

جمهورية مصر العربية  
وزارة التجارة والصناعة  
مصلحة الكفاءة الانتاجية والتدريب المهني  
الادارة العامة للبرامج والمواصفات



# أسس الهندسة الكهربائية

السنة  
الأولى

مادة عامة



تم الاعداد والتطوير بواسطة

شركة يات لحلول التعليم  
YAT Learning Solutions

تليفون: (+202)27498297  
موقع: [www.YATlearning.com](http://www.YATlearning.com)  
بريد الكتروني: [Info@yat.com.eg](mailto:Info@yat.com.eg)

# أسس الهندسة الكهربائية





٥	..... الباب الأول: مبادئ الهندسة الكهربائية
٧	..... مقدمة
٧	..... أولاً: أنواع الكهرباء
٧	..... كيف تنتج الكهرباء
٧	..... Potential Difference الضغط الكهربائي وفرق الجهد
٨	..... الكهرباء الاستاتيكية (الساكنة)
١٠	..... الكهرباء الديناميكية
١١	..... ثانياً: أنواع التيار الكهربائي
١١	..... Direct Current التيار المستمر
١٢	..... Alternating Current التيار المتردد
١٦	..... ثالثاً: المبادئ الأساسية في الدوائر الكهربائية
١٦	..... الكميات الكهربائية الأساسية
٢٤	..... السلامة المهنية من مخاطر الكهرباء
٢٦	..... أسئلة الباب الأول
٢٩	..... DC Circuits الباب الثاني: دوائر التيار المستمر
٣١	..... مقدمة
٣١	..... أولاً: المكونات الأساسية للدوائر الكهربائية
٣١	..... Resistor المقاومة الكهربائية
٣٤	..... توصيل المقاومات في الدائرة الكهربائية
٣٦	..... خواص توصيل المقاومات على التوالي
٣٧	..... خواص توصيل المقاومات على التوازي
٣٨	..... التوصيل المركب
٤٣	..... Color Code تحديد قيمة المقاومة باستخدام كود الألوان
٤٤	..... Capacitor المكثف الكهربائي
٤٨	..... توصيل المكثفات
٥٢	..... Capacitor الملفات الكهربائية
٥٢	..... Coil الملف
٥٧	..... أنواع الملفات
٥٧	..... توصيل الملفات
٥٩	..... ثانياً: قوانين دوائر التيار المستمر
٥٩	..... KCL: Kirchhoff Current Law قانون كيرشوف للتيار
٦١	..... KVL: Kirchhoff Voltage Law قانون كيرشوف للجهد
٦٣	..... أسئلة الباب الثاني

٦٩	.....	<b>الباب الثالث: دوائر التيار المتردد AC Circuits</b>
٧١	.....	تأثير التيار المتردد على المقاومة الكهربائية
٧٢	.....	تأثير التيار المتردد على الملفات الكهربائية
٧٤	.....	تأثير التيار المتردد على المكثفات الكهربائية
٧٦	.....	المحول الكهربائي Transformers
٧٨	.....	أنواع واستخدامات المحولات
٨١	.....	أسئلة الباب الثالث
٨٣	.....	<b>الباب الرابع: أجهزة القياس</b>
٨٥	.....	مقدمة
٨٥	.....	أجهزة القياس
٨٥	.....	أهم أجهزة القياس
٨٦	.....	جهاز متعدد القياسات الأفوميتر AVO meter- Multimeter
٩٠	.....	جهاز قياس متعدد الأغراض LCR
٩١	.....	جهاز رسم الموجات الأوسيلوسكوب Oscilloscope
٩٣	.....	أسئلة الباب الرابع
٩٤	.....	قائمة المصطلحات العلمية
٩٧	.....	قائمة المراجع

## المقدمة

يهدف هذا الكتاب إلى تنمية المعارف النظرية للطالب وإكسابه المعرفة اللازمة لفهم المكونات الأساسية للدوائر الكهربائية وطرق التوصيل المختلفة لها، وعليه فقد تم تقسيم هذا الكتاب لأربعة أبواب رئيسية، الباب الأول يقدم المبادئ الأساسية للهندسة الكهربائية متضمناً أنواع الكهرباء والتيار الكهربائي وكذلك تعريف الكميات الأساسية للكهرباء، الباب الثاني يستعرض دوائر التيار المستمر (DC Circuits) حيث نقدم فيه المعارف النظرية اللازمة لفهم كيفية عمل المكونات الأساسية للدوائر الكهربائية ومصادر الجهد والقوانين الحاكمة للعلاقة بين شدة التيار بالنسبة إلى الجهد الكهربائي في وجود المكونات الكهربائية المختلفة من مقاومات أو مكثفات وملفات كهربائية. سوف نتطرق أيضاً إلى طرق التوصيل المختلفة سواء كان التوصيل توالي أو توازي وكيفية تأثير ذلك على كل من التيار والجهد الكهربائي، بينما يقدم الباب الثالث المعارف الخاصة بدوائر التيار المتردد (AC Circuits) حيث ندرس القيم الأساسية للتيار المتردد وتأثيره على المكونات الأساسية للدوائر الكهربائية.

أخيراً في الباب الرابع سوف ندرس أنواع أجهزة القياس الأساسية مثل جهاز القياس المتعدد الأغراض (الأفو AVO) وكذلك جهاز راسم الموجات (Oscilloscope).

في نهاية الكتاب قمنا بإضافة ملخص خاص بالمصطلحات الإنجليزية الهامة المستخدمة بالكتاب وذلك لتنمية مهارات اللغة الإنجليزية التي سيحتاجها المتدرب أثناء عملة في قراءة كتالوجات الشركات المنتجة الأجنبية وتعليمات التشغيل الهامة.

أخيراً، نقدم لك عزيزي المتدرب هذه الوحدة متمنيين لك كل النجاح والتوفيق في حياتك العملية المستقبلية.

فريق التأليف والمراجعة

لشركة يات لحلول التعليم



# الباب الأول: مبادئ الهندسة الكهربائية





## مقدمة

نقدم في هذا الباب مدخلاً عاماً حول أنواع الكهرباء وكيف تنتج وكذلك أنواع وخصائص التيار الكهربائي سواء كان تيار مستمر (DC) أو متردد (AC)، ثم نتطرق في الجزء الثالث من هذا الباب إلى المبادئ الأساسية للكهرباء ووصف المقادير والكميات الكهربائية الأساسية.

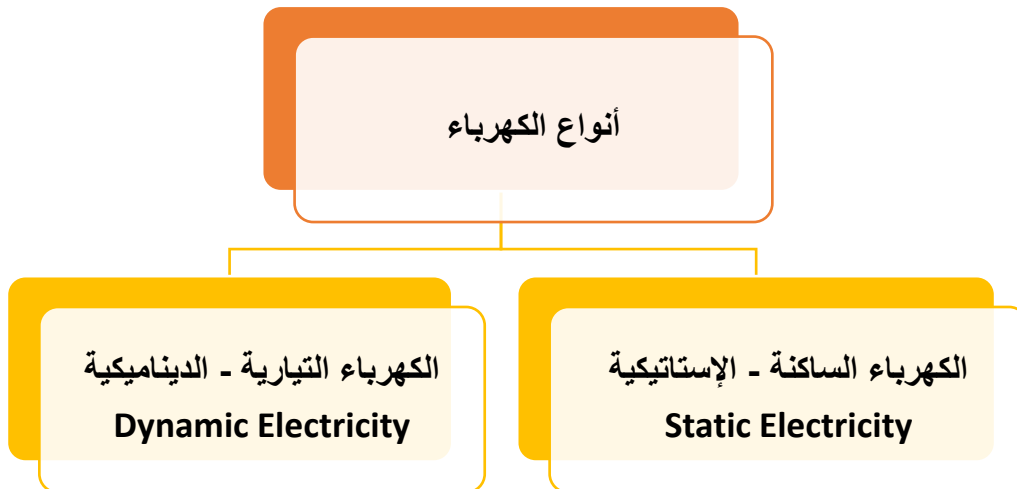
## أولاً: أنواع الكهرباء

## كيف تنتج الكهرباء

البروتونات توجد في نواة الذرة، والإلكترونات تدور حول النواة في مداراتها الخارجية متأثرة بقوى الجذب من النواة (الناجمة من التجاذب بين الإلكترونات السالبة الشحنة والبروتونات الموجبة الشحنة) وقوى الطرد (الناجمة عن دورانها السريع حول النواة) وهنا يجب أن تتساوى القوتان حتى تترن الذرة، ولكن في وجود قوى شد خارجية (ذرات أخرى أو جهود موجبة) فإن الإلكترونات تترك النواة وتسير مكونة الكهرباء، أو ما يسمى بالتيار الكهربائي.

## الضغط الكهربائي وفرق الجهد Potential Difference

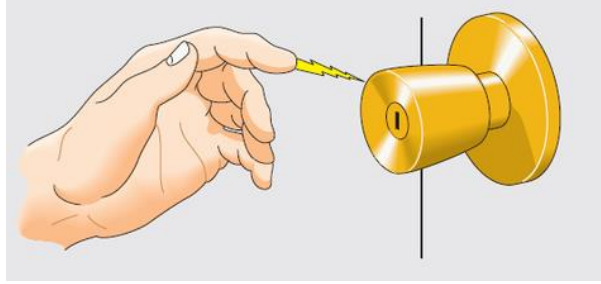
لكي يمر تيار كهربائي في دائرة ما فإنه يجب أن يكون بين طرفي هذه الدائرة فرق جهد كهربائي أو ما يسمى أيضاً بالضغط الكهربائي، ومعنى كلمة فرق جهد أن يكون أحد طرفي الدائرة به زيادة في الإلكترونات بينما الطرف الآخر به نقص في الإلكترونات، وعلى ذلك تنتقل الإلكترونات الحرة من الطرف الذي به زيادة في الإلكترونات إلى الطرف الذي به نقص في الإلكترونات ونتيجة تحرك هذه الإلكترونات ينشأ التيار الكهربائي في الدائرة، والشكل التالي يوضح أنواع الكهرباء.



شكل رقم ١: أنواع الكهرباء

## أمثلة للكهرباء الساكنة:

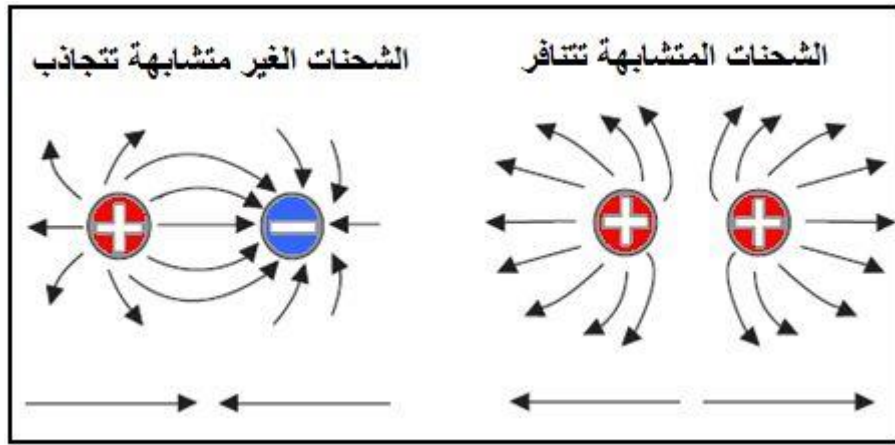
عندما تمشي على سجادة ثم تمسك بمقبض الباب المعدني، تشعر برعشة، في الدول ذات درجات الحرارة المنخفضة، عندما يدخل شخص إلى البيت من مكان بارد، ويسحب القبعة عن رأسه، يحدث أن شعره يقف على أطرافه. ما الذي يحدث؟ ولماذا يحدث غالباً في الشتاء؟ الإجابة هي الكهرباء الساكنة.



شكل رقم ٢: الكهرباء الاستاتيكية

## حركة الشحنات:

الشحنات المتعاكسة تتجاذب والمتشابهة تتنافر، الأجسام المشحونة بشحنات مختلفة تنجذب نحو بعضها بينما ذات الشحنات المتشابهة تدفع بعضها البعض بعيداً. الجسم المشحون أيضاً يجذب أي شيء متعادل، فكر كيف تلتصق بالوناً بالحائط، إذا دلكت البالون بشعرك فإنك تشحنه فهو سينتزع إلكترونات أكثر ويصبح سالباً، قربه من جسم متعادل فتتحرك الشحنات في ذلك الجسم. فإذا كان الجسم موصلاً فإن الإلكترونات ستتحرك بسهولة للجهة البعيدة عنه أي أبعد ما يكون عن البالون في ذلك الجسم أما إذا كان الجسم عازلاً فإن عدداً قليلاً من الإلكترونات يبتعد إلى الجهة البعيدة للجسم. في كلتا الحالتين الجهة القريبة من الجسم تصبح موجبة وهذا ما يجعل البالون يلتصق بالحائط.



شكل رقم ٣: اتجاه الشحنات المتشابهة والمختلفة

### تأثير الشحنات الكهربائية (الكهرباء الساكنة)

ولكن ما علاقة ذلك بالصدمة؟ الرعشة أو الشعر المُكهرب؟ عندما تخلع قبعتك فإنها تدلك بشعرك فتنتقل الإلكترونات من شعرك للقبعة (تسحب بشكل سالب) وهو أيضاً ما يشحن شعرك موجباً. وتتنافر الشعرات مع بعضها لأنها لها نفس الشحنة ويصبح شعرك كما بالأشكال التالية.



شكل رقم ٤: تأثير الكهرباء (الصدمة الكهربائية)

وعندما تسير على السجادة فبعض الإلكترونات تنتقل من صوفها إلى جسمك مما يجعلك تملك كمية من الإلكترونات الزائدة، ولكن يد الباب المعدنية موصل جيد للكهرباء مما يسهل انتقال الإلكترونات من جسمك إليها فتشعر برعشة.

تكون الكهروستاتيكية ملحوظة أكثر في الشتاء حينما يكون الهواء جافاً، وفي الصيف الهواء عالي الرطوبة لا تلاحظ الكهرباء الساكنة. لأن الماء (الرطوبة) يساعد في انتقال الإلكترونات بعيداً عن جسمك وبذلك لا تتكون شحنة عالية علياً قد تشكل خطراً عليك.

### تعريف الكهرباء الاستاتيكية:

الكهرباء الاستاتيكية هي نتيجة تكون شحنات بين جسمين أحد هذه الأجسام يحمل شحنة سالبة نتيجة وجود عدد من الإلكترونات الزائدة، بينما الجسم الآخر يوجد به نقص في الإلكترونات فشحنته موجبة، مجرد أن يتقابلوا يحدث تفريغ أي تعادل، يصبح الشحنات الموجبة والسالبة في الجسمين متعادلتان.

## ظاهرة التفريغ الألكتروستاتيكي:

مثال هذه الظاهرة في الطبيعة ظاهرة البرق، سببها وجود غيوم مشحونة غالباً بشحنة سالبة وتريد أن تفرغ شحنتها، والأرض أفضل مكان للتفريغ لأنه لا توجد إلكترونات في الأرض تعتبر فارغة، عندما تقترب الغيوم إلى أي نقطة من الأرض يحدث ما يسمى بالبرق؛ وهذه العملية تسمى بالتفريغ الألكتروستاتيكي.



شكل رقم ٥: التفريغ الألكتروستاتيكي (البرق)

**سؤال: هل يمكن الاستفادة من هذه الكهرباء (ظاهرة البرق)؟**

صعب جداً، لأنه لحظي، يتم تفريغ ملايين من الشحنات في لحظة زمنية قصيرة، فطبعاً لا يمكن معرفة مقدارها ولا تنظيمها وبالتالي لا يمكن الاستفادة منها.

## الكهرباء الديناميكية

تستخدم في بيوتنا في كل الأجهزة، مثال: الكهرباء التي تصدر من المولد الكهربائي أو الكهرباء التي تصدر من البطاريات، هذه الكهرباء عبارة عن سريان دائم (غير لحظي)، التيار الكهربائي في هذا النوع من الكهرباء يمكن التحكم به وبالتالي فهذا النوع من الكهرباء يمكن الاستفادة منه.



شكل رقم ٦: المولد الكهربائي



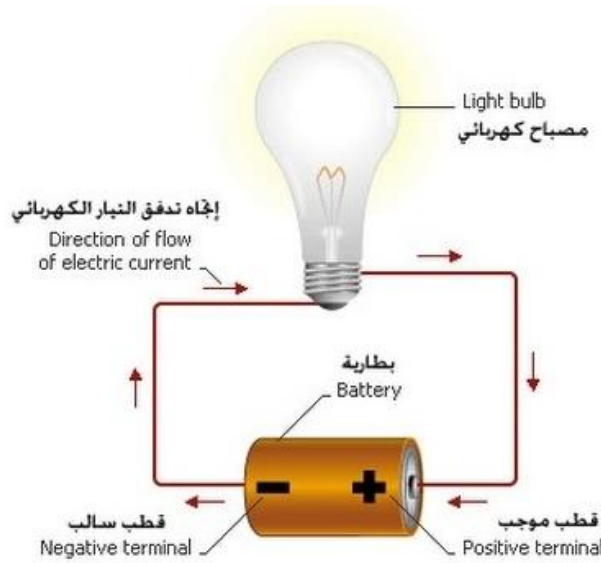
شكل رقم ٧: البطاريات

## ثانياً: أنواع التيار الكهربائي

ينقسم التيار الكهربائي إلى نوعين التيار المستمر والتيار المتردد وفيما يلي وصفاً مبسطاً لكل منهم.

### التيار المستمر Direct Current

هو التيار الذي يسرى في اتجاه واحد فقط إما في الموجب أو في السالب، الشكل التالي يبين كيفية عمل التيار المستمر.



شكل رقم ٨: التيار المستمر Direct Current

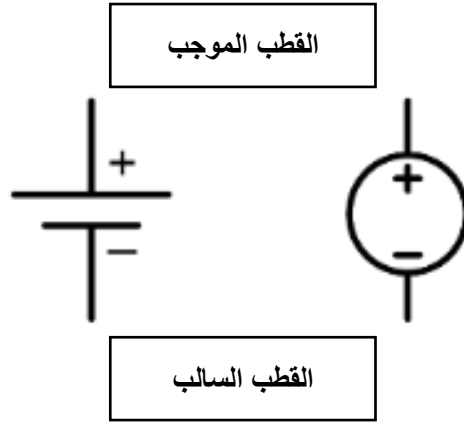
كما نلاحظ، فالطاقة الإلكترونية تنتقل في اتجاه واحد داخل أجزاء الدائرة الكهربائية، تتدفق فيه الإلكترونات من القطب السالب للدائرة إلى القطب الموجب، ويبقى هذا الاتجاه ثابتاً مع ثبات الجهد والتيار الكهربائي مهما تغير الزمن.

نلاحظ في التيار المستمر أن كله ثابت الاتجاه (سواء اتجاه موجب فقط أو سالب فقط)



الاستخدامات: يستخدم هذا النوع في التطبيقات ذات الجهد المنخفض، كذلك التي تستخدم البطاريات أو الخلايا الشمسية.

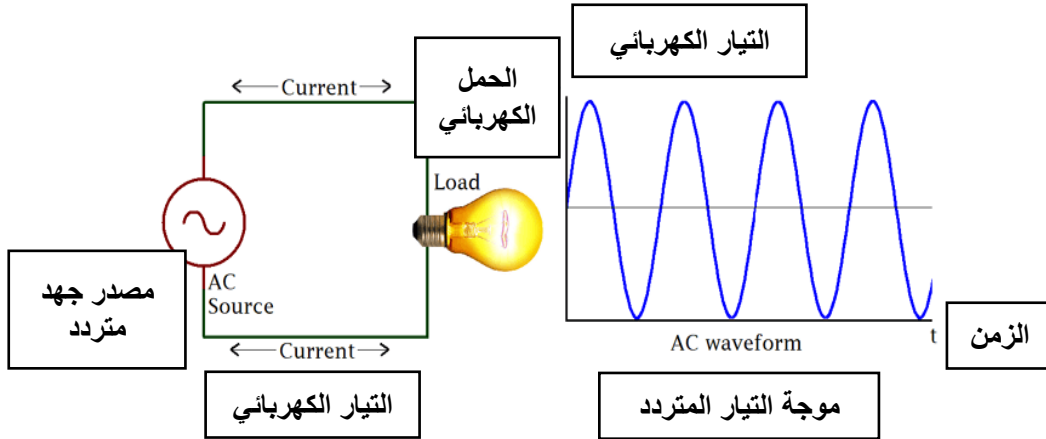
رمز مصدر الجهد المستمر.



شكل رقم ٩: رمز مصدر الجهد المستمر

## التيار المتردد Alternating Current

ويختصر (AC)، وهو التيار الذي يحصل فيه تغير مستمر في القيمة مع الزمن ينتقل فيه من الموجب إلى السالب، ولذلك يسمى أيضاً بالتيار المتناوب. وهو نوع من أنواع الكهرباء الديناميكية. الشكل التالي يبين كيفية عمل التيار المتردد في دائرة بسيطة.



شكل رقم ١٠: اتجاه التيار المتردد

كما نلاحظ فاتجاه تدفق الإلكترونات في أجزاء الدائرة الكهربائية يتغير عدة مرات في الثانية الواحدة بسبب تناوب القطبين السالب والموجب ويسمى هذا التيار بالتيار المتردد، نظراً لتردد اتجاه التيار بين القطبين السالب والموجب. لهذا السبب علينا الأخذ بالاعتبار احتساب دالة للوقت عند التعامل رياضياً مع هذا التيار. الاستخدامات: يستخدم هذا النوع عند توصيل المولدات الكهربائية الضخمة والمحركات.



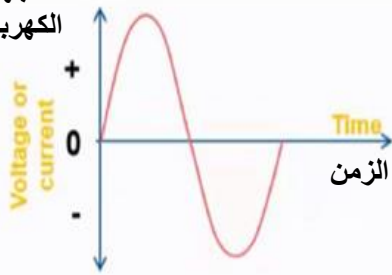
شكل رقم ١١: رمز مصدر الجهد المتردد

لا يوجد على الرمز قطبية سالبة أو موجبة لأن القطبية تتغير باستمرار (تيار متناوب - متردد)



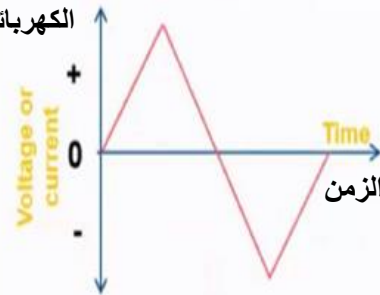
## أمثلة للتيار المتردد

التيار أو  
الجهد  
الكهربائي



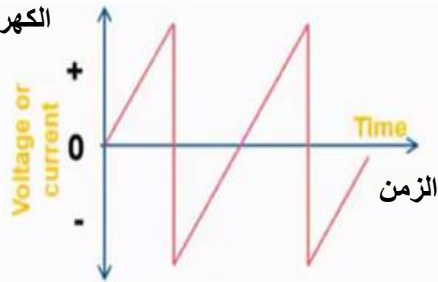
الموجة الجيبية  
Sine wave

التيار أو  
الجهد  
الكهربائي



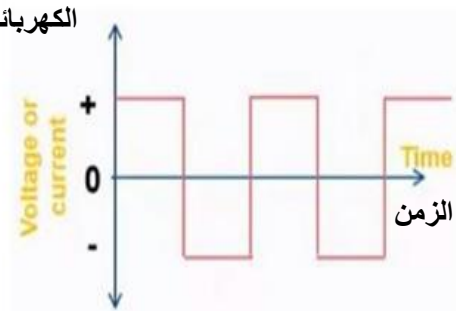
الموجة المثلثية

التيار أو  
الجهد  
الكهربائي



موجة سن المنشار

التيار أو  
الجهد  
الكهربائي



الموجة المربعة

شكل رقم ١٢: أشكال الموجات للتيار المتردد

## خصائص التيار المتردد:

في الجزء التالي نتعرف على الخصائص الرئيسية للتيار المتردد وهي:

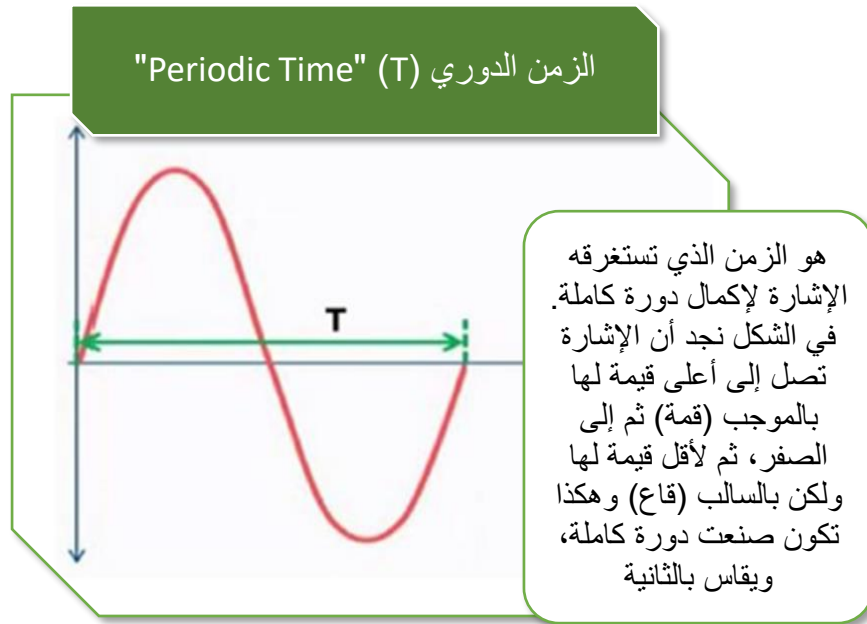
⌚ الزمن الدوري.

⌚ التردد.

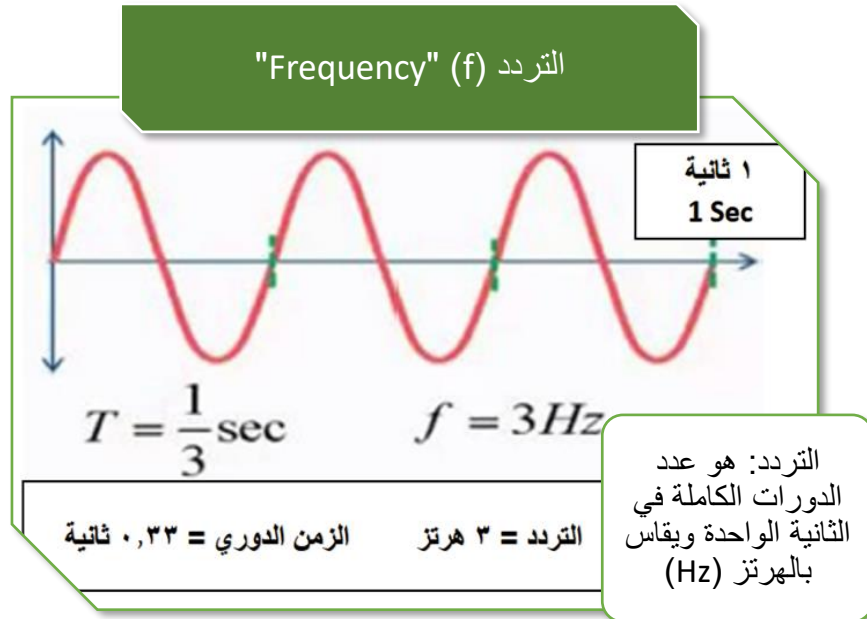
⌚ العلاقة بين التردد والزمن الدوري.

⌚ طرق قياس التيار المتردد.





شكل رقم ١٣: إشارة لدورة كاملة



شكل رقم ١٤: إشارة لعدد ثلاثة دورات

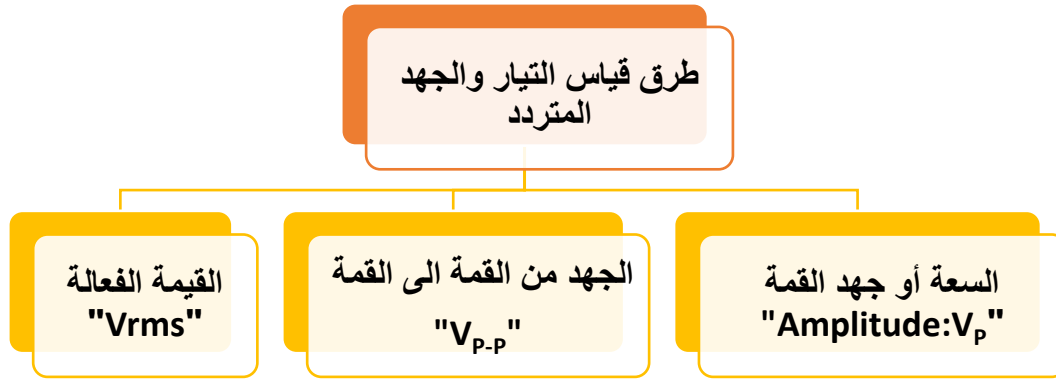
والمعادلة التالية توضح أن علاقة التردد مع الزمن الدوري هي علاقة عكسية، بمعنى أنه إذا زاد التردد قل الزمن الدوري والعكس بالعكس.

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

حيث أن:

$f$ : التردد ويقاس بالهرتز ويرمز له بالرمز (Hz).

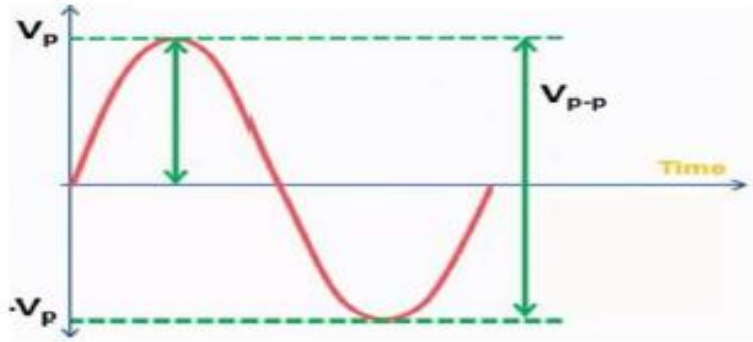
$T$ : الزمن الدوري ويقاس بالثانية (Sec).



شكل رقم ١٥: طرق قياس جهد الموجات المترددة

**السعة أو جهد القمة (Amplitude -V<sub>p</sub>):**

وهو أقصى جهد تصل إليه الإشارة ويرمز له (V<sub>p</sub>)، ونلاحظ أن الجهد العلوي (القمة) = الجهد السفلي (القاع).



شكل رقم ١٦: السعة أو جهد القمة

**الجهد من القمة إلى القاع (V<sub>p-p</sub>):**

وهو أقصى جهد تصل إليه الإشارة من الجهة الموجبة إلى الجهة السالبة وهو ضعف جهد القمة.

$$V_{p-p} = 2V_p$$

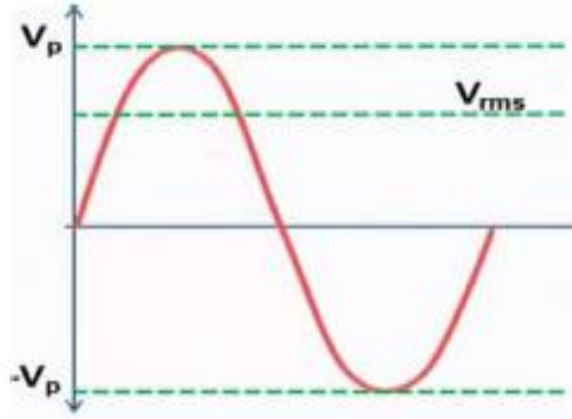
لاحظ أن قيمة جهد التيار المتردد تتغير باستمرار من الصفر إلى الموجب حتى تصل إلى القمة الموجبة ثم تهبط وصولاً إلى الصفر ثم إلى القمة السالبة وتعود إلى الصفر مرة ثانية.

**القيمة الفعالة (Vrms)**

إن قيمة الجهد أو التيار معظم الوقت تكون أقل من جهد القمة ولهذا السبب فلا تكون القمة مقياس جيد للتأثير الحقيقي للجهد أو التيار، ولهذا السبب يتم استخدام القيمة الفعالة للجهد (Vrms: Root Mean

(Square)، هو نفس قيمة الجهد المستمر الذي ينتج نفس الحرارة المتولدة عند تغذية نفس الحمل، ويعطى بالعلاقة التالية.

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



شكل رقم ١٧: القيمة الفعالة (Vrms)

لاحظ أن مصدر التغذية الرئيسي لمعظم الأجهزة المنزلية هو التيار المتردد وشكلها الموجة الجيبية، بجهد فعال (٢٢٠ فولت) (220 Vrms)



### ثالثاً: المبادئ الأساسية في الدوائر الكهربائية

إن المبادئ الأساسية للدوائر الكهربائية هي معرفة الكميات والمقادير الكهربائية الرئيسية وعلاقتهم ببعض عن طريق مجموعه من القوانين، كما سيتضح من السطور التالية

#### الكميات الكهربائية الأساسية

تخضع الكميات والمقادير الكهربائية سواء للتيار المتردد أو التيار المستمر للقياسات الكهربائية بأجهزة قياس مناسبة ذات حساسية عالية ودقة كبيرة ومن هذه الكميات والمقادير الكهربائية:

❏ الشحنة الكهربائية.

❏ فرق الجهد.

❏ التيار الكهربائي.

❏ شدة التيار الكهربائي.

❏ الأمبير.

❏ الكولوم.

❏ الفولت.

للـ القوة الدافعة الكهربائية.

للـ المقاومة الكهربائية.

للـ التوصيلية الكهربائية للمادة.

للـ القدرة الكهربائية.

للـ الشغل الكهربائي.

### الشحنة الكهربائية (Electrical Charge)

هي خاصية تحملها الجسيمات الدون ذرية (الأصغر من الذرة)، وهي مصدر القوة الكهرومغناطيسية في الطبيعة، تحمل الجسيمات شحنة سالبة أو موجبة أو متعادلة، وتحمل الإلكترونات شحنات سالبة والبروتونات شحنات موجبة، والنيوترونات شحنات متعادلة، ووحدة قياس الشحنة هي الكولوم ويرمز للشحنة بالرمز (Q).

### فرق الجهد (Potential Difference)

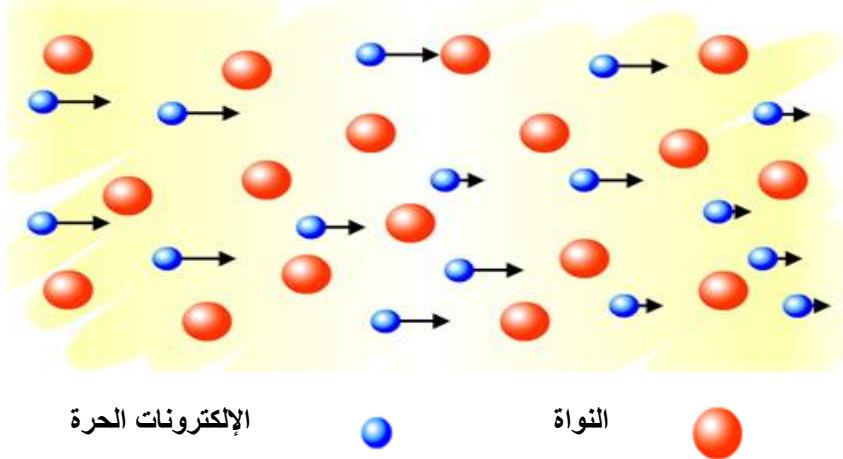
يسمى فرق الجهد بين نقطتين في دائرة كهربية بالجهد أو الضغط الكهربائي وهو الذي يسبب مرور التيار الكهربائي من إحدى النقطتين إلى النقطة الأخرى ويرمز له بالرمز (V) أو بالرمز (E)، كما يعرف الجهد بأنه الطاقة المبذولة لتحريك وحدة الشحنة ضد المجال بين نقطتين، ووحدة الجهد هي الفولت (Volt) ويرمز له بالرمز (V).



شكل رقم ١٨: فرق الجهد

**التيار الكهربائي (Current):**

هو فيض من الشحنات الكهربائية يسرى في موصل عند وجود فرق جهد أو بطارية.



الإلكترونات الحرة



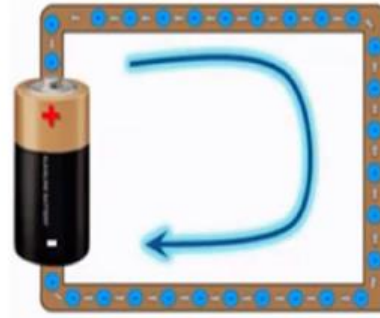
النواة



شكل رقم ١٩: حركة الإلكترونات داخل الموصل

**الاتجاه التقليدي للتيار الكهربائي:**

وهو يعبر عن مرور الشحنات الكهربائية من الطرف الموجب إلى الطرف السالب للموصل وهو الاتجاه المأخوذ به.



شكل رقم ٢٠: اتجاه التيار في الدائرة الكهربائية.

**شدة التيار الكهربائي (Current Intensity)**

شدة التيار هي مقدار الشحنة (Q) (وتقاس بالكولوم) المارة في موصل في ثانية واحدة (t) خلال مساحة معينة ويرمز لها بالرمز (I) ووحدة قياس شدة التيار هي الأمبير (Ampere) ويرمز له بالرمز (A).

$$I = \frac{(Q) \text{ الشحنة الكهربائية}}{(t) \text{ الزمن}}$$

**مثال:**

أوجد شدة التيار المار في موصل خلال ١٠ ثواني إذا كانت كمية الشحنة الكهربائية المارة خلال هذه الفترة ١٥ كولوم.

**الحل:**

$$I = \frac{15}{10} \\ = 1.5 \text{ A}$$

**الأمبير:**

هو شدة التيار المار في دائرة كهربية عندما يكون معدل سريان الشحنة الكهربية خلال مقطع معين من الموصل واحد كولوم في الثانية.

**الكولوم:**

هو كمية الكهربية التي تمر عبر مقطع معين من الموصل في الثانية الواحدة عندما تكون شدة التيار الكهربائي واحد أمبير.

**القوة الدافعة الكهربية:**

هو الشغل الكلي المبذول لنقل وحدة الشحنات في الدائرة الكهربية من إحدى النقطتين إلى الأخرى.

**الفولت (Volt)**

هو فرق الجهد بين نقطتين عندما يلزم بذل شغل قدرة واحد جول (J) لنقل وحدة الشحنات الكهربية بين هاتين النقطتين.

**المقاومة (Resistance)**

جميع المواد لها مقاومة كهربية وهي تعنى درجة معاكسة مرور التيار الكهربائي في المادة بدرجات متفاوتة ويرمز لها بالرمز (R) ويطلق عليها المقاومة المادية. ووحدة قياس المقاومة هي الأوم (Ohm) ويرمز لها بالرمز (Ω).



شكل رقم ٢١: المقاومة الكهربية

وهناك عدداً من العوامل التي تتوقف عليها المقاومة الكهربية لموصل عند ثبوت درجة الحرارة.

١. طول الموصل (L) ويقاس بالمتراً، والتناسب طردي.
٢. مساحة مقطع الموصل (A) ويقاس بالمتراً المربع (م<sup>٢</sup>)، والتناسب عكسي.

٣. نوع مادته، ويؤثر في المقاومة النوعية ويرمز لها بالرمز ( $\rho$ ) (تنطق "رو")، والمقاومة النوعية للمادة هي مقاومة موصل من هذه المادة طوله ١ متر ومساحة مقطعة ١ م<sup>٢</sup> عند درجة حرارة معينة وتقاس بوحدة (أوم. متر)، وتتناسب مع المقاومة طردياً، والمعادلة التالية تعطي قيمة المقاومة الكهربائية حسب العوامل السابقة:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad \Omega$$

**التوصيلية الكهربائية للمادة:**

هي قابلية المادة للتوصيل الكهربائي وهي مقلوب المقاومة النوعية ويرمز لها بالرمز ( $\sigma$ ) (تنطق سيجما) ووحدتها سيمنز (S)

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

**مثال:**

أحسب المقاومة النوعية لسلك طوله ١ متر ومساحة مقطعة ١ متر مربع ومقاومته ٧ أوم.

**الحل:**

$$\begin{aligned} R &= \rho \frac{l}{A} \\ \rho &= R \frac{A}{l} \\ &= 7 \times \left(\frac{1}{1}\right) \\ &= 7 \Omega.m \end{aligned}$$

**مثال:**

خط من خطوط نقل الكهرباء طوله ٥ كيلومتر وقطرة ٦٤ متر أحسب مقاومته علماً بأن المقاومة النوعية لمادة  $1.79 \times 10^{-8}$  أوم متر.

**الحل:**

$$\begin{aligned} R &= \rho \frac{l}{A} \\ R &= \rho \frac{l}{\pi r^2} \\ R &= 1.79 \times 10^{-8} \frac{5 \times 10^3}{\pi \times (32)^2} \\ R &= 0.029 \Omega \end{aligned}$$

**مثال:**

سلك من النحاس طوله ٣٠ متر مساحة مقطعة  $0.33 \times 10^{-6}$  متر مربع ومقاومته النوعية  $1.72 \times 10^{-8}$  أوم. متر أحسب مقاومته.

**الحل:**

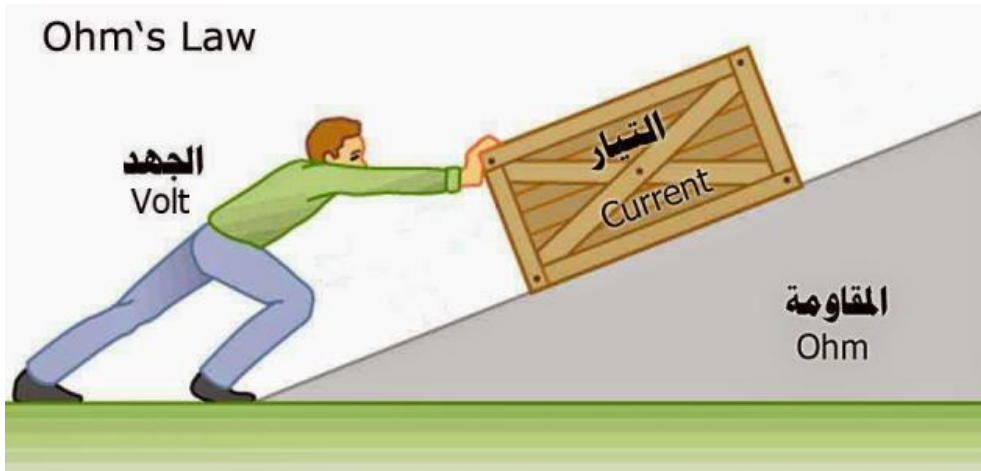
$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$R = 1.72 \times 10^{-8} \frac{30}{0.33 \times 10^{-6}}$$

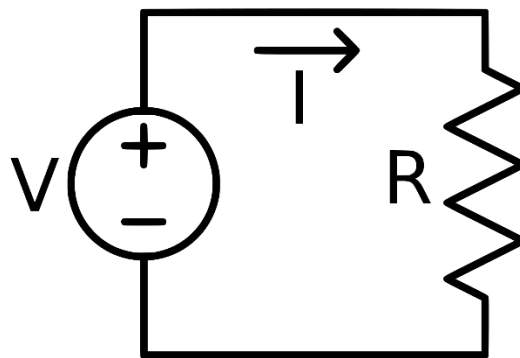
$$R = 1.564 \Omega$$

**قانون أوم:**

ينص قانون أوم على أنه تتناسب شدة التيار الكهربائي المار في موصل تناسباً طردياً مع فرق الجهد بين طرفيه عند ثبوت درجة الحرارة.

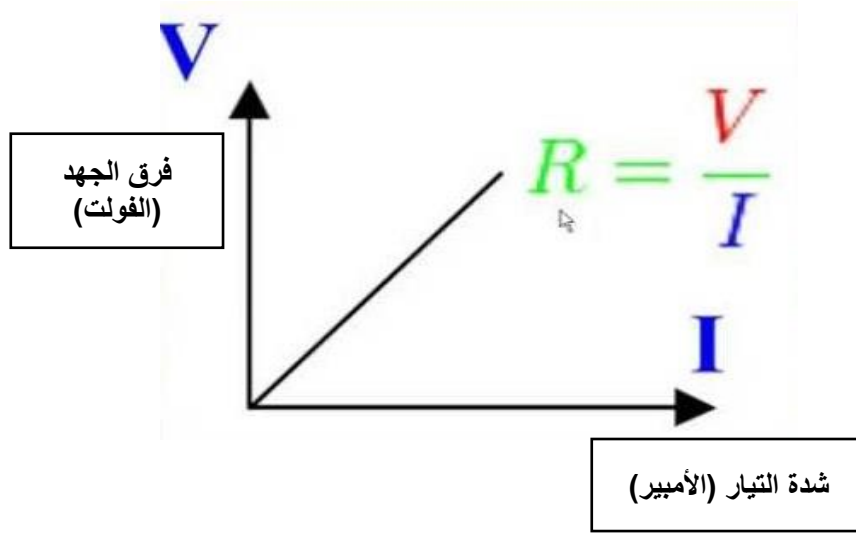


شكل رقم ٢٢: قانون أوم



شكل رقم ٢٣: دائرة كهربائية بسيطة





شكل رقم ٢٤: العلاقة بين فرق الجهد وشدة التيار

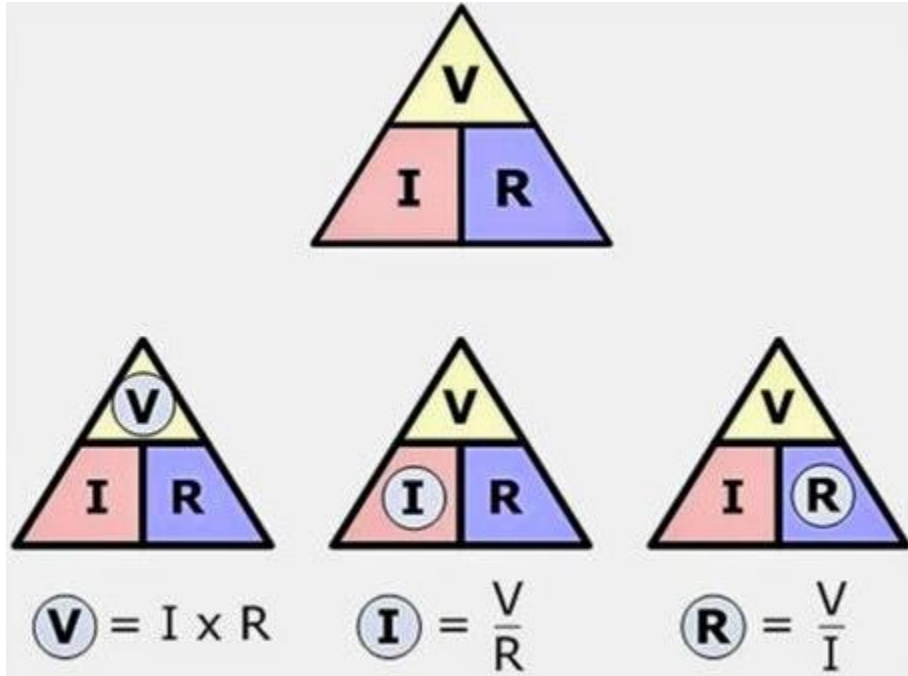
فرق الجهد (V) يتناسب طردياً مع شدة التيار (I)، وثابت التناسب هو مقاومة الموصل (R) كما هو موضح بالمعادلات التالية.

$$V \propto I$$

$$V = \text{ثابت} * I$$

$$V = I * R$$

الشكل التالي يوضح كيفية إيجاد أحد المتغيرات (V,I,R) بمعرفة الآخرين



شكل رقم ٢٥: قانون أوم

### مثال:

احسب فرق الجهد المتولد في مقاومة مقدارها 3 كيلو أوم (3 KΩ) إذا علمت أن شدة التيار المار خلالها يساوي 6 مللي أمبير (6 mA).

الحل:

$$V = I * R$$

$$V = 6 \times 10^{-3} * 3 \times 10^3$$

$$V = 18 \text{ Volt}$$

مثال:

احسب شدة التيار المار في مقاومة مقدارها ٢٠٠ أوم إذا علمت أن فرق الجهد عليها يساوي ٦,٨ فولت.

الحل:

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

$$I = \frac{6.8}{200}$$

$$I = 0.034 \text{ A}$$

مثال:

أحسب قيمة مقاومة الموصل عندما يكون فرق الجهد المتولد ٣,٢ فولت وشدة التيار المار خلالها يساوي ٦ ملي أمبير.

الحل:

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

$$R = \frac{3.2}{6 \times 10^{-3}}$$

$$R = 533.3 \Omega$$

### القدرة الكهربائية (Electric Power) "P"

هي معدل الطاقة الكهربائية (الشغل الكهربائي) بالنسبة للزمن وهي حاصل ضرب الجهد في شدة التيار، ووحدة قياس القدرة الكهربائية هي الواط (Watt) ويرمز لها بالرمز (W).

$$P = \frac{W}{t} = I * V$$

تتحول القدرة الكهربائية في الموصلات والمقاومات إلى طاقة حرارية.



## الشغل الكهربى ("W" (Electric Work)

الشغل الكهربى هى القدرة الكهربىة مضروبة فى زمن تأثيرها. وبإيجاد الشغل الكهربائى يمكن حساب الطاقة الكهربىة ويرمز للشغل الكهربى بالرمز (W) ووحدة قياس الشغل الكهربائى هو الجول ويرمز له بالرمز (J) وهو يساوى (الواط ثانية) ويرمز لها بالرمز (W.S). ويوضح الجدول الآتى الكميات الكهربائىة الأساسية ووحدة القياس لكل كمية، بينما الجدول الذى يليه يوضح سوابق (Prefix) النظام الدولى للوحدات.

الكمية الكهربائىة	رمز الكمية	وحدة القياس	رمز الوحدة
شدة التيار	I	أمبير	A
الجهد	V	الفولت	V
المقاومة	R	أوم	$\Omega$
القدرة	P	واط	W
الشغل الكهربائى	W	جول	J

جدول رقم ١: الكميات الكهربىة

الكمية	رمز الكمية	تساوى	وصف
مئلى	M	$\frac{1}{1000}$	واحد من الألف
كلىو	K	1000	ألف
مىجا	M	1000000	ملىون

جدول رقم ٢: سوابق النظام الدولى للوحدات

## السلامة المهنىة من مخاطر الكهرباء

تنشأ معظم أخطار التيار الكهربائى من التعامل الخاطىء لغير الفنىين للتجهيزات والآلات الكهربائىة، لذلك يتحتم على فنىين الكهرباء المتخصصىن من واقع تأهيلهم التعللىمى والتدرىبى تفادى مصادر الخطر وإزالتها فوراً. ولوقاية جمىع العاملىن فى مجال الكهرباء من المخاطر والحوادث المحتمل حدوثها، لذلك يجب اتباع وتطلىق قواعد وإرشادات السلامة والصحة المهنىة التالىة -

١. نظراً لأن التيار الكهربائى الذى شدته أعلى من ٢٠ مللى أمبير يسبب لدى انسىابه خلال الجسم تقلصات عضلىة، فانه يتحتم تأرىض الأجزاء الواقعة تحت جهد أعلى من ٢٥ فولت تيار متغىر، أو ٦٠ فولت تيار مستمر، أو منع تلامسهما ببعضهما البعض مباشرة على الإطلاق.

٢. لتفادي منع الأخطار الناشئة عن التيار الكهربائي، ضمان ألا يتم إطلاقاً العمل دون داع على الأجزاء الواقعة تحت جهد ثانوي أو جهد أقل من الجهد المقنن، وإذا لم يمكن تنفيذ العمل مع انعدام الجهد، فإنه يجب أن يقوم بالعمل، فني متخصص مؤهل مع استخدام عدد وملابس معزولة جيداً.
٣. ينبغي توصيل الأجزاء القابلة للتوصيل، والغير حاملة لجهد كهربائي بموصل حماية منخفض للمقاومة، ويتحتم مراعاة تعليمات إجراءات الحماية الخاصة بهذه الحالة.
٤. معاينة التجهيزات باستمرار أثناء العمل.
٥. استخدام عدد تحقق متطلبات الأمن والسلامة.
٦. يجب أن تتوفر أجهزة القياس اللازمة لإجراء الفحوص والاختبارات الهامة مثل التيار، الجهد، مقاومة العزل، ومقاومة التأريض.
٧. التأكد من وجود المواد العازلة على الأجهزة والعدد الكهربائية وكسوتها بغلاف واقى في حالة عدم وجوده عليها.
٨. الاختبار الدوري لوسائل الحماية للتأكد من صلاحيتها وخلوها من الأعطال مثل تمزق العوازل.
٩. توعية جميع العاملين بمخاطر الكهرباء، وطرق الوقاية منها، وأهمية التزامهم بقواعد وتعليمات السلامة، واستخدام معدات الوقاية الشخصية.
١٠. عدم لمس خطوط نقل الكهرباء العلوية المتقطعة، حتى يتم فصل التيار عنها، وإبلاغ عن أي عطل كهربائي للمسؤول بسرعة.
١١. التوصيل بين غلاف الجهاز الكهربائي الموصل للتيار ولوح أرضي ذو مقاومة منخفضة جداً بواسطة سلك يوصل بالأرض، بهدف فصل التيار عندما يزيد عن الحد المسموح به في حالة حدوث ملامسة، ويسمى بالعزل الأرضي.
١٢. عزل الأجهزة التي تعمل بالضغط العالي عن بقية الأجهزة، ووضع اللوحات التحذيرية والإرشادية، وعدم السماح لغير المختصين بالوصول إليها.
١٣. إبعاد المواد سريعة الاشتعال (الغازات - الكيماويات ... وغيرها) عن مواقع الأجهزة الكهربائية خوفاً من حدوث الحرائق.
١٤. تبريد بعض الأجهزة الكهربائية (المحولات) الطرق المناسبة لخفض درجة حرارتها، وعدم تعرض الأجهزة الكهربائية ومكوناتها للرطوبة والغبار والغازات.
١٥. توفير أجهزة ومعدات إطفاء الحريق المناسبة وتوزيعها بشكل يغطي جميع أماكن العمل وخاصة الخطرة منها.
١٦. للوقاية من الكهرباء الساكنة يجب استخدام المواد غير المولدة للكهرباء الساكنة، والحد من تولد الشحنات السالبة، برش المواد برذاذ من السائل الملائم لذلك، بهدف تسريب الشحنات إلى الأرض.

## أسئلة الباب الأول

أولاً: عرف كل مما يأتي:

١. فرق الجهد.
٢. التيار الكهربائي.
٣. الأمبير.
٤. الكولوم.
٥. الفولت.
٦. القوة الدافعة الكهربائية.
٧. المقاومة.
٨. المقاومة النوعية للمادة.
٩. التوصيلية الكهربائية للمادة.
١٠. قانون أوم.
١١. القدرة الكهربائية.
١٢. الشغل الكهربائي.

ثانياً: ما معنى قولنا أن:

١. فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين يساوي ١٥ فولت.
٢. مقدار الشغل المبذول لنقل شحنة كهربائية مقدارها ٣ كولوم بين نقطتين في دائرة كهربائية يساوي ٢٤ جول (J).
٣. القدرة الكهربائية لجهاز ٥٠٠ وات (W).
٤. شدة التيار المار في موصل مقاومته ١٠ أوم ( $10\Omega$ ) هي ٠,٢ أمبير (0.2A).
٥. انتقال شحنة كهربائية مقدارها ٢٠٠ كولوم بين نقطتين فرق الجهد بينهما ٤٠ فولت.

ثالثاً: علل

لابد من بذل شغل لنقل الشحنات الكهربائية من نقطة إلى أخرى؟

رابعاً: أختار الإجابة الصحيحة مما يأتي:

١. إذا زاد طول سلك مقاومة إلى الضعف وقلت مساحة مقطعة إلى النصف فإن مقاومته تصبح.
  - أ. ضعف قيمتها.
  - ب. أربعة أمثال قيمتها.
  - ج. تظل ثابتة.

٢. إذا زاد طول سلك إلى النصف وزاد قطره أيضاً إلى الضعف فإن مقاومته
- أ. تقل إلى النصف.
- ب. تزداد إلى الضعف.
- ج. لا تتغير.

#### خامساً: حل المسائل التالية:

١. أوجد شدة التيار المار في موصل خلال ١٨ ثانية، إذا كانت كمية الكهرباء المارة خلال هذه الفترة ٢٧ كولوم.
٢. كم يكون الشغل اللازم لنقل تيار شدته ٣ مللي أمبير عبر موصل فرق الجهد بين طرفيه ١٥ فولت خلال فترة زمنية ٦ دقائق.
٣. أحسب المقاومة النوعية لسلك طوله ١,٥ متر ومساحة مقطعة ٢ متر مربع ومقاومته ١٠٠ أوم.
٤. خط من خطوط نقل الكهرباء طوله ٨ كيلومتر وقطره ١ متر احسب مقاومته علماً بأن المقاومة النوعية لمادة ٣,٨٩ × ١٠<sup>-٣</sup> أوم متر.
٥. سلك من النحاس طوله ٤٥ متر مساحة مقطعة ٠,٢٥ متر مربع ومقاومته النوعية ٢,٤٥ × ١٠<sup>-٣</sup> أوم متر أحسب مقاومته.
٦. أحسب قيمة مقاومة الموصل عندما يكون فرق الجهد المتولد ٣,٢ فولت وشدة التيار المار خلالها يساوي ٦ مللي أمبير.
٧. احسب شدة التيار المار في مقاومة مقدارها ٢٠٠ أوم إذا علمت أن فرق الجهد عليها يساوي ١٢ فولت.
٨. احسب فرق الجهد المتولد في مقاومة مقدارها ١٠ كيلو أوم إذا علمت أن شدة التيار المار خلالها يساوي ٠,٢٥ أمبير.
٩. سلك طوله ٣٠ متر ومساحة مقطعة ٠,٢ سم<sup>٢</sup> وصل على التوالي مع مصدر تيار مستمر وأميتر، قيس فرق الجهد بين طرفي السلك بواسطة فولتمتر فوجد ٠,٨ فولت فإذا كانت شدة التيار المار في السلك ٢ أمبير أحسب التوصيلية الكهربائية للسلك.
١٠. سلك طوله ٢ متر ومساحة مقطعة ٠,١ سم<sup>٢</sup> يمر فيه تيار كهربائي شدته ١,٥ أمبير عندما يكون فرق الجهد بين طرفيه ٧,٥ فولت أحسب التوصيلية الكهربائية لمادة السلك.
١١. سلك من النحاس طوله ٣٠ متر مساحة مقطعة ٠,٠١ متر مربع عندما مر به تيار كهربائي أصبح فرق الجهد بين طرفيه ٣ فولت أحسب شدة التيار الكهربائي المار علماً بأن المقاومة النوعية للنحاس ١,٧٩ × ١٠<sup>-٨</sup> أوم متر.



# الباب الثاني: دوائر التيار المستمر DC Circuits





## مقدمة

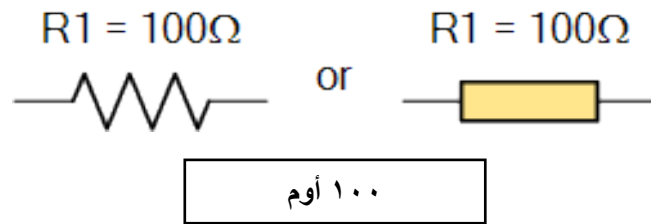
ينقسم هذا الباب إلى قسمين أساسيين، الأول نوضح به المكونات الأساسية للدوائر الكهربائية من مقاومات ومكثفات وملفات وطرق توصيلهما المختلفة، بينما في الجزء الثاني نقدم بعض القوانين المستخدمة في دوائر التيار المستمر مثل قوانين كيرشوف للتيار والجهد.

## أولاً: المكونات الأساسية للدوائر الكهربائية

## المقاومة الكهربائية Resistor

تعتبر المقاومة من أهم عناصر الدائرة الكهربائية حيث يتم عن طريقها التحكم في التيار والجهد في الدائرة. وللمقاومة عدة مواصفات مثل القيمة والقدرة (Power) ومادة الصنع ونسبة التفاوت (Tolerance) والشكل وهل هي ثابتة أم متغيرة.

يرمز للمقاومة بالرمز "R" وتقاس بجهاز الأوميتر ووحدة قياسها هي الأوم ويرمز له "Ω" والمقاومات الكبيرة تقاس بالكيلو أوم (KΩ) (الكيلو = ألف) أو الميجا أوم (MΩ) (الميجا = مليون)، وتأخذ الرمز كما بالشكل التالي:



شكل رقم ٢٦: رمز المقاومة الكهربائية

وتوصف المقاومة الكهربائية بقيمتها وكذلك بقدرتها الكهربائية فمثلا يقال المقاومة ١٠٠ أوم (100 Ω)، ٢ واط (2 W). وهذا يعني أن قيمة المقاومة ١٠٠ Ω وتحمل قدرة كهربية ٢ واط (W) وهذا يُمكننا من معرفة أقصى تيار تتحمله المقاومة حتى لا تتلف بمعرفة الجهد الواقع عليها. ويوجد على سطح المقاومة ألوان تُمكن المستخدم من معرفة قيمتها وكذلك دقتها أو نسبة التفاوت (Tolerance) فيها. ويمكن قراءة قيمة المقاومة من تعلم كود الألوان، والجدول التالي يوضح خواص المقاومة الكهربائية.

الوصف	الخاصية
يعبر عن القيمة المطلوبة بالأوم ( $\Omega$ ) أو الكيلو أوم ( $K\Omega$ ) أو الميجا أوم ( $M\Omega$ ).	المقاومة (Resistance)
هي القدرة القصوى التي تبديها المقاومة. $P = I * V = I^2 * R = \frac{V^2}{R}$	القدرة (Power)
هو الانحراف الأقصى المسموح به عن القيمة المقروءة (يعبر عنه كنسبة مئوية من قيمة المقاومة %) ويكون بالزيادة أو النقصان.	التفاوت (Tolerance)

جدول رقم ٣: خواص المقاومات الكهربائية

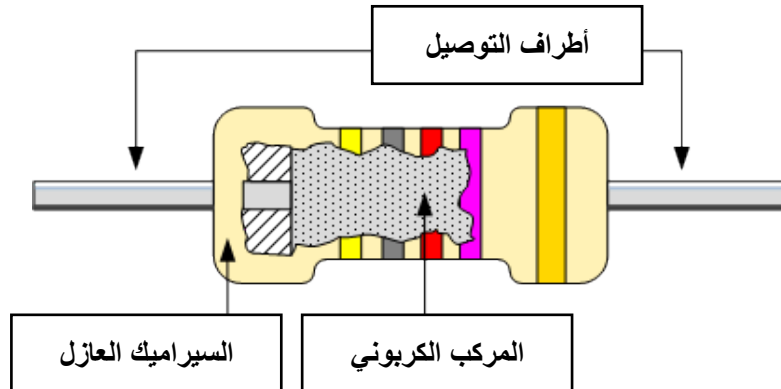
### أنواع المقاومات

تتعدد أنواع المقاومات الكهربائية حسب المادة المصنوعة منها وطريقة استخدامها، وسنوضح معظم أنواعها وهم:

- المقاومة الكربونية.
- المقاومة السلكية.
- المقاومة الحرارية.
- المقاومة الضوئية.
- المقاومة المتغيرة.

### المقاومة الكربونية "Carbon Resistor"

عبارة عن قضيب من السيراميك يرسم عليه مسحوق من الكربون وكلما زادت كمية الكربون كلما قلت قيمة المقاومة ويفضل استخدامها لأنها أصغر في الحجم وتكلفة صناعتها قليلة ودائماً تكون مقاومات ثابتة.



شكل رقم ٢٧: تركيب المقاومة الكربونية

### المقاومة السلكية "Wire wound Resistor"

عبارة عن سلك طويل عادة من النيكل كروم ويلف على قالب من السيراميك وتكون أكثر استقراراً وأكثر دقة من المقاومة الكربونية ولكنها أكبر حجماً وأكثر تكلفة ويوجد منها نوعين:

لل مقاومة ثابتة.

لل مقاومة متغيرة.

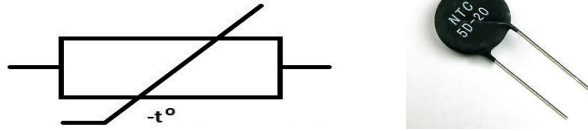
**المقاومة الحرارية "Thermostat"**

المقاومة الحرارية (Thermostat) هي المقاومة التي تتغير قيمتها بتغير درجة الحرارة عليها، ومن أشهر أنواعها المقاومة الحرارية السالبة، أما كلمة مقاومة سالبة فنقصد أنها مع زيادة حرارتها تقل قيمتها.

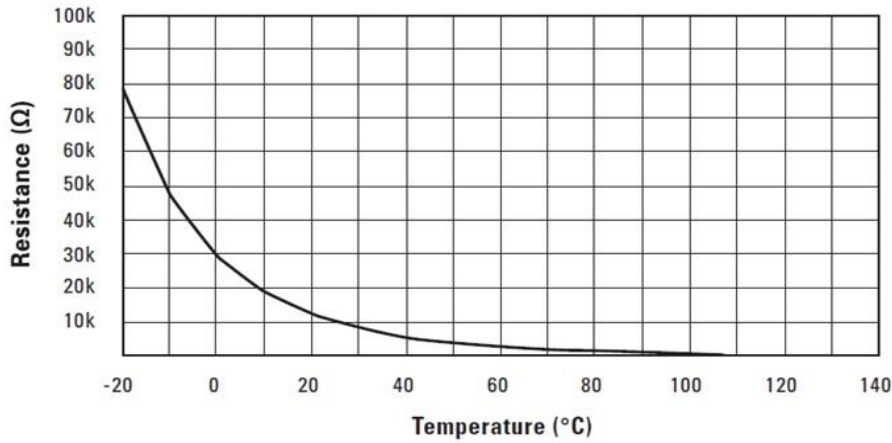
$$R_{NTC} \propto \frac{1}{\text{درجة الحرارة}}$$

حيث أن:

$R_{NTC}$ : (NTC: Negative Temperature Coefficient) تمثل قيمة المقاومة الحرارية وتقاس بالأوم (Ω).



شكل رقم ٢٨: رمز وشكل المقاومة الحرارية السالبة



شكل رقم ٢٩: منحنى العلاقة بين قيمة المقاومة الحرارية مقابل درجة الحرارة

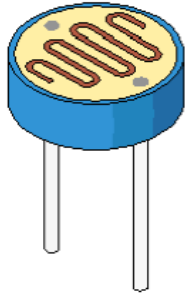
**المقاومة الضوئية "Photo resistor"**

تصنع من مادة حساسة للضوء، المقاومة الضوئية (Light Dependent Resistor) ويرمز لها اختصاراً (LDR) هي مقاومة كهربائية تقل مقاومتها عند شدة سطوع الضوء عليها.

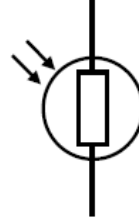
$$R_{LDR} \propto \frac{1}{\text{الإضاءة شدة}}$$

حيث أن:

$R_{LDR}$ : تمثل قيمة المقاومة الضوئية تقاس بالأوم (Ω).



Light Dependent Resistor

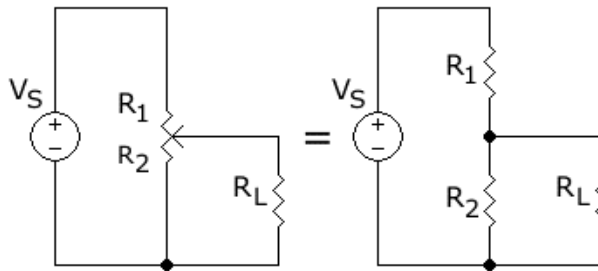


Symbol LDR

شكل رقم ٣٠: رمز وشكل المقاومة الضوئية

### المقاومة المتغيرة "Variable resistors"

تستخدم للحصول على قيمة متغيرة من المقاومة وهذه المقاومات تسمى "Potentiometers" (مجزئ الجهد) وهي تكون جزء من اللفة أو لفة كاملة أو عدة لفات من سلك المقاومة وتتوافر المقاومات المتغيرة في أشكال مختلفة. وأكثرها شيوعاً هي مجزئات الجهد ذوات المسارات الكربونية وذوات الأسلاك الملفوفة. وعملياً، المقاومة المتغيرة هي مقاومة ذات ثلاث أطراف وتعمل كمجزي للجهد، وفي حالة استخدام طرفين اثنين منهم (حيث يوصل الطرف الأوسط بأحد الطرفين)، أحدهما ثابت والآخر منزلق متحرك، فهو يعمل كمقاومة متغيرة أو ريوستات. وتستخدم المقاومة المتغيرة كثيراً في الأجهزة الكهربائية.



شكل رقم ٣١: المقاومة المتغيرة والدائرة المكافئة لها كمجزي للجهد.



### توصيل المقاومات في الدائرة الكهربائية

توصل المقاومات في الدائرة الكهربائية بعدة طرق منها توصيل على التوالي أو توصيل على التوازي أو توصيل مركب (توصيل توالي مع توصيل توازي في دائرة واحدة).

#### التوصيل على التوالي (Series Connection)

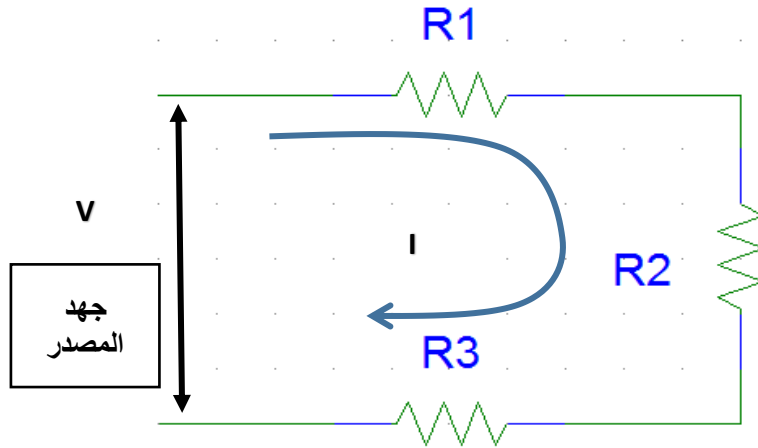
توصل المقاومات على التوالي في الدائرة الكهربائية لزيادة المقاومة الكلية في الدائرة ولزيادة تحمل الدائرة للجهد وفي هذه الحالة يمر نفس التيار في جميع المقاومات في الدائرة بنفس القيمة بينما يتم تقسيم الجهد على المقاومات وتناسب قيمة الجهد الواقع على المقاومة تناسباً طردياً مع قيمتها فكلما ارتفعت قيمة المقاومة زاد الجهد الواقع عليها في الدائرة (طبقاً لقانون أوم)، أي في حالة التوصيل على التوالي يكون التيار ثابتاً بينما يتم توزيع الجهد على المقاومات على حسب قيمتها.

لتوصيل ثلاث مقاومات على التوالي كمثل، يتم توصيل نهاية المقاومة الأولى ببداية المقاومة الثانية ونهاية المقاومة الثانية ببداية الثالثة، وفي هذه الحالة يتم حساب المقاومة الكلية للدائرة وهي تساوي المجموع الجبري للمقاومات الثلاث.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

حيث أن:

$R_T$ : تمثل قيمة المقاومة الكلية بالأوم ( $\Omega$ )



شكل رقم ٣٢: توصيل المقاومات على التوالي

وتكون قيمة شدة التيار المار في الدائرة ثابتة لجميع المقاومات وتساوي قيمة الجهد الكلي للدائرة مقسوما على المقاومة الكلية:

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

وفي هذه الحالة يتوزع الجهد الكلي للمصدر على المقاومات ويكون فقد الجهد (Voltage Drop) على كل مقاومة متناسبا طردياً مع قيمة المقاومة:

$$V_1 = I * R_1$$

$$V_2 = I * R_2$$

$$V_3 = I * R_3$$

وفي هذه الحالة يكون المجموع الجبري لجهود المقاومات يساوي جهد المصدر.

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

## خواص توصيل المقاومات على التوالي

أولاً: التيار

يكون متساوياً في جميع أجزاء الدائرة.

$$I_T = I = I_1 = I_2 = I_3$$

ثانياً: الجهد

يتجزأ على المقاومات حسب قيمتها، الجهد الكلي: يساوي مجموع الجهود الجزئية (الفرعية).

$$E = V_T = V_1 + V_2 + V_3$$

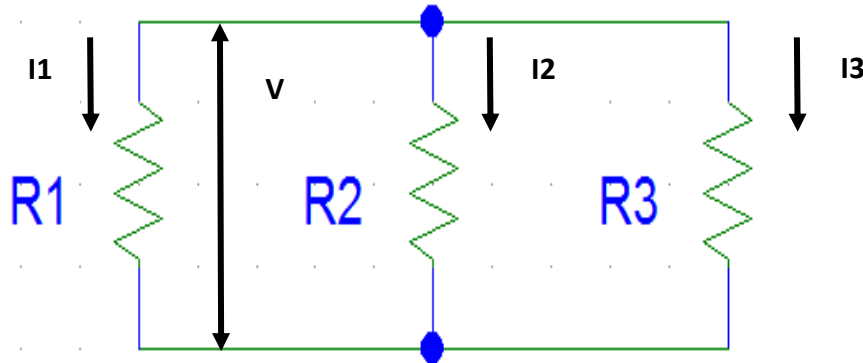
ثالثاً: المقاومة

المقاومة الكلية: تساوي مجموع المقاومات الموصلة على التوالي.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

### التوصيل على التوازي (Parallel Connection)

توصل المقاومات على التوازي في الدائرة الكهربائية لتقليل قيمة المقاومة الكلية في الدائرة وفي هذه الحالة يكون الجهد الواقع على جميع المقاومات ثابتاً بينما يتم تقسيم التيار على المقاومات وتتناسب قيمة التيار عكسياً مع قيمة المقاومة المار فيها. فكلما ارتفعت قيمة المقاومة أنخفض التيار المار فيها، أي في حالة التوصيل على التوازي يكون الجهد ثابتاً بينما يتم توزيع التيار على المقاومات على حسب قيمتها. لتوصيل ثلاث مقاومات على التوازي توصل كل البدايات مع بعضها البعض في طرف واحد وتوصل كل النهايات في الطرف الآخر، أي تتعدد مسارات التيار وتقع كل المقاومات تحت نفس الجهد.



شكل رقم ٣٣: توصيل المقاومات على التوازي

وتحسب المقاومة الكلية للدائرة من القانون

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

حيث أن:

$R_T$ : تمثل قيمة المقاومة الكلية بالأوم ( $\Omega$ )

ويتوزع التيار الكلي للدائرة على المقاومات بنسب عكسية مع قيمة كل مقاومة فالتيار المار في المقاومة يتناسب عكسياً مع قيمة المقاومة:

$$I_1 = \frac{V}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3}$$

وتكون قيمة الجهد على المقاومات ثابتة وتساوي قيمة الجهد الكلي للدائرة، بينما يكون التيار الكلي في الدائرة عبارة عن مجموع التيارات المختلفة في الدائرة:

$$I = I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

### خواص توصيل المقاومات على التوازي

أولاً: التيار

يتجزأ التيار على المقاومات حسب قيمتها، التيار الكلي: يساوي مجموع التيارات الفرعية.

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

ثانياً: الجهد

الجهد يكون ثابتاً على جميع المقاومات.

$$V = V_T = V_1 = V_2 = V_3$$

ثالثاً: المقاومة

مقلوب المقاومة الكلية يساوي مجموع مقلوب المقاومات الفرعية.

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

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

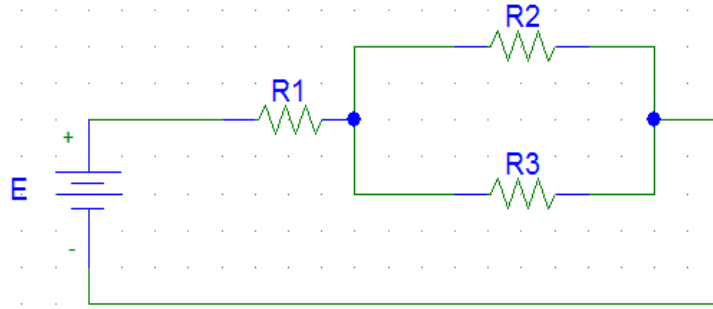


وفي حالة مقاومتان فقط موصلة على التوازي:

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

## التوصيل المركب

تتركب الدوائر الكهربائية في الحياة العملية من دوائر توالي ودوائر توازي وتعرف هذه الدوائر بالدوائر الكهربائية المركبة، ويمكن حساب المقاومة الكلية بالقوانين الخاصة بتوصيل المقاومات على التوالي والتوازي، توصل المقاومات على التوالي والتوازي معا في دائرة واحدة وفي هذه الحالة يتم تقسيم التيار والجهد.



شكل رقم ٣٤: توصيل مركب على التوالي والتوازي معا

مقارنة بين توصيل المقاومات على التوالي وعلى التوازي:

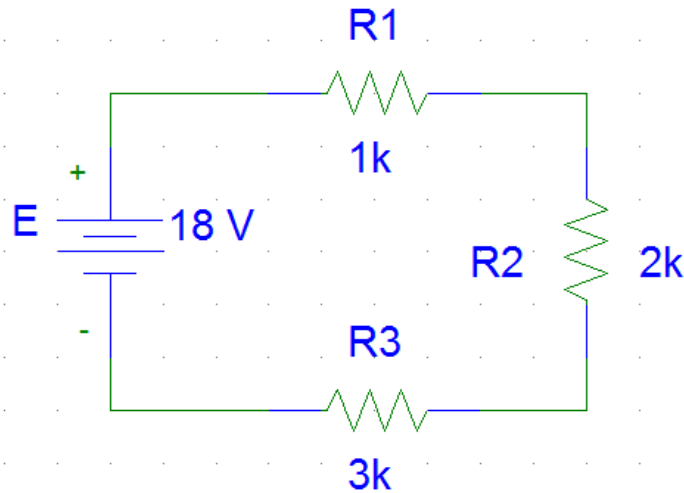
التوصيل على التوازي	التوصيل على التوالي
فرق الجهد متساوي على جميع المقاومات. $V = V_1 = V_2 = V_3$	يتجزأ فرق الجهد على المقاومات (يختلف من مقاومة لأخرى) بحيث يكون: $V = V_1 + V_2 + V_3$
المقاومة المكافئة أصغر من أي مقاومة حيث: $\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$	المقاومة المكافئة أكبر من أي مقاومة حيث: $R_T = R_1 + R_2 + R_3$
يتجزأ التيار في المقاومات (يختلف من مقاومة لأخرى) بحيث يكون: $I_T = I_1 + I_2 + I_3$	شدة التيار واحدة في جميع المقاومات. $I_T = I_1 = I_2 = I_3$

جدول رقم ٤: مقارنة بين توصيل المقاومات على التوالي وعلى التوازي

### مثال:

وصلت المقاومات الثلاث ١ كيلو أوم ( $1\text{ K}\Omega$ ) و ٢ كيلو أوم ( $2\text{ K}\Omega$ ) و ٣ كيلو أوم ( $3\text{ K}\Omega$ ) على التوالي مع بطارية القوة الدافعة الكهربائية ( $E$ ) لها ١٨ فولت أحسب:  
١. شدة التيار المار في كل مقاومة.

٢. فرق الجهد على كل مقاومة.



الحل:

$$R_1 = 1K \Omega$$

$$R_2 = 2K \Omega$$

$$R_3 = 3K \Omega$$

$$E = 18 V$$

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_T = 1 + 2 + 3 = 6K \Omega$$

حساب شدة التيار المار في كل مقاومة:

حيث أن المقاومات الثلاث موصلة على التوالي فان التيار المار في الدائرة يكون هو نفسه في كل مقاومة ويعطى من قانون أوم للدائرة المغلقة.

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

$$I = \frac{18}{6 \times 10^3} = 3mA$$

حساب فرق الجهد على المقاومات الثلاث:

فرق الجهد على المقاومة الأولى

$$V_1 = IR_1 = 1 \times 10^{-3} * 3 \times 10^3 = 3 V$$

فرق الجهد على المقاومة الثانية

$$V_2 = IR_2 = 2 \times 10^{-3} * 3 \times 10^3 = 6 V$$

فرق الجهد على المقاومة الثالثة

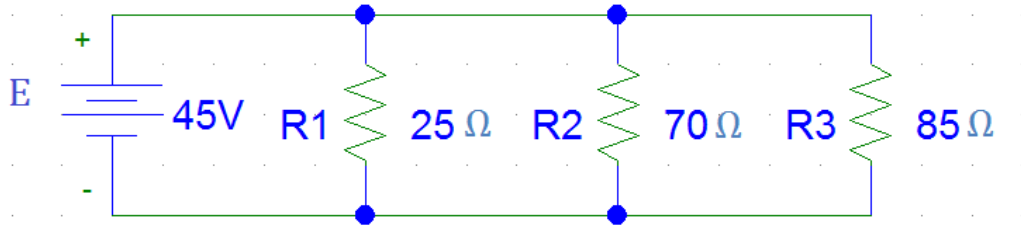
$$V_3 = IR_3 = 3 \times 10^{-3} * 3 \times 10^3 = 9 V$$

وللتأكد:

$$E = V_1 + V_2 + V_3 = 3 + 6 + 9 = 18 V$$

**مثال:**

وصلت المقاومات الثلاث ٢٥ و ٧٠ و ٨٥ أوم ( $\Omega$ ) على التوازي مع بطارية القوة الدافعة الكهربائية لها ٤٥ فولت كما بالشكل التالي.



أحسب:

للـ شدة التيار المار في كل مقاومة.

للـ فرق الجهد على كل مقاومة.

**الحل:**

$$R_1 = 25 \Omega$$

$$R_2 = 70 \Omega$$

$$R_3 = 85 \Omega$$

$$V_t = 45 V$$

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

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{25} + \frac{1}{70} + \frac{1}{85} = 0.066 \Omega^{-1}$$

$$R_T = \frac{1}{0.066} = 15.15 \Omega$$

حساب شدة التيار المار الكلى:

$$I = \frac{V_t}{R_T}$$

$$I = \frac{45}{15.15} = 2.79 \text{ Amp}$$

حساب شدة التيار المار في كل مقاومة:

شدة التيار المار في المقاومة الأولى:

$$I_1 = \frac{V_t}{R_1}$$

$$I_1 = \frac{45}{25} = 1.8 \text{ Amp}$$

شدة التيار المار في المقاومة الثانية:

$$I_2 = \frac{V_t}{R_2}$$

$$I_2 = \frac{45}{70} = 0.643 \text{ Amp}$$

شدة التيار المار في المقاومة الثالثة:

$$I_3 = \frac{V_t}{R_3}$$

$$I_3 = \frac{45}{85} = 0.529 \text{ Amp}$$

وللتأكد:

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 = 1.8 + 0.643 + 0.529 = 2.97 \text{ Amp}$$

حساب فرق الجهد على المقاومات الثلاث:

فرق الجهد على المقاومات الثلاث موصلة على التوازي فان فرق الجهد يكون هو نفسه على كل مقاومة

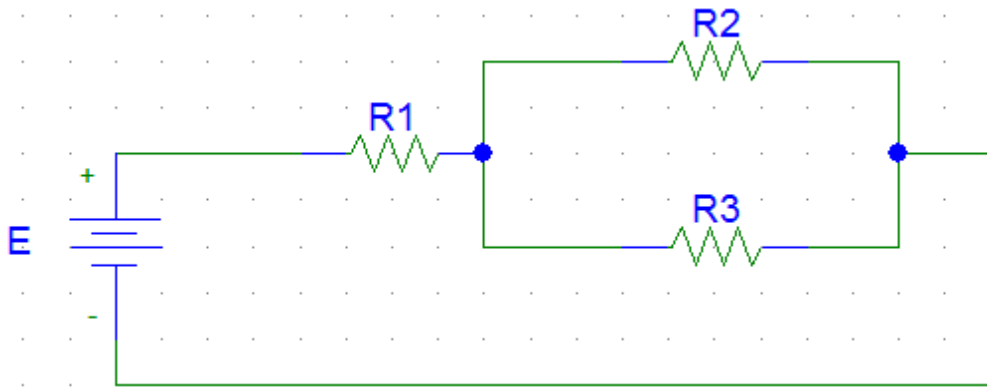
$$V_t = V_1 = V_2 = V_3 = 45 \text{ V}$$

**مثال:**

في الشكل التالي وصلت المقاومتان  $R_2, R_3$  معا على التوازي ثم وصلت المجموعة على التوالي مع مقاومة  $R_1$  هي بطارية قوتها الدافعة الكهربائية ١٨ فولت. فإذا كانت المقاومات على الترتيب  $R_1, R_2, R_3$  هي على الترتيب ٣ أوم، ٦ أوم و ٧ أوم.

**فاحسب ما يلي:**

١. المقاومة الكلية.
٢. شدة التيار المار في الدائرة.
٣. شدة التيار المار في كلا من  $R_2, R_3$ .



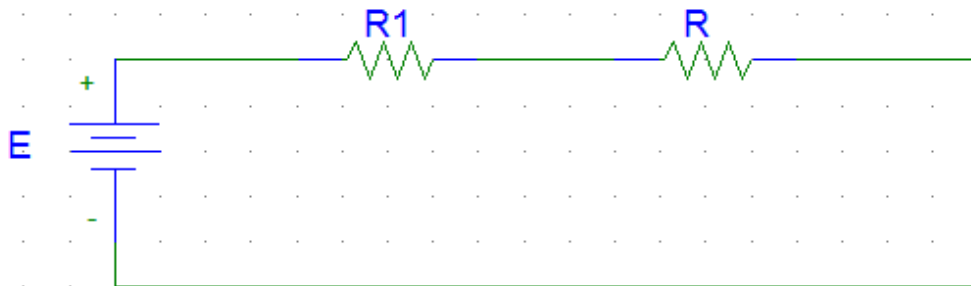
أولاً: المقاومتان  $R_2, R_3$  موصلتان على التوازي وبالتالي المقاومة المكافئة ولتكن  $R$  لهم تكون.

$$R = \frac{R_2 \times R_3}{R_2 + R_3}$$

$$R = \frac{6 \times 3}{6 + 3}$$

$$R = 2 \Omega$$

وبالتالي تصبح الدائرة السابقة على الصورة.



وتصبح المقاومات  $R, R_1$  موصلتان على التوالي. وبالتالي تعطى المقاومة الكلية للدائرة ولتكن  $R_T$ .

$$R_T = R_1 + R$$

$$R_T = 2 + 7 = 9 \Omega$$

ثانياً: وبتطبيق قانون أوم للدائرة المغلقة نحصل على شدة التيار الكلي المار في الدائرة.

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

$$I = \frac{18}{9} = 2 \text{ Amp}$$

ثالثاً: يكون فرق الجهد على المقاومة R وليكن V

$$V = IxR = 2 \times 2 = 4 \text{ volts}$$

هو نفس فرق الجهد على المقاومتان R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> وبالتالي نحصل على شدة التيار في هاتين المقاومتان على النحو الآتي:

$$I_{R_2} = \frac{V}{R_2}$$

$$I_{R_2} = \frac{4}{3} = 1.33 \text{ Amp}$$

$$I_{R_3} = \frac{V}{R_3}$$

$$I_{R_3} = \frac{6}{9} = 0.667 \text{ Amp}$$

### تحديد قيمة المقاومة باستخدام كود الألوان Color Code

ترسم على المقاومات الكربونية والمقاومات السلكية خطوط لونية تشير إلى قيمتها وتفاوتها. وهناك طريقتان معتمدتان في الترميز اللوني وهما: المقاومات رباعية النطاقات اللونية والمقاومات خماسية النطاقات اللونية.



شكل رقم ٣٥: المقاومات الرباعية النطاقات اللونية

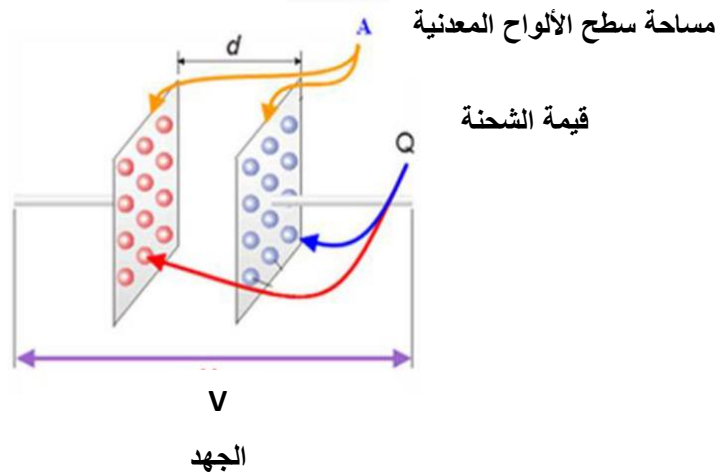
## المكثف الكهربائي Capacitor

المكثفات هي عناصر لديها القدرة على تخزين الطاقة على شكل مجالات كهربائية وأطلاقها بعد فترة زمنية وهي ذات أهمية بالنسبة للدوائر الإلكترونية.

### تركيب المكثف.

يتكون المكثف من موصلين يعرف كل منهما باللوح المعدني (الصفحة المعدنية) أو القطب - الإليكترود (Electrode) ويوجد بينهما وسط عازل باسم العازل الكهربائي.

### المسافة بين الألواح المعدنية



شكل رقم ٣٦: تركيب المكثف

كما هو موضح بالشكل السابق، يتكون المكثف من لوحين معدنيين متوازيين مساحة سطح كل منهم (A م<sup>٢</sup>) يفصل بينهما مادة عازلة ذات سماحية يرمز لها بالرمز (ε) وتنطق ايسلون) وعرض المادة العازلة هو (d) (هي أيضاً المسافة الفاصلة بين اللوحين المعدنيين)، والمادة العازلة قد تكون الهواء أو الورق المشبع بالزيت أو مواد من البلاستيك أو الميكا أو السيراميك ويوصل بكل لوح من لוחي المكثف طرف توصيل ويقوم بتخزين الشحنات الكهربائية (Q) وتقاس بالكولوم، ويكون قيمة سعة المكثف (وتقاس بوحدة الفاراد ويرمز لها بالرمز F) حسب المعادلة التالية:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

حيث أن:

ε<sub>r</sub>: ثابت العزل النسبي للمواد العازلة (ليس له وحدة)

ε<sub>0</sub>: ثابت عزل الهواء، ويساوي ٨,٨٥ × ١٠<sup>-١٢</sup> (فاراد لكل متر "F/m")

A: مساحة سطح أحد اللوحين ويقاس بالمتري المربع م<sup>٢</sup>.

d: البعد بين اللوحين وتقاس بالمتري.

**العوامل التي تتوقف عليها سعة المكثف:**

أولاً: مساحة اللوحين "A" وتقاس بالمترب مربع، كلما زادت مساحة اللوحين زادت قيمة السعة للمكثف.

ثانياً: المسافة بين اللوحين "d" وتقاس بالمترب، كلما زادت المسافة بين اللوحين قلت السعة.

ثالثاً: نوع المادة العازلة.

**الفاراد:**

هو سعة مكثف إذا شحن بشحنة مقدارها (١) كولوم وكان فرق الجهد بين طرفيه (١) فولت.

يقصد بشحنة المكثف شحنة أحد لوحيه الموجب أو السالب (كقيمة مطلقة) لانهما متساويان.

**السعة الكهربائية:**

تعرف قدرة المكثف على تخزين الشحنة الكهربائية بالسعة الكهربائية أو السعة ويرمز لها بالرمز (C)

والفاراد هو وحدة قياس السعة ويرمز لها بالرمز (F)، والسعة أيضاً هي النسبة بين مقدار الشحنة (Q)

على أحد السطحين الموصلين وبين فرق الجهد بينهما (V).

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

**حيث أن:**

لـ C: سعة المكثف وتقاس بالفاراد [F]

لـ Q: شحنة المكثف وتقاس بالكولوم [C]

لـ V: فرق الجهد بين طرفي المكثف ويقاس بالفولت [V]

إن قيمة الفاراد قيمة كبيرة وغير موجودة عملياً لذلك نستعمل في التطبيقات العملية

أجزاء الفاراد وهي:

لـ الميكرو فاراد (μF)

لـ النانو فاراد (nF)

لـ البيكو فاراد (pF)





الرمز	الاسم	القيمة
$\mu\text{F}$	ميكرو فاراد Micro Farad	$\frac{1}{1000000}$ $10^{-6}$
nF	نانو فاراد Nano Farad	$\frac{1}{1000000000}$ $10^{-9}$
pF	بيكو فاراد Pico Farad	$\frac{1}{1000000000000}$ $10^{-12}$

جدول رقم ٥: الوحدات الجزئية للمكثفات

### مثال:

إذا كانت قيمة فرق الجهد بين طرفي المكثف ١٠ فولت (10V) عندما كانت الشحنة المخزنة ١٠٠ ميكرو كولوم (100 $\mu\text{C}$ ) أحسب سعة المكثف.

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

$$C = \frac{100 * 10^{-6}}{10} = 10\mu\text{F}$$

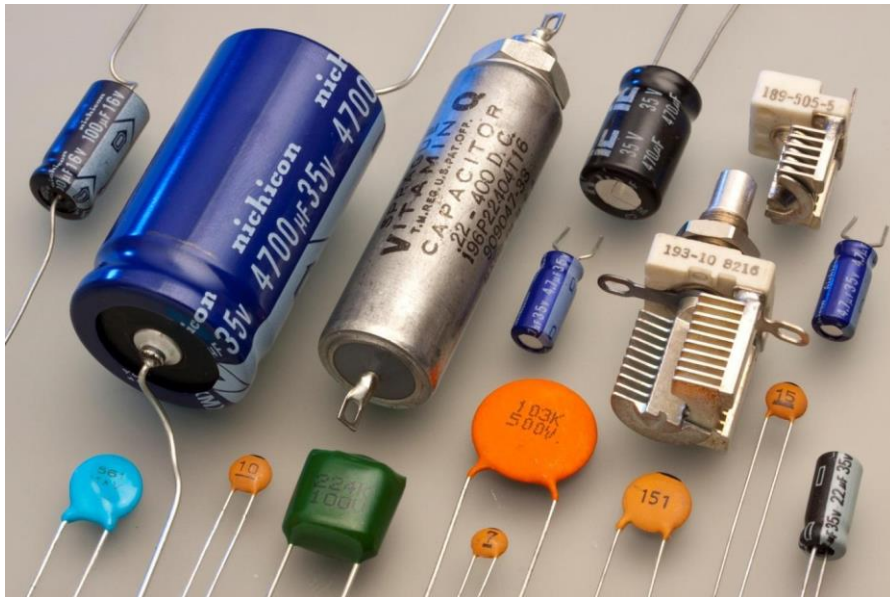
### أنواع المكثفات

يمكن تقسيم المكثفات إلى قسمين أساسيين.

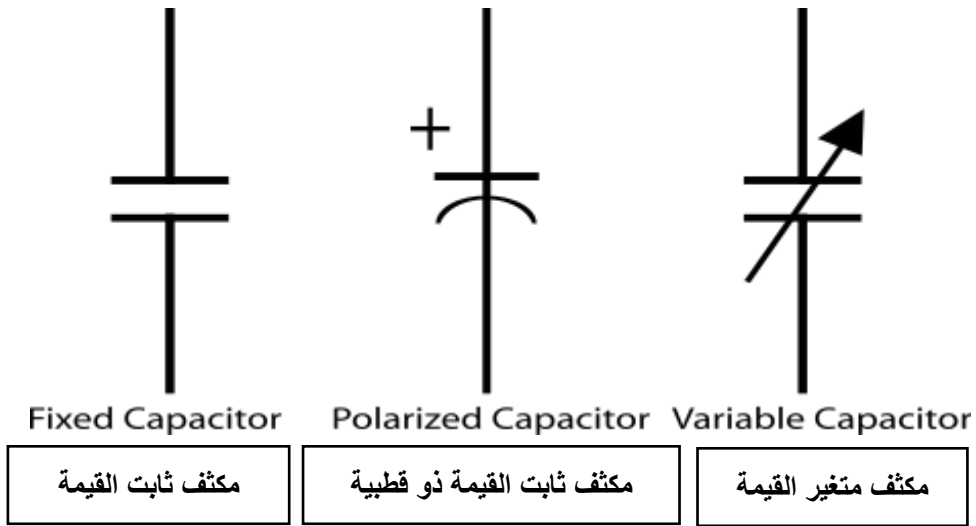
لـ مكثفات ثابتة القيمة.

لـ مكثفات متغيرة القيمة.

المكثفات ثابتة القيمة، هي المكثفات التي تكون سعتها ثابتة ومحددة من قبل الشركة المصنعة للمكثف، وتنقسم المكثفات إلى عدة أنواع تبعا لنوع المادة العازلة التي تتكون في العادة من الورق البولسترين، الميكا وغيرها.



شكل رقم ٣٧: أشكال المكثفات المختلفة



شكل رقم ٣٨: المكثفات ثابتة القيمة والمكثفات متغيرة القيم

### المكثفات ذات العازل الميكا

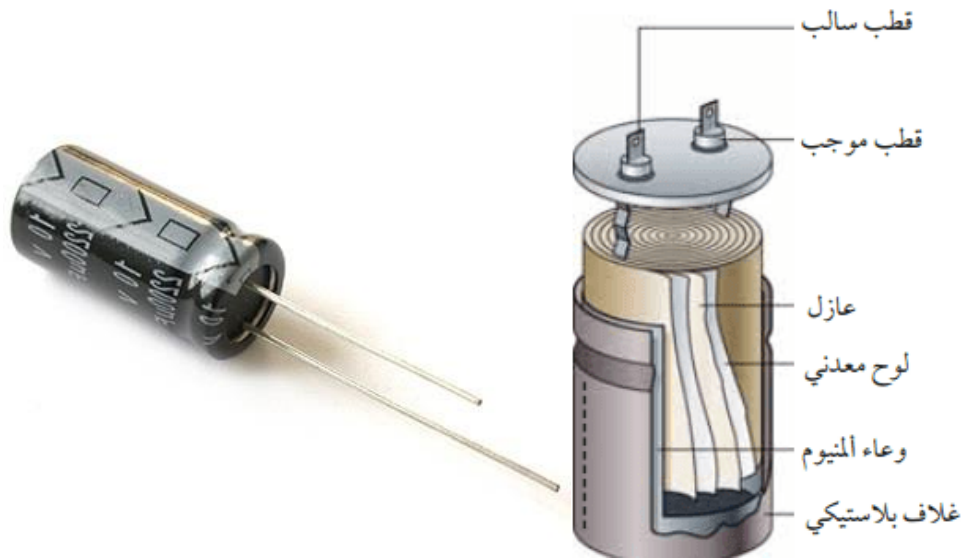
الميكا هو معدن يمكن أن ينشطر ببسر إلى ألواح رقيقة متجانسة. تتداخل الميكا مع رقائق معدنية على هيئة مكثف متعدد الألواح بحيث يتم ربطها كلها لتكون وحدة متجانسة والشكل الآتي يبين المكثف الميكا.



شكل رقم ٣٩: المكثفات ذات العازل الميكا

### مكثفات الكيمائية (الإلكترونية)

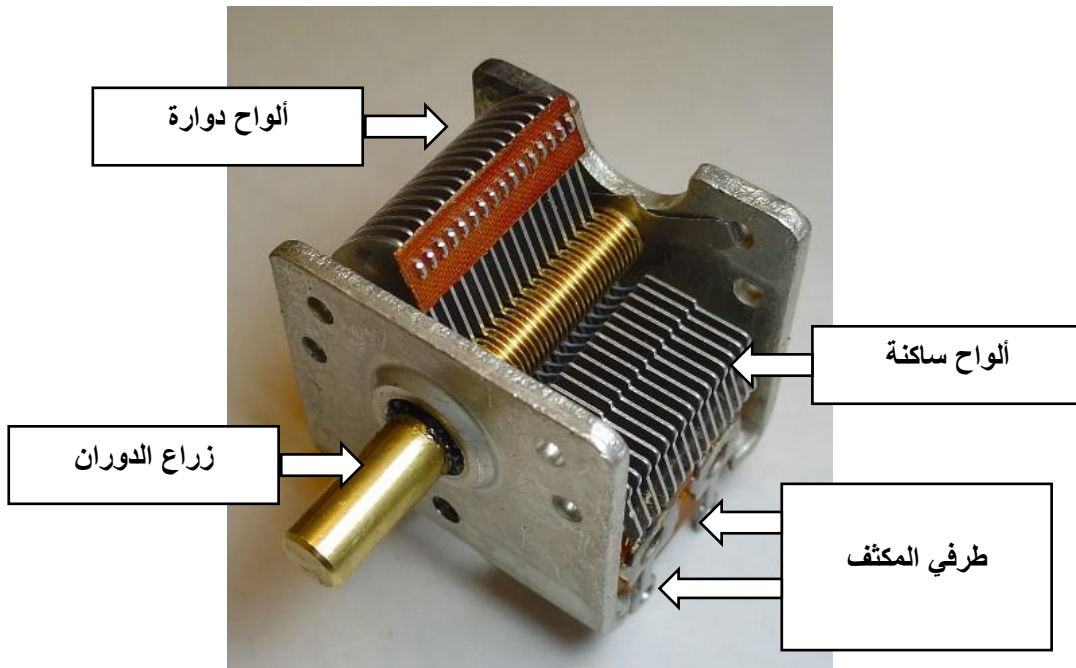
تتكون العوازل في مثل هذا النوع من المكثفات من غشاء أكسيدي رقيق ثم يتم ترسيبه على واحد من لوحى المكثف أو على كليهما. والغالبية العظمى من المكثفات الإلكترونية هي مكثفات مستقطبة بمعنى أن فرق الجهد بين أطرفها لابد وان يكون صحيح القطبية فاذا عكست القطبية أختل عملها كمكثف.



شكل رقم ٤٠: المكثفات الكيميائية (الإلكترونية)

### مكثفات متغيرة القيمة

يتكون هذا النوع من المكثفات من صفائح متوازية من الألومنيوم أو النحاس على شكل دائري أو بيضاوي مثبتة على محور الدوران بطريقة تسمح لهذه الصفائح بالتداخل مع مجموعة أخرى من الصفائح مساوية لها في المساحة، وتكون المادة العازلة في هذا النوع من المكثفات هو الهواء وتستخدم هذه المكثفات في الراديو (في مفتاح تغيير الموجات).

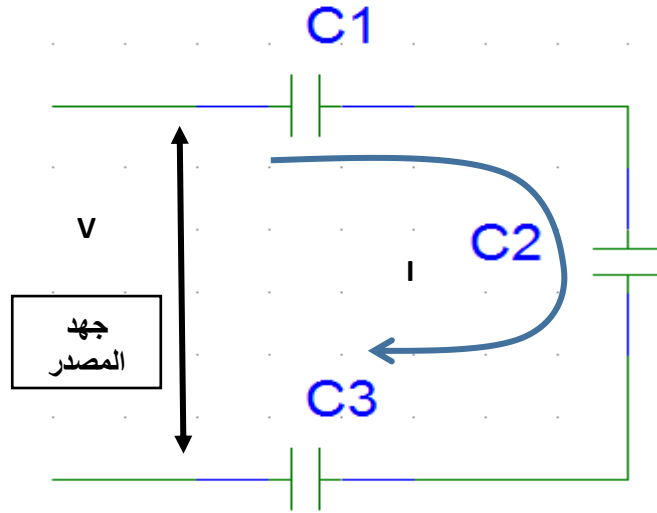


شكل رقم ٤١: المكثفات ذات العازل الهوائي، متغير السعة

### توصيل المكثفات

توصيل المكثفات على التوالي أو على التوازي أو توصيل مركب (مختلط) توالى مع توازي.

## توصيل المكثفات على التوالي:



شكل رقم ٤٢: توصيل المكثفات على التوالي

إذا وصل مكثفين على التوالي فذلك يكافئ مضاعفة سماكة العازل ويقلل القيمة الكلية المكافئة للمكثف حسب القانون التالي:

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

إذا وصل عدد (n) من المكثفات على التوالي فإن مقلوب السعة المكافئة تعطى بالعلاقة الآتية:

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

لاحظ أن قيم سعات المكثفات الموصلة على التوالي لها نفس شكل علاقة المقامات الموصلة على التوازي

**مثال:**

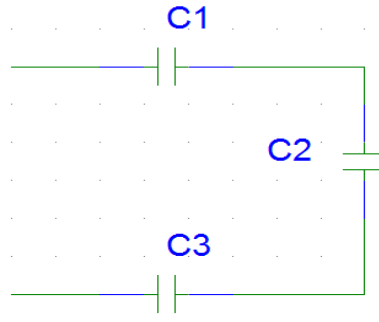
ثلاث مكثفات سعة كلا منها:

للمكثف الأول (C1) سعته ٢ ميكرو فاراد (2 μF).

للمكثف الثاني (C2) سعته ٣ ميكرو فاراد (3 μF).

للمكثف الثالث (C3) سعته ٤ ميكرو فاراد (4 μF)، موصلة على التوالي كما بالشكل التالي، أحسب

السعة المكافئة للمجموعة.

**الحل:**

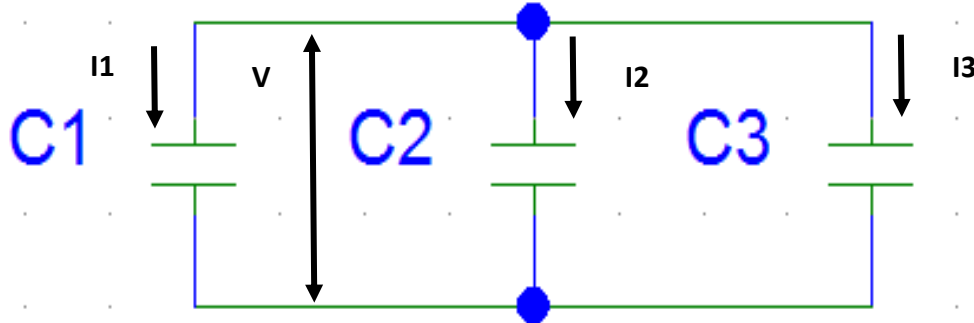
حساب السعة المكافئة للمجموعة:

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

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{4} + \frac{1}{3} + \frac{1}{2} = \frac{13}{12} = 1.08 \mu F$$

$$C_t = 0.93 \mu F$$

توصيل المكثفات على التوازي:



شكل رقم ٤٣: توصيل المكثفات على التوازي

توصيل مكثفين على التوازي يكافئ مضاعفة مساحة لوح المكثف وهذا يعني أن المكثفين الموصلين على التوازي يعملان كمكثف واحد ذو سعة أكبر حسب العلاقة التالية:

$$C_T = C_1 + C_2$$

السعة المكافئة لتوصيل عدة مكثفات على التوازي تساوي مجموع سعات كل منهما وإذا وصل عدد (n) من المكثفات على التوازي فإن السعة المكافئة تعطى بالعلاقة

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$$



لاحظ أن قيم سعات المكثفات الموصلة على التوازي تجمع مثل جمع قيم المقاومات الموصلة على التوالي

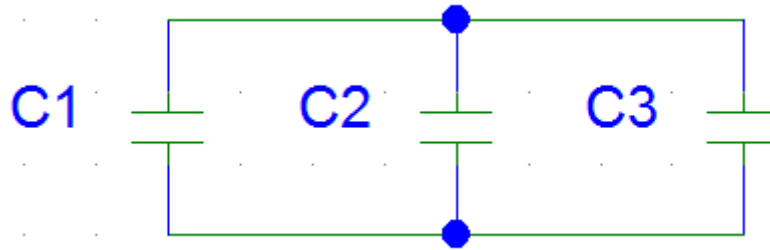
### مثال:

ثلاث مكثفات سعة كلا منها:

المكثف الأول (C1) سعته ٣ ميكرو فاراد (3  $\mu$ F).

المكثف الثاني (C2) سعته ٧ ميكرو فاراد (7  $\mu$ F).

المكثف الثالث (C3) سعته ٥ ميكرو فاراد (5  $\mu$ F)، موصلة على التوازي كما بالشكل التالي،  
أحسب السعة المكافئة للمجموعة.



### الحل:

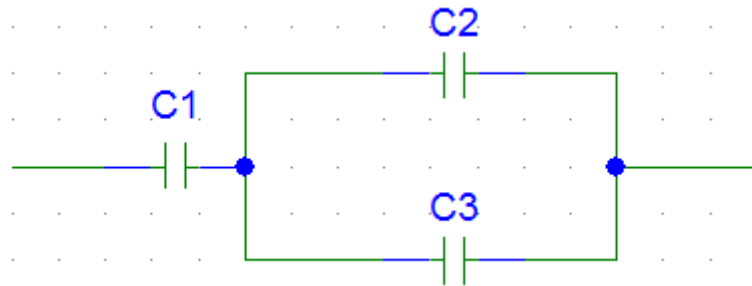
حساب السعة المكافئة للمجموعة:

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3$$

$$C_t = 3 + 7 + 5 = 15 \mu F$$

### التوصيل المختلط للمكثفات:

ويتم فيه التوصيل بين المكثفات على التوالي وعلى التوازي وفي هذه الحالة يتم حساب السعة الكلية (C<sub>T</sub>) حسب القوانين السابقة.



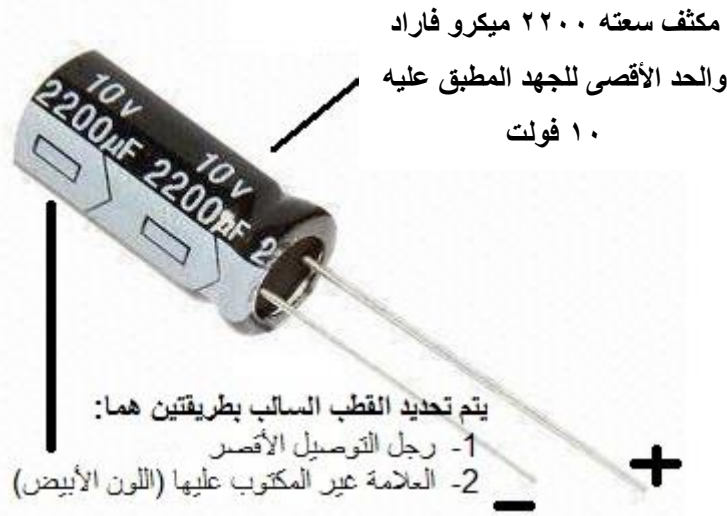
شكل رقم ٤٤: توصيل مختلط (مركب)

### استخدامات المكثف:

١. تخزين الشحنة الكهربائية
٢. تنعيم التيار المتردد في دوائر تحويل التيار المتردد إلى مستمر
٣. منع مرور التيار المتردد في دوائر مكبرات الموجات
٤. توليد موجات ذات زمن محدد

### ترميز المكثف:

بعض المكثفات يكون مكتوب عليها القيم الخاصة بالسعة والحد الأقصى للجهد بشكل مباشر (غالباً ما تكون المكثفات الإلكترونية) كما هو موضح بالشكل التالي، البعض الآخر من المكثفات (مكثفات الميكا) يتم الترميز فيه عن طريقة مجموعة أرقام وحروف



شكل رقم ٤٥: مكثف الكتروني - مكتوبة عليه القيم الخاصة بالسعة والجهد الأقصى

## الملفات الكهربائية Capacitor

لقد اكتشف العالم فاراداي عام ١٨٣١م أن تحريك مغناطيس دائم له مجال مغناطيسي يقطع سلك موصل يولد بين طرفي السلك تأثيراً يسمى الحث (Induction)، ينتج عنه قوة دافعة كهربية تسمى مستحثه أي تأثيرية تعتمد على اتجاه الحركة، ينتج عنه تأثير المغناطيسية على الأسلاك ومن ثم الملفات.

### الملف Coil

هو عبارة عن سلك موصل تم لفه على شكل حلقات دائرية ويسمى التأثير عليه بالحث أو المحادثة (Induction)، الملفات (Coil) هي احدى عناصر الدوائر الإلكترونية والكهربائية كثيرة الاستخدام. الملفات تستخدم في الحاسوب والراديو والتلفزيون وجهاز الهاتف الثابت والمحمول والأجهزة الكهربائية كالثلاجة والغسالة والمروحة والخلاط وغيرها.

يتكون الملف عند لف سلك كهربائي معزول على قلب (Core) هوائي (أ) أو قلب حديدي أو (برادة الحديد) (ب) كما هو مبين بالشكل التالي.



(ب)  
قلب حديدي

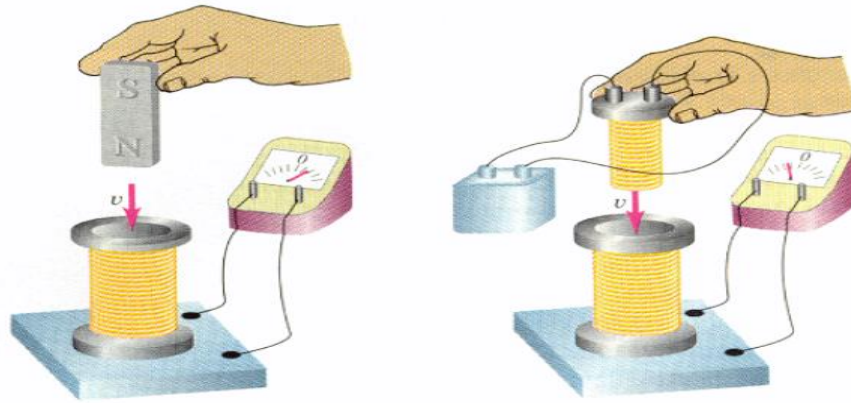


(أ)  
قلب هوائي

شكل رقم ٤٦: أشكال الملفات

### ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي (Electromagnetic Induction)

عند تحريك مغناطيس داخل وخارج الملف أو عند تحريك موصل داخل مجال مغناطيسي ووضع جهاز قياس تماثلي بمؤشر نجد أن مؤشر جهاز القياس يتحرك مما يدل على مرور تيار. سُميت هذه الظاهرة بظاهرة الحث الكهرومغناطيسي وسبب هذه الظاهرة أن المجال المغناطيسي الذي يمر خلال الملف يتغير مع الزمن وقطع خطوط المجال المغناطيسي يؤدي إلى ظهور قوة دافعة كهربية في الملف عن طريق الحث ويسمى التيار المار بالتيار الحثي أو التيار التآثيري.



(أ)

(ب)

شكل رقم ٤٧: ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي

طرق توليد الجهد أو القوة الدافعة الكهربائية (e.m.f: Electromotive Force) بالملفات عن طريق الحث

تنقسم طرق توليد الجهد أو ق.د.ك (e.m.f.) بالحث إلى ثلاث طرق هي:

- ✎ توليد الجهد بحث أو تأثير الحركة.
- ✎ توليد الجهد بحث أو تأثير السكون.
- ✎ توليد الجهد بالحث أو التأثير الذاتي.



### أولاً: جهد الحث بالحركة

طريقة توليد الجهد بتأثير الحركة هو عند تقريب المغناطيس الدائم إلى الملف فانه يتولد جهد يُقرأ بجهاز القياس ذو المؤشر وعند توقف الحركة يرجع المؤشر إلى الصفر وأثناء إرجاع المغناطيس يتحرك المؤشر بالاتجاه العكسي حتى تتوقف فيرجع إلى الصفر.

لذلك فإن الجهد يتولد فقط أثناء حركة المغناطيس وعند تثبيت المغناطيس وتحريك الملف بمفرده أيضاً يتولد جهد بالملف يكون اتجاهه على حسب اتجاه الحركة. ولا يتكون هذا الجهد عند توقف حركة الملف، كما هو موضح بالشكل السابق (أ).

### ثانياً: جهد الحث الناتج عن السكون

عند لف عدد كبير من لفات موصل على جزء من قلب حديدي وإيصال البطارية مع مفتاح ولف لفات أقل في طرفي قلب حديدي آخر وتوصيلها بجهاز قياس التيار (الأميتر) وغلق الدائرة نجد انه يمر تيار سريع في الملف الأول مما يولد مجالاً مغناطيسي يقطع الملف الثاني مكوناً بين طرفيه جهد يسبب مرور تيار وبعد ذلك يتوقف مرور التيار.

وفي حالة فتح الدائرة يتحرك المؤشر في الاتجاه المعاكس دالاً على مرور تيار في الملف الثاني أما في حالة ثبات التيار في الملف الأول فإن المؤشر يشير إلى الصفر لعدم وجود حركة في الملف أو في المجال المغناطيسي حيث يكون ثابتاً لثبات التيار المستمر لذلك يسمى الجهد الناتج عن السكون، كما هو موضح بالشكل السابق (ب).

### ثالثاً: الجهد المتولد بالحث الذاتي

عند مرور تيار كهربائي في ملف فإنه يتولد في الملف نفسه قوة دافعة كهربية مضادة لاتجاه مصدر الجهد وهذه القوة الدافعة الكهربية (e. m. f) تسمى بجهد الحث الذاتي الذي يعاكس التغير المفاجئ في قيمة التيار الكهربائي المار لأنه عند غلق الدائرة وفتحها عن طريق المفتاح يتكون هذا الجهد فقط أما عند ثبات قيمة التيار المستمر فان القوة الدافعة الكهربية (e. m. f) تساوى صفر.

القوة الدافعة الكهربية المتولدة نتيجة الحث الذاتي تتناسب مع معدل تغير التيار.



### معامل الحث الذاتي (Induction)

عند تغير التيار في دائرة موجودة بها ملف كهربائي فان المجال المغناطيسي يتغير. لذلك يتناسب المجال المغناطيسي الذي يقطع ملف نتيجة التيار المار به مع شدة التيار تناسباً طردياً وثابتاً التناسب هو معامل الحث الذاتي وهو ما يرمز بالرمز (L) "حث (محاثة) الملف".

وحدة قياس حث الملف (L): تقاس المحاثة أو حث الملف بوحدة الهنري (H)

$$1H = 1wb/1A$$

حيث أن:

Wb: وبر وهي وحدة قياس الفيض المغناطيسي



الهنري (H):

هو الحث الذاتي لملف يمر به تيار شدته واحد أمبير لإنتاج مجال مغناطيسي مقداره واحد وبر (Wb).



إن قيمة الهنري قيمة كبيرة وغير موجودة عملياً لذلك نستعمل في التطبيقات العملية أجزاء الهنري وهي:

✍ الملى هنري (mH)

✍ الميكرو هنري (μH)



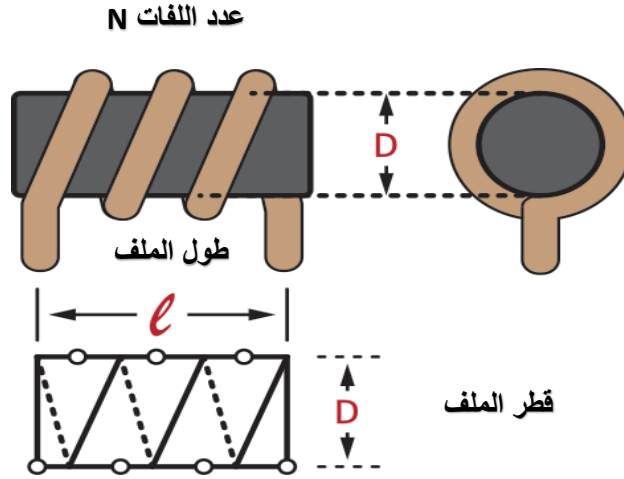
القيمة		الاسم		الرمز
$10^{-3}$	$\frac{1}{1000}$	ملى هنري	Milli Henry	mH
$10^{-6}$	$\frac{1}{1000000}$	ميكرو هنري	Micro Henry	μH

جدول رقم ٦: الوحدات الجزئية للملفات

حساب حث الملف - محاثة الملف (L):

يتوقف حث الملف (محاثة الملف) على عدة عوامل أساسية:

- ✍ طول الملف.
- ✍ مساحة مقطع الملف.
- ✍ النفاذية المغناطيسية لقلب الملف، عدد اللفات، وفيما يلي وصفاً لكل عامل منهم.



شكل رقم ٤٨: العوامل المؤثرة على حث الملف (L)

### طول الملف (l)

حث الملف (L) يتناسب عكسياً مع طول الملف حيث (l)، ويقاس طول الملف بالمتر (m)

### مساحة مقطع الملف (A)

حث الملف (L) يتناسب طردياً مع مساحة مقطع الملف (A)، حيث (A) مساحة مقطع سلك الملف وتقاس بوحدة المتر<sup>٢</sup> (m<sup>2</sup>)

مساحة مقطع الملف (A): تعتمد على قطر الملف (D) حسب القانون:

$$A = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2$$



### النفاذية المغناطيسية (μ)

حث الملف يتوقف على نفاذية الوسط والفراغ حيث:

للـ (μ<sub>0</sub>) النفاذية المغناطيسية النسبية للوسط وتساوي (4π×10<sup>-7</sup>) في حالة الهواء وتقاس بوحدة الهنرى لكل متر.

للـ (μ<sub>r</sub>) النفاذية المغناطيسية المطلقة في الفراغ وهي قيمة نسبية ليس لها وحدة.

كلما زادت نفاذية الوسط (μ<sub>r</sub>) كلما زادت محاثة الملف (L)



### عدد لفات الملف (N):

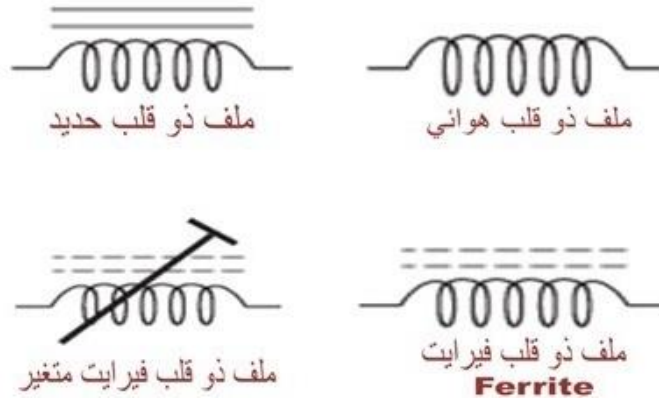
حث الملف (L) يتناسب طردياً مع مربع عدد لفات الملف (N<sup>2</sup>)

والصيغة الرياضية التي تحدد حساب حث الملف من العوامل السابقة هي كالتالي:

$$L = \frac{(N^2 * \mu_r * \mu_0 * A)}{l} \quad H$$

## أنواع الملفات

يتم تقسيم الملفات حسب نوع القلب (Core) أو الوسط الملفوف عليه الملف وهو كالتالي:



شكل رقم ٤٩: رموز الملفات

الفيرايت: هي مواد خزفية توصل التيار الكهربائي بشكل ضعيف.



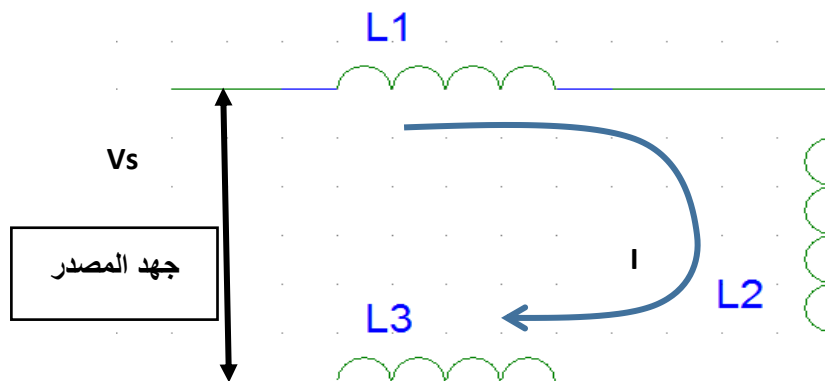
## توصيل الملفات

كما أن المقاومة توصل على التوالي والتوازي وكذلك الملفات يتم توصيلها على التوالي والتوازي.

توصيل الملفات على التوالي:

يكون الحث الكلي للملفات في التوصيل على التوالي يساوي مجموعها الجبري حسب المعادلة التالية:

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_T$$

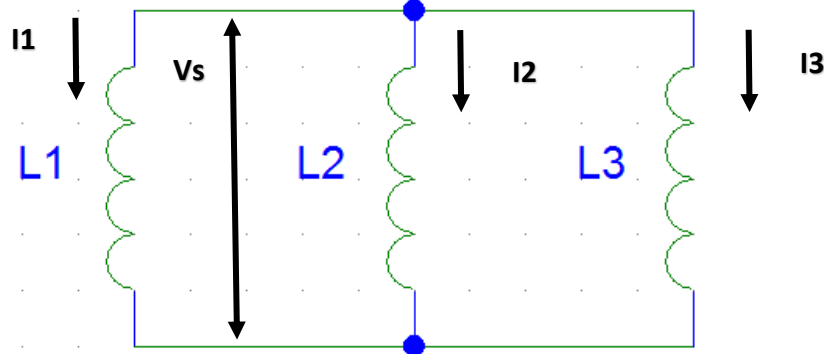


شكل رقم ٥٠: توصيل الملفات على التوالي

**توصيل الملفات على التوازي:**

يكون الحث الكلي للملفات في التوصيل على التوازي يساوي مقلوب مجموعها كالتالي:

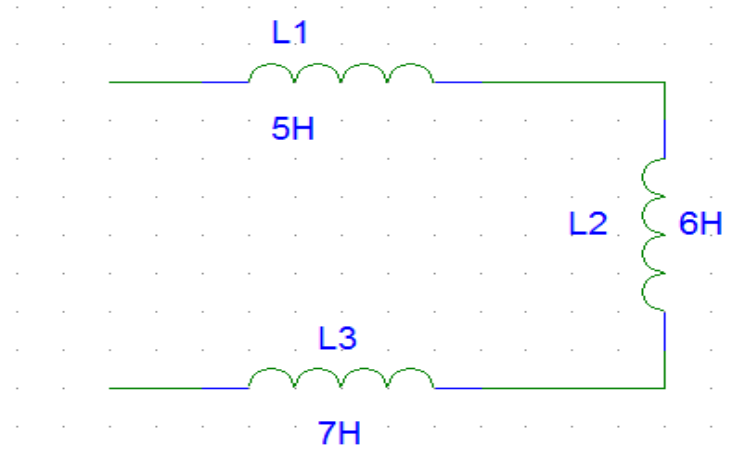
$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}$$



شكل رقم ٥١: توصيل الملفات على التوازي

**مثال:**

أحسب الحث المكافئ لثلاثة ملفات متصلة على التوالي قيمة كل منهما ٥ هنري (5 H)، ٦ هنري (6 H) و ٧ هنري (7 H) على التوالي كما بالشكل التالي.

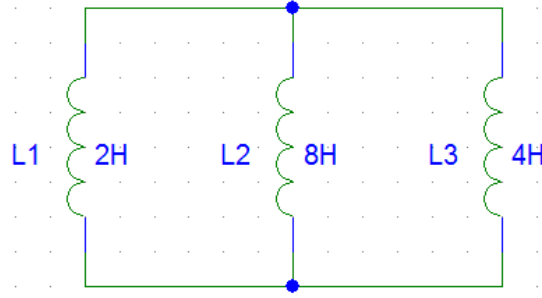
**الحل:**

$$L_T = L_1 + L_2 + L_3$$

$$L_T = 5 + 6 + 7 = 12 H$$

**مثال:**

أحسب الحث المكافئ لثلاثة ملفات متصلة على التوازي قيمة كل منهما كما بالشكل التالي.

**الحل:**

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$$

$$\frac{1}{L_T} = \frac{1}{2} + \frac{1}{8} + \frac{1}{4} = \frac{7}{8}$$

$$L_T = \frac{8}{7} = 1.143 H$$

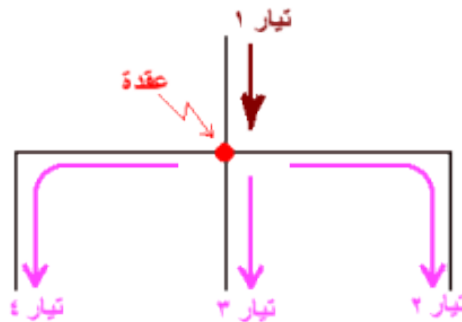
**ترميز الملفات:**

وهي تشبه المقاومات وتحتوي على حلقات لونية أيضاً وتكون قيمها ثابتة، يمكن معرفة قيمتها باستخدام جدول الألوان بنفس الطريقة المستخدمة مع المقاومات.

### ثانياً: قوانين دوائر التيار المستمر

#### قانون كيرشوف للتيار KCL: Kirchhoff Current Law

ينص هذا القانون على أن المجموع الجبري للتيارات القادمة إلى عقدة معينة (Node) يساوي مجموع التيارات الخارجة من نفس العقدة. يمكن توضيح القانون بالمثال التالي:



شكل رقم ٥٢: قانون كيرشوف للتيار

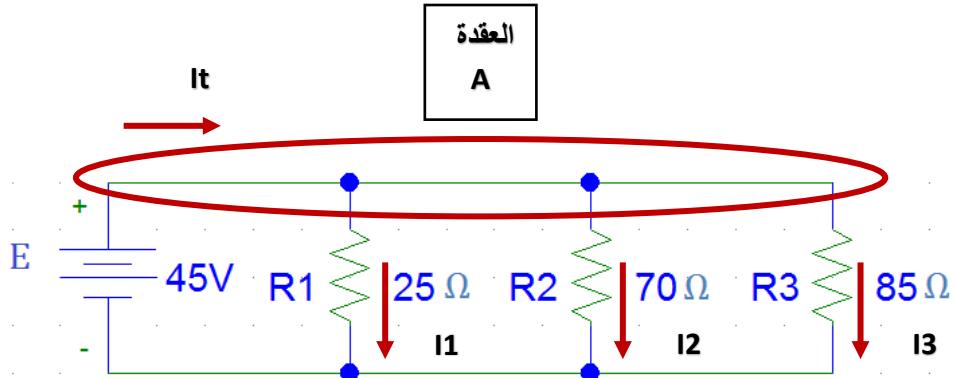
$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4$$

**حيث أن:**

I: هو شدة التيار الكهربائي ويقاس بوحدة تسمى بالأمبير (A).

**مثال:**

وصلت المقاومات الثلاث ٢٥ و ٧٠ و ٨٥ أوم ( $\Omega$ ) على التوازي مع بطارية القوة الدافعة الكهربائية لها ٤٥ فولت كما بالشكل التالي، أثبت قانون كيرشوف للتيار عند العقدة (A).

**الحل:**

$$R_1 = 25 \Omega$$

$$R_2 = 70 \Omega$$

$$R_3 = 85 \Omega$$

$$V_t = 45 V$$

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

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{25} + \frac{1}{70} + \frac{1}{85} = 0.066 \Omega^{-1}$$

$$R_T = \frac{1}{0.066} = 15.15 \Omega$$

حساب شدة التيار المار الكلي:

$$I = \frac{V_t}{R_T}$$

$$I = \frac{45}{15.15} = 2.79 A$$

حساب شدة التيار المار في كل مقاومة:

شدة التيار المار في المقاومة الأولى:

$$I_1 = \frac{V_t}{R_1}$$

$$I_1 = \frac{45}{25} = 1.8 \text{ Amp}$$

شدة التيار المار في المقاومة الثانية:

$$I_2 = \frac{V_t}{R_2}$$

$$I_2 = \frac{45}{70} = 0.643 \text{ Amp}$$

شدة التيار المار في المقاومة الثالثة:

$$I_3 = \frac{V_t}{R_3}$$

$$I_3 = \frac{45}{85} = 0.529 \text{ Amp}$$

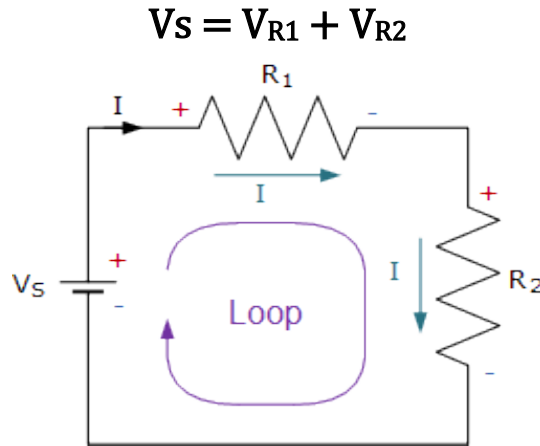
وللتأكد:

$$I_t = I_1 + I_2 + I_3 = 1.8 + 0.643 + 0.529 = 2.97 \text{ Amp}$$

وهو ما يثبت أن قانون كيرشوف للتيار.

### قانون كيرشوف للجهد KVL: Kirchhoff Voltage Law

ينص قانون كيرشوف للجهد على أن مجموع قوى الدفع الكهربائية (جهد المصدر) تساوي مجموع الجهود المفقودة في مسار دائرة الربط (Loop)، يمكن توضيح القانون بالمثال التالي:

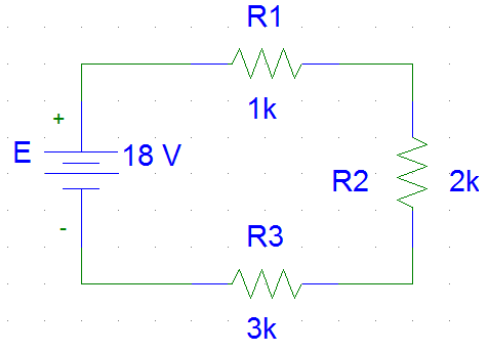


شكل رقم ٥٣: قانون كيرشوف للجهد

### مثال:

وصلت المقاومات الثلاث ١ كيلو أوم (1 KΩ) و ٢ كيلو أوم (2 KΩ) و ٣ كيلو أوم (3 KΩ) على التوالي مع بطارية القوة الدافعة الكهربائية (E) لها ١٨ فولت أثبت قانون كيرشوف للجهد.



**الحل:**

$$R_1 = 1K \Omega$$

$$R_2 = 2K \Omega$$

$$R_3 = 3K \Omega$$

$$E = 18 V$$

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$R_T = 1 + 2 + 3 = 6K \Omega$$

حساب شدة التيار المار في كل مقاومة:

حيث أن المقاومات الثلاث موصلة على التوالي فان التيار المار في الدائرة يكون هو نفسه في كل مقاومة ويعطى من قانون أوم للدائرة المغلقة.

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

$$I = \frac{18}{6 \times 10^3} = 3mA$$

حساب فرق الجهد على المقاومات الثلاث:

فرق الجهد على المقاومة الأولى

$$V_1 = IR_1 = 1 \times 10^3 * 3 \times 10^{-3} = 3 V$$

فرق الجهد على المقاومة الثانية

$$V_2 = IR_2 = 2 \times 10^3 * 3 \times 10^{-3} = 6 V$$

فرق الجهد على المقاومة الثالثة

$$V_3 = IR_3 = 3 \times 10^3 * 3 \times 10^{-3} = 9 V$$

وهو ما يثبت قانون كيرشوف للجهد:

$$E = V_1 + V_2 + V_3 = 3 + 6 + 9 = 18 V$$

## أسئلة الباب الثاني

أولاً: أختار الإجابة الصحيحة مما يأتي:

١. مقاومتان  $3\Omega$ ،  $6\Omega$  وصلتا على التوالي، فإن المقاومة الكلية لهما تساوى.

أ.  $9\Omega$

ب.  $1.5\Omega$

ج.  $5\Omega$

د.  $18\Omega$

٢. مقاومتان  $3\Omega$ ،  $6\Omega$  وصلتا على التوازي، فإن المقاومة الكلية لهما تساوى.

أ.  $9\Omega$

ب.  $2\Omega$

ج.  $3\Omega$

د.  $18\Omega$

٣. مكثفين قيمة كل منهما  $12\text{ F}$  وصلا على التوالي، فإن القيمة الكلية لهما تساوى.

أ.  $12\text{ F}$

ب.  $6\text{ F}$

ج.  $24\text{ F}$

د.  $4.5\text{ F}$

٤. مكثفين قيمة كل منهما  $12\text{ F}$  وصلا على التوازي، فإن القيمة الكلية لهما تساوى.

أ.  $12\text{ F}$

ب.  $6\text{ F}$

ج.  $24\text{ F}$

د.  $18\text{ F}$

٥. يستخدم المكثف الكيميائي.

أ. في دوائر التيار المستمر.

ب. في دوائر التيار المتغير.

ج. في دوائر التيار المستمر والمتغير.

د. لا يستخدم في دوائر التيار المتغير.

٦. وحدات السعة الكهربائية للمكثف.
- أ. الأوم.
  - ب. كولوم/فولت.
  - ج. الفاراد.
  - د. الهنرى.
٧. وحدات المحاثة الكهربائية للملف.
- أ. الأوم.
  - ب. كولوم/فولت.
  - ج. الفاراد.
  - د. الهنرى.
٨. إذا وصلت أربعة مكثفات على التوازي وكانت سعة المكثف الواحد 10 ميكرو فاراد فإن السعة الكلية تكون.
- أ. 2.5 ميكرو فاراد.
  - ب. 40 ميكرو فاراد.
  - ج. 20 ميكرو فاراد.
  - د. 60 ميكرو فاراد.
٩. إذا وصلت أربعة ملفات على التوازي وكانت محاثة الملف الواحد 10 ميلي هنري فإن المحاثة الكلية تكون.
- أ. 2.5 ملي هنري.
  - ب. 40 ملي هنري.
  - ج. 20 ملي هنري.
  - د. 60 ملي هنري.
١٠. إذا تم توصيل ثلاثة مكثفات على التوالي وكانت سعة المكثف الواحد 30 ميكرو فاراد فإن السعة الكلية تكون.
- أ. 60 ميكرو فاراد.
  - ب. 90 ميكرو فاراد.
  - ج. 10 ميكرو فاراد.
  - د. 50 ميكرو فاراد.

١١. إذا تم توصيل ثلاثة ملفات على التوالي وكانت محاطة الملف الواحد 30 مللي هنري فإن المحاطة الكلية تكون.

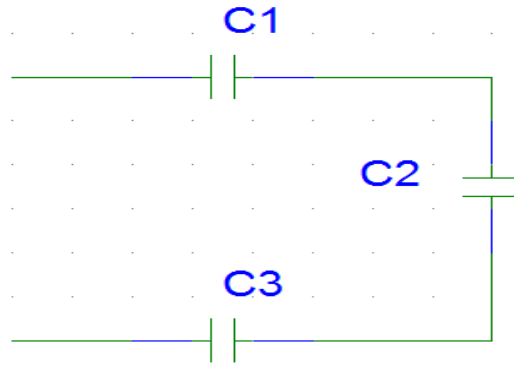
- أ. 60 مللي هنري.
- ب. 90 مللي هنري.
- ج. 10 مللي هنري.
- د. 50 مللي هنري

**ثانياً: علل**

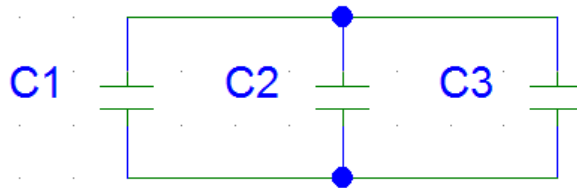
١. تزداد القدرة الكهربائية المسحوبة من المصدر عند توصيل عدة مقاومات على التوازي؟
٢. توصل المصابيح والأجهزة الكهربائية على التوازي في المنازل؟
٣. لا توصل الأجهزة الكهربائية المنزلية على التوالي؟
٤. تزداد القدرة المسحوبة من مصدر كهربائي إذا وصلت مقاومة على التوازي مع مقاومة أخرى في دائرة المصدر؟

**ثالثاً: حل المسائل الآتية:**

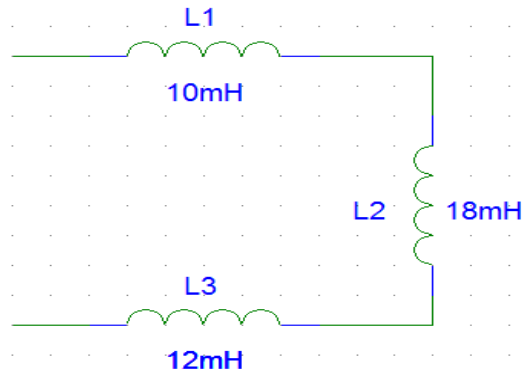
١. وصلت المقاومتان A، B معا على التوازي ثم وصلت المجموعة على التوالي مع مقاومة ثالثة هي C وبطارية قوتها الدافعة الكهربائية 24 فولت. فإذا كانت المقاومات A, B, C هي على الترتيب  $12\Omega$ ,  $8\Omega$ ,  $6\Omega$ . فاحسب ما يلي:
  - المقاومة الكلية.
  - شدة التيار المار في الدائرة.
  - شدة التيار المار في كلا من A, B
٢. وصلت المقاومات الثلاث 32, 220, 330 أوم على التوالي مع بطارية القوة الدافعة الكهربائية لها 24 فولت أحسب:
  - شدة التيار المار في كل مقاومة.
  - فرق الجهد على كل مقاومة.
٣. وصلت المقاومات الثلاث 32, 220, 330 أوم على التوالي مع بطارية القوة الدافعة الكهربائية لها 24 فولت أحسب:
  - شدة التيار المار في كل مقاومة.
  - فرق الجهد على كل مقاومة.
٤. ثلاث مكثفات سعة كلا منها ( $C_1 = 7 \mu F$ ,  $C_2 = 5 \mu F$ ,  $C_3 = 8 \mu F$ ) موصلة على التوالي كما بالشكل التالي، أحسب السعة المكافئة للمجموعة.



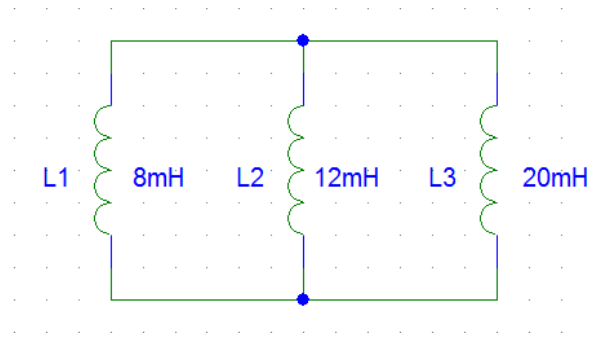
٥. ثلاث مكثفات سعة كلا منها  $(C_1 = 10 \mu F, C_2 = 15 \mu F, C_3 = 12 \mu F)$  موصلة على التوازي كما بالشكل التالي، أحسب السعة المكافئة للمجموعة



٦. أحسب الحث المكافئ لثلاثة ملفات متصلة على التوالي قيمة كل منهما  $10mH, 18mH, 12mH$  على التوالي كما بالشكل التالي.



٧. أحسب الحث المكافئ لثلاثة ملفات متصلة على التوازي قيمة كل منهما  $8mH, 12mH, 20mH$  على التوالي كما بالشكل التالي.



٨. وصلت المقاومات الثلاث ١٥ و ٢٠ و ٣٠ أوم ( $\Omega$ ) على التوازي مع بطارية القوة الدافعة الكهربائية لها ٢٠ فولت، أثبت قانون كيرشوف للتيار عند العقدة (A).
٩. وصلت المقاومات الثلاث ١٠ أوم و ٢٠ أوم و ٣٠ أوم على التوالي مع بطارية القوة الدافعة الكهربائية لها ١٥ فولت أثبت قانون كيرشوف للجهد. (E)



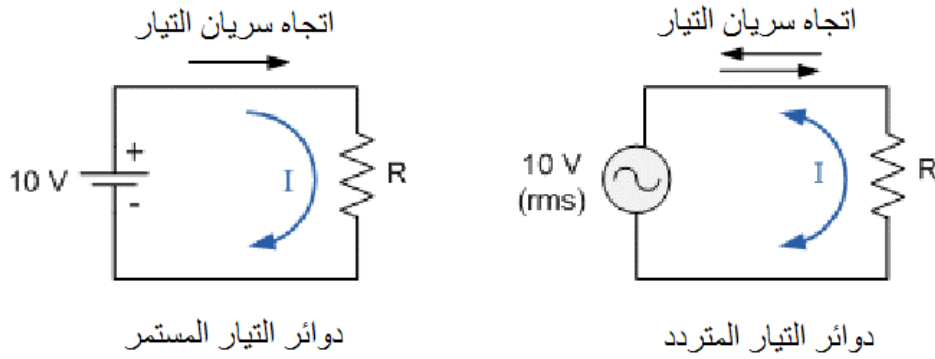
# الباب الثالث: دوائر التيار المتردد AC Circuits





## تأثير التيار المتردد على المقاومة الكهربائية

عندما نتعامل مع دوائر التيار المتردد التي تحتوي على مقاومات فقط (ولا تحتوي على مكثفات أو ملفات) فأنا نستخدم قانون اوم دون تغيير، ألا أن الفرق هو الجهد الواقع على المقاومة الذي سيتم استخدامه في القانون. حيث نستخدم قيمة الجهد الفعال ( $V_{rms}$ )، كما هو موضح بالشكل التالي



ينص قانون أوم على أن فرق الجهد الكهربائي بين طرفي ناقل معدني (المقاومة) يتناسب طردياً مع شدة التيار الكهربائي المار فيه، ويمكن صياغة قانون أوم كما في المعادلة التالية ولا يتغير القانون من دوائر التيار المستمر عنها في دوائر التيار المتردد:

$$V(t) = I(t) \cdot R$$

حيث أن:

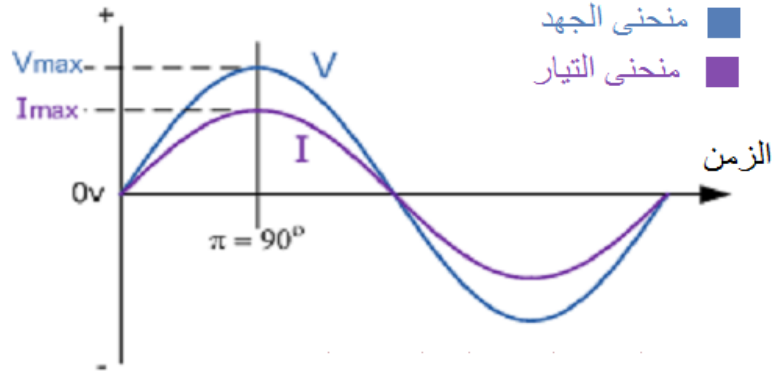
للـ  $V(t)$ : فرق الجهد الكهربائي بين طرفي الناقل المعدني (المقاومة) ويقاس بوحدة تسمى بالفولت (V) بالنسبة للزمن.

للـ  $I(t)$ : هو شدة التيار الكهربائي المار في الناقل ويقاس بوحدة تسمى بالأمبير (A) بالنسبة للزمن.

للـ  $R$ : وتمثل المقاومة الناقل للتيار وتقاس بوحدة تسمى بالأوم ( $\Omega$ ).

وفي دوائر التيار المتردد فإن كلا من الجهد والتيار على المقاومة الموجودة في الدائرة يرتفعا ويهبطا وذلك لأن تيار الدائرة متردد وليس مستمر، كما يوضح الشكل التالي.

ونلاحظ من الشكل أن كلا من الجهد والتيار يرتفعا ويهبطا مع بعضهما البعض في نفس اللحظة ونقول على ذلك أنهما في نفس زاوية الطور، أي أن الفرق بينهما (منحنى الجهد ومنحنى التيار) يساوى صفر درجة.



تغيير كلا من الجهد والتيار على المقاومة لدورة واحدة  
من دورات التيار المتردد

شكل رقم ٥٤: العلاقة بين الجهد والتيار في دائرة بها مقاومة في وجود مصدر تيار متردد

ثبات قيمة المقاومة الكهربائية وعدم تأثرها بتغير التردد في دوائر التيار المتردد، لا يوجد فرق في الطور بين موجة التيار المار في المقاومة والجهد الواقع ليها في دوائر التيار المتردد.



## تأثير التيار المتردد على الملفات الكهربائية

المفاعلة الحثية للملفات وحدتها الأوم ( $\Omega$ ) تمثل معاكسة الملف للتيار الذي يمر به، وقيمة المفاعلة الحثية تتناسب طردياً مع كل من تردد موجة الدخل وقيمة الملف نفسه وتخضع للقانون:

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

حيث أن:

$X_L$ : قيمة المفاعلة الحثية للملف بالأوم ( $\Omega$ ).

$f$ : تردد جهد الدخل ويقاس بعدد الموجات في الثانية (هرتز Hz).

$L$ : قيمة محاثة الملف ويقاس بالهنري (H)

ينص قانون أوم على أن فرق الجهد الكهربائي بين طرفي ناقل معدني (الملف) يتناسب طردياً مع شدة التيار الكهربائي المار فيه، ويمكن صياغة قانون أوم كما في المعادلة التالية.

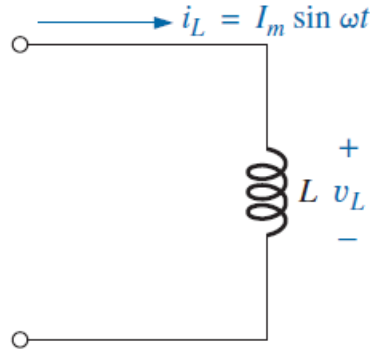
$$V_L(t) = I(t) \cdot X_L$$

$$I(t) = I_m \sin \omega t$$

حيث أن:

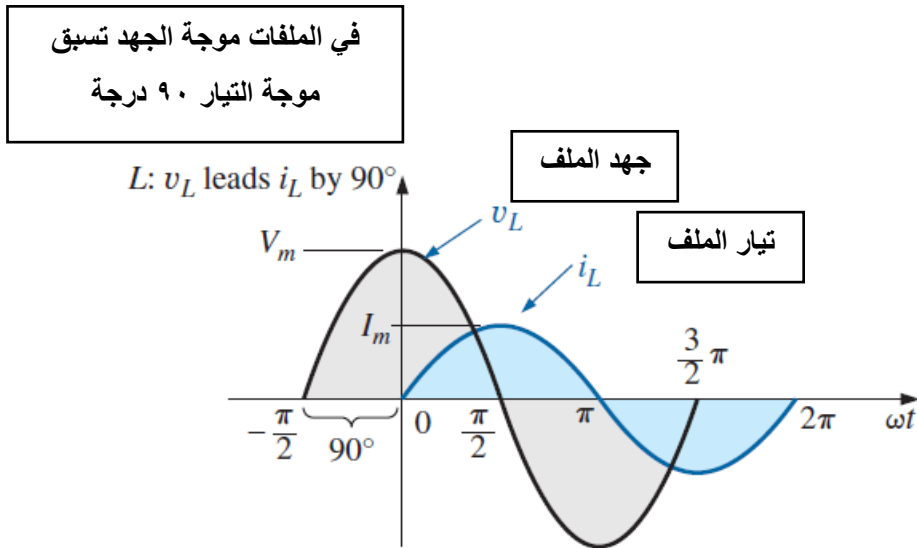
$I_m$ : قيمة العظمى للتيار المتردد ويقاس (A).

$\omega$ : التردد الزاوي ويقاس بوحدة (Rad/sec)



شكل رقم ٥٥: الملف في وجود التيار المتردد

وفي دوائر التيار المتردد فإن الجهد والتيار على الملف الموجود في الدائرة يرتفعا ويهبطا وذلك لان تيار الدائرة متردد وليس مستمر، كما يوضح الشكل التالي.  
ونلاحظ من الشكل أن الجهد يسبق التيار بربع موجة (٩٠ درجة)، أي أن فرق الطور بينهما (منحنى الجهد ومنحنى التيار) يساوى ٩٠ درجة.



شكل رقم ٥٦: موجات الجهد والتيار على الملف في دائرة للتيار المتردد

المفاعلة الحثية ( $X_L$ ) للملفات الكهربائية تتأثر بتغير التردد في دوائر التيار المتردد، الجهد يسبق التيار بربع موجة (٩٠ درجة)، أي أن فرق الطور بينهما (منحنى الجهد ومنحنى التيار) يساوى ٩٠ درجة.



في دوائر التيار المتردد التي تحتوي على مقاومة وملف على التوالي تسبق موجة الجهد موجة التيار فيما بين زاوية صفر إلى ٩٠ درجة حسب قيم كل من الملف والمقاومة.



**مثال:**

أوجد قيمة المفاعلة الحثية في دائرة للتيار المتردد قيمة الملف ١٠ مللي هنري (10 mH) والتردد ١٠٠ هرتز (100 Hz)

**الحل:**

$$\begin{aligned} X_L &= 2\pi f L \\ &= 2 * 3.14 * 100 * 10 * 10^{-3} \\ &= 6.28 \Omega \end{aligned}$$

**تأثير التيار المتردد على المكثفات الكهربائية**

المفاعلة السعوية للمكثفات وحدتها الأوم ( $\Omega$ ) تمثل معاكسة المكثف للتيار الذي يمر به، وقيمة المفاعلة السعوية تتناسب عكسياً مع كل من تردد موجة الدخل وقيمة المكثف نفسه وتخضع للقانون:

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

**حيث أن:**

↳  $X_C$ : قيمة المفاعلة السعوية للمكثف بالأوم ( $\Omega$ ).

↳  $f$ : تردد جهد الدخل ويقاس بعدد الموجات في الثانية (هرتز Hz).

↳  $C$ : قيمة سعة المكثف وتقاس بالفاراد (F)

ينص قانون أوم على أن فرق الجهد الكهربائي بين طرفي (المكثف) يتناسب طردياً مع شدة التيار الكهربائي المار فيه، ويمكن صياغة قانون أوم كما في المعادلة التالية.

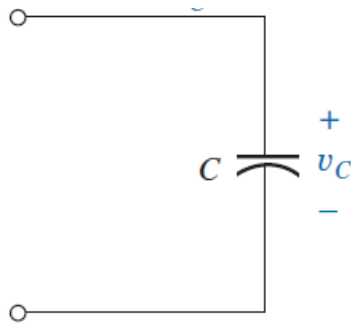
$$V_C(t) = I(t) * X_C$$

$$I(t) = I_m \sin \omega t$$

**حيث أن:**

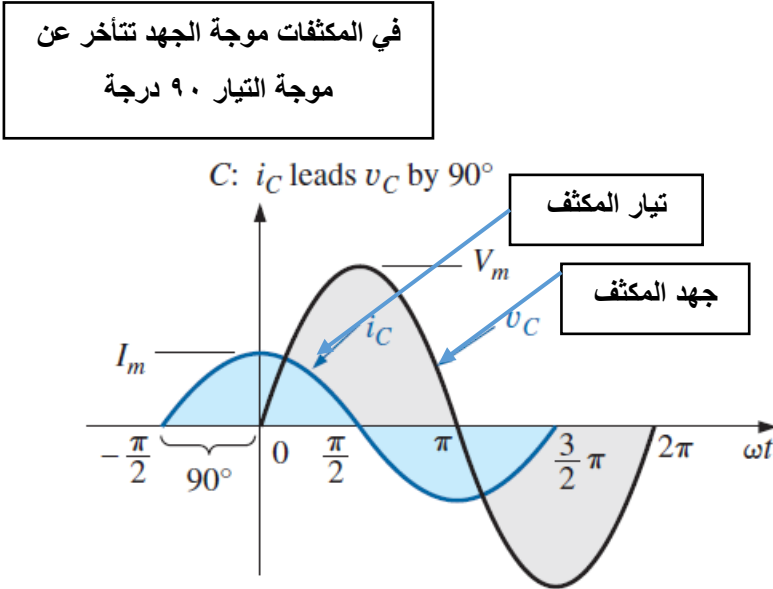
↳  $I_m$ : قيمة العظمى للتيار المتردد ويقاس (A).

↳  $\omega$ : التردد الزاوي ويقاس بوحدة (Rad/sec)



شكل رقم ٥٧: الملف في وجود التيار المتردد

وفى دوائر التيار المتردد فإن الجهد والتيار على المكثف الموجود في الدائرة يرتفعا ويهبطا وذلك لان تيار الدائرة متردد وليس مستمر، كما يوضح الشكل التالي. ونلاحظ من الشكل أن الجهد يتأخر عن التيار بربع موجة (٩٠ درجة)، أي أن فرق الطور بينهما (منحنى الجهد ومنحنى التيار) يساوى ٩٠ درجة.



شكل رقم ٥٨: موجات الجهد والتيار على المكثف في دائرة للتيار المتردد

المفاعلة السعوية ( $X_C$ ) للمكثفات الكهربائية تتأثر بتغير التردد في دوائر التيار المتردد، موجة الجهد تتأخر عن التيار بربع موجة (٩٠ درجة)، أي أن فرق الطور بينهما (منحنى الجهد ومنحنى التيار) يساوى ٩٠ درجة.



في دوائر التيار المتردد التي تحتوي على مقاومة ومكثف على التوالي تتأخر موجة الجهد عن التيار فيما بين زاوية صفر إلى ٩٠ درجة حسب قيم كل من المكثف والمقاومة.



**مثال:**

أوجد قيمة المفاعلة السعوية في دائرة للتيار المتردد قيمة المكثف ١٠ ميكرو فاراد ( $10 \mu F$ ) والتردد ١٠٠ هرتز (100 Hz)

**الحل:**

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC}$$

$$X_c = \frac{1}{2 * 3.14 * 100 * 10^{-6}}$$

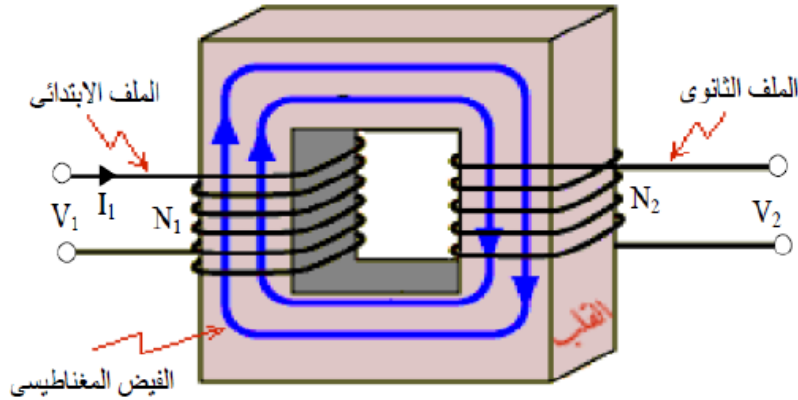
$$= 1592.35 \Omega$$

**المحول الكهربائي Transformers****المحول:**

هو عبارة عن عنصر كهربائي مكون من ملفين أو أكثر متصلة مع بعضها كهرومغناطيسياً فيتكون ما يسمى بالحث التبادلي بينهما.

**الحث المتبادل:**

عندما يوضع ملفان بجانب بعضهما فإن أي تغيير كهرومغناطيسي بسبب تغير التيار في أحد الملفين، فإن ذلك يتسبب في حث للجهد في الملف الأخر.



شكل رقم ٥٩: المحول الكهربائي

**تركيب المحول:**

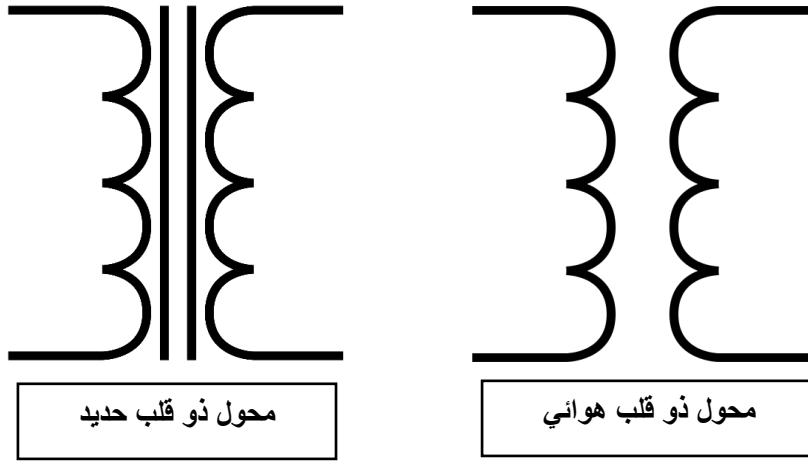
يتكون المحول من ملفين:

١- ملف ابتدائي ويكون متصل بمصدر الجهد وهو الدخول (Primary).

٢- ملف ثانوي ويكون متصل بالحمل وهو الخرج (Secondary).

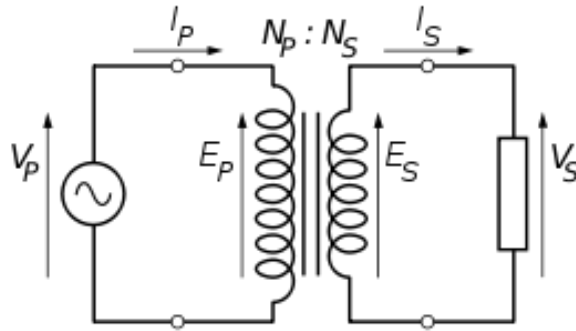
ولفات المحول تلف حول مادة تسمى قلب (Core)، هذا القلب يركز المجال المغناطيسي على الملفين وينقسم إلى ثلاثة أنواع.

١. قلب هواء.
٢. قلب حديدي.
٣. قلب فيرايت.



شكل رقم ٦٠: المحول (Transformer)

وفى حالة المحول المثالي تكون العلاقة بين الجانب الابتدائي (Primary) والجانب الثانوي (Secondary) كالاتي:



شكل رقم ٦١: القيم الكهربائية للملفات

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

حيث أن:

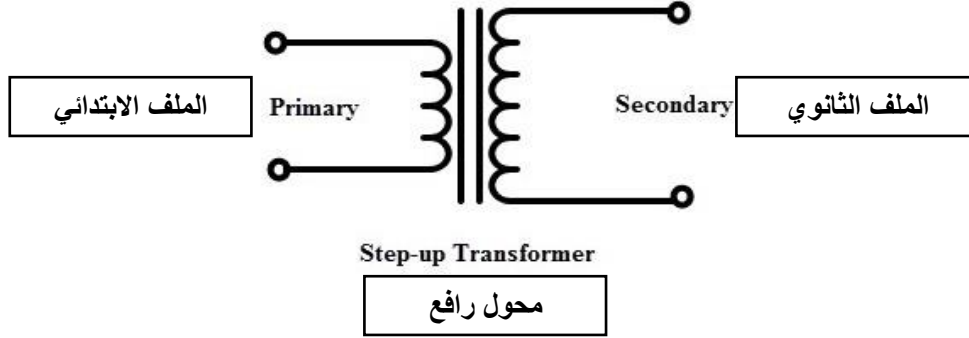
- ⚡  $V_P$ : هو جهد الملف الابتدائي.
- ⚡  $V_S$ : هو جهد الملف الثانوي.
- ⚡  $I_P$ : هو تيار الملف الابتدائي.
- ⚡  $I_S$ : هو تيار الملف الثانوي.
- ⚡  $N_P$ : وعدد لفات الملف الابتدائي.
- ⚡  $N_S$ : هو عدد لفات الملف الثانوي.



## أنواع واستخدامات المحولات

## محولات رافعة للجهد

وهي المحولات التي يكون الجهد في ملفها الثانوي أكبر من الجهد في ملفها الابتدائي. ويكون فيه عدد لفات الملف الثانوي أكثر من عدد لفات الملف الابتدائي. وقيمة الجهد فيه تعتمد على عدد اللفات في الملفين.



شكل رقم ٦٢: محول رافع للجهد

مثال:

إذا كان مصدر الجهد الموصل بالملف الابتدائي يساوي ١٢٠ فولت وعدد لفات الملف الابتدائي ٢٠٠ لفة وعدد لفات الملف الثانوي ٦٠٠ لفة، أحسب قيمة الجهد الخارج.

الحل:

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

$$\frac{120}{V_S} = \frac{200}{600}$$

$$V_S = \frac{120 \times 600}{200} = 360 V$$

مثال:

إذا كان مصدر الجهد الموصل بالملف الابتدائي يساوي 100 فولت وعدد لفات الملف الابتدائي 75 لفة وعدد لفات الملف الثانوي 300 لفة، أحسب قيمة الجهد الخارج.

الحل:

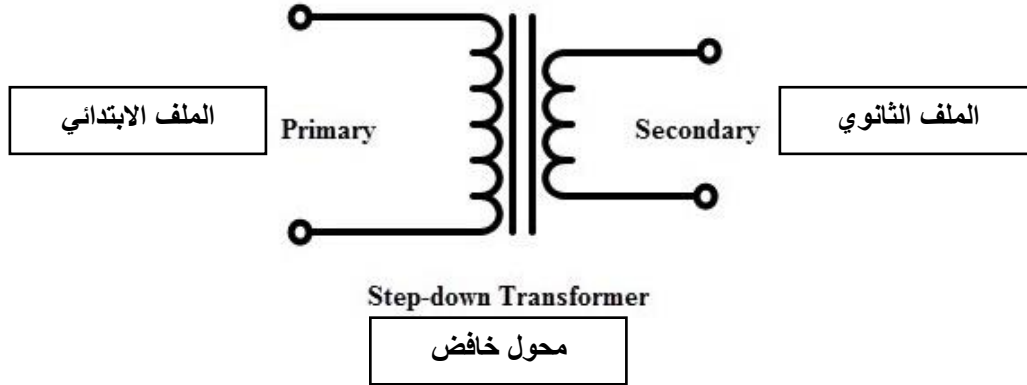
$$\frac{V_P}{V_S} = \frac{N_P}{N_S}$$

$$\frac{100}{V_S} = \frac{75}{300}$$

$$V_S = \frac{100 \times 300}{75} = 400 V$$

## محولات خافضة للجهد

هي المحولات التي يكون الجهد في ملفها الثانوي أقل من الجهد في الملف الابتدائي. ويكون فيه عدد لفات الملف الثانوي أقل من عدد لفات الملف الابتدائي. وقيمة الجهد فيه تعتمد على معدل عدد اللفات في الملفين.



شكل رقم ٦٣: محول خافض للجهد

مثال:

إذا كان مصدر الجهد الموصل بالملف الابتدائي يساوي ١٢٠ فولت وعدد لفات الملف الابتدائي ٥٠ لفة وعدد لفات الملف الثانوي ١٠ لفة، أحسب قيمة الجهد الخارج.

الحل:

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

$$\frac{120}{V_S} = \frac{50}{10}$$

$$V_S = \frac{120 \times 10}{50} = 24 V$$

مثال:

إذا كان مصدر الجهد الموصل بالملف الابتدائي يساوي ١٢٠ فولت وعدد لفات الملف الابتدائي ١٦٠ لفة وعدد لفات الملف الثانوي ٤٠ لفة، أحسب قيمة الجهد الخارج.

الحل:

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

$$\frac{120}{V_S} = \frac{160}{40}$$

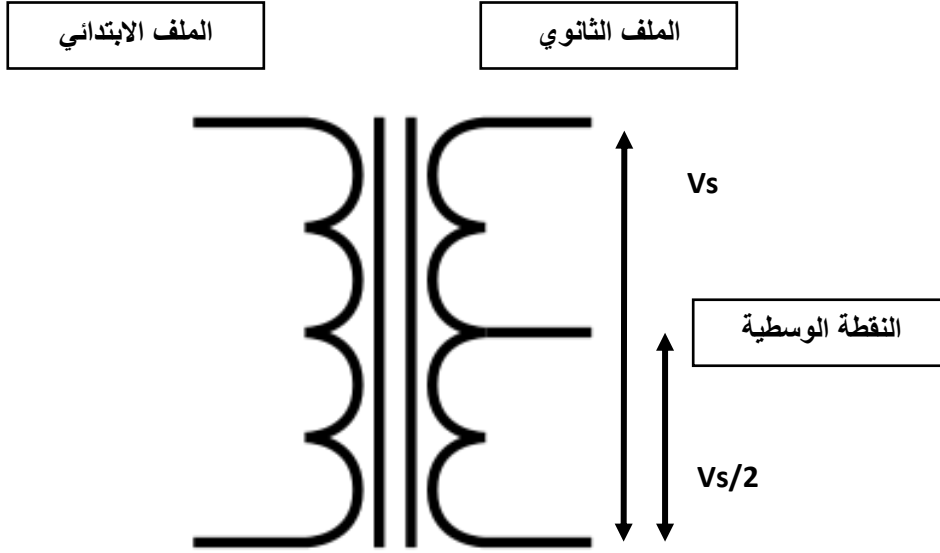
$$V_S = \frac{120 \times 40}{160} = 30 V$$

## المحولات العازلة

تعتبر المحولات العازلة أفضل الوسائل للعزل الكهربائي بين دائرتين. ففي المحولات العازلة لا يوجد أي اتصال كهربائي وإنما الدائرتين متصلتين ببعضهما مغناطيسياً.

## المحولات ذات النقطة الوسطية (Center Tap)

وفيه يكون الملف الثانوي عبارة عن ملفين ينقسم الجهد الكلي بينهما ويكون له ثلاثة أطراف. أحد الأطراف مع الأوسط يعطى نصف الجهد الكلي. الطرفين غير الطرف الأوسط يعطى الجهد الكلي.



شكل رقم ٦٤: المحول ذات النقطة الوسطية

مثال:

إذا كان التيار المار في الملف الابتدائي يساوي ١٠٠ مللي أمبير أحسب التيار في الملف الثانوي إذا كان عدد لفات الملف الابتدائي يساوي ١٠٠ لفة وعدد لفات الملف الثانوي ٥٠٠ لفة.

الحل:

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

$$\frac{100}{500} = \frac{I_S}{100 \times 10^{-3}}$$

$$I_S = \frac{100 \times 100 \times 10^{-3}}{500} = 20 \text{ mA}$$

## أسئلة الباب الثالث

١. ما هو تأثير التيار المتردد على المقاومات الكهربائية.
٢. ما هو تأثير التيار المتردد على المكثفات الكهربائية.
٣. ما هو تأثير التيار المتردد على الملفات الكهربائية.
٤. ما هي علاقة موجة لجهد بالتيار في دوائر التيار المتردد المكونة من مقاومة فقط وجهد متردد.
٥. ما هي علاقة موجة لجهد بالتيار في دوائر التيار المتردد المكونة من مكثف فقط وجهد متردد.
٦. ما هي علاقة موجة لجهد بالتيار في دوائر التيار المتردد المكونة من ملف فقط وجهد متردد.
٧. ما هي علاقة موجة لجهد بالتيار في دوائر التيار المتردد المكونة من مقاومة وملف وجهد متردد.
٨. ما هي علاقة موجة لجهد بالتيار في دوائر التيار المتردد المكونة من مقاومة ومكثف وجهد متردد.
٩. مما يتרכب المحول؟
١٠. ما هي أنواع المحولات؟
١١. عرف المحول الكهربائي.
١٢. إذا كان التيار المار في الملف الابتدائي يساوي ٢٥٠ مللي أمبير أحسب التيار في الملف الثانوي إذا كان عدد لفات الملف الابتدائي يساوي ٦٠ لفة وعدد لفات الملف الثانوي ٢٤٠ لفة.
١٣. إذا كان مصدر الجهد الموصل بالملف الابتدائي يساوي ٢٢٠ فولت وعدد لفات الملف الابتدائي ٣٠٠ لفة وعدد لفات الملف الثانوي ٧٥ لفة، أحسب قيمة الجهد الخارج.
١٤. إذا كان مصدر الجهد الموصل بالملف الابتدائي يساوي ١٢ فولت وعدد لفات الملف الابتدائي ٥٠ لفة وعدد لفات الملف الثانوي ٣٠٠ لفة، أحسب قيمة الجهد الخارج.
١٥. إذا كان مصدر الجهد الموصل بالملف الابتدائي يساوي ١٢ فولت وعدد لفات الملف الابتدائي ١٥٠ لفة وعدد لفات الملف الثانوي ٢٢٥ لفة، أحسب قيمة الجهد الخارج.
١٦. أوجد قيمة المفاعلة الحثية في دائرة للتيار المتردد قيمة الملف ٣٥ مللي هنري (35 mH) والتردد ٥٠ هرتز (50 Hz).
١٧. أوجد قيمة المفاعلة الحثية في دائرة للتيار المتردد قيمة الملف ١٥ مللي هنري (15 mH) والتردد ١٠٠ هرتز (100 Hz).
١٨. أوجد قيمة المفاعلة السعوية في دائرة للتيار المتردد قيمة المكثف ٢٠ ميكرو فاراد (20  $\mu$ F) والتردد ٥٠ هرتز (50 Hz).
١٩. أوجد قيمة المفاعلة السعوية في دائرة للتيار المتردد قيمة المكثف ١٨ ميكرو فاراد (18  $\mu$ F) والتردد ١٠٠ هرتز (100 Hz).



## الباب الرابع: أجهزة القياس





## مقدمة

نقدم في هذه الوحدة أكثر أجهزة القياس استخداماً وكذلك الأجهزة المستخدمة في المعامل والمختبرات مثل مصدر الجهد ومولد الموجات.

## أجهزة القياس

أجهزة تستخدم لقياس الجهد – التيار – المقاومة (ومن الممكن قياس درجة الحرارة، سعة المكثف، فحص الترانزستور)، في هذا الباب سندرس الأجهزة الأكثر شيوعاً. يوجد شركات كثيرة مصنعة ولكن تعددت الأشكال والاستخدام واحد.



شكل رقم ٦٥: أشكال جهاز الملتيميتر (Multimeter) (الأفوق)

## أهم أجهزة القياس

## جهاز قياس فرق الجهد الفولتميتر (Voltmeter)

يستخدم هذا الجهاز لقياس فرق الجهد بين طرفين الحمل الكهربائي أو لقياس مصدر الجهد. ويوصل هذا الجهاز على التوازي مع المصدر أو الحمل الكهربائي مع شرط سريان التيار الكهربائي أي يجب أن تكون الدائرة الكهربائية المراد قياس جهدها مغلقة. ويحتوي هذا الجهاز على مفتاح اختيار لتحديد نوع الجهد المراد قياسه هل هو جهد متردد (AC) أم جهد مستمر (DC).

## جهاز قياس شدة التيار – الأميتر (Ammeter)

يستخدم هذا الجهاز لقياس شدة التيار الكهربائي المار في حمل كهربائي أو دائرة كهربائية ويوصل هذا الجهاز مع الحمل المراد قياسه على التوالي مع مراعاة أن تكون الدائرة مغلقة ويحتوي هذا الجهاز على مفتاح اختيار لتحديد نوع التيار المراد قياسه هل هو تيار متردد (AC) أو تيار مستمر (DC).

## جهاز قياس المقاومة الكهربائية - الأوم ميتر (Ohmmeter)

يستخدم هذا الجهاز لقياس مقاومة الأحمال الكهربائية وللتأكد من سلامة هذه الأحمال ويوصل هذا الجهاز مع الأحمال المراد قياس مقاومتها على التوازي مع مراعاة عدم وجود سريان للتيار الكهربائي، أي أن تكون الدائرة مفتوحة.



### جهاز قياس القدرة الواط ميتر (Wattmeter)

يستخدم هذا الجهاز لقياس قدرة الأحمال الكهربائية ويحتوي من الداخل على ملفين أحدهما يسمى ملف التيار ويوصل مع الحمل على التوالي، والآخر يسمى ملف الجهد ويوصل مع الحمل على التوازي. يوصل هذا الجهاز مع الحمل مع مراعاة سريان التيار في الدائرة أي أن الدائرة مغلقة.



شكل رقم ٦٦: جهاز قياس القدرة الواط ميتر

### جهاز متعدد القياسات الأفوميتر AVO meter- Multimeter

يجمع هذا الجهاز بين أكثر الأجهزة أهمية (الأميتر، الفولتميتر، الأوميتر)، ويحتوي هذا الجهاز على مفتاح اختيار من خلاله يتم اختيار نوع الكمية المراد قياسها والتدريج (Range) المناسب لها، وحديثاً أصبح النوع الرقمي (Digital Multimeter) هو الأكثر استخداماً كما هو موضح بالشكل التالي.



شكل رقم ٦٧: الجهاز الرقمي

ويسمى بمتعدد القياسات لأنه بالتقنية الرقمية أمكن إضافة قياسات كثيرة بتكلفة قليلة ودقة عالية، يوجد عدة أشكال كما ذكرنا ولكن الاستخدام واحد، سنقوم بشرح الأجزاء الرئيسية للجهاز وطريقة استخدامه.

## أطراف التوصيل:



شكل رقم ٦٨: أطراف جهاز القياس متعدد الأغراض الرقمي

الطرف الأسود يوصل دائما في طرف (COM) الموجود بالجهاز ويعني أنه الطرف المشترك في كل عمليات القياس، والطرف الأحمر يتم التغيير من خلاله سواء قياس جهد ومقاومة يوصل بالمدخل الأول حيث يكون مطبوع الرمز ( $V\Omega$ ) أما لقياس التيار فيوصل بالمدخل الأخير حيث يكون مطبوع عليه رمز التيار (A).

## مفتاح الاختيار:

بالنسبة لمفتاح الاختيار فيكون لها أشكال مختلفة ولكن نفس الرموز موجود في كل المفاتيح، كما هو موضح بالشكل التالي.



شكل رقم ٦٩: مفاتيح الاختيار بالجهاز الرقمي

## رموز الاختيار:

الجدول التالي يوضح أهم الرموز المستخدمة لاختيار نوع القياس

الرمز	المعنى
V--	يدل على قياس لفرق الجهد المستمر (DC)
V~	يدل على قياس فرق الجهد المتردد (AC)
A--	يدل على قياس شدة التيار المستمر (DC)
A~	يدل على قياس شدة التيار المتردد (AC)
$\Omega$	لقياس قيمة المقاومة
	فحص التوصيلية
OFF	هذا المفتاح لإطفاء أداة القياس

جدول رقم ٧: رموز القياس

ونلاحظ انه في بعض أنواع المفاتيح يوجد تدرج للقيم المراد قياسها (مثل الشكل السابق على اليسار) ويدعى هذا النوع "يدوي التدرج (Manual Range)", بينما نجد البعض الآخر لا يوجد به تدرج للقيم المراد قياسها، مثل النوعان الأول والثاني في الشكل السابق، ويدعى تلقائي التدرج (Auto Range). ينبغي الأخذ في الاعتبار عند استخدام النوع اليدوي في التدرج (Manual Range):

- استخدام التدرج (النطاق "Range") الأقرب للقيمة المراد قياسها يعطي نتيجة قياس أدق.
- القيمة المكتوبة على النطاق المحدد (Range) تعني أنه أقصى قيمة يمكن أن تقاس والمفتاح (Switch) يشير إلى ذلك التدرج (مثلاً: لو تم وضع المفتاح ليشير إلى ٢٠ فولت (DC) فهذا يعني أن ٢٠ فولت هي أكبر قيمة للجهد من الممكن أن تقرأ والمفتاح يشير إلى هذا التدرج).

### قياس الجهد:

يقاس الجهد الكهربائي بواسطة أجهزة القياس الرقمية بوضع الجهاز على التوازي مع العنصر المراد قياس الجهد عليه.



شكل رقم ٧٠: قياس الجهد

١. وضع مفتاح الاختيار على أشاره الجهد الكهربائي (مستمر أو متردد).
٢. يوصل الطرف الأحمر في المدخل المناسب لقياس الجهد وهو المدخل الأول (V) والطرف الأسود في (COM).
٣. يوصل الجهاز على التوازي مع العنصر المراد معرفه الجهد عليه أو مصدر الجهد المراد قياسه.

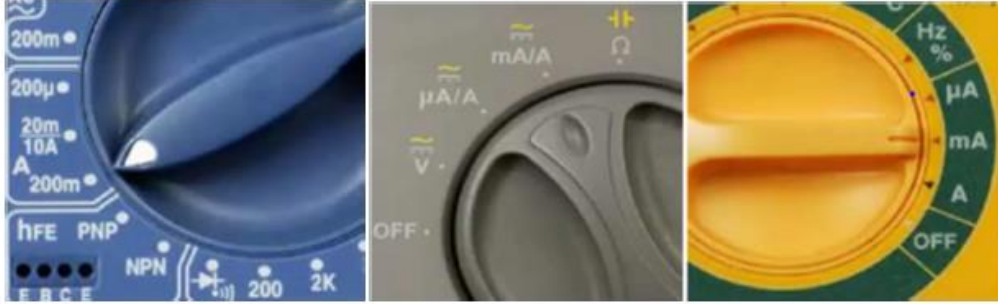


شكل رقم ٧١: أطراف التوصيل لقياس الجهد

### قياس التيار:

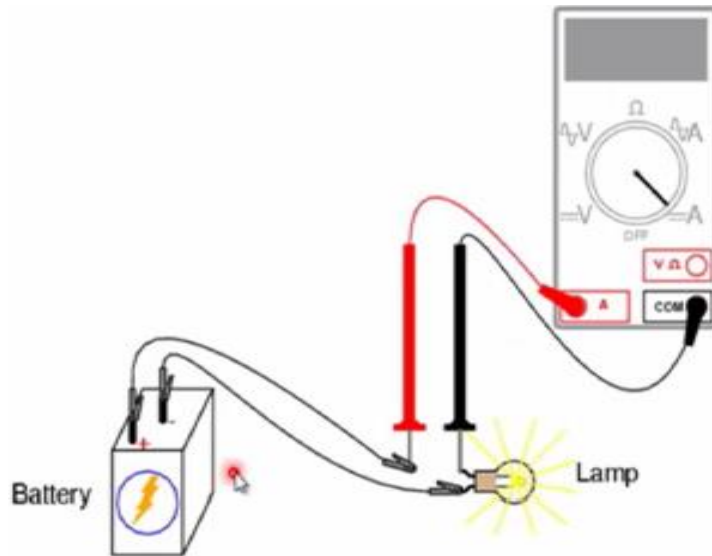
يقاس التيار الكهربائي بواسطة أجهزة القياس الرقمية بوضعه على التوالي مع العنصر المراد قياس تياره.

١. وضع مفتاح الاختيار على أشاره التيار الكهربائي (مستمر أو متردد).
٢. يوصل الطرف الأحمر في المدخل المناسب لقياس التيار وهو المدخل الثالث (A) والطرف الأسود في (COM).



شكل رقم ٧٢: قياس التيار

٣. يوصل الجهاز على التوالي مع العنصر المراد معرفه التيار المار به، كما هو موضح بالشكل التالي.



شكل رقم ٧٣: توصيل الأطراف لقياس التيار

### قياس المقاومة

١. تقاس المقاومة بواسطة أجهزة القياس الرقمية بوضعه على التوازي مع العنصر المراد قياس مقاومته.

٢. يوصل الطرف الأحمر في المدخل المناسب لقياس المقاومة وهو المدخل الأول ( $\Omega$ ) والطرف الأسود في (COM).

٣. يوصل الجهاز على التوازي مع العنصر المراد معرفه مقاومته.



شكل رقم ٧٤: قياس المقاومة الكهربائية

### فحص التوصيلية (Continuity Test)

يستخدم لفحص هل يوجد قطع في الموصل أم لا؟ ويستخدم أيضا لفحص خط معين على لوحة كهربية لبيان أن النقطتين متصلين معا من البداية والنهاية لهذا الخط أم لا. أو لفحص القصر (Short Circuit)

١. وضع مفتاح الاختيار على أشاره الصفارة (Buzzer )، كما هو موضح بالشكل التالي



شكل رقم ٧٥: مفاتيح فحص التوصيلية

٢. يوصل الطرف الأحمر في المدخل المناسب وهو المدخل الأول ( $\Omega$ ) والطرف الأسود في (COM)،

كما هو مبين بالشكل التالي.

٣. يوصل الجهاز على التوازي مع العنصر المراد معرفه الجهد عليه أو مصدر الجهد المراد قياسه.



شكل رقم ٧٦: أطراف توصيل لفحص التوصيلية

### جهاز قياس متعدد الأغراض LCR

مقياس (LCR) هو نوع من معدات الاختبار الإلكترونية المستخدمة لقياس المحاثه (L)، السعة (C)، والمقاومة (R). وهو جهاز يشبه جهاز الاقو (AVO)، و يتم توصيل الأطراف حسب المكون المطلوب



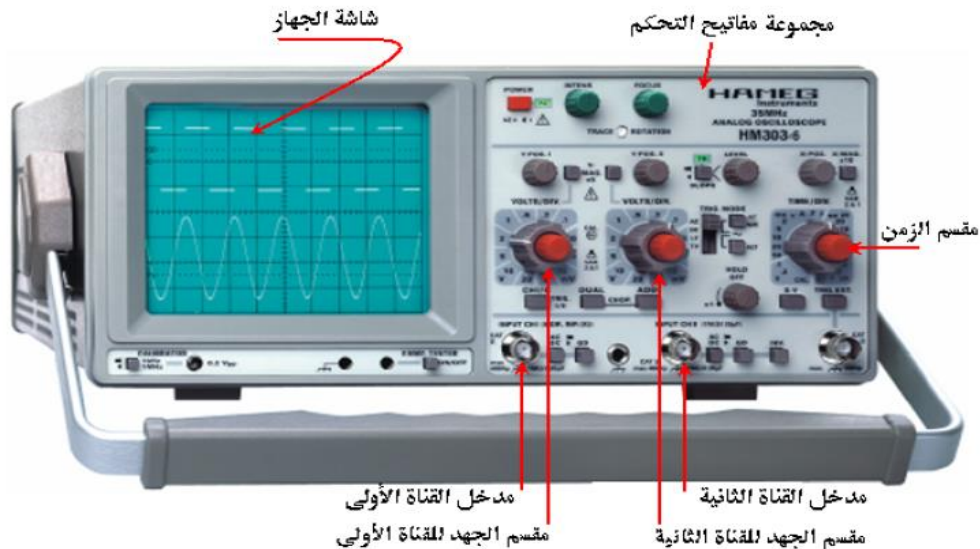
قياسه (R,L,C) ثم نقوم بضبط النطاق بحيث يكون أقرب للقيمة المراد قياسها للأكبر (أعلى)، كما هو موضح بالشكل التالي.



شكل رقم ٧٧: جهاز LCR

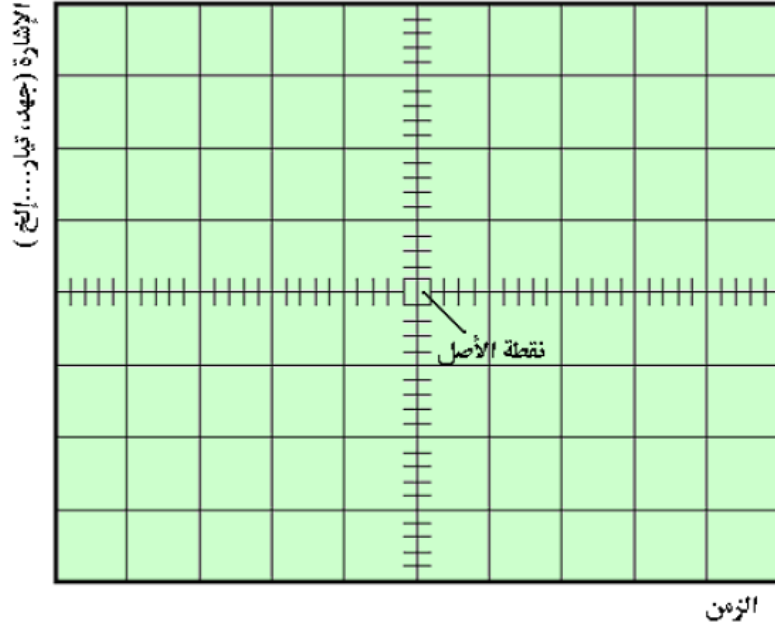
## جهاز راسم الموجات الأوسيلوسكوب Oscilloscope

جهاز راسم الموجات هو جهاز إلكتروني صمم خصيصا لرسم الإشارات الكهربائية على شكل نقطة مضيئة تتحرك من يسار إلى يمين الشاشة بسرعة معينة يتحكم فيها بمفتاح قاعدة الزمن (Time Base). والشكل التالي يبين جهاز راسم الموجات الذي يتكون من قناتين (2 Channels) ولكل قناة منهم مفاتيحها التي تتحكم فيها ويكون طرف الأرضى (GND) مشترك لجميع القنوات متصل داخليا للجهاز.



شكل رقم ٧٨: جهاز راسم الذبذبات الأوسيلوسكوب

تقسم شاشة الجهاز إلى مربعات رأسية وأفقية (بالسنتمتر) وتمثل المربعات الرأسية قيمة الإشارة بينما تمثل المربعات الأفقية (الزمن). وباستخدام المفاتيح المختلفة للجهاز يمكن تحديد الوضع المناسب للقياس حسب الإشارة المقاسة والذي يعطى دقة عالية في القياس، ويوضح الشكل التالي مثلاً لشاشة الجهاز مقسمة أفقياً إلى ١٠ أقسام بينما رأسياً إلى ٨ أقسام.



شكل رقم ٧٩: تقسيم شاشة جهاز راسم الموجات

## أسئلة الباب الرابع

أولاً: أختَر الإجابة الصحيحة فيما يلي:

١. يستخدم جهاز الأقوميتز لقياس.

أ. التيار.

ب. الجهد.

ج. المقاومة.

د. جميع ما سبق.

٢. لقياس الجهد نوصل أطراف الأقوميتز على:

أ. التوازي مع العنصر المراد قياس الجهد عنده.

ب. التوالي مع العنصر المراد قياس الجهد عنده.

ج. جميع ما ذكر.

د. كل الإجابات خاطئة.

٣. لقياس التيار نوصل أطراف الأقوميتز على:

أ. التوازي مع العنصر المراد قياس الجهد عنده.

ب. التوالي مع العنصر المراد قياس الجهد عنده.

ج. جميع ما ذكر.

د. كل الإجابات خاطئة.

ثانياً: أكمل ما يأتي:

١. يعد جهاز راسم الموجات من أهم الأجهزة المستخدمة في ..... ومتابعة أشكال

..... وصيانة وضبط .....

٢. من أقسام مفاتيح جهاز راسم الإشارات الرئيسية ..... و ..... و

.....

ثالثاً: ضع علامة (صح) أمام العبارة الصحيحة وعلامة (خطأ) أمام العبارة الخاطئة فيما يلي:

١. المحور العمودي لشاشة الأوسيلوسكوب مقسم إلى عشرة أقسام بينما المحور العمودي مقسم إلى

ثمانية أقسام. ( )

٢. يمكن بواسطة الأوسيلوسكوب التعرف على نوع وشكل الإشارة. ( )

٣. إن كان النطاق المضبوط على مقياس الجهد في جهاز القياس متعدد الأغراض هو ٢٠ فولت، فهذا

يعني أن أقل قيمة يمكن قياسها هي ٢٠ فولت. ( )



## قائمة المصطلحات العلمية

المصطلح باللغة الإنجليزية	المصطلح باللغة العربية
AC Circuits	دوائر التيار المتردد
Active power	قدرة فعلية
Alternating current	تيار متردد
Ampere	أمبير – وحدة قياس شدة التيار
Amplitude	قيمة قمة الموجة
Angular Velocity	سرعة زاوية
AVO meter (Ampere, Volt, Ohm)	جهاز قياس متعدد الأغراض لقياس (التيار والجهد و المقاومة)
Bread Board	لوحة اختبار
Capacitor	مكثف كهربائي
Capacitive reactance	المفاعلة السعوية
Channel	قناة
Charge	شحنة
Charging	عملية الشحن
Coil	ملف كهربائي
Color Code	ترميز الألوان
Condenser -Capacitor	مكثف كهربائي
Copper Board	لوحة نحاسي للدوائر
Current	التيار الكهربائي
Current Divider	مجزئ التيار
DC Circuits	دوائر التيار المستمر
Discharge	تفريغ الشحنة
Effective value	القيمة الفعالة
Electric resistance	مقاومة كهربائية
Energy	طاقة
Farad	فاراد (وحدة قياس المكثفات)

المصطلح باللغة الإنجليزية	المصطلح باللغة العربية
Frequency	تردد
Function Generator	مولد الموجات الكهربائية
Fuse	مصهر (فيوز)
Henry	هنري
Hertz	هرتز – وحدة قياس التردد
Inductor	ملف كهربائي
Inductive Reactance	المفاعلة الحثية
Kilowatt	كليو واط
Lamp	مصباح
LCR meter: L (Coil) C (Capacitor), R (Resistor) meter	جهاز قياس متعدد الأغراض لقياس (الملفات، المكثفات، المقاومات)
LDR: Light Dependent Resistor	مقاومة تعتمد على شدة الضوء
Magnetic materials	مواد مغناطيسية
Magnetic flux density	كثافة الفيض المغناطيسي
Magnetic field	المجال المغناطيسي
NTC R: Negative Temperature Coefficient Resistor	مقاومة حرارية ذات معامل سلبي
Ohm	أوم
Ohm's law	قانون أوم
Ohmic resistance	المقاومة الأومية
Oscilloscope	جهاز راسم الموجات
Parallel	توازي
Peak value of alternating current	القيمة العظمى للجهد المتغير
Phase shift	فرق الطور
Power	القدرة
Power factor	معامل القدرة
Primary	إبتدائي (أولي)

المصطلح باللغة الإنجليزية	المصطلح باللغة العربية
Resistor	مقاومة
Self-induction	الحث الذاتي
Series	توالي
Secondary	ثانوي
Sin	جيبى
Sinusoidal current	التيار الجيبى
Square	مربع
Square Wave	موجة مربعة
Switch	مفتاح
Temperature	الحرارة
Transformer	محول
Triangle	مثلث
Triangular Wave	موجة مثلثية
Variable Resistance	مقاومة متغيرة
Velocity	سرعة
Volt	فولت (وحدة قياس الجهد)
Voltage difference	فرق الجهد
Voltage drop	انخفاض الجهد
Voltage Divider	مجزئ الجهد
Watt	واط
Wattmeter	جهاز قياس الواط
Weber	ويبر - وحدة قياس الفيض المغناطيسي

## قائمة المراجع

1. BIRD, J. (2013) *Electrical Circuit Theory and Technology*. Routledge.
2. HUGHES, E., HILEY, J., BROWN, K. and MCKENZIE-SMITH, I. (2012) *Electrical and Electronic Technology*.
3. Giorgio Rizzoni. (2014) *Principles and Applications of Electrical Engineering*.