غيرهما.



عند قياس الكميات الكهربائية، يتم استخدام نوعين من أجهزة القياس:



- 1- أجهزة قياس تماثلية (Analog multimeters): ذات مؤشر، وتستخدم على نطاق ضيق هذه الأيام وذلك لحلول الأجهزة الرقمية بدلا منها.

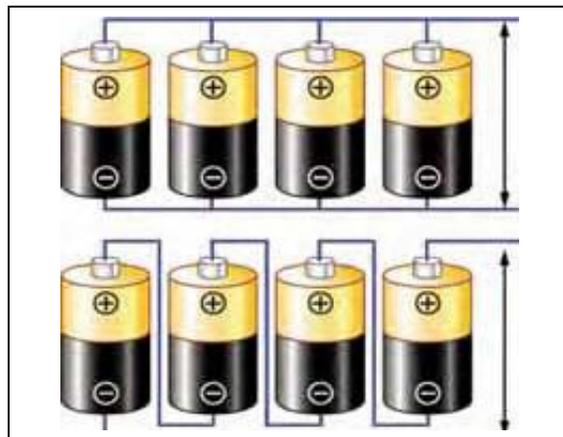


2- أجهزة قياس رقمية (Digital multimeters): ذات شاشة عرض صغيرة الحجم (ولها عادة أربع خانات)، وتستخدم على نطاق واسع لسهولة استخدامها ولرخص ثمنها ودقتها، وسيتم الإشارة لها لاحقاً بالرمز (DMM)، ويتم التركيز عليها عند الحاجة لإجراء القياسات.

البطاريات وتوصيلها:

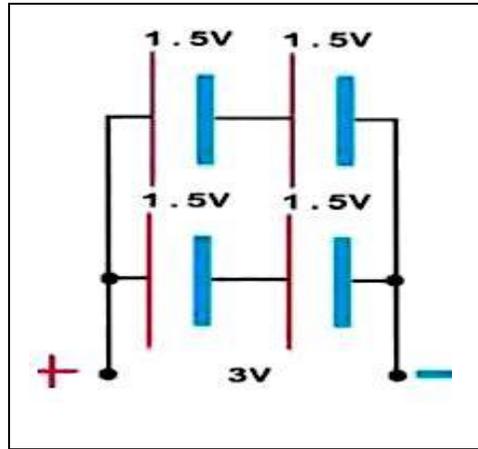
تعرف البطاريات بأنها وحدات تستخدم لتخزين الطاقة الكهربائية بصورة آمنة، وللبطاريات أنواع كثيرة يمكن تصنيفها وفقاً لبنود عديدة، فهناك البطاريات الجافة والبطاريات السائلة، وهناك بطاريات تستخدم مرة واحدة، وبطاريات يمكن إعادة شحنها، وأيضاً تتراوح أحجام البطاريات من بطاريات بالغة الصغر تستخدم في الساعات إلى بطاريات كبيرة جداً تُستخدم في السيارات والسفن وحتى المركبات الفضائية.

يمكن الحصول على جهد أعلى من القوة الدافعة الكهربائية للبطارية الواحدة من خلال وصل بطاريات عديدة على التوالي، حيث يصبح الجهد الكلي مساوياً لمجموع الجهود للبطاريات المفردة، لذلك إذا وصلت (4) بطاريات على التوالي فإن جهد كلٍّ منها (1.5 فولت مثلاً) الكلي يصبح (6 فولت) كما في الشكل.



وبالتالي يدل ذلك على أنه وعند وصل البطاريات على التوالي فإن الجهد الكلي يزداد في حين يبقى التيار ثابتاً لأن التيار الكلي للدارة الكهربائية يمر في كل بطارية.

أما عند وصل البطاريات على التوازي (لها قيمة الجهد نفسها) يزداد التيار بينما يبقى الجهد نفسه، وللحصول على جهد و تيار أعلى، توصل البطاريات على التوالي والتوازي بشكل مركب كما هو واضح في الشكل أدناه، حيث تم توصيل بطاريتين على التوالي للحصول على جهد مضاعف قيمته (3 فولت)، ثم توصيل هذه المجموعة على التوازي مع مجموعة أخرى مماثلة بهدف مضاعفة التيار.



أسئلة الدرس:

1- أجب بنعم أو لا:

أ - تمتاز المواد العازلة بوفرة الإلكترونات الحرة؟

ب - تقاس الموصلية بوحدة الأوم؟

ج - اتجاه التيار الكهربائي الاصطلاحي باتجاه حركة الإلكترونات نفسها؟

2- اذكر العوامل التي تعتمد عليها شدة التيار الكهربائي.

3- علل: يعتمد مرور التيار الكهربائي في موصل ما على مقدار مقاومة هذا الموصل.

أسئلة الوحدة:

1- أجب بنعم أو لا:

- أ- () العامل الوحيد الذي يقرر سريان التيار الكهربائي في موصل هو فرق الجهد؟
ب- () تدور النيوترونات في مدارات محددة حول النواة؟
ت- () الأيون الموجب هو ذرة **اكتسبت** إلكترونات إضافياً؟
ث- () المجال الكهربائي يمثل بخطوط وهمية تدلّ كثافتها على شدة المجال؟
ج- () تتوزّع الشحنات بانتظام في داخل الجسم المشحون؟

2- علل: تصنع كابلات نقل التيارات العالية من مجموعة من الموصلات وليس موصلاً واحداً مصمتاً.

3- علل: توجد أنظمة فولتيات ثابتة حول العالم.

4- اذكر العوامل التي تعتمد عليها القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين كهربائيتين.

5- لماذا تضرب الصواعق دائماً أسطح البنايات العالية والمدببة.

6- مقطع من موصل يمر خلاله 200 مليون إلكترون في فترة زمنية مقدارها 5 ثوان. احسب شدة التيار في

هذا الموصل.

7- حالة دراسية

أراد علي العمل في قسم خاص بشركة اتصالات، هذا المقسم متطور ويحوي العديد من الأجهزة باهظة الثمن. قبل البدء بالعمل طلب منه المهندسون في الشركة ارتداء الأداة التي تظهر في الصورة على معصمه وربطها بالخزانة المعدنية للمقسم قبل البدء في العمل.

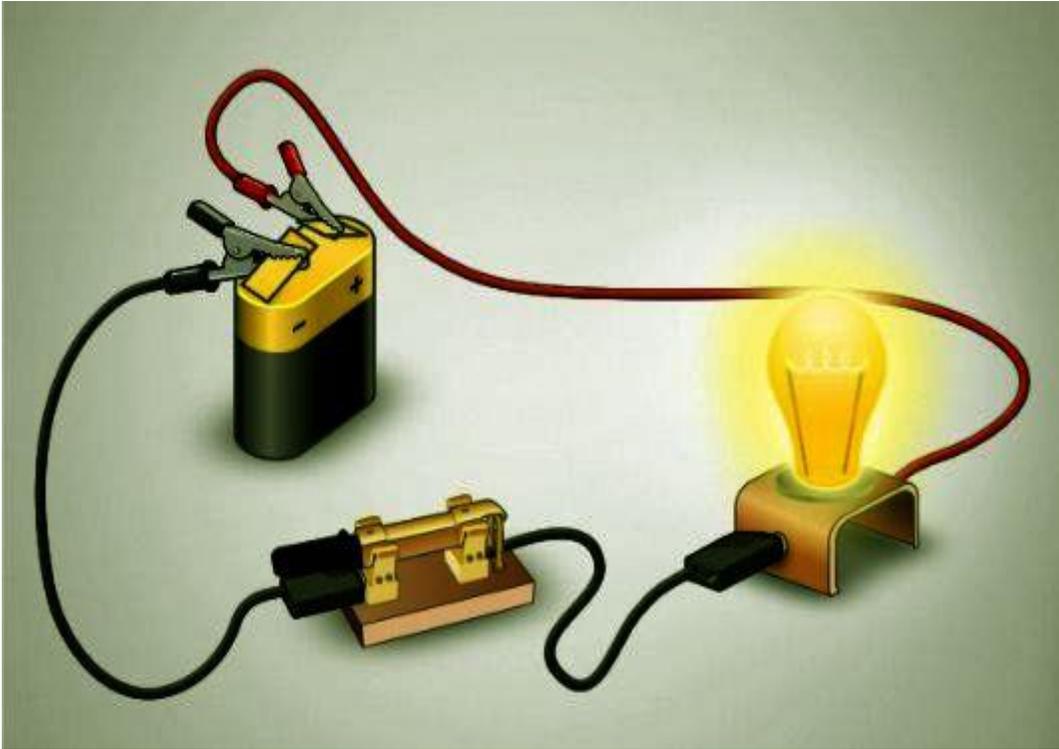


ما الفائدة من استخدام مثل هذه الأداة، وماذا تمنع؟

الْوَحْدَة

2

دارات التيار المستمر



"أنا لم أفشل 100 مرة في تشغيل المصباح الكهربائي، بل وجدت 100 طريقة لا يمكن للمصباح الكهربائي العمل بها"
توماس اديسون

مقدمة الوحدة

تُصنّف التيارات الكهربائية إلى نوعين رئيسيين، هما التيارات الكهربائية المستمرة والمتناوبة. لكلّ نوع منها تطبيقاته وخصائصه التي تجعله مطلوباً ومهماً. لكن بداية الكهرباء كانت مع التيارات المستمرة حيث إن هذا النوع ينتج عن البطاريات التي تم اكتشافها في بدايات القرن التاسع عشر.

يمتاز التيار الكهربائي المستمر في أنه ثابت القيمة والاتجاه مع مرور الزمن، وقد استخدم هذا النوع تجارياً لنقل الطاقة الكهربائية في نهاية القرن التاسع عشر قبل أن يحلّ مكانه التيار المتردد. لكن التيار المستمر كان ولا يزال موجوداً في كثير من التطبيقات الحالية، فهو موجود في معظم التطبيقات الإلكترونية، وتستخدم كميات كبيرة جداً من طاقة التيار المستمر في إنتاج الألومنيوم والعمليات الكهروكيميائية الأخرى. ويستخدم التيار المستمر لدفع القطارات في كثير من السكك الحديدية.

ويبدو المستقبل واعداً للتيار المستمر، فتزايد الطلب على الطاقة المتجددة أعاده بقوة إلى الساحة، فالخلايا الشمسية تولد التيار المستمر، وبعض توربينات الرياح أيضاً، لذلك أصبحت شبكات التيار المستمر تطرح مجدداً بقوة لنقل الطاقة الكهربائية جنباً إلى جنب مع شبكات التيار المتردد.

أهداف الوحدة

1. التعرف إلى مفهوم المقاومات الكهربائية وتوصيلها.
2. حسابات التيار والجهد باستخدام قانون أوم في الدوائر الكهربائية.
3. استخدام قوانين (كيرشوف) الخاصة في حسابات التيار والجهد والمقاومة في الدوائر الكهربائية.
4. التمييز بين مفهوم الطاقة والقدرة الكهربائية وحساباتها.
5. التعرف إلى المواسعات وتركيبها ومبدأ عملها توصيلها.

تعرفنا في الوحدة الأولى إلى أن الجهد الكهربائي يمثل القوة التي تُجبر الإلكترونات على التحرك باتجاه معين في الموصل أي التي تسبب سريان التيار الكهربائي، ويتم التعبير عنه بوحدة " الفولت (V) ". أما الحركة الموجهة لهذه الإلكترونات عبر الموصل فتمثل التيار الكهربائي، وبالتالي فإن الجهد الكهربائي هو المسبب لسريان التيار والذي يُقاس " بوحدة الأمبير (A) ". علماً بأن هذا التيار يواجه ممانعة لسريانه في الموصل، حسب رأيك، ما هو سبب هذه الممانعة؟

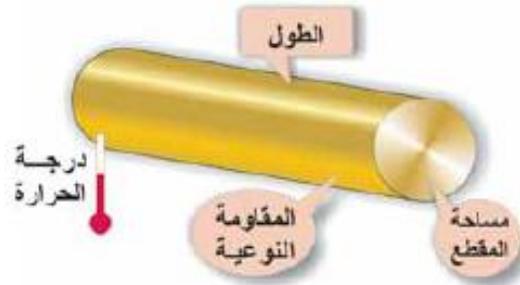
المقاومة الكهربائية:

تمثل المقاومة الكهربائية مقدار إعاقة المادة لمرور التيار الكهربائي، فالمواد العازلة مثل الزجاج والمطاط لها مقدار كبير من الممانعة لمرور الإلكترونات عبرها، لذا تكون مقاومتها عالية جداً؛ فسميت بالمواد العازلة، أما بالنسبة للمواد الموصلة مثل الحديد والنحاس فإنها تمتلك مقاومة ضعيفة جداً، حيث تسمح بمرور الإلكترونات بحرية وبالتالي سميت بالمواد الموصلة.

المقاومة الكهربائية: هي مقدار الممانعة لسريان التيار الكهربائي عبر الموصلات، ويرمز للمقاومة الكهربائية بحرف (R)، وتُقاس بوحدة الأوم أو مضاعفاتها ويرمز لهذه الوحدة بالرمز (Ω).

مقاومة الموصلات:

وتعتمد مقاومة المادة (R) على أربعة عناصر، هي:



الشكل (1): العوامل المؤثرة على مقاومة الموصل.

- [1] نوع المادة: ويعبر عنها بالمقاومة النوعية للمادة ويرمز لها بالرمز (ρ) وتُقراً (رو) ووحدتها ($\Omega \cdot \text{م}^2/\text{م}$) وتتناسب طردياً مع قيمة المقاومة " أي أن قيمة المقاومة تزداد مع ازدياد المقاومة النوعية للمادة ".
- [2] طول الموصل: ويرمز له بالرمز (L) ويتناسب طردياً مع قيمة المقاومة (R).
- [3] مساحة مقطع الموصل: ويرمز له بالرمز (A) ووحدته (م^2)، وتتناسب عكسياً مع (R) أي أن قيمة المقاومة تقل كلما زادت مساحة مقطع الموصل.
- [4] درجة الحرارة: وعادة ما تزداد قيمة مقاومة المادة مع زيادة درجة حرارتها بشكل عام .

ويمكن تمثيل تلك العوامل بالمعادلة الآتية والتي من خلالها يمكن إيجاد قيمة المقاومة إذا علمت معطيات المعادلة:

$$R = \frac{\rho * L}{A} \quad \text{ووحدها الأوم } (\Omega)$$

✚ موصلية المواد والمقاومة النوعية:

تعرف الموصلية (وهي عكس المقاومة) على أنها السماحية لمرور التيار الكهربائي، وبناءً على ذلك فإن المقاومة النوعية للمواد الموصلة أقل من المقاومة النوعية للمواد العازلة، وهناك عوامل عديدة يجب أخذها بالاعتبار عند اختيار المادة التي يصنع منها الموصل، أهمها المتانة، ومقاومة التأثيرات الخارجية وإمكانية التصنيع.

المقاومة النوعية للمادة: هي ممانعة مرور التيار الكهربائي لعينة من المادة على هيئة موصل يبلغ طوله (1) متر ومساحة مقطعه (1ملم²) عند درجة حرارة (20) درجة مئوية، ويتم قياسها بوحدة (أوم . ملم² / متر).

والجدول (1) يوضح المقاومة النوعية للمواد الموصلة الأكثر شيوعاً عند درجة حرارة 20 مئويةاً.

جدول(1): المقاومة النوعية للمواد الموصلة عند درجة حرارة 20 مئويةاً.

مادة الموصل	المقاومة النوعية (أوم . ملم ² / متر)
فضة	0.0149
نحاس	0.0178
برونز	0.0180
الذهب	0.0210
ألمنيوم	0.0241
حديد	0.1400
رصاص	0.2100

مثال 1: احسب مقاومة سلك من النحاس طوله 300 متر ومساحة مقطعه 10 ملم²، إذا علمت أن المقاومة النوعية

للنحاس (1.78×10^{-2}) اوم . ملم² / متر ؟

الحل:

$$R = \frac{L * \rho}{A}$$

$$R = 300 * \frac{1.78 \times 10^{-2}}{10} = 0.534 \Omega$$

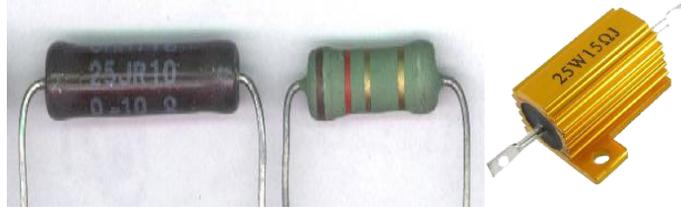
سؤال: هل الموصل الذي يمتلك مساحة المقطع الأكبر يمتلك قيمة المقاومة الأكبر؟

سؤال: مستعيناً بالجدول السابق، برأيك لماذا لا يتم استخدام الفضة بدلاً من النحاس في الموصلات الكهربائية؟

أنواع المقاومات الكهربائية:

تقسم المقاومات الكهربائية من حيث القيمة إلى نوعين، هما:

1- **مقاومات ثابتة القيمة:** وهي مقاومة لها قيمة ثابتة لا تتغير قيمتها مع تغير الظروف المحيطة مثل الضوء والحرارة أو الفولتية، ويمكن تحديد قيمتها باستخدام جهاز قياس المقاومة (الأوميتر) أو من خلال الألوان أو الرموز التي رسمت عليها، ومنها مقاومات كربونية وسلكية.



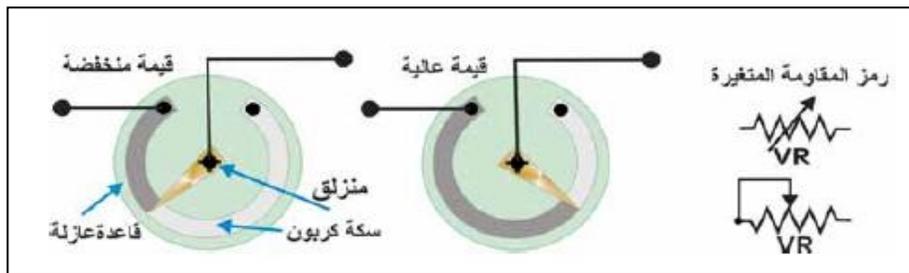
شكل (1): أنواع مختلفة من المقاومات الثابتة

2- **مقاومات متغيرة القيمة:** وهي المقاومة التي تتغير قيمة مقاومتها تبعاً لحركة المنزلق (الذراع) المركب عليها، فعندما نجد مقاومة متغيرة قيمتها (1000Ω) فهذا يعني أنه يمكننا الحصول على مقاومة تتراوح قيمتها من (0 - 1000) أوم. ويبين الشكل (2) أنواع مختلفة من المقاومات المتغيرة.



شكل (2): أشكال مختلفة من المقاومات المتغيرة المختلفة.

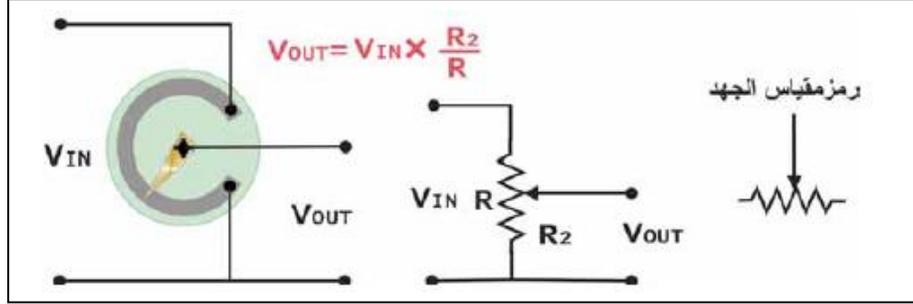
للمقاومة المتغيرة ثلاثة أطراف، اثنان منها يمثلان نهاية المقاومة (أطرافها الخارجيين) تحصل منهما على قيمة المقاومة الكلية (قيمة ثابتة)، والثالث مرتبط بجزء منزلق يتحرك فوق عنصر مقاوم تحصل بواسطته مع إحدى النهايتين على قيم مختلفة من المقاومة الكهربائية كما هو موضح بالشكل (3).



شكل (3): عمل المقاومة المتغيرة

ويطلق أيضاً على المقاومة المتغيرة اسم مقياس الجهد (Potentiometer)، وهو مقسم حيث تتحدد قيمة جهد الخرج (V_{out}) حسب كل من قيمة جهد المدخل (V_{in}) وحركة المنزلق على الكربون، كما هو مبين بالشكل (4)، وتحدد قيمة جهد المخرج في حالة اللاحمل بالمعادلة الآتية:

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R_2}{R}$$



شكل (4): مقياس الجهد في المقاومة المتغيرة

نشاط (1): ابحث عن أسعار المقاومات الثابتة والمتغيرة في السوق المحلي؟

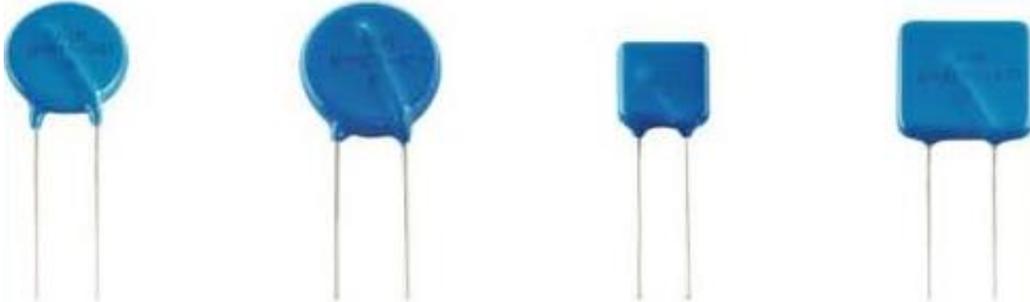
المقاومات الخاصة:

هناك مقاومات خاصة تصنع من مواد خاصة لتلائم تطبيقات عملية معينة في الدارات الكهربائية والإلكترونية، ومن هذه المقاومات ما يلي:

مقاومة الفايستور التابعة للجهد : (MOV) (Metal Oxide Varistor)

حيث تقل قيمة هذه المقاومة بارتفاع قيمة الجهد بين طرفيها (مقاومات غير خطية)، وتستخدم في الحماية الكهربائية بشكل واسع، حيث تعمل على الحماية من الارتفاع المفاجئ في الجهد الكهربائي (امتصاص الصدمة) وتستخدم بكثرة في حماية الأجهزة المنزلية، وعاكسات التيار الكهربائي (Inverter) المستخدمة في الأنظمة الشمسية، ويرمز لها بالرمز (VDR)، ويبين الشكل (6) مقاومتي الثيرمستور والفايستور.

ويبين الشكل (7) بعض أنواع مقاومات (VDR)، والتي يتراوح قيمة الجهد من (200-500) فولت. وهناك أنواع أخرى يصل جهد الحماية لها حتى (1600) فولت، وقد يصل بعض الأنواع إلى حوالي (5000) فولت.



شكل (7): مقاومات الفايستور (VDR-varistor) - (200-500) فولت

نشاط (2): ابحث عن مجموعة من التطبيقات الخاصة بالـ (VDR) من الحياة العملية.

ب- مقاومة سلكية أو كربونية تعمل كمصهر (Fuse):

وهي مقاومة تتكون داخلياً من طرفي سلكين ملحومين معاً، فعندما يتجاوز التيار حده المقرر تسخن هذه المقاومة إلى حد ينصهر معها لحام الوصلة، فتتفصل وينقطع التيار الكهربائي.

ج- المقاومة المعتمدة على الضوء (LDR)

وهي المقاومة التي تعتمد قيمتها على الضوء حيث تتناقص قيمتها بزيادة شدة الضوء الساقط عليها، وتكون قيمتها عالية جداً ($2M\Omega$) عند غياب الإضاءة، وهناك تطبيقات عديدة للمقاومة المعتمدة على الضوء، حيث تستعمل غالباً في أجهزة الإنذار والتحكم بالأبواب، وعندما يتطلب الأمر الإحساس بوجود الضوء عن طريق غلاف زجاجي شفاف يسمح بمرور الضوء من خلاله أو غيابه كما في الشكل.



شكل (8): تركيب وشكل و رمز المقاومة الضوئية (LDR).

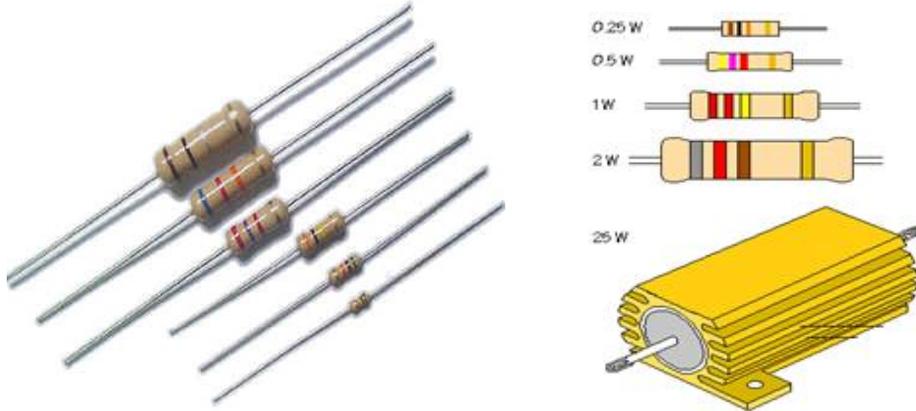
المواصفات الفنية للمقاومات:

المواصفات التي يجب أن تراعى عند استخدام أو استبدال أي مقاومة في دائرة كهربائية:

[1] قيمة المقاومة: حيث تعبر عن القيمة المطلوبة بالأوم أو الكيلو أوم أو الميجا أوم.

[2] القدرة: حيث تعبر عن القدرة القصوى للمقاومة والتي تستطيع أن تبددها، وتصنع المقاومات الكربونية مثلاً

بمقررات قدرة تتراوح ما بين (0.25 ، 0.5 ، 1 ، 2) واط (W) أو أعلى كما في الشكل (9).



شكل (9): مقاومات كربونية ذات قدرات مختلفة.

ويمكن حساب قيمة القدرة التي تستطيع المقاومة تبديدها بالعلاقة التي سيتم تناولها بالتفصيل في درس قادم:

$$P = \frac{V^2}{R} = I^2 \times R$$

حيث إن: (I)، تمثل قيمة التيار المار فيها. ويجب الانتباه جيداً لهذه القيمة، حيث إن أعطال المقاومات تحدث نتيجة لعدم قدرتها على تبديد الحرارة الناتجة عن مرور تيار كبير فيها، مما يؤدي إلى تلفها لتصبح دائرة مفتوحة كما هو مبين في الشكل (10).



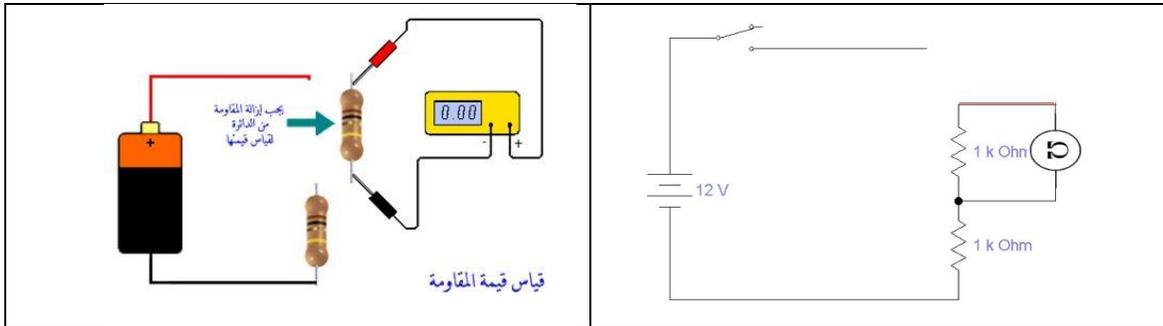
شكل (10): مقاومة كربونية تالفة نتيجة مرور تيار عال فيها

[3] معامل درجة الحرارة: حيث تعبر عن التغير في قيمة المقاومة نتيجة تغير درجة حرارتها.
[4] الاستقرار: وهو التقلب في قيمة المقاومة الذي يحصل تحت ظروف معينة وخلال فترة زمنية محددة، وهو يعتبر من الأعطال صعبة الاكتشاف.

طرق تحديد قيم المقاومات الكهربائية:

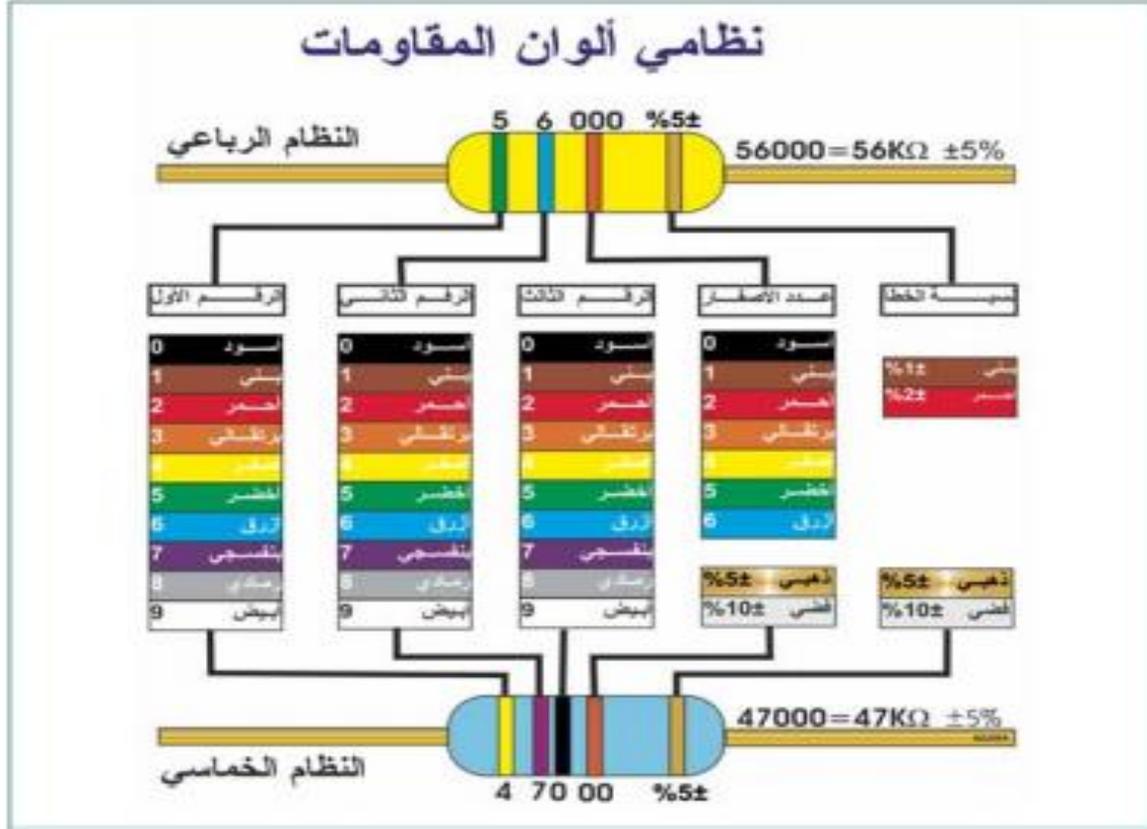
يتم تحديد قيم المقاومة الكهربائية بوحدة الأوم (Ω) من خلال آليات عديدة وذلك بالاعتماد على نوع المقاومة وشكلها على النحو الآتي:

1) جهاز الأوم ميتر: هو عبارة عن جهاز يقيس قيمة المقاومة الكهربائية، وتعدّ هذه الطريقة لقياس المقاومة صالحة لمعظم أنواع المقاومات، علماً بأن المقاومة يجب أن تكون مفصولة عن الدارة الكهربائية خلال عملية القياس كما في الشكل.



الشكل (11): قياس مقاومة كهربائية باستخدام جهاز الأوم ميتر

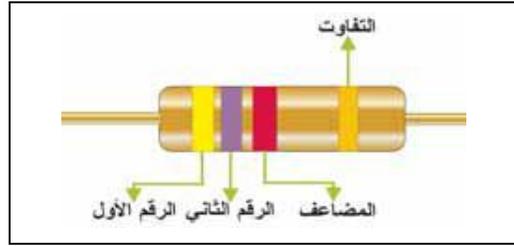
2) نظم ألوان المقاومات: تكون المقاومات الكربونية معلمة برموز لونية تشير إلى قيمتها ونقاوتها (دقتها)، وهناك نظامان معتمدان في الترميز اللوني كما هو موضح في الشكل (12) وهما: الترميز اللوني الرباعي و الترميز اللوني الخماسي



شكل (12): نظام الترميز الرباعي والخماسي

أ- نظام الترميز الرباعي:

تحدد الحلقة الأولى من جهة اليسار الرقم الأول للمقاومة، وتحدد الحلقة الثانية الرقم الثاني للمقاومة، بينما تحدد الحلقة الثالثة المضاعف العشري (عدد الأصفار)، أما الحلقة الرابعة فتحدد نسبة التفاوت المسموح به في قيمة المقاومة النظرية كما هو مبين في الشكل (13).



شكل (13): نظام الترميز الرباعي

ب- نظام الترميز الخماسي:

في هذا النظام تحدد الحلقة الأولى من اليسار الرقم الأول في المقاومة، أما الحلقة الثانية فتحدد الرقم الثاني في المقاومة، وكذلك فإن الحلقة الثالثة تحدد الرقم الثالث في المقاومة، بينما تحدد الحلقة الرابعة المضاعف العشري،

أما الحلقة الخامسة والأخيرة فتحدد نسبة التفاوت المسموح به في المقاومة. ويوضح الشكل (13) طريقة استخدام هذا النظام لتحديد قيمة المقاومات وتفاوتها.

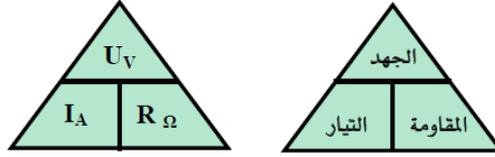
مثال 2: ما قيمة المقاومة المبينة في الشكل (13) مراعيًا حساب الحدين الأعلى والأدنى لهذه المقاومة.
الحل: حسب نظام الألوان:

- الحلقة الأولى تحمل اللون الأصفر، ويقابل الرقم (4)
 - الحلقة الثانية تحمل اللون البنفسجي، ويقابل الرقم (7)
 - الحلقة الثالثة تحمل اللون الأحمر، ويقابل الرقم (2) أي عدد الأصفار وتقابل (100).
 - الحلقة الرابعة تحمل اللون الذهبي، ويقابل نسبة التفاوت ($\pm 5\%$) من قيمة المقاومة الكلية.
- إذن: قيمة المقاومة بعد ترتيب الأرقام هي (4700) أوم أو (4.7) كيلو أوم
أي أن قيمة التفاوت في قيمة المقاومة يساوي (0.05 * 4700 = 235 أوم)
القيمة العظمى لها = 4700 + 235 = 4935 أوم القيمة الصغرى لها = 4700 - 235 = 4465 أوم

أسئلة الدرس:	
1-	وضّح المقصود بالمقاومة الكهربائية والمقاومة النوعية.
2-	تعتمد مقاومة الموصل على أربعة عوامل أذكرها.
3-	سلك من النحاس طوله 80 متر، إذا علمت أن المقاومة النوعية للنحاس (0.0178 أوم.متر) احسب مقاومة السلك إذا كانت: (أ) مساحة مقطعه 1.5 ملم ² . (ب) مساحة مقطعه 2.5 ملم ² .
4-	ماذا نعني باختصار (VDR)؟
5-	اذكر أنواع المقاومات الكهربائية، ثم عدد أهم المواصفات الفنية التي يجب مراعاتها عن اختيار المقاومة؟
6-	ما الطرق التي يتم فيها ترميز المقاومات الكهربائية؟
7-	مقاومة تحمل الألوان الآتية: بنياً، أسود، برتقالياً، ذهبياً، ما هي قيمتها الكلية؟ وما قيمتها العظمى والصغرى؟

تعتمد قيمة الجهد والتيار والمقاومة في الدارة الكهربائية على بعضها بعضاً، وقانون أوم هو القانون الذي يوضح العلاقة التي تربط الكميات الكهربائية الثلاثة المذكورة أعلاه، ولقد سمي بهذا الاسم نسبة إلى العالم الألماني جورج أوم الذي اكتشف هذه العلاقة وقام بتوضيحها كما يلي:

$$\text{فرق الجهد الكهربائي (V) = التيار (I) X المقاومة (R)}$$



وبالتالي يمكن التعبير رياضياً عن هذه العلاقة بأشكال عديدة، وذلك تبعاً لما هو مجهول كما يلي:

$$V = I * R$$

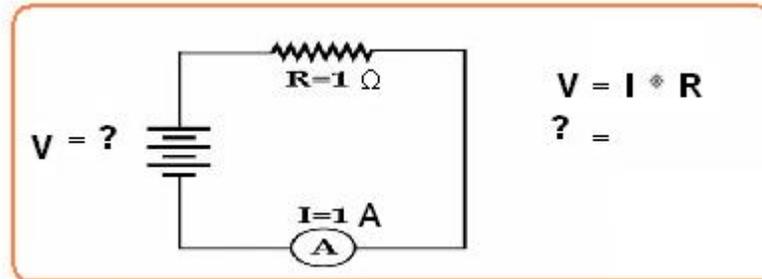
$$R = \frac{V}{I} \quad I = \frac{V}{R}$$

ويمكن التعبير عن نص قانون أوم بما يلي :

قانون أوم: تتناسب شدة التيار الكهربائي المار في موصل تتناسباً طردياً مع فرق الجهد على طرفي الموصل، وعكسياً مع قيمة مقاومته.

وكما هو معلوم لديك الآن، فإن وحدة فرق الجهد هي (الفولت) ورمزها (V) وكذلك فإن وحدة قياس التيار هي (الأمبير) ورمزه (A)، أما المقاومة فتُقاس بوحدة (الأوم) ورمزها (Ω).

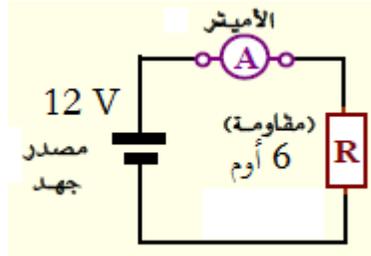
ولحساب فرق الجهد لمصدر جهد مستمر في الدائرة الكهربائية البسيطة المبينة في الشكل (1)، فإننا نستخدم العلاقة المبينة في الشكل، حيث إن قيمة المقاومة والتيار معلومتان.



شكل (1): قياس فرق الجهد في الدائرة الكهربائية البسيطة

وبالتالي فإن قيمة الجهد المجهولة تساوي حاصل ضرب التيار الذي قيمته 1 أمبير في المقاومة التي تحمل القيمة 1 أوم، لينتج لدينا فرق في الجهد قيمته (1) فولت.

مثال 1: مصباح سيارة يعمل ببطارية جهدها 12 فولتاً، إذا علمت أن مقاومة المصباح 6 أوم، احسب شدة التيار



المر في المصباح؟

الحل: نرسم الدائرة ونحدد المعطيات

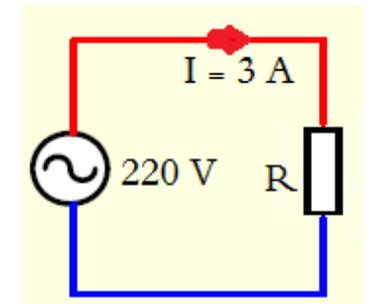
الجهد = 12 فولتاً (V = 12)

لمقاومة = 6 أوم (R = 6)

لتيار = (؟) أمبير (I = ?)

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{6} = 2 \text{ A}$$

مثال 2: سخان إذابة ثلج يعمل على جهد 220 فولتاً، ويسحب تيار مقداره 3 أمبير، جد قيمة مقاومة السخان؟



الحل: نرسم الدائرة ونحدد المعطيات

الجهد = 220 فولتاً (V = 12)

التيار = 3 أمبير (I = 3)

لمقاومة = (؟) أوم (R = ?)

$$R = \frac{V}{I} = \frac{220}{3} = 73 \Omega$$

توصيل المقاومات:

يمكن توصيل المقاومات الكهربائية بثلاث طرق، هي:

أ- التوصيل على التوالي:

يبين الشكل (3-أ) الدائرة الكهربائية لمقاومات ثلاث موصولة مع بعضها بعضاً على التوالي، حيث يتصل أحد طرفي المقاومة الأولى بطرف المقاومة الثانية، أما الطرف الثاني للمقاومة الثانية فيتصل مع طرف المقاومة الثالثة، ويلاحظ أنه وفي حال التوصيل التوالي هناك مسار واحد للتيار، أي أن التيار الذي يمر عبر المقاومات جميعها هو تيار واحد ويسمى (التيار الكلي I_T))، وأن أي انقطاع أو تلف بإحدى المقاومات يؤدي إلى انقطاع التيار كلياً. وعند توصيل المقاومات على التوالي فإن جهد المصدر يصبح:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

$$I_T = I_1 = I_2 = I_3$$

وهذا ما يقودنا إلى قانون تجزئة الجهد في حالة توصيل المقاومات الكهربائية على التوالي، فإن الجهد على كل مقاومة يساوي حاصل ضرب المقاومة في التيار الكلي المار فيه، وذلك حسب قانون أوم: $(V_{R1} = R_1 * I_{total})$ والمقاومة المكافئة أو الكلية (R_T) للمقاومات الثلاثة هي حاصل الجمع الجبري لها جميعا كما يلي:

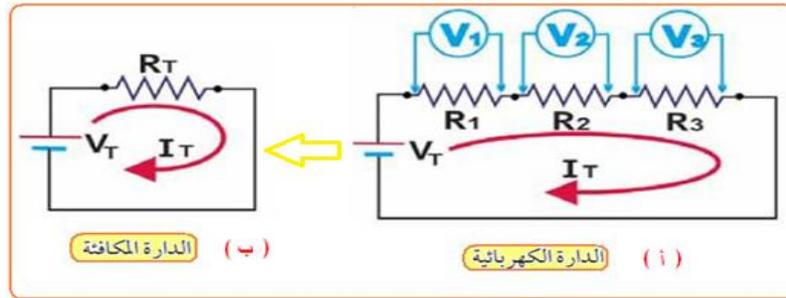
قانون تجزئة الجهد: يسري التيار نفسه في المقاومات الكهربائية المتصلة على التوالي، في حين يتوزع الجهد بين هذه الأحمال حسب قيمة كل منها.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$



شكل (2): توصيل المقاومات على التوالي

ويبين الشكل (3-ب)، أيضا الدائرة المكافئة (دائرة المبسطة) للدائرة الكهربائية الأصلية.



شكل (3): دائرة توصيل مقاومات ثلاث على التوالي.

وعليه يمكن الاستنتاج بأنه، إذا ما وصل عدد من المقاومات على التوالي فإن المقاومة المكافئة (R_{Total}) لهم تساوي الجمع الجبري لقيم هذه المقاومات جميعها. وكذلك فإن جهد المصدر يتوزع على أطراف المقاومات، كل حسب قيمته بتناسب طردي، حيث تأخذ المقاومة الأكبر النصيب الأكبر من الجهد الكلي والعكس صحيح وهكذا.

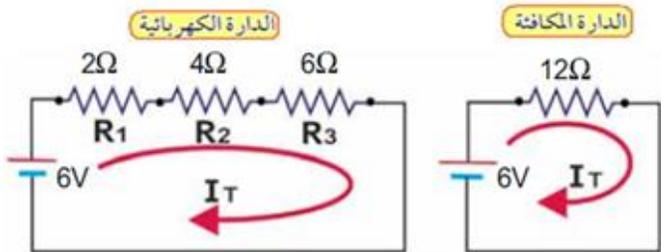
مثال 3: ثلاث مقاومات قيمهم كالتالي الأولى (2 أوم) والثانية (4 أوم) والثالثة (6 أوم) تم وصلهم على التوالي

مع قطبي بطارية جهدها (6 فولت) احسب ما يلي:

أ) ارسم الدارة الكهربائية. ب) ارسم الدارة المكافئة. ج) احسب المقاومة الكلية.

د) احسب قيمة التيار الكلي. هـ) احسب قيمة الجهد المقطع على المقاومة (R_2).

الحل:



المقاومة الكلية (R_T) $12 = 6 + 4 + 2 = R_T$ أوم

التيار الكلي (I_T) $0.5 = \frac{V_T 6}{R_T 12}$ أمبير

الجهد المقطع على المقاومة $R_2 = R_2 * I_T$

$V_{R2} = R_2 * I_T = 4 * 0.5 = 2 \text{ Volt}$

ب- التوصيل على التوازي:

يبين الشكل (4) مقاومات ثلاث موصولة على التوازي بين طرفي مصدر رئيسي للطاقة الكهربائية، أي أنها جميعها متصلة مباشرة مع طرفي المصدر وبالتالي فإن كل مقاومة حصلت على جهد المصدر نفسه (V_T)، ولذلك فإن تيار المصدر في دارة التوازي يتوزع على المقاومات المكونة للدارة بناءً على قيمة كل مقاومة بتناسب عكسي، فالمقاومة ذات القيمة الأكبر تأخذ التيار الأقل والعكس صحيح وهكذا. والتيار الكلي (I_T) يعبر عنه بالمجموع الجبري لجميع التيارات.

جهد المصدر = جهد المقاومة الأولى = جهد الثانية = جهد الثالثة
$V_T = V_1 = V_2 = V_3$
$I_T = I_1 + I_2 + I_3$

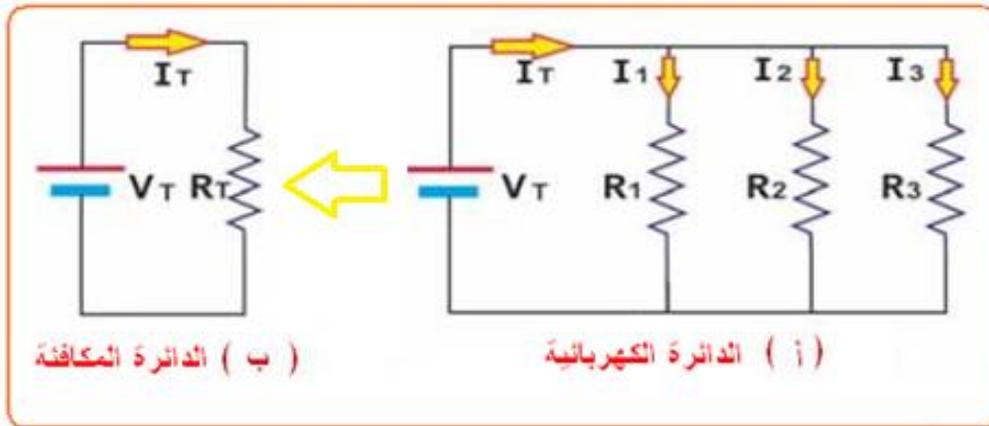
أي أن:

وهذا ما يقودنا إلى قانون تجزئة التيار في حالة توصيل المقاومات الكهربائية على التوازي، فإن التيار المار في كل مقاومة يساوي حاصل قسمة جهد المصدر على قيمة المقاومة، وذلك حسب قانون أوم: ($I_1 = V_R / R_1$)

قانون تجزئة التيار: يتوزع التيار المسحوب من المصدر على الأحمال الكهربائية المتصلة على التوازي حسب قدرة كل منها، ويكون مجموع التيارات الكلية مساوياً لتيار المصدر.

إذا وصل عدد من المقاومات على التوازي فإن المقاومة المكافئة لهم جميعاً تساوي حاصل الجمع الجبري لمقلوبهم وهي بالتالي أقل قيمة من قيمة أصغر مقاومة متصلة على التوازي في الدائرة السابقة. والمقاومة المكافئة للمقاومات الثلاث، هي:

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



شكل (4): دائرة توصيل المقاومات على التوازي

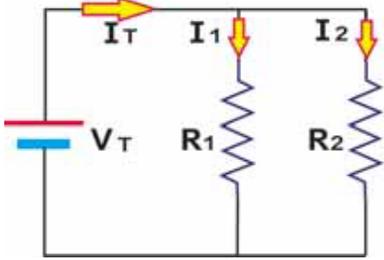
وهناك حالتان خاصتان في التوصيل التوازي:

[1] عند توصيل مجموعة من المقاومات المتشابهة وعددها (N) على التوازي، ومقاومة كل واحدة (R)، فإن المقاومة المكافئة تكون:

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

علما بأن تيار المصدر يتوزع عليهم بالتساوي أي أن ($I_R = I_T / N$).

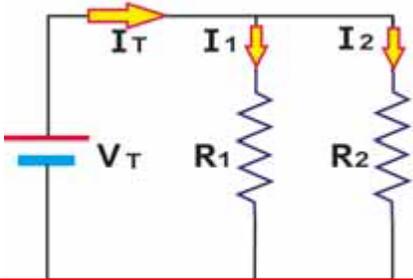
[2] عند توصيل مقاومتين على التوازي كما في الشكل المجاور، فإن المقاومة المكافئة تساوي حاصل ضرب المقاومتين ÷ حاصل جمع قيم المقاومتين، أي أن:



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

مثال 4: في الشكل المجاور مقاومتان على التوازي ($R_1 = 60$)، ($R_2 = 40$) احسب المقاومة المكافئة؟

الحل:



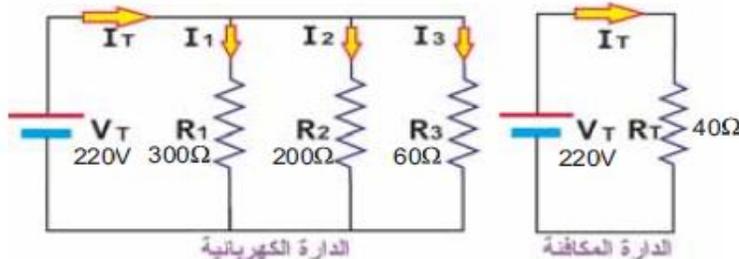
بما أن الدارة مكونة من مقاومتين يمكن تطبيق الحالة الخاصة

$$R_T = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2} = \frac{60 * 40}{60 + 40} = 24 \Omega$$

مثال 5: في الشكل المجاور تم توصيل المقاومات الآتية على التوازي ($R_1 = 300 \Omega$)، ($R_2 = 200 \Omega$)، ($R_3 = 60 \Omega$)

(أ) احسب المقاومة الكلية.

(ب) إذا تم وصل المقاومات جميعها مع مصدر جهد 220 فولتاً، احسب التيار الكلي و تيار كل مقاومة؟



الحل: (أ) المقاومة الكلية:

$$= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{300} + \frac{1}{200} + \frac{1}{60}$$

تتطلب عملية جمع هذه الكسور توحيد مقاومات، والمضاعف المشترك الأصغر في هذه الحالة يساوي

(600) إذن:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{2}{600} + \frac{3}{600} + \frac{10}{600} = \frac{15}{600}$$

ويقلب شقي هذه المعادلة نحصل على:

$$\Omega R_T = \frac{600}{15} = 40$$

(ب) التيار الكلي:

$$I_T = \frac{V_T}{R_T} = \frac{220}{40} = 5.5 \text{ A}$$

(ج) التيارات الفرعية:

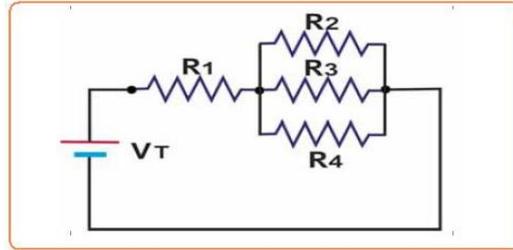
$$I_1 = \frac{V_T}{R_1} = \frac{220}{300} = 0.73 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{V_T}{R_2} = \frac{220}{200} = 1.10 \text{ A}$$

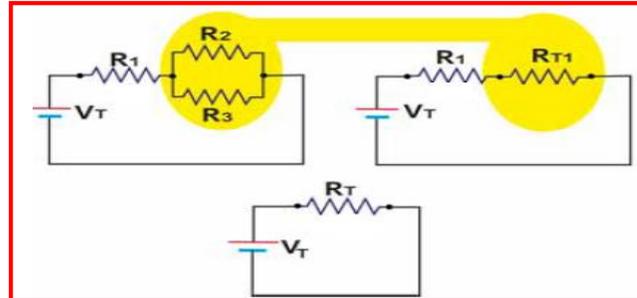
$$I_3 = \frac{V_T}{R_3} = \frac{220}{60} = 3.67 \text{ A}$$

ج- التوصيل المركب للمقاومات:

يمكن الجمع بين التوصيل على التوالي والتوصيل على التوازي كما في الشكل (5) لنحصل على التوصيل المركب، ونعني بالتوصيل المركب للمقاومات، أن يتم توصيل مقاومات على التوالي فيما بينها، وكذلك يتم توصيل هذه المجموعة على التوازي مع مقاومة أو أكثر (والعكس صحيح)، أي أنه يتم المزج ما بين توصيل التوالي وتوصيل التوازي في الدارة الكهربائية نفسها.

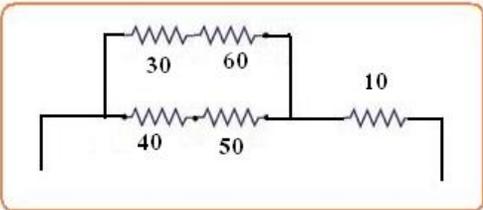
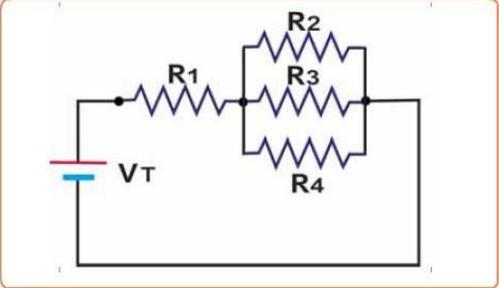


شكل (5) : توصيل مركب للمقاومات



الشكل (6): طريقة إيجاد المقاومة المكافئة للتوصيل المركب.

لاحظ أنه تم توصيل كل من المقاومات (R_2 ، R_3) على التوازي فيما بينها إضافة إلى أنه تم توصيل هذه المجموعة مع المقاومة (R_1) على التوالي ومع المصدر، وعند حساب قيمة المقاومة المكافئة يتم إيجاد المحصلة لمقاومات التوازي كما في الشكل (6-ب)، ثم يتم حساب المقاومة المكافئة الكلية بجمع محصلة التوازي مع المقاومة المربوطة على التوالي لنحصل على القيمة النهائية.

أسئلة الدرس	
1-	اذكر نص قانون أوم.
2-	ماذا يحدث عند تعريض مصباح كهربائي لجهد أعلى من الجهد المقرر؟ ولماذا؟
3-	سخان إذابة ثلج مقاومته (80 أوم) يعمل من مصدر جهد متردد (220 فولت). ارسم الدارة الكهربائية، واحسب شدة التيار المار في السخان.
4-	وضّح المقصود بكل من قانون مجزئ التيار وقانون مجزئ الجهد.
5-	ما هو الغرض من توصيل المقاومات؟
6-	إذا وصلت (4) مقاومات متساوية كل منها (10) أوم، كما يلي: أولاً: على التوالي. ثانياً: على التوازي. احسب قيمة المقاومة المكافئة لكل حالة؟
7-	عند توصيل المقاومات على التوازي يتوزع التيار بينما يبقى الجهد ثابتاً، فسّر ذلك؟
8-	عند توصيل المقاومات على التوالي يتوزع الجهد عليها حسب قيمتها، بينما يبقى التيار ثابت القيمة، فسّر ذلك؟
9-	المصابيح الموصولة على التوالي بين طرفي مصدر (220 فولت) تكون شدة إضاءتها منخفضة. علل؟
10-	في المنازل والمصانع توصل الأجهزة الكهربائية على التوازي بين طرفي المصدر الرئيسي.
11-	وصلت المقاومات (10، 30، 60، 40، 50) أوم كما هو في الشكل:  احسب المقاومة المكافئة للدارة؟
12-	المطلوب القيام بتوصيل الدائرة المبينة في الشكل المجاور، وقياس جهود والتيارات كل مقاومة في الدائرة: حيث إن : قيمة مصدر الجهد = 15v dc $R_1=1k\Omega$ $R_3=0.5k\Omega$ $R_2=1k\Omega$ $R_4 = 1k\Omega$ 

لقد لاحظت في الدرس السابق أنه يمكن استخدام قانون أوم في تحليل " أي حساب الجهد والتيار " الدارات الكهربائية البسيطة التي تحتوي على مقاومة واحدة أو مقاومات عديدة موصولة على التوالي أو التوازي. ولكن هناك الكثير من الدارات الكهربائية المعقدة التي لا يمكن تحليلها باستخدام قانون أوم بمفرده. لذلك نلجأ إلى طرق وقوانين أخرى. هناك قوانين وطرق عديدة تيسر عملية تحليل الدارات الكهربائية المعقدة، ولعل أكثرها شيوعاً قانون كيرشوف لتحليل الدوائر الكهربائية المعقدة. حيث وضع العالم جوستاف كيرشوف قانونين مهمين لتحليل الدارات الكهربائية البسيطة والمعقدة. ويعرف القانون الأول باسم قانون كيرشوف الأول للتيار، بينما يسمى القانون الثاني بقانون كيرشوف للجهد، وفيما يلي سنوضح كلاً منهما.

[1] قانون كيرشوف الأول (للتيار):

وينص قانون كيرشوف الأول على:

أن المجموع الجبري للتيارات الكهربائية في أي عقدة أو نقطة توصيل في الدارة الكهربائية يساوي صفراً.

ولفهم قانون كيرشوف الأول انظر الشكل (1)، حيث إن هناك أربعة تيارات في هذه الدارة الكهربائية، لاحظ أن التيار (1) يدخل إلى العقدة "نقطة التفرع"، بينما التيارات الثلاثة الأخرى تخرج منها، ويمكن أن يترجم ذلك إلى ما يلي:

$$\text{التيار } 1 = \text{التيار } 2 + \text{التيار } 3 + \text{التيار } 4$$

ويرمز للتيار في الدوائر الكهربائية بالحرف I:

لذلك:

$$= I_2 + I_3 + I_4 I_1$$

$$- I_2 - I_3 - I_4 = 0 I_1$$

ويجدر الإشارة هنا إلى أن مصطلح "جبري" الوارد في القانون يشير إلى

حتمية الانتباه لنوع القطبية التي يتمتع بها كل تيار أو جهد كهربائي، وذلك من خلال إعطائه إشارة مناسبة له في القانون.

وفي المعادلة السابقة لاحظ أن التيار الداخل إلى العقدة يعدّ موجباً (+)، بينما تعدّ التيارات الخارجة سالبة (-).

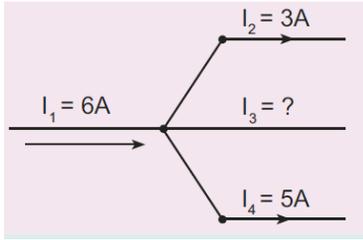
ويمكن تلخيص ما سبق على النحو الآتي:

مجموع التيارات الداخلة جميعها إلى نقطة التفرع = مجموع التيارات الخارجة منها جميعها.

$$\sum I_{IN} = \sum I_{OUT}$$

حيث إن الإشارة اللاتينية (Σ): تعني مجموع (وتقرأ سيجما).

مثال 1: في الشكل المجاور جد قيمة واتجاه تيار (I_3)



الحل:

بما أن التيار (I_1) متجه الى العقدة و التيارات (I_2)، (I_4) خارجة منها، وأن التيار الأول أقل من التيارين الثاني والرابع مجتمعة، فإننا نحدد التيار (I_3) بأنه داخل إلى العقدة. ويمكن تحديد قيمته من خلال قانون كيرشوف الأول كالاتي:

$$\Sigma I_{IN} = \Sigma I_{OUT}$$

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4$$

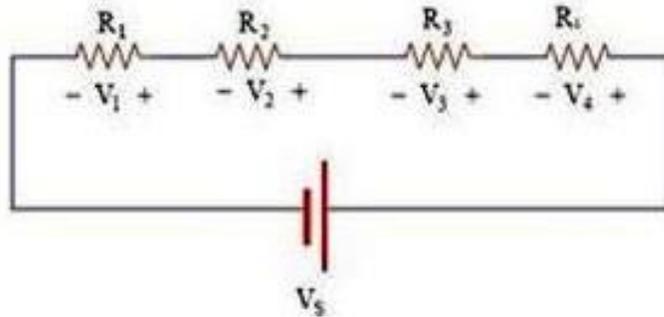
$$6 + I_3 = 3 + 5 \implies I_3 = 2 A$$

[2] قانون كيرشوف الثاني (الجهود):

ينص قانون كيرشوف الثاني على:

أن المجموع الجبري لقيم الجهود الكهربائية جميعها في حلقة مغلقة في الدارة الكهربائية يساوي صفرا.

فإذا فرضنا أن اتجاه الدوران مع عقارب الساعة موجب، فإن أي قوة دافعة كهربائية وتيار كهربائي يكون اتجاههما مع عقارب الساعة يعدان ذا قيمة موجبة، وكل ما هو خلاف ذلك، تعدّ إشارته سالبة، كما هو مبين في الشكل (2).



شكل (2): تطبيق قانون كيرشوف الثاني في هذه الدارة

ويمكن إيجاد الجهود جميعها في الدارة من خلال تطبيق قانون كيرشوف الثاني عليها حيث إن:

$$V_s = V_1 + V_2 + V_3 + V_4$$

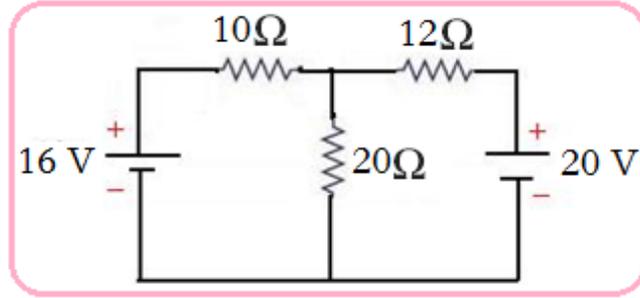
حيث V_s : جهد المصدر

ويمكن تلخيص ما سبق بالعلاقة الرياضية الآتية:

$$\Sigma e.m.f = \Sigma (I * R)$$

حيث إن الرمز (e.m.f): يمثل القوة الدافعة الكهربائية للمصدر (بالفولت).

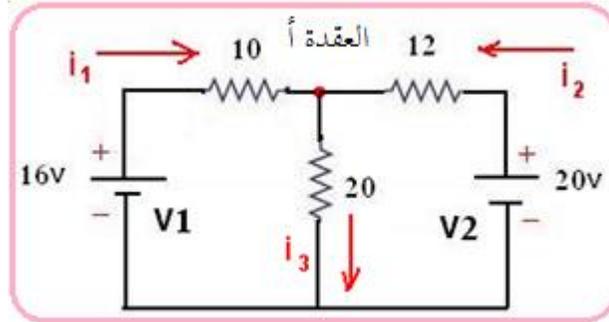
مثال 2: احسب تيار كل فرع في الدائرة الكهربائية المبينة في الشكل (3)، مستعينا بقوانين كيرشوف



شكل (3): دائرة كهربائية تحتوي على مصدري جهد- (قوة دافعة كهربائية لكل بطارية)

الحل:

يمكن فرض أن كل بطارية (قوة دافعة كهربائية) تعطي تياراً من قطبها الموجب، حيث إن البطارية الأولى (16) فولتاً تعطي تياراً مقداره (i_1) ، وكذلك البطارية الثانية تعطي تياراً مقداره (i_2) كما في الشكل (4).



شكل (4): تطبيق قوانين كيرشوف الأول والثاني

بتطبيق قانون كيرشوف الأول على نقطة التفرع (أ):

$$\Sigma I_{IN} = \Sigma I_{OUT}$$

$$i_3 = i_1 + i_2$$

ينتج أن:

وبتطبيق قانون كيرشوف الثاني على الدارة المغلقة (1) في الشكل (4) ينتج أن:

$$\Sigma e. m. f = \Sigma I * R$$

$$+16 = i_1 * 10 + i_3 * 20$$

$$16 = i_1 * 10 + (i_1 + i_2) * 20$$

$$16 = 10i_1 + 20i_1 + 20i_2$$

$$16 = 30i_1 + 20i_2 \text{ -----(1)}$$

وكذلك، بتطبيق قانون كيرشوف الثاني على الدارة المغلقة رقم (2) في الشكل (4):

$$\Sigma e. m. f = \Sigma I * R$$

$$+20 = i_2 * 12 + i_3 * 20$$

أي أن:

بتعويض $(i_1 + i_2)$ بدل i_3 ينتج أن:

$$20 = i_2 * 12 + (i_1 + i_2) * 20$$

$$20 = 12i_2 + 20i_1 + 20i_2$$

$$20 = 32i_2 + 20i_1 \text{ -----(2)}$$

الآن بحل المعادلتين بمجهولين (بالحذف) ينتج أن:

$$i_1 = + 0.2 \text{ A} \quad i_3 = + 0.7 \text{ A}$$

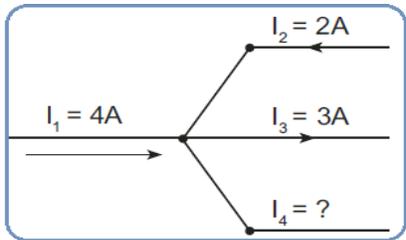
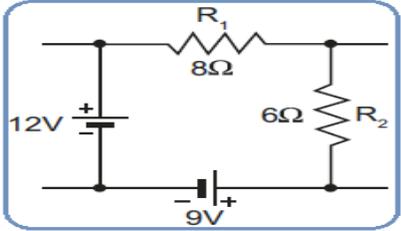
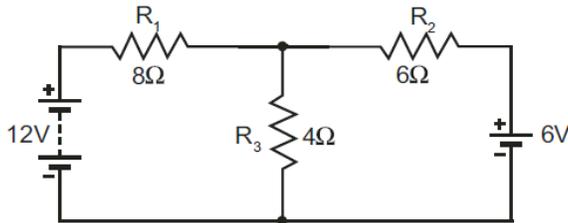
$$i_3 = i_1 + i_2$$

بما أن:

$$i_2 = + 0.5 \text{ A}$$

وبما أن القيم لكل من (i_2, i_1) موجبة لذلك فإن الاتجاه المفروض للتيار صحيح لكليهما، أما إذا حصلنا على إشارة سالبة لأيٍّ منهما، فإن الاتجاه الصحيح للتيار الخاص بها يكون بعكس الاتجاه المفروض أصلاً.

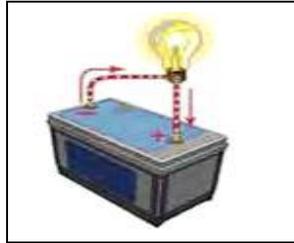
أسئلة الدرس:

1-	اذكر نص كلٍ من قانون كيرشوف الأول للتيار وقانون كيرشوف الثاني للجهد؟
2-	احسب قيمة واتجاه التيار الرابع في الشكل الآتي؟ 
3-	احسب قيمة التيار في الدارة المبين في الشكل الآتي؟ 
4-	احسب قيمة التيارات في الدارة الكهربائية المبين في الشكل الآتي؟ 

الكهرباء هي أحد أشكال الطاقة. وكما هو معروف، فإن الطاقة لا تفنى ولا تستحدث، لكنها تتحول من شكلٍ لآخر. أي أنه يمكن إنتاج الطاقة الكهربائية بتحويل مختلف أشكال الطاقة الميكانيكية والكيميائية والضوئية والحرارية إلى طاقة كهربائية. كما وتستخدم الأجهزة الكهربائية لتحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة المفيدة.

🌀 القدرة الكهربائية (Electrical Power):

وتعرّف القدرة على أنها مقدار الشغل المبذول خلال ثانية واحدة. ووحدة قياس القدرة " الواط " نسبة للعالم جيمس وات الذي اخترع الآلة البخارية ويرمز للواط بالرمز (W). وفي الدارة الكهربائية المبينة في الشكل (1)، يبذل مصدر الجهد شغلاً في تحريك الإلكترونات (التيار) عبر أجزاء الدارة، ويسمى معدل الطاقة الكهربائية المستهلكة في دفع التيار الكهربائي عبر أجزاء الدارة القدرة الكهربائية، ويرمز لها بالحرف (P). وتقاس بوحدة الواط (Watt).



شكل (1): استهلاك الطاقة الكهربائية عن طريق المصباح

وبما أن الجهد يمثل القوة، والتيار يمثل الحركة، فإن القدرة الكهربائية تساوي حاصل ضرب الجهد بالتيار على النحو الآتي:

$$\text{القدرة} = \text{التيار} * \text{الجهد}$$

أي أن:

$$P = I \times V$$

P: القدرة الكهربائية بوحدة (واط).

I: التيار بوحدة (أمبير).

V: الجهد بوحدة (فولت).

وبما أن الواط (W) وحدة صغيرة نسبياً، فإننا في التطبيقات العملية نلجأ إلى استخدام الكيلووات كوحدة عملية لقياس القدرة، وهو يساوي 1000 واط ويرمز لها بالرمز (KW).

ويسجل عادة على لوحة مواصفات الأجهزة الكهربائية، القدرة وجهد التشغيل المقرر لها، وقد يكون من المرغوب معرفة قيمة التيار الذي يسحبه الجهاز ليتسنى تقدير مقاس أسلاك التوصيل وتيار المصهر (الفيوز) أو القاطع الآلي لحماية الجهاز، وبالتالي يمكن حساب قيمة التيار للأحمال الأومية من خلال قانون القدرة حيث إن:

$$\frac{\text{القدرة}}{\text{الجهد}} = \text{التيار}$$

مثال 1: سخان كهربائي يعمل على جهد 220 فولتاً، يسحب تيار مقداره 5 أمبير، احسب قدرة السخان بوحدة الواط والكيلو واط؟

$$\text{القدرة} = \text{التيار} \times \text{الجهد}$$

الحل:

$$\text{القدرة} = 5 \times 220 = 1100 \text{ واط}$$

$$\text{القدرة (بالكيلو واط)} = 1100 \div 1000 = 1.1 \text{ كيلو واط}$$

مثال 2: فرن كهربائي قدرته 5 كيلو واط يعمل على جهد 220 فولت، احسب شدة التيار المسحوبة من الفرن؟

$$\text{القدرة} = \text{التيار} \times \text{الجهد}$$

الحل:

$$\text{التيار} = \frac{\text{القدرة}}{\text{الجهد}} = \frac{5000}{220} = 22.73 \text{ أمبير}$$

ويمكن دمج قانون أوم وقانون القدرة الأساسي، حيث نحصل على صيغ إضافية من قانون القدرة وهي كالتالي:

(1) القدرة بدلالة التيار والمقاومة:

$$\text{القدرة} = \text{مربع التيار} * \text{المقاومة}$$

$$P = I^2 \times R$$

(2) القدرة بدلالة الجهد والمقاومة:

$$\text{القدرة} = \text{مربع الجهد} \div \text{المقاومة}$$

$$P = V^2 / R$$

في كثير من الأحيان تتبدد القدرة الكهربائية على شكل حرارة في الموصلات والمقاومات والعناصر الإلكترونية الأخرى، وهذا في الواقع ما يفسر ارتفاع حرارة الكوابل الناقلة للطاقة أو القطع الإلكترونية. وفي بعض الأحيان تكون هذه الحرارة مفيدة كما في السخانات والأفران الكهربائية. ولكنها قد تكون غير مفيدة في الأجهزة العديدة والتطبيقات الحياتية الأخرى، بل وربما تكون ضارة كما في المحركات أو تكون مكلفة اقتصادياً كما في خطوط نقل الطاقة.

مثال 3: موصل نقل الطاقة الكهربائية مقاومته تساوي 0.5 أوم، وينقل تيار كهربائي مقداره 80 أمبير، احسب القدرة الكهربائية المستهلكة في السلك؟

الحل:

القدرة الكهربائية المستهلكة في السلك الكهربائية هي عبارة عن طاقة ضائعة، لذلك كلما قلت هذه القدرة قلت الخسائر الكهربائية.

$$\text{القدرة} = \text{مربع التيار} \times \text{المقاومة}$$
$$P = I^2 \times R = (80)^2 \times 0.5 = 3200 \text{ W}$$

ويمكن التعبير أيضا عن القدرة الكهربائية بوحدة أخرى إضافة إلى الواط وهي الحصان الميكانيكي (Horse Power)، حيث إن هذه الوحدة عادة ما تستخدم لوصف قدرة المحركات والمضخات الكهربائية، وهي تعادل (746 واط)، ويرمز لها بالحرفين (HP) وهي تعادل أيضا ($\frac{3}{4}$) كيلو واط تقريبا.

⊗ الطاقة الكهربائية (Electrical Energy):

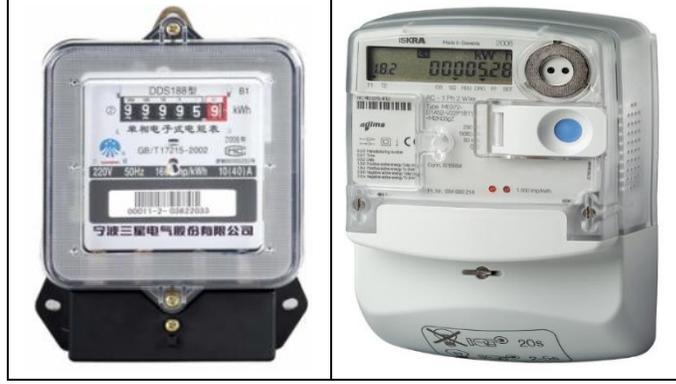
تحسب الطاقة الكهربائية المستهلكة بمعرفة قدرة الأجهزة الكهربائية وزمن استخدامها، حيث إن:

الطاقة = القدرة X الزمن
$E = P \times T$

حيث تقدر الطاقة بالكيلووات ساعة (KWh)، حيث تعطى القدرة بالكيلووات والزمن بالساعة. وتحتوي لوحة التوزيع الرئيسية في المنازل والمصانع على عداد لقياس الطاقة الكهربائية المستهلكة والتي يدفع المستهلك بناء عليها، والأجهزة الكهربائية الأكثر استهلاكاً للطاقة الكهربائية هي الأجهزة ذات القدرة العالية مثل أجهزة التسخين والتدفئة وتكييف الهواء، والجدول (2) يوضح قدرة بعض الأجهزة الشائعة الاستخدام في الحياة العملية.

جدول(1): القدرة الكهربائية للأجهزة المنزلية شائعة الاستخدام

القدرة	الجهاز
10-100 واط	مصابيح الإضاءة
1000-2000 واط	المكاوي الكهربائية
300 واط	الثلاجة المنزلية
2200 واط	المدفأة الكهربائية
3000 واط	الأفران الكهربائية
80 واط	جهاز التلفاز



الشكل (2): جهاز قياس الطاقة الكهربائية (عداد الطاقة)

نشاط (1) استخراج قيمة فاتورة الكهرباء الشهرية في منزلك على اعتبار تشغيل الأجهزة الواردة في الجدول السابق معطاة بالكيلووات.

مثال 4: مدفاه كهربائية قدرتها 4000 واط، وتعمل لمدة 8 ساعات. احسب الطاقة الكهربائية المستهلكة خلال هذه

الفترة؟ إذا علمت أن سعر الكيلو واط . ساعة هو 20 فلساً، احسب تكلفة تشغيل هذه المدفأة؟

الحل: الطاقة الكهربائية المستهلكة = القدرة (واط) X الزمن (ساعة)

الطاقة الكهربائية المستهلكة = 4000 X 8 = 32000 واط . ساعة = 32 كيلوواط . ساعة

تكاليف الطاقة المستهلكة = الطاقة المستهلكة X سعر الكيلو واط . ساعة

تكاليف الطاقة المستهلكة = 32 X 40 = 640 فلساً

أسئلة الدرس	
1-	وضح المقصود بكلٍ من القدرة الكهربائية، الطاقة الكهربائية، الحصان الميكانيكي.
2-	أجب عن الآتي بما يناسبه. (أ) اكتب صيغ قانون القدرة الكهربائية الثلاث. (ب) لتحويل القدرة من الواط إلى الكيلو واط نقوم بـ..... (ت) لتحويل القدرة من الكيلو واط إلى واط نقوم بـ..... (ث) لتحويل القدرة من الحصان إلى واط نقوم بـ..... وفي حال نريد العكس..... (ج) اذكر الوحدة العملية لقياس الطاقة الكهربائية المستهلكة.....
3-	احسب قدرة محرك كهربائي يسحب تيار مقداره (11 أمبير) ويعمل عند جهد 220 فولتاً بالوحدات الآتية: (أ) الواط. (ب) كيلو واط. (ج) HP.
4-	ثلاجة تجارية تستهلك تياراً مقداره 8 أمبير و تعمل على جهد مقداره 230 فولت إذا علمت أنها تعمل لمدة 12 ساعة يومياً. علماً بأن سعر الكيلو واط . ساعة 30 فلساً، جد ما يلي: (1) القدرة الكهربائية للثلاجة. (2) الطاقة الكهربائية المستهلكة. (3) تكاليف استهلاك الثلاجة لمدة شهر.

تعرفنا في درسٍ سابقٍ على المقاومة الكهربائية باعتبارها أحد عناصر الدارة الكهربائية، وفي هذا الدرس سنتعرف إلى عنصر مهم آخر من عناصر الدارة الكهربائية وهو المواسع الكهربائي (Capacitor) فما هو المواسع الكهربائي، وما هو تركيبه؟

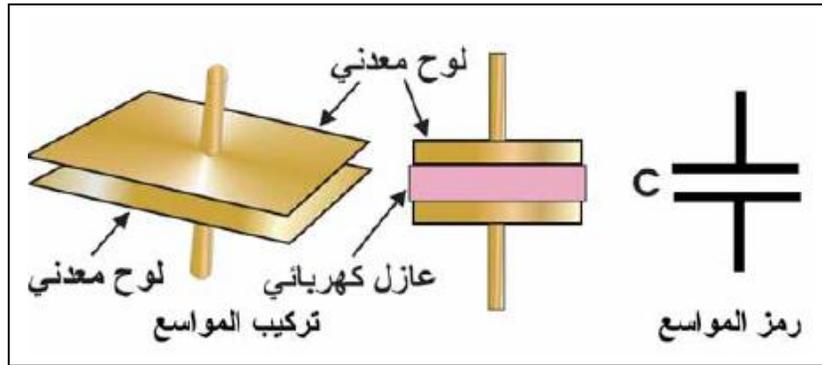
المواسع الكهربائي: هو عنصر كهربائي يخزن الطاقة الكهربائية في أثناء عملية الشحن على شكل مجال كهربائي، وإطلاقها في عملية التفريغ.



شكل (1): مواسعات مختلفة الأشكال والأحجام

✚ تركيب المواسعات:

يتكون المواسع في أبسط أشكاله من لوحين معدنيين متوازيين، يفصل بينهما مادة عازلة (الهواء، الميكا، السيراميك، البلاستيك)، ويوصل بكل لوح من لוחي المواسع طرف توصيل. ويبين الشكل (2) رمز وتركيب المواسع.

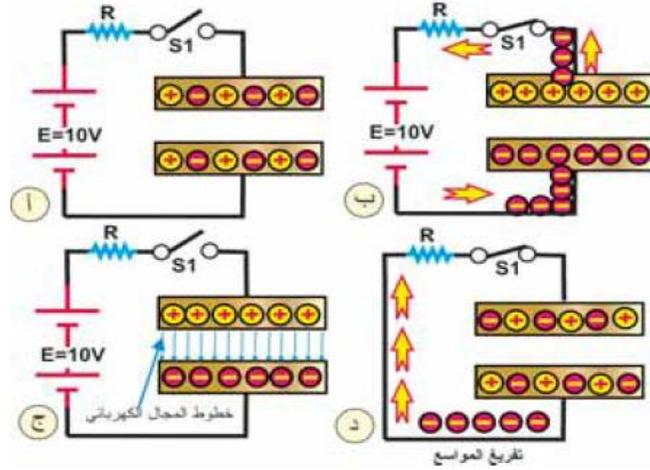


شكل (2): رمز المواسع وتركيبه

✚ مبدأ عمل المواسعات:

يبين الشكل (3) مبدأ عمل المواسع، حيث تلاحظ أنه عند عدم وجود جهد مطبق على المواسع الشكل (3-أ) فإنه يوجد عدد متماثل من الإلكترونات الحرة على كل لوح، وبالتالي لا يوجد فرق جهد بين طرفي المواسع. وعند غلق المفتاح (S) كما في الشكل (3-ب) تقوم البطارية بسحب الإلكترونات الحرة الموجودة على اللوح العلوي للمواسع باتجاه قطبها الموجب، كما تقوم بدفع كمية متساوية من الإلكترونات من قطبها السالب إلى لوح المواسع السفلي، وبذلك يمر تيار تتحدد قيمته من خلال المقاومة (R).

إن فقد اللوح العلوي للإلكترونات يعطيه الشحنة الموجبة، وزيادة الإلكترونات الحرة على اللوح السفلي يعطيه الإشارة السالبة يؤدي ذلك إلى توليد فرق جهد بين لوحي المواسع. وعندما يصبح جهد المواسع مساوياً لجهد البطارية يتوقف مرور التيار؛ لأنه في تلك اللحظة لا يوجد فرق جهد بين المواسع والبطارية، وعليه فإن المواسع أصبح مشحوناً.



شكل (3): آلية شحن المواسع الكهربائي وتفريغه

وفي الوقت الذي يصبح فيه المواسع مشحوناً، يمكن فتح المفتاح، وسيحتفظ المواسع بعد ذلك بشحنته على شكل مجال كهربائي بين لوحي المواسع كما في الشكل (3-ج)، وعليه يمكن إزالة مصدر الجهد الكهربائي ليحل المواسع محل المصدر ويفرغ شحنته تلقائياً بالحمل إلى أن تعود الواحة إلى التعادل مرة أخرى. ويجدر الإشارة إلى أن تيار الشحن أو التفريغ في الحالات المذكورة يمر من الدارة الخارجية ولا يمر عبر المواسع نفسه؛ نظراً لوجود المادة العازلة بين لوحي المواسع.

⚡ وحدات السعة الكهربائية:

وتعد السعة الكهربائية هي المقياس لمقدار الشحنة التي يستطيع تخزينها مواسع عند تطبيق جهد معين عليه، ويرمز له بالحرف (C) وتقاس بوحدة تسمى الفارد، نسبةً إلى العالم فارادى، ويرمز بالفاراد بحرف (F)، وتقدر سعة المواسع بالمعادلة الآتية:

السعة (الفاراد) = الشحنة المخزونة (الكولوم) ÷ فرق الجهد بين الألواح (الفولت).

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

وتعدّ وحدة الفارد قيمة كبيرة جداً لذلك تعطى قيمة سعة المواسع بأجزاء الفاراد وهي (مايكرو فاراد - μF) والنانو فاراد (nF) والبيكوفاراد (pF).

نشاط (1) ابحث عن قيم مضاعفات وأجزاء القيم ثم اعمل جدولاً يوضح كل رمز وقيّمته.

الطاقة المخزنة في المواسعات:

يقوم المواسع بتخزين الطاقة الكهربائية على شكل مجال كهربائي، حيث تتجه خطوطه من اللوح الموجب إلى اللوح السالب بشكل منتظم وبخطوط متوازية لا تتقاطع. وتتناسب الطاقة المخزنة في المواسع طردياً مع حاصل ضرب قيمة السعة الكهربائية ومربع الجهد بين طرفي المواسع، كما وتوضّح المعادلة

$$E = \frac{1}{2} C V^2$$

حيث إن: (E) تمثل قيمة الطاقة مقيسة بالجول. (C) تمثل السعة المقيسة بالفاراد.
(V) الجهد بين طرفي المواسع والمقاس بوحدة الفولت.

ومن هنا يمكن تفسير ما يحدث في عاكسات التيار المستخدمة في أنظمة الطاقة الشمسية أن العاكس يبقى يعمل على الرغم من أنه قد تم فصل التغذية عنه؛ وذلك يعود لوجود المواسعات المخزنة للكهرباء.

المواصفات الفنية للمواسعات:

للمواسعات خصائص فنية معينة يجب أن تُؤخذ بالاعتبار في الاستعمالات المختلفة، وأهم هذه الخصائص:

[1] السعة: هي القيمة الاسمية للمواسع المعبر عنها بالمايكروفاراد، أو النانوفاراد أو البيكو فاراد وتكون مكتوبة على جسم المواسع.

[2] نوع المواسع وقطبيه: يحدد نوع المواسع كثيراً من مواصفاته كالمواد المصنوع منها ونوع مادة العزل فيه، وكذلك وجود قطبيه له أم لا؟

[3] الفولتية التشغيلية المقررة: هي الفولتية القصوى المسموح تسليطها باستمرار على طرفي المواسع. وإن تم تجاوز هذه القيمة المقررة فإن ذلك يؤدي إلى انهيار الطبقة العازلة الموجودة بين لوحي المواسع. علماً بأن هذه القيمة تتناسب طردياً مع سمك طبقة العزل، وتكون هذه القيمة غالباً مكتوبة على جسم المواسع.

[4] التفاوت (الدقة): هو الانحراف الأقصى المسموح به عن القيمة الاسمية ويعبر عنه بالنسبة المئوية.

[5] معامل درجة الحرارة: هو تغير سعة المواسع مع ارتفاع في درجة حرارته درجة مئوية واحدة. حيث إن هناك درجة حرارة قصوى يتحملها المواسع، أي أن درجة الحرارة تؤثر بشكل عكسي على عمر المواسع

[6] التيار المتسرب: هو التيار المستمر في العازل الكهربائي عند تسليط الفولتية التشغيلية المقررة.

[7] مقاومة العزل: هي مقاومة العزل الكهربائي عند تسليط الفولتية التشغيلية المقررة.

[8] الاستقرار: هو تغير قيمة سعة المواسع (بالنسبة المئوية) الذي يحصل في ظروف محددة، وخلال مدة محددة من الزمن.

➤ أنواع المواسعات:

يتم تصنيف المواسعات حسب ثبات السعة الكهربائية وتغيرها كما يلي:

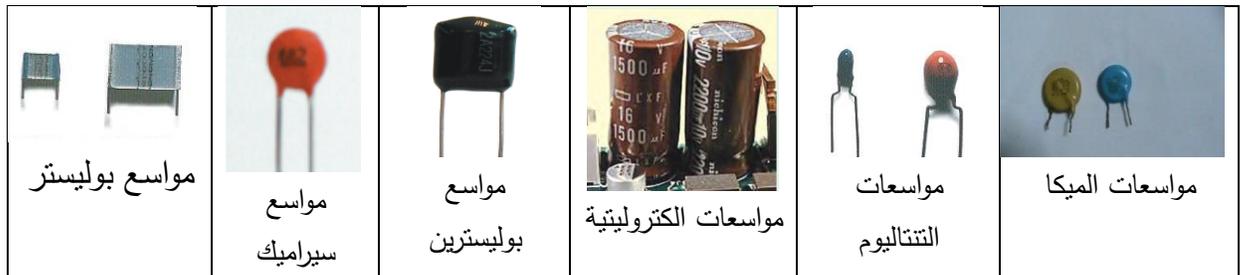
أ- المواسعات الثابتة:

- وهي عبارة عن مواسعات ثابتة القيمة من قبل الشركة الصانعة له، حيث يكون مسجل على جسم المواسع مقدار سعته والجهد المسموح أن يطبق على طرفيه وتتألف من الأنواع الآتية:
1. المواسع الورقي: ويتكوّن من طبقتين من الألمنيوم بينهما طبقة رقيقة من الورق المشبع بالزيت، ويصنع بجهد تشغيل أقل من (600 فولت)، ولا توجد له قطبية، كما في الشكل (4).



شكل (4): مواسع ورقي مشبع بالزيت.

2. المواسع البلاستيكي (بوليستر): حيث تستخدم أغشية من مواد بلاستيكية مثل البوليستر عوضاً عن الورق. وغالبا لا يكون لها قطبية، وتعطى قيمتها عادة بالقيمة (pF).
3. مواسع الميكا: ويتكون من شرائح رقيقة من الميكا كوسط عازل بين لوحى المواسع.
4. مواسع السيراميك: يتكون هذا المواسع من لوح من السيرميك تغطي وجهيه طبقتان معدنيتان، هما: لوحى المواسع.
5. المواسع الإلكترونية: والذي يمتاز بسعته الكبيرة وحجمه الصغير. حيث تتكون هذه المواسعات من لوحين من الألومنيوم بينها طبقة عازلة من أكسيد الألومنيوم والورق المشبع بمادة كيميائية مناسبة.
6. مواسعات التنتاليوم الإلكترونية: والتي تمتاز بصغر حجمها وثبات سعته مع تغيّر درجة الحرارة. ويبين الشكل (5) أنواع مختلفة من هذه المواسعات:



شكل (5): مواسعات مختلفة

ب-المواسعات المتغيرة:

يستخدم هذا النوع من المواسعات عندما يلزم تغير السعة كما هو الحال في أجهزة (الراديو)، حيث يمكن الحصول على سعات متغيرة منها كما في الشكل (6) الذي يبين أشكالها ورموزها الكهربائية.



شكل (6): أشكال المواسعات المتغيرة ورموزها

+ توصيل المواسعات:

أ- توصيل المواسعات على التوالي:

عند وصل مواسعين على التوالي كما هو مبين في الشكل (7)، تكون الشحنة الكهربائية على المواسعين متساوية، أما فرق الجهد الكلي (V_{Total}) فيساوي مجموع فروق الجهد بين لوحي المكثفين، أي أن:

$$V_T = V_1 + V_2$$

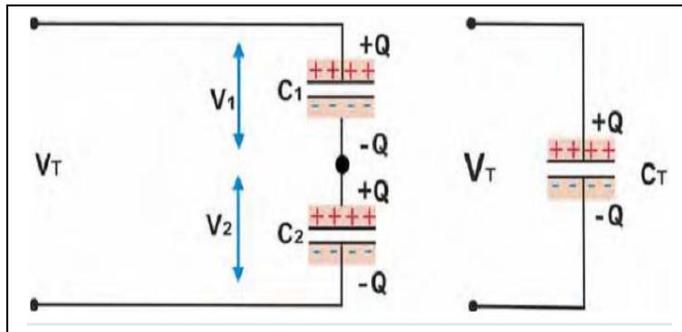
ولكن ($V = Q/C$) وبالتالي فإن:

$$Q/C_T = Q/C_1 + Q/C_2$$

وبما أن الشحنة متساوية فإن:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

ذلك يعني في حالة توصيل المواسعات على التوالي تكون السعة المكافئة مساوية لمقلوب السعات المنفردة، لذلك تصبح السعة المكافئة أقل من سعة أصغر مواسع في المجموعة. أي أن مقلوب C_T تكون كما هو في الشكل (8)



شكل (8): توصيل المواسعات على التوالي

ب- توصيل المواسعات على التوازي:

عند وصل مواسعين على التوازي كما هو مبين في الشكل (9) ففي هذه الحالة يكون فرق الجهد بين طرفي كلٍّ منهما مساوياً لجهد المصدر V_T ، أما الشحنة الكهربائية الكلية فتكون مساوية لمجموع شحنتي المواسعين أي أن الشحنة الكلية توزعت على المواسعات، ويمكن التعبير عنها كما يلي:

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$

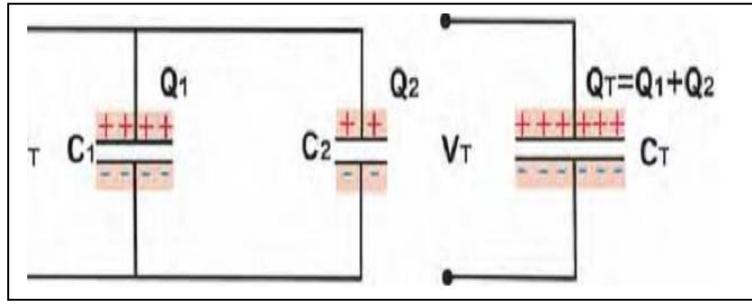
وبالتالي فإن:

$$V_T C_T = V_1 * Q_1 + V_2 * Q_2$$

وبعد الاختصار:

$$C_T = C_1 + C_2$$

بمعنى آخر فإنه وفي حالة توصيل المواسعات على التوازي تكون السعة المكافئة مساوية لمجموع الجبري لسعة المواسعات المنفردة، لذلك تصبح السعة المكافئة أكبر من سعة أكبر مواسع في المجموعة. أي أن مقلوب C_T تكون كما هو في الشكل (9).



شكل (9): توصيل المواسعات على التوازي

✚ ترميز المواسعات:

تُطبع على جسم المواسع المواصفات الفنية له مثل: السعة، وجهد التشغيل، وقيمة السماح في دقته ودرجة حرارة التشغيل القصوى. ويتم اتباع طرق عديدة لتوصيل هذه المعلومات، منها ما هو رقمي والآخر لوني. وتشمل هذه القيم:

- السعة: تكون السعة غالباً بالمايكروفاراد، إلا إذا وجد الحرف n فإنه إشارة على أن السعة بالنانوفاراد.
- جهد التشغيل: يعطى كرقم ويتبع بالحرف V، وفي بعض الأحيان لا يكتب الحرف V
- الدقة: يتم تحديد الدقة (التفاوت) في سعة المواسع بواسطة الحروف المبينة في الجدول.

الحرف	F	G	J	K	M	N
التفاوت	1%	2%	5%	10%	20%	30%

✚ أعطال المواسعات:

قد تتعرض المواسعات كما هو مبين في الشكل (10) المستخدمة في الدارات الالكترونية والكهربائية إلى أحد أنماط الأعطال الآتية:

- (1) دائرة القصر (التماس): ينتج هذا العطل من اتصال لوحي المواسع معاً نتيجة لتلف المادة العازلة التي تفصل بينهما، وهذا العطل هو أكثر الأعطال شيوعاً لدى المواسعات، حيث يعطي المواسع عند قياس مقاومته مقاومة منخفضة جداً قد تصل إلى الصفر.
- (2) المواسع يتصرف وكأنه مقاومة: يعطي المواسع مقاومة ثابتة عند قياس مقاومته، وينتج هذا العطل عندما يفقد الوسط العازل لخصائصه، فيتصرف وكأنه مقاومة.
- (3) دائرة مفتوحة: وينتج هذا العطل عندما تنفصل إحدى ألواح المواسع بسبب انفجاره.
- (4) تغيير السعة: يعطي المواسع في هذه الحالة سعة أكبر من سعته المقررة وبشكل ملحوظ. ولا بد في هذه الحالة من استخدام جهاز قياس السعة لقياس سعة المواسع، ومقارنة قراءة الجهاز بالقيمة المسجلة على جسم المواسع.

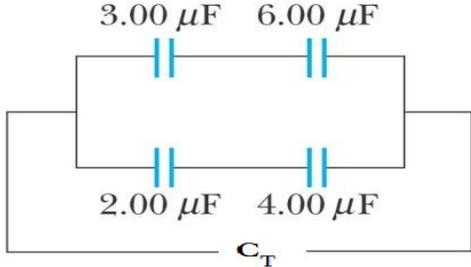


شكل (10): مواسعات تالفة

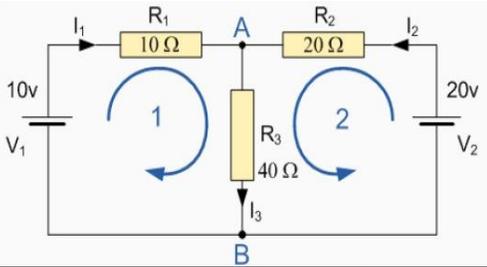
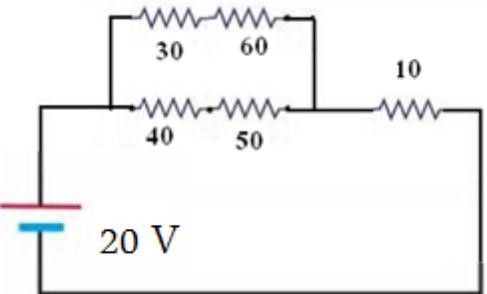
ابحث عن المواسعات المستخدمة في بدء حركة المحركات الكهربائية للتعرف إلى قيم سعتها ونشاط (2) وجهودها وأهميتها مستعينا (بالإنترنت)؟

نشاط (2)

أسئلة الدرس	
1-	ارسم رسماً تخطيطياً يوضح تركيب المواسع العام.
2-	عدد أنواع المواسعات الثابتة.
3-	اذكر أهم المواصفات الفنية للمواسع.
4-	اذكر الأعطال التي يمكن أن يتعرض لها المواسع.

 <p>3.00 μF 6.00 μF</p> <p>2.00 μF 4.00 μF</p> <p>C_T</p>	<p>احسب السعة المكافئة في الدارة الآتية: -5</p>
---	---

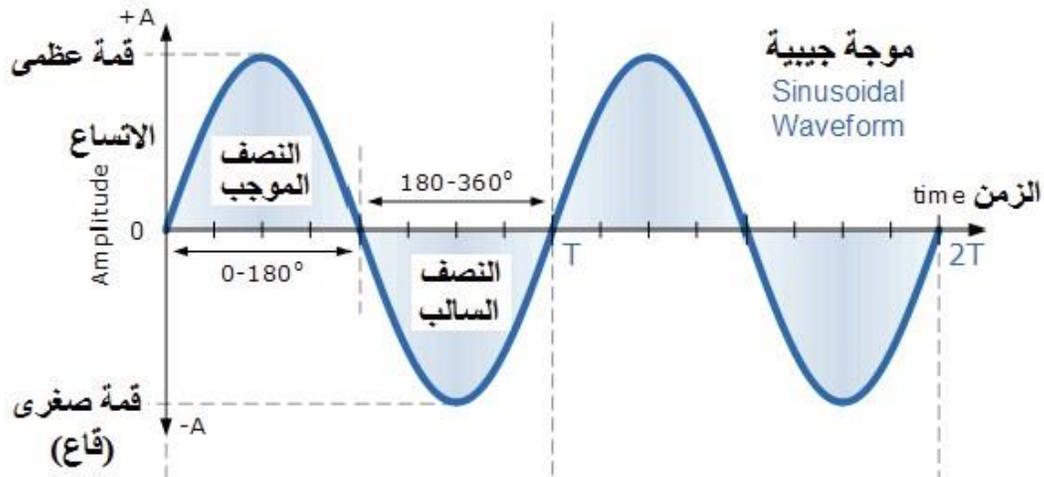
أسئلة الوحدة

-1	<p style="text-align: right;">عرف ما يلي:</p> <p>(أ) المقاومة الكهربائية متغيرة القيمة. (ب) مقاومة الفايستور (VRD). (ج) نص قانون أوم. (د) قانون تجزئة التيار. (هـ) السعة الكهربائية.</p>
-2	<p style="text-align: right;">أجب بنعم أو لا.</p> <p>() المقاومة المعتمدة على الضوء تكون قيمتها أقل ما يمكن عند غياب الضوء. () كلما زاد طول الموصل فإن مقاومته تزداد. () عند توصيل المقاومات على التوالي فإن تيارها متساوٍ وجهدها لا يساوي جهد المصدر. () تتناسب قيمة المقاومة تناسباً عكسياً مع قيمة التيار المار فيها. () يخزن المواسع الطاقة الكهربائية بداخله على شكل نجالي مغناطيسي.</p>
-3	<p>كيف يمكن تجهيز مقاومة قيمتها 50 أوم اذا توفرت مجموعة مقاومات قيمة كل منها 120 واحدهم 10 أوم.</p>
-4	<p>في ظل دراستك لدرس المواسعات الكهربائية أجب عن الآتي:</p> <p>(1) اذكر مبدأ عمل المواسع الكهربائي مستعينا بالرسم. (2) اذكر وظيفته في الدارات الكهربائية. (3) عدد مكوناته الأساسية. (4) وضح كيف يتصرف في دارات التيار المستمر. ولماذا؟</p>
-5	<p>احسب قيمة التيارات في الدارة الكهربائية المبين في الشكل الآتي.</p> 
-6	<p>احسب قيمة التيار المار في المقاومة 60 أوم والمقاومة 10 أوم.</p> 

الوَخْدَة

3

دارات التّيار المتناوب



"لكي تختراع انت بحاجة الى مخيلة جيدة و كومة خردة."

مقدمة الوَحدة

ارتبط اكتشاف الكهرباء بالتيار المستمر، ففي بدايات القرن التاسع عشر صنعت أول بطارية تنتج هذا النوع من التيار الكهربائي، ولكن سرعان ما ظهر نوع جديد من الكهرباء تتمثل في التيار المتناوب حيث سُجل اكتشافه في منتصف القرن التاسع عشر وتطور بعد ذلك ليغزو أغلب القطاعات الصناعية والاستهلاكية.

يستخدم التيار المتناوب في معظم مراحل توليد ونقل واستهلاك الطاقة الكهربائية، فهو المستخدم في عمليات التوليد حيث تنتج اغلبية المولدات المحطات تياراً متناوباً، ويتم نقله على هذا الشكل الى كل منزل ومصنع ويستخدم أيضاً في شكله المتردد في معظم التطبيقات الصناعية والمنزلية. ويعود تفضيل التيار المتردد لسهولة توليده ونقله وسهولة التعامل مع حالات التماس الخاصة به مما زاد من درجة الأمان التي ترافق استخدامه.

يواجه التيار المتناوب كثير من التحديات، فهناك الكثير من أنظمة التوليد وخاصة أنظمة توليد الطاقة المتجددة تنتج التيار المستمر وتحتاج الى تكامل فعال مع أنظمة النقل والتوزيع الموجودة التي تعتمد على التيار المتناوب، لهذا السبب يجب على الشبكات الكهربائية الحالية تقديم حلول لضمان تكامل أنظمة التيار المستمر معها لضمان بقائه النوع الوحيد المهيمن في قطاع الطاقة الكهربائية.

أهداف الوَحدة

1. تمييز مصادر التيار الكهربائي المستمر والمتردد.
2. تمييز أشكال الموجات الكهربائية، وخصائصها، وطريقة توليد التيار المتناوب.
3. تمييز أنواع الأحمال الكهربائية.
4. التعرف إلى القدرة الكهربائية في دوائر التيار المتناوب وأنواعها.
5. التمكن من تحديد مفهوم معامل القدرة وأهمية تحسينه.
6. التعرف إلى أنواع التوصيلات الكهربائية في الدوائر الكهربائية ثلاثية الطور وخصائصها.
7. تمييز أنواع المحولات الكهربائية وتوصيلاتها واستخداماتها.

هل فكرت يوماً كيف تحصل على التيار الكهربائي الذي يزود منزلك بالكهرباء؟ وكيف يختلف هذا التيار عن التيار الذي تزودنا به البطاريات الموجودة في السيارات مثلاً أو تلك الألواح الفولتوضوئية المركبة فوق أسطح المنازل؟ وهل هناك خصائص وميزات لكل منهما؟

ينتج التيار الكهربائي عن سريان الإلكترونات الحرة داخل ذرات المواد الموصلة بشكل عام، ويكون ناتجاً عن توفر فرق في الجهد بين نقطتين، وبالتالي فإن الجهد الكهربائي هو المسبب لوجود التيار الكهربائي وبالنتيجة فإن التيار الكهربائي يتبع ويشابه الجهد الكهربائي المسبب له، ولكن ما هي أنواع التيارات الكهربائية التي نتعامل معها؟ وما هي خصائصها؟ وهل يختلف شكل الموجة لكل منها؟

➡ أنواع التيار الكهربائي:

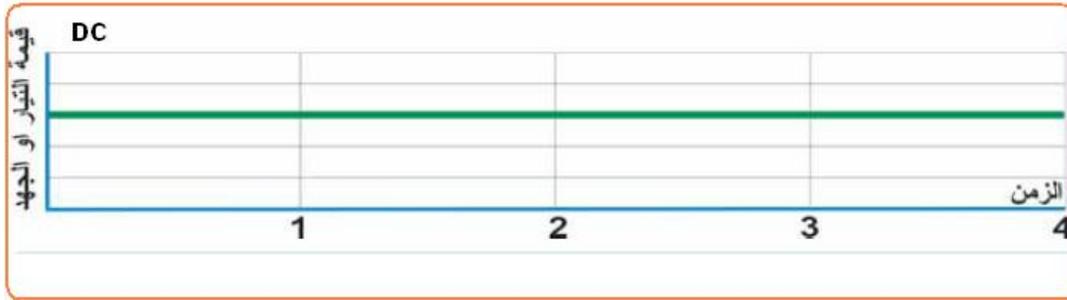
هناك نوعان من التيار الكهربائي يمكن الحصول عليهما من مصادرهما، هما:

◀ التيار المستمر (Direct Current- DC)

◀ التيار المتناوب (المتردد) (Alternating Current- AC)

التيار الثابت أو المستمر (DC):

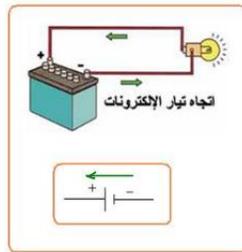
التيار المستمر عبارة عن تيار كهربائي تتدفق فيه الإلكترونات بقيمة ثابتة وفي اتجاه واحد من منطقة ذات جهد عالٍ إلى أخرى ذات جهد منخفض مع مرور الزمن كما هو مبين في الشكل (1). وتعدّ البطاريات أفضل مثال على التيار المستمر.



الشكل(1): التيار المستمر يسير في اتجاه واحد فقط (وقيمته ثابتة مع مرور الزمن)

يسري التيار في داخل البطاريات اصطلاحاً من القطب السالب إلى القطب الموجب للبطارية، كما هو موضح في

الشكل(2).



شكل (2): اتجاه مرور التيار المستمر في البطارية ورمزها(اصطلاحاً)

مصادر التيار المستمر:

يمكن الحصول على التيار المستمر من المصادر الآتية:

أ- دارات تحويل التيار المتناوب (AC) إلى تيار مستمر (DC) باستخدام دارات الكترونية خاصة (تسمى دارات التقويم أو التوحيد).

ب- الألواح الفولتضوئية في نظام توليد الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية .

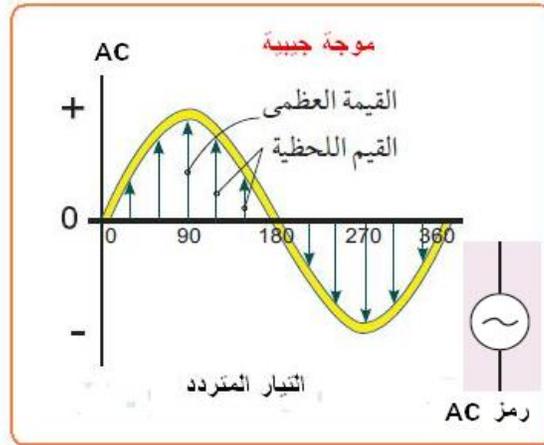
ج- البطاريات بأنواعها الجافة والسائلة.

ح- مولدات التيار المستمر.

ويستخدم التيار المستمر في تشغيل كثير من الأحمال الكهربائية، حيث تعدّ البطاريات القابلة للشحن مصدراً مهماً للتيار الكهربائي ، كما هو الحال في تشغيل أجهزة الحاسوب المحمولة، وأجهزة الهاتف النقال وغيرها من الأجهزة الإلكترونية المختلفة.

التيار الكهربائي المتردد (AC):

يسمى بالتيار المتردد (أو المتناوب أو المتغير) ، لأنه يسير في اتجاهين إذ يعكس اتجاه دورانه بشكل دوري حيث تتعكس قطبية المصدر بين الموجب والسالب، وخلال ذلك تتغير قيمته مع الوقت من صفر إلى أعلى قيمة موجبة ومن ثم تتناقص إلى صفر مجدداً، ثم من صفر إلى أعلى قيمة سالبة حتى تتناقص إلى صفر مجدداً وهكذا، وتكرر هذه العملية بمقدار (50) مرة في الثانية (أي يتم توليد خمسين موجة في الثانية الواحدة) ويقال حينها بان تردد التيار المتناوب يساوي (50 هيرتز) في فلسطين، ويوضح الشكل (3) شكل موجة جيبية لتيار متردد ورمزه الكهربائي.



الشكل (3): التيار المتردد ورمزه

ولكن قد يتبادر إلى الذهن الأسئلة الآتية: ما هي مصادره؟ وكيف يتم توليد التيار المتناوب؟

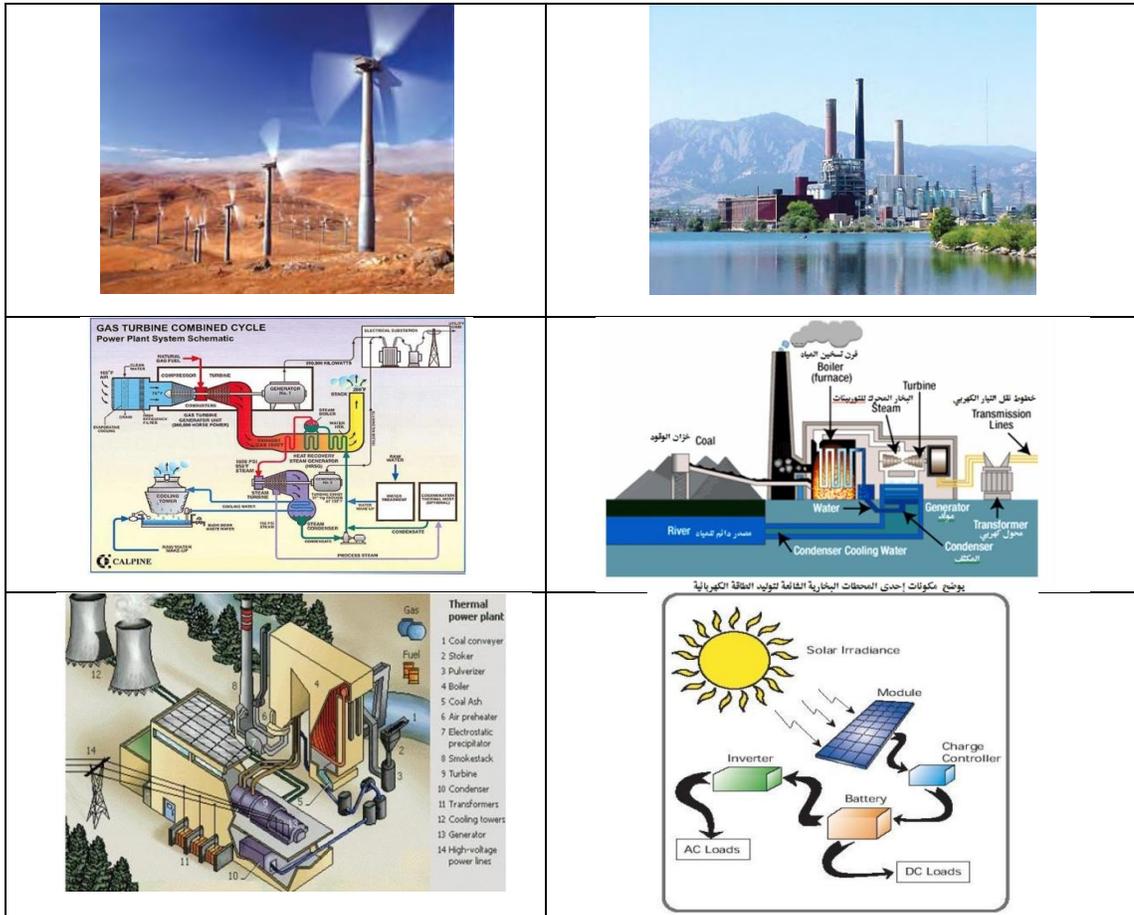
سؤال: ما هي قيمة الجهد المتردد لمصدر أحادي الطور ولمصدر ثلاثي الطور في منطقتك؟

مصادر توليد التيار المتردد:

تتنوع أنواع محطات توليد التيار المتردد الكهريائية المستعملة على صعيد عالمي، ولكن أكثرها شيوعاً في منطقتنا العربية على النحو الآتي:

1. محطات التوليد الحرارية البخارية.
2. محطات التوليد النووية.
3. محطات التوليد المائية.
4. محطات التوليد ذات الاحتراق الداخلي (ديزل - غازية).
5. محطات التوليد بواسطة الرياح (حديثاً).
6. محطات التوليد بالطاقة الشمسية (حديثاً).
7. محطات التوليد بالطاقة الحيوية (حديثاً).

وهنا لا بد من التوضيح بأن التوليد في هذه المحطات يتم بجهد ثلاثي الطور (3 فاز). ويوضح الشكل (4) بعض أنواع محطات توليد التيار المتردد.



الشكل (4): بعض مصادر توليد التيار المتردد

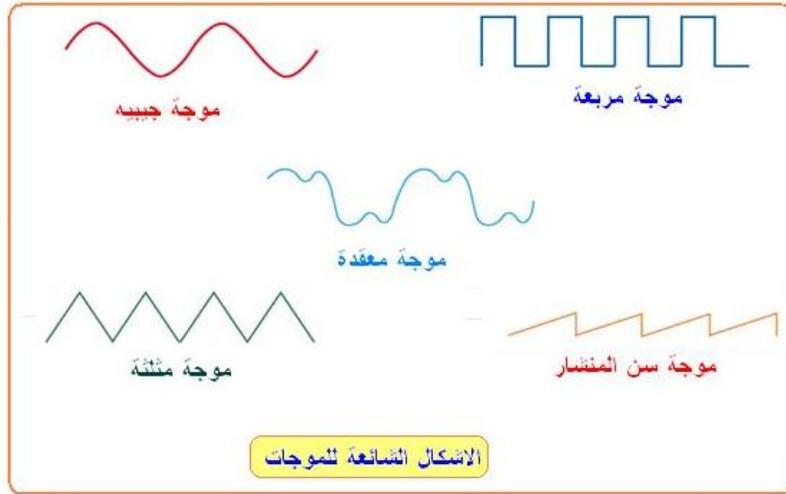
نشاط (1): أنواع محطات توليد الطاقة الكهربائية، ومكان وتواجدها في الوطن العربي.

انقل الجدول إلى دفترتك، وأكمل الخانات المحذوفة.

الرقم	نوع محطة التوليد	مكان وجودها في العالم العربي
1	محطات التوليد الحرارية البخارية.	شواطئ البحر الأحمر والأبيض والخليج العربي.
2	محطات التوليد النووية.	
3	محطات التوليد المائية.	مجرى نهر النيل ونهر الفرات.
4	محطات التوليد ذات الاحتراق الداخلي (الغازية).	الخليج العربي (المملكة العربية السعودية).
5	محطات التوليد بواسطة الرياح.	
6	محطات التوليد بالطاقة الشمسية.	
7	محطات التوليد بالطاقة الحيوية.	

أسئلة الدرس :	
-1	اذكر انواع التيار الكهربائي؟
-2	ما هي مصادر التيار المستمر؟
-3	عدد أربعة من محطات توليد التيار المتناوب، بأي جهد يتم توليد التيار المتناوب فيها؟
-4	عرف التيار المتردد، ثم ارسم شكل إشارته.

يعدّ التيار المتردد المصدر الأساسي للتيار الكهربائي في وقتنا الحاضر، حيث تعتمد عليه معظم دول العالم في إنتاج الطاقة الكهربائية وتوليدها وتوزيعها للمستهلكين نظراً لسهولة إنتاجه، وكفاءة أنظمة نقله، وتوزيعه، ويرتبط التيار المتردد، كما مرر معك في الدرس السابق، بإشارة الموجة الجيبية التي تنتج أثناء عملية توليده كما سيتم شرحه لاحقاً، وبالرغم من ذلك، هناك العديد من أشكال الموجات التي نجدها في الدارات الكهربائية، ومن بين تلك الأنواع: الموجة الجيبية، والموجة المربعة، والموجة المثلثة، وموجة سن المنشار، وإشارة النبضات. ويبين الشكل (1) بعض الأشكال الشائعة للموجات.



شكل (1): الأشكال الشائعة للموجات الكهربائية

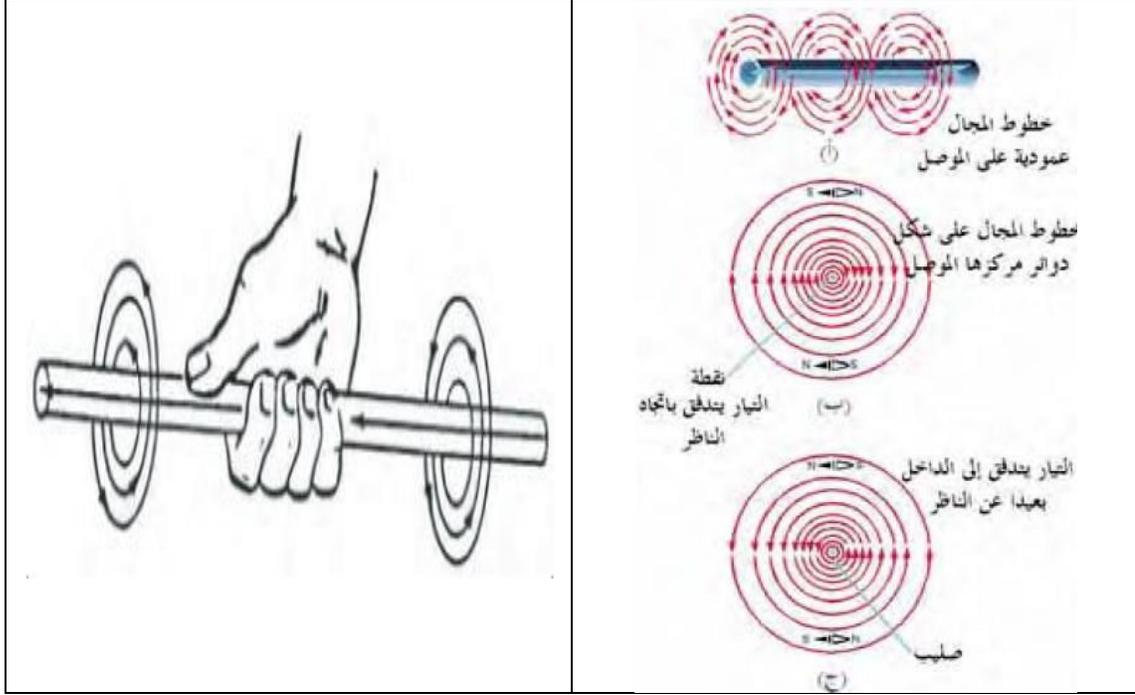
وهناك أيضاً الموجات المعقدة التي تتكون من العديد من المكونات عند ترددات مختلفة. وسيقتصر الحديث هنا عن الموجة الجيبية لمعرفة خصائصها، حيث إنها الموجة الأكثر شهرة، ولأنها تنتج من عملية توليد التيار المتردد.

✚ توليد التيار المتردد: (الموجة الجيبية)

اكتشف العالم الألماني أورستد في العام (1820) الظاهرة الكهرومغناطيسية، والتي تدل على أنه:

عندما يسري تيار كهربائي في موصل يتولد حول ذلك الموصل مجالاً مغناطيسياً بغض النظر عن شكل هذا الموصل، ويكون شكل هذا المجال على صورة دوائر مركزها ذلك الموصل، وتكون الخطوط الوهمية متعامدة مع اتجاه التيار المار في الموصل.

ويمكن تحديد اتجاه هذه الخطوط كما هو موضح في الشكل (2) الذي يتبع ما يسمى بقاعدة اليد اليمنى، حيث تتخيل بأنك تقبض بيدك اليمنى على الموصل، وتمد إصبع إبهامك باتجاه مرور التيار المار في الموصل، فبدلك اتجاه باقي الأصابع إلى اتجاه المجال المغناطيسي حول الموصل.



شكل (2): اتجاه خطوط المجال المغناطيسي حول موصل يمر فيه تيار كهربائي

وبالتالي تعدّ النظرية الكهرومغناطيسية هي المبدأ الأساسيّ لعمل الكثير من الأجهزة الكهربائية كالمحركات والمحولات والمولدات الكهربائية. وحيث إن التّيار الكهربائيّ يتم توليده اعتماداً على ظاهرة الحث المغناطيسي من خلال مولدات تزامنية كهربائية ثلاثية الطور، فإنه لا بد من فهم طريقة عمل المولّد التزامني ثلاثي الطور المبين في الشكل (3)، ولكن ولأغراض تبسيط المفاهيم، سيتم شرح آلية عمل مولد تيار متناوب مبسط.

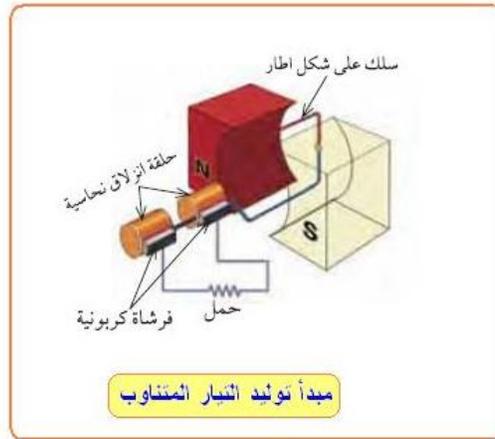


شكل (3): صورة لمولد تزامني ثلاثي الطور يستخدم لتوليد الطاقة الكهربائية

✚ مبدأ عمل المولد الكهربائي:

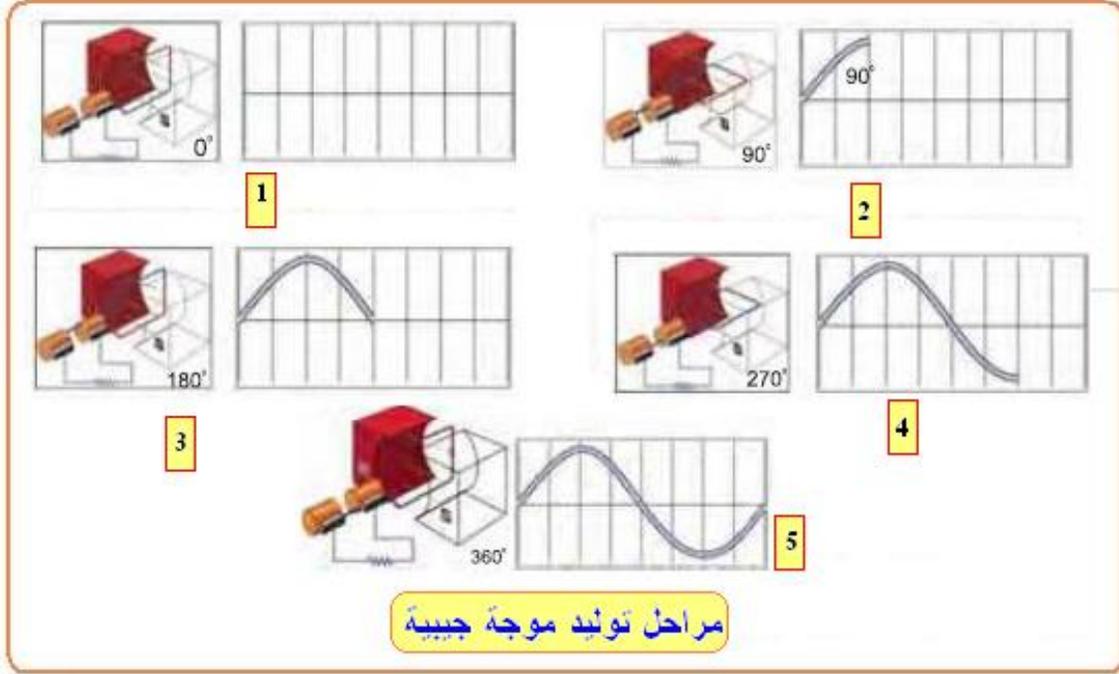
يعتمد مولد التيار المتناوب (المكون أصلاً من مجموعة من الملفات) في مبدأ عمله على ظاهرة تولّد القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية الناشئة في موصل يتحرك ضمن مجال مغناطيسي آخر. حيث يحدث تفاعل بين المجال المغناطيسي الأصلي والمجال المغناطيسي التأثيري مما يؤدي إلى تحريك هذا الموصل.

ويتكوّن مولد التيار المتناوب البسيط المبين في الشكل (4) من ملف يدور بسرعة ثابتة حول محور بين قطبين مغناطيسيين (حقيقة يتحرك هذا الملف أو مجموعة الملفات من خلال ما يسمى بالمحرك الأولي (prime mover) المتصل بعمود دوران المولد المبين في الشكل (3) أعلاه)، وقد وصلت نهايتنا هذا الملف بحلقتي انزلاق نحاسيتين مثبت عليهما فرشاتان من الكربون تنزلقان على هاتين الحلقتين، حيث لا تسببان إعاقة للدوران، كما وصلت مقاومة خارجية مع الفرشتين كحمل كهربائي للدارة.



شكل (4): مبدأ توليد الموجة الجيبية لمولد تيار متناوب بسيط

وعندما يدور الملف باتجاه عقارب الساعة، يتحرك نصفه الأول إلى الأسفل (في المجال) بالقرب من القطب الجنوبي، بينما يتحرك نصفه الآخر إلى الأعلى بالقرب من القطب الشمالي. وبذلك فإن الجهد المتولد بالتأثير في أحد النصفين يدعم الجهد المتولد بالتأثير في النصف الآخر، تماماً كما لو وصلت بطاريتين على التوالي. وهذا الجهد يؤدي إلى تدفق تيار كهربائي في مقاومة الحمل عبر حلقتي الانزلاق والفرش الكربونية. وعندما يتم متابعة حركة الملف وهو ينجز دورة كاملة في الأوضاع المختلفة المبينة في الشكل (5) فإن موجة جيبية ستولد في المقاومة المتصلة به.



شكل (5): مراحل توليد موجة جيبية لمولد تيار متناوب بسيط

نشاط (1): ابحث في (الإنترنت) عن فيديو يوضح كيفية توليد التيار المتناوب.

✚ خصائص وقياسات الموجة الجيبية المتولدة من مولد التيار المتناوب :

إن تغير الجهد المتولد للموجة الجيبية يتبع الزمن، ويمكن التعبير عنه بمنحنى جيب الزاوية (θ) الذي يعطى بالمعادلة الآتية:

$$v(\theta) = V_m * \sin \theta$$

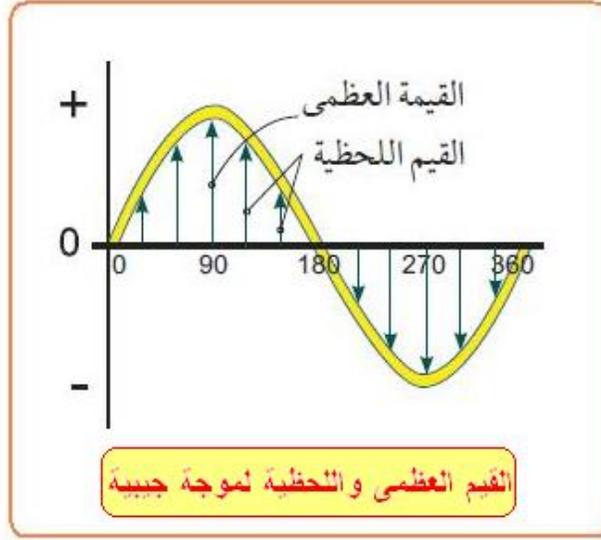
حيث إن:

$V(\theta)$: القيمة اللحظية للجهد عند زاوية الدوران (θ).

V_m : القيمة العظمى للجهد.

$\sin \theta$: جيب زاوية الدوران.

من هذه العلاقة يتبين لنا أن أقصى قيمة موجبة للجهد المتولد تكون عند زاوية مقدارها (90°)، أي عندما يكون جيب الزاوية مساوياً للواحد صحيح، وكذلك الحال فإن أقصى قيمة سالبة للجهد المتولد تكون عند زاوية (270°)، حيث يكون جيب الزاوية مساوياً لسالب واحد صحيح، أما عند كل من قيم الزوايا (180° ، 360°) فتكون قيمة الجهد المتولد مساوية للصفر. ويوضح الشكل (6) هذه القيم اللحظية لزوايا مختلفة.



شكل(6): تمثيل القيم اللحظية والعظمى للموجة الجيبية

1) القيمة اللحظية للموجة :

القيمة اللحظية : عبارة عن قيمة الجهد للموجة عند أي لحظة على المنحنى. ويمكن التعبير عنها بدلالة الزمن $V(t)$ ، أو بدلالة زاوية الدوران (θ) ، $V(\theta)$.

$$\theta = \omega * t$$

حيث إن:

ω : سرعة دوران الزاوية وتُقْرَأ (أوميغا) .

وكذلك:

$$\omega = 2 * \pi * f$$

حيث إن:

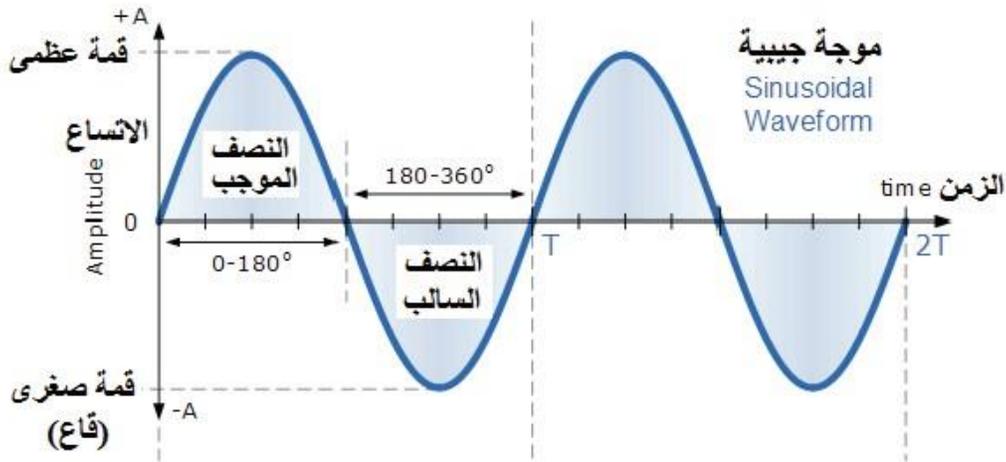
π : قيمة ثابتة وتساوي (3.14).

f : تردد الموجة، ويساوي (50 Hz أو 60 هرتز) بالنسبة للموجة الجيبية، وهو يساوي مقلوب الزمن للدورة

الواحدة، اي ان:

$$T = \frac{1}{f}$$

T : زمن الدورة الكاملة ويُقاس بالثانية (sec)، حيث يبين الشكل أدناه دورتين كاملتين.



2) القيمة العظمى للموجة :

القيمة العظمى: عبارة عن أقصى قيمة موجبة أو سالبة تصلها موجة الجهد أو التيار، وهي تحصل عند كل من الزوايا، (90) درجة وتكون قيمتها موجبة، و(270) درجة، وتكون قيمتها سالبة بالنسبة للموجة الجيبية. وتسمى أيضا قيمة الذروة ($V - PEAK$) ويرمز لها بالرمز (V_p) أو (V_m).

وتكون القيمة العظمى للجهد الذي تزودنا به شركة الكهرباء (في منطقتنا) مساوية (311v) مع العلم أن القيمة الفعالة التي تقيسها ساعة القياس (والمترارف عليها محلياً لجهد أحادي الطور) هو (220v)، لماذا؟

سؤال: ما هي القيمة العظمى لجهد أحادي الطور في أمريكا؟

3) جهد القمة للقمة للموجة: (PEAK TO PEAK)

جهد القمة للقمة: وهي قيمة تعبر عن اتساع الموجة من القمة العظمى الموجبة للقمة العظمى السالبة للموجة. ويعبر عنها بالمصطلح (V_{p-p}) للجهد أو (I_{p-p}) للتيار.

4) القيمة المتوسطة: (Average)

القيمة المتوسطة: عبارة عن متوسط القيم التي يمثلها منحنى الجزء الموجب للموجة فقط، ذلك أن متوسط قيم الموجة الموجبة والسالبة يساوي صفرًا مثلًا للموجة الجيبية، لأن نصفي الموجة متماثلان. ويعبر عنها بالرمز (V_{av}) للجهد مثلًا .

وتعطي العلاقة ما بين القيمة العظمى والقيمة المتوسطة لموجة جيبية بالقيمة الآتية:

$$V_{av} \text{ للموجة الجيبية} = 0.637 * V_m$$

(5) القيمة الفعالة: (القيمة المستفاد منها) ويمكن تعريفها علمياً كآلاتي:

القيمة الفعالة: وهي قيمة محددة من القدرة الحرارية المستهلكة بالتسخين من مصدر للتيار المتناوب والتي تماثل القيمة الحرارية نفسها عند استهلاكها من مصدر للتيار المستمر. وهي تساوي في حالة مصدر الجهد المتناوب أحادي الطور (220v)، ويعبر عنها بالرمز (V_{rms}).

والعلاقة التي تربط كل من القيمة العظمى والقيمة الفعالة تعطى بالمعادلة الآتية:

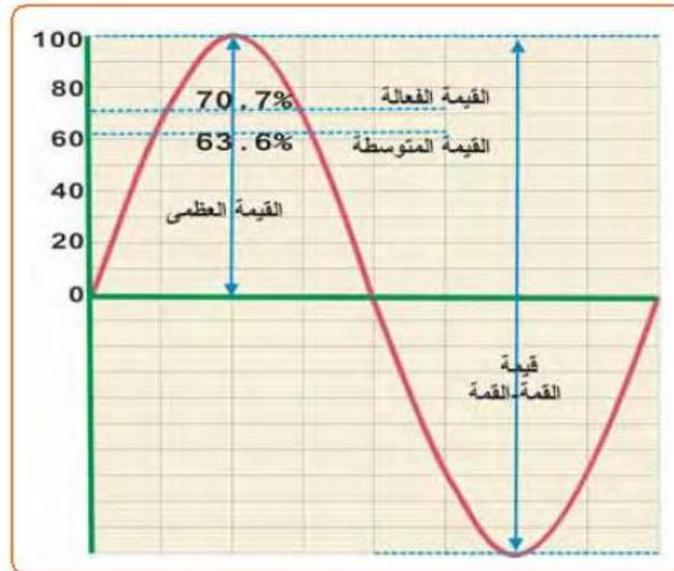
$$= \sqrt{2} * V_{rms} V_m$$

ملاحظة: القيمة $\sqrt{2}$ تساوي تقريباً (1.41)، أما القيمة $\frac{1}{\sqrt{2}}$ فتساوي (0.707) تقريباً.

ويمكن كتابة العلاقات السابقة بدلالة القيمة العظمى (V_m) كما يلي:

للموجة الجيبية
$= 0.637 * V_m V_{av}$
$= 0.707 * V_m V_{rms}$

وبالتالي لو فرضنا أن القيمة العظمى لموجة جيبية تساوي (100 %)، فإنه يمكن التعبير عن القيمة الفعالة والقيمة المتوسطة لموجة جيبية كما في الشكل (7) مقيسة بالنسبة للقيمة العظمى مع ملاحظة أن المحور العمودي قد يمثل تياراً أو جهداً حسب نوع الموجة.



شكل (7) : القيم المهمة لموجة جيبية بدلالة القيمة العظمى (100%)

مثال :

إن قيمة (220) فولتاً متناوب التي نحصل عليها من مأخذ التيار العام في المنزل، ليست إلا قيمة الجهد الفعالة، احسب القيمة العظمى لهذا الجهد:

الحلّ: القيمة العظمى = (1.414) x القيمة الفعالة

$$= (220) \times (1.414) =$$

$$= (311) \text{ فولتاً}$$

يرمز للقيمة الفعالة للجهد بالأحرف (V_{rms})، أما القيمة الفعالة للتيار فيرمز لها بالأحرف (I_{rms}) وهي القيمة الأكثر استخداماً في الحياة العملية، كما أن معظم أجهزة القياس للجهد والتيار تقيس هذه القيمة.

ملاحظة: الجهاز الذي يقيس القيمة العظمى والقيمة المتوسطة هو جهاز يسمّى راسم الإشارة (ويدعى أيضاً بجهاز الأوسيلوسكوب)، ويمكن توليد إشارات كهربائية مختلفة بواسطة جهاز يدعى جهاز مولد الإشارة كما هو مبين في الشكل (8).



شكل (8):جهاز راسم الإشارة (Oscilloscope) وجهاز مولد الإشارة

نشاط	(4)	ابحث عن جهاز مولد الإشارة، وكيفية استخدامه ووظيفته
أسئلة الدرس:		
1-	وضّح مبدأ عمل مولد التيار المتناوب.	
2-	- عرف ما يلي: الظاهرة الكهرومغناطيسية. ▪ القيمة الفعالة للموجة الجيبية. ▪ القيمة العظمى للموجة الجيبية.	
3-	اذكر ثلاثة أنواع من الإشارات للدارات الكهربائية؟	
4-	ارسم شكل الموجة الجيبية موضحاً عليها القيم المهمة لموجة جيبية بدلالة القيمة العظمى (100%)؟	
5-	ما هو اسم الجهاز الذي يقيس القيمة العظمى والصغرى للموجة الجيبية؟ وكيف يمكن حساب القيمة الفعالة والمتوسطة لها من خلاله؟	

إن الهدف الأساسي لتوليد الطاقة الكهربائية هو تغذية الأحمال الكهربائية للمستهلكين بغرض تشغيل جميع الأجهزة والمعدات الكهربائية المرتبطة معها، والتي تحوّل التيار الكهربائي إلى ضوء أو حرارة أو حركة أو غيرها من أشكال الطاقة المختلفة، ولكن ما هذه الأحمال، وكيف يتم تصنيفها، وهل تختلف عن بعضها بعضاً من ناحية قدرتها أولاً، ومن ناحية تأثيرها بنوع مصدر الجهد المغذي لها ثانياً؟ هذا ما سيتم الإشارة إليه في هذا الدرس وفي دروس لاحقه.

الأحمال الكهربائية: العناصر الكهربائية والإلكترونية جميعها التي تستهلك تياراً كهربائياً وتتصل بمصادر الجهد الكهربائي، كالمقاومات والملفات والمواسعات وغيرها، وتصنف حسب طبيعتها كأحمال مادية أو حثية أو سعوية على الترتيب، ويمكن أن تكون خليطاً من الأنواع الثلاثة مجتمعة.

✚ تصنيف الأحمال الكهربائية:

1) حسب طبيعتها (مكوناتها):

يمكن تصنيف الأحمال الكهربائية التي ترتبط بالشبكة العامة للكهرباء حسب طبيعتها (مكوناتها) إلى الأنواع الآتية كما في الشكل (1):

1. حمل كهربائي مادي (أومية: مقاومات).
2. حمل كهربائي سعوي (مواسعات).
3. حمل كهربائي حثي (ملفات).
4. حمل مختلط من الأنواع السابقة جميعها.



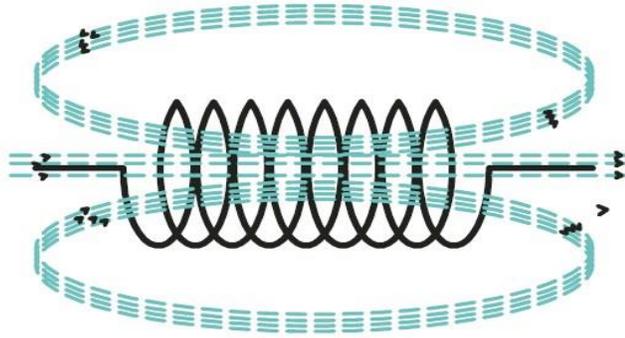
شكل (1): أحمال كهربائية أحادية الطور (سعوية- مادية - حثية)

الملفات الكهربائية

ولقد تعرفت في وحدة سابقة على كل من الأحمال المادية (الأومية) والأحمال السعوية وطبيعة كل منها، وسنتطرق الآن إلى النوع الأخير من الأحمال الحثية (الملفات) بشيء من التبسيط.

الملفات هي إحدى عناصر الدارات الإلكترونية والكهربائية كثيرة الاستخدام، فلا يكاد يخلو منها جهاز إلكتروني كالمبيوتر، التلفاز والراديو، المسجل، جهاز الهاتف الثابت والنقال، ولا جهاز كهربائي كالثلاجة، المروحة، الغسالة، والخلط وغيرها. وقد تعددت استخدامات الملفات بأحجامها وأشكالها، فما هو الملف وما هو مبدأ عمله؟

الملف والحث الذاتي:



عند لف سلك كهربائي معزول على قلب هوائي أو قلب حديدي أو قلب فيرايت (برادة الحديد) أو أي مادة أخرى نحصل على ما يسمى بالملف يسري تيار كهربائي في سلك الملف، يتولد مجال مغناطيسي حول الملف تتناسب شدته مع شدة التيار المار في الملف.

وهكذا فإن الملف يعمل على تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة مغناطيسية يخترنها داخل المجال المغناطيسي المحيط به والذي يمكن تركيزه في القلب، عند حدوث تغيير (زيادة أو نقصان) في شدة التيار الكهربائي المار في الملف، ذلك ينعكس على شدة المجال المغناطيسي المنتشر حول هذا الملف، فعندما تزداد شدة التيار المار في الملف تزداد شدة المجال المغناطيسي، وعندما تنخفض شدة التيار تقل شدة المجال المغناطيسي. إن التغيير في شدة المجال المغناطيسي يمكن تخيله على شكل وجود خطوط مجال مغناطيسي متحركة تقطع لفات الملف نفسه، وحسب قانون فارادي فإن هذا يؤدي إلى توليد قوة دافعة كهربائية تأثيرية تؤدي بالتالي إلى توليد تيار كهربائي ذي اتجاه يعاكس أي تغيير في شدة التيار الأصلي المار في الملف. اتجاه هذا التيار يعطى حسب قانون لينز الذي ينص على أن " القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية تولد تياراً يعمل على توليد مجال مغناطيسي يعاكس تأثير المجال المغناطيسي الذي أدى إلى توليد هذا التيار".

فمثلاً إذا تناقصت شدة التيار الأصلي تعمل قطبية القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية على توليد تيار اتجاه التيار الأصلي نفسه، وبالتالي محاولة منع تناقص التيار الأصلي، وإذا تزايدت شدة التيار الأصلي، تعمل قطبية القوة الدافعة الكهربائية على توليد شدة التيار الأصلي وبالتالي محاولة منع تزايد التيار الأصلي.

إن الظاهرة التي تعمل على منع التغير في شدة التيار الكهربائي المار في الملف تسمى بالحث الذاتي للملف ويرمز لمعامل الحث الذاتي بالرمز (L). هذا ويمكن تعريف الحث الذاتي بطريقة أخرى بأنه عندما تتغير شدة المجال المغناطيسي خلال دائرة كهربائية فإنه يتولد فيها قوة محرّكة كهربائية تأثيرية يتناسب مقدارها مع معدل تغير التدفق بالنسبة للزمن.

يقاس الحث الذاتي لملف بوحدة قياس تسمى هنري (Henry نسبة إلى العالم الأمريكي Joseph Henry) ويعرف الهنري بأنه الحث الذاتي لملف تتولد فيه قوة محرّكة كهربائية تأثيرية مقدارها 1 فولت عندما تتغير شدة التيار المار فيه بمعدل 1 أمبير / ثانية. ويختلف المدى المستخدم لقيمة الحث في الدارات الإلكترونية من ميكروهنري للملفات المستخدمة في أجهزة الاتصالات ذات الترددات العالية إلى مئات عديدة من وحدات الهنري للملفات المستخدمة في شبكات القوى. وعليه فإن الهنري وحدة كبيرة بالنسبة للدارات الإلكترونية ولهذا فإننا نستخدم أجزاء الهنري، وهي:

- الملي هنري (mH) ويساوي 10^{-3} هنري.
- الميكرو هنري ويساوي 10^{-6} هنري.

العوامل المؤثرة في قيمة حثية الملف: هناك عوامل رئيسية عديدة في تركيبية الملفات تحدد مقدار الحثية الناتجة أربع عوامل منها يمكن قياسها والتي تعتمد على مقدار التدفق المغناطيسي الناتج عن مقدار محدد من التيار الكهربائي، وهي:

محاثّة أقل



محاثّة أكبر



1. عدد ملفات الملف: كلما زادت عدد لفات الملف زادت شدة المجال المغناطيسي المتولد حوله وبالتالي زيادة في حثية هذا الملف.

محاثّة أقل



محاثّة أكبر



2. مساحة مقطع الملف: كلما زادت مساحة مقطع الملف زادت شدة المجال المغناطيسي المتولد حوله وبالتالي زيادة في حثية هذا الملف.

محاثة أقل



محاثة أكبر



3. طول الملف: كلما زاد طول الملف قلت شدة المجال المغناطيسي المتولد حوله وبالتالي نقصان في حثية هذا الملف.

محاثة أقل



محاثة أكبر



4. مادة القلب : كلما زادت نفاذية المادة التي لف عليها الملف أعلى كانت الحثية أكبر وذلك لكون التدفق المغناطيسي أكبر للقلب ذي النفاذية الأعلى .

قلب هواء

قلب حديد

وهناك عاملان آخران لا يمكن قياسهما يؤثران على قيمة الحثية لملف، هما:

1. شكل القالب الملفوف عليه الملف.

2. طريقة لف الملف وعدد الطبقات التي يتكوّن منها الملف.

سؤال: لماذا يعدّ مصباح الفلوريسنت حملاً مادياً سعوياً حثياً في آن واحد؟

(2) تصنيف الأحمال حسب طبيعة المستهلك:

يمكن تصنيف الأحمال الكهربائية التي ترتبط بالشبكة العامة للكهرباء كذلك حسب المستهلك الى الأنواع الآتية:

1. أحمال منزلية.

2. أحمال تجارية.

3. أحمال صناعية.

4. أحمال حكومية | (تغذية إنارة الشوارع، محطات ضخ المياه، محطات الصرف الصحي، أنظر الشكل (2)).



شكل(2):تصنيف الأحمال حسب طبيعة الاستهلاك

3) تصنيف الأحمال حسب طبيعة مصدر الجهد:

تنقسم الأحمال الكهربائية التي ترتبط بالشبكة العامة للكهرباء من حيث طبيعة مصدر الجهد إلى نوعين، هما:

1. أحمال أحادية الطور (وهي في العادة أحمال ذات قدرة كهربائية منخفضة عموماً).
2. أحمال ثلاثية الطور (وهي في الغالب أحمال ذات قدرة كهربائية أعلى من سابقتها).

الأحمال الكهربائية أحادية الطور:

تتغذى هذه الأحمال من الشبكة العامة للكهرباء بجهد محلي مقداره (220) فولتاً وبتردد (50 Hz)، وتتمثل في مقاومات كهربائية مثل وحدات الإنارة أو وحدات التسخين الكهربائية كالمدفأة الكهربائية أو تتمثل في ملفات كالمحركات الكهربائية أحادية الطور (مضخة المياه المنزلية) أو المحولات أحادية الطور أو غيرها.

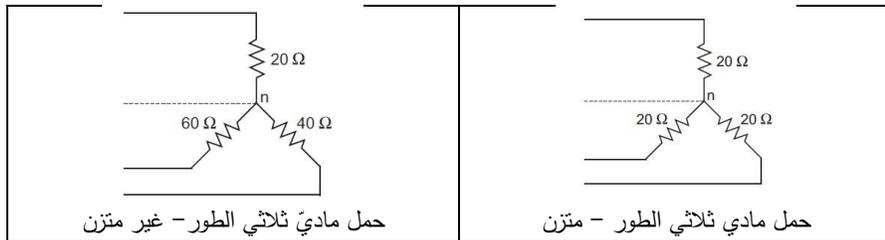
نشاط (1): كون جدولاً يضم أحمالاً كهربائية أحادية الطور وصنفها حسب طبيعة الحمل، كما هو مبين في الجدول (1). انقل الجدول إلى دفترتك وأكمل الخانات المحذوفة.

جدول (1): تصنيف الأحمال أحادية الطور حسب طبيعة الحمل

الرقم	اسم الحمل	نوع الحمل	قدرة الحمل	الاستخدام
1		مادي		
2	مضخة مياه منزلية		حوالي 750 واط	
3		سعوي		
4		مادي حثي		
5		مادي حثي سعوي		

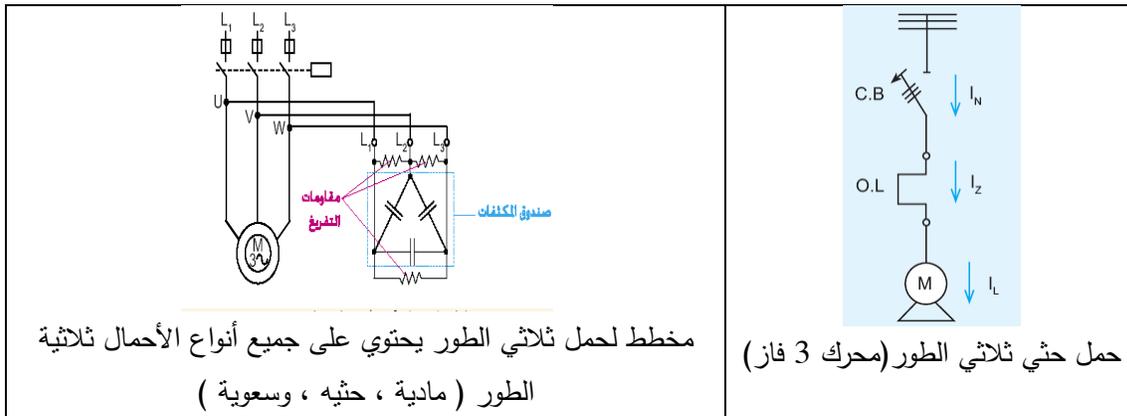
الأحمال الكهربائية ثلاثية الطور:

تتغذى هذه الأحمال من الشبكة العامة للكهرباء وبجهد محلي مقداره (380v أو 400) وبتردد (50 Hz)، وتشمل الأحمال الكهربائية جميعها التي تتصل بمصدر الجهد ثلاثي الطور، وقد تحتوي على ثلاثة ملفات كالمحركات الكهربائية أو المحولات أو المولدات الكهربائية، وكذلك قد تحتوي على ثلاثة مقاومات كهربائية كالأفران لكهربائية ثلاثية الطور كما هو مبين في الشكل (3)، أو غيرها من الأحمال السعوية الأخرى أو خليط من هذه الأحمال مجتمعة. من الشكل (2) يمكن الاستنتاج بسهولة بأنه قد يتم تصنيف الأحمال الكهربائية أيضاً من حيث كونها أحمالاً كهربائية متزنة أم غير متزنة (بناء على قيمة تيار كل فرع في الشكل).



الشكل (3): حمل ثلاثي الطور (متزن | غير متزن)

ويمثل الشكل (4) إلى اليسار أحمالا مادية (أومية) تتمثل في الثلاثة مقاومات كما تحتوي على أحمال سعوية تتمثل في الثلاثة مواسعات، إضافة لحمل حثي ثلاثي الطور يتمثل في ملفات المحرك الثلاثة.



شكل(4):أحمال كهربائية ثلاثية الطور

سؤال: هل يعتبر المحرك ثلاثي الطور حملا كهربائيا متزنا ام غير متزن؟ لماذا؟

اسئلة الدرس:	
1-	عرف ما هو المقصود بالحمل الكهربائي؟
2-	صنف الاحمال الكهربائية حسب طبيعة طبيعتها؟
3-	صنف الاحمال الكهربائية حسب طبيعة المستهلك؟
4-	صنف الاحمال الكهربائية حسب طبيعة الجهد المغذي لها؟

لقد مر معك سابقا ان القدرة الكهربائية تعني مقدار الشغل المبذول في الثانية، ويعبر عنها كهربائيا بوحدة الوات (W) او مضاعفاته بالكيلو واط (KW) أو بالميجا واط (MW)، ويرمز لها بالرمز (P). ويعتمد حساب القدرة الكهربائية المستهلكة و المنتجة على نوع الحمل وكذلك على نوع مصدر الجهد الكهربائي. ولقد درست سابقا بان القدرة الكهربائية في دوائر التيار المستمر ترتبط بكل من التيار والجهد والمقاومة ويتم حسابها باستخدام احدى العلاقات التالية:

$$(W) \text{ ووحدها الواط } P = I R = V * I = \frac{V^2}{R} = I^2 R$$

وتعدّ القدرة المستهلكة في مقاومة مادية قدرة حقيقية تبدد فيها، وهي بالتالي تتحول من شكل إلى آخر (حرارة، ضوء،...)، لذلك فهي تسمى قدرة حقيقية أو ما يسمى (قدرة فعالة).

إلا أن هناك نوعين آخرين من القدرة الكهربائية في دوائر التيار المتردد، يرتبطان بكل من الحمل الحثي والحمل السعوي، حيث ان كلا من الملف والموسع (المثاليين) يعدّان عنصري تخزين للطاقة الكهربائية وليس عنصرا استهلاك لها عند توصيلهما مع مصدر للتيار المتردد. وهذا بالتالي يقودنا للحديث عن القدرة الكهربائية في دوائر التيار المتردد وطريقة حسابها.

✚ القدرة الكهربائيّة لأحمال أحادية الطور:

يتم تخزين الطاقة الكهربائية في الملف على هيئة مجال مغناطيسي بينما يتم تخزينها في المواسع على هيئة مجال كهربائيّ يظهر بين صفائح المواسع، ويتم تزويدها للحمل ابتداء، إلا أنها تعود للمصدر عندما يغير التيار اتجاهه في النصف السالب للموجة المترددة. وتسمّى الطاقة المخترنة بالملف أو المواسع بالقدرة غير الفعالة (التخيلية) ويرمز لها بالرمز (Q) ووحدها الأساسية (VAR) أو مضاعفاتها.

أما القدرة الكلية فهي عبارة عن جمع متجه للقدرة الفعالة (الحقيقية) والقدرة غير الفعالة لينتج منهما قدرة محصلة يرمز لها بالقدرة الظاهرية وتعطى الرمز (S) ووحدها الأساسية الفولت أمبير (VA). ويمكن تعريف هذه الأنواع كما يلي:

القدرة الفعالة: هي التي تنجز العمل الحقيقي مثل إنتاج الحرارة، الضوء، الحركة ... وتقاس بوحدة الوات (W) أو مضاعفاتها ويرمز لها بالرمز P.

القدرة غير الفعالة: هي التي تساعد على وجود المجال الكهرومغناطيسي وتقاس بالفولت أمبير مفاعلة (var) أو مضاعفاتها ويرمز لها بالرمز Q.

القدرة الظاهرية: هي مزيج من القدرة الفعالة والقدرة غير الفعالة وتقاس بالفولت أمبير (VA) أو مضاعفاتها، ويرمز لها بالرمز (S).

والمثال التالي يوضح كيفية حساب قيمة القدرة الكهربائية في أحمال مادية أحادية الطور .

مثال 1:

مسخن كهربائي جهده (220) فولتاً، ويسحب تياراً مقداره (5) أمبير . احسب قدرة المسخن بالواط، والكيلو واط؟
الحل:

القدرة = التيار x الجهد

$$\text{القدرة بالواط} = (220) \times (5) = 1100 \text{ واط}$$

$$\text{القدرة بالكيلو واط} = \frac{1100}{1000} = 1.1 \text{ كيلو واط.}$$

ملاحظة: في المثال السابق، يمثل المسخن حملاً مادياً (مقاومة)، وبالتالي تكون القدرة الكلية هي قدرة فعالة فقط

تساوي حاصل ضرب التيار (I) بالجهد (V) فقط مع أن مصدر الجهد أحادي الطور (متناوب)، (لماذا ؟)
ولكن سيظهر معنا لاحقاً بأنه في حالة الأحمال المتناوبة (أحادية الطور أو ثلاثية الطور)، والتي عادة ما تضم أحمالاً لا تقتصر على المقاومات المادية فقط، بل تضم أيضاً ملفات ومواسعات كعنصري تخزين، لذلك يضاف لكل من متجه التيار ومتجه الجهد حد ثالث يعرف بمعامل القدرة، لأن كل من الملف والمواسع يصنع زاوية ما بين متجه التيار والجهد (تسمى زاوية الطور) وهي في هذه الحالة لا تساوي صفراً (كما هو الحال في المقاومة) ويعبر عن هذا الحد بمصطلح " معامل القدرة " أو ما يعرف ب (cos θ).

وبالتالي يمكن التعبير عن قيمة القدرة المستهلكة لأي نوع من الأحمال أحادية الطور بالعلاقة الآتية:

$$P = V_{ph} * I_{ph} * \cos \theta \quad W$$

أو يعبر عنها كتابة:

القدرة (لحمل أحادي الطور) = جهد الطور x تيار الطور x معامل القدرة

وهنا لا بد من الإشارة الى أن قانون أوم الذي تم استخدامه حتى الآن (وكان يدل على القيمة فقط) بالصورة:

$$= \frac{V_P}{R_P} I_P$$

يتحول في حالة الأحمال غير المادية أحادية الطور ليكتب بصورة أخرى أكثر دقة حيث يمثل بمخطط متجهات (لها قيمة واتجاه أيضاً) وتمثل المتجهات باللون الغامق عادة كما يلي:

$$I = \frac{V}{Z}$$

حيث يمثل الرمز (Z) ممانعة الحمل ووحدته الأوم (Ω)، ويعبر عن ممانعة الحمل بالصورة العامة لمخطط المتجهات كما يلي:

(vector diagram) $Z = R + j X$

حيث تتكون ممانعة الحمل من حدين:

1. الأول (R): يمثل مقاومة مادية وتقاس بوحدة الأوم (Ω).

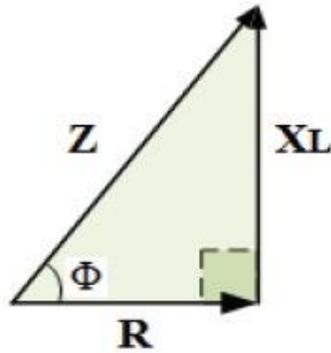
2. الثاني (X): يمثل مفاعله الحمل وتقاس بوحدة الأوم (Ω).

وتكون مفاعلة الحمل على نوعين أيضاً تبعاً لوجود:

1. ملف ويرمز لها حينها بالرمز (X_L) وتسمى المفاعلة الحثية.

2. مواسع ويرمز لها بالرمز (X_C) وتسمى بالمفاعلة السعوية.

وبالتالي فإن الكمية المتجه (Z) ترسم بصورة التمثيل المتجهية العامة الآتية: شكل (1)



شكل (1): مثلث المتجهات لممانعة الحمل

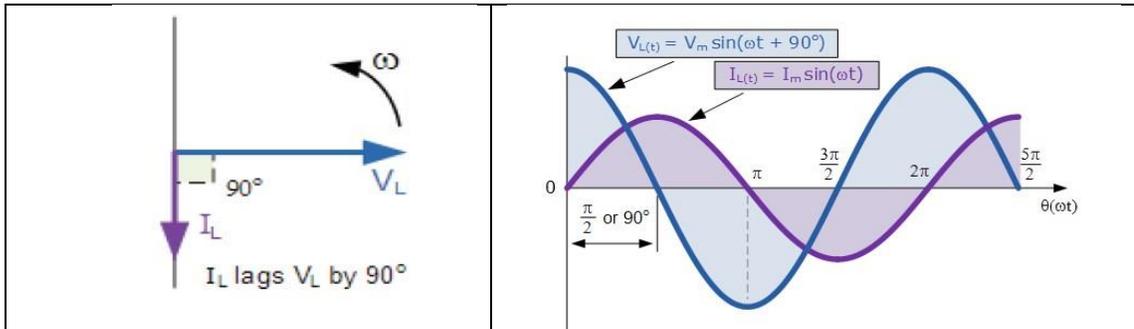
والمفاعلة الحثية (X_L) تساوي:

$$= 2\pi f L X_L$$

حيث إن: f : تردد المصدر بالهيرتز.

L : محاثة الملف وتقاس بالهنري أو أجزائه.

ويمكن توضيح مفهوم المفاعلة الحثية بالمنحنى المبين في الشكل (2)، وكذلك كمخطط متجهات (vector diagram) أيضاً.

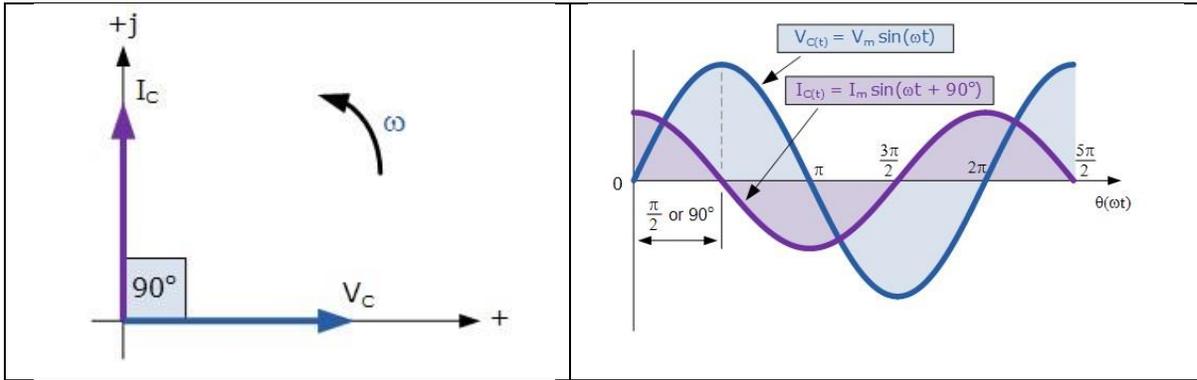


شكل (2): تمثيل المفاعلة الحثية

وبالتالي في حالة الملف المثالي، فإن التيار يتأخر عن الجهد في الحمل الحثي بزاوية مقدارها (90) درجة ويعبر عنها بالرمز المتجهي (-j) المستخدم في العلاقة أعلاه.
والمفاعلة السعوية (X_C) تساوي:

$$= \frac{1}{2\pi f c} X_C$$

ويمكن توضيح مفهوم المفاعلة السعوية بالمنحى المبين في الشكل (3)، وكذلك كمخطط متجهات (vector diagram) أيضا.



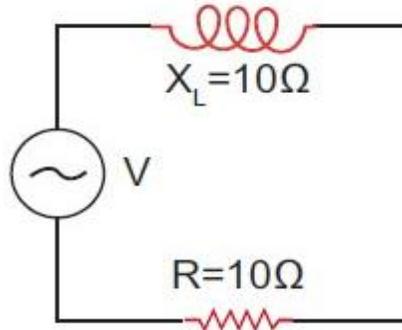
شكل (3): تمثيل المفاعلة السعوية

وبالتالي في حالة المواسع المثالي، فإن التيار يتقدم عن الجهد في الحمل السعوي بزاوية مقدارها (90) درجة ويعبر عنها بالرمز المتجهي (+j) المستخدم في العلاقة أعلاه.

نشاط: مستعينا (بالإنترنت)، اكتب بحثاً عن مفهوم وطريقة تمثيل المتجهات وطريقتها؟

مثال (2):

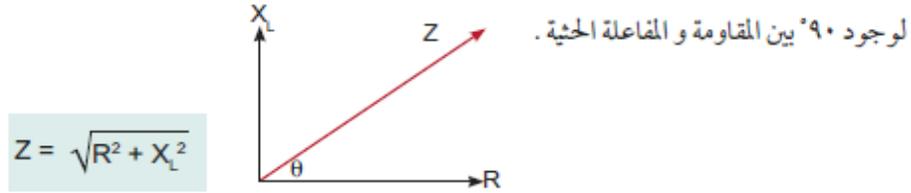
في الشكل (4)، جد الممانعة الكلية للدائرة الحثية، وكذلك قيمة كل من التيار الكلي وزاوية الطور، مع العلم أن جهد القمة للقمة للمصدر يساوي (10) فولت وتردده (50 هيرتز)؟



شكل (4): مقاومة وملف في دائرة تيار متردد

الحل:

ولحساب الممانعة الكلية للدائرة الحثية (مقاومة وملف) يتم ذلك بالاعتماد على نظرية فيثاغورس وذلك



بالاعتماد على القيم المعطاه في الدائرة السابقة أوجد قيمة التيار الفعال المار في الدائرة وزاوية الازاحه بين جهة المصدر والتيار .

١ يتم أولاً إيجاد قيمة الممانعة الكلية للدائرة:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{200} = 14.1421\Omega$$

٢ يتم استخدام قانون أوم لإيجاد قيمة التيار الكلي:

$$V = Z \times I$$

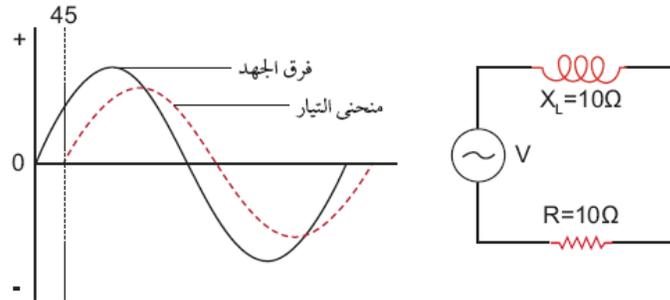
$$I = \frac{V}{Z}$$

$$I = \frac{10}{14.1421} = 0.71 \text{ Amp}$$

٣ في الدائرة الحثية يتأخر التيار عن الجهد وتسمى الزاوية بينهما بزاوية الازاحه (Phase shift)

$$\theta = \tan^{-1} \frac{X_L}{R} = \tan^{-1} \frac{10}{10} = 45^\circ$$

والشكل (5) يبين علاقة منحنى التيار والجهد بالزمن في حالة الأحمال الحثية أحادية الطور (مقاومة وملف والتي تمثل فعلياً ملفاً حقيقياً):



شكل (5): علاقة كل من منحنى الجهد والتيار بالزمن لحمل حثي (ملف) - زاوية الطور (45)

في السؤال السابق، جد قيمة محاثة الملف (L)؟

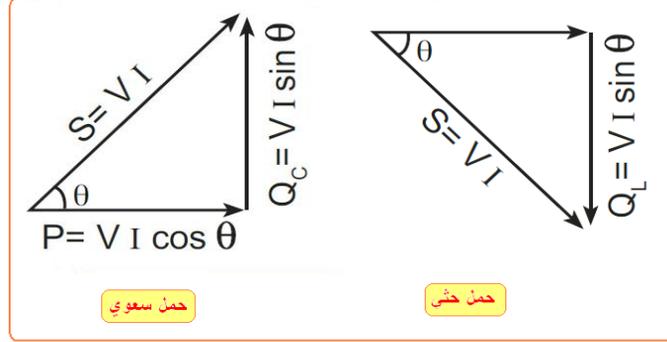
سؤال: (1)

استبدل الملف بمواسع في الشكل (3) أعلاه، ثم حل السؤال بالمطلوب نفسه؟

سؤال: (2)

مثلت القدرة:

يمكن تمثيل القدرة الكهربائية لحمل كهربائي أحادي الطور يحتوي على مقاومة وملف أو مقاومة ومواسع بـمثلت متجهات يسمّى مثلت القدرة كما في الشكل (6).



شكل (6): مثلت القدرة لحمل أحادي الطور

ملاحظة: يجب ملاحظة أن القدرة غير الفعالة للمكثف تعاكس في الإشارة (الاتجاه) القدرة غير الفعالة للملف كما يظهر في تمثيل كل منهما في مثلت القدرة أعلاه.

ويتم حساب القدرة الفعالة (P) لحمل أحادي الطور (حثي أو سعوي) من العلاقة:

$$P = V_{ph} * I_{ph} * \cos \theta \quad (W)$$

بينما يتم حساب القدرة غير الفعالة (Q) من العلاقة:

$$Q = V_{ph} * I_{ph} * \sin \theta \quad (VAR)$$

وكذلك فإن:

القدرة الظاهرية (S) ووحدتها (VA) أو مضاعفاتها تساوي:

$$S = V_{ph} * I_{ph} \quad (VA)$$

حيث إن القيمة المتجه تمثل ما يلي:

V_{ph} : جهد الطور

I_{ph} : تيار الطور

θ : زاوية الطور (الزاوية المحصورة بين متجه التيار ومتجه الجهد)

أما القيمة

($\cos \theta$): تمثل معامل القدرة (power factor – PF)، وهو رقم محصور ما بين (الصفر والواحد صحيح)،

أي أن:

$$\text{معامل القدرة } (\cos \theta) = \text{جتا زاوية الطور}$$

سؤال: ما هي أعلى قيمة وأقل قيمة لمعامل القدرة؟ وأي قيمة منهما هي الأفضل كهربائياً؟

أسئلة الدرس:	
-1	عرف كلاً مما يلي: أ- القدرة الفعالة ب- القدرة غير الفعالة ج- القدرة الظاهرية.
-2	علل: يتأخر متجه التيار عن متجه الجهد في حالة الملف ويحدث العكس في حالة المواسع؟
-3	اذكر وحدة كلٍّ من القدرة الفعالة والقدرة غير الفعالة والقدرة الظاهرية؟
-4	ما هو المقصود بالرمز (Z) في قانون أوم؟ ومم يتكون؟
-5	احسب قيمة تيار الطور المسحوب من محرك أحادي الطور قدرته (750) وات، يعمل من مصدر أحادي الطور بجهد (220V) وبمعامل قدرة قيمته (0.75).

تكمّن أهمية معامل القدرة في أنه يقيس مقدار فعالية نظام القدرة الكهربائيّ المستخدم، ويعني معامل القدرة المرتفع أن النظام الكهربائيّ يستخدم بفعالية كبيرة، بينما يشير معامل القدرة المنخفض إلى الاستخدام السيئ للنظام الكهربائيّ.

وعندما يكون معامل القدرة مساوياً للواحد صحيح، فإن ذلك يعني أن كلّ القدرة المنتجة بواسطة النظام الكهربائيّ تستهلك لإنتاج العمل الفعال، على الجانب الآخر، فإن المعدات المفاعلة هي التي تستخدم الملفات الحثية أو المكثفات مثل المحركات الكهربائية والمحولات وغيرها.

✚ مفهوم معامل القدرة:

معامل القدرة: هو النسبة بين القدرة الفعالة التي تستهلك فعلاً بالأحمال وتقاس بالكيلو وات (kW) والقدرة الكلية المطلوبة (تسمى القدرة الظاهرية أيضاً) وتقاس بالكيلو فولت أمبير.

$$\text{معامل القدرة} = \cos \theta = (\text{القدرة الفعالة} / \text{القدرة الكلية})$$

أي أن:

$$= \frac{P}{S} \cos \theta$$

هناك نسبة كبيرة من الآلات الكهربائية لها معامل قدرة منخفض، وبالتالي فإن أي منشأة تحتوي على المعدات والآلات الكهربائية الآتية يكون لها معامل قدرة منخفض، الأمر الذي يتطلب خطوات لتحسين معامل القدرة:

← **التجهيزات الكهربائية التي لها معامل قدرة منخفض، هي:**

1- المحركات الحثية والتي تمثل معظم الأحمال الصناعية.

2- محولات القوى ومنظمات الجهد.

3- آلات اللحام الكهربائيّة.

4- أفران القوس الكهربائيّ والأفران الحثية.

5- الملفات الخانقة والأنظمة المغناطيسية.

6- كشافات الفلوريسنت والنيون.

✚ بتحسين معامل القدرة

تحسين معامل القدرة: هي عملية معادلة التيار المفاعل عن طريق تقليل مقدار التيار المسحوب من مصدر التغذية مع المحافظة على مقدار التيار الفعال المغذي للحمل.

وكما هو معلوم الآن، ينحصر معامل القدرة ما بين قيمتين، هما:

$$(0 \leq \text{معامل القدرة} \leq 1)$$

ولكن يبقى السؤال الآن، ما هو مقدار معامل القدرة الذي يعدّ منخفضاً وبالتالي يجب رفعه؟
 ❖ يعدّ معامل القدرة منخفضاً بالنسبة للشركات العامة المغذية للكهرباء إذا انخفض معامل القدرة عن (0.92) في أي منشأة صناعية محلية، أو عن (0.95) في بعض الدول.
 ❖ وإذا ما علمنا أن معامل القدرة الخاص بالمحركات الكهربائية يقع ما بين (0.70 – 0.80).
 < أثر تحسين معامل القدرة في المصانع والآلات بالنسبة لشركة الكهرباء:
 عند تحسين معامل القدرة فإن ذلك يؤدي إلى:

(1) تقليل التيار المسحوب من مصدر التغذية بصورة فعالة، وهذا بالتالي:

- يقلل من مقدار الهبوط في الجهد المفقود.
- يقلل من مساحة مقطع الكابلات المغذية للأحمال الكهربائية المختلفة.
- يقلل من مقدار القدرة الظاهرية لكلّ من المولدات الكهربائية في محطات توليد الطاقة.

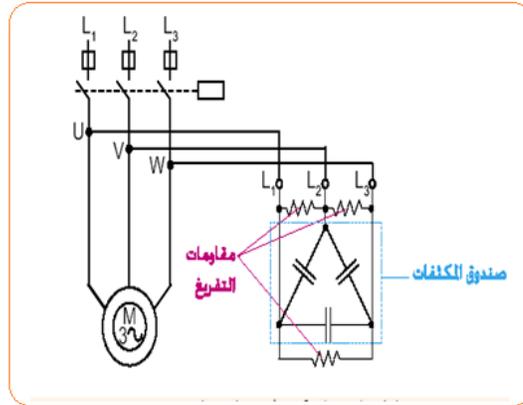
(2) يخفض من فاتورة الكهرباء للمصانع والمنشآت الصناعية.

< العناصر الكهربائية المستخدمة في تحسين (رفع) معامل القدرة.

1- المواسعات الكهربائية والتي يجب أن توصل على التوازي مع الأحمال الكهربائية المختلفة، كما هو مبين في الشكل (1)، وفي هذه الحالة يتم تثبيت القدرة الفعالة (P) ويتم تقليل القدرة غير الفعالة (Q) على حساب القدرة الظاهرية (S).

2- المحركات التزامنية (التوافقية) والتي توصل مع شبكات الضغط العالي، وفي هذه الحالة يتم تثبيت القدرة الظاهرية (S) ويتم تقليل القدرة غير الفعالة (Q) على حساب القدرة الفعالة (P).

وبيّن الشكل (1) طريقة توصيل صندوق مكثفات تحسين معامل القدرة مع حمل ثلاثي الطور له معامل قدرة منخفض.



شكل (1): طريقة توصيل المواسعات مع محرك ثلاثي الطور لتحسين معامل القدرة له

سؤال: ما هي وظيفة المقاومات المتصلة مع نظام تحسين معامل القدرة؟

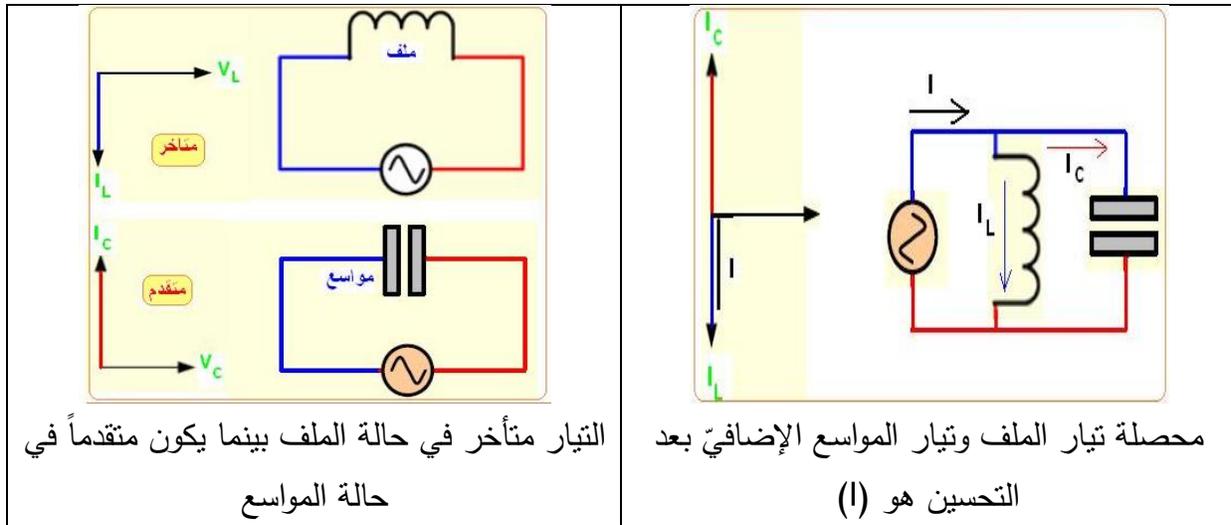
◀ مميزات تحسين معامل القدرة:

عند عمل الشبكات الكهربائية بمعامل قدرة منخفض تزداد التكاليف الرئيسية لمحطات التوليد وأنظمة النقل والتوزيع الكهربائي. ولذلك فمن المستحسن للمستهلك والمغذي أن تعمل الشبكات الكهربائية عند معامل قدرة مرتفع. والنقاط التالية تذكر بعضاً من فوائد تحسين معامل القدرة:

- 1- الاستخدام الأفضل لسعة القدرة الفعالة للمحرك.
- 2- زيادة سعة القدرة الفعالة لكل من المولد والمحول الكهربائي.
- 3- زيادة كفاءة كل الوحدات بالشبكة الكهربائية وبالتالي تقليل تكلفتها.
- 4- تحسين تنظيم الجهد على خطوط النقل الكهربائي.

◀ توضيح تأثير إضافة المواسعات على عمل النظام الكهربائي:

وللحصول على أفضل ميزة اقتصادية من القدرة الكهربائية فإن كلاً من محطات التوليد وأماكن الاستهلاك لا بد أن تعمل بكفاءة عالية. ولتحقيق ذلك من الضروري أن يكون معامل القدرة عالياً للنظام الكهربائي، معظم الأحمال في أنظمة التوزيع الكهربائي الحديثة أحمال حثية والتي تعني أنها تحتاج لمجال كهرومغناطيسي لعملها وأبسط الطرق لتحسين معامل القدرة هي إضافة مكثفات تحسين معامل القدرة لمحطة التوزيع الكهربائية، وتعمل مكثفات القوى كمولدات تيار مفاعلة، وبإضافة تيار المكثفات المفاعلة فإن التيار الكلي للنظام الكهربائي سيقبل، ولدراسة كيفية تحسين معامل القدرة في الدوائر الحثية نضع مكثفاً على التوازي مع ملف يغذى من مصدر كهربائي متناوب كما في الشكل(2).



الشكل(2):وضع مكثف على التوازي مع ملف لتحسين معامل القدرة

التيار الأول بالدائرة إلى اليمين قبل توصيل المكثف هو (I_L) ويتأخر عن جهد المصدر بزاوية 90 درجة وهو التيار الكلي المسحوب من المصدر، وعند إضافة المكثف على التوازي مع الملف فإنه يسحب تياراً سعويًا مقداره (I_C) يتقدم عن جهد المصدر بزاوية مقدارها 90 درجة، وفي هذه الحالة يكون التيار الكلي (I) المسحوب من المصدر هو مجموع التيارات في الملف والمكثف (مع أخذ الإشارة):

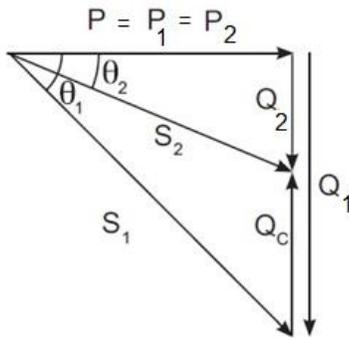
$$I = I_L - I_C$$

والإشارة السالبة تعني أن (I_C) على 180 درجة من (I_L) لذلك فإن القدرة غير الفعالة الكلية في هذه الحالة تساوي:

$$Q = V (I_L - I_C) = Q_L - Q_C$$

وبالنظر العامة للممانعة الكلية نجد أن جزءاً من المفاعلة الحثية قد عودلت بالمفاعلة السعوية مما يقلل من الممانعة الكلية المطلوبة من المصدر، هذا التقليل من الممانعة المطلوبة يؤدي إلى تحسين معامل القدرة الكلية للدائرة.

← استخدام طريقة الجداول لتحسين معامل القدرة:



وهي من الطرق الشائعة الاستعمال، وتعطي مقنن المكثف المطلوب لتحسين معامل القدرة من معامل القدرة الموجود بالفعل إلى معامل القدرة المراد الوصول إليه.

لنفرض أن معامل القدرة المراد تحسينه هو ($\cos \theta_1$) فإنه (وبالاعتماد على مثلث القدرة لحمل أحادي الطور وكذلك بتطبيق نظرية فيثاغورس) يمكن كتابة المعادلات الآتية:

$$\text{معامل القدرة قبل التحسين} = \cos \theta_1$$

$$P_1 = S_1 \times \cos \theta_1$$

$$Q_1 = S_1 \times \sin \theta_1$$

$$\therefore Q_1 = P_1 \times \tan \theta_1$$

ولنفرض أن معامل القدرة تم تحسينه إلى $\cos \theta_2$ فإن :

$$\text{معامل القدرة} = \cos \theta_2$$

$$P_2 = S_2 \times \cos \theta_2$$

حيث ($\cos \theta_2$) تمثل معامل القدرة بعد التحسين

$$Q_2 = S_2 \times \sin \theta_2$$

$$\therefore Q_2 = P_2 \times \tan\theta_2$$

وحيث إن $(P = P_2 = P_1)$ من الرسم السابق، لذلك فإن قدرة المكثف المطلوبة:

$$Q_C = (Q_1 - Q_2)$$

$$Q_C = P * (\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$$

$$Q_C = P * (\text{معامل الضرب})$$

أي أن معامل الضرب $(\tan\theta_2 - \tan\theta_1)$

ويبين الجدول (2) معامل الضرب لتحسين معامل القدرة من قيمة لأخرى.

مثال 1:

حمل كهربائي قدرته الفعالة 400kW بمعامل قدرة 0.8 متأخر. احسب القدرة غير الفعالة للمكثف لرفع معامل القدرة إلى 0.9 متأخر باستخدام الجداول؟

الحل:

معامل القدرة المراد تحسينه=0.8، معامل القدرة المراد الوصول إليه = 0.9

من الجدول (2) فان معامل الضرب= 0.266

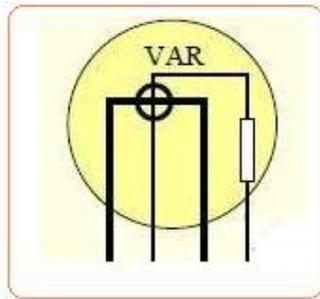
∴ القدرة غير الفعالة المطلوبة للمكثف = القدرة الفعالة x معامل الضرب

$$Q_C = P * (\text{معامل الضرب})$$

$$= 400 \times 0.266$$

$$Q_C = 106.4 \text{ kVAR}$$

ويمكن قياس القدرة غير الفعالة بجهاز يدعى جهاز قياس القدرة غير الفعالة، ويرمز له بالرمز كما في الشكل(3).



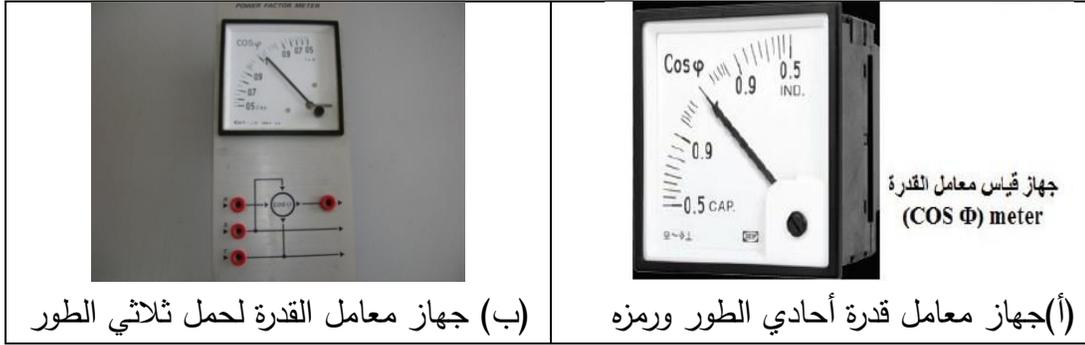
شكل(3): توصيل جهاز قياس القدرة غير الفعالة ورمزه الكهربائي

جدول(2): تحسين معامل القدرة

معامل الضرب لتحسين معامل القدرة الى :									معامل القدرة
0.80	0.85	0.90	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	المراد تحسينه
0.583	0.713	0.849	1.004	1.041	1.082	1.130	1.190	1.333	0.60
0.549	0.679	0.815	0.970	1.007	1.048	1.096	1.156	1.229	0.61
0.515	0.645	0.781	0.936	0.973	1.014	1.062	1.122	1.265	0.62
0.483	0.613	0.749	0.904	0.941	0.982	1.030	1.090	1.233	0.63
0.451	0.581	0.717	0.872	0.909	0.950	0.998	1.058	1.201	0.64
0.419	0.549	0.685	0.840	0.877	0.918	0.966	1.026	1.169	0.65
0.388	0.518	0.654	0.809	0.846	0.887	0.935	0.990	1.138	0.66
0.358	0.488	0.624	0.779	0.816	0.857	0.905	0.965	1.108	0.67
0.328	0.458	0.594	0.749	0.786	0.827	0.875	0.935	0.078	0.68
0.299	0.429	0.565	0.720	0.757	0.798	0.846	0.906	1.049	0.69
0.270	0.499	0.536	0.691	0.728	0.769	0.817	0.877	1.020	0.70
0.242	0.372	0.508	0.663	0.700	0.741	0.789	0.849	0.992	0.71
0.214	0.344	0.470	0.635	0.672	0.713	0.761	0.821	0.964	0.72
0.186	0.316	0.452	0.606	0.644	0.685	0.733	0.793	0.936	0.73
0.159	0.289	0.425	0.580	0.617	0.658	0.706	0.766	0.909	0.74
0.132	0.262	0.398	0.553	0.590	0.631	0.679	0.739	0.882	0.75
0.105	0.235	0.371	0.526	0.563	0.604	0.652	0.712	0.855	0.76
0.079	0.209	0.345	0.500	0.537	0.578	0.626	0.686	0.829	0.77
0.052	0.182	0.381	0.473	0.510	0.551	0.559	0.659	0.802	0.78
0.026	0.156	0.292	0.447	0.484	0.525	0.573	0.633	0.776	0.79
---	0.130	0.266	0.421	0.458	0.499	0.547	0.607	0.750	0.80
---	0.104	0.240	0.395	0.432	0.473	0.521	0.581	0.724	0.81
---	0.078	0.214	0.369	0.406	0.447	0.495	0.555	0.698	0.82
---	0.052	0.188	0.343	0.380	0.421	0.469	0.529	0.672	0.83
---	0.026	0.162	0.317	0.354	0.395	0.443	0.503	0.646	0.84
---	---	0.136	0.291	0.328	0.369	0.417	0.477	0.620	0.85
---	---	0.109	0.264	0.301	0.342	0.390	0.450	0.592	0.86
---	---	0.083	0.238	0.275	0.316	0.364	0.424	0.567	0.87
---	---	0.056	0.211	0.248	0.289	0.337	0.397	0.540	0.88
---	---	0.028	0.183	0.220	0.261	0.309	0.369	0.512	0.89
---	---	---	0.155	0.192	0.233	0.281	0.341	0.484	0.90
---	---	---	0.127	0.164	0.205	0.253	0.313	0.456	0.91
---	---	---	0.097	0.134	0.175	0.223	0.283	0.426	0.92
---	---	---	0.066	0.103	0.144	0.192	0.252	0.395	0.93
---	---	---	0.034	0.071	0.112	0.160	0.220	0.363	0.94
---	---	---	---	0.037	0.078	0.126	0.186	0.329	0.95
---	---	---	---	---	---	0.089	0.149	0.292	0.96
---	---	---	---	---	---	0.048	0.108	0.251	0.97
---	---	---	---	---	---	---	0.060	0.203	0.98
---	---	---	---	---	---	---	---	0.143	0.99

◀ جهاز قياس معامل القدرة (Power Factor meter):

يقيس جهاز قياس معامل القدرة النسبة ما بين القدرة الفعالة (P) والقدرة الظاهرية (S)، ويتكون الجهاز أحادي الطور من ملفين: ملف الجهد الذي يوصل على التوازي مع الحمل، وملف التيار الذي يوصل على التوالي مع الحمل. وغالباً ما تكون قراءة معامل القدرة في حالة الحمل المادي (الواحد صحيح) في منتصف المقياس، بينما ينحرف المؤشر إلى اليمين ليدل على أن الحمل حثي أو إلى اليسار ليدل على أن الحمل سعوي. ويبين الشكل (4-أ) جهاز معامل قدرة لحمل أحادي الطور وكذلك رمزه الكهربائي، بينما يبين الشكل (4-ب)، جهاز قياس معامل قدرة لحمل ثلاثي الطور.

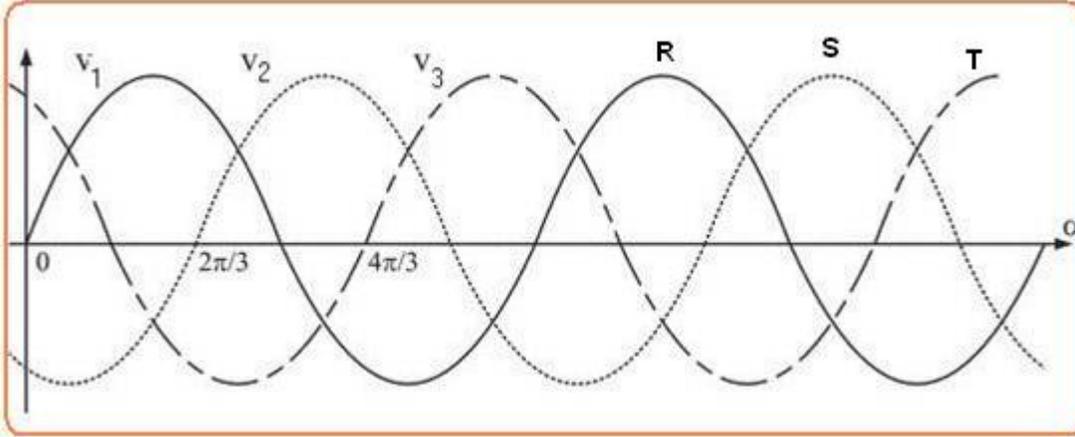


الشكل (4): أجهزة قياس معامل القدرة التماثلية

من المعلوم أن تشغيل الأحمال الكهربائية يتبع طبيعة العمل وظروفه، فقد تعمل الأحمال جميعها دفعة واحدة أو قد يعمل جزء منها فقط. وهذا يعني أن معامل القدرة يتغير مع الوقت مما يعني اختلاف قيم المواسعات التي تلزم لرفع معامل القدرة عند كل قيمة من قيم معامل القدرة التي تتغير مع مرور الزمن في اليوم الواحد، هذا يتطلب جهازاً رقمياً (power-factor-controller) معيناً للتحكم بشكل أوتوماتيكي في وصل وفصل ما يسمى (صندوق المواسعات - capacitor bank) حسب الحاجة، وحديثاً يتم تصنيع هذه الأجهزة الرقمية من قبل شركات كثيرة ومتنوعة والتي تتركب على واجهة اللوحات الرئيسية بغرض التوفير في فاتورة الكهرباء.

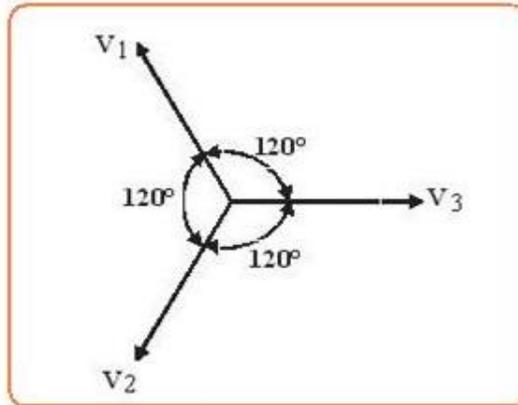
أسئلة الدرس	
1-	ما هو المقصود بمعامل القدرة، وما هي فوائده، وكيف يتم تحسينه؟
2-	ارسم دائرة تحسين معامل القدرة لحمل ثلاثي الطور للتحكم بها يدوياً؟
3-	بين كيف يؤثر إضافة مكثفات على التوازي مع الأحمال في تحسين معامل القدرة مستعينا بالرسم؟
4-	حمل كهربائي قدرته الفعالة 500 kW بمعامل قدرة 0.85 متأخر. احسب القدرة غير الفعالة المقننة للمكثف لرفع معامل القدرة إلى 0.95 متأخر باستخدام الجداول؟

تعرفت سابقاً على التيار أحادي الطور أو (أحادي الموجه) وآلية توليده، إلا أنه وكما أسلفنا سابقاً، فإن معظم المولدات التزامنية المستعملة في الشبكات العامة تنتج تياراً متردداً ثلاثي الطور. وهو عبارة عن نظام ذي ثلاثة جهود (أو تيارات) مرتبطة ببعضها بعضاً كما هو مبين في الشكل (1).



شكل (1): موجات جهود (تيارات) لنظام ثلاثي الطور

ويفضل استخدام هذا النظام في توليد الكهرباء كونه يسبب مفاويز نحاسيه في خطوط النقل أقل من النظام أحادي الوجه وذلك للقدرة المنقولة نفسها، ويكون النظام متماثلاً (متزناً) عندما تتساوى فيه القيم الفعالة للجهود (والتيارات) الثلاثة، وتتقدم زاوية جهد (وتيار) الطور الأول (R) عن زاوية الطور الثاني (S) بـ (120°) كما تتقدم هذه الأخيرة عن زاوية الطور الثالث (T) بالزاوية نفسها (120°) كما هو مبين في الشكل (2). ويؤدي النظام المتزن إلى تشغيل مكونات الشبكة وأعمالها الثلاثية الأطوار بطريقة أحسن، ولهذا يتم تصميم الشبكات بحيث تكون في حالة قريبة من النظام المتزن.

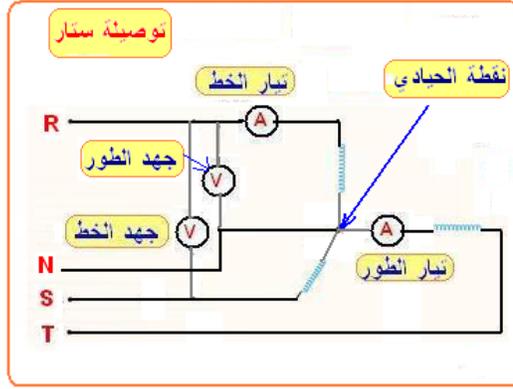


شكل (2): متجهات الجهود (أو التيارات) لنظام ثلاثي الطور

وهناك طريقتان لتوصيل مولدات التيار المتناوب ثلاثية الطور كما هو الحال أيضاً في توصيل الأحمال الكهربائية ثلاثية الطور، وهما توصيلتا ستار ودلتا.

العلاقات الخاصة بكل من توصيلة ستار وتوصيلة دلتا في النظام ثلاثي الأطوار:

يمكن أن تتصل مصادر الجهد أو الأحمال الكهربائية في النظام ثلاثي الأطوار بإحدى طريقتين، هما (توصيلة ستار أو توصيلة دلتا). ويظهر الشكل(3) توصيلة ستار(ذات الأربعة خطوط) التي تحتوي على النقطة المشتركة (نقطة الحيادي(N)) والثلاثة أطوار (R,S,T) .



شكل (3): توصيلة ستار (Y) علاقة جهد الخط والطور والتيار الخط والتيار الطور

من الشكل السابق لتوصيلة ستار نتبين الحقائق الآتية:

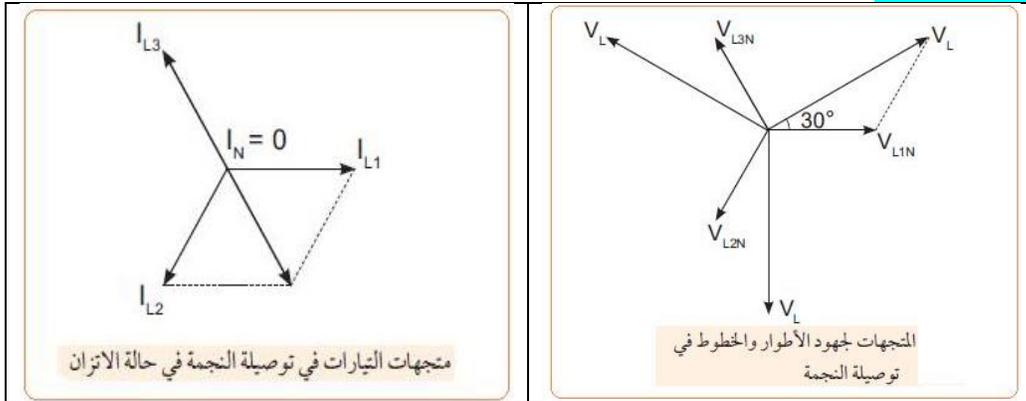
- يكون تيار الخط (I_L) مساوياً لتيار الطور (I_{Ph}) في توصيلة ستار (Y)، أي أن:

$$I_L = I_{Ph}$$

- في توصيلة ستار يرتبط جهد الخط (V_L) بجهد الطور (V_{Ph}) بالعلاقة الآتية:

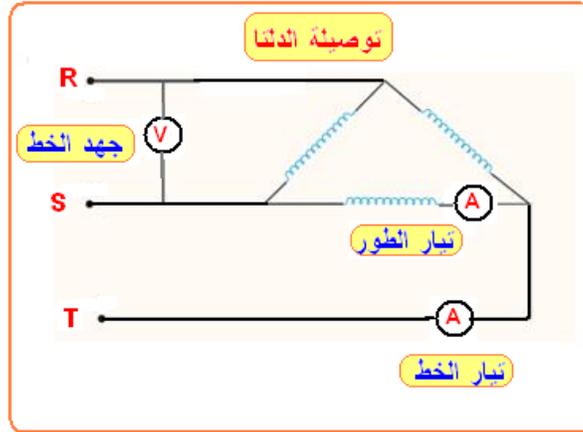
$$V_L = \sqrt{3} * V_{Ph}$$

ويكون المجموع المتجهي لكل من جهود الخط وجهود الطور في النظام الثلاثي مساوياً للصفر بالرغم من وجود زاوية تساوي (30) درجة ما بين متجه جهد الخط ومتجه جهد الطور لأي من الجهود الثلاث في توصيلة ستار كما هو مبين في الشكل (4).



شكل(4): متجهات الجهود في توصيلة ستار (النجمة) ومتجهات التيارات (في حالة الاتزان)

وكذلك فإن المجموع المتجهي لتيارات الخط الثلاث يساوي صفراً في حالة الأحمال المتزنة (محرك ثلاثي الطور مثلاً) بينما لا يساوي صفراً في حالة الأحمال ثلاثية الطور غير المتزنة. ويظهر الشكل(5) توصيلة الدلتا التي تحتوي ثلاثة خطوط فقط حيث لا تحتوي على نقطة التعادل (النوترال-N).



شكل(5): توصيلة دلتا (Δ) وعلاقة جهد الخط وجهد الطور وكذلك تيار الخط وتيار الطور وبين الشكل (5) لتوصيلة الدلتا الحقائق الآتية:

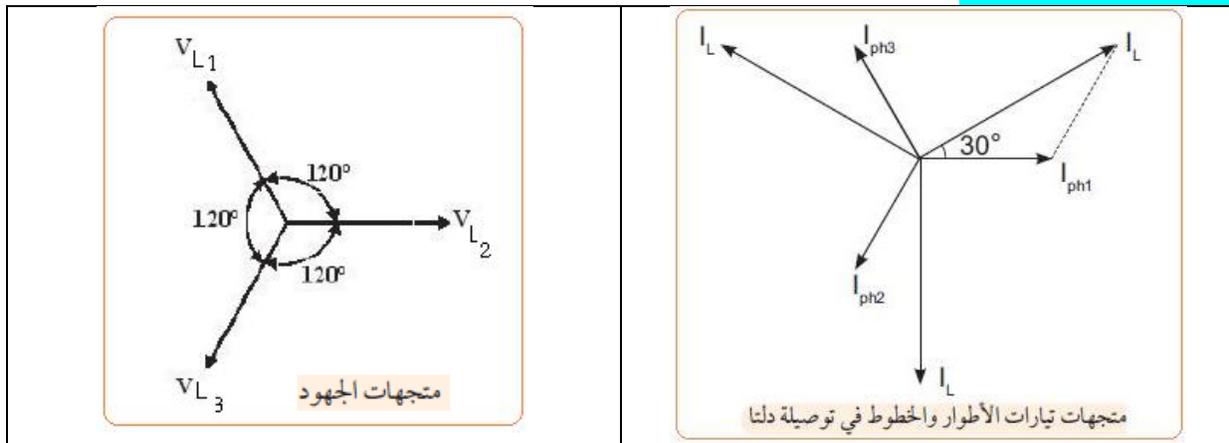
- يكون جهد الخط (V_L) مساوياً لجهد الطور (V_{Ph}) في توصيلة ستار (Δ)، أي أن:

$$V_L = V_{Ph}$$

- في توصيلة الدلتا ترتبط تيار الخط (I_L) بتيار الطور (I_{Ph}) بالعلاقة الآتية:

$$I_L = \sqrt{3} * I_{Ph}$$

ويكون المجموع المتجهي لكل من تيارات الخط وتيارات الطور في النظام الثلاثي مساوياً للصفر بالرغم من وجود زاوية تساوي (30) درجة ما بين متجه تيار الخط ومتجه تيار الطور لأي من التيارات الثلاث في توصيلة دلتا كما هو مبين في الشكل(6).



شكل(6):متجهات التيارات في توصيلة دلتا وكذلك متجهات جهود الخطوط

✚ القدرة الكهربائية في الدوائر ثلاثية الطور:

وبالتالي يمكن كتابة علاقات القدرة الفعالة وغير الفعالة والظاهرية لنظام ثلاثي الطور متزن كما هو مبين أدناه :
القدرة الفعالة (P) ووحدتها (W) أو مضاعفاتها تساوي:

$$P = \sqrt{3} * V_L * I_L * \cos \theta$$

بينما:

القدرة غير الفعالة (Q) ووحدتها (VAR) أو مضاعفاتها تساوي:

$$Q = \sqrt{3} * V_L * I_L * \sin \theta$$

وكذلك فإن:

القدرة الظاهرية (S) ووحدتها (VA) أو مضاعفاتها تساوي:

$$S = \sqrt{3} * V_L * I_L$$

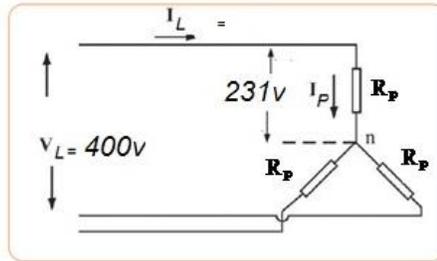
مثال 1:

يتغذى حمل مادي ثلاثي الطور متزن مقاومته (50 Ω) من مصدر جهد ثلاثي الطور (مولد) بجهد خط مقداره (400 فولت)، احسب من تيار الخط وتيار الطور لكل طور في حالة كون الحمل متصلاً:
أ- بطريقة ستار.
ب- بطريقة دلتا.

الحل:

الحمل المادي هو حمل يكون معامل قدرته مساوياً للواحد صحيح، حيث إن زاوية فرق الطور تساوي صفراً.
أ- يبين الشكل (7) طريقة توصيل الحمل المادي المتزن بطريقة ستار مع مصدر الجهد ثلاثي الطور.
لاحظ أن قيمة جهد الخط تساوي (400) فولت، بينما يمكن إيجاد جهد الطور V_p :

$$= \frac{V_L}{\sqrt{3}} = \frac{400}{1.73} = 231V V_p$$

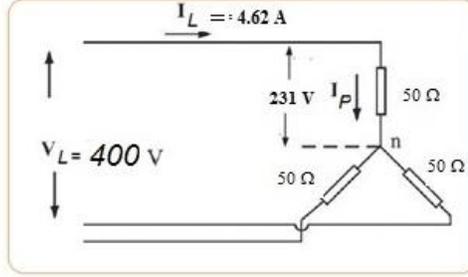


شكل (7): حمل مادي ثلاثي الطور متصل بطريقة ستار مع مصدر تغذية

يمكن حساب تيار الطور في توصيلة ستار من قانون أوم كما في الشكل (8).

$$= \frac{V_p}{R_p} I_p$$

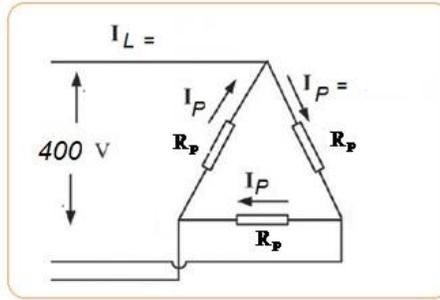
$$= 4.62A I_P = \frac{231}{50}$$



شكل(8): تيار الطور (أو تيار الخط) لحمل متزن متصل بطريقة ستار

ب-يبين الشكل(9) طريقة توصيل الحمل المادي المتزن متصلاً بطريقة دلتا مع مصدر الجهد ثلاثي الطور، لاحظ أن قيمة جهد الخط يساوي (400) فولت، وهو يساوي جهد الطور V_P :

$$400\text{V} = V_P = V_L$$



شكل(9): توصيل الحمل بطريقة دلتا وحساب التيارات

وبالتالي يمكن حساب تيار الطور من قانون أوم كما يلي: شكل(10)

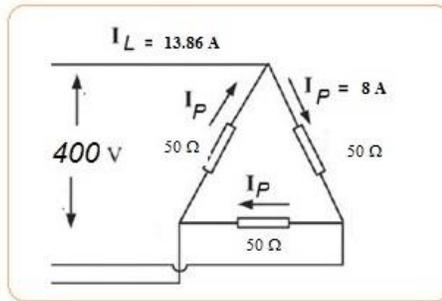
$$= \frac{V_P}{R_P} I_P$$

$$= \frac{400}{50} = 8A I_P$$

وكذلك يمكن حساب قيمة تيار الخط لتوصيلة دلتا من العلاقة:

$$= \sqrt{3} * I_P I_L$$

$$= 8 * 1.73 = 13.86A I_L$$



شكل(10): قيم تيار الخط وتيار الطور لتوصيل حمل بطريقة دلتا

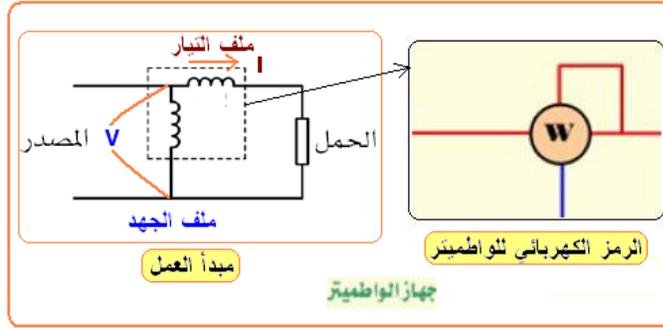
ملاحظة: من القيم التي تم حسابها في المثال السابق يمكن الاستنتاج ما يلي:

- 1- إن قيمة تيار الخط المسحوب من المصدر في حالة توصيل الحمل بتوصيلة دلتا يساوي (3) أضعاف قيمة التيار المسحوب منه في حالة توصيل الحمل نفسه بتوصيلة ستار.
- 2- إن قيمة التيار المار في كل ملف للحمل في توصيلة دلتا أكبر منه في توصيلة ستار بمقدار $(\sqrt{3})$.
- 3- إن قيمة تيار وسيلة الحماية لحمل متصل بطريقة ستار ينخفض بمقدار حوالي $\frac{1}{\sqrt{3}}$ (57%) عنه في حالة توصيله دلتا.

نشاط (1): اكتب بحثاً عن كلٍّ من توصيلة ستار وتوصيلة دلتا في الحياة العملية.

أجهزة قياس القدرة الكهربائية (الواطميتر): (Watt meter)

يستخدم هذا الجهاز لقياس القدرة الفعالة في دارات التيار المتردد والمستمر. ويعتمد مبدأ عمله على قياس كلٍّ من التيار المار في الحمل باستخدام ملف توالي وكذلك قياس قيمة الجهد على طرفي الحمل في الوقت نفسه باستخدام ملف توازي وذلك حسب قانون القدرة الفعالة كما في الشكل (11).

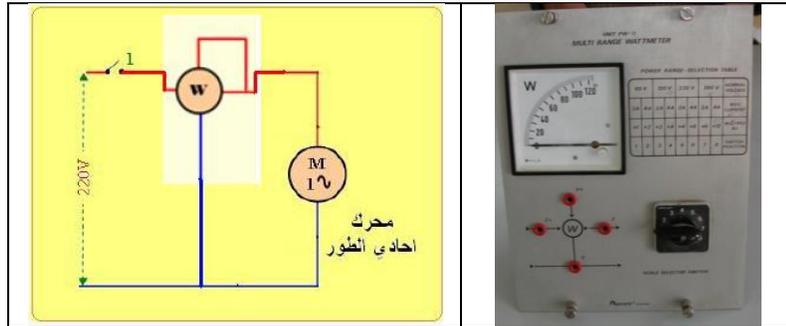


شكل (11): مكونات جهاز الواطميتر ومبدأ عمله ورمزه

وتقسم أجهزة قياس القدرة إلى أحادية الطور وثلاثية الطور في دوائر التيار المتردد.

أ- جهاز قياس القدرة أحادي الطور:

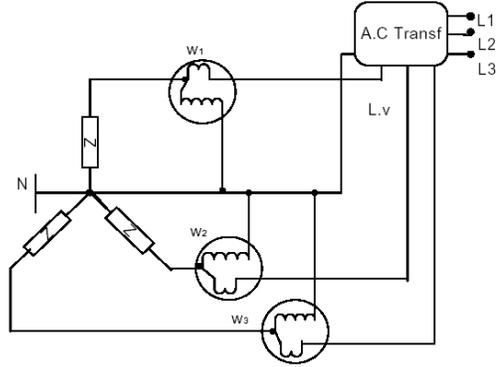
يبين الشكل (12) طريقة توصيل جهاز قياس القدرة أحادي الطور (1 فاز) حيث يتم توصيل الجهاز مع خطي الطور النيوترال لكلٍّ من المصدر والحمل.



شكل (12): توصيل جهاز الواطميتر أحادي الطور مع المصدر ومع الحمل

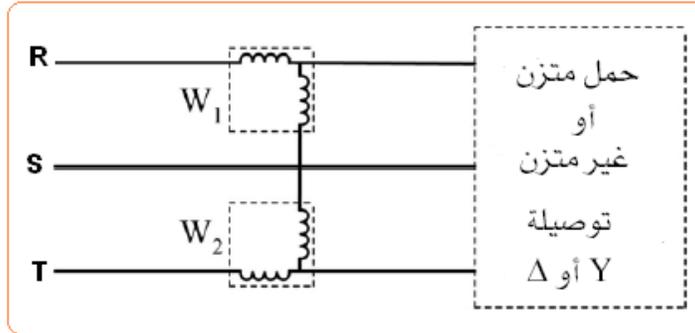
ب- جهاز قياس القدرة ثلاثي الطور:

يبين الشكل (13) طريقة توصيل جهاز قياس القدرة ثلاثي الطور (رباعي الأسلاك) باستخدام ثلاثة واطميترات وحيث يتم توصيل جهاز واطميتر أحادي الطور مع كل طور من الأطوار الثلاثة مع الحمل ثلاثي الطور (محرك مثلاً) المتصل بطريقة دلتا أو بطريقة ستار.



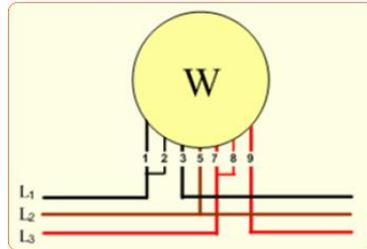
شكل (13): طريقة توصيل جهاز الواطميتر (رباعي الأسلاك) مع حمل ثلاثي الطور متصل بطريقة ستار

ومن الشكل السابق يمكن الاستنتاج أنه يمكن توصيل جهاز قياس قدرة واحد فقط عندما يكون الحمل متزناً ومن ثم يمكن الحصول على القدرة المستهلكة في الحمل الثلاثي الطور المتزن بضرب قيمة قراءة الجهاز بالرقم ثلاثة. أما الشكل (14)، فيوضح طريقة قياس القدرة الفعالة لحمل ثلاثي الطور بطريقة الواطميترين وذلك لحمل متزن أو غير متزن.



شكل (14) : طريقة قياس القدرة للأحمال الكهربائية المتزنة وغير المتزنة في الدوائر ثلاثية الطور ثلاثية الأسلاك

وبين الشكل (15) جهاز قياس القدرة ثلاثي الطور لحمل ثلاثي الطور ثلاثي الأسلاك

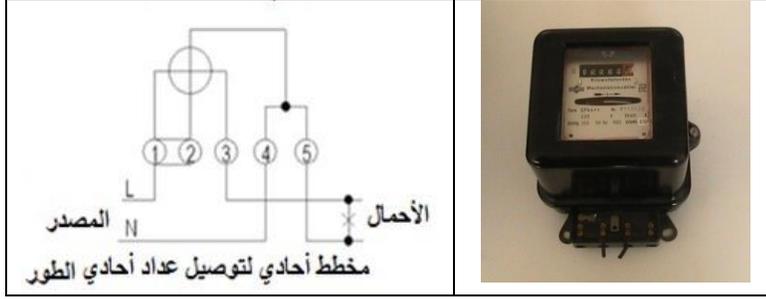


شكل (15) : طريقة قياس القدرة باستخدام جهاز واطميتر ثلاثي الطور ثلاثي الأسلاك

✚ جهاز قياس الطاقة الكهربائية (الكيلووات.ساعة): (KWh-meter)

◀ عداد الطاقة أحادي الطور:

يستخدم عداد الطاقة الكهربائي لقياس الطاقة الكهربائية المستهلكة في فترة زمنية معينة وتعطى قيمتها بالكيلووات.ساعة (KWh). وتصنع عدادات الطاقة أحادية وثلاثية الطور للاستخدامات المنزلية والصناعية على التوالي. ويظهر الشكل (16) عداد طاقة منزلي ومخطط توصيله.



شكل (16): عداد الطاقة أحادي الطور منزلي (1 فاز)

ويقسم العداد الكهربائي من حيث التركيب الداخلي إلى الأنواع الآتية:

1- عداد كهروميكانيكي يحتوي على مسجل ميكانيكي مرقم موصول بالقرص الدوار.

2- عداد إلكتروني يحتوي على شاشة رقمية.

وبين الشكل (17) عدادات كهروميكانيكية وإلكترونية أحادية وثلاثية الطور.



عداد إلكتروني
ثلاثي الطور

عداد إلكتروني
أحادي الطور

عداد كهروميكانيكي
ثلاثي الطور

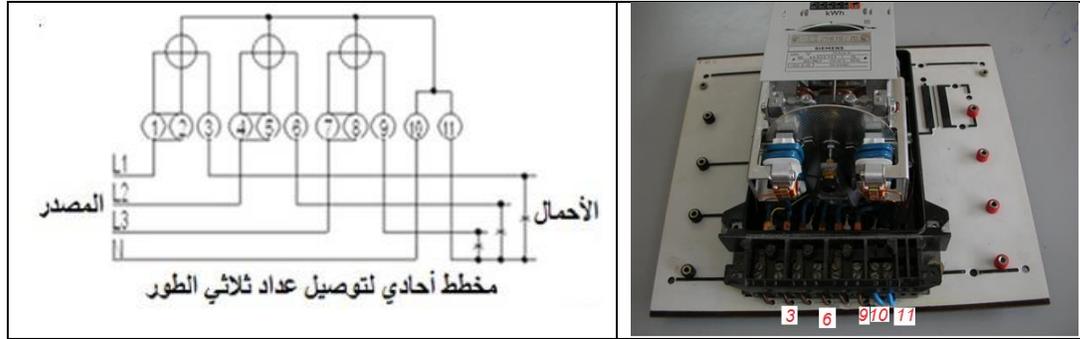
عداد كهروميكانيكي
أحادي الطور

شكل (17): عدادات كهروميكانيكية وإلكترونية أحادية وثلاثية الطور

◀ عداد الطاقة ثلاثي الطور:

تختلف طريقة توصيل عدادات الطاقة باختلاف نوع وطبيعة عمل العداد. ويتصل كل طرف ملف توالي مع طرف ملف توازي في نقطة واحدة (من خلال وصلة) ظاهرة عند نقاط توصيل الجهاز الثمانية لتمثل كل أربعة أطراف إحدى جهتي توصيل العداد ثلاثي الطور رباعي الأسلاك.

ويتكون عداد الطاقة ثلاثي الطور من ثلاثة ملفات توالي تسمى **ملفات التيار** والتي تكون متصلة على التوالي ما بين كل من الحمل والمصدر، وكذلك من ثلاثة ملفات توازي تسمى **ملفات الجهد** وتتصل على التوازي ما بين كل خط الطور وخط النيوترال كما هو ظاهر في الشكل (18)، ويبين الشكل (18) شكل العداد ومخطط توصيله.



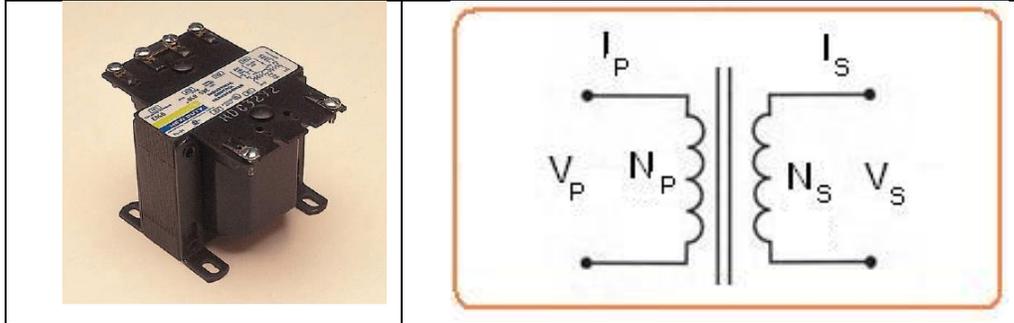
الشكل (18): طريقة توصيل عداد الطاقة ثلاثي الطور رباعي الأسلاك المركب في المنشآت الصناعية

ملاحظة: عند توصيل العدادات باختلاف أنواعها يفضل الرجوع إلى مخطط الشركة الصانعة لتجنب التوصيل الخاطئ للعداد، وبالتالي تلفه أو عدم عمله بصورة صحيحة.

نشاط (2): كتابة بحث عن أجهزة قياس الطاقة الكهربائية الحديثة المستخدمة في منطقتك، وإجراء مناقشة مع المدرب والزملاء عنها؟

أسئلة الدرس	
1-	ما هو الفرق ما بين جهاز قياس القدرة والطاقة الكهربائية؟
2-	ارسم الرمز الكهربائي لكل من جهاز القدرة أحادي الطور ومثيله عداد الطاقة أحادي الطور؟
3-	احسب قيمة تيار الطور المسحوب من محرك أحادي الطور قدرته (750) وات، يعمل من مصدر أحادي الطور بجهد (220V) وبمعامل قدرة قيمته (0.75)؟
4-	احسب قيمة تيار الخط المسحوب من محرك ثلاثي الطور قدرته (750) وات، يعمل من مصدر ثلاثي الطور بجهد خط (380V) وبمعامل قدرة قيمته (0.75)؟

يعدّ المحول الكهربائيّ من الأجهزة الكهربائية التي يتم بواسطتها نقل القدرة الكهربائية المتغيرة (AC) من دائرة إلى أخرى، ويتم ذلك عن طريق الحث الكهرومغناطيسي الذاتي والمتبادل بين ملفيه الابتدائيّ (primary) والثانويّ (secondary) مع إمكانية رفع أو خفض الجهد أو التيار في أيّ من الملفين حسب عدد لفات كلّ منهما.



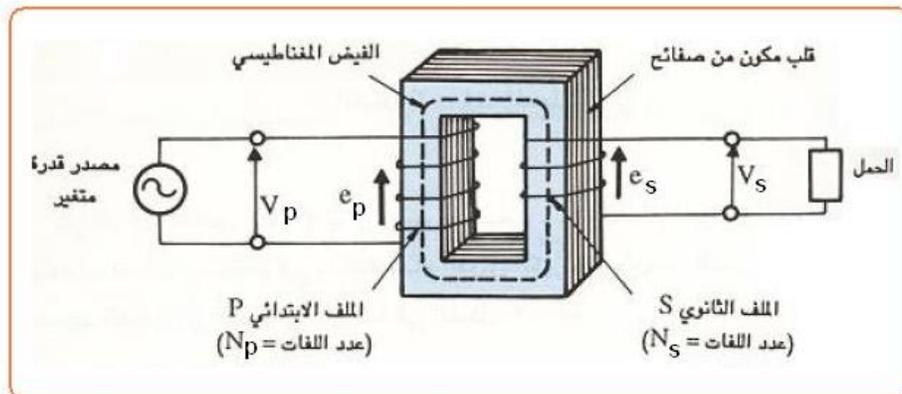
شكل (1): تمثيل المحول الكهربائيّ ذي القلب الحديدي وشكله

وتختلف المحولات من حيث كمية القدرة الكهربائية التي يمكن أن تنقلها من دائرة إلى أخرى، والتي عادة ما يعبر عنها بسعة المحول (S) التي تقاس بوحدة الفولت أمبير (VA) أو مضاعفاتها كما تختلف القدرة المنقولة كذلك بناء على تردد جهد المصدر ونوع مادة القلب، فمنها القلب القشريّ والحديديّ المغلق والحلقي.

✚ مبدأ عمل المحول الكهربائي ومكوناته واستخداماته:

مبدأ عمل المحول الكهربائيّ: يعتمد على مبدأ الحث الكهرومغناطيسي المتبادل ما بين الملفات، ويعدّ المحول الكهربائي محركاً ساكناً، ويستخدم في رفع أو خفض الجهد مع ثبات التردد في أجهزة التحكم والاتصال والقياس ونقل الطاقة الكهربائية.

يتكوّن المحول الكهربائي أحادي الطور من ملفين رئيسيين: هما الملف الابتدائيّ والملف الثانويّ، ويتم لف كلّ من لفات الملف الابتدائيّ (N_p) ولفات الملف الثانويّ (N_s) على قلب حديدي واحد ليشكل ممراً جيداً لخطوط المجال المغناطيسي اللازمة لربط الملفين معاً ربطاً مغناطيسياً وليس ربطاً كهربائياً كما هو مبين في الشكل (2).



شكل (2): تركيب المحول الكهربائيّ ومبدأ عمله

وتنتقل الطاقة الكهربائية من مصدر الجهد المتصل بالملف الابتدائي إلى الحمل المتصل بالملف الثانوي من خلال خطوط المجال المغناطيسي. ويلعب القلب الحديدي المكون من شرائح من الحديد المعزولة عن بعضها بعضاً والمضغوطة جيداً والمثبتة بإحكام دوراً مهماً في تجميع خطوط المجال المغناطيسي وبالتالي تقليل الخسائر في الطاقة المنقولة.

وإذا ما وصل طرفي الملف الابتدائي للمحول الكهربائي أحادي الطور المبين في الشكل (2) مع مصدر جهد متردد (V_p)، فإن المجال المغناطيسي المتغير الناتج من مرور التيار المتغير في الملف الابتدائي سيقطع كلياً أو جزئياً الملف الثانوي، مما يسبب توليد جهد كهربائي متناوب (قوة دافعة كهربائية) بين طرفي الملف الثانوي مقداره (V_s) .

وتتناسب قيمة القوة الدافعة الكهربائية (e) المتولدة في أي من الملفين طردياً مع كل من التغير في التدفق المغناطيسي بالنسبة للزمن وعدد اللفات (N) حسب قانون فارادى، وهذا يؤدي إلى سريان تيار كهربائي في الحمل الكهربائي المتصل بطرفي الملف الثانوي. ويعطى قانون فارادى بالعلاقة الآتية:

$$e = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

حيث إن:

e : القوة الدافعة الكهربائية (العكسية) المتولدة على أطراف الملفات وتعطى بوحدة الفولت.

N : عدد لفات الملف ويعطى بوحدة لفة.

$\Delta\Phi$: التغير في مقدار التدفق المغناطيسي ووحده وبيبر.

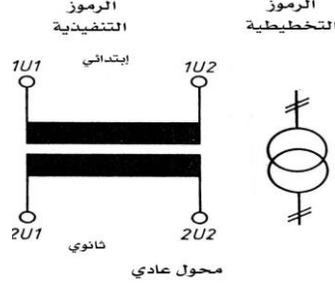
Δt : التغير في الزمن ووحده ثانية.

وحيث إن القوة الدافعة الكهربائية الحثية (e) المتولدة في ملفات الثانوي تعكس اتجاهها عندما يتحوّل التغير الحادث في الفيض المغناطيسي من الازدياد إلى النقصان (حسب قانون لنز) الذي ينص على أن القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية المتولدة تكون في اتجاه يمنع التغير في التدفق المغناطيسي الأصلي المسبب لها، لذلك يجب إضافة الإشارة السالبة في المعادلة السابقة والتي يمكن إعادة كتابتها بالأخذ بالاعتبار قانون لنز كالاتي:

$$e = - N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

يتبين من هذه المعادلة أن المحول الكهربائي لا يعمل على الجهد المستمر، لأن التيار المستمر ينتج جهداً ثابت القيمة، وبالتالي لا ينتج مجالاً مغناطيسياً متغيراً، وهذا يمثل الشرط الأساسي لتوليد التيار الكهربائي التأثيري ويعبر عنه بالمصطلح " الحركة النسبية".

يعطى المحول أحادي الطور الرمز الكهربائي المبين في الشكل (3).



شكل (3): الرمز الكهربائي لمحول عادي أحادي الطور

⚡ سعة المحول الكهربائي والتيارات والجهود التشغيلية:

تصمم المحولات وتصنع حسب الحاجة حيث تكون قدراتها التحويلية متناسبة مع الأحمال المتصلة بها، وتعطى سعة المحول الرمز (S)، وتساوي حاصل ضرب التيار في الجهد. ويمكن إيجاد التيار الكهربائي الذي يمر في دائرة الابتدائي أو الثانوي من المعادلة الآتية:

في حالة محولات الطور الواحد يعطى تيار الطور بالعلاقة:

$$I_{Ph} = \frac{S}{V_{Ph}}$$

في حالة محولات ثلاثية الطور فإن تيار الخط يُعطى بالعلاقة:

$$I_L = \frac{S}{(\sqrt{3} V_L)}$$

تقاس السعة للمحولات الصغيرة بوحدة الفولت أمبير (VA) أو بوحدة الكيلو فولت أمبير (kVA) للمحولات المتوسطة، بينما تعطى سعة المحولات كبيرة الحجم والمستعملة في محطات التوليد ومحطات التحويل الرئيسية أو تلك المستخدمة في التوزيع بوحدة الميجا فولت أمبير (MVA)، والتي غالباً ما تكون محولات ثلاثية الطور. ويمكن ذكر اسم المحول بدلالة سعته فنقول محول (45 MVA) أو محول (1000 kVA). وتحدد سعة المحولات بقيم قياسية عالمية متعارف عليها وموثقة في القياسات العالمية مثل: IEC العالمية و BS البريطانية و ANSI الأمريكية.

سؤال: ما هو الفرق بين قدرة المحول وسعته؟

⚡ اللوحة الاسمية للمحول:

تكتب سعة المحول على اللوحة الاسمية للمحول (Name plate). ويتم عادة ذكر الجهد المقرر للملفات وجهد الدارة المفتوحة (Open Circuit Voltage) وهي جهد المحول عندما تكون الأحمال على ملفه الثانوي تساوي صفراً أي جهد اللاحمل، كما تكتب قيمة الجهد بين الطور والحيادي (V_{Ph}) في حالة المحولات أحادية الطور، ويسمى جهد الطور (Phase Voltage)، في حين يكتب الجهد بين أيّ طورين في حالة المحولات ثلاثية الطور ويسمى جهد الخط (V_L) (Line Voltage). كما يتم توضيح نوع توصيلة كل من الملف الابتدائي والثانوي في حالة المحولات ثلاثية الطور مثل (Y-Y) (نجمة - نجمة) أو (Y-Δ) (نجمة - مثلث) وهكذا.

المفاهيم وكفاءة المحولات الكهربائية:

يعدّ المحول الكهربائي ذا كفاءة عالية مقارنة بالمحرك الكهربائي حيث تصل كفاءة بعضها إلى حوالي (99%) ، بينما قد تصل كفاءة المحرك في أحسن الحالات إلى (80%). وفي حالة المحول المثالي تكون العلاقة التالية صحيحة:

القدرة الكهربائية الداخلة للمحول = القدرة الكهربائية الخارجة منها

$$P_{out} = P_{in} \quad \text{في حالة المحول المثالي}$$

حيث إن :

P_{in} : القدرة الكهربائية الداخلة للمحول بالوات.

P_{out} : القدرة الكهربائية الخارجة بالوات.

إلا أن الواقع يدلّ بشكل قاطع على أن هناك خسائر تلحق بالقدرة التي تعطى للمحول تتمثل في نوعين من الخسائر تصنف كما يلي:

(1) الخسائر في المحولات الكهربائية:

أ- الخسائر الثابتة (الخسائر الحديدية):

الخسائر الثابتة: هي الخسائر التي تنشأ في القلب الحديدي للمحول نتيجة مقاومة دارة الحديد بسبب سريان التيارات الإعصارية فيها.

ب- الخسائر المتغيرة (الخسائر النحاسية):

الخسائر المتغيرة: وهي الخسائر التي تنشأ في كلّ من ملفات المحول الابتدائية والنّحاسية نتيجة المقاومة المادية للأسلاك وتتناسب تناسباً طردياً مع مربع التيار المار في كلّ منها.

وبالتالي يمكن كتابة العلاقة السابقة للمحول الحقيقي كما يلي:

القدرة الكهربائية الداخلة للمحول = القدرة الكهربائية الخارجة + مجموع الخسائر

$$P_{in} = P_{out} + P_{losses}$$

حيث إن: P_{losses} هي مجموع الخسائر

حيث إن مجموع الخسائر = الخسائر الحديدية + الخسائر النحاسية.

(2) كفاءة المحول:

وتعرف كفاءة المحول بالنسبة بين القدرة الخارجة (P_{out}) والقدرة الداخلة (P_{in}) للمحول . وتعطى كفاءة المحول الكهربائي بالعلاقة الرياضية الآتية:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} * 100\%$$

✚ تصنيفات المحولات الكهربائية:

تصنف المحولات الكهربائية من ناحية جهد المصدر إلى نوعين:

1. محولات أحادية الطور.

2. محولات ثلاثية الطور.

كما يمكن أن يتم تقسيم المحولات الكهربائية إلى ما يلي:

1. محولات عادية.

2. محولات ذاتية.

3. محولات ذات استخدامات خاصة.

بالإضافة إلى أنه يمكن تقسيم محولات الجهد الكهربائية إلى ما يلي:

1. محول خافض للجهد.

2. محول رافع للجهد.

✚ حسابات المحول العادي:

◀ العلاقات الرياضية للمحول أحادي الطور:

يرتبط كل من جهد و تيار ملفي المحول الكهربائي بعلاقة تعتمد على عدد لفات كل من ملفيه الابتدائي والثانوي.

ويمكن كتابة هذه العلاقة كما يلي:

$$\boxed{= \frac{I_p N_s}{I_s N_p} = \frac{V_s}{V_p}}$$

حيث إن:

I_p : التيار في الملف الابتدائي.

V_p : الجهد على طرفي الملف الابتدائي.

I_s : التيار في الملف الثانوي.

V_s : الجهد على طرفي الملف الثانوي.

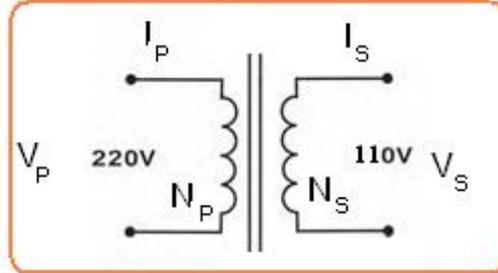
N_p : عدد لفات الملف الابتدائي.

N_s : عدد لفات الملف الثانوي.

وحيث إن أي خفض للجهد على طرفي الملف الثانوي يجب أن يقابله ارتفاع للتيار على الجهة نفسها، إلا أن العكس تماماً يحدث للجهة الأخرى من المحول، والعكس صحيح بالنسبة لمحولات الرفع.

مثال 1:

المحول أحادي الطور المبين في الشكل (5) محول خافض للجهد، سعته (100VA) وجهد الملف الابتدائي له (220V) وعدد لفاته (500) لفة.



شكل (5) : محول أحادي الطور خافض للجهد

احسب ما يلي:

1. عدد لفات الملف الثانوي (N_S) للحصول على جهد ثانوي (V_S) مقداره (110V)؟
2. التيار في كل من الملف الابتدائي والملف الثانوي؟

الحل:

1. في حالة المحول أحادي الطور تستخدم العلاقة الآتية:

$$\frac{I_S}{I_P} = \frac{N_P}{N_S} = \frac{V_P}{V_S}$$

لذلك فإن المطلوب إيجاداه هو عدد لفات الملف الثانوي (N_S):
وحيث إن نسبة تحويل الجهد تعطى بالعلاقة:

$$\frac{N_P}{N_S} = \frac{V_P}{V_S}$$

لذلك وبتطبيق القيم المعطاة في السؤال ينتج أن:

$$\frac{500}{N_S} = \frac{220}{110}$$

(وبالضرب التبادلي) ينتج أن:

$$110 * 500 = 220 * N_S$$

$$250 = N_S \text{ لفة}$$

2. ولإيجاد قيمة التيار المار في كل من الملف الابتدائي (I_P) والملف الثانوي (I_S):

في حالة المحول المثالي، نعتبر أنه لا يوجد خسائر للمحول وبالتالي فإن العلاقة الخاصة بسعة المحول (S) تعطى بالمعادل:

$$S = I_P * V_P = I_S * V_S$$

أي أن:

$$S = 100 \text{ VA} = V_p * I_p$$

وبتطبيق القيم المعطاة في السؤال ينتج أن:

$$100 \text{ VA} = 220 * I_p$$

أي أن تيار الملف الابتدائي يساوي:

$$0.454 \text{ A} = \frac{100}{220} = I_p$$

وبالطريقة ينتج أن:

$$100 \text{ VA} = 110 * I_s$$

أي أن تيار الملف الثانوي يساوي:

$$0.909 \text{ A} = \frac{100}{110} = I_s$$

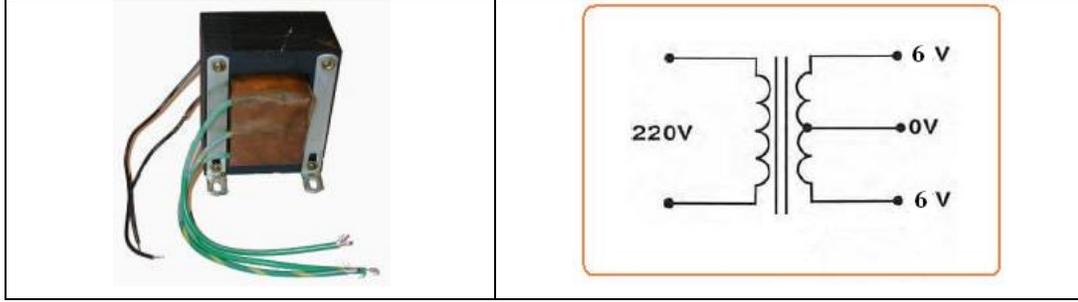
المواصفات الفنية للمحولات:

يمكن تعريف المواصفات الفنية للمحول بأنها تلك الخواص التي تميزه عن أي محول آخر، وأهم هذه المواصفات:

- 1- **فولتية الطرف الابتدائي:** وهي الفولتية التي يمكن توصيلها بالملف الابتدائي دون أن يحدث ضرر لذلك الملف كتلف العازل أو احتراق الملفات.
- 2- **فولتية الطرف الثانوي:** وهي الفولتية التي تظهر على الطرف الثاني عند تغذية الطرف الابتدائي بالفولتية المقررة.
- 3- **التيار الثانوي الأقصى:** وهو أقصى تيار ممكن للحمل أن يسحبه من الملف الثانوي دون أن يتم إتلافه.
- 4- **قدرة المحول:** تعطى القدرة المقررة لمحولات القدرة بوحدة الفولت. أمبير (VA) وليس بالواط.

استخدامات المحول أحادي الطور: حيث يتم استخدام المحول في:

- 1- **دوائر التحكم بالمحركات الكهربائية:** حيث يتم خفض جهد التحكم في لوحات توزيع كهربائية إلى قيمة قليلة لأغراض السلامة باستخدام محول خافض للجهد.
- 2- **دوائر التوحيد (التقويم):** يمكن أن يستخدم المحول الكهربائي في دوائر تحويل الجهد المتردد إلى جهد مستمر بعد خفض جهد المصدر إلى جهد تشغيل الحمل المراد تغذيته من مصدر الجهد. المتناوب كما يمكن أن يكون المحول من نوع **المحول العادي** (له طرفين على كل جهة) أو **محول ذي نقطة وسط**، ويوجد عندها ثلاثة أطراف للمحول على جهة الملف الثانوي (وليس طرفين) كما في الشكل (6).



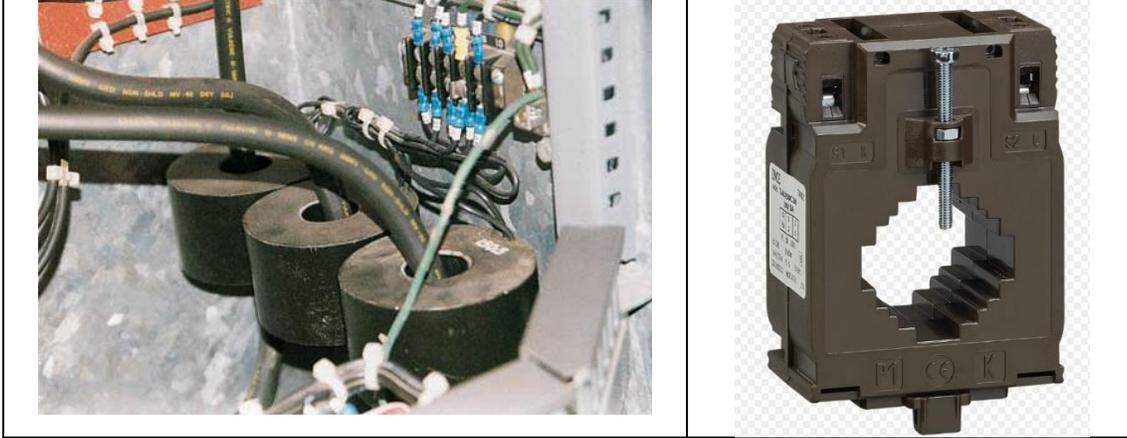
شكل (6): محول أحادي الطور ذو نقطة وسط

3- العزل: حيث يستخدم محول كهربائي يحمل ملفه الثانوي قيمة جهد ملفه الابتدائي نفسها لأغراض عزل جهد المدخل عن جهد المخرج لأغراض الحماية والسلامة. وتكون فولتية الملف الابتدائي مساوية لفولتية الملف الثانوي أي أن نسبة التحويل في الفولتية هي واحد لواحد.

4- أجهزة قياس التيار المتناوب:

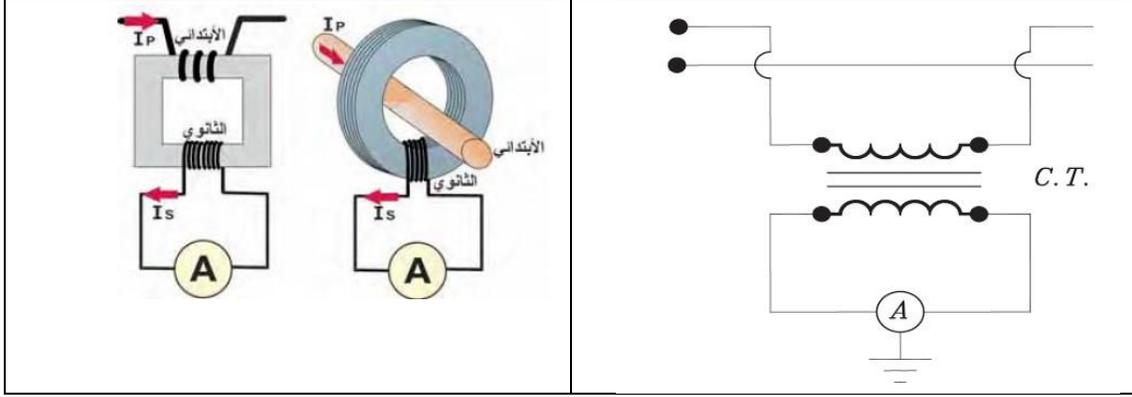
أ- محول التيار (CT- Current Transformer):

يستخدم مع أجهزة قياس التيار المتناوب بهدف خفض قيمة التيار المراد قياسه إلى قيمة مناسبة يسهل قياسها كما في الشكل (7).



شكل (7): محولات تيار تستعمل لقياس التيار المرتفع.

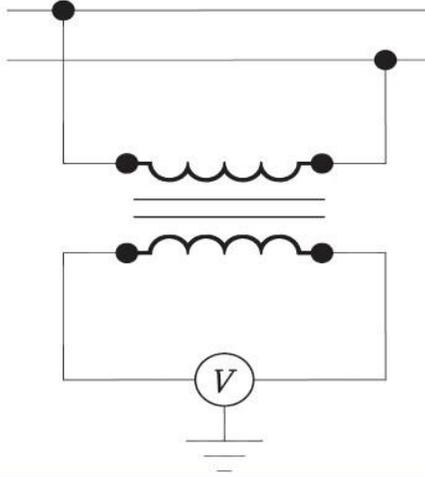
ويبين الشكل (8) كيفية توصيل محول التيار لقياس تيارات ذات قيم عالية، حيث تكون عدد لفات الملف الابتدائي قليلة وبمساحة مقطع كبيرة وتوصل على التوالي مع التيار المراد قياس قيمته، بينما يكون الملف الثانوي ذو عدد لفات كثيرة وبمساحة مقطع صغير ويوصل بجهاز قياس التيار.



شكل (8): استخدام محول التيار لقياس تيارات كبيرة

ب- محول الجهد (Voltage Transformer-VT) :

يصمم محول الجهد ليعمل كمحول ثنائي الملفات خافض للجهد، شكل (9)، ويتم تأريض ملفه الثاني ويعزل بشكل جيد عن ملفه الابتدائي لتأمين سلامة الأشخاص العاملين، وتصنع هذه المحولات بقدرات مختلفة تقاس بوحدة (VA) وقد تصل إلى مئات عديدة منها وبجهد اسمي (100) فولت أو $(100/\sqrt{3})$.

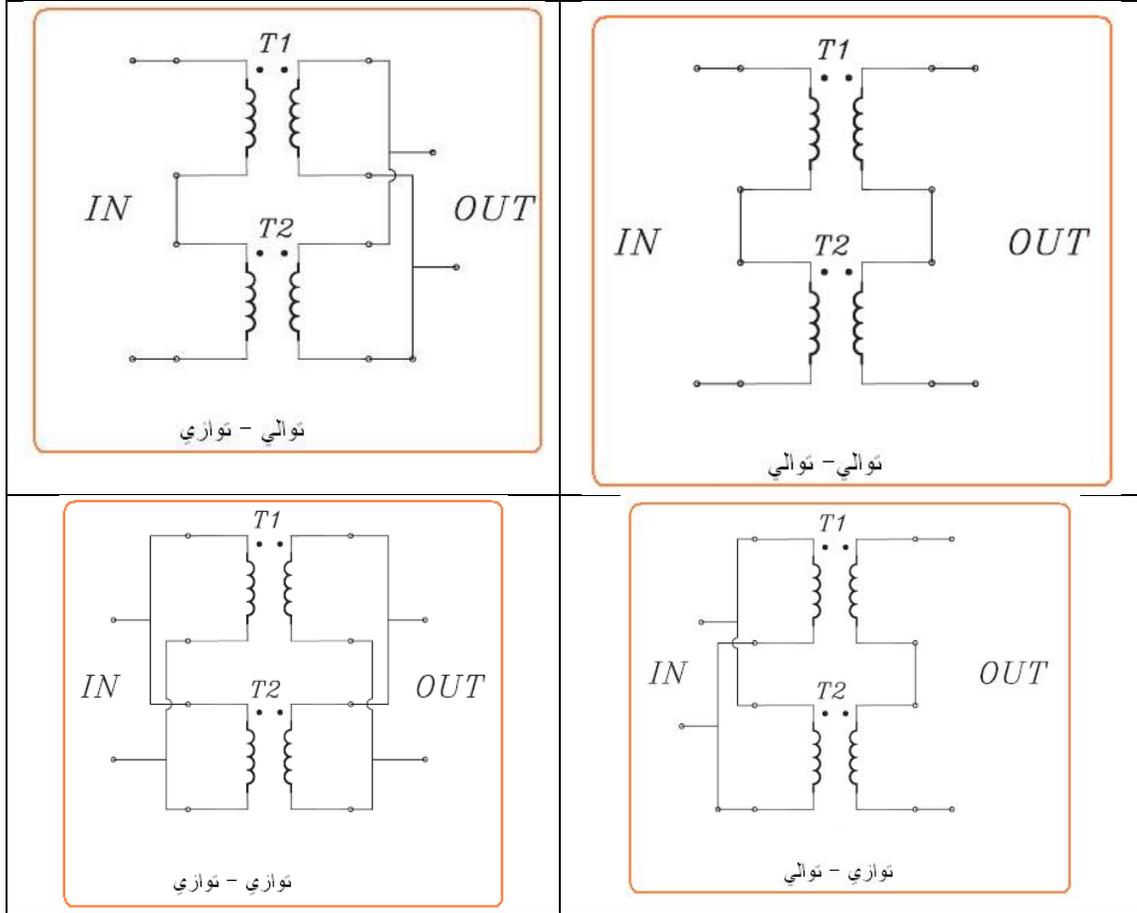


شكل (9): محول جهد أحادي الطور

❖ طرق توصيل المحولات أحادية الطور: يمكن توصيل المحولات بأربع طرق، هي:

1. توال - توال.
2. توال - تواز.
3. تواز - توال.
4. تواز - تواز.

ويبين الشكل (10) الأنواع الأربعة لهذه التوصيلات.



شكل (10): طرق توصيل المحولات أحادية الطور

سؤال: ما هي الفائدة من توصيل محولين على التوالي من جهة الحمل؟

نشاط: (1) مستعينا (بالانترنت)، اكتب بحثا عن المحولات ثلاثية الطور وطرق توصيلها؟

اسئلة الدرس :	
1-	وضح مبدأ عمل المحول الكهربائي؟
2-	ما هو المقصود بالمحول الخافض للجهد؟ بين ذلك بالرسم.
3-	ما هي أهم المواصفات الفنية للمحول؟
4-	اذكر ثلاثة من استخدامات المحول أحادي الطور؟
5-	بين التوصيلات المختلفة لمحولين كل منهما أحادي الطور مستعينا بالرسم؟

أسئلة الوحدة:

- 1- على ماذا ينصّ كلّ من قانون فارادى وقانون لنز؟
- 2- بين أين وكيف يخزن كلّ من الملف والموسع طاقته؟
- 3- عرف كلاً من القيمة الفعالة والقيمة العظمى والقيمة المتوسطة لموجة جهد متناوب؟
- 4- اذكر العلاقات الرياضية التي تربط كل من تيار وجهد الخط والطور في توصيلة ستار؟
- 5- اذكر ثلاثة من مميزات تحسين معامل القدرة؟
- 6- بين ما هو المقصود بكفاءة المحول؟ ثم اذكر أهم مواصفاته الفنية؟
- 7- ارسم طريقة توصيل عداد طاقة أحادي الطور مع كل من الحمل والمصدر؟
- 8- علل: يصمم محول التيار كمحول رافع للجهد، ويراعي عدم فتح دائرة الثانوي لمحول التيار أثناء التشغيل.
- 9- ارسم دائرة تشغيل حمل أحادي الطور حيث توضح طريقة توصيل كلّ من محول التيار ومحول الجهد مع كلّ من ساعة قياس تيار وساعة قياس جهد؟
- 10- محول أحادي الطور سعته (110VA)، فإذا كان جهد الملف الابتدائي له (220V) وعدد لفاته (600) لفة. احسب ما يلي:
 - أ- عدد لفات الملف الثانوي للحصول على جهد مقداره (110V).
 - ب- التيار المار في كل من الملف الابتدائي والثانوي؟
 - ج- القدرة الفعالة وغير الفعالة عند تزويد حمل بمعامل قدرة (0.8) متأخر في حالة الحمل الكامل.
- 11- حمل كهربائي قدرته الفعالة 35kW بمعامل قدرة 0.85 متأخر. احسب القدرة غير الفعالة للمكثف لرفع معامل القدرة إلى 0.9 متأخر باستخدام الجداول؟

12- اختر الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

أ. إن نسبة التحويل ما بين التيارين (I_p/I_s) هي نسبة:

(a) طردية لعدد اللفات لكل من الملفين.

(b) عكسية لعدد اللفات لكل من الملفين.

(c) متساوية لعدد اللفات لكل من الملفين.

(d) غير ذلك.

ب. تستخدم محولات أجهزة القياس:

(a) لقياس تيارات وجهود ذات قيم صغيرة بأجهزة قياس مصممة لقياس قيم كبيرة.

(b) لقياس تيارات وجهود ذات قيم كبيرة بأجهزة قياس مصممة لقياس قيم صغيرة .

(c) لأن دقتها عالية.

(d) لأن أي خطأ في القياس سيؤثر سلبياً على عمل هذه الأجهزة.

ج- تكون الزاوية المحصورة ما بين كل طور وآخر في نظام الثلاثة أطوار مساوية لـ:

(a) 30 درجة.

(b) 120 درجة.

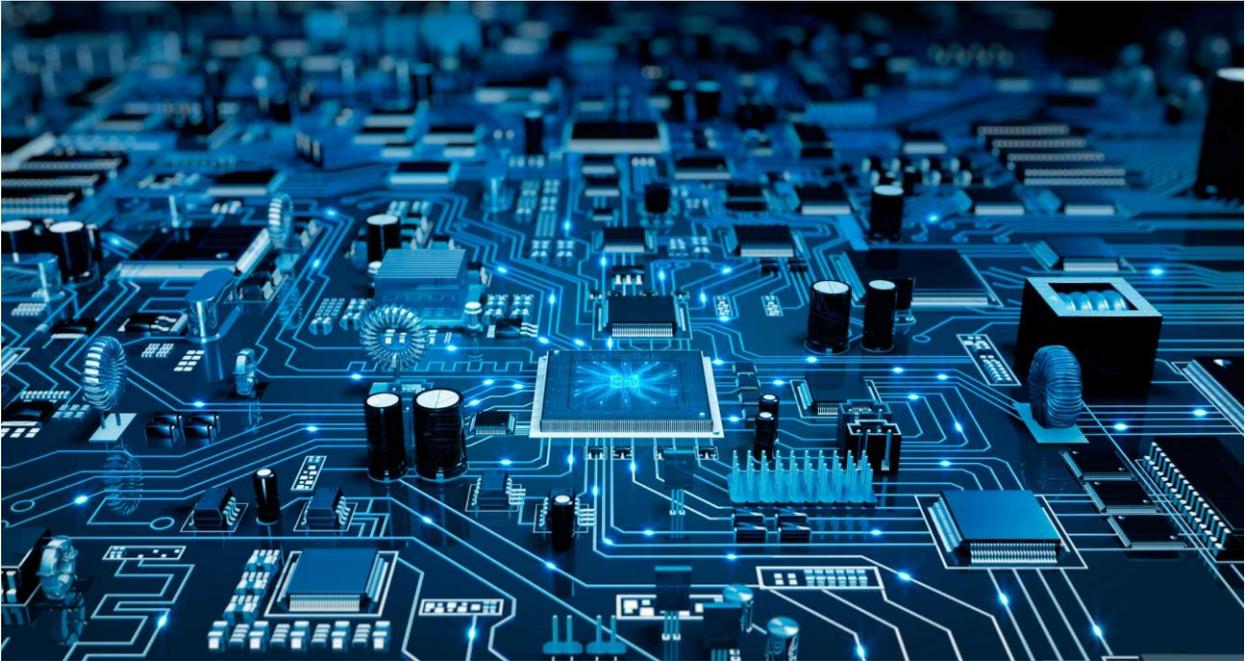
(c) 90 درجة .

(d) 180 درجة.

الوَحدة

4

أساسيات الإلكترونيات



"كوني عبقرياً في الإلكترونيات، كانت هذه أفضل سمعة حظيت بها على الإطلاق في حياتي"

ستيف وزنيك

مقدمة الوحدة

كان اكتشاف الكهرباء حدثاً رئيسياً في التاريخ، ولا يقل أهمية عنه هو اكتشاف أشباه الموصلات في منتصف القرن التاسع عشر. وقد أدى دخول أشباه الموصلات إلى الصناعات الكهربائية لحدوث ثورة بكل ما تحمله الكلمة من معنى، فقد أدى دخولها إلى فتح الباب أمام تطورات سريعة في صناعة الإلكترونيات رافقها تطور كبير في قطاعات مختلفة مثل الحواسيب والاتصالات.

توجد الإلكترونيات اليوم في كل جهاز نستخدمه فقد ساعد تطورها إلى تصغير حجم الأجهزة وزيادة قدرتها بشكل رهيب، فلم يكن بالمكان وجود كمبيوترات محمولة أو أجهزة خلية محمولة بهذه القوة والإتقان دون وجود الإلكترونيات. ومع كل التحديات التي يواجهها العلماء في تصنيع الإلكترونيات فما زالت صناعتها من أضخم قطاعات الصناعة وأهمها اقتصادياً وتكنولوجياً في العالم.

أهداف الوحدة:

- 1- التعرف إلى أشباه الموصلات.
- 2- توظيف تكنولوجيا أشباه الموصلات في دوائر كهربائية.
- 3- التعرف إلى أهم العناصر في الدوائر الإلكترونية.
- 4- تحليل تصرف العناصر الإلكترونية تحت ظروف مختلفة.
- 5- تقدير أهمية الإلكترونيات ودورها البارز في الصناعة.

تتميز المواد شبه الموصلة بأن لها خاصية فريدة، فهي توصل التيار الكهربائي بكميات وشروط يمكن التحكم بها. هذه الخصائص مكنتها من أن تكون حجر الأساس في بناء العناصر الإلكترونية وصولاً إلى أنظمة أكثر تعقيداً. فما هي أشباه الموصلات؟ وأين توجد في الطبيعة؟ وكيف يتم تصنيعها؟

أشباه الموصلات في الطبيعة

يعرف شبه الموصل أو (Semiconductor) بأنه مادة صلبة يتم التحكم في موصليتها الكهربائية بإضافة عناصر أخرى. كذلك ويمتلك شبه الموصل مقاومة كهربائية ما بين الموصلات والعوازل، ويمكن لمجال كهربائي خارجي تغيير درجة مقاومة شبه الموصل.

يعد عنصر السيلكون Si والجرمانيوم Ge من أهم العناصر المستخدمة في صناعة أشباه الموصلات ويقع كلاهما ضمن المجموعة الرابعة من عناصر الجدول الدوري. الجرمانيوم يختلف عن السيلكون في أن السيلكون يأتي من الرمال العادية أو الكوارتز فهو متوفر بكثرة، ولكن من النادر وجوده نقياً في الطبيعة. وكثيراً ما يكون مختلطاً بالغبار والرمل في الكويكبات والكواكب بصور عديدة من ثاني أكسيد السيلكون والسليكات. تتألف حوالي 90% من القشرة الأرضية من معادن السليكات، مما يجعل السيلكون ثاني أكثر عنصر متوفر في القشرة الأرضية ونتيجة لذلك فإن ثمن شراء السيلكون أقل من 10 دولارات للكيلوغرام الواحد، إلا أن سعر 1 كغ من الجرمانيوم يقرب من 800 \$. لهذا السبب تميل معظم صناعات أشباه الموصلات إلى استخدام السيلكون لا الجرمانيوم.



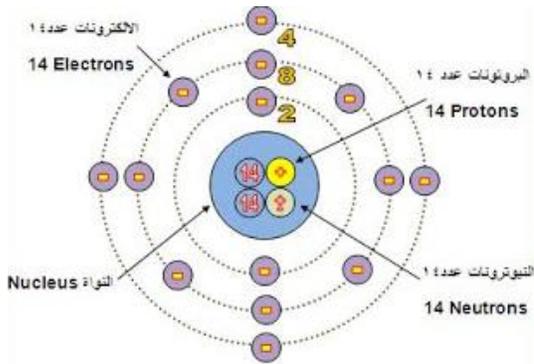
عنصر الجرمانيوم النقي



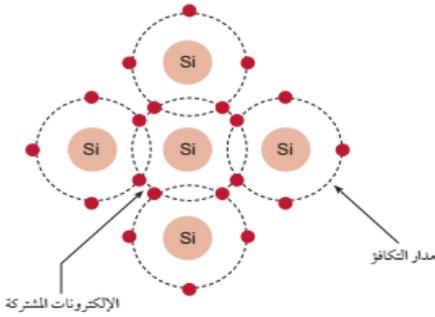
عنصر السيلكون النقي

نشاط: (1) للسيلكون استخدامات عديدة أخرى غير صناعة أشباه الموصلات، ابحث عنها وناقشها مع زملائك.

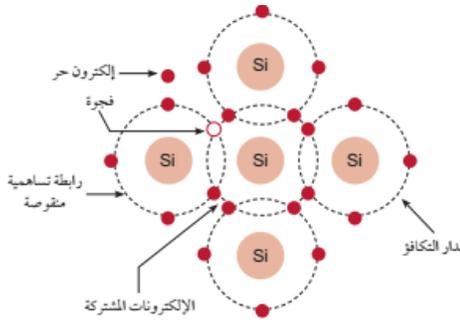
الروابط التساهمية في أشباه الموصلات



تحتوي ذرة السيلكون على 14 إلكترونًا، تتوزع هذه الإلكترونات في مدارات محددة حول النواة، في المدار الأخير يوجد فقط 4 إلكترونات (نصف عدد الإلكترونات اللازم لإشباع هذا المدار) وهذا التشكيل يجعل ذرة السيلكون لا تميل إلى فقد إلكتروناتها ولا تميل للكسب أيضاً. لهذا فإن ذرة السيلكون تكون ميالة لتشارك (تسهم) بالإلكتروناتها مع ذرة أو أكثر للحصول على مدار أخير مكتمل من ثماني إلكترونات تدور حول الذرات المساهمة وتسمى هذه العملية بالرابطة التساهمية.



في الحالة الصلبة تتجمع ذرات السيلكون مشكلة بلورة Crystal ثلاثية الأبعاد وهذا التركيب يسمح لذرة السيلكون الواحدة بمجاورة ذرات أربعة سيلكون أخرى تشارك معها بالإلكتروناتها الأربعة لتكوين أربعة روابط تساهمية كما في الشكل المجاور.



عند درجة الحرارة المنخفضة (الصفر المطلق) تتصرف مادة السيلكون كمادة عازلة لعدم وجود أي إلكترون حر (غير مشارك في رابطة تساهمية) ولكن بارتفاع درجة الحرارة إلى حرارة الغرفة مثلاً، تنكسر بعض الروابط التساهمية بفعل الطاقة الحرارية كما في الشكل المجاور، حيث بإمكاننا القول بأن إلكترونًا طرد من الرابطة التساهمية وأصبح حرّ الحركة تاركاً مكانه فارغاً، ويطلق على الرابطة التساهمية غير المكتملة هذه " فجوة " Hole.

في حال وجود الفجوة (رابطة تساهمية ناقصة) توجد إمكانية بأن يغادر إلكترونًا رابطة تساهمية مجاورة لسد الفجوة المتكونة تاركاً وراءه مكاناً فارغاً بدوره. وهنا نرصد حركتين: حركة الإلكترونات وحركة الفجوات، حيث تتحرك الإلكترونات بعكس حركة الفجوات، لتوضيح ذلك انظر إلى الشكل في الأسفل، فعند حركة واحدة من الكرات الحمراء لملء الفجوة فإن الكرة ستكون قد تحركت إلى اليمين والفتحة قد تحركت إلى اليسار.



+

يطلق على الإلكترونات والفجوات "حاملات الشحنة" وفي بلورة السيلكون النقية يكون عدد الإلكترونات مساوياً لعدد الفجوات.

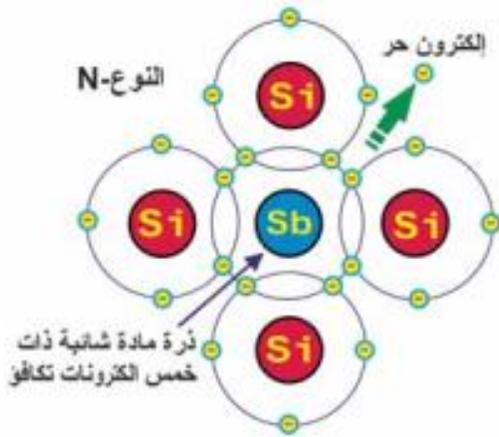
تطعيم المواد شبه الموصلة

إن حاملات الشحنة في السيلكون النقي قليلة نسبياً في درجة حرارة الغرفة، لذلك تكون موصلية السيلكون قليلة (عالية المقاومة)، ومن أجل تحسين موصلية السيلكون تضاف ذرة أحد عناصر المجموعة الثالثة أو المجموعة الخامسة إلى بلورة السيلكون بحيث تحلّ ذرة العنصر المضاف مكان أحد ذرات السيلكون في البلورة، يطلق على المادة المضافة (الشائبة) وتضاف بعملية تسمى التطعيم.

التطعيم: هو زرع ذرة شائبة لأحد عناصر المجموعة الثالثة أو المجموعة الخامسة من الجدول الدوري في بلورة السيلكون النقي بهدف تحسين موصلية بلورة السيلكون.

❖ تستخدم عملية التطعيم لإنتاج نوعين من أشباه الموصلات نوع موجب وآخر سالب:

نوع السالب N-Type:

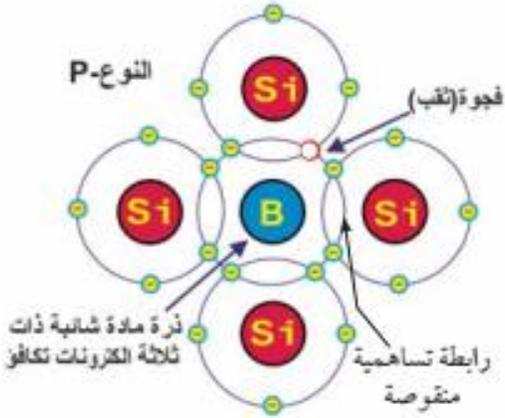


عند إضافة ذرة من أحد عناصر المجموعة الخامسة والتي تحتوي على خمسة إلكترونات في مدارها الأخير مثل ذرة الفسفور، فإن ذرة الفسفور تشكل أربعة روابط تساهمية مع أربع ذرات سيلكون مجاورة في البلورة مستخدمة أربعة إلكترونات من إلكتروناتها، في حين يبقى الإلكترون الأخير حراً كما في الشكل المجاور، حيث يضاف هذا الإلكترون إلى مجموع الإلكترونات الناتجة عن درجة الحرارة فتكون المحصلة زيادة في عدد الإلكترونات، لذلك تسمى المواد المضافة بالمواد المانحة ويسمى السيلكون الناتج بعد التطعيم بالنوع السالب.

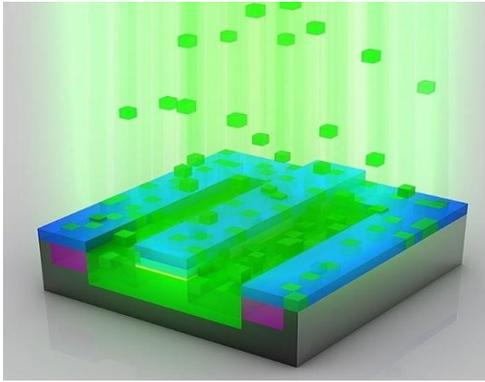
إن بلورة السيلكون المطعمة من النوع السالب لديها نوعان من حاملات الشحنة، وهما الإلكترونات وهي الأكثر عدداً وتسمى حاملات الشحنة الأكثرية، والفجوات وتسمى حاملات الشحنة الأقلية.

النوع الموجب P-Type

عند إضافة ذرة أحد العناصر من المجموعة الثالثة التي تحتوي على ثلاثة إلكترونات في مدارها الأخير كالبورون مثلاً، فإن ذرة البورون تشكل ثلاثة روابط تساهمية مكتملة مع ثلاثة ذرات سيلكون مجاورة مستخدمة إلكتروناتها الثلاثة، في حين تبقى رابطة تساهمية غير مكتملة (فجوة) كما في الشكل المجاور، حيث تضاف هذه الفجوة إلى مجموع الفجوات الموجودة بتأثير الحرارة فتكون المحصلة زيادة في عدد الفجوات في السيلكون المطعم. ولأن عملية إضافة ذرة شائبة من أحد عناصر المجموعة الثالثة يؤدي إلى زيادة عدد الفجوات تسمى هذه العناصر بالشوائب المتقبلة، وتسمى بلورة السيلكون الناتجة بالنوع الموجب.



إن بلورة السيلكون المطعمة من النوع الموجب لديها نوعان من حاملات الشحنة، وهما الفجوات وهي الأكثر عدداً وتسمى حاملات الشحنة الأكثرية، والإلكترونات وتسمى حاملات الشحنة الأقلية.



نشاط: (2)
شاهد فيديو عن عملية التطعيم لأشباه
الموصلات وناقش مع زملائك ومعلمك
مراحل العمل المختلفة.

أسئلة الدرس:

1- علل ما يلي:

أ- يستخدم السيلكون أكثر من الجرمانيوم في عملية صناعة أشباه الموصلات.

ب- نستخدم عناصر من المجموعة الخامسة لإنتاج النوع السالب من السيلكون.

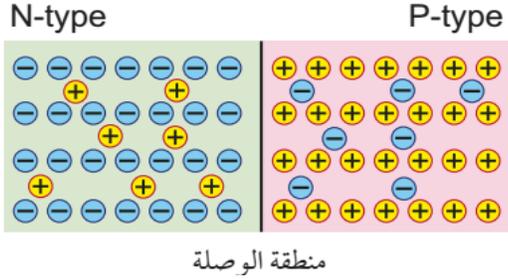
2- هل يبقى السيلكون المطعم موصلًا للكهرباء عند درجات الحرارة المنخفضة؟

3- إذا أردنا زيادة موصلية السيلكون عند درجة الحرارة نفسها، هل يجب أن نزيد عدد ذرات عناصر

الشوائب أم ننقصها؟ ولماذا؟

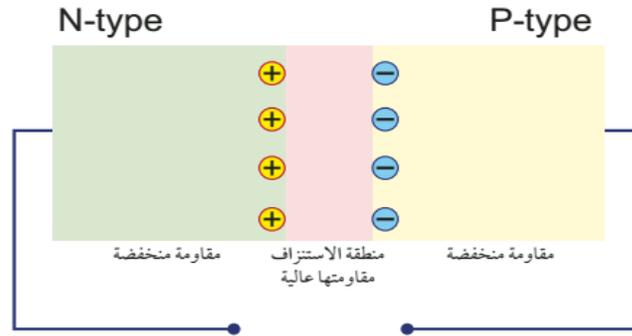
تستخدم أشباه الموصلات بعد تطعيمها لتكوين عناصر إلكترونية تقوم بأداء وظيفة ما، أحد أبسط هذه العناصر هو الثنائي Diode، فما هو الديود وكيف تتم صناعته؟ وما هي تطبيقاته في الدوائر الإلكترونية؟ وما هي أنواعه؟ كل هذه الأسئلة وغيرها سنجيب عنها في هذا الدرس.

وصلة موجب سالب P-N Junction



عند تطعيم شريحة من السيلكون النقي بعنصر من الشوائب المانحة في أحد أطرافها وبعنصر من الشوائب المتقبلة في الطرف الآخر سيتكون في الشريحة نوعان من السيلكون: النوع الموجب والنوع السالب بينهما وصلة كما في الشكل المجاور.

نلاحظ أن الطرف الأيمن للوصلة يحتوي على عدد كبير من الفجوات وعدد قليل من الإلكترونات، في حين يحتوي الطرف الأيسر على عدد كبير من الإلكترونات وعدد قليل من الفجوات. بما أن الشحنات بطبيعتها ترغب في الابتعاد عن مناطق الكثافة وتميل إلى التعادل، فإن الإلكترونات تعبر الوصلة من اليسار إلى اليمين، في حين تعبر الفجوات من اليمين إلى اليسار، لذلك تكتسب الشريحة السالبة فجوات وتفقد إلكترونات، أما الشريحة الموجبة فتفقد فجوات وتكتسب إلكترونات، وتسمى هذه العملية بالانتشار.



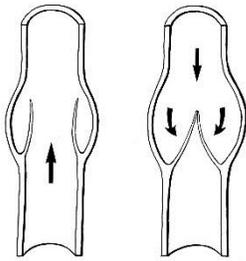
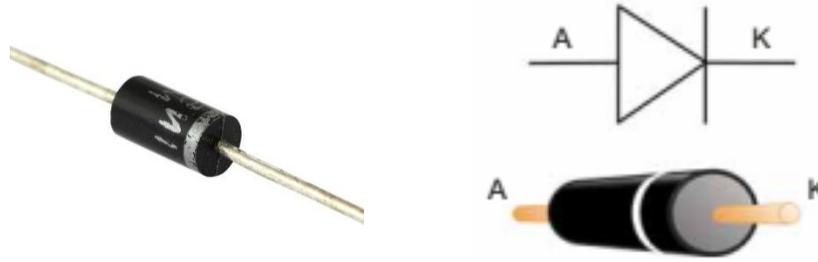
ونتيجة لعملية الانتشار تصبح المنطقة على يسار الوصلة موجبة وعلى يمينها سالبة كما في الشكل، وتستمر ظاهرة الانتشار حتى يتكون مجال كهربائي على جانبي الوصلة بشدة كافية تمنع حاملات الشحنة من الانتشار. ويسمى الجهد المتكون في وسط الشريحة بحاجز الجهد، أما المنطقة المفرغة من الشحنات في الوسط فتسمى بمنطقة الاستنزاف، وتكون مقاومتها عالية لمرور حاملات الشحنة.

فكر لماذا مقاومة منطقة الاستنزاف عالية؟

الثنائي Diode

الأنود (A) كلمة في اللاتينية تعني المصعد، أما الكاثود (K) فهي كلمة لاتينية تعني المهبط.

عند تطعيم قطعة من السيلكون لإنتاج وصلة موجب-سالب يطلق عليها ثنائي Diode، ويطلق على الطرف المتمثل بالنوع الموجب من السيلكون المطعم بالأنود ويسمى الطرف المتمثل بالنوع السالب بالكاثود، ويشبه رمز الثنائي في الدوائر بمثلث كما في الشكل المجاور.



يعمل الثنائي كصمام في الدوائر الكهربائية، فهو يسمح بمرور التيار في اتجاه معين ولا يسمح بمروره في الاتجاه المعاكس. لتوضيح ذلك انظر إلى الشكل المجاور فعند مرور الماء في الصمام من أسفل إلى أعلى يمكنه ذلك، أما حركة السائل بالاتجاه المعاكس من أعلى إلى أسفل فهي مستحيلة.

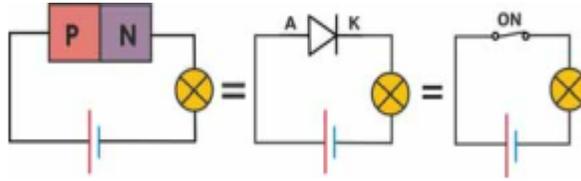


نشاط بحثي: هل تعلم أن الصمامات تبقينا على قيد الحياة، فالقلب يحتوي على صمامات ثنائية! مستعينا (بالإنترنت) أو المكتبة، ابحث عنها وقم بإعداد تقرير علمي عنها.

وصف عمل الثنائي

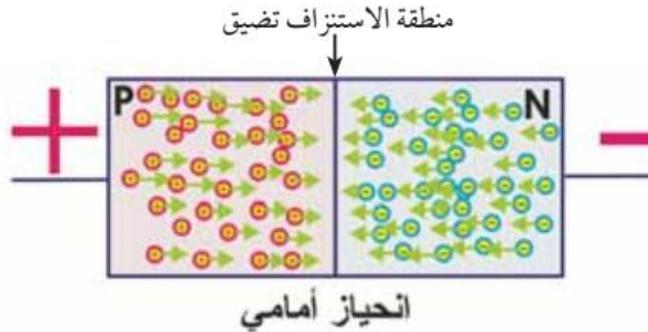
يعمل الثنائي عند وضعه في دائرة كهربائية بحالتين:

1) الانحياز الأمامي: في حالة الانحياز الأمامي يوصل الأنود بالقطب الموجب للمصدر، أما الكاثود فيوصل بالقطب السالب للمصدر. وفي هذه الحالة يتصرف الثنائي وكأنه في حالة توصيل، وتكون مقاومته منخفضة جداً ويعمل على تمرير التيار الكهربائي. انظر الشكل في الأسفل للتوضيح.



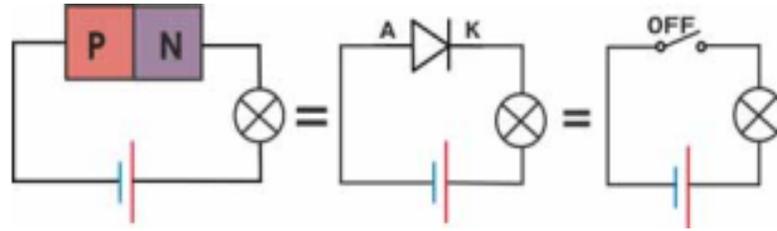
ينحاز الثنائي أمامياً عندما يزيد جهد الأنود عن جهد الكاثود 0.7 فولت للسليكون و0.3 فولت للجرمانيوم.

ولتحليل كيف تحصل عملية الانحياز الأمامي انظر الشكل المجاور، فعند وصل الطرف الموجب للمصدر مع الطرف الموجب من الديود فإن الطرف الموجب من المصدر الغني بالشحنات الموجبة سيدفع حاملات الشحنات الموجبة (وهي الأغلبية) في الكاثود بعيداً عنه في اتجاه منطقة الاستنزاف، وكذلك الأمر سيدفع الطرف السالب للمصدر حاملات الشحنة السالبة في الأنود (وهي الأغلبية) في اتجاه منطقة الاستنزاف. إن قوة الدفع هذه ستسبب تناقص عرض منطقة الاستنزاف، وبالتالي نقصان فولتية الحاجز، وعليه فإن حاملات الشحنة ستمر من طرف إلى آخر، ويقال أن الوصلة في حالة انحياز أمامي (تسمح بمرور التيار الكهربائي).

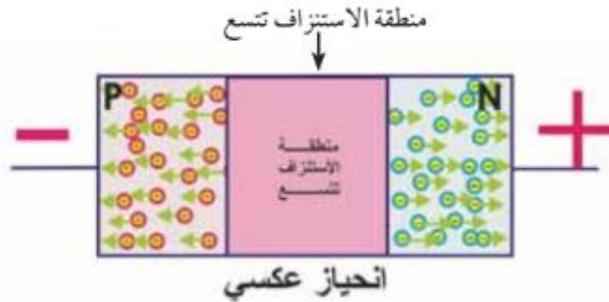


(2) الانحياز العكسي:

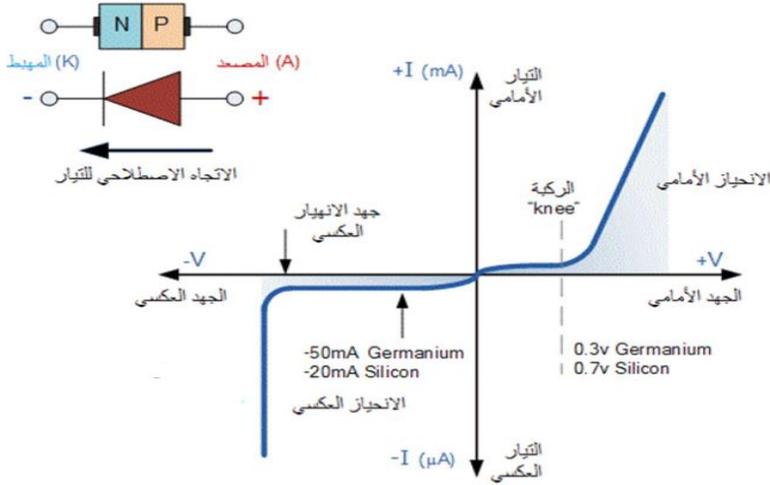
في حالة الانحياز العكسي يوصل الأنود بالقطب السالب للمصدر، ويوصل الكاثود بالقطب الموجب للمصدر، وفي هذه الحالة تصبح المقاومة بين طرفي الثنائي مرتفعة جداً، ويتصرف الثنائي كمفتاح في حالة القطع، انظر الشكل في الأسفل.



ولتحليل كيف تحصل عملية الانحياز الأمامي انظر الشكل المجاور، فعند وصل الطرف الموجب للمصدر مع الطرف السالب من الديود فإن الطرف الموجب من المصدر الغني بالشحنات الموجبة سيسحب حاملات الشحنات السالبة (وهي الأغلبية) في الأنود بعيداً عن منطقة الاستنزاف وكذلك الأمر سوف يجذب الطرف السالب للمصدر حاملات الشحنة الموجبة في الكاثود (وهي الأغلبية) بعيداً عن منطقة الاستنزاف. إن قوة السحب هذه سوف تسبب تزايد عرض منطقة الاستنزاف، وبالتالي زيادة فولتية الحاجز، وعليه فإن حاملات الشحنة لن تمر من طرف إلى آخر، ويقال أن الوصلة في حالة انحياز عكسي (لا تسمح بمرور التيار الكهربائي).



⚡ منحنى الخصائص الكهربائية للثنائي



يبين الشكل المجاور المنحنى المميز لثنائي مصنوع من السيلكون. يوضّح هذا المنحنى العلاقة بين التيار والجهد بين طرفي الثنائي في حالة الانحياز الأمامي والعكسي.

◀ الانحياز الأمامي:

يبين المنحنى أن هبوط الجهد على طرفي الثنائي يساوي 0.7 فولت، بغض النظر عن قيمة التيار المار.

◀ الانحياز العكسي:

يبين المنحنى أيضاً ميزات الانحياز العكسي، في هذه الحالة تكون مقاومة الثنائي مرتفعة جداً، ويمر تيار صغير جداً يمكن إهماله يسمّى تيار التسريب. وعندما يزداد الجهد عن نقطة معينة ينهار الثنائي ويبدأ في تمرير التيار وهذا يسبب تلف الثنائي وعدم إمكانية استخدامه مرة أخرى، ويسمّى الجهد الذي ينهار فيه الثنائي بجهد الانهيار العكسي.

ارسم منحنى ثنائيّ مصنوعاً من مادة الجرمانيوم موضّحاً القيم جميعها على المنحنى.

سؤال:

✚ الثنائيات الخاصة

إضافة إلى الثنائي المعروف فإن هناك أنواعاً عديدة من الثنائيات ذات الصفات المميزة ومنها:

1- ثنائي الزينر.

ثنائيات الزينر هي ثنائيات تزيد شوائبها عن شوائب الثنائي المعتاد حيث يحدث الانهيار العكسي عند قيم محددة سابقاً وأقل نسبياً. وتأتي هذه الجهود بقيم مفضلة مثل 2.7 فولت، 5.1 فولت، 10 فولت، 12 فولت، وقيم أخرى كثيرة.

والجدير بالذكر أن ثنائي الزينر لا يتلف في حال وصوله لحالة الانهيار العكسي، فهو مصمم لتبديد الحرارة المتولدة أثناء هذه الحالة، ولكن يتلف ثنائي الزينر في حال تجاوز التيار المتدفق فيه القيمة القصوى المقررة. ويبين الشكل المجاور ثنائي الزينر ورمزه.



◀ المواصفات الفنية لثنائي الزينر:

من أهم المواصفات التي يجب مراعاتها عند اختيار ثنائي زينير ما يلي:

1- جهد الزينر V_z

وهي قيمة الجهد العكسي الذي ينهار عندها الزينر، ويبدأ في تمرير التيار العكسي، وبعد بلوغ هذه القيمة يبقى الجهد ثابتاً على طرفي ثنائي الزينر حتى مع تغير قيم التيار المار عبره.

2- القدرة القصوى P_m

وهي قدرة بالواط يمكن أن يبدها ثنائي الزينر في حالة الانهيار العكسي دون أن يتلف وتعطى بالمعادلة الآتية:

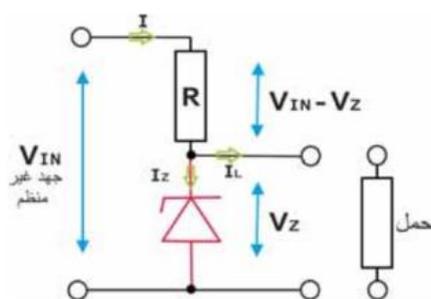
$$P_{zm} = I_{zm} \times V_z$$

حيث إن I_{zm} هي القيمة القصوى للتيار المار في حالة الانهيار العكسي.

ويوضح الشكل التالي منحنى الخاص بأنواع عديدة من ثنائيات الزينر تختلف فيما بينها بقيمة جهد الانهيار العكسي.



تطبيقات عملية لثنائي الزينر:



يستخدم ثنائي الزينر لبناء دائرة تسمى منظم الزينر ووظيفتها توفير جهد تغذية ثابت القيمة بالرغم من التغيرات في جهد الدخل أو تيار الحمل. انظر الشكل المجاور.

يتم تغذية الدائرة من مصدر جهد قيمته أكبر من جهد الانحياز العكسي لثنائي الزينر وذلك لضمان عمله دائماً في حالة انحياز عكسي طيلة الوقت. ولضمان ذلك توصل المقاومة التسلسلية R_S إضافة إلى أنها تعمل على حماية الزينر من التيار العالي. وتتحصر القيم التي يمكن استخدامها لـ R_S بين قيمتين

$$R_{S\text{MAX}} = \frac{V_{\text{IN (MIN)}} - V_Z}{I_{L\text{MAX}}} \quad R_{S\text{MIN}} = \frac{V_{\text{IN (MAX)}} - V_Z}{I_{Z\text{MAX}}}$$

حيث إن V_{IN} = جهد المصدر.

V_Z = جهد الزينر

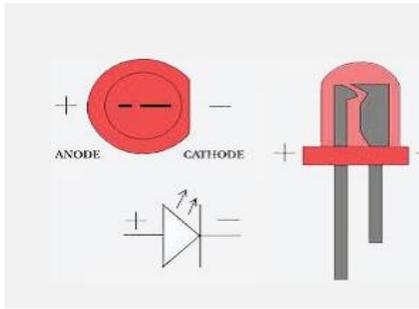
$I_{L\text{MAX}}$ = أعلى قيمة لتيار الحمل.

$I_{Z\text{MAX}}$ = أعلى قيمة تيار يتحملها الزينر دون أن يتلف.

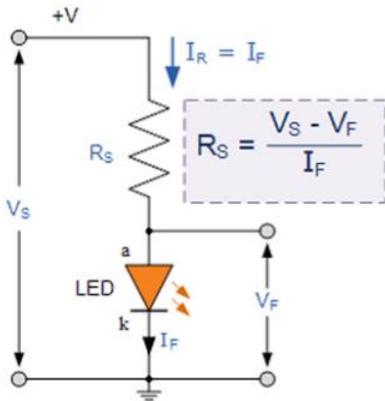
2- الثنائي المشع للضوء LED – Light Emitting Diode



يتم تصنيع الثنائي الباعث للضوء بشكل منفرد كما نشاهده كمؤشر لشحن الهاتف المحمول أو كدليل على وصول التيار الكهربائي إلى جهاز معين. ومع التقدم التكنولوجي تم تصنيع أجهزة محمولة وشاشات تلفاز تستخدم عدداً كبيراً من الثنائيات يتم التحكم بعملها من خلال دارة متكاملة، ويمكن التحكم بإضاءة كلّ باعث ضوئيّ باللون المطلوب وبشكل مستقل.



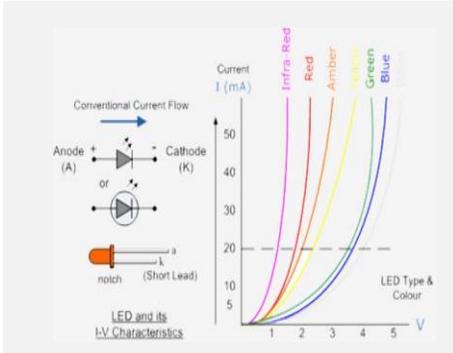
يتكوّن الثنائي الباعث للضوء من طرفين أحدهما موجب يسمّى مصعد Anode والطرف الآخر سالب، ويسمي المهبط Cathode. يوصل في الدارة بانحياز أمامي ويستخدم الباعث الضوئي بكثرة في الأجهزة الإلكترونية، حيث يكاد لا يخلو جهاز إلكتروني منه، ويصنع من مادة تتأثر بمرور التيار عبره فيضيء نتيجة انبعاث فوتونات على شكل حزمة مترابطة عند تطبيق فرق جهد على أطرافه.



في الرسم تمثل قاعدة المثلث الطرف الموجب للثنائي، بينما يمثل رأس المثلث الطرف السالب، يمكننا معرفة القطبية من الثنائي نفسه حيث يمثل القسم الأكبر حجماً داخل الثنائي القطب السالب، بينما القسم الأصغر يمثل الطرف الموجب، وكما يظهر من الرسم الطرف المقصود يمثل الطرف السالب، ويبين الشكل المجاور كيفية حساب المقاومة R_S حسب قانون أوم.

سؤال: ما الهدف من توصيل المقاومة مع الثنائي على التوالي؟

◀ خصائص الثنائي الباعث للضوء:



العلاقة بين التيار المار في الثنائي والجهد المطبق على أطرفه علاقة غير خطية كما يظهر من الشكل المرفق وعند التعامل مع القطع الإلكترونية لتكريب الدارات وتنفيذها لا بد من قراءة قائمة البيانات Data sheet جيداً كي يمكنك معرفة القيم الحرجة من الجهد والتيار حتى لا تتلف القطعة الإلكترونية.

ومن البيانات التي يجب معرفتها عند توصيل الثنائيات:

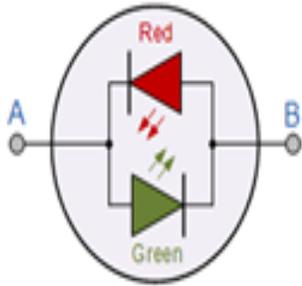
Max IF: وهو أقصى تيار يتحمله الثنائي وبعدها يتلف إذا ارتفع هذه القيمة.
Type VF: وهو الجهد المتكون على أطراف الثنائي الباعث للضوء أثناء عمله.
Max VF: وهو أقصى جهد يمكن تطبيقه على الثنائي الباعث للضوء وبعدها يتلف.
Max VR: وهو أقصى جهد يمكن تطبيقه عند حدوث خطأ وعكس القطبية على الثنائي الباعث للضوء وفي هذه الحالة لا يعمل لأن القطبية معكوسة.

✚ أنواع أخرى للثنائي الباعث للضوء:



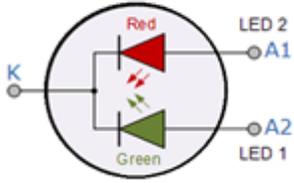
- **مرسل الأشعة تحت الحمراء Infra-Red-LED:** يصدر أشعه لا ترى بالعين المجردة بعكس ضوء الباعث الضوئي، ولا تتداخل الأشعة تحت الحمراء مع ترددات الإضاءة الأخرى مما يؤدي إلى استخدامه في الريموت كونترول للتحكم في الأجهزة المختلفة ودارات الإنذار.

الثنائي الباعث للضوء ذو اللونين

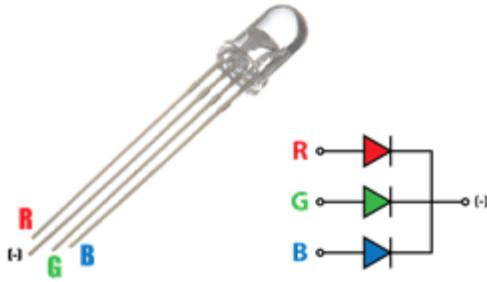


- **Bi-LED:** هو عبارة عن ثنائيين متعاكسين يتم الحصول منهما على ثلاثة ألوان، يتكون من طرفين مثل الثنائيات الأخرى، ويتم الحصول على اللون حسب الانحياز المناسب يضيء اللون الأول، وعند عكس الانحياز يضيء اللون الثاني، وللحصول على اللون الثالث (محصلة اللونين) نطبق جهداً متردداً. يوجد مثل هذا الثنائي في الإشارة التي تعبر عن حالة شحن البطارية في الحاسب المحمول حيث يكون أخضر إذا كانت البطارية مشحونة أو برتقالي في حالة الشحن أو أحمر إذا كانت البطارية فارغة.

الثنائي الباعث للضوء ذو الألوان الثلاثة

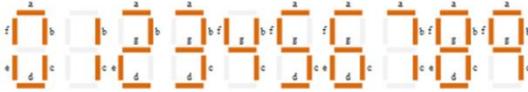


- **Tri-LED**: هو عبارة عن ثنائيين يتم دمجهما معاً بفكرة العمل نفسها Bi-Led لكن بثلاثة أطراف: طرف مشترك وهو الأرضي، والطرفان الباقيان يضيء كل منهما حسب الانحياز المناسب للثنائي، ويتم الحصول على اللون الثالث عن طريق دمج إضاءة الثنائيين معاً دون الحاجة إلى تيار متردد.



- **RGB-LED**: ثنائي يتكون من ثلاثة ثنائيات معاً مما يتيح الحصول على الألوان جميعها عن طريق دمج الألوان الأساسية الأحمر والأخضر والأزرق والتي يتكون منها الألوان جميعها كما في ألوان التلفاز وشاشات الحاسوب.

الشاشة السباعية 7 Segment Display



- تتكوّن الشاشة السباعية من 7 ثنائيات، توفر مساحة في الأجهزة الإلكترونية وتمتاز بسهولة التركيب، تستعمل في المصاعد والساعات الرقمية وأجهزة الاستقبال لبيان أرقام المحطات.

الشاشة النقطية Dot Matrix Display



- وهي عبارة عن شاشة تحتوي على مصفوفات من الثنائي الباعث للضوء، وتستخدم لعرض الأشكال والحروف والأرقام والصور أحادية اللون، وتستخدم في الإعلانات التجارية وفي تطبيقات مختلفة.

الثنائي الضوئي Photo Diode



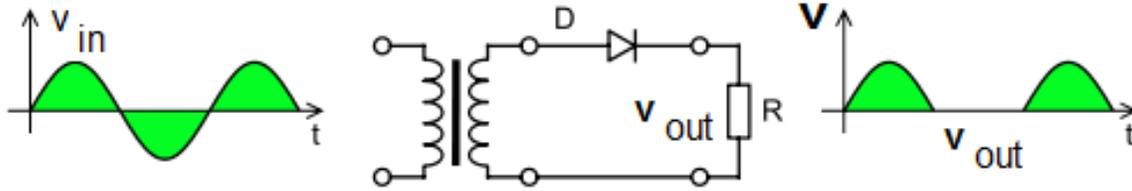
الثنائي الحساس للضوء ورمزه

- منه أن العناصر الفعالة في الدارة هي مرسل ومستقبل الأشعة تحت الحمراء، حيث يتأثر مستقبل الأشعة تحت الحمراء بنطاق ترددي للموجة ما بين 1 _ 400 تيرا هيرتز، ولا ترى الأشعة بالعين المجردة لأنها خارج نطاق الرؤيا لبصر الإنسان، ومن استخداماتها كاميرات الرؤية الليلية.

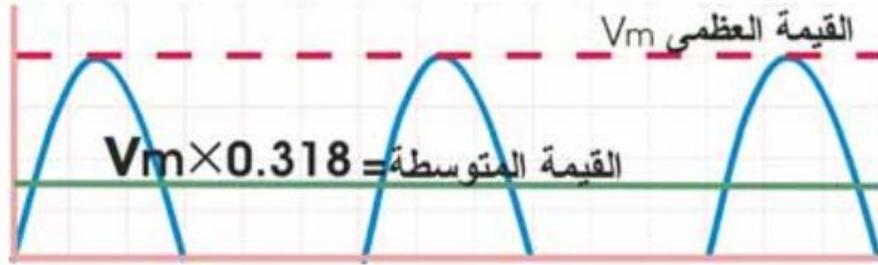
✚ الثنائيات ودارات التقويم:

1- موحد نصف الموجة

يعتمد شكل الموجة الخارجة على وضعية الثنائي في الدارة ويستخدم ثنائي واحد في هذا النوع من الدارات، ويلاحظ أن الثنائي يمرر نصف الموجة بينما يمنع النصف الآخر، وذلك لأن حالة الثنائي تكون بانحياز عكسي عند مرور نصف الموجة السالب، انظر الشكل ادناه.

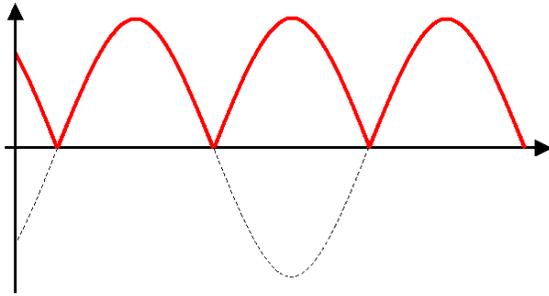
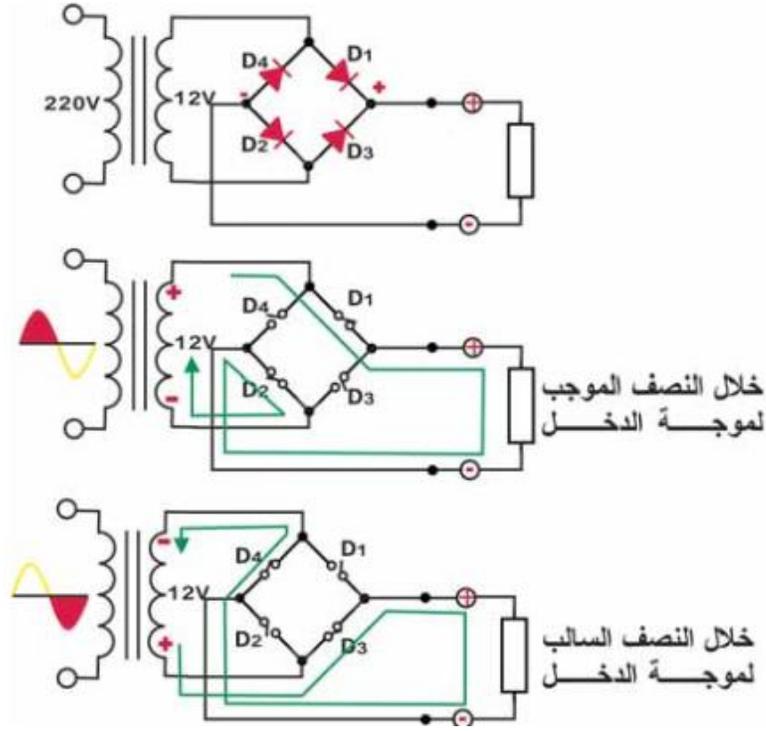


وتكون القيمة المتوسطة في حالة الموحد نصف الموجي تساوي 0.318 من القيمة العظمى للموجة، انظر الشكل أدناه للتوضيح.



2- مقوم الموجة الكامل (القنطرة)

كما هو ملاحظ في الشكل التالي تتكون الدارة من أربع ثنائيات مرتبة، حيث يمرّ التيار من خلال الحمل في اتجاه واحد فقط، ويمكن ملاحظة أيضا اتجاه التيارات في القنطرة خلال كل قسم لموجة التيار المستمر.



ويكون شكل الموجة الخارجة من القنطرة حسب الشكل المجاور، وتبلغ قيمة الفولتية المتوسطة للموجة الخارجة في حالة التقويم الكامل 0.636 من القيمة العظمى للموجة الخارجة.

أسئلة الدرس:

1- أجب بنعم أو لا

أ- منطقة الاستنزاف غنية جداً بحاملات الشحنة؟

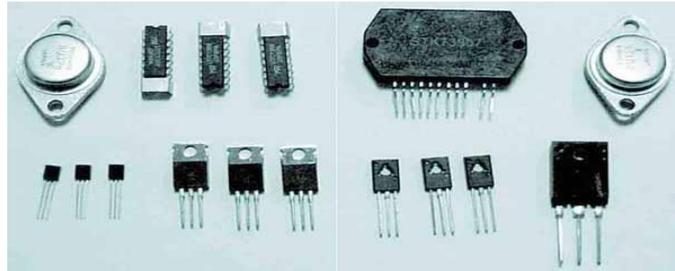
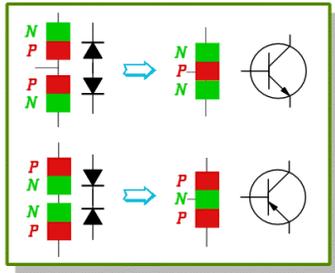
ب- الثنائي في منطقة الانحياز الأمامي يمرر كمية قليلة جداً من التيار يمكن إهمالها؟

ت- يستخدم ثنائي الزينر لتثبيت قيم الفولتية الخارجة في الدوائر؟

2- في دائرة منظم جهد تستخدم ثنائي الزينر، إذا كان جهد المصدر يتغير من 15 إلى 20 فولتاً وكان تيار الحمل يتغير من 5 إلى 20 ميلي أمبير، وكان جهد الزينر يساوي 6.8 فولت. جد أكبر قيمة لمقاومة التوالي RS.

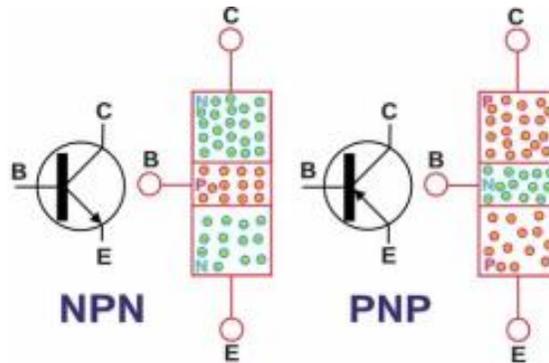
3- علل، لا يمكن استخدام ثنائي عادي مكان ثنائي الزينر، بينما يمكن استخدام ثنائي الزينر مكان الثنائي العادي.

يعدّ الترانزستور ثنائي القطب (Bipolar Junction Transistor) والتي تختصر إلى (BJT) من الأسس التي قام عليها علم الإلكترونيات وهو اختصار لكلمتي Transfer Resistor أي مقاوم النقل، وله استخدامات عديدة، حيث يعمل كمفتاح إلكتروني ومكبر للإشارات الإلكترونية ومذبذب ويمكن تمثيل الترانزستور اصطلاحاً بثنائيين (NP) ليشكلان معاً وصلة (NPN) أو (PNP)، ويكون الترانزستور الدوائر المتكاملة "Integrated circuit" والتي تختصر بـ "IC" والبوابات المنطقية والمعالجات الدقيقة "Microprocessors".



تركيب الترانزستور ثنائي القطبية الداخلي

يتكون الترانزستور من وصليتي PN يتم تكوينهما إما بتشكيل قطعة من النوع P بين قطعتين من النوع N أو بتشكيل قطعة من النوع N بين قطعتين من النوع P كما هو موضح في الشكل الأسفل.



يتكوّن ترانزستور ثنائي الوصلة من الأطراف الآتية:

- ✓ القاعدة (Base) وهي المنطقة الفاصلة بين أطراف الترانزستور الأخرى، ويمكن التحكم بعمل الترانزستور كمفتاح نتيجة سريان تيار صغير جداً من خلالها عندما يزيد الجهد عندها عن جهد الباعث بـ 0.7 V.
- ✓ الجامع أو المجمع (Collector): المنطقة الموصولة مع طرف من أطراف الترانزستور.
- ✓ المشع أو الباعث (Emitter) ويملك تركيب المجمع نفسه من حيث وجود العناصر نفسها والتطعيم وكذلك المقاومة.

← مبدأ العمل

لكي يعمل الترانستور بشكل طبيعيّ يجب توفير الانحياز المناسب لوصلتيه عن طريق إيصال جهود انحياز إلى أطرافه الخارجية. لنأخذ الشكل الآتي الذي يمثل ترانستور NPN وضع في حالة الانحياز الصحيح، حيث تكون وصلة القاعدة-الباعث في الانحياز الأمامي ووصلة القاعدة المجمع في الانحياز العكسي. وجهد المجمع-القاعدة أكبر بكثير من جهد الباعث-القاعدة.

يؤدي الانحياز الأمامي في وصلة الباعث-القاعدة إلى إطلاق الإلكترونات من منطقة الباعث وتوجيهها نحو القاعدة. فتنقسم هذه الإلكترونات في قاعدة الترانستور إلى قسمين:

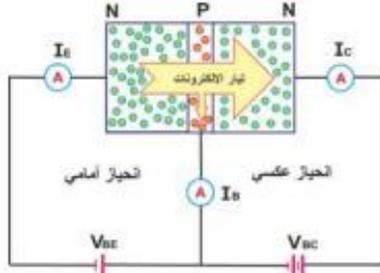
- الأغلبية الساحقة من الإلكترونات تتابع طريقها إلى المجمع ثم إلى مصدر التغذية تحت تأثير الجهد الموجب للمصدر المتصل بالمجمع.
- تتحد الإلكترونات المتبقية وهي نسبة صغيرة جداً مع الفجوات في منطقة القاعدة مسببة مرور تيار صغير جداً يسمى تيار القاعدة.

← فكرة عمل الترانزستور كمفتاح:

يعمل الترانستور كمفتاح بعد استهلاكه جزءاً معيناً من جهد المصدر لوجود مقاومة داخلية بين المجمع والباعث تسمى R_{ce} وتتناسب قيمة هذه المقاومة تناسباً عكسياً مع تيار القاعدة وحتى يعمل الترانزستور كمفتاح (المفتاح في التمديدات المنزلية لا يستهلك من طاقة المصدر عند التوصيل) عندما يمرر تيار القاعدة فتصبح المقاومة أقل ما يمكن. فكما نلاحظ من الشكل المرفق رغم توفر الماء في خزان الماء (مثل البطارية) فإن الماء لا يخرج من الصنبور إلا بالتحكم بحركة فتح الصنبور.

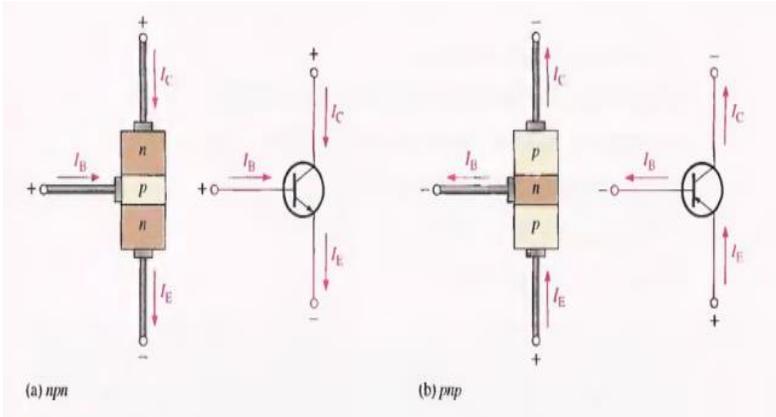


الترانزستور مكبر إشارة:



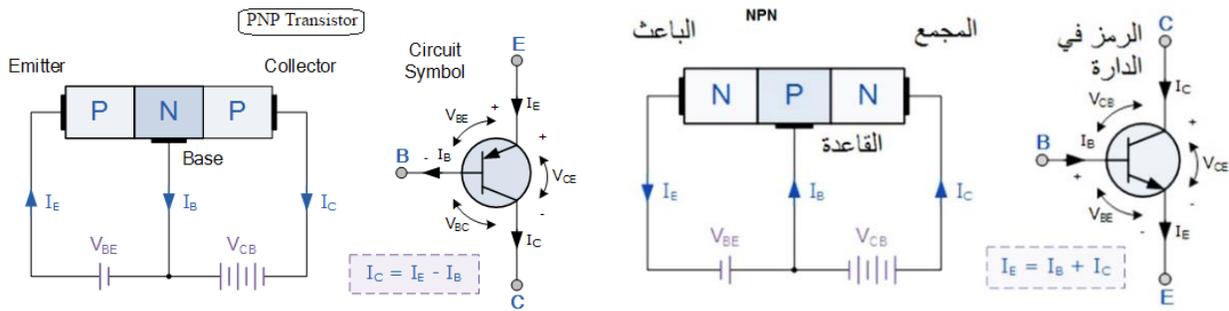
يعالج الترانزستور الإشارات الصغيرة الداخلة إلى القاعدة، وتنتج إشارات كبيرة على المجمع تسمى هذه العملية التكبير (Gain)، ويمكن التحكم بعملية التكبير بشكل متناسب بين الإشارة الداخلة والخارجة عن طريق التحكم بعناصر الدارة الباقية.

تيارات الترانزستور: Transistor currents:

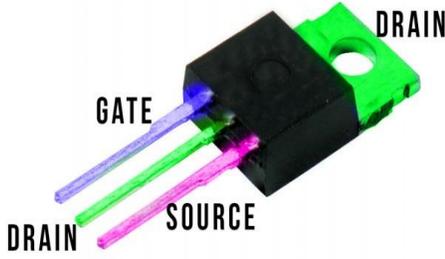


يتم التحكم بعمل الترانزستور كمفتاح من خلال تيار القاعدة I_B والذي يتحكم بتيار المجمع I_C ، فكلما ازداد تيار القاعدة ازداد تيار المجمع إلى نقطة معينة تسمى حالة التشبع التي لا تزيد بعدها قيمة تيار المجمع.

يبين الشكل المجاور اسم التيارات واتجاهها في نوعي الترانزستور، ففي ترانزستور NPN يكون $I_E = I_B + I_C$ بينما ترانزستور PNP يكون $I_C = I_E - I_B$ كما في الصور المرفقة، ويجب الانتباه إلى انحياز وصلة القاعدة - الباعث، القاعدة المجمع لكلا نوعي الترانزستور ليحقق الهدف من توصيله.



ترانستور تأثير المجال نوع الأكسيد المعدني MOSFET



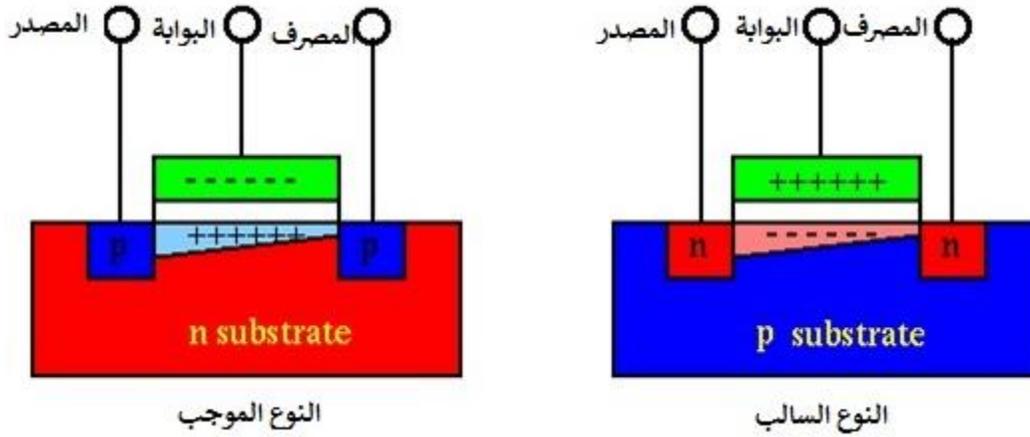
يعد ترانزستور ال MOSFET أحد أنواع عائلة ترانزستورات تأثير المجال FET ، تتكون ترانزستورات تأثير المجال من ثلاثة أطراف هي المصدر SOURCE والمصرف DRAIN والبوابة GATE ، ويتم التحكم بين المنبع والمصرف عن طريق الفولتية المطبقة على البوابة على عكس ترانستور ال BJT الذي يتم التحكم به عن طريق التيار.

هناك نوعان من ترانستور ال MOSFET ، هما:

1- الترانستور MOSFET الاستنزافي.

2- الترانستور MOSFET التعزيزي.

وكل نوع من النوعين السابقين يمكن أن يكون من النوع الموجب N-TYPE أو من النوع السالب P-TYPE

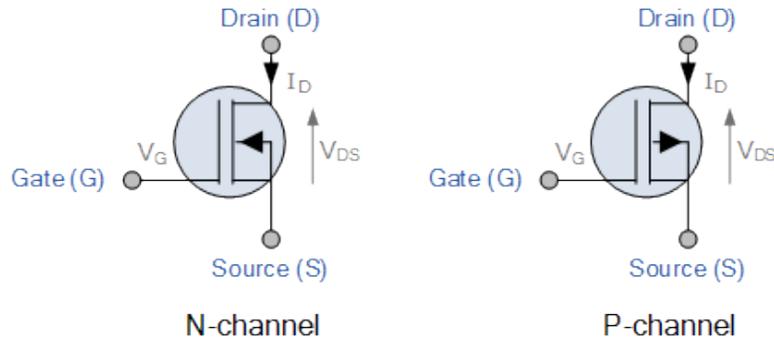


النوع الموجب

النوع السالب

ويمتاز ترانستور MOSFET بمقاومة دخل عالية جداً، ومقاومة منخفضة جداً في حالة التوصيل، وهذه الصفات تجعله مناسباً لعمليات التحكم.

والشكل التالي يبين الرمز الإلكتروني لأنواع MOSFET المختلفة



N-channel

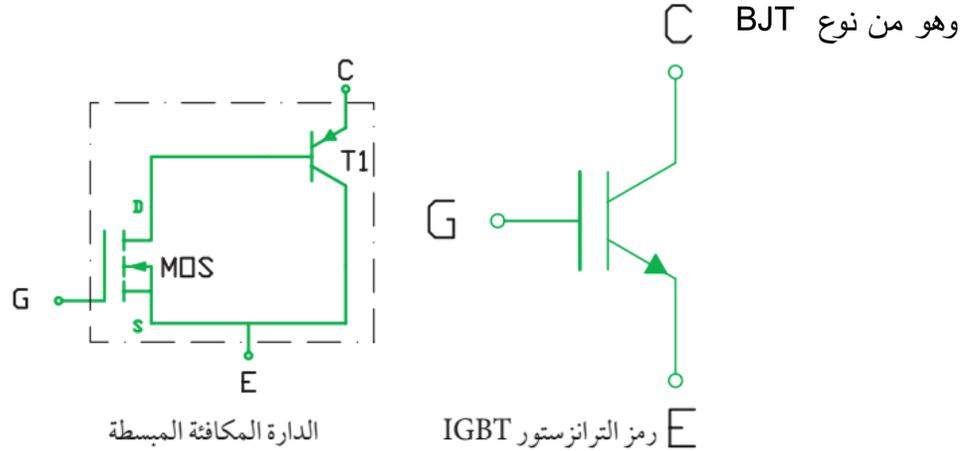
P-channel

الترانستور ثنائي القطبية معزول البوابة IGBT

يمتاز الترانستور ثنائي القطبية BJT بقدرة تحمله للتيارات المرتفعة نظراً لمقاومته المنخفضة جداً في حالة التوصيل، ولكن هناك عيباً كبيراً فيه وهو أن مقاومة الدخل له قليلة. ومن الناحية الأخرى يمتاز ترانستور MOSFET بأن مقاومة الدخل له عالية جداً مما يجعله مثالياً لتصميم دارات التحكم، ولكن مقاومته في حالة التوصيل مرتفعة، لذلك تم تصميم نوع جديد من الترانزستورات يسمى الترانستور ثنائي القطبية معزول البوابة IGBT ليجمع ميزات ال BJT و MOSFET ، حيث يمتاز ترانستور IGBT بمقاومة دخل مرتفعة جداً وبمقاومة توصيل قليلة للغاية.



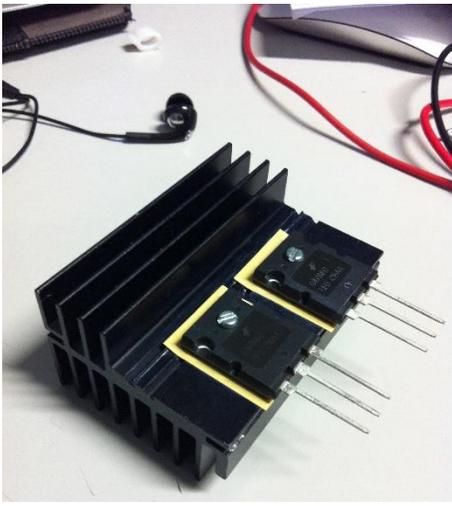
يبين الشكل المجاور تركيب IGBT ورمزه الإلكتروني، وتبين الدائرة المكافئة أن الترانستور يتكون من نوعين من الترانزستورات: الأول يمثل مدخل المفتاح، وهو عبارة عن ترانستور من نوع MOSFET، والآخر ترانستور الخرج وهو من نوع BJT



ولكي يعمل ترانستور ال IGBT يجب تطبيق جهد موجب بين طرف المجمع C وطرف الباعث E وتطبيق جهد موجب على البوابة يكون أكبر من جهد العتبة المقرر لها V_{TH} .

يستخدم ترانستور IGBT في الآلات والأجهزة التي تحتاج إلى مفاتيح ذات قدرة عالية الفتح والغلق السريعين، وفي الوقت نفسه المقدر على تحمل تيارات مرتفعة، فمثلاً تستخدم هذه الترانزستورات في صناعة العواكس الكهربائية

INVERTERS



نشاط :

انظر إلى الشكل المجاور الذي هو لترانستور IGBT مثبتاً على قطعة من الألمنيوم، مستعينا بشبكة (الإنترنت) أو بالمكتبة، تحرى عن هذه القطعة، وناقش ما هي وظيفتها؟

أسئلة الدرس

- 1- عدد الأطراف الثلاثة للترانستور؟
- 2- ما هي الانحيازيات اللازمة لكي يعمل ترانستور من نوع PNP؟
- 3- علل، كلما زادت سماكة القاعدة قلت فعالية التكبير للترانستور؟
- 4- كيف يمكن أن نتأكد أن الترانستور يعمل بشكل جيد أم إنه تالف؟
- 5- علل يمتاز ال IGBT بمقاومة دخل عالية جداً؟

أسئلة الوحدة

1- أجب بنعم أو لا:

أ- () داخل الثنائي الباعث للضوء يمثّل القطب الموجب القطعة الأكبر من الوصلة.

ب- () منطقة الاستنزاف خالية من حاملات الشحنة.

ت- () النوع المطعم الموجب من السيلكون يحتوي على حاملات شحنة أكثرية موجبة (فجوات).

2- علل: لا يمكن أن يعمل الترانستور دون مرور تيار خلال القاعدة؟

3- علل: في دوائر التنظيم باستخدام ثنائي الزينر، تغذي الدائرة بجهد دخل أعلى من جهد الانعكاس

الخاص بالزينر المستخدم؟

4- ترانستور مثبت في دائرة باعث مشترك، يعمل بتيار مجمع قيمته 30 ملي أمبير، وتيار قاعدة قيمته

600 ميكرو أمبير. جد قيمة تيار الباعث؟

5- الترانزستورات التي تتعامل مع تيارات عالية تكون مزودة بفتحة لوصلها إلى قطع المنيوم، لماذا؟

6- اشرح باختصار، ما الذي يحدث لحاملات الشحنة في وصلة PN عند عدم وصلها بأي مصدر

خارجي؟

7- ما الذي يميز ترانزستورات MOSFET، وما عيوبها؟

لجنة المناهج الوزاريّة:

د. بصري صيدم
د. سمية النّخاله
د. بصري صالح
م. وسام نخلة
أ. ثروت زيد

لجنة الخطوط العريضة لمنهاج الطاقة المتجددة للصف الحادي عشر الصناعي:

إبراهيم قدح
هشام القاضي
جاد حسين
معاذ سليقة
علي ريان

تَمَّ بِحَمْدِ اللّٰه