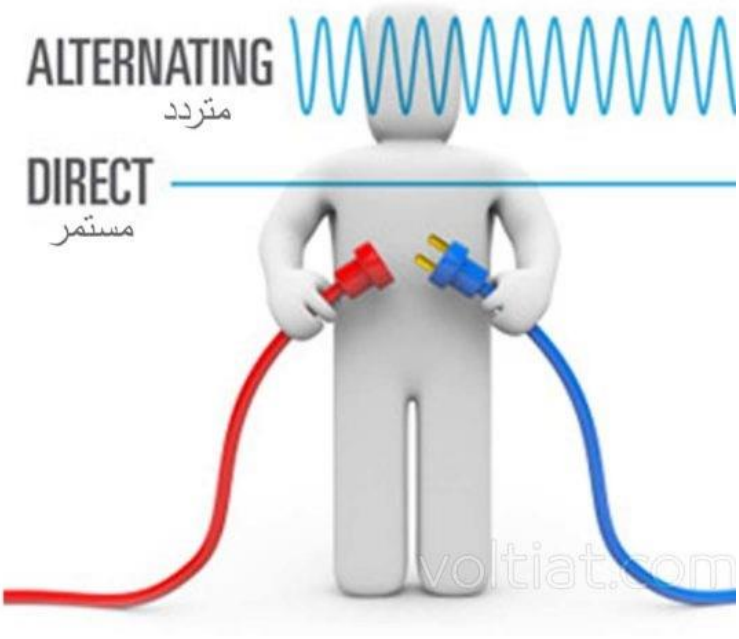
محاضرات في التيار المتردد

د.محمد علوش



2022-2023
SOUTH VALLEY UNIVERSITY

تمهيد

سبق إن درسنا في الكهربية الاستاتيكية القوي بين الشحنات والتوزيع النهائي لها وسنتناول في دراستنا هذه حركة الشحنات الكهربية في الموصلات تحت تأثير مجالات كهربية وتعرف حركة أو انسياب الشحنات باسم التيار الكهربي.

إذا كان تأثير المجال داخل الموصل في نفس الاتجاه دائما حتي لو كانت قيمته صغيرة فان التيار الناتج عن ذلك يسمي تيارا مستمرا (Direct current D.C)

إما إذا عكس المجال اتجاهه بصفة دورية فان مرور الشحنات ينعكس أيضا ويسمي التيار الناتج تيار مترددا alternating current.

عندما يؤثر مجال كهربي في موصل فان الشحنات الحرة free charges داخله تبدى في الحركة الشحنات الموجبة تتحرك في نفس اتجاه المجال والشحنات السالبة في عكس اتجاه المجال.

التيار الكهربي:

A,B شكل (٣١) موصلان معزولان ومشحونان فإذا كان جهد A اعلي من جهد B نشا مجال كهربي E في الاتجاه الذي ينقص فيه الجهد أي من Aإلي B وإذا وصلنا بين A,B بموصل فان الشحنات الحرة الموجودة داخل الموصل سوف تتأثر بالمجال وتتحرك تحت تأثير القوة الكهربية F_E فتنتقل الشحنات الموجبة من Aإلي B وفي نفس الوقت تنتقل الشحنات السالبة من B إلي A ويلاحظ إن هاتين الحركتين تؤديان إلي نفس النتيجة حيث تحاول كل من الشحنات الموجبة المتجهة إلي اليمين والشحنات السالبة المتجهة إلي اليسار رفع الجهد B وخفض جهد A حتي يتساوي الجهدان في زمن قصير جدا يتلاشي بعده المجال

وتقف حركة الشحنات. ولكن لو أمكن بطريقة ما (وهذا ممكن) الإبقاء علي جهد A اعلي من جهد B يستمر انتقال هذه الشحنات وهو ما نعبر عنه بالتيار الكهربي فالتيار الكهربي إذن هو سيل من الالكترونات تتدفق من نقطة اقل جهد إلي نقطة اعلي جهدا.

شدة التيار الكهربي:-

هي كمية الشحنة التي تخترق مقطع الموصل في الثانية الواحدة فإذا كان التيار منتظم وكانت كمية من الشحنة q تخترق النقطة في زمن قدره t فان $i=q/t$ والوحدة العملية لشدة التيار هي الأمبير وهي الوحدة التي استخدمت في تعريف الكولوم

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

ويجب الملاحظة إن الذي يتحرك في الموصلات هو الالكترونات حيث تكون الشحنات الموجبة مرتبطة بانوية الذرات وغير قادرة علي الحركة فحركة الالكترونات هي التي تكون التيار في المعادن ويسمي باسم تيار التوصيل conduction current إما في المحاليل والغازات المتاينة فان كلا من الالكترونات والايونات الموجبة والايونات السالبة يشار في نقل الشحنة أي في سريان التيار ويؤخذ الاتجاه الذي تتحرك فيه الشحنات الموجبة دائما علي انه اتجاه تيار كهربي وهو اتجاه مرتبط بالسلك أو الموصل الذي يسري فيه التيار والتيار الناشئ من حركة ذرات متاينة ايونات كما هو الحال عند وضع محلول من مادة متاينة أو غاز متاين في اتجاه مجال كهربائي وفي هذه الحالة تحرك الايونات الموجبة الشحنة في اتجاه المجال والايونات السالبة الشحنة في الاتجاه المضاد

ويسمي التيار هنا باسم التيار الحمل convection current ومن السهل مقارنة هذين النوعين من التيار بما يناظرها من سريان الحرارة عن طريق التوصيل "في المعادن"والحمل" في الغازات والسوائل" ولا يقتصر التشابه بين انتقال الشحنات وانتقال الحرارة علي هذا الحد بل إن هناك علاقة وثيقة بين الخواص الكهربية والخواص الحرارية للأجسام فمن الملاحظ إن الأجسام الجيدة التوصيل للحرارة تكون في العدة جيدة التوصيل للكهرباء .

في حالة الموصلات المعدنية تكون جميع الالكترونات التكافؤ وعلي العكس في المواد العازلة تكون جميع الالكترونات مقيدة بين هاتين الحالتين توجد فصيلة أشباه الموصلات وفيها يمر التيار بطريقة التالية ندما تحصل بلورة الجرمانيون أو السليكون أو الكربون علي طاقة كافية من مصدر خارج البلورة (طاقة حرارية أو طاقة كهربية) تتحرر بعض هذه الالكترونات وتتجول بين ذرات البلورة تاركة فراغات أو فجوات موجبة positive holes في الأربطة التي هجرتها وحينما يؤثر مجال كهربي علي بلورة شبه الموصل فان الالكترونات الحرة توصل التيار بطريقة المعتادة في المعادن إما الفجوات فإنها تأخذ الالكترونات من الذرات المجاورة ذات الجهود الكهربية الأقل ولذلك فإننا نجد إن إلكترونها تكسر أربطتها التكافؤية المشتركة لتتحر في عكس اتجاه المجال وتملا الفجوات الذرات المجاورة وتدخل بذلك في أربطة تكافؤية جديدة فهذا القفز ينشا تيار بسبب الالكترونات المتحركة من قيدها قي ذرات التي قيدها في ذرات أخري في اتجاه مضاد لاتجاه المجال وهذا يكافئ تيار يتصور حدوثه بسبب تحرك فجوات في اتجاه المجال لكل منها شحنة موجبة تساوي شحنة الالكترون في المقدار ويظهر من هذا كسر رباط التكافؤ المشترك ينشأ عنه إلكترون وفجوة كل منها يسبب حدوث التيار وفي درجة الصفر المطلق ينعدم توصيل البلورة نهائيا.

ويمكن الكشف عن التيار الكهربائي بأحدي الطرق الآتية :

١ـ تأثيره المغناطيسي

٢ـ تأثيره الحراري

٣ـ تأثيره الكيميائي

٤ـ تأثيره الميكانيكي

فإذا اعتبرتا جزء من سلك من مادة موصلة موجود في مجال كهربي (أي ميل جهدي مقداره Eيتجه نحو اليسار) حيث إن السلك يحتوي علي عدد من الالكترونات الحرة وتحت تأثير المجال E تتحرك هذه الالكترونات نحو اليمين .

وفي إثناء الالكترونات فإنها تصطدم بذرات الموصل وتفقد بعض أو كل طاقة وحركتها إثناء عملية التصادم وبعد التصادم تعود الالكترونات للتحرك مرة أخري تحت تأثير المجال وتكتسب طاقة حركة من جديد تفقدها بالتالي في عمليات التصادم ومعني ذلك إن أي إلكترون حر لا يتحرك بسرعة ثابتة بل إن حركة الالكترون هي سلسلة من الحركات المتزايدة السرعة يتخللها عدد من الاصطدامات ويمكن علي أي حال افتراض سرعة متوسطة للالكترونات وهذه السرعة هي متوسط سرعات الالكترونات جميعها وإذا كانت شدة المجال مقدارها ثابتا فان هذه السرعة المتوسطة تكون ثابتة أيضا.

ولنفرض إن السرعة المتوسطة V_d^2 وان مساحة مقطع السلك هو A وعدد الالكترونات الحرة في وحدة الحجوم $= N$ حيث N عدد الالكترونات في وحدة الحجوم.

∴عدد الالكترونات الحرة التي تعبر مقطعا معينا للسلك من النقطة bمثلا إلي النقطة a في زمن صغير قدره dt يكون $NAV_d^2\,dt$.

وهذا العدد يمثل عدد الالكترونات الحرة الموجودة في حجم السلك المحصور بين المقطع عند النقطة a ومقطع أخر للسلك عند b المسافة بينهما

$$ab = V_d^e dt$$

وإذا كانت شحنة الالكترون الحر =e فان مقدار الشحنة dq التي تعبر مقطع السلك من زمن قدره dt

هي

$$dq = NAV_d^e edt$$

$$dq/dt = NAV_d^e e$$

والمقدار dq/dt يمثل مقدار الشحنة المارة بمقطع السلك في وحدة الزمن وتسمي هذه الكمية باسم شدة التيار الكهربي ونرمز لها بالرمز i لي إن

$$I=dq/dt= \quad NAV_d\, e$$

ومن المعادلة السابقة يمكن حساب السرعة المتوسطة للإلكترون V_d^e فعلي سبيل المثال نعتبر سلك مساحة مقطعه ٢سم يمر فيه تيار شدته ١٠٠ أمبير وإذا كانت هذه المادة نحاسا فان عدد الالكترونات في وحدة الحجوم = 10^{28}x5.8 إلكترون /متر٣.

$$\therefore V_d^e = \frac{1}{NeA} = \frac{100}{1.6 \times 10^{-19} \times 8.5 \times 10^{28} \times 0.0001}$$

$$= 0.000074 meter/sec$$

مثال أخر:

سلك من الفضة قطره ١ مم تمر فيه شحنة مقدارها ٩٠كولوم في ساعة وخمسة عشر دقيقة إذا كانت الفضة تحتوي علي $5.8x10^{22}$ الالكترون حر لكل سم٣ اوجد قيمة التيار في السلك ثم اوجد سرعة الالكترونات في السلك.

الـحـل

1)i=dq/dt=90/75x60=0.02 amp , **i=neV^{e}A

2)n= $5.8x10^{22}$Electron/ cm^3

=$5.8x10^{28}$Elctron /m^3

e=$1.6x10^{-19}$coulomb

$$\mathbf{A = \pi r^2 = 3.14(5 \times 10^{-4})^2}$$

$$\mathbf{\therefore V^e = i/neA}$$

=0.02

$5.8x10^{28}x1.6x10^{-19}x3.14x25x10^{-8}=2.74x10^{-6}$m/sec

وتعتبر هذه سرعة صغير جدا والسبب إن الالكترونات لا تتحرك في الفراغ ولكن السرعة المحسوبة هي القيمة المتوسطة اذ إن الالكترونات إثناء انتقالها تصطدم بالذرات فتقل حركتها ثم تبدأ من جديد وهكذا.

التوصيل الكهربائي وقانون اوم

Electric conductivity and Ohm's law

لكى يمر تيار كهربائي في موصل يلزم إن يكون هناك مجال كهربائي (أي ميل جهدي) داخل هذا الموصل وينشا الميل الجهدي عند توصيل الموصل بنقطتين مختلفتين الجهد كقطبي بطارية.

وتعرف بالنسبة بين كثافة التيار "أي شدة التيار مقسوما علي مقطع وبين شدة المجال مساحة المجال E باسم معامل التوصيل النوعي σ

أي إن $\sigma = \frac{i}{EA}$

ومقلوبها يسمي المقاومة النوعية

وقبل الحديث عن المقاومة النوعية لابد من الحديث عن الكثافة التيارية (Current density J)وهي كمية التيار المار في وحدة المساحات من مقطع الموصل $\bar{J} = i/A$

وبمعني اخر هى كمية الشحنة التي تخترق وحدة المساحات من مقطع الموصل في الثانية وفي حالة التيار المنتظم فان

$$\bar{J} = \in ne\overline{V^e}$$

ويلاحظ إن الكثافة التيارية كمية متجهة في حين إن التيار كمية قياسية حيث تدل الكثافة التيارية علي كمية واتجاه الشحنات التي تخترق وحدة المساحات عند نقطة ما في الموصل ولا يرتبط اتجاهها بالموصل نفسه ولكن باتجاه حركة الشحنات $\overline{V^e}$ **وتكون** $\bar{J}$ **اتجاه** $\overline{V^e}$**للشحنات الموجبة ولكن** $\bar{J}$ **تكون ضد اتجاه** $\overline{V^e}$ **للشحنات السالبة.**

المقاومة النوعية Resistively

تتوقف الكثافة التيارية J علي المجال الكهربي E حيث إن المجال الكهربي هو القوة التى تحرك الشحنات الكهربية التي تسبب التيار

$$\bar{E}\&\bar{J}$$

$$\therefore \bar{E} = \rho J$$

والمقدار ρ هو ثابت التناسب ويعرف بالمقاومة النوعية للموصل وهي تساوي عدديا شدة المجال الذي يسبب كثافة تيارية شدته الوحدة.

المقاومة :

عند توصيل الأسلاك من مواد مختلفة بين نقطتين فرق الجهد بينهما ثابت نلاحظ إن التيار المار في السلك يختلف باختلاف السلك.

ويرجع ذلك إلي اختلاف مقاومة الأسلاك لمرور التيار وتعرف المقاومة R بأنها النسبة بين فرق الجهد وشدة التيار

$$R=v/i$$

وتقاس المقاومة بوحدة تسمي الاوم ohm

$$Ohm= volt/ amp$$

وهناك علاقة بين المقاومة R وبين المقاومة النوعية p حيث ترتبط Rبالمقادير المقاسة i.v في حين ترتبط o بالمقادير J,E كما يتضح من المعادلتين السابقتين

$$\therefore R = \frac{v}{i} = \frac{EL}{JA} = \frac{JpL}{JA}$$

$$R = p\frac{L}{A}$$

وهذه المعادلة تبين العوامل التي تتوقف عليها مقاومة الموصل حيث يتضح منها إن المقاومة تتناسب طرديا مع الطول وعكسيا مع مساحة المقطع وثابت التناسب هو المقاومة النوعية التي تختلف باختلاف مادة الموصل ومن هذه العلاقة نحصل علي تعريف اخر للمقاومة النوعية فيمكن تعريفها بأنها" هي مقاومة موصل طوله الوحدة ومساحة مقطعه الوحدة" وعلي ذلك يكون التوصيل النوعي σ وهي مقلوب المقاومة النوعية

$$chm^{-1}\ cm^{-1} = \sigma$$

قانون اوم Ohm's Law

اذا رسمنا العلاقة بين فرق الجهد وشدة التيار المار في الموصل ما وجدنا إن هذه العلاقة عبارة عن خط مستقيم قيل إن هذا الموصل يتبع قانون اوم وهو ينص علي "التيار المار في الموصل يتناسب طرديا مع فرق الجهد بين طرفيه" وبمعني اخر مقاومة الموصل ثابته مهما تغير فرق الجهد عليها أو شدة التيار المار فيه عند ثبوت درجة الحرارة

وفي جميع الاحوال يمكن ايجاد المقاومة من العلاقة $R=v/i$

ولكم الحالة التي تكون فيها هذه العلاقة خطا مستقيما هي التي تتبع قانون اوم حيث يكون ميل الخط ثابتا ويدل علي مقاومة الثابتة للموصل.

توصيل المقاومة فى الدوائر الكهربية:

أ- التوصيل على التوالى series connection

في هذه الحالة يكون فرق الجهد بين النقطتين b,a يساوي مجموع فروق الجهد v_3, v_2, v_1

لكم من قانون اوم $Vab = v_1 + v_2 + v_3$

$V_3 = iR_3$, $v_2 = iR_2$,$v_1 = iR_1$

حيث إن التيار المار في كل المقاومات ثابت ويساوي i

لكم من قانون اوم $\therefore Vab = a(R_1 + R_2 + R_3) = iR$

$\therefore R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots$

حيث R هي المقاومة المكافئة التي اذا وضعت بين نقطتين b.a لم تغير من شدة التيار ولا من فرق الجهد بين النقطتين b.a أي إن المقاومة المكافئة = مقاومة احدهم ×عددهم.

ب-<u>التوصيل على التوازي Parallel connection</u>

في هذه الحالة يتجزأ التيار i إلي ثلاثة أجزاء i_1, i_2, i_3 تعتمد قيمة كل منها علي المقاومة التي تمر بها حيث يكون

$$i = i_1 + i_2 + i_3$$

ولكن $i_1 = Va_b/R_1$ وهكذا بالنسبة لباقي المقاومات

$$\therefore i = \frac{Vab}{R_1} + \frac{Vab}{R_2} + \frac{Vab}{R_3}$$

ولكن

$$i = \frac{Vab}{R}$$

$$\therefore \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

المقاومة المكافئة = مقاومة احدهم / عددهم

أي إن المقاومة المكافئة لعدة مقاومات متصلة علي التوازي تكون مقلوب قيمتها متساويا لمجموع مقاليب قيم المقاومات الداخلة في التوصيل

تطبيقات علي توصيل المقاومات :

١- الاميتر Ameter:

عند قياس شدة التيار المار في دائرة كالمبينة بالشكل (٣٥) فانه يلزم إدخال جهاز القياس (جلفانومتر) في الدائرة علي التوالي مع بقية أجزاء الدائرة حطي يمر فيه نفس التيار المراد قياسه ولكن الجلفانومتر يحتوي عادة علي ملف مصنوع من سلك رفيع له مقاومة كبيره Rc وادخاله في الدائرة معناه اضافة مقاومة الجلفانومتر إلي المقاومات الموجودة اصلا في الدائرة وبذلك يتغير التيار ويصبح التيار بعد التوصيل الجلفانومتر مختلفا عن التيار الاصلي المراد قياسه.

ولكي نقلل من تأثير مقاومة الجلفانومتر علي التيار المراد قياسه يوصل الجلفانومتر علي التوازي بمقاومة صغيرة جدا r كما هو مبين بالشكل وبذلك تصبح مقاومة الامبيتر R_A اصغر من المقاومة الصغيرة r التي تسمي مجزئ التيار shunt

$$\therefore \frac{1}{R_A} = \frac{1}{R_{en}} + \frac{1}{r} = \frac{R_{en} + r}{rR_e}$$

$$R_A = rR_{en}/R_{ch} + r$$

ويمكن بتغيير مقاومة المجزئ r التحكم في حساسية الامبيتر وتغيير مداه بحيث يستخدم الجلفانومتر الواحد لقياس تيارات متفاوتة الشدة فقد يستخدم

الاميتر لقياس تيارات مختلفة في حدود الامبيرات أو المللي امبيرات أو الميكروامبيرات حسب المجزئ المستخدم معه.

٢- الفولتميتر: voltmeter

عند قياس فرق الجهد بين نقطتين مثل b,a في دائرة كهربية فإننا نوصل جهاز قياس (الجلفانومتر) علي التوازي بالنقطتين المراد قياس فرق الجهد بينهما كما هو مبين بالشكل (٣٦).

حيث يتضح إن التيار المار في الدائرة سيوزع عند النقطة aليمر جزء منه في دائرة مقياس الجهد (الفولتميتر V) وبالتالي يتغير فرق الجهد المراد قياسه بين a,b ولكي نقلل من هذا التغيير يجب إن يمر في الفولتميتر اصغر تيار ممكن حتي يمكن القول إن ظروف الدائرة لم تتغير بتوصيل الفولتميتر ولذلك توصل علي التوالي مع ملف الجلفانومتر مقاومة كبيرة جدا R بحيث تصبح مقاومة الفولتميتر Rv كبيرة جدا جدا.

$$R_v=R+R_ه$$

ويمكن بتغيير المقاومة R تغيير حساسة الفولتميتر بحيث يصبح الجهاز الواحد صالحا لقياس فروق متفاوتة في الجهد في الدوائر المختلفة فيقيس فولت أو مللي فولت أو كيلو فولت .

وعلي الرغم من الاحتياطات السابقة صناعة الاميتر أو الفولتميتر إلا إن هذه الأجهزة لا تستخدم في القياسات العلمية الدقيقة حيث يكون في قراءتها أخطاء نتيجة لطريقة التوصيل كما يتضح من الشكل (٣٧)الذي يبين الطريقتين التي يوصل يهما الاميتر A الفولتميتر v لقياس التيار i وفرق الجهد v في المقاومة R

ففي الشكل (أ) يقيس الاميتر التيار الصحيح الذي يمر في المقاومة Rفي حين يقيس الفولتميتر (خطا) فرق الجهد الكلي وهو مجموع فرق الجهد بين طرفي المقاومة Vab مضافا إليه فرق الجهد بين طرفي الاميتر Vbcوفي الشكل (ب) يقيس الفولتميتر فرق الجهد الحقيقي بين طرفي المقاومة Vab في حين يقيس الاميتر (خطا) مجموع التيارين التيار المار في المقاومة مضافا اليه التيار المار في الفولتميتر.

وعلي ذلك يجب تصحيح احدي القراءتين أو الاخري للحصول علي القيم الصحيحة للكميات ألمقاسه.

<u>تغير المقاومة بارتفاع درجة الحرارة</u>

تزداد المقاومة النوعية ρ لموصل معدني metal conductor بازدياد درجة الحرارة وهذا التغيير سببه إن سعته اهتزازات ايونات النحاس الموجبة تزداد بارتفاع درجة الحرارة فيزيد الحجم الذي يتواجد فيه الايون وهذا طبعا يزيد من فرص تصادم الالكترون الحر التحرك وفي ألمدي المتوسط لدرجة الحرارة (من صفر الي 100°م تقريبا) يكون تغيير المقاومة نوعية للمعدن متناسبا مع تغير درجة الحرارة dT وتربطهما العلاقة

$$p_T = p_\circ(1 + \alpha dT)$$

حيث p_rالمقاومة النوعية في درجة$p_\circ$, T في درجة الصفر المئوية ، dT هي الارتفاع في درجة الحرارة ، α هي المعامل الحراري للمقاومة النوعية Temperature- coefficient of resistance وهو يعرف بانه التغير في المقاومة لكل وحدة مقاومة لكل درجة مئوية وهو موجبة للمعادة وسالبا للمواد العازلة.

ومقاومة أي موصل $R=pL/A$ وعند ارتفاع درجة الحرارة يحدث تغير في كل من A,L,p ولكن L/A=مسافة /(مسافة)^2 أي ان التغير يكون في مسافة فقط وتغير المسافة بارتفاع درجة الحرارة يمكن حسابه اذا عرف معامل التمدد الطولي بمادة المقاومة وهو في حدود 10^{-5} لكل درجة وهذا يمثل مقدار صغير جدا بالنسبة لقيمة α التي تكون في حدود 10^{-3}لكل درجة مئوية لذلك يمكن اهمال تغير مقدار L/A بارتفاع درجة الحرارة بالنسبة للتغير الحادث في p وعلي ذلك يكون $R_T= R_0 (1+\alpha T)$

وقد استغلت هذه الظاهرة في عمل الترمومترات ذات المدي الواسع من درجة الحرارة ابرزها الترمومتر البلاتيني .

<u>ويمكن تخليص تاثير ارتفاع درجة حرارة الموصل علي المقاومة كالاتي:</u>

١-تزداد مقاومة المعادن النقية بزيادة درجة الحرارة وتكون الزيادة في بادئ الامر منتظمة وكبيرة لدرجات الحرارة العادية.

٢- تزداد مقاومة السبائك بزيادة حرارتها ولكن الزيادة في هذه الحال تكون صغيرة نسبيا وغير منتظمة – وهناك بعض السبائك تكون الزيادة في مقاومتها عند درجات الحرارة العالية ويمكن اهمالها.

٣-تقل مقاومة العوازل Insulators بزيادة حرارتها.

$$R_T= R_0 (1+\alpha T)$$

$$R_T= R_0 +Ro+\alpha t$$

$$R_T- R_0 +Ro\ \alpha T$$

$$\therefore \alpha = \frac{R_T}{RoT} = \frac{\Delta R}{RoT}$$

أي ان المعامل الحراري للمقاومة يعرف بانه التغير في المقاومة لكل وحدة مقاومة لكل درجة مئوية وهو موجبا للمعادة وسالبا للمواد العازلة وقيمة المعامل $\alpha = \frac{1}{234}$

العلاقة بين المقاومة المعروفة R_1 عند درجة حرارة T_1 والمقاومة المجهولة R_2 عند درجة حرارة T_2 ويمكن اشتقاقها كما يلي

$$R_2 = R_0 (1+\alpha T_2)$$

$$R_1 = R_0 (1+\alpha T_1)$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{1 + \alpha T_2}{1 + \alpha T_1}$$

$$=(1 + \alpha T_2)(1 + \alpha T_1)^{-1}$$

$$R_2/R_1 = (1 + \alpha T_2)(1 + \alpha T_1)^{-1}$$

$$R_2/R_1 = (1 + \alpha T_2)(1 + \alpha T_1)^{-1}$$

$$R_2/R_1 = 1 + \alpha (T_2 - T_1)$$

وذلك باهمال $\alpha^2 T_1 T_2$ لصغر قيمته

$$\therefore R_2 = R_1[1 + \alpha(T_2 - T_1)]$$

وعند درجات الحرارة العالية جدا (اكثر من $1000°c$) فاننا نستخدم معادلة اكثر دقة ي

$$\mathbf{R}=R_0\left(1+\alpha T+\beta T^2\right)$$

حيث β هو المعامل الثاني الحراري للمقاومة وقيمته اقل من قيمة المعامل الاول ولكن عند درجات الحرارة العالية اكثر من ($2000°c$) فانه يجب ادخال المعامل الثالث الحراري للمقاومة ومن المعروف ان قيمته اقل من المعامل الثاني وعموما تكتب المعادلة علي الصورة

$$\mathbf{R_T}=R_0\left(1+\alpha T+\beta T^2+\text{ɤ}T^2+\cdots\ldots\ldots\right)$$

حيثɤ هو المعامل الثالث الحراري للمقاومة وقيمة المعامل

$$\alpha 10^{-3},\beta=10^{-5},\ \text{ɤ}\ 10^{-8}$$

الطاقة الكهربائية *Electric Energy*

اذا كان هناك موصلا فرق الجهد بين طرفيه v فمعني هذا ان الشغل المبذول في نقل وحدة الشحنات من احدي طرفيه الي الطرف الاخر ضد المجال الكهربي هو V ويكون الشغل اللازم لنقل شحن مقدارها dq من احد طرفي الموصل الي الطرف الاخر هو vdq ولكن الشحنة dq تساوي التيار $x(\lambda)$ الزمن (dt)

∴الشغل المبذول dw في موصل فرق الجهد بين طرفيه v ويحمل تيارا مقداره iفي زمن قدره dt هو

$$dw=vi\ dt$$

فاذا كان فرق الجهد بالفولت والتيار بالامبير والزمن بالثانية فان الشغل المبذول بالجول وحيث ان الشغل المبذول يساوي الطاقة الكهربية.

∴الطاقة الكهربائية = $dw=iv\,dt$

القدرة الكهربائية *Electric Power*

القدرة *(P)* هي معدل عمل الشغل أي مقدار الشغل المبذول في الثانية

$$\text{القدرة} = \frac{\text{الشغل}}{\text{الزمن}}$$

$$P = \frac{dw}{dt} = \frac{ivdt}{dt} = iV = i^{v}R$$

فاذا كانت v بالفولت، i بالامبير كانت القدرة بالوات وهناك وحدة اكبر بعرف بالكيلووات *(kw)* وتساوي الف وات

$$\therefore P = iv = i^2R = v^2/R$$

العلاقة بين وحدات الشغل الكهربائي والقدرة الكهربائية:

الجول هو عبارة عن الطاقة الكهربائية المتولدة في سلك فرق الجهد بين طرفيه واحد فولت ويحمل تيارا مقداره امبير لمدة ثانية واحدة أي ان الجول =١ فولت x ١ امبير x١ثانية= وات. ثانية

أي ان

$$1watt = \frac{1joule}{1sec}$$

وفي النواحي العلمية تستخدم احيانا وحدة تجارية للقدرة تعرف باسم الكيلووات وهي تساوي $1000Joule/sec$

كذلك تستخدم وحدة تجارية للطاقة تسمي الكيلووات .ساعة

الكيلووات ساعة= $1000x60x60$ **وات .ثانية**

= $60x60x1000$ **جول**

الكيلووات ساعة $36 \times 10^{\circ}$ **جول**

$36x10^{12}$ **ارج**

لان الجول = 10^{7} **ارج**

وحيث ان السعر ٤.١٨ جول

∴الكيلووات ساعة = $\frac{1000\times60\times60}{4.18}$ **سعرا**

ملحوظة: الكمية i^2R **تمثل كمية الطاقة التي تفقد في الثانية في المقاومة ولا يمكن استعادتها بينما في حالة المكثف فان الكمية** $1/2cv^2$ **تمثل مقدار الطاقة المختزنة في داخل المكثف وهذه الطاقة تتحول من طاقة كهربائية الي اى نوع اخر من الطاقة وسوف نرى فيما بعد ان الطاقة المختزنة في المجال المغناطيسي تساوي** $1/2Li^2$ **حيث L معامل الحث الذاتي للملف.**

القوة الدافعة الكهربائية Electromotive force:

تحتاج لامرار التيار في موصل الي مصدر يغذي الدائرة بالطاقة اللازمة لامرار الشحنات في الموصل وتسمي الطاقة اللازمة لامرار وحدة الشحنات في الدائرة

الكهربائية بما في ذلك المصدر نفسه بالقوة الدافعة الكهربائية للمصدر وتعرف القوة الدافعة الكهربائية لاي مصدر كهربي بانها الشغل المبذول لنقل وحدة الشحنات خلال دورة كاملة أي خلال الدائرة الخارجية والداخلية ووحدتها العملية هي الفولت

$$Dw=i\ vdt$$

$$V = \frac{dw}{dt} \quad \frac{1}{i} = \frac{dw}{dt} \quad \frac{dt}{dq}$$

$$V = \frac{dw}{dq}$$

$$\therefore volt = \frac{Joule}{coulomb}$$

فلو فرضنا ان لدينا دائرة كهربية تشمل علي مصدر قوته الدافعة الكهربائية E ومقاومته الداخلية $\grave{R}$ يتصل بمقاومة خارجية R فان

$$i = \frac{E}{R+\grave{R}}$$

وحسب قانون جول تكون القدرة في هذه الدائرة $i^2 \ (R + \grave{R})$ وهذه القدرة نفسها تساوي iv

$$\therefore iv = i^2(R + \grave{R})$$

$$\therefore i = v/(R + \grave{R})$$

واذا احتوت الدائرة علي اكثر من مصدر واكثر من مقاومة فان

$$i = \frac{\sum v}{\sum R}$$

حيث يمثل $\sum v$ المجموع الجبري للقوي الدافعة الكهربية ، $\sum R$ المجموع الجبري للمقاومات في الدائرة.

ويلزم التنويه هنا الي ان القوة الدافعة الكهربائية ليست كمية متجهة ولكن نظرا لان اتجاه التيار في الدائرة يتحدد بوضع المصدر القوة الدافعة الكهربائية في الدائرة وينعكس عند عكس وضع المصدر لذلك يلزم ايجاد قاعدة اشارات يحدد علي اساسها (اتجاه) اشارة القوة الدافعة الكهربائية ولا يعنى لفظ (اتجاه) هنا سوي ان القوة الدافعة الكهربائية تكون موجبة او سالبة (شانها في ذلك شان اشارة شحنة كهربائية) وسوف نختار اتجاه القوة الدافعة الكهربائية من القطب السالب الي القطب الموجب داخل المصدر ونعتبر القوة الدافعة الكهربائية موجبة اذا كانت في اتجاه التيار وسالبة اذا كانت في عكس اتجاه التيار.

التاثير الحراري للتيار الكهربى: Hearting effect of current

اذا مر تيار كهربي في سلك فان طاقة كهربائية ستتولد وتتحول هذه الطاقة الكهربائية الي طاقة حرارية وطبقا لقانون حفظ الطاقة فان الطاقة الكهربائية تساوي الطاقة الحرارية ولكن وحدات الطاقة الكهربائية هي الجول لا تساوي وحدات الطاقة الحرارية وهي السعر ولذلك فان المعادلة يجب ان تكون علي الصورة

الطاقة الكهربائية بالجولات = ثابت xالطاقة الحرارية بالسعر

I v d t =J d H

حيث Jمكافئ جول او المكافئ الميكانيكي الحراري

فاذا اعتبرنا جزء من دائرة كهربية ذو مقاومة معينة R يمر فيها تيار شدته (i) فمن المعلوم ان هذا الجزء من الدائرة يحدث له ارتفاع في درجة الحرارة وذلك لان الجزيئات الجسم مرتبطة ببعضها البعض في النظام البلورى ولما كانت هذه الجزيئات اكتسبت طاقة حركة نتيجة لتصادم الالكترونات الحرة بها فان طاقة الحركة هذه تكون علي هيئة اهتزاز للجزيئات حول مراكزها وهذه الاهتزازات هي السبب في ارتفاع درجة الحرارة.

ولحساب كمية الحرارة المتولدة نفرض ان مقاومة السلك هي (R) اوم وشدة التيار (i) امبير وفرق الجهد بين طرفي السلك هو (V) فولت ففي خلال زمن قدره dt تنتقل كمية من الشحنة مقدارها dq تساوي idt تحت تاثير فرق الجهد v.

ويلزم لنقل هذه الشحنات شغل وطاقة مقدارها

$$dw=iv\,dt \quad \text{Joul}$$

ومصدر هذه الطاقة هو البطارية المتصلة بالسلك ومعدل الطاقة أي الطاقة في وحد الزمن هو القدرة Power

$$P=\frac{dw}{dt}=iv=i^2R=\frac{v^2}{R}$$

ومن المعروف ان المقاومة الكهربائية تنتج من تصادم الالكترونات الحرة بايونات الموصل ومعنى هذا ان الالكترونات الحرة تفقد طاقة حركتها (التي اكتسبتها بتأثير المجال الكهربي) عند تصادمها بالايونات المذكورة وهذا يؤدي

إلي اتساع سعة اهتزازه الايونات حول موضع استقرارها مما يؤدي إلي ارتفاع درجة الحرارة الموصل.

وقد وجد إن كمية الحرارة المتولدة في سلك تتناسب مع الشغل المبذول أي إن

$$dw \alpha \alpha\, dH \qquad \therefore dw = J\, dH$$

حيث H هى كمية الحرارة المتولدة

و J ثابت التناسب ويعرف باسم المكافئ الميكانيكى الحرارى أو مكافئ جول ومقداره ٤.١٨ ووحدته (جول/ سعر).

انواع التيار الكهربائي

يقسم التيار الكهربائي الى نوعين النوع الاول هو التيار المستمر والذي يرمز له بالانجليزية بـ DC ، والنوع الاخر هو التيار المتردد والذي يرمز له بالانجليزية بـ AC بعيدا عن المصطلحات المعقدة ووحدات القياس التي قد لا تهمنا كمبدئين او هواة سوف احاول التحدث بلغة نفهمها حول هذين النوعين.

التيار الثابت

ما هو التيار الثابت؟

يعرّف التيار الثابت DC على أنه تيار كهربائي يتدفق في اتجاه واحد ثابت، حيث يمكن له أن يتدفق عبر الموصلات مثل السلك وأشباه الموصلات وحتى عبر المواد العازلة وعبر الفراغ أيضًا كما هو الحال في الحزم الإلكترونية أو الأيونية، ويتولد في البطاريات والخلايا الشمسية وبعض مصادر الطاقة الأخرى، ويسمى التيار الثابت أيضًا باسم التيار المستمر حيث كان يسمى سابقًا بإسم التيار الجلفاني.

التيار الثابت هو التيار الذي يتدفق في اتجاه واحد، ويمكنه المرور بالموصلات وأشباه الموصلات والمواد العازلة.

ما هي مميزات التيار الثابت؟

استُخدم التيار الثابت في ثمانينات القرن التاسع عشر بشكل واسع مثله مثل التيار المتردد، إذ اقتصرت تطبيقات الطاقة الكهربائية حينها على الإنارة، ولكن فيما بعد اختلف العلماء على مصدر الطاقة الأفضل (التيار الثابت أم المتردد) لتوليد الطاقة ونقلها، وفيما يلي ذكر لبعض مميزات التيار الثابت:

عند استخدام التيار الثابت في نقل الطاقة الكهربائية فهو يحتاج إلى سلكين فقط بدلًا من ثلاثة أسلاك كما أنه لديه مفاعلة كهربائية سعوية وحثية قليلة.

استُخدم التيار الثابت في بطاريات السيارات القديمة.

ما هي عيوب التيار الثابت؟

وصلت حرب التيارات ذروتها عام ١٨٩٣م، وذلك عند منح عقد توفير الكهرباء لمعرض شيكاغو العالمي لشركة ويستنجهاوسWestinghouse ، التي توصلت في المحصلة إلى أن التيار المتردد أرخص من التيار الثابت بنسبة ٣٠%، مما جعل التيار المتردد في تسعينيات القرن التاسع عشر يتفوق على التيار الثابت، وفيما يلي ذكر لبعض عيوب التيار الثابت:

لا يعمل التيار الثابت في محولات الطاقة وذلك لأن المحولات تحتاج إلى جهد عالي لنقل الطاقة.

يسبب استخدام التيار الثابت في المولدات الكهربائية خسائر عالية، وذلك بسبب حركة الجزء الدوّار ومقاومة الفرشاة فيها.

التيار المتردد

ما هو التيار المتردAC ؟

يتم تعريف التيار المتردد AC بأنه التيار الكهربائي الذي تقوم فيه الشحنة الكهربائية بعكس اتجاهها بشكل دوري، وهو يمثل شكل الطاقة الكهربائية التي يتم توصيلها إلى الشركات والمنازل، حيث إن شكل موجات طاقة التيار المتردد في دائرة كهربائية تأخذ شكل موجات موجبة جيبية والتي تختلف بحسب التطبيق

المستخدمة فيه؛ فمنها ما تكون موجات مثلثة الشكل ومنها ما تكون رباعية، ويسمى التيار المتردد أيضًا بإسم التيار المتناوب.

التيار المتردد هو التيار الذي تقوم به الشحنات الكهربائية بتغيير اتجاهها بشكل دوري وتأخذ موجاتها شكل الموجات الجيبية الموجبة. ما هي مميزات التيار المتردد؟ بالرغم من شعبية التيار الثابت بين العلماء في ثمانينات القرن التاسع عشر، إلا أن العلماء بدؤوا باكتشاف أهمية التيار المتردد بعدها، إذ قام جورج وستنجهاوس بشراء براءة اختراع التيار المتردد من نيكولا تيسلا لبناء نظام طاقة يعمل بالتيار المتردد، وعلى إثر ذلك كسب التيار المتردد الحرب، حيث إنه ما زال إلى الآن المصدر الأكثر شعبية للتيار الكهربائي، وفيما يلي ذكر لبعض <u>مميزات التيار المتردد</u>:

عند استخدام التيار المتردد في النقل لمسافات طويلة وبجهد عال تكون خسارة الطاقة بشكل أقل مما تكون عليه عند استخدام التيار الثابت. تعد التيارات المترددة أوفر من التيارات الثابتة. يمكن تحويل التيار الثابت إلى تيار متردد باستخدام المقوّمات بكل سهولة. يمكن استخدامه في المحولات. ما هي عيوب التيار المتردد؟ بعد التعرف على مميزات التيار المتردد العديدة، فهو لا يخلو من العيوب المختلفة كما هو الحال في نظيره التيار الثابت، وعلى الرغم من وجود عيوب في كليهما، إلا أن التيار المتردد يتفوق على التيار الثابت في المميزات، وفيما يلي ذكر لبعض عيوب التيار المتردد:

إن استخدام التيار المتردد في شحن السيارات يعد محدودًا ومكلفًا. بسبب الفولتية العالية للتيار المتردد فإنه يتطلب المزيد من العزل مما يعني صعوبة التعامل معه. إن مولدات التيار المتردد تولد تيارات عالية مما قد يؤدي إلى حدوث صدمات كهربائية وحرائق.

خصائص التيار المتردد

يتميز التيار الكهربائي المتردد بأنه الأكثر استخدامًا في نقل الطاقة الكهربائية مقارنة بالتيار المستمر المباشر؛ لأنه نسبة الطاقة المفقودة تكون منخفضة، ولأنه الأكثر شيوعًا فهو يتصف بعدة خصائص، وهي كالآتي: يستخدم لنقل الطاقة الكهربائية من أماكن توليدها إلى أماكن استهلاكها، ولمسافات بعيدة محافظًا على الطاقة الكهربائية. يتميز بأنه منخفض التكلفة؛ لتنوع توليده من توربينات أو مولدات الرياح، ومساقط المياه. يمكن تحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر من خلال التعديل على المولد الكهربائي، كما يمكن تحويله من وإلى جهود عالية بسهولة باستخدام المحولات الكهربائية. من أشهر أشكال التيار المتردد هي الموجة الجيبية والذي يستخدم في المنازل والمكاتب، والموجة المربعة التي تستخدم في الإلكترونيات، والموجة المثلثية التي تستخدم في مضخمات الصوت.

مكونات الدارة الكهربائية

هناك أربعة أجزاء رئيسية يجب أن تتوفر في أيّ دارة كهربائية مهما كانت بسيطة، وهي:

مصدر الطاقة) :بالإنجليزية (Power Source :

هو الجزء الذي يوفر الطاقة اللازمة لنقل الكهرباء عبر الدارة الكهربائية، ويتمّ اختياره اعتمادًا على متطلبات الجهد الكهربائي، ومثال عليه: البطارية، والمخارج الكهربائية.

الحِمل الكهربائي) :بالإنجليزية(Load :،

هو الجهاز الذي يستهلك الطاقة، وتمّ تصميم الدارة الكهربائية لتشغيله، كالمصباح الكهربائي البسيط.

أسلاك التوصيل) :بالإنجليزية(Wires :،

هي أسلاك تُصنع من النحاس أو الألومنيوم، وظيفتها نقل التيار الكهربائي بالكفاءة اللازمة، وتفقد أقل مقدار من الطاقة أثناء عملية النقل.

المفتاح الكهربائي:

هو الجهاز الذي يفتح ويغلق الدارة الكهربائية دون الحاجة إلى فصل الأسلاك عن أي مكوّن، وتسمى الدارة الكهربائية التي يكون فيها المفتاح الكهربائي مغلقاً، وجميع الأسلاك موصولة وقادرة على نقل الكهرباء في جميع الأجزاء (الدارة الكهربائية المغلقة)، أمّا (الدارة الكهربائية المفتوحة) هي الدارة التي يكون المفتاح فيها مفتوحاً، أو تكون الأسلاك غير موصولة معاً.

تُصنّف عناصر الدارة الكهربائية إلى فئتين، هما:

العناصر الفعّالة) :بالإنجليزية (Active Elements :

هي العناصرة القادرة على إيصال الطاقة للدارة الكهربائية عن طريق تحويل الطاقة من مصادر الطاقة غير الكهربائية إلى طاقة كهربائية، ومن الأمثلة عليها البطارية، إذ تحوّل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية، والخلية الشمسية التي تحوّل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية، بالإضافة إلى الترانستور، والصمام الثنائي.

العناصر غير الفعّالة (Passive Elements) :على عكس العناصر الفعالة، تستهلك هذه العناصر الطاقة الكهربائية عوضًا عن تزويد الدارة الكهربائية بها، ومن الأمثلة عليها: المقاومة الكهربائية، والمكثف، والمحث (الملف الكهربائي). البطارية

تمثل البطارية أحد المصادر الرئيسية التي تعتمد عليها الدارة الكهربائية كي تعمل، حيث تدفع الطاقة الكهربائية -التي تَنْتُج عن طريق تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة كهربائية- التيار ليتدفق عبر الدارة، ومن الجدير بالذكر أنّه من الممكن أن يتمّ توصيل بطاريات مختلفة على التوالي للحصول على المزيد من الجهد.

الأسلاك

تتمثل أهمية الأسلاك بأنّها تصل بين جميع مكونات الدارة الكهربائية، كما يتدفق التيار بسهولة عبرها حتى تعمل جميع عناصر الدارة الكهربائية، لذا يجب أن تُصنع هذه الأسلاك من موصلات كهربائية تتسم بمقاومتها المنخفضة للتيار الكهربائي، ويُعدّ كل من النحاس والألومنيوم من الموصلات الأكثر استخدامًا في

صناعة الأسلاك، بينما يتمّ استخدام الذهب غالبًا لربط الأسلاك مع الرقائق الإلكترونية الصغيرة؛ بسبب مقاومته الكبيرة للتآكل.

المقاومة

سُميت المُقاومة) بالإنجليزية (Resistor :بهذا الاسم؛ لأنّها تقاوم تدفق التيار؛ حيث إنّ بعض العناصر في الأجهزة الإلكترونية حساسة للغاية تجاه التيار الكهربائي، ويمكن أن تحترق فيما لو زاد تدفق التيار على نحو مفاجئ، هنا يأتي دور المقاوم، إذ يمنع المقاوم الزيادة في تدفق التيار، لذا تُعدّ المقاومة عنصراً أساسياً في الدارة الكهربائية، ومع المقاومة القليلة تسمح المعادن ذات الموصلية العالية والمقاومة المنخفضة كالفضة والنحاس تنقل الإلكترونات بحرية بين الذرات، ويعتمد عدد المقاومات اللازم وضعها في الدارة على حساب قيمة التيار المتدفق المُراد مقاومته، وكلما زادت المقاومة، زادت قدرة الدارة على مقاومة التيار.

تقاس المقاومة بوحدة الأوم) بالإنجليزية(Ohm :، نسبة إلى العالم الفيزيائي الألماني جورج سيمون أوم) بالإنجليزية(Georg Simon Ohm :، ويُعرّف الأوم بأنّه مقاومة دارة يتدفق فيها تيار بمقدار ١ أمبير عند فرق جهد مقداره ١ فولت، ويمكن حساب المقاومة الكهربائية باستخدام قانون أوم الذي ينص على أنّ المقاومة تساوي فرق الجهد مقسومًا على شدّة التيار.

المفتاح

المفتاح) بالإنجليزية (Switch :هو المكوّن الذي يتحكم بالسماح بتدفق التيار الكهربائي عن طريق فتح أو إغلاق الدارة الكهربائية من قِبل المُستخدِم، لذا يُعدّ وجوده في أيّ دارة كهربائية أساسيًا، ويكون في حالتين اثنتين، هما:

حالة الإيقاف) :بالإنجليزيةOff State : (يكون فيها المفتاح مفتوحًا، أي أنّه يشكّل فجوة في الدارة الكهربائية، بالتالي تُعدّ الدارة الكهربائية مفتوحة ما يمنع تدفق التيار الكهربائي خلالها.

حالة التشغيل) :بالإنجليزية (On State :في هذا الحالة يكون المفتاح مغلقًا فتصبح الدارة الكهربائية قادرة على العمل عن طريق السماح للتيار بالتدفق من خلالها دون أن يعيقه أي شيء.

هناك العديد من الأنواع للمفاتيح الكهربائية، كل نوع منها له مجموعة من الخصائص الفريدة من نوعها كي تميزه عن المفاتيح الأخرى، ويمكن اختيار المفتاح بناءً على عدد من الخصائص، منها، ما هو الإجراء المطلوب لتفعيل المفتاح، أو عدد الدارات الكهربائية التي يمكن أن يتحكم فيها المفتاح، ومن الأمثلة على أنواع المفاتيح الكهربائية ما يأتي:

- **مبدل التردد أو مفتاح الفصل الكهربائي) بالإنجليزية Toggle : Switch).**
- **المفتاح الدوّار) بالإنجليزية .(Rotary Switch :مفتاح المبدل المزدوج)بالإنجليزية.(DIP Switch :**
- **مفتاح بزِر ضاغط) بالإنجليزية.(Push-Button Switch :**
- **المفتاح الردّاد) بالإنجليزية.(Rocker Switch :**

المُكثّف الكهربائي المُكثّف أو المواسع الكهربائي) بالإنجليزية (Capacitor : هو المكون الثاني الأكثر استخدامًا في تصميم الدارات الكهربائية، ويشبه في آلية عمله البطارية، ويُستخدم لتخزين الشحنة الكهربائية، ويتكون من لوحين مسطحين موصلين تفصل بينهما فجوة صغيرة، ويتناسب فرق الجهد بين

اللوحين طردياً مع اختلاف كمية الشحنة عليهما، وتُقاس سعة المُكثّف بالميكروفاراد"µF" ، ويمكن التعبير عن ذلك بالمعادلة رياضية كالآتي:

ش = س × جـ ش: مقدارالشحنة الكهربائية س: السعة الكهربائية جـ: فرق الجهد بين اللوحين تتواجد المُكثّفات في أغلب الأحيان في الدارات الكهربائية الفعالة التي تستخدم إشارات كهربائية متذبذبة، كالموجودة في أجهزة الراديو والصوت، وفي الدارات الكهربائية التي تمّ تصميمها بطريقة لا تسمح لها بالحصول على الطاقة مباشرة من مصدر التيار المستمر، بل يشحن مصدر التيار المستمر المُكثّف، ثمّ تُستخدَم الطاقة المخزنة فيه بشكل أساسي، وتتواجد المُكثّفات بعدة أشكال، من أشهرها: المُكثّف الخزفي القرصي، والمكثف الكهرلي.

المِحث

المِحث أو الملف الكهربائي) بالإنجليزية (Inductor :عبارة عن لفافة من سلك تستخدم في العديد من الدارات الكهربائية، ويخزن مجاله المغناطيسي الطاقة الناتجة عن تدفق التيار الكهربائي خلاله، ومن الجدير بالذكر أنّه لا يسمح إلّا للتيار المباشر (DC) بالمرور خلاله بينما يمنع التيار المتردد (AC) من المرور، ويستخدم في المرشحات لفصل الإشارات ذات الترددات المختلفة، لذا غالبًا ما يُستخدَم في الدارات الفعّالة التي تسمح للذبذبات ذات الترددات المنخفضة بالمرور، بينما تحجب الإشارات ذات الترددات العالية، كما أنّ دمج محثين في نفس الدارة يؤدي إلى ترشيح أو توليد ذبذبات بأيّ تردد مطلوب، ومن الملاحظ هنا، أنّ طريقة عمل المِحث هي عكس طريقة عمل المُكثف، وتُقاس المحاثات بوحدة هنري (H) نسبة إلى العالم الفيزيائي الأمريكي جوزيف هنري)بالإنجليزية(Joseph Henry :، وهي عبارة عن مقدار الحث اللازم لتوليد

فرق جهد قيمته ١ فولت من القوة الدافعة الكهربائية عند تغيّر مرور ١ أمبير من التيار لكل ثانية.

الصمام الثنائي الصمّام الثنائي أو الديود) بالإنجليزية (Diode :هو جهاز يتكون من مصعد (Anode) ومهبط (Cathode) يسمح بمرور التيار في اتجاه واحد فقط، بشرط أن يكون طرف الجهد الموجب على المصعد، والجهد السالب على المهبط، مثال ذلك الصمام الثنائي المشع للضوء (LED) الذي يعمل فقط حين يمر التيار الكهربائي عبره، ويتمّ توصيله بالدارة الكهربائية على التوالي، ويستخدم بشكل رئيسي للتأكد من أن ّالدارة تعمل بشكل صحيح من خلال الضوء المنبعث منه، ويرمز للصمام الثنائي بمثلث وخط يخرج من أحد رؤوسه.

الترانزستور الترانزستور أو المقحل) بالإنجليزية (Transistor :هو جهاز وظيفته تنظيم تدفق التيار أو الجهد، ويُستخدم بشكل رئيسي في تبديل أو تضخيم الإشارات الإلكترونية، ويتكون من ثلاثة عناصر هي: الباعث، والقاعدة، والمُجمِّع، ويعمل حين يمر جهد مقداره ٠.٧ فولت بين القاعدة والباعث، كما أنّ مرور مقدار قليل من التيار على قاعدته يجعله قادرًا على التحكم بكمية كبيرة من التيار على كل من الباعث والمُجمِّع، وتستخدم هذه الخاصية بهدف التضخيم، أي تحويل إشارة ذات طاقة قليلة إلى إشارة مماثلة ذات طاقة أعلى دون التغيير من خصائصها، وتُصنّف الترانزستورات إلى نوعين، هما:

- **ترانزسور ثنائي القطب(BJT) ، ويُصنّف إلى NPN :أو طبقة سالبة ـ طبقة موجبة ـ طبقة سالبة PNP .أو طبقة موجبة ـ طبقة سالبة ـ طبقة موجبة.**
- **ترانزستور الأثر الحقلي للأكاسيد المعدنية لأشباه الموصلات (MOSFET). تُصنّع الترانزستورات من حزمة تتكون من ثلاث طبقات**

من مواد شبه موصلة، وتحتوي بعض الطبقات على إلكترونات إضافية، وتسمى هذه العملية التطعيم أو الإشابة) بالإنجليزية(Doping :، بينما تتمّ إزالة الإلكترونات في بعض الطبقات الأخرى مُخلّفةً ثقوباً مكانها، وتسمى المواد شبه الموصلة التي تحتوي على إلكترونات إضافية مشحونة بشحنة سالبة بالنوع (س)، بينما تسمى المواد التي تمّت إزالة الإلكترونات منها بالنوع (م) نسبة إلى شحنتها الموجبة، فتُصنع عن طريق تجميع طبقة من النوع (م) فوق طبقة من النوع (س) فوق طبقة من النوع (م)، أو طبقة من النوع (س) فوق طبقة من النوع (م) فوق طبقة من النوع (س).

المحول) بالإنجليزية (Transformer :

هو جهاز ينقل الطاقة الكهربائية من الدارة ذات التيار المتردد إلى دارة أخرى أو أكثر، وذلك عن طريق زيادة أو تقليل الجهد، وتستخدم المحولات في تقليل جهد الدارات الكهربائية التقليدية لتشغيل أجهزة الجهد المنخفض، مثل: أجراس الأبواب، ولعبة القطار الكهربائي، كما تستخدم في زيادة جهد المولدات الكهربائية؛ بهدف توصيل الطاقة الكهربائية لأكبر مساحة ممكنة.

قاطع التيار الكهربائي القاطع الكهربائي) بالإنجليزية (Circuit Breaker :
مفتاح كهربائي يعمل تلقائياً يحمي الدارات الكهربائية من التلف الناتج عن التيار الزائد، ويُعدّ القاطع ضرويًا للغاية، ولا يكاد يخلو أي منزل منه؛ من أجل سلامة أفراده من مخاطر الكهرباء، فبمجرد تدفق تيار كهربائي أكثر من اللازم عبر أحد الأسلاك الكهربائية فإنّه يقطع الطاقة الكهربائية في المكان، بالتالي تبقى الطاقة الكهربائية مقطوعة حتى يصلح الشخص المسؤول المشكلة، وعليه يرتبط وجود الطاقة الكهربائية في أي مكان بوجود القاطع

الكهربائي؛ تجنبًا لحدوث الحرائق أو تعطل الأجهزة، وغيرها من المخاطر التي يمكن أن تسببها مشكلة بسيطة في الأسلاك. هناك أنواع للقواطع الكهربائية، هي:

- **القواطع المغناطيسية: تستجيب هذه القواطع بشكل أسرع للتيارات الكهربائية الزائدة الكبيرة وذات المدة الزمنية القصيرة.**
- **القواطع الحرارية: تستجيب هذه القواطع بشكل أسرع للتيارات الكهربائية الزائدة الصغيرة ذات المدة الزمنية الطويلة.**
- **القواطع المغناطيسية الحرارية: تجمع بين ميزة كل من القواطع المغناطيسية والحرارية معًا، إذ يستجيب للتيارات المفاجئة، والممتدة لفترات زمنية طويلة.**

يختلف تصميم القواطع الكهربائية، لكن هناك بعض السمات الأساسية التي يجب أن تتواجد في معظمها، وهي:

- **يجب أن يكون القاطع موصولاً على التوالي مع سلك أو سلكين في النظام الكهربائي الخاص في المنازل.**
- **يجب أن يكون هناك مكان لكل سلك يدخل علبة القاطع الكهربائي، ومكان لكل سلك يخرج منها.**
- **يجب أن يكون داخل علبة القاطع جزء من الموصل لإكمال الدارة، وعادة ما يبقيه نابض في مكانه.**

<u>الفاصمة الكهربائية</u> أو الفيوز الفاصمة أو الفيوز الكهربائي) بالإنجليزية : (Fuse هو جهاز مصنوع من شرائط رفيعة أو حبال مجدولة من المعدن كالألومنيوم، أو النحاس، أو الزنك، ويكون دائماً موصول على التوالي، ويستخدم بهدف حماية الأجهزة الكهربائية كالتلفاز، والثلاجة، الحواسيب من التلف الذي

قد يسببه الجهد العالي لهذه الأجهزة، فعند تدفق تيار كهرائي زائد في الدارة الكهربائية فإنّه يذوب ما يؤدي إلى فصل الدارة الكهربائية، بالتالي فإنّه يعمل مثل القاطع الكهربائي، وإذا لم يتمّ استخدام الفيوزات في الأجهزة قد تؤدي الأخطاء الإلكترونية إلى حرق الأسلاك والأجهزة الكهربائية، مما قد يؤدي إلى حدوث حرائق داخل المنازل.

الدارة الكهربائية

تعرّف الدارة الكهربائية على أنّها المسار الذي ينتقل فيه التيار الكهربائي، وتشمل: أسلاك التوصيل أو خطوط نقل الكهرباء، والأجهزة التي تولد الطاقة الكهربائية للجسيمات المشحونة المكونة التيار الكهربائي، كالبطارية أو المولد الكهربائي، والأجهزة التي تستهلك التيار الكهربائي، مثل: المصابيح أو المحركات الكهربائية، والحواسيب، ويستخدم قانوني أوم وكيرتشوف لشرح آلية عمل الدارة الكهربائية.

أنواع الدارات الكهربائية تصنف الدارات الكهربائية كالآتي:

وفقاً للتيار الكهربائي:

- **دارة التيار المباشر: يتدفق التيار في هذا النوع باتجاه واحد فقط.**
- **دارة التيار المتردد: يتذبذب التيار ذهاباً وإياباً بشكل متكرر كل ثانية، ومن الأمثلة عليها الدارات الموجودة في المنازل.**

وفقاً للتوصيل:

- **الدارة الموصولة على التوالي: يتدفق التيار كاملاً في مسار واحد في جميع عناصر الدارة.**

- **الدارة الموصولة على التوازي: ينفصل التيار ويمر في عدة فروع لكي يتدفق في جميع عناصر الدارة، مما يجعل قيمته تنقسم وتتغير حسب التفرع والعناصر الموجودة فيه، بينما يكون الجهد المار في كل فرع نفس المقدار.**

المكثفات (capacitors)

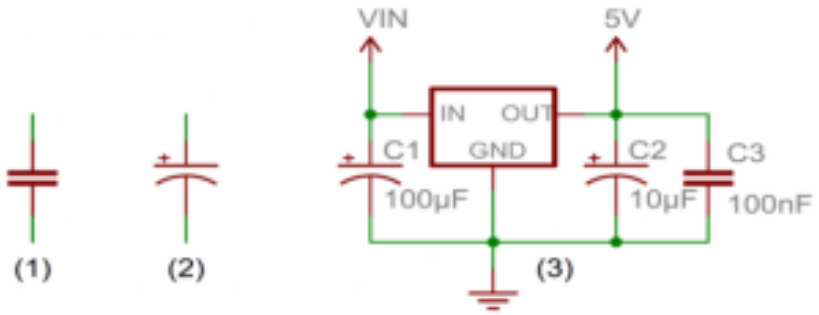
المكثف هو مكون كهربي ذو طرفين، يشكل مع المقاومات (resistors) وملفات الحث (inductors) أحد أهم المكونات الغير فعالة (passive) الأساسية التي نستخدمها. ومن الصعب أن تجد دائرة كهربية تخلو من أي نوع من أنواع المكثفات.

ما يميز المكثفات هو قدرتها على تخزين الطاقة، فهي تشبه بطارية مشحونة بشكل كامل. للمكثفات الكثير من الوظائف الهامة والحيوية في الدوائر الكهربية، ومن التطبيقات الشائعة لها التخزين الموضعي للطاقة، ومنع زيادات الجهد، وفلترة الإشارات المعقدة.

الرموز (symbols) والوحدات(units)

الرموز في الدوائر الكهربية

هناك طريقتان شائعتان لتمثيل المكثفات في الدوائر الكهربية. للمكثفات دائماً طرفان يتم توصيلها من خلالهما بباقي الدائرة. يتكون رمز المكثفات من خطين متوازيين يكونان إما مستقيمين أو منحنيين؛ الخطان يجب أن يكون متوازيان ومتقاربان ولكن بدون تلامس (هذا الرمز يوضح بالفعل طريقة صناعة المكثفات)، يسهل تفسير تركيب المكثفات ولكن رمزها في الدائرة يسهل ذلك:



(١) و (٢) هي الرموز القياسية للمكثفات في الدوائر. (٣) مثال على رموز المكثفات في دائرة منظم الجهد (voltage regulator)

الرمز ذو الخط المنحني (رقم ٢ في الشكل السابق) يدل على أن المكثف مستقطب (polarized) مما يعني أنه من الممكن أن يكون مكثف إلكتروليتي (electrolytic)، وسنعرف المزيد عن ذلك في الجزء الخاص بأنواع المكثفات. يجب أن يصحب كل مكثف اسم خاص به (مثل C1 أو C2...الخ) وقيمة، تلك القيمة تحدد السعة الكهربية للمكثف؛ أي عدد الفارادات التي يحتويها.

وحدات السعة الكهربية

تختلف السعة الكهربية من مكثف لآخر، فكل مكثف يتم تصنيعه لتكون له قيمه معينة للسعة. تدل السعة الكهربية على مدى الشحنة التي يستطيع المكثف تخزينها، وزيادة السعة يعني زيادة قدرة المكثف على تخزين الشحنة. الوحدة القياسية للسعة الكهربية هي الفاراد (farad) اختصارها F.

يجب الإشارة إلى أن الفاراد الواحد يمثل كمية سعة كهربية كبيرة، بل حتى مكثف بسعة F٠.٠٠١ (١ميلي فاراد) يكون مكثف كبير السعة. غالباً تجد مكثفات مقاسة في مدى البيكو فاراد 10) (picofarad)-F١٢) إلى ميكرو فاراد (F٦-microfarad) (10).

البادئة	الاختصار	القوة	القيمة بالفاراد
Picofarad بيكو فاراد	pF	١٠-١٢	٠.٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠١ **F**
Nanofarad نانو فاراد	nF	١٠-٩	**F** ٠.٠٠٠٠٠٠٠٠١
Microfarad ميكرو فاراد	µF	١٠-٦	**F** ٠.٠٠٠٠٠١
Milifarad ميلي فاراد	mF	١٠-٣	**F** ٠.٠٠١
Kilofarad كيلو فاراد	kF	١٠٣	**F** ١٠٠٠

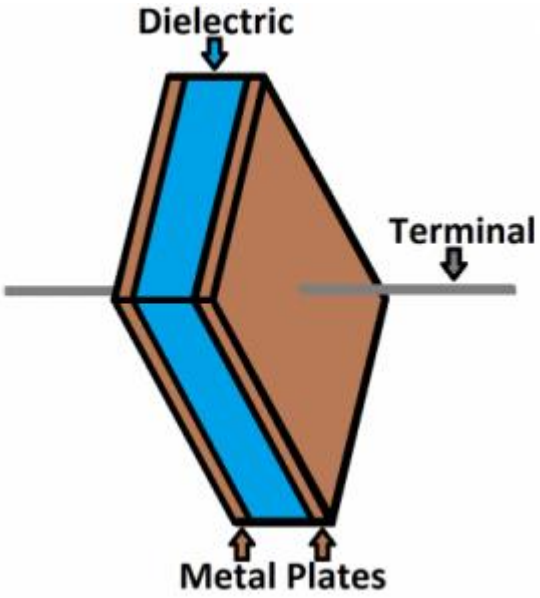
أما عندما نتحدث عن مكثفات ذات سعة في مدى ١ فاراد إلى كيلو فاراد فإننا نتحدث عن نوع خاص من المكثفات يسمى المكثفات السوبر أو المكثفات الفائقة (super or ultra-capacitors).

نظرية عمل المكثف

لاحظ أن المعلومات الواردة في هذا الجزء ليست ضرورية الفهم للغاية لمبتدئي الإلكترونيات، وتصبح معقدة إلى حد ما نحو النهاية. لذلك نوصي بقراءة الجزء المتعلق بكيفية عمل المكتفات، أما الباقي فيمكن تجاوزه إذا استشعرت صعوبة في فهمه.

كيف يُصنع المكثف

الرمز المستخدم لتمثيل المكثف في الدوائر الكهربية يوضح بشكل فعلي كيفية صناعة المكثفات، فالمكثف يُصنع من لوحين معدنيين ومادة عازلة تسمى العازل الكهربائي (dielectric). يتم وضع اللوحين المعدنيين قريبين للغاية من بعضهما وبشكل متوازي، بينما يتم وضع العازل الكهربائي بينهما للتأكد من عدم تلامسهما.



شطيرة المكثف القياسي: لوحان معدنيان يفصل بينهما عازل كهربائي ليعزلهما عن بعضهم البعض.

يمكن أن يصنع العازل الكهربائي من أنواع مختلفة من المواد العازلة: الورق، الزجاج، السيراميك، البلاستيك، أو أي مادة أخرى يمكن أن تعيق مرور التيار. يتم تصنيع الألواح من مواد موصلة: الألومنيوم، التنتاليوم، الفضة أو مواد أخرى. ويتم توصيل كلا اللوحين بسلك طرفي وظيفته توصيلهما بباقي الدائرة. تعتمد السعة الكهربية للمكثف (عدد الفارادات التي يحتويها) على كيفية بناؤه، وكلما زاد حجم المكثف زادت سعته. كلما زادت مساحة سطح اللوحين زادت السعة بينما زيادة المسافة الفاصلة بينهما يؤدي لنقص السعة. المادة المصنوع

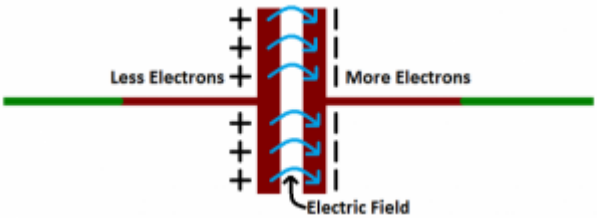
منه العازل أيضاً لها تأثير على سعة المكثف. ويمكن حساب السعة الكلية للمكثف من خلال المعادلة:

$$C = \varepsilon_r \frac{A}{4\pi d}$$

حيث ε_r هي ثابت العزل النسبي (relative permittivity) للعازل الكهربائي (قيمة ثابتة تعتمد على المادة المصنوع منه العازل)، A هي مساحة سطح الألواح، أما d فهي المسافة الفاصلة بين اللوحين.

كيف يعمل المكثف

عرفنا مسبقاً أن التيار الكهربي هو سريان الشحنات الكهربية، وهو ما تعتمد عليه المكونات الكهربية لكي تضيء، تدور أو تفعل أي شيء آخر. عندما يسري التيار خلال مكثف فإن الشحنات تصبح "عالقة" على اللوحين لأنها لا يمكنها المرور خلال العازل الكهربائي. تعلق الإلكترونات (سالبة الشحنة) على أحد اللوحين وتجعله سالب الشحنة. تدفع الكمية الكبيرة من الشحنات السالبة على أحد اللوحين الشحنات المماثلة (السالبة) بعيداً عن اللوح الآخر، مما يجعله موجب الشحنة.



تتجاذب الشحنات الموجبة والسالبة الموجودة على اللوحين معاً (لأن الشحنات المختلفة تتجاذب)، وتميل تلك الشحنات لأن تتلامس إلا أن وجود العازل الكهربائي بين اللوحين يجعل الشحنات عالقة على اللوحين دائماً (حتى تجد مكاناً

آخر تذهب خلاله). الشحنات الساكنة على كلا اللوحين تخلق مجال كهربي (electric field) يؤثر على طاقة الكمون الكهربي (electric potential energy) وعلى الجهد (voltage). عندما تتجمع الشحنات معاً على المكثف بهذا الشكل يقوم المكثف بتخزين الطاقة الكهربية بالضبط كما تقوم البطارية بتخزين الطاقة الكيميائية.

الشحن والتفريغ (charging and discharging)

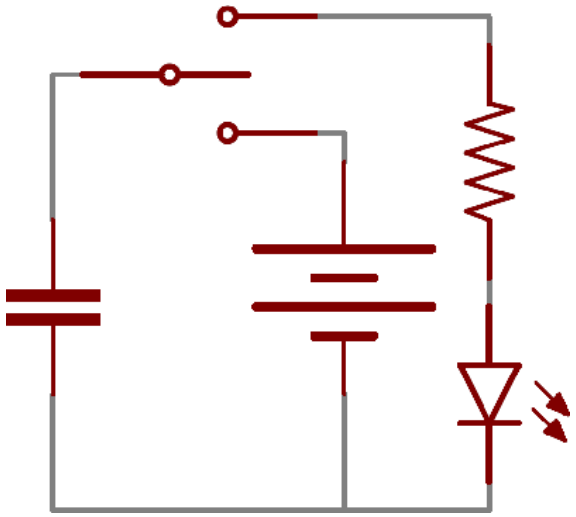
عندما تجتمع الشحنات الموجبة والشحنات السالبة على كل من لوحي المكثف يقال عن المكثف أنه مشحون. يستطيع المكثف إبقاء المجال الكهربي (إبقاء شحنته) لأن الشحنات الموجبة والسالبة على كل من اللوحين تتجاذب معاً ولكن لا يتصلان معاً أبداً.

عند لحظة معينة يصبح لوحا المكثف مشبعين بالشحنات بشكل كامل ولا يمكنهما استقبال المزيد من الشحنات، فعلى اللوح السالب يكون هناك قدر كافي من الشحنات السالبة يمنع (عن طريق التنافر) أي شحنة أخرى من التواجد على اللوح. هنا تأتي أهمية السعة الكهربية للمكثف؛ فهي التي تخبرنا عن أقصى كمية من الشحنة يمكن للمكثف أن يختزنها.

إذا تم إنشاء مسار في الدائرة الإلكترونية (يسمح للشحنات بأن تسري بمسار آخر تجاه بعضها البعض) فعندها ستغادر المكثف، ويحدث التفريغ (discharge).

على سبيل المثال: في الدائرة التالية نجد بطارية يتم استخدامها لتطبيق فرق جهد خلال المكثف. هذا يؤدي إلى إنشاء شحنتين على كلا اللوحين لهما نفس القيمة ولكن نوعهما مختلف (شحنة موجبة والأخرى سالبة) حتى يصبح كلا اللوحين ممتلئاً لدرجة تمنع سريان المزيد من التيار خلال الدائرة. يتم وضع ديود

باعث للضوء (LED) على التوالي مع المكثف ليمثل مساراً بديلاً للتيار، ويمكن استخدام الطاقة المختزنة في المكثف لإضاءة الديود الباعث للضوء.



حساب الشحنة، والجهد والتيار

تخبرنا السعة الكهربية للمكثف (عدد الفارادات التي يمتلكها) عن حجم الشحنة التي يمكنه تخزينها. أما كمية الشحنة التي يختزنها المكثف لحظياً فتعتمد على فرق الجهد بين اللوحين. هذه العلاقة بين الشحنة والسعة والجهد يمكن تمثيلها بالمعادلة الآتية:

$$Q = CV$$

الشحنة (Q) المختزنة في المكثف هي حاصل ضرب السعة الخاصة به (C) وفرق الجهد المطبق عليه (V)

يجب أن تكون سعة المكثف قيمة ثابتة ومعروفة دائماً، لذلك يمكننا أن نضبط الجهد لزيادة أو تقليل شحنة المكثف؛ زيادة الجهد يعني شحنة أكبر، وتقليل الجهد يعني شحنة أقل.

المعادلة السابقة تعطينا أيضاً طريقة جيدة لتعريف الفاراد:

الفاراد (F) هو السعة اللازمة لتخزين وحدة من الطاقة (كولوم coulomb) لكل تغير في الجهد قيمته واحد فولت.

حساب التيار

يمكننا استخدام المعادلة السابقة التي تربط بين الشحنة، الجهد، والسعة لمعرفة كيفية تأثير السعة والجهد على التيار، لأن التيار هو في الأساس معدل سريان الشحنة. خلاصة العلاقة بين الجهد والتيار والمكثف هي: كمية التيار الساري خلال مكثف تعتمد على كل من السعة الكهربية وسرعة ارتفاع أو انخفاض الجهد.

إذا ارتفع الجهد بسرعة بين طرفي المكثف ينشأ عن ذلك تيار موجب عالي القيمة خلاله، بينما إذا ارتفع الجهد بين طرفي المكثف بشكل أبطأ فإن ذلك يؤدي إلى نشوء تيار أقل خلاله. أما إذا كان الجهد بين طرفي المكثف ثابت ولا يتغير فلن يسري أي تيار خلاله.

المعادلة المستخدمة لحساب التيار المار خلال الموصل هي:

$$i = C\frac{dv}{dt}$$

الجزء (dV/dt) هو عبارة عن مشتقة الجهد بالنسبة للزمن (أو بطريقة أبسط: المعدل اللحظي)، وهو يدل على السرعة التي يرتفع أو ينخفض بها الجهد خلال لحظة ما بالضبط. أهم نقطة نستنتجها من هذه المعادلة أنه لو كان الجهد ثابت فإن قيمة المشتقة تصبح صفر، وهذا يعني أن التيار أيضاً تصبح قيمته صفر. لهذا لا يسري تيار خلال مكثف يمر بين طرفيه جهد مستمر (steady DC voltage) ثابت لا يتغير.

أنواع المكثفات

هناك أنواع عديدة ومتنوعة من المكثفات، ولكل منها مميزاته وعيوبه التي تجعله مناسباً لبعض الاستخدامات وغير مناسب للبعض الآخر. عندما نريد تصنيف أنواع المكثفات فهناك العديد من الأوجه التي يمكن التصنيف تبعاً لها:

- **الحجم**

من الناحية الشكلية وكذلك حجم السعة الكهربية للمكثف. من المعتاد أن يكون المكثف أكبر مُكون من مكونات الدائرة، ومن الممكن أيضاً أن يكون ضئيلاً جداً. كلما زادت السعة الكهربية للمكثف زاد حجمه.

- **الجهد الأقصى**

لكل مكثف قيمة معينة لأقصى فرق جهد يمكن أن يتحمله؛ بعض المكثفات يكون الجهد الأقصى لها ١.٥V، وبعضها يمكن أن يصل جهدها الأقصى لـ١٠٠V . إذا زاد فرق الجهد بين طرفي المكثف عن الجهد الأقصى له فإن ذلك يؤدي إلى تلفه.

- **تيار التسرب (leakage current)**

المكثفات ليست مثالية؛ جميع المكثفات تقوم بتسريب كمية ضئيلة من التيار خلال العازل الكهربائي من أحد طرفي الموصل إلى الطرف الآخر. هذا التيار الضئيل جداً (يقاس بالنانو أمبير) يطلق عليه تيار التسرب. يتسبب هذا التيار في استنفاذ الطاقة المخزنة خلال المكثف بشكل بطيء.

- **مقاومة التوالي المكافئة (المقاومة الداخلية) (equivalent series resistance (ESR))**

طرفا المكثف ليسا موصلين للكهرباء بدرجة ١٠٠%، ولا بد أن يكون لهما كمية ضئيلة من المقاومة الكهربية (عادة أقل من ٠.٠١Ω)، هذه المقاومة

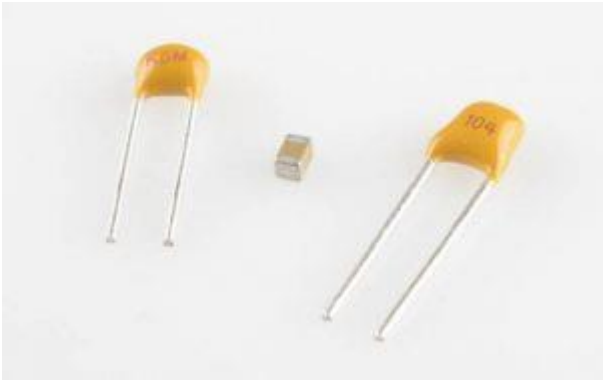
تصبح مشكلة عندما تسري كمية كبيرة من التيار خلال المكثف، مما ينتج عنه ارتفاع في الحرارة وفقدان الطاقة.

- **التفاوت (tolerance)**

عند صناعة المكثفات لا تكون قيمة السعة الكهربية لها دقيقة بشكل تام؛ فكل مكثف له سعة اسمية (افتراضية) (nominal capacitance)، بينما القيمة الفعلية للسعة تختلف تبعاً لنوع المكثف بنسبة تتراوح بين ±١% إلى ±٢٠٠% من القيمة الاسمية.

المكثفات الخزفية (ceramic capacitors)

أكثر أنواع المكثفات إنتاجاً واستخداماً هي المكثفات الخزفية، واسمها مشتق من المادة التي يتم يُصنع منها العازل الكهربائي المستخدم بها. المكثفات الخزفية غالباً ما تكون صغيرة الحجم والسعة، فمن الصعب أن تجد مكثف خزفي له سعة أكبر بكثير من ١٠μF. عادة ما تأتي المكثفات الخزفية السطحية (surface-mount) في حزم ضئيلة مثل ٠٤٠٢ (0.4mm x 0.2mm), 0603 (0.6mm x 0.3mm)أو ٠٨٠٥. أما المكثفات الخزفية المثبتة عبر الثقوب (through-hole) فهي عادة ما تشبه مصابيح ضئيلة (عادة صفراء أو حمراء) مع طرفين بارزين.



مكثفان من النوع المثبت عبر الثقوب، المكثف على اليسار بسعة pF٢٢، وعلى اليمين بسعة µF٠.١، وفي المنتصف مكثف سطحي صغير (٠٦٠٣) سعته µF٠.١

عند مقارنتها بنظرائها من المكثفات الإلكتروليتية نجد أن المكثفات الخزفية أقرب للمثالية (مقاومة التوالي المكافئة لها أقل بكثير وكذلك تيار التسريب)، ولكن السعة الكهربية لها ضئيلة. عادة ما يكون سعر المكثفات الخزفية أقل من المكثفات الأخرى، وهي مناسبة للاستخدام في تطبيقات الربط (coupling) والفصل (التسريب) (decoupling) عالية الجهد.

مكثفات الألومنيوم والتانتاليوم الإلكتروليتية (Aluminum and Tantalum Electrolytic)

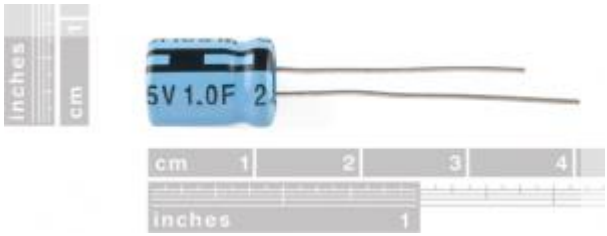
المكثفات الإلكتروليتية تمتاز بأنها تحمل قيم عالية من السعة الكهربية وبحجمها الصغير نسبياً. إذا كنت بحاجة لمكثف ذي سعة في مدى بين ١ ميكرو فاراد و ١ ميلي فاراد فغالباً ستجد غايتك في مكثف إلكتروليتي. هذه المكثفات مناسبة جداً للاستخدام في التطبيقات ذات الجهد العالي نظراً لأن لها قيم جهد أقصى عالية. مكثفات الألومنيوم الإلكتروليتية (أكثر أنواع المكثفات الإلكتروليتية شعبية واستخدام) تشبه غالباً علب صفيح صغيرة، مع سلكين يبرزان من أسفلها.

مجموعة من المكثفات الإلكتروليتية السطحية والمثبتة عبر الثقوب. لاحظ أن لكل منها طريقة لتمييز المهبط (الطرف السالب).

لسوء الحظ عادة ما تكون المكثفات الإلكتروليتية مستقطبة (polarized)، أي أن لها طرف موجب (المصعد) (anode) وطرف سالب (المهبط) (cathode). عندما يتم تطبيق جهد على مكثف إلكتروليتي لا بد أن يكون جهد المصعد أكبر من جهد المهبط. عادة ما يتم تمييز المهبط الخاص بالمكثف الإلكتروليتي بعلامة سالب (-) وشريط ملون على الغلاف، ومن الممكن أن يكون طرف المصعد أطول بقليل من طرف المهبط.
إذا تم تطبيق الجهد على مكثف إلكتروليتي بشكل معكوس فإنه يتلف بشكل دائم (يحدث فرقعة وينفجر)، وبعد أن ينفجر يسلك سلوك دائرة قصر (short circuit).
هذه المكثفات أيضاً سيئة السمعة بالنسبة للتسريب – فهي تسمح بمرور كميات صغيرة من التيار (تقاس بالنانو أمبير) خلال العازل الكهربائي من أحد الطرفين إلى الطرف الآخر، مما يجعلها غير مثالية لتخزين الطاقة، وهذا شيء سيء بالنظر إلى سعتها وجهدها الأقصى المرتفعان.

المكثفات الفائقة (Supercapacitors)

إذا كنت تبحث عن مكثف لتخزين الطاقة فلن تجد أفض من المكثفات الفائقة، هذه المكثفات مُصممة بشكل فريد ليكون لها سعة عالية جداً تقع في مدى يقاس بالفاراد.



مكثف فائق سعته F١. سعته عالية ولكن قيمة جهدة الأقصى V٢.٥ فقط. لاحظ أنه مستقطب أيضاً.

بالرغم من أنه يمكن تخزين كمية عالية من الشحنة في المكثفات الفائقة إلا أنها لا يمكن استخدامها مع الجهود العالية. فهذا المكثف الفائق بسعة F١٠ يمكنه تحمل V٢.٥ فقط بحد أقصى، وأي قيمة أكبر من ذلك تسبب تلفه. غالباً ما يتم توصيل المكثفات الفائقة على التوالي لتتحمل قيم جهد أعلى (ولكن ذلك يقلل السعة الكلية).
الاستخدام الأساسي للمكثفات الفائقة هو تخزين وإطلاق (تفريغ) الطاقة (مثل البطاريات)، وهذا هو ما ميزها. بينما لا يمكن للمكثفات الفائقة تخزين الطاقة بنفس القدر الخاص بالبطاريات المماثلة لها في الحجم، إلا أنها أسرع بكثير في تفريغ الطاقة، كما أن لها عمر افتراضي أطول بكثير.

أنواع أخرى

تغطي المكثفات الخزفية والإلكتروليتية حوالي ٨٠% من إجمالي أنواع المكثفات الموجودة، بينما تغطي المكثفات الفائقة حوالي ٢% فقط. أحد أنواع المكثفات الشائعة أيضاً هو المكثف الفيلمي (film capacitor) والذي يتميز بفقد جانبي قليل للطاقة (له مقاومة داخلية أقل) مما يجعله مثالياً للعمل على التيارات العالية جداً.
هناك الكثير من المكثفات الأقل انتشاراً؛ المكثفات المتغيرة (variable capacitors) يمكنها أن تنتج مدى من السعات المختلفة، مما يجعلها بديلاً جيداً

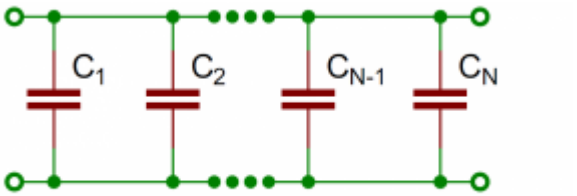
للمقاومات المتغيرة في دوائر التوليف (tuning circuits). الأسلاك الملفوفة أو ألواح الدوائر المطبوعة يمكن أن تخلق سعة أيضاً (أحياناً يكون ذلك غير مرغوب به) لأن كل منها يتكون من موصلين يفصل بينهما عازل. قوارير ليدين (leyden jars) هي قوارير زجاجية مملوءة ومحاطة بمادة موصلة وهي نوع من أنواع الموصلات.

توصيل المكثفات على التوالي (series) وعلى التوازي (parallel)

تماماً مثل المقاومات يمكن توصيل المكثفات على التوالي أو على التوازي للحصول على سعة كلية مكافئة، لكن المكثفات تسلك عند توصيلها سلوك معاكس تماماً للمقاومات.

توصيل المكثفات على التوازي

عندما يتم توصيل مجموعة من المكثفات مع بعضها البعض على التوازي تعطي سعة كلية تساوي مجموع حاصل سعات تلك المكثفات. هذا يشبه طريقة حساب المقاومة الكلية عند توصيل المقاومات على التوالي.



$$C_{Tot} = C_1 + C_2 + \ldots + C_{N-1} + C_N$$

لذلك على سبيل المثال إذا كان لديك ثلاثة مكثفات قيمتها ١٠ µF، ١ µF، ٠.١ µF موصلة على التوازي فإن قيمة السعة الكلية تكون ١١.١ µF (١٠+١+٠.١).

توصيل المكثفات على التوالي

تماماً مثل توصيل المقاومات على التوازي، عندما يتم توصيل مجموعة من المكثفات معاً على التوالي تكون السعة الكلية لهم مساوية لمقلوب حاصل جمع مقلوب سعة كل مكثف.

$$\frac{1}{C_{Tot}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \ldots + \frac{1}{C_{N-1}} + \frac{1}{C_N}$$

إذا كان لديك مكثفان فقط موصلان على التوالي، فيمكنك استخدام طريقة "الضرب على الجمع" لحساب السعة الكلية المكافئة:

$$C_{Tot} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

من المعادلة السابقة: لو كان لديك مكثفان لهما نفس القيمة موصلان معاً على التوالي فإن قيمة السعة الكلية المكافئة لهما تساوي نصف قيمة أي منهما. على سبيل المثال عند توصيل مكثفين فائقين سعة كل منهما F١٠ على التوالي ينتج لدينا سعة كلية مكافئة قيمتها F٥ (ذلك له فائدة أيضاً تتمثل في مضاعفة قيمة الجهد الأقصى للمكثف الناتج من V٢.٥ إلى V٥).

أمثلة تطبيقية

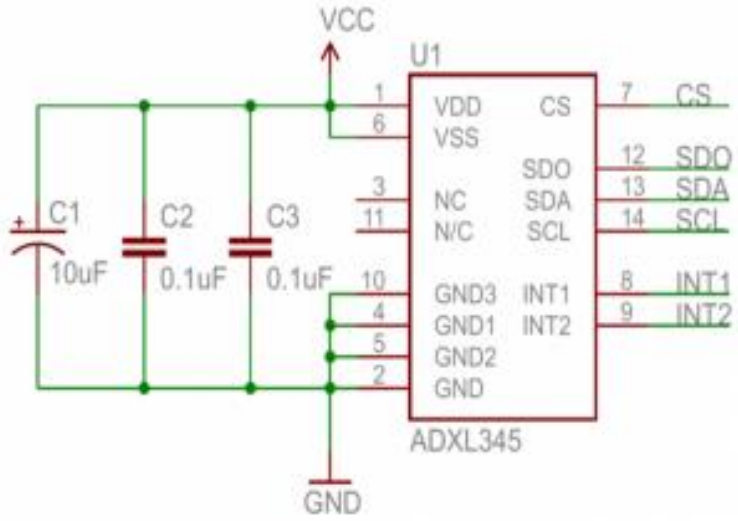
توجد العديد من التطبيقات لتلك المكونات البسيطة الغير فعالة، ولإعطائك فكرة عن استخداماتها التي لا يمكن حصرها، إليك تلك الأمثلة:

- **مكثفات الفصل (التسريب) (التجاوز) (decoupling (bypass) capacitors)**

الكثير من المكثفات التي تراها في الدوائر الكهربية (خاصة تلك التي تميز الدوائر المتكاملة) هي مكثفات فصل (تجاوز). وظيفة مكثف الفصل هي قمع الضوضاء (التداخلات) الناتجة عن ارتفاع الجهد في تيار مزود الطاقة، حيث يقوم بالقضاء على تغيرات الجهد (التي يمكن أن تشكل خطورة على الدوائر المتكاملة الحساسة) الآتية من مزود الطاقة.

بطريقة ما يمكن اعتبار مكثفات الفصل كمزود طاقة موضعي صغير بالنسبة للدوائر المتكاملة (مثل مزود الطاقة اللامنقطعة (uninterruptable power supply) بالنسبة للحواسيب). عند حدوث انخفاضات مؤقتة في الجهد الخاص بمزود الطاقة (وهذا شائع الحدوث خاصة لو كانت متطلبات الطاقة للدائرة التي يديرها تتغير باستمرار) فإن مكثف الفصل يمكنه (مؤقتاً) أن يزود الدائرة بالطاقة بالجهد الصحيح. لذلك يُطلق على تلك المكثفات مكثفات التجاوز؛ حيث يمكن أن تعمل كمزود طاقة مؤقت متجاوزة بذلك مزود الطاقة الأساسي.

تصل مكثفات الفصل بين مصدر الطاقة (٥V، ٣.٣V، الخ.) وبين الأرضي، وليس من الغريب استخدام اثنين من المكثفات لهما قيم سعة مختلفة (وحتى من نوعين مختلفين) مع مزود الطاقة، لأن قيم بعض المكثفات تكون أفضل من غيرها لإزالة ترددات معينة من التداخلات (الضوضاء).



في هذا الرسم التوضيحي نجد ثلاثة مكثفات فصل مستخدمة للمساعدة في تقليل التشويش (الضوضاء) في مزود القدرة الخاص بمقياس تسارع (accelerometer). مكثفان خزفيان بسعة ٠.١μF، ومكثف تانتالوم إلكتروليتي بسعة ١٠μF تتشارك معاً عملية الفصل.

بينما يبدو أن ذلك قد يشكل دائرة قصر من المكثف إلى الأرضي إلا أن الإشارات ذات الترددات العالية فقط هي التي تسري خلال المكثف إلى الأرضي، وبالتالي يصل التيار المستمر (DC) إلى الدائرة المدمجة بالشكل المرغوب تماماً. أحد الأسباب الأخرى لتسمية تلك المكثفات بمكثفات التجاوز أن الترددات العالية (الواقعة في مدى كيلو هرتز (KHz) أو ميجا هرتز (MHz)) تتجاوز الدائرة المتكاملة، وبدلاً من ذلك تسري خلال المكثف إلى الأرضي. عند استخدام مكثفات الفصل يجب وضعها دائماً قريباً من دائرة متكاملة قدر الإمكان؛ فكلما زاد البعد كلما قلت الفاعلية.

نموذج فعلي للدائرة التي رأينا مخططها في الأعلى. الدائرة المتكاملة السوداء الصغير محاطة بمكثفين بسعة ٠.١μF (باللون البني)، ومكثف تانتالوم إلكتروليتي بسعة ١٠μF (المكثف الضخم باللون الأسود والرمادي).

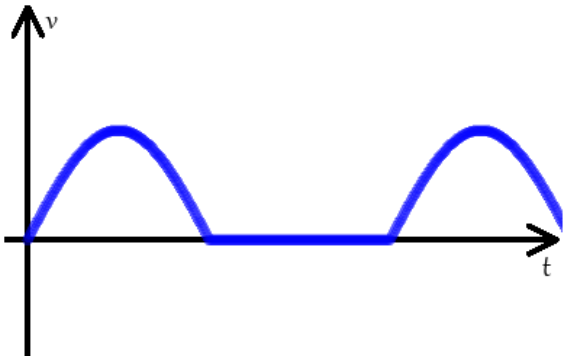
لنسير بشكل هندسي سليم لا بد من إضافة مكثف فصل واحد على الأقل لكل دائرة متكاملة. عادة يمثل مكثف بسعة µF٠.١ خياراً جيداً، أو مكثفات بسعة µF١ أو µF١٠. إنها إضافة رخيصة الثمن ولكن لها دور مهم في التأكد من عدم تعرض الدوائر لارتفاعات أو انخفاضات في الجهد.

استخدامات المكثفات الكهربائية

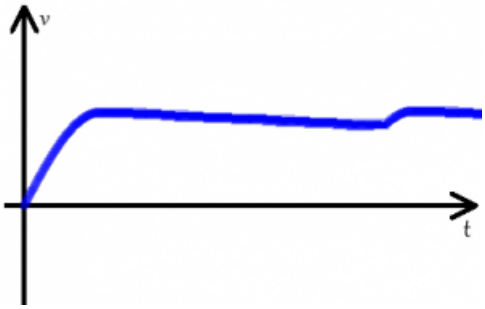
تستخدم المكثّفات الكهربائيّة في العديد من التطبيقات الكهربائيّة، كلٌّ حسب مزاياه وخصائصه، إذ تحدِّد طبيعة عمل الدائرة نوع المكثّف وطريقة توصيله داخلالدائرة الكهربائية ليقوم بالوظيفة المطلوبة من الدائرة الكهربائيّة والتي يحددها المصمّم، وعدم اختيار المكثّف الصحيح سيؤدي إلى اختلالات في عمل الدائرة الكهربائية، وفيما يأتي أهم استخدامات المكثّفات الكهربئيّة:

ترشيح (تنعيم) التيار (filtering)

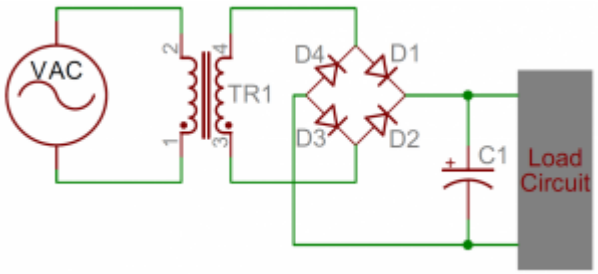
تستخدم المُقومات الديودية (diode rectifiers) لتحويل الجهد المتردد (AC voltage) الآتي من مأخذ الحائط إلى جهد مستمر (DC voltage). لكن الديودات بمفردها لا يمكنها تحويل الإشارات المترددة إلى إشارات مستمرة بشكل مثالي، لذلك نحتاج لاستخدام المكثفات للمساعدة في تحقيق ذلك؛ عن طريق إضافة مكثف على التوازي مع قنطرة تقويم (bridge rectifier) يتم تحويل الإشارة المُقومة ذات الشكل التالي:



يتم تحويلها إلى إشارة شبه مستمرة مثل الشكل التالي:

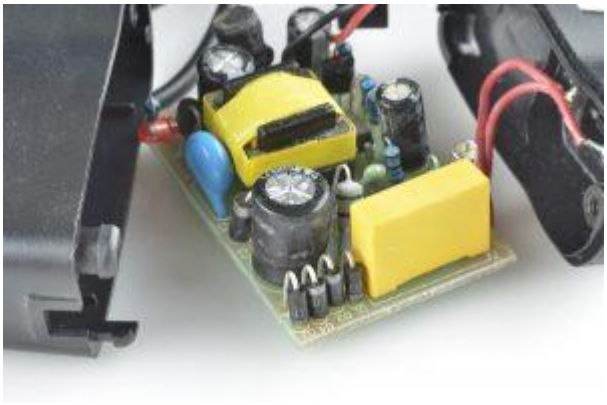


المكثفات مكونات عنيدة، فهي تقاوم أي تغييرات مفاجئة في الجهد. يتم شحن مكثف الترشيح عندما يكون الجهد المُقوم مرتفعاً. عند انخفاض الجهد أثناء مروره خلال المكثف يبدأ المكثف باستخدام الطاقة التي يختزنها ويقوم بتفريغها ببطء شديد لإمداد الطاقة إلى الحمل (الخرج). لا يجب أن يتم تفريغ المكثف بالكامل من الطاقة قبل أن تبدأ إشارات التيار المُقوم في الارتفاع مجدداً ويتم شحنه من جديد. تتكرر هذه العملية العديد من المرات في الثانية طالما أن مزود الطاقة مازال يعمل.



دائرة لتحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر (AC-to-DC). مكثف الترشيح (C1) له أهمية كبيرة لتنعيم الإشارة المستمرة الناتجة من مُقوم التيار قبل توصيلها إلى الحمل.

إذا قمت بفتح أي مزود طاقة يقوم بتحويل التيار المتردد إلى تيار مستمر (كشاحن الأجهزة المحمولة) فستجد على الأقل مكثف واحد كبير. في الأسفل نرى مكونات شاحن ٩V DC، هل تلاحظ به أي مكثفات؟



هناك مكثفات أكثر مما تعتقد! يوجد أربعة مكثفات إلكتروليتية تشبه علب الصفيح تتدرج من ٤٧µF إلى ١٠٠µF. المستطيل الأصفر الكبير هو مكثف عالي الجهد بسعة ٠.١µF، نوعه مكثف فيلمي بولي بروبيليني (polypropylene film). أما القرص الأخضر الصغير بالمنتصف والقرص الأزرق فكلاهما مكثف خزفي.

تخزين الطاقة وتفريغها

بسبب قدرة المكثفات على تخزين الطاقة يمكن استخدامها لإمداد الدوائر الكهربية بالطاقة (مثل البطاريات). المشكلة هنا هي أن المكثفات لها كثافة طاقة (energy density) أقل من البطاريات؛ لذلك لا يمكنها تخزين طاقة بنفس الكمية مثل البطاريات الكيميائية المناظرة لها في الحجم. ما يميز المكثفات في هذا المجال هو طول عمرها الافتراضي عن البطاريات، مما

يجعلها أفضل بالنسبة للبيئة. كما أنها تستطيع إمداد الطاقة بسرعة أكبر بكثير من البطاريات، مما يجعلها مناسبة للتطبيقات التي تحتاج دفقات قصيرة ولكن عالية من الطاقة. مثال على ذلك فلاش الكاميرا الذي يستمد طاقته من مكثف (في الأساس يتم شحن المكثف عن طريق بطارية).

البطارية أم المكثف؟

- البطارية	- المكثف	-
- ✓	-	- السعة
- ✓	-	- كثافة الطاقة
-	- ✓	- سرعة الشحن/التفريغ
-	- ✓	- العمر الافتراضي

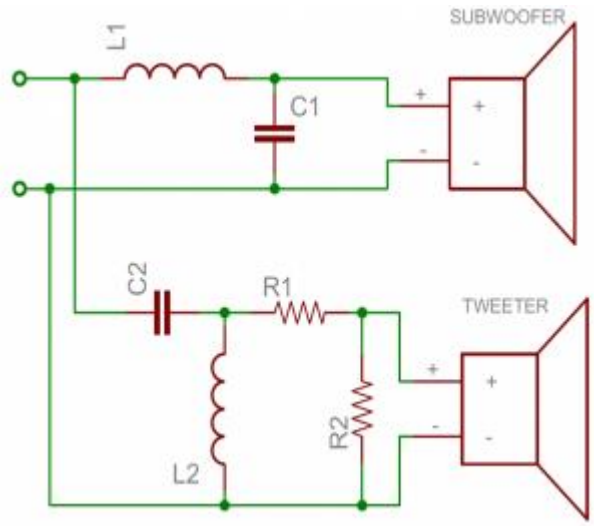
فلترة (ترشيح) الإشارات (signal filtering)

للمكثفات استجابة فريدة للإشارات ذات الترددات المختلفة. فباستطاعتها قمع الأجزاء منخفضة التردد أو ذات التيار المستمر من الإشارة بينما تسمح للترددات العالية بالمرور خلالها. فهي تشبه الحارس الذي لا يسمح إلا بمرور الترددات العالية فقط.

ترشيح الإشارات له فائدة كبيرة في جميع تطبيقات معالجة الإشارات، على سبيل المثال في أجهزة الراديو يتم استخدام مكثف (ضمن مكونات أخرى) للتخلص من الترددات الغير مرغوبة.

من الأمثلة الأخرى على ترشيح الإشارات باستخدام المكثفات هي دوائر العبور (crossover circuits) بداخل مكبرات الصوت، والتي تقوم بفصل إشارة الصوت المفردة إلى عدد من الإشارات. يتم توصيل مكثف على التوالي بقمع

الترددات المنخفضة، لذلك تستطيع الأجزاء عالية التردد المتبقية من الإشارة الأصلية المرور إلى التويتر (مكبر صوت ذو تردد عالي) (tweeter). أما الترددات المنخفضة فتسري خلال دائرة تضخيم للصوت (subwoofer circuit) ويتم فيها التخلص من الترددات العالية إلى الأرضي من خلال مكثف موصل على التوازي.



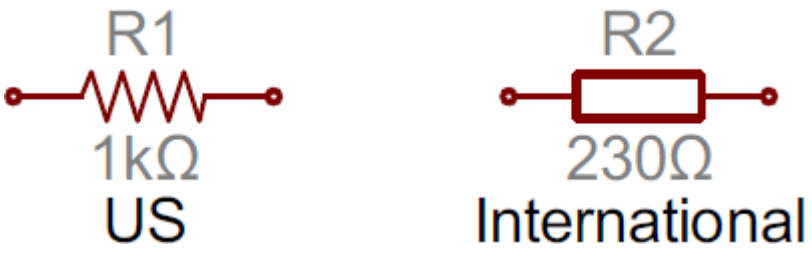
مثال مبسط للغاية على دائرة العبور لنظام صوتي. يقوم المكثف بقمع الترددات المنخفضة، بينما يقوم المستحث (inductor) بقمع الترددات العالية. وكل منها يتم استخدامه لإيصال الإشارة المناسبة للمحركات الصوتية (audio drivers).

- **تستخدم في تطبيقات الاقتران، بحيث تربط الدوائر الكهربائيّة التي تتكون من أكثر من مرحلة مع بعضها البعض .**
- **تستخدم في تطبيقات الفصل إذ تمنع مرور أي إشارة تيار متردد من مصدر التيار الثابت.**
- **تستخدم في تنعيم الإشارة الكهربائيّة القادمة من مصدر التيار الكهربائي والداخلة إلى الدائرة الكهربائيّة وذلك حفاظًا على المعدات الإلكترونية في الدائرة الكهربائيّة.**

- تستخدم كأداة توقيت في الدائرة الكهربائيّة،بحيث إنّ وقت الشحن والتفريغ للمكثّف يحدد وقت عمل الدائرة الكهربائيّة.
- تستخدم كأداة لتخزين الطاقة في الدائرة الكهربائيّة وذلك بعد انقطاع التيار الكهربائي عنها.
- تستخدم المكثّفات الكهربائيّة في تطبيقات ربط وفصل الدوائر الكهربائيّة وتنقية الإشارات وتنعيمها، وتستخدم أيضَا كأداة توقيت وتخزين في العديد من الدوائر الكهربائيّة.

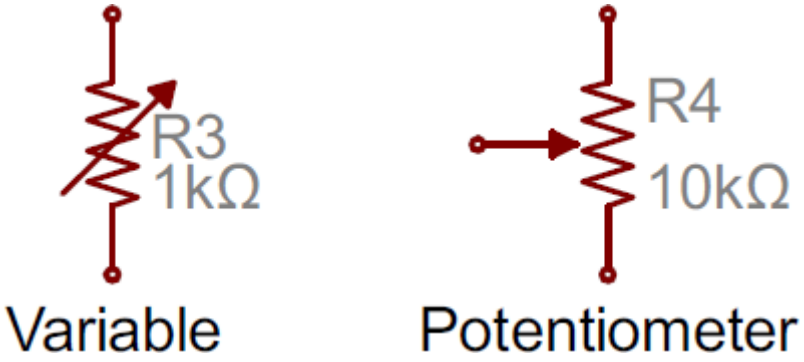
المُقاومات (Resistors)

المُقاومات من أكثر المكونات الأساسية استخداماً في الدوائر الكهربية. وفي الغالب يُرمز للمقاومات في المُخططات بخط متعرج له طرفين يخرجان منه. من الممكن في المُخططات التي تستخدم الرموز العالمية (international symbols) أن يتم استخدام مُستطيل كرمز للمقاومات بدلاً من الخط المتعرج.



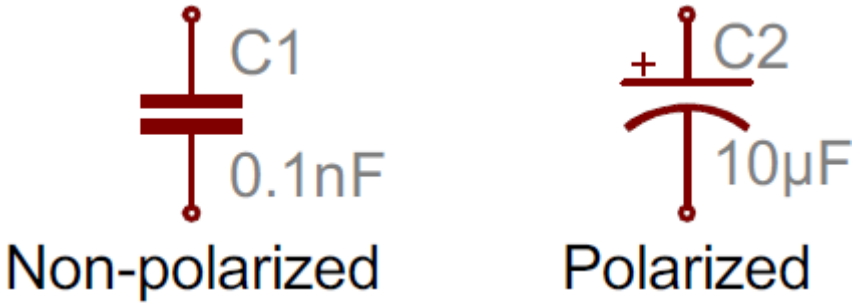
مقاييس الجهد الانزلاقية (Potentiometers) والمقاومات المتغيرة (Variable Resistors)

في مقاييس الجهد الانزلاقية والمُقاومات المتغيرة يتم إضافة سهم للرمز الخاص بالمُقاومات العادية (الخط المتعرج). المُقاومات المتغيرة هي مُكونات ذات طرفين فقط لذلك يتم وضع السهم قطرياً عبر منتصف الخط المتعرج. أم مقاييس الجهد الانزلاقية فهي مكونات ذات ثلاثة أطراف، لذلك يُشكل السهم الطرف الثالث (المنزلق (wiper)).



المُكثفات (Capacitors)

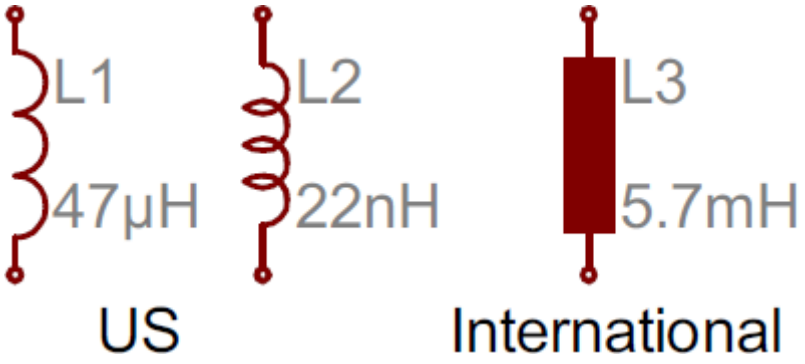
هناك رمزان شائعا الاستخدام للمكثفات. الرمز الأول يُمثل المكثفات المُستقطبة (polarized) والتي تكون في العادة مُكثفات إلكتروليتية (electrolytic) أو مصنوعة من التنتاليوم (tantalum)، والرمز الآخر يُستخدم مع المُكثفات الغير مُستقطبة (non-polarized). يوجد طرفان في كلا الرمزين متعامدان على لوحين.



الرمز الذي يحتوي على لوح مقوس يُستخدم للدلالة على المُكثفات المُستقطبة. اللوح المقوس يُمثل مهبط (cathode) المُكثف (الطرف السالب)، والذي يكون له جهد منخفض عن الطرف الموجب للمكثف (المصعد (anode)). من الممكن أيضاً أن يتم إضافة علامة زائد (+) للطرف الموجب من المُكثف المُستقطب.

ملفات الحث (Inductors)

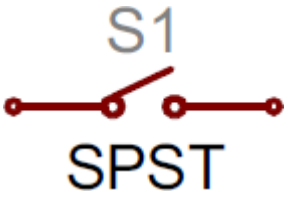
في الغالب يتم تمثيل ملفات الحث إما من خلال خط به عدة مطبات منحنية أو من خلال خط على شكل لفات لولبية. أما في الرموز العالمية فيتم الإشارة إلى ملفات الحث باستخدام مستطيل مُظلل.



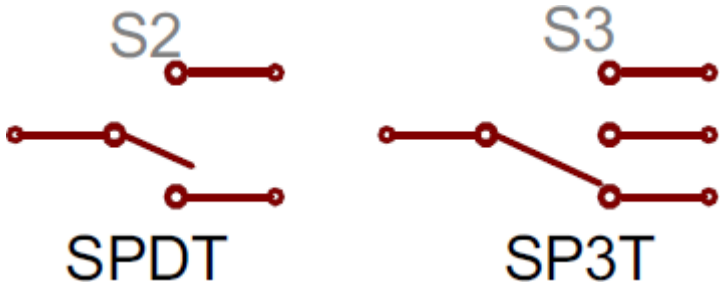
المفاتيح (Switches)

توجد المفاتيح في العديد من الأشكال. أبسط أنواع المفاتيح هو المفتاح الذي يحتوي على نقطة تلامس واحدة وتحويلة واحدة (single-pole/single-

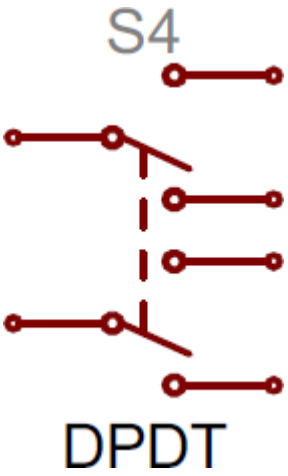
throw (SPST)، وهو يحتوي على طرفين مع خط متصل بأحدهما ومنفصل عن الآخر يُمثل المُشغل الميكانيكي (actuator) (الجزء الذي يوصل الطرفين معاً).



المفاتيح التي تحتوي على تحويلة واحدة وأكثر من نقطة تلامس، مثل مفاتيح SPDT وSP3T تحتوي على المزيد من الأطراف التي يُمكن أن يتصل بها المُشغل الميكانيكي.



أما المفاتيح التي تحتوي على عدة تحويلات فغالباً ما تتكون من عدة مفاتيح متشابهة مع وجود خط متقطع يصل بين منتصف المُشغلات الميكانيكية.

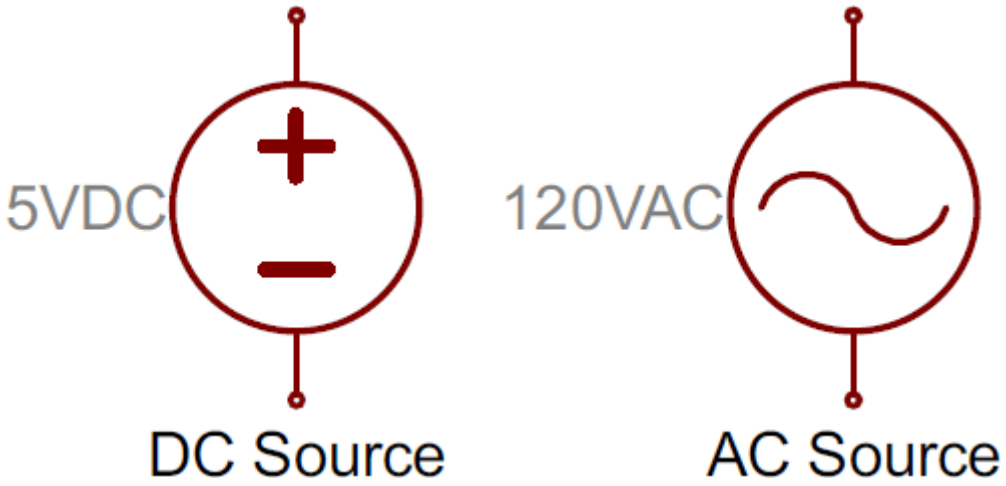


مصادر الطاقة (Power Sources)

هناك الكثير من الخيارات مُتاحة لتوصيل الطاقة لأي مشروع، وبالمثل هناك العديد من الرموز المُستخدمة لتمثيل المصادر المُختلفة للطاقة في مُخططات الدوائر الكهربية.

مصادر الجهد المُستمر (DC Voltage) والجهد المتردد (AC Voltage)

في معظم الأوقات التي تتعامل فيها مع الإلكترونيات تقوم باستخدام مصادر جهد ثابت. من الممكن استخدام أي من الرمزين التاليين لتحديد ما إذا كان المصدر يعطي تيار متردد ((Alternating current (AC) أم تيار مُستمر (direct current (DC).



البطاريات (Batteries)

سواء كانت البطاريات من النوع القلوي (Alkaline AA) الذي يكون على شكل اسطوانة، أو من نوع الليثيوم بوليمر (lithium-polymer) الذي يكون

على شكل مستطيل، يتم الرمز إليها باستخدام زوج من الخطوط المتوازية الغير متساوية في الطول.

عند توصيل عدة بطاريات معاً على التوالي يتم استخدام عدد أزواج الخطوط يساوي عدد البطاريات. كما أنه في الغالب يتم استخدام الخط الطويل لتمثيل الطرف الموجب، والخط القصير لتمثيل الطرف السالب.

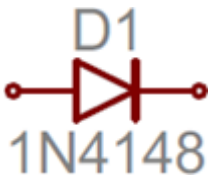
عُقَد الجهد (Voltage Nodes)

في بعض الأحيان –خاصة في المُخططات التي تكون مُزدحمة بالرموز- من الممكن أن تقوم بتخصيص رموز خاصة لقيم الجهد عند العُقَد (node voltages). من الممكن أن تقوم بتوصيل المكونات بهذه الرموز ذات الطرف الواحد لكي تكون مُتصلة مباشرة بجهد V٥ أو V٣.٣ أو VCC أو بالأرضي (GND). عقد الجهد الموجبة عادة ما تحتوي على سهم يُشير لأعلى، بينما عقد الأرضي عادة ما تحتوي على واحد إلى ثلاثة خطوط (وأحياناً تحتوي على سهم يُشير لأسفل أو مثلث).

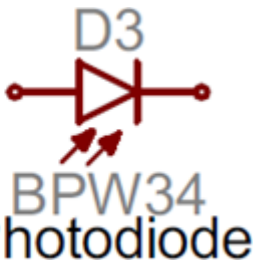
رموز المُخططات :

- **الديودات (Diodes)**

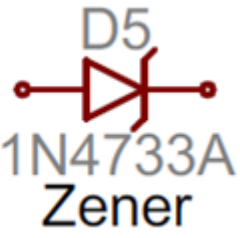
في العادة يتم تمثيل الديودات العادية بواسطة مثلث يحتوي على خط عند رأسه موازي لقاعدته. الديودات مكونات مُستقطبة، لذلك لا بد من وجود طريقة للتمييز بين طرفيها. الطرف الموجب (المصعد) هو الطرف جهة قاعدة المثلث. أما الطرف السالب (المهبط) فهو الطرف جهة رأس المثلث (جهة الخط).



هناك أنواع كثيرة ومتنوعة من الديودات، رمز كل منها يحتوي على إضافة خاصة على الرمز الخاص بالديود العادي. في الديودات المُضيئة (LEDs) يتم إضافة سهمين يشيران للخارج على رمز الديود العادي. وفي الديودات الضوئية (Photodiodes) التي تقوم بتوليد الطاقة من الضوء (هي في الأساس خلايا شمسية صغيرة) يتم إضافة سهمين يُشيران للداخل على رمز الديود العادي.



الأنواع الأخرى من الديودات مثل ديود شوتكي (Schottky) أو ديود زينر (Znener) لها رموز خاصة بها تحتوي على تعديلات في الخط الموجود في رمز الديود العادي.



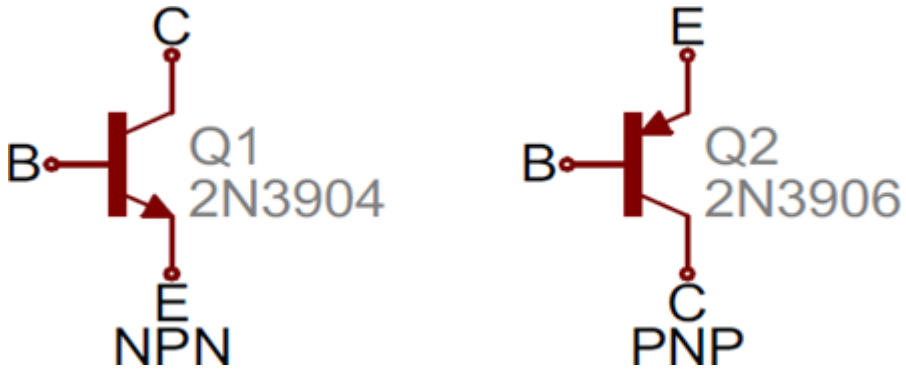
- **<u>الترانزستورات (Transistors)</u>**

يُمكن للترانزستورات -سواء كانت من نوع الترانزستور ثنائي القطبية (BJT) أو الموسفت (MOSFET)- أن تكون على شكلين: إما مطعمة تطعيماً موجباً (positively doped) أو مُطعمة تطعيماً سالباً (negatively doped). لذلك كل نوع من تلك الأنواع له على الأقل طريقتين لتمثيله.

- **الترانزستورات ثنائية القطبية (Bipolar Junction Transistors ((BJTs)**

- **الترانزستورات ثنائية القطبية هي مكونات تحتوي على ثلاثة أطراف: مُجمع (collector (C))، وباعث (emitter (E))، وقاعدة (base**

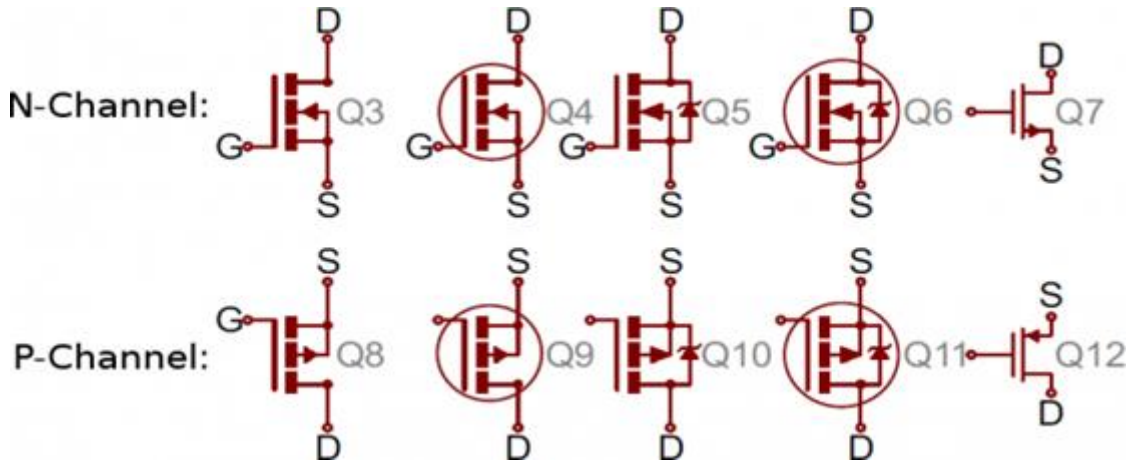
(B)). هناك نوعان من الترانزستورات ثنائية القطبية، NPN وPNP، وكل منهما له رمز خاص به.



المُجمع (C) والباعث (E) يكونان على خط واحد، لكن طرف الباعث يوجد به دائماً سهم. إذا كان السهم يُشير للداخل يكون الترانزستور من نوع PNP، وإذا كان السهم يُشير للخارج يكون الترانزستور من نوع NPN.

- **الموسفت (الترانزستور الحقلي المصنوع من أكسيد معدني) (metal-oxide field-effect (MOSFET)**

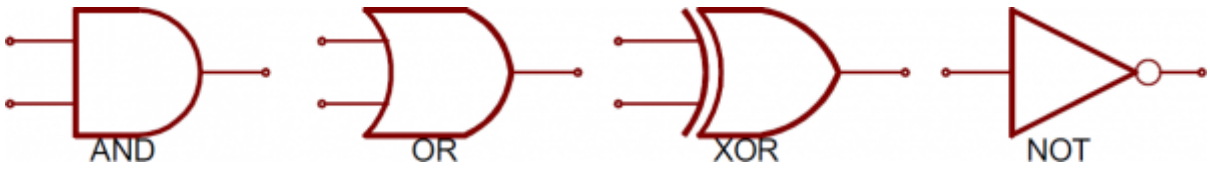
تحتوي الترانزستورات من النوع موسفت –كما هو الحال في ترانزستورات BJT- على ثلاثة أطراف، ولكن بأسماء مُختلفة؛ فأطراف هذه الترانزستورات تُسمى المصدر (source (C))، المصرف (drain (D))، والبوابة (gate (G)). أيضاً هنا نوعان مختلفان من الرموز يُستخدمان للإشارة إلى ترانزستورات MOSFET، فهناك نوعان من الموسفت، الأول n-channel والثاني p-channel. هناك عدد من الرموز يشيع استخدامها مع كلا نوعي الموسفت:



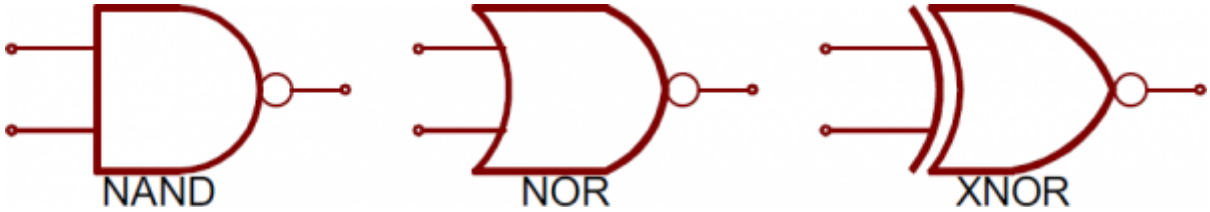
السهم الموجود في منتصف الرمز (يُسمى الحاجز (bulk)) يُحدد ما إذا كان الموسفت n-channel أو p-channel. إذا كان السهم يُشير للداخل فهذا بعني أن الموسفت من النوعية n-channel، وإذا كان السهم يُشير للخارج فهذا يعني أنه من النوعية p-channel.

- **<u>بوابات المنطق الرقمي (Digital Logic Gates)</u>**

بوابات المنطق الرقمي الأساسية التي نستخدمها AND وOR وNOT وXOR جميعها لها رموز تخطيطية خاصة بها:



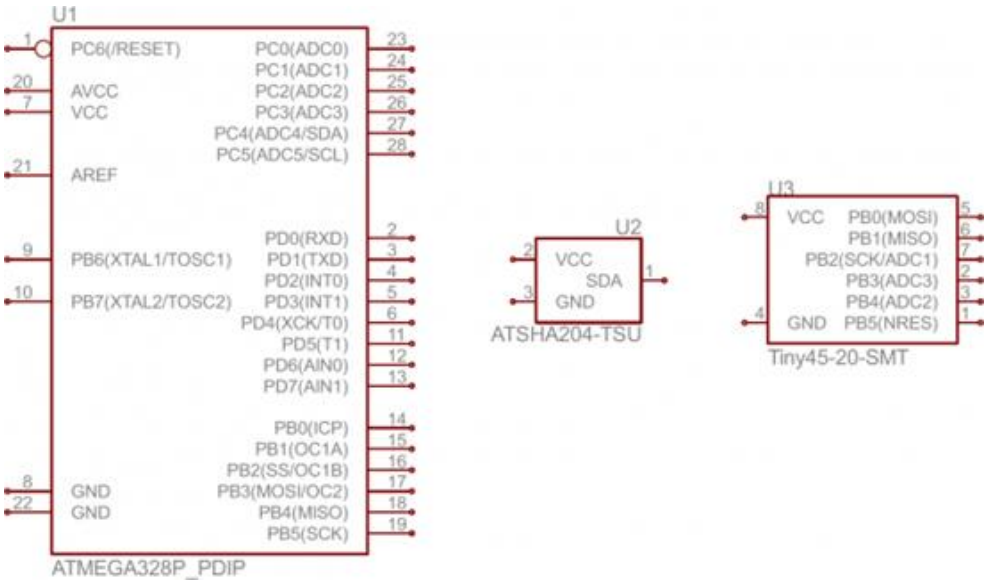
وبإضافة دائرة على جهة الخرج نقوم بعكس البوابات لتصبح NAND وNOR وXNOR:



من الممكن أن تحتوي رموز البوابات المنطقية على أكثر من طرفي دخل، ولكن أشكالها تبقى كما هي (مع إمكانية زيادة حجمها)، ولا بد كذلك من أن يكون هناك طرف خرج واحد فقط.

- **الدوائر المتكاملة (Integrated Circuits)**

تقوم الدوائر المتكاملة بمهام فريدة، لذلك فهي متنوعة بدرجة كبيرة مما لا يسمح بوجود رمز ثابت يتم استخدامه للإشارة إليها في مخططات الدوائر الإلكترونية. في الغالب يتم تمثيل الدوائر المتكاملة بمستطيل يحتوي على منافذ تبرز من جوانبه. وكل منفذ يُدون بجواره اسم يشمل رقمه ووظيفته.

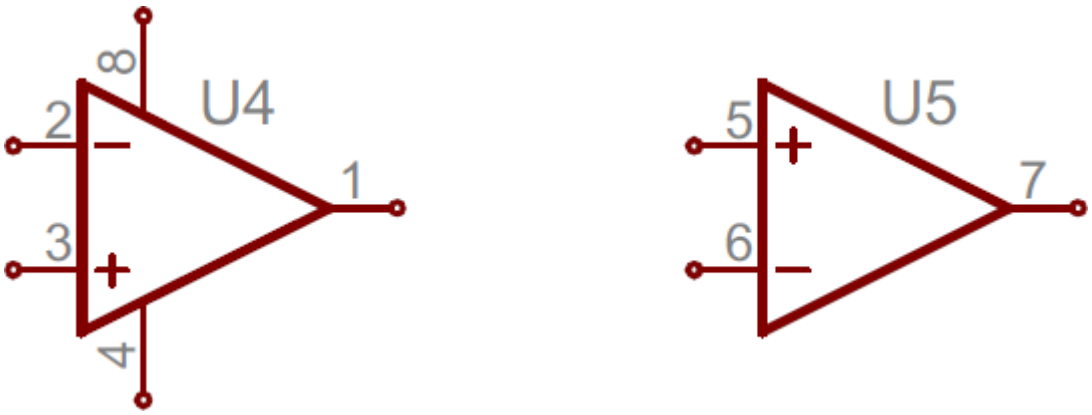


الرموز التخطيطية الخاصة بمُتحكم دقيق ATmega328 (يوجد بكثرة في بطاقات أردوينو)، دائرة متكاملة للتشفير ATSHA204 ، ووحدة تحكم مصغرة ATtiny45 MCU. وكما ترى هذه المكونات تختلف بشكل كبير في الحجم وعدد المنافذ.

بسبب استخدام رمز عام مشترك للدوائر المتكاملة المختلفة تُصبح للأسماء والقيم التي يتم كتابتها أهمية كبيرة للغاية. وكل دائرة متكاملة يجب أن يُدون عليها قيم تحدد بدقة اسم الرقاقة.

- **دوائر متكاملة فريدة: المُضخمات العملياتية (Op Amps) ومُنظمات الجهد (Voltage Regulators)**

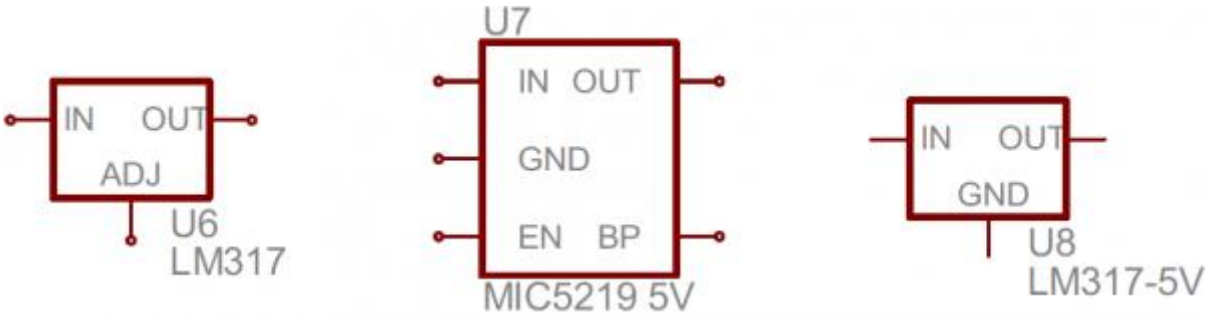
بعض الدوائر المتكاملة الأكثر استخداماً يكون لها رموز خاصة لتمثيلها في المُخططات. فالمضخمات العملياتية على سبيل المثال يتم تمثيلها بالرمز الموجود بالأسفل، حيث يحتوي على خمسة أطراف: طرف دخل غير معكوس (non-inverting input) موجب (+)، وطرف دخل معكوس (inverting input) سالب (-)، وطرف خرج وطرفي دخل للطاقة.



كثيراً ما يكون هناك مضخمان عملياتيان مدموجين معاً في دائرة متكاملة واحدة لا تتطلب سوى منفذ واحد للطاقة وآخر للأرضي. لهذا السبب يحتوي الرمز الموجود على اليمين على ثلاثة أطراف فقط.

مُنظمات الجهد البسيطة تحتوي في الغالب على ثلاثة أطراف، واحد للدخل وواحد للخرج وواحد للأرضي (أو للضبط). ويتم تمثيلها بمستطيل يحتوي على منافذ

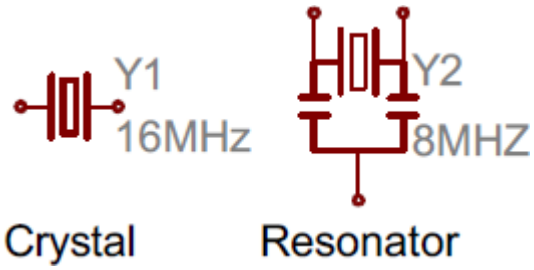
جهة اليسار (للدخل)، ومنافذ جهة اليمين (للخرج)، ومنافذ في الأسفل (للأرضي/ للضبط).



مجموعة متنوعة من المُكونات

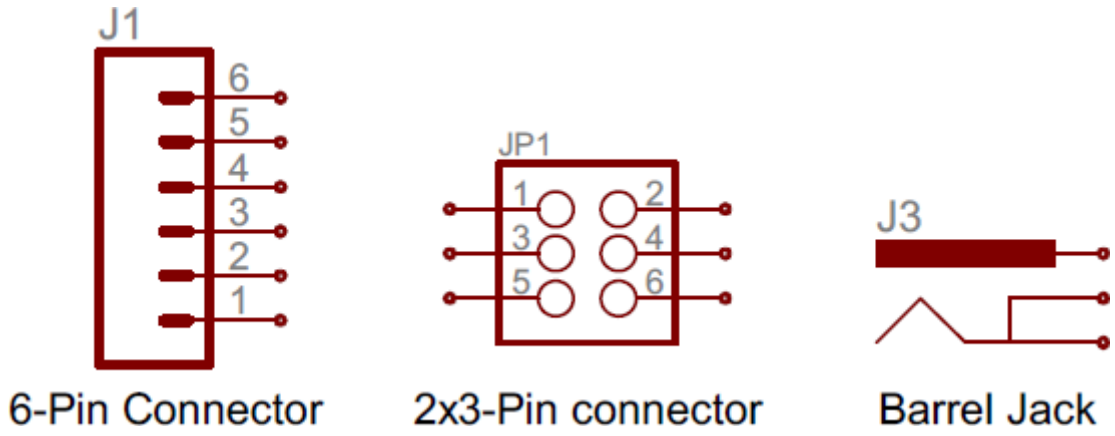
- الكريستالات (Crystals) والرنانات (Resonators)

تُشكل الكريستالات والرنانات جزءاً هاماً من دوائر المتحكمات الدقيقة (microcontroller). فهي تُساعد في توفير إشارة الساعة. رموز الكريستالات تحتوي غالباً على طرفين، بينما رموز الرنانات –التي هي في الأساس كريستالات يُضاف إليها مكثفان- تحتوي على ثلاثة أطراف.



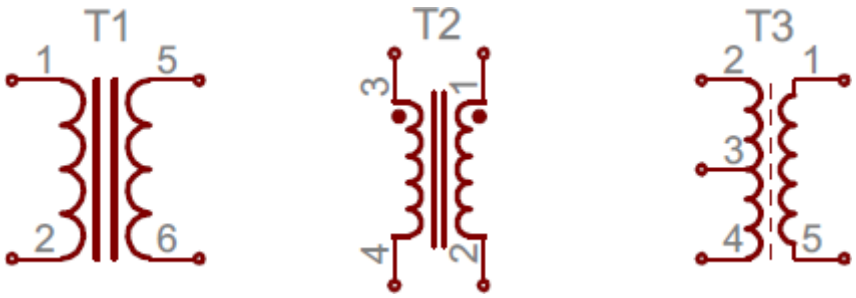
- **الوصلات (Connectors) والرؤوس المُسننة (Headers)**

نحتاج دائماً لاستخدام الوصلات في معظم الدوائر سواء كنت ترغب بتوصيل الطاقة أو إرسال المعلومات. والرموز المُستخدمة تختلف اعتماداً على شكل الوصلة، والأمثلة التالية توضح ذلك:

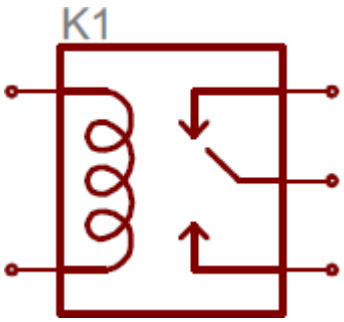


- **المُحركات (Motors) والمُحولات (Transformers) ومُكبرات الصوت (Speakers) والمُرَحِّلات (Relays)**

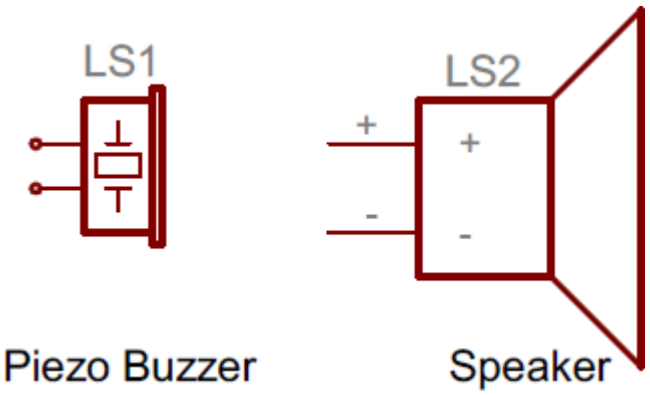
نذكر هذه المكونات معاً لأنها تشترك في احتوائها (غالباً) على لفات من الأسلاك (coils). فالمُحولات تحتوي على ملفين موضوعين مقابل بعضهما البعض مع وجود خطين يفصلان بينهما:



أما المُرحلات فيُرمز لها بملف مع مفتاح كما يلي:



مُكبرات الصوت والطنانات (buzzers) يتم تمثيلها برموز تُشبه شكلها في الواقع:



والمُحركات عموماً يتم تمثيلها بحرف "M" تحيط به دائرة مع بعض التعديل على شكل الطرفين:

المُنصهرات (Fuses) والمُقاومات الحرارية (PTCs)

كل من المُنصهرات والمُقاومات الحرارية ـمُكونات تُستخدم للحد من الزيادات في شدة التيار الكهربيـ يتم تمثيلها برمز خاص:

الرمز المُستخدم لتمثيل المُقاومات الحرارية هو الرمز العام المُستخدم لتمثيل الثرمستور (thermistor). (لاحظ أن هذا الرمز هو الرمز المستخدم عالمياً للمُقاومات مع إضافة بسيطة).

لا شك أن هناك العديد من الرموز المُستخدمة في الدوائر الإلكترونية لم تشملها هذه القائمة، لكن الرموز التي ذكرناها تكفي بنسبة ٩٠% لجعلك مُتمكناً من قراءة المُخططات. بشكل عام يكون هناك تشابه كبير بين المُكون في الواقع والرمز المُستخدم لتمثيله في المُخططات. وبالإضافة للرموز لا بد أن يكون لكل مُكون في المُخططات اسم وقيمة للمساعدة بشكل أكبر في التعرف عليه.

الأسماء والقيم الدلالية

أحد أهم المفاتيح لكي تُصبح مُلماً بمُخططات الدوائر الإلكترونية معرفة كيفية التفريق بين المكونات. رموز المكونات تُخبرنا نصف المعلومات، ولكن كل رمز لا بد أن يصحبه اسم وقيمة لكي نحصل على المعلومة كاملة.

الأسماء والقيم

تُساعد القيم على تحديد ماهية المكون بدقة. بالنسبة للرموز التخطيطية لمكونات مثل المُقاومات والمُكثفات وملفات الحث تخبرنا القيمة عن القيمة التي يحتويها المكون بالأوم أو الفاراد أو الهنري. أما بالنسبة للمكونات الأخرى –مثل الدوائر المتكاملة- من الممكن أن تكون القيمة اسم الرقاقة فحسب. وفي الكريستالات من

المُمكن أن تكون القيمة هي تردد التذبذب الخاص بها. إذن بشكل أساسي تذكر القيمة الخاصة بالرموز التخطيطية الخاصية الأهم للمكون.

تتكون أسماء المكونات في الغالب من حرف أو حرفين مع رقم. الجزء الحرفي يحدد نوع المكون – R للإشارة إلى المُقاومات، C للمُكثفات، U للدوائر المُتكاملة... الخ. ولا بد من أن يُعطى كل مُكون على المُخطط اسماً فريداً؛ فمثلاً إذا كان هناك عدة مُقاومات في مُخطط ما يتم تسميتها R١، R٢، R٣... الخ.

بادئات الأسماء موحدة وقياسية. ففي بعض المكونات –مثل المقاومات- تكون البادئة الحرف الأول من اسم المكون (في حالة المقاومات R). أما بعض المكونات الأخرى لا تكون البادئة مُشتقة من اسمها؛ بادئة ملفات الحث على سبيل المثال L (لأن الحرف I يتم استخدامه للدلالة على شدة التيار، وبالتالي قد يحدث تعارض والتباس)، إليك جدول مُبسط يحتوي على المُكونات الأساسية وبادئات أسمائها:

بادئة الاسم	المُكون
R	المُقاومات
C	المُكثفات
L	ملفات الحث
S	المفاتيح
D	الديودات
Q	الترانزستورات
U	الدوائر المُتكاملة
Y	الكريستالات والرنانات

برغم أن تلك الأسماء الخاصة برموز المُكونات "قياسية" إلا أنها لا يتم اتباعها بشكل دائم من الجميع. فعلى سبيل المثال من المُمكن أن تُستخدم البادئة IC مع الدوائر المتكاملة بدلاً من U، وكذلك من الممكن استخدام XTAL مع الكريستالات بدلاً من Y. حاول بأقصى قدرة لديك التفريق بين رموز المكونات وفهمها بشكل الصحيح. ويجب أن يحتوي كل رمز على معلومات كافية للتعرف على المكون الذي يمثله.

دوائر التيار المتردد :AC Circuits

دارات التيار المتردد كما يوحي الاسم "التيار المتردد" هي مجرد دوائر مدعومة بمصدر متناوب أو متردد، إما جهد أو تيار. التيار المتردد أو الجهد، هو الذي تتغير فيه قيمة الجهد أو التيار حول قيمة متوسطة معينة وتعكس الاتجاه بشكل دوري. يتم تشغيل معظم الأجهزة والأنظمة المنزلية والصناعية الحالية باستخدام التيار المتردد.

يُقصد بدوائر التيار المتردد هو تغير في حالة التيار الكهربائي بحيث تعيد نفسها على فترات زمنية متساوية، ويمر هذا التغير ما بين قمتين متناوبتين في الهبوط

والارتفاع، حتى تتكون دورة من نصفي اهتزازة متتابعتين إحداها موجبة الإشارة، وأخرى سالبة الإشارة، وعليه ينتج فرق جهد كهربائي تتحكم به المقاومة في دوائر التيار المتردد

تعمل جميع الأجهزة الموصولة بالتيار المستمر والأجهزة القائمة على البطاريات القابلة لإعادة الشحن تقنياً على التيار المتردد حيث تستخدم جميعها شكلاً من أشكال طاقة التيار المستمر المشتقة من التيار المتردد إما لشحن بطارياتها أو تشغيل النظام. وبالتالي فإنّ التيار المتردد هو الشكل الذي يتم من خلاله توصيل الطاقة في التيار الكهربائي.
ظهرت الدائرة المتناوبة في الثمانينيات عندما قررت "تسلا" حل مشكلة عدم القدرة طويلة المدى لمولدات "توماس إديسون" التي تعمل بالتيار المستمر. لقد سعى إلى طريقة لنقل الكهرباء بجهد عالٍ ثم استخدم المحولات لتصعيدها إما لأعلى أو لأسفل حسب الحاجة للتوزيع وبالتالي كان قادراً على تقليل فقد الطاقة عبر مسافة كبيرة والتي كانت المشكلة الرئيسية للتيار المستمر في ذلك الوقت

مصدر التيار المتردد الأساسي – مولد التيار المتردد بملف واحد: مبدأ توليد التيار المتردد بسيط. إذا تم تدوير مجال مغناطيسي أو مغناطيس على طول مجموعة ثابتة من الملفات "الأسلاك" أو دوران ملف حول مجال مغناطيسي ثابت، يتم إنشاء تيار متردد باستخدام مولد التيار المتردد – (AC generator Alternator).يتكون أبسط شكل من أشكال مولد التيار المتردد من حلقة من السلك يتم تدويرها ميكانيكياً حول محور أثناء وضعها بين القطبين الشمالي والجنوبي للمغناطيس.

عندما يدور ملف المحرك داخل المجال المغناطيسي الذي تم إنشاؤه بواسطة مغناطيس القطب الشمالي والجنوبي، يتغير التدفق المغناطيسي عبر الملف،

وبالتالي يتم دفع الشحنات عبر السلك، مما يؤدي إلى جهد فعّال أو جهد مستحث. التدفق المغناطيسي عبر الحلقة هو نتيجة لزاوية الحلقة بالنسبة لاتجاه المجال المغناطيسي.

يمكننا أنّ نستنتج أنّه يتم قطع عدد معين من خطوط المجال المغناطيسي أثناء دوران المحرك، تحدد كمية "الخطوط المقطوعة" خرج الجهد. مع كل تغيير في زاوية الدوران والحركة الدائرية الناتجة عن المحرك مقابل الخطوط المغناطيسية، تتغير أيضاً كمية "الخطوط المغناطيسية المقطوعة"، وبالتالي يتغير جهد الخرج أيضاً.

على سبيل المثال، خطوط المجال المغناطيسي المقطوعة عند درجة الصفر هي صفر مما يجعل الجهد الناتج صفراً، ولكن عند (٩٠) درجة، يتم قطع جميع خطوط المجال المغناطيسي تقريباً، وبالتالي يتم إنشاء أقصى جهد في اتجاه واحد في اتجاه واحد. ينطبق الشيء نفسه على (٢٧٠) درجة فقط لأنّه تم إنشاؤه في الاتجاه المعاكس.

وبالتالي هناك تغيير ناتج في الجهد حيث يدور المحرك داخل المجال المغناطيسي مما يؤدي إلى تكوين شكل موجة جيبية. وبالتالي فإنّ الجهد المستحث الناتج يكون جيبياً، مع تردد زاوي يقاس "بالراديان في الثانية."

المقاومة في دوائر التيار المتردد.

المقاومة في دوائر التيار المتردد تحتوي دوائر التيار المتردد على مقاومات تمانع من مرور هذا التيار فيها، وذلك لأن الجهد والتيار الكهربائي يرتفعان ويهبطان مع بعضهما البعض في نفس الفترة الزمنية، والفرق بينهما يساوي صفر درجة في زاوية الطور، وترتبط زاوية الطور بمعامل القدرة الذي يتراوح ما بين الصفر إلى درجة واحدة، وكلما اقتربت زاوية الطور من واحد درجة تولدت القدرة الفعالة

التي تقاس بوحدة واط، والتي تستخدم في مجالات متعددة مثل إدارة المحرك، وتسخين الملف الحراري، وإضاءة المصابيح، وأما إذا اقتربت أو انخفضت زاوية الطور إلى أقل من درجة واحدة تولدت القدرة غير الفعالة والتي تمر بين دوائر التيار المتردد دون الاستفادة منها، وتقاس القدرة غير الفعالة بوحدة فارVAR

معادلة التيار المتردد المستحث:

يعطي التيار المستحث بالمعادلة التالية :

$$I = V/R$$

حيث $$V= NABw \sin (wt)$$

حيث:

– Nالسرعة .

– Aالمساحة .

– Bالمجال المغناطيسي .

– wالتردد الزاوي

من الواضح أنّ مولدات التيار المتردد الحقيقية أكثر تعقيداً من هذا ولكنّها تعمل على أساس نفس مبادئ وقوانين الحث الكهرومغناطيسي. يتم أيضاً إنشاء التيار المتردد باستخدام نوع معين من المحولات ودوائر المذبذبات كما هو موجود في العاكسات.(inverters)

موجة التيار المتردد:AC Waveform –

يتم إنشاء أشكال الموجات الجيبية (AC) عن طريق تدوير ملف داخل مجال مغناطيسي وتشكل الفولتية والتيارات المتناوبة أساس نظرية التيار المتردد. تُعرَّف الدالة البديلة أو شكل موجة التيار المتردد بأنّها وظيفة تختلف في كل من الحجم والاتجاه بطريقة متساوية إلى حد ما فيما يتعلق بالوقت مما يجعلها شكل موجة "ثنائي الاتجاه". يمكن أن تمثل وظيفة التيار المتردد إما مصدر طاقة أو

مصدر إشارة مع شكل شكل موجة (AC) يتبع بشكل عام شكل الجيب الرياضي الذي يتم تعريفه على النحو التالي:

$$A(t) = Amax \times \sin(2\pi f t)$$

مصطلح (AC) أو لإعطائه وصفاً كاملاً للتيار المتردد، يشير عموماً إلى شكل موجة متغير بمرور الوقت، يطلق عليها اسم الموجة الجيبية المعروفة بشكل أفضل بالشكل الموجي الجيبي. يُطلق على الأشكال الموجية الجيبية بشكل عام وصفها المختصر باسم "موجات الجيب". تعد الموجات الجيبية واحدة من أهم أنواع موجات التيار المتردد المستخدمة في الهندسة الكهربائية.

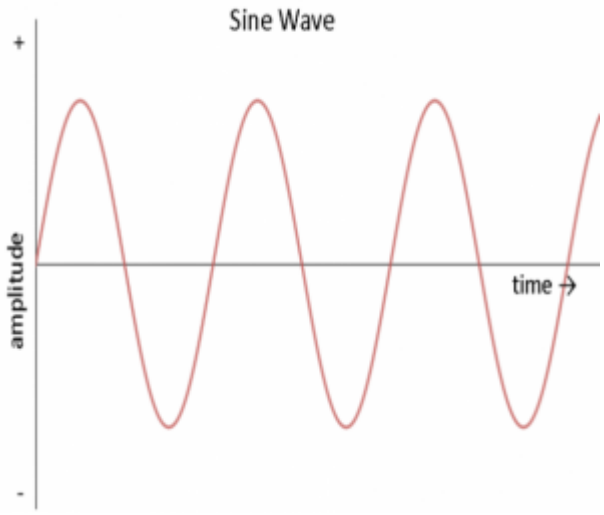
خصائص شكل موجة التيار المتردد:

الفترة، (T)هي المدة الزمنية بالثواني التي يستغرقها شكل الموجة لتكرار نفسها من البداية إلى النهاية. يمكن أن يسمى هذا أيضاً الوقت الدوري للشكل الموجي للموجات الجيبية، أو عرض النبض للموجات المربعة. التردد، (f)هو عدد المرات التي يكرر فيها شكل الموجة نفسه خلال فترة زمنية ثانية واحدة. التردد هو مقلوب الفترة الزمنية، ($f = 1 / T$)، ووحدة التردد هي هرتز، (Hz).السعة، (A)هي حجم أو شدة شكل موجة الإشارة المقاسة بالفولت أو الأمبير.

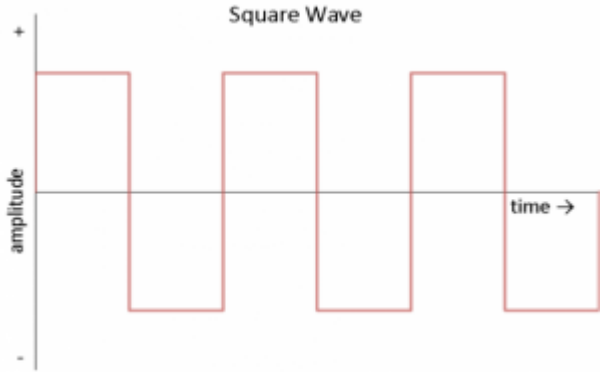
الأشكال الموجية (waveforms)

للتيار المتردد أشكال عديدة يمكن أن يتواجد عليها طالما أن التيار والجهد يتغيران. إذا قمنا بتوصيل راسم اهتزازات (oscilloscope) في دائرة تعمل بالتيار المتردد ثم قمنا برسم مخطط لتغير الجهد مع مرور الزمن فربما نلاحظ عدداً من الأشكال الموجية المختلفة. وأكثر أشكال التيار المتردد شيوعاً هي

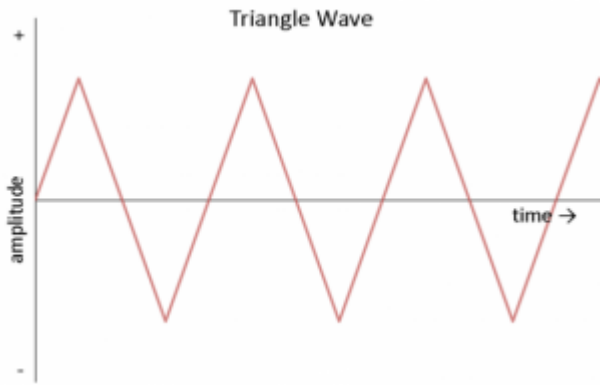
الموجة الجيبية (sine wave). التيار المتردد في معظم المنازل والمكاتب له جهد متذبذب ينتج عنه موجة جيبية.



من الأشكال الأخرى الشائعة للتيار المتردد الموجة المربعة والموجة المثلثية:



غالباً تُستخدم الموجات المربعة في الإلكترونيات الرقمية وإلكترونيات التحويل لاختبار عملها.



تستخدم الموجات المثلثية في توليف الصوت (sound synthesis)، ومفيدة أيضاً في اختبار الإلكترونيات الخطية مثل المضخمات (amplifiers).

وصف الموجة الجيبية

عادة نقوم بشرح الشكل الموجي للتيار المتردد بأسلوب رياضي. في هذا المثال سنستخدم الموجة الجيبية الشائعة. هناك ثلاثة أشياء تتعلق بأي موجة جيبية: السعة (amplitude)، التردد (frequency)، والطور (phase). فيما يتعلق بالجهد يمكننا وصف الموجة الجيبية بواسطة هذه الدالة الرياضية:

$$V(t) = V_P \sin(2\pi f t + \phi)$$

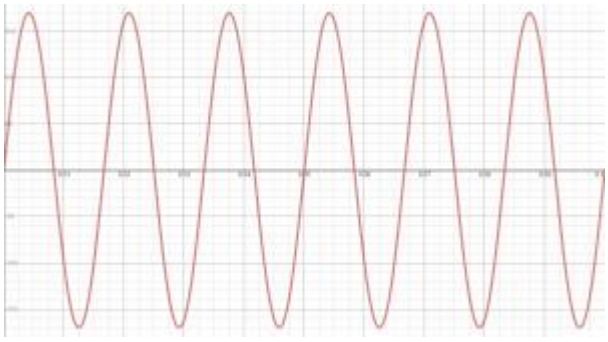
V(t) هو الجهد كدالة في الزمن، وهذا يعني أن الجهد يتغير بتغير الزمن. أما المعادلة على اليمين فتصف كيفية تغير الجهد بتغير الزمن. Vp هو السعة، تصف السعة أقصى جهد تستطيع موجتنا الجيبية الوصول إليه في أي من الاتجاهين، وهذا يعني أن الجهد يمكن أن يكون +Vp أو -Vp أو أي قيمة أخرى تقع بينهما.
دالة الجيب (sin()) تشير إلى أن الجهد يكون في شكل موجة جيبية دورية، أي يكون هناك تذبذب سلس في كلا الاتجاهين حول الجهد صفر.

2π هو ثابت وظيفته تحويل التردد من دورات (cycles) بالهرتز (hertz) إلى تردد زاوي (angular frequency) مقاساً بالراديان في الثانية (rad/s).
f تعبر عن تردد الموجة الجيبية، ووحدة التردد الهرتز (hertz) أو وحدة لكل ثانية (units per second). التردد يخبرنا عن عدد مرات حدوث شكل موجي (في هذه الحالة دورة واحدة للموجة الجيبية، ارتفاع ثم انخفاض) معين خلال ثانية واحدة.
t يعبر عن المتغير المستقل: الزمن (مقاساً بالثواني). كلما تغير الزمن يتغير تبعاً له الشكل الموجي.
φ يعبر عن الطور الخاص بالموجة الجيبية. يقيس الطور مدى تغير الشكل الموجي بالنسبة للزمن، وغالباً يُعطى رقماً يقع بين ٠ و ٣٦٠ ويقاس بالدرجات. بسبب الطبيعة الدورية للموجة الجيبية، إذا انتقل الشكل الموجي ٣٦٠° يصبح نفس الشكل الموجي مجدداً، أي كأنما تغير ٠°. للتبسيط سنفترض أن الطور يساوي ٠° في باقي هذا الدرس.
يمكننا استخدام مأخذ التيار الموجود في المنزل كمثال على الشكل الموجي للتيار المتردد. الطاقة الكهربية الموصلة للمنازل في الولايات المتحدة عبارة عن تيار متردد أقصى جهد له (سعته) V١٧٠ وتردده ٦٠Hz. يمكن إدخال هذه الأرقام في الدالة السابقة للحصول على المعادلة التالية (لاحظ أننا نفرض أن الطور يساوي ٠):

$$V(t) = 170\sin(2\pi 60t)$$

يمكننا أيضاً استخدام الآلة الحاسبة التي تقوم بمثيل الرسوم البيانية لتمثيل هذه المعادلة. إذا لم يكن لديك آلة حاسبة تقوم بتمثيل الرسوم البيانية يمكنك الاستعانة

ببرنامج من على الانترنت لرسم الرسوم البيانية مثل Desmos (لاحظ أنه ربما يجب عليك استخدام (y) بدلاً من (v) في المعادلة للتمثيل البياني).



من الرسم نلاحظ أن الجهد يرتفع إلى ١٧٠V ثم يهبط إلى -١٧٠V بشكل دوري، وتحدث ٦٠ دورة للموجة السينية كل ثانية. إذا كان يمكننا قياس الجهد الخاص بمأخذ التيار بواسطة راسم ذبذبات (oscilloscope) فهذا الرسم السابق هو ما سنشاهده. (تحذير: لا تحاول قياس جهد مأخذ التيار بواسطة راسم الذبذبات! لأن ذلك من المحتمل أن يتلف الجهاز).

ملحوظة: ربما تكون قد سمعت من قبل أن التيار المتردد في الولايات المتحدة ١٢٠V، هذا أيضاً صحيح. كيف ذلك؟ عندما نتحدث عن التيار المتردد، لأن الجهد يتغير بشكل دوري ثابت فعادة يكون من الأسهل استخدام المتوسط (average or mean). لتحقيق ذلك نقوم باستخدام طريقة تسمى جذر متوسط المربع ((Root mean squared (RMS). من المفيد استخدام جذر متوسط المربع مع التيار المتردد عند الحاجة لحساب القدرة الكهربية. في مثالنا السابق رغم أن الجهد يتراوح بين ١٧٠V و-١٧٠V إلا أن جذر متوسط المربع هو ١٢٠VV.

<u>تطبيقات</u>

مآخذ التيار في المنازل والمكاتب تحتوي في معظمها تيار متردد. هذا لأن توليد التيار المتردد ونقله عبر مسافات طويلة سهل نسبياً. في الجهود العالية (أكثر من ١١٠ ألف فولت) تُفقد طاقة أقل أثناء عملية نقل الكهرباء. كلما زاد الجهد قل التيار، وكلما قل التيار قلت الحرارة المتولدة في خطوط الكهرباء عالية الضغط نتيجة لمقاومتها. يمكن تحويل التيار المتردد من وإلى جهود عالية بسهولة باستخدام المحولات (transformers).

يستطيع التيار المتردد أيضاً تشغيل المحركات. المحركات والمولدات هي نفس الأجهزة تماماً، لكن المحركات تقوم بتحويل الطاقة الكهربية إلى طاقة ميكانيكية (إذا تمت إدارة محور محرك ما يتولد جهد كهربي عند طرفيه!). هذا مفيد للغاية في العديد من الأجهزة المنزلية مثل غسالات الصحون، الثلاجات، وغيرها الكثير من الأجهزة التي تعمل بالتيار المتردد.

ويسمى مسار تدفق التيار المتردد دائرة التيار المتردد . في دائرة التيار المتردد ، لا تكون قيمة الحجم واتجاه التيار والفولتية ثابتة ، بل تتغير في فترة زمنية منتظمة. ينتقل كموجة جيبية تكمل دورة واحدة نصف دورة موجبة ونصف سالبة وهي دالة الوقت (t) أو الزاوية = θ) وزن(

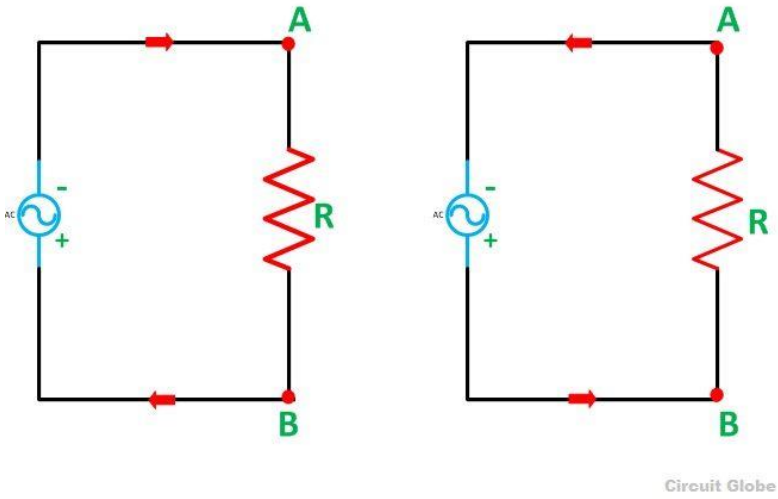
- في دائرة الرنين ، المعارضة لتدفق التيار هو المقاومة الوحيدة للدائرة في حين أن المعارضة لتدفق التيار في دائرة التيار المتردد هي بسبب المقاومة (R)، مفاعل الاستقرائي (XL= 2πfL) والمفاعلية بالسعة (XC = 1/2 πfCمن الدائرة.
- في حلبة التيار المتردد ، التيار و الفولتية يمثلها الحجم والاتجاه. قد تكون أو لا تكون الكمية المتناوبة في الطور مع بعضها البعض اعتمادًا على المعلمات

المختلفة للدائرة مثل المقاومة والحث والسعة الكميات المتناوبة الجيبية هي الجهد والتيار الذي يختلف حسب جيب الزاوية.θ

- لتوليد الطاقة الكهربائية ، في جميع أنحاء العالم ، يتم اختيار الجهد الجيبي والتيار بسبب الأسباب التالية أدناه.
  - ينتج الجهد والجهد الجيبيان خسائر منخفضة في الحديد والنحاس في المحولات والآلات الكهربائية الدوارة ، مما يؤدي بدوره إلى تحسين كفاءة آلات التيار المتردد.
  - أنها توفر أقل تدخل في نظام الاتصالات القريبة.
  - أنها تنتج أقل اضطراب في الدائرة الكهربائية.

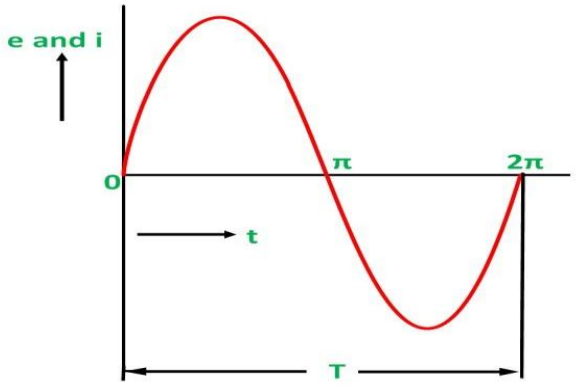
التيار المتردد والتيار في دائرة التيار المتردد

الجهد الذي يغير قطبية ويسمى الحجم في الفاصل الزمني العادي للوقت الجهد المتناوب. وبالمثل ، يتم تغيير اتجاه التيار وتغيير حجم التيار مع الوقت الذي يطلق عليه التيار المتناوب. عند توصيل مصدر جهد بديل عبر مقاومة الحمل كما هو موضح في الشكل أدناه ، يتدفق التيار خلاله في اتجاه واحد ثم في الاتجاه المعاكس عندما يتم عكس القطبية.



بالتناوب الرسم البياني الدارة الدائرة

فيما يلي الشكل الموجي للجهد المتناوب فيما يتعلق بالوقت والتيار في الدائرة (R) المتدفق عبر المقاومة



هناك أنواع مختلفة من الدوائر AC مثلAC دارة تحتوي فقط على مقاومة (R) ، دارة AC تحتوي على سعة فقط (C) ، دارة AC تحتوي على محاثة فقط (L) ، مزيج من RL Circuit ، دارة AC تحتوي على مقاومة وسعة (RC) ، دارة ACتحتوي على محاثة وسعة) ومقاومة الحث والسعة (RLC) دائرة.AC

المصطلحات المختلفة التي يتم استخدامها بشكل متكرر في حلبة AC هي كما يلي

- **سعة**

الحد الأقصى للقيمة الإيجابية أو السلبية التي تم تحقيقهامن خلال كمية متناوبة في دورة واحدة كاملة تسمى قيمة السعة أو القيمة القصوى أو القيمة القصوى. يتم تمثيل الحد الأقصى لقيمة الجهد والتيار بواسطةE م أو الخامسم و انام على التوالي.

- **تناوب**

وتسمى دورة واحدة نصف التناوب. فترة التناوب هي ١٨٠ درجة الكهربائية.

- **دورة**

عندما تكتمل مجموعة واحدة من القيم الموجبة والسالبة بكمية متناوبة أو عندما تمر بالكهرباء بمقدار ٣٦٠ درجة ، يُقال إنها تشتمل على دورة كاملة واحدة.

- **قيمة لحظية**

تسمى قيمة الجهد أو التيار في أي وقت من الأوقات قيمة لحظية. ويتم الإشارة إليها بواسطة i) أو.(e

- **تكرر**

يسمى عدد الدورات التي يتم إجراؤها في الثانية الواحدة بكمية متناوبة بالتردد. يتم قياسه في دورة في الثانية (c / s) أو hertz (Hz) ويتم الإشارة إليها بواسطة.(f)

- **فترة زمنية**

يسمى الوقت المستغرق بالثواني بالجهد أو التيار لإكمال دورة واحدة بالفترة الزمنية. يشار إليه بـ.(T)

- **شكل الموجة**

يسمى الشكل الذي تم الحصول عليه عن طريق رسم القيم الآنية لكمية متناوبة مثل الجهد والتيار على طول المحور y والوقت (t) أو الزاوية (θ = wt) على طول المحور x بالموجة.