جَامعة المَنارة
MANARA UNIVERSITY

الدارات الكهربائية
المحاضرة الثانية

أ.د. فادي غصنه

المواد في علم الهندسة الكهربائية

1. المادة الناقلة Conductors : في هذا النوع بتطبيق حقل كهربائي بسيط فإنه كاف لإعطاء طاقة لازمة لتحريك الالكترونات الحرة. حيث يكون إلكترونان حران لكل ذرة بشكل وسطي. كما أن تركيز الالكترونات يختلف من مادة ناقلة إلى مادة ناقلة أخرى. و تختلف المواد الناقلة في ناقليتها حسب المقاومة النوعية لهذه المواد. مثل النحاس، الحديد، الألمنيوم و غيرها من المعادن الناقلة للكهرباء.

المواد في علم الهندسة الكهربائية

2. المادة العازلة Insulator : في هذا النوع من المواد لا يوجد الكترونات حرة، هي المواد التي لا تسمح بمرور التيار الكهربائي وذلك بسبب تركيبها الداخلي والترابط القوي بين ذراتها. وخصائص المادة العازلة تعتمد على درجة نقاوة المادة. مثل الخشب، المطاط، الخزف و غيرها من المواد العازلة.

المواد في علم الهندسة الكهربائية

3. المادة نصف الناقلة Semiconductor : إن تركيز الالكترونات في المادة يعتمد على طبيعة المادة و على درجة الحرارة. من هذه المواد الجرمانيوم و السليسيوم التي تتدخل في صناعة الخلايا الكهروضوئية. إذاً هذه المواد تقع بين المواد الناقلة والمواد العازلة، المواد نصف الناقلة هي مواد عازلة في درجة الصفر المطلق) أي بمعنى أخر المواد نصف الناقلة وتحت تأثير درجة حرارتها تبدأ ناقليتها بالزيادة نتيجة تفكك الرابطة القوية بين ذراتها بفعل ازدياد درجة الحرارة.

الجسم المشحون

تتكون المادة من ذرات، ولكل ذرة تحتوي شحنات موجبة وأخرى سالبة لذلك فإن لكل مادة تحتوي عدداً كبيراً من الشحنات لكن ليس كل مادة مشحونة لأن كل ذرة في حالتها المستقرة تعتبر متعادلة كهربائية. وإذا انتزعت بعض الكتروناتها فإنها تصبح حاملة لفائض من الشحنات الموجبة .وإذا عممنا ذلك على جسم ما بحيث انتزعت الإلكترونات عدداً كبيراً من ذراته فإن هذا الجسم يصبح حاملاً لكمية كبيرة من الشحنات الموجبة الفائضة ويقال عن هذا الجسم عندها بأنه مشحون بشحنة موجبة أما إذا أعطيت الشحنات السالبة التي انتزعت من هذا الجسم إلى جسم آخر فإن هذا الأخير يصبح حاملاً لاً لفائض من الشحنات السالبة ويقال عندها أنه مشحون بشحنة سالبة. وعلى هذا يعرف الجسم المشحون بأنه ذلك الجسم الذي لديه فائض من الشحنات

الجسم المشحون

الموجبة أو السالبة. واصطلح في الماضي على أن الشحنة الموجبة هي التي تنتقل من جسم لآخر. إلى أنه وبعد اكتشاف التركيب الذري للمادة ومعرفة أن الشحنات السالب (الإلكترونية) هي التي تنتقل بسهولة من جسم لأخر فقد أصبح واضحاً أن علينا تغيير هذا الاصطلاح واعتبار أن الشحنة السالبة هي التي تنتقل فعلاً. وإذا نظرنا للموضوع من حيث النتيجة فإن فقدان الجسم لشحنة سالبة يكافئ اكتساب شحنة موجبة، وكذلك اكتساب نفس الجسم بشحنة سالبة يكافئ فقدانه بشحنة موجبة. وذلك ابقي على الاصطلاح السابق والقائل : لأن الشحنة الموجبة هي التي تنتقل من جسم لآخر مع إدراكنا أن ما يتم فعلا هو انتقال الشحنة السالبة.

العنصر الكهربائي

تحتوي أي دارة كهربائية على عناصر الدرة إما على توليد أو نقل أو استهلاك أو تحويل الطاقة الكهربائية إلى أشكال أخرى من الطاقة : مثلا الطاقة الضوئية تتحول إلى طاقة كهربائية بواسطة الألواح الكهروضوئية و كذلك تحول الطاقة الكهروكيميائية إلى طاقة كهربائية بواسطة المدخرات و بطاريات الهيدروجين وكذلك تحول الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية من خلال دوران المولدات .

العنصر الكهربائي

بالتالي عناصر الدارة الكهربائية تقسم إلى :

- عناصر مولدة للقدرة الكهربائية و تسمى بالعناصر الفعالة.
- عناصر مستهلكة للقدرة الكهربائية تسمى بالعناصر غير الفعالة.

يمكن أن نعتبر الدارة الكهربائية بأنها عبارة عن مجموعة من العناصر الفعالة وغير الفعالة الموصولة مع بعضها البعض بوساطة أسلاك التوصيل ذات المقاومة الكهربائية المهملة في كثير من الأحيان.

خصائص العناصر الكهربائية غير الفعالة

- إذا كان العنصر يتصف بإمكانية تجميع الشحنات على سطحه بتأثير المجال الكهربائي المطبق فإن الخاصية الغالبة عليه و هي الخاصية السعوية مثل "المكثف".
- إذا كان العنصر يبدي أثاراً مغناطيسية ظاهرة الحدوث أثناء مرور التيار و تشكل مجال مغناطيسي كما هو الحال بالنسبة لسلك ناقل ملفوف بعدد كبير من اللفات مثال على ذلك "الملف".
- أما إذا كان العنصر يبدي أثراً مقاوماً لمرور التيار الكهربائي، مثال على ذلك "المقاومة الكهربائية".

العناصر الكهربائية غير الفعالة

1-2-4-1 المقاومة الكهربائية

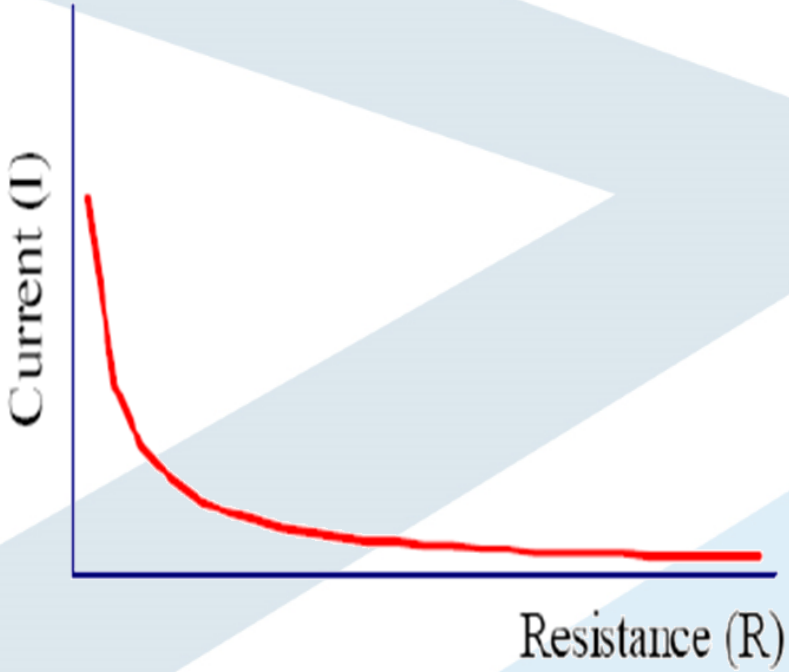
تعتبر المقاومة من العناصر الرئيسية المكونة للدارة الكهربائية، حيث تعتمد المقاومة على تركيب المادة المصنوعة منها باستثناء المقاومات التوترية و الحرارية و الضوئية. والمقاومة تمثل النسبة بين التوتر والتيار. وتعرف المقاومة الكهربائية بأنها المقاومة التي يبديها الناقل عند مرور التيار فيه، وتقاس بالأوم ohm ويرمز لها بالرمز Ω ، حيث انه كلما ازدات قيمة المقاومة تقل كمية التيار المار فيها والعكس صحيح، فمثلاً بعض المواد مثل البلاستيك والمطاط والخشب لها مقاومة كبيرة جداً وبالتالي تمنع مرور التيار خلالها، على عكس النحاس والذهب والفضة التي لها مقاومة صغيرة جداً وبالتالي تسمح بمرور التيار فيها. إذاً تعمل المقاومة على إعاقة التيار الكهربائي في الدارات الكهربائية ولذلك العلاقة بين التيار والمقاومة علاقة عكسية عند جهد ثابت والشكل $(1-11)$ يوضح هذه العلاقة.

العناصر الكهربائية غير الفعالة

تقوم المقاومة الكهربائية بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية تتناسب مع مربع التيار المار فيها وتعطى الطاقة بالعلاقة التالية : $I^2.R$. ويرمز للمقاومة بـــ R .

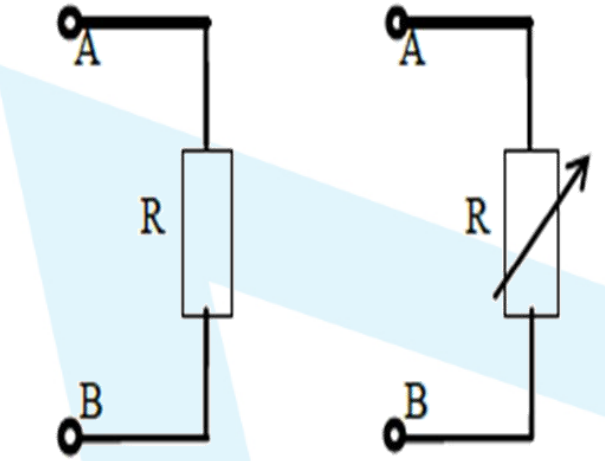
بتطبيق جهد كهربائي مقداره $U(V)$ على المقاومة سيؤدي إلى مرور تيار كهربائي قيمته $I(A)$ بالتالي تكون قيمة المقاومة $R=\frac{U}{I}=\frac{(V)}{(A)}=[\Omega]$.

العناصر الكهربائية غير الفعالة



الشكل (1–11) : العلاقة بين التيار والمقاومة

وتُمثل المقاومة في الدارات الكهربائية بالأشكال التالية:

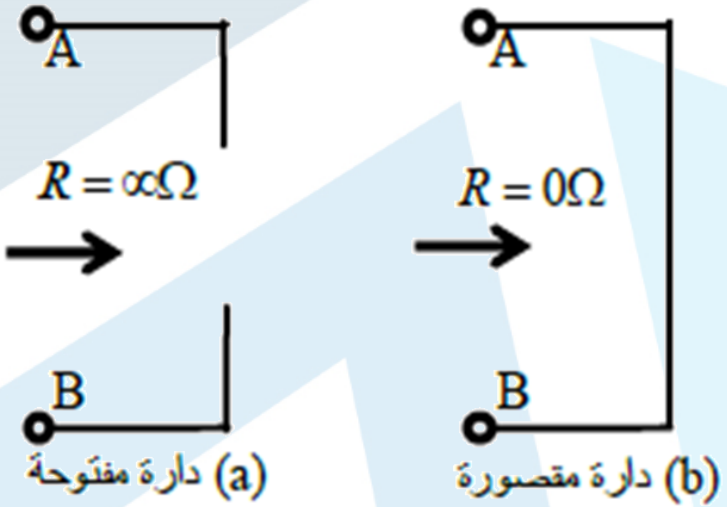


(a) مقاومة ذات قيمة ثابتة (b) مقاومة ذات قيمة متغيرة

الشكل (1–12) : المقاومة الكهربائية في الدارات الكهربائية

العناصر الكهربائية غير الفعالة

في حالة القصر تكون قيمة المقاومة مساوية إلى الصفر ($R=0[\Omega]$) أما في حال انقطاع الدارة (الدارة مفتوحة) تكون المقاومة الكهربائية لانهائية ($R=\infty[\Omega]$).



الشكل (1-13) : قصر الدارة وانقطاع الدارة

العناصر الكهربائية غير الفعالة

يمكن تحديد قيمة المقاومة الكهربائية لناقل كهربائي بدلالة أبعاد ذلك الناقل وفقاً للمعادلة التالية:

$$R = \rho \frac{l}{S} [\Omega] \qquad (7-1)$$

حيث أن:

l: طول الناقل Length و يقاس بواحدة الطول $[m]$

S: مقطع الناقل Cross-section Area و يقاس ب $[m^2]$

ρ: المقاومة النوعية للناقل $[\Omega.m]$

أما مقلوب المقاومة النوعية ρ يسمى بالناقلية الكهربائية $\sigma = \frac{1}{\rho}$ وتقاس ب $[moh]$.

العناصر الكهربائية غير الفعالة

كما أن الناقلية الكهربائية هي النسبة بين كثافة التيار J و شدة الحقل الكهربائي E من خلال العلاقة التالية:

$$\sigma = \frac{J}{E} \qquad (8-1)$$

كما أن قيمة الناقلية الكهربائية تتعلق بنوع المادة، ومن أجل مادة معينة فهي تتبع إلى درجة الحرارة.

سنفترض خلال الدراسة أن الناقلية الكهربائية σ لا تتعلق بكثافة التيار سيؤدي ذلك إلى أن العلاقة ما بين الجهد U المطبق على المقاومة R والتيار الكهربائي المار I هي علاقة خطية.

العناصر الكهربائية غير الفعالة

مثـــــال 1-4

ناقل نحاسي طوله $1Km$ ذو مقطع مستطيل $2.5\times0.05cm^2$ و إذا علمت أن $\rho=1.724\times10^{-8}[\Omega.m]$. فأوجد قيمة مقاومة الناقل.

بتطبيق العلاقة التالية نتمكن من حساب قيمة مقاومة الناقل:

$$R=\rho\frac{l}{S}=1.724\times10^{-8}\frac{1.10^{3}}{2.5\times0.05.10^{-4}}=1.38[\Omega]$$

العناصر الكهربائية غير الفعالة

مثـــــال 1 – 5

تضخ مضخة ماء إلى منزل يبعد عنها مسافة $11m$ فإذا كانت قيمة مقاومة الدارة الكهربائية التي تؤمن عمل المضخة تساوي 0.56Ω أوجد مقطع السلك الناقل علماً أن الدارة تتألف من سلكين. إذا علمت أن $\rho = 1.724\times10^{-8}[\Omega.m]$.

الحـــــل

بتطبيق العلاقة التالية

$$R = \rho\frac{l}{S} \Rightarrow S = \rho\frac{l}{R} = 1.724\times10^{-8}\times\frac{2\times11}{0.56} = 6.773\times10^{-7}\,m^2$$

العناصر الكهربائية غير الفعالة

معامل الحرارة للمقاومة

بشكل عام جميع المعادن النقية ترتفع مقاومتها بارتفاع درجة حرارتها ماعدا الكربون، أما بالنسبة للمواد العازلة فإن مقاومتها تنقص بارتفاع درجة حرارتها و يكون تغير المقاومة متناسباً مع تغير درجة الحرارة.

إذا افترضنا ما يلي:

R_0 : مقاومة الناقل عند درجة حرارة الصفر المئوي

R_1 : مقاومة الناقل عند درجة حرارة T_1

R_2 : مقاومة الناقل عند درجة حرارة T_2

اعتماداً على ذلك يمكن أن نكتب ما يلي:

$$\left.\begin{aligned} R_1 &= R_0(1+\alpha.T_1) \\ R_2 &= R_0(1+\alpha.T_2) \end{aligned}\right\} \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} = \frac{1+\alpha.T_1}{1+\alpha.T_2} \Rightarrow R_2 = R_1(1+\alpha.\Delta T) \qquad (9-1)$$

العناصر الكهربائية غير الفعالة

مثـــــال 1-6

مقاومة ناقل نحاسي عند درجة الحرارة $60C^0$ هي 50Ω . فأوجد قيمة المقاومة عند درجة حرارة $15C^0$. حيث معامل الحرارة للمقاومة $\alpha = \frac{1}{234.5}$.

الحـــــل:

بتطبيق العلاقة التالية

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{1+\alpha.T_1}{1+\alpha.T_2} \Rightarrow R_2 = R_1(1+\alpha.\Delta T) = 50.\left(1+\frac{1}{234.5}.(60-15)\right) = 41.5\Omega$$

العناصر الكهربائية غير الفعالة

الاستطاعة المصروفة في المقاومة

أن المقاومة الكهربائية تقوم بتحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية، بالتالي هي الاستطاعة المصروفة في المقاومة بسبب مرور التيار الكهربائي. كما هو معلوم فأن الاستطاعة هي ناتج جداء الجهد المطبق بالتيار المار و يعبر عن ذلك من خلال العلاقة التالية:

$$P[Watt] = U.I \Rightarrow P = R.I^2 = \frac{U^2}{R} \qquad (10-1)$$

و يمكن تعريف الاستطاعة على أنها العمل المنجز في واحدة الزمن: $P = \frac{W[Joul]}{t[\sec]}$

ويمكن أن تقاس الاستطاعة بالحصان البخاري $HP(HorsePower)$ حيث

$$1HP = 746Watt$$

أما المردود فيعبر عنه بالنسبة بين الطاقة المنتجة وبين الطاقة المقدمة: $\eta = \frac{P_{out}}{P_{inp}}$

العناصر الكهربائية غير الفعالة

مثـــــال 1 – 7

محرك كهربائي استطاعته $2HP$ يعمل بمردود 75% فما هي الاستطاعة المقدمة إليه بالواط. إذا كان تيار الدخل للمحرك هو $9.03A$. مع افتراض أن معامل الاستطاعة مساوياً للواحد $\cos\varphi = 1$. ما هو الجهد المطبق على المحرك؟.

الحـــــل:

بتطبيق العلاقة التالية:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow P_{in} = \frac{P_{out}}{\eta} = \frac{2 \times 746}{0.75} = 1989.4W$$

$$P_{in} = U.I.\cos\varphi \Rightarrow U = \frac{P_{in}}{I.\cos\varphi} = 220V$$

العناصر الكهربائية غير الفعالة

مثـــــال 1 – 8

ناقل نحاسي طوله $500m$ ذو المقطع $2mm^2$. يطبق بين طرفيه جهد مقداره $30mV$ والمطلوب:

1- حساب التيار المار في ناقل النحاس علماً أن $\rho = 1.724 \times 10^{-8} [\Omega.m]$

2- حساب التيار المار في ناقل الألمنيوم له نفس أبعاد ناقل النحاس علماً أن

$$\rho_{Al} = 2.63 \times 10^{-8} [\Omega.m]$$

3- حساب مقطع سلك الألمنيوم الذي من أجله يسري نفس التيار في الناقلين.

العناصر الكهربائية غير الفعالة

الحـــــل:

1- مقاومة ناقل النحاس تحسب من خلال العلاقة التالية:

$$R_{cu} = \rho_{cu} \frac{l}{S_{cu}} = 1.724 \times 10^{-8} \frac{500}{2 \times 10^{-6}} = 4.31\Omega$$

التيار المار في ناقل النحاس: $$I = \frac{U}{R_{cu}} = \frac{30 \times 10^{-3}}{4.31} = 6.96mA$$

2- مقاومة ناقل الألمنيوم

$$R_{Al} = \rho_{Al} \frac{l}{S_{Al}} = 2.63 \times 10^{-8} \frac{500}{2 \times 10^{-6}} = 6.575\Omega$$

التيار المار في ناقل الألمنيوم: $$I = \frac{U}{R_{Al}} = \frac{30 \times 10^{-3}}{6.575} = 4.56mA$$

العناصر الكهربائية غير الفعالة

3- مقطع سلك الألمنيوم: حتى يسري نفس التيار في سلك النحاس و أخر في سلك الألمنيوم لهما نفس الطول يجب أن تتساوى مقاومتهما:

$$R_{cu} = R_{Al} \Rightarrow \rho_{cu}\frac{l}{S_{cu}} = \rho_{Al}\frac{l}{S_{Al}} \Rightarrow$$

$$S_{Al} = S_{cu}\frac{\rho_{Al}}{\rho_{cu}} = 2\times10^{-6}\frac{2.63\times10^{-8}}{1.724\times10^{-8}} = 3.051mm^2$$

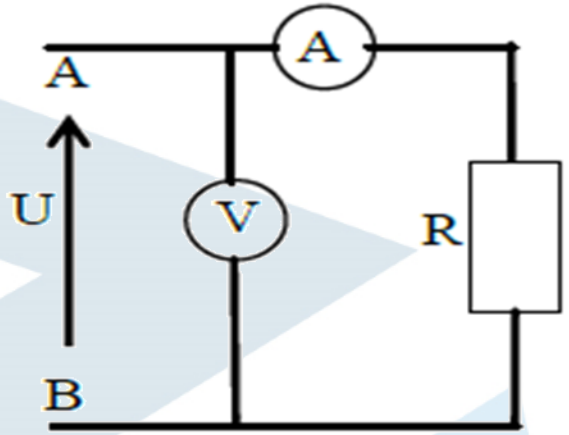
العناصر الكهربائية غير الفعالة

قياس قيمة المقاومة الكهربائية

يمكن تحديد قيمة المقاومة الكهربائية بواسطة الطرق التالية:

1. حساب قيمة المقاومة عند معرفة أبعاد الناقل (طول الناقل و مقطعه) و ناقليته الكهربائية النوعية وذلك من خلال العلاقة التالية : $R = \rho \frac{l}{S}$.
2. قياس قيمة المقاومة باستخدام جهاز القياس الملتيميتر (افومتر). عند القياس يجب أن تكون المقاومة خارج التوتر (الدارة مفتوحة). بالتالي عند القياس يجب قطع التغذية الكهربائية. في حال وجود المقاومة المراد قياسها ضمن دارة فيجب عندئذ فك لحام أحد أطراف المقاومة ومن ثم إجراء القياس وذلك حتى لا نقيس المقاومات المربوطة على التفرع مع المقاومة المراد قياسها.

العناصر الكهربائية غير الفعالة



الشكل (1 – 14) : قياس المقاومة بواسطة جهاز القياس

حيث يتم القياس بربط طرفي المقاومة إلى المقياس ولا يوجد اتجاه محدد للربط لأن المقاومة ذات اتجاهين ولكن يجب عند القياس تجنب لمس المقاومة كي لا تتغير قيمتها.

3. يمكن استخراج قيمة المقاومة بدلالة الألوان الموجدة على سطحها و ذلك باستخدام الجدول التالي:

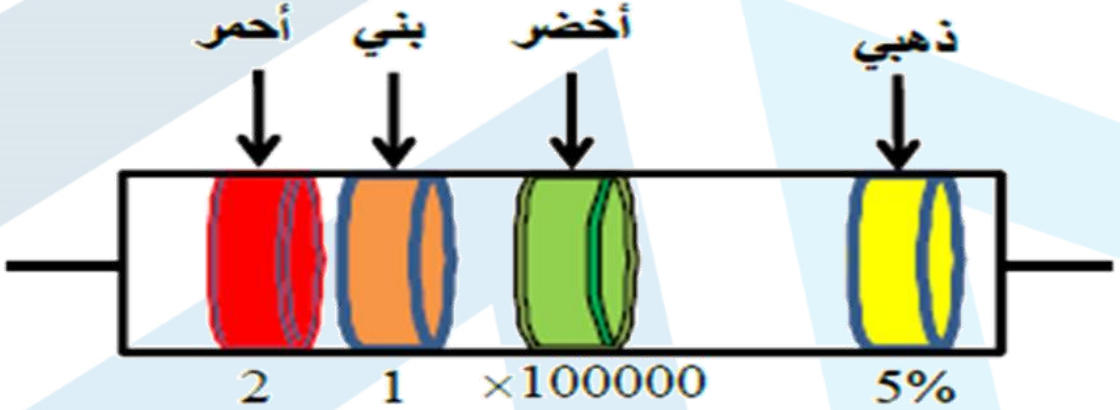
العناصر الكهربائية غير الفعالة

اللون	اللون الأول	اللون الثاني	اللون الثالث (عامل الضرب)	سماحية الخطأ
أسود	0	0	1	–
بني	1	1	10	–
أحمر	2	2	100	–
برتقالي	3	3	1000	–
أصفر	4	4	10000	–
أخضر	5	5	100000	–
أزرق	6	6	1000000	–
بنفسجي	7	7	–	–
رمادي	8	8	–	–
أبيض	9	9	–	–
فضي	–	–	–	±10%
ذهبي	–	–	–	±5%

الجدول (1 – 3)

العناصر الكهربائية غير الفعالة

قيمة المقاومة الناتجة تعطى بالأوم. سنوضح استخراج قيمة المقاومة بدلالة الألوان الموجودة على سطحها من خلال المثال التالي حيث تتم قراءة الألوان من اليسار إلى اليمين، فاللون الأول من اليسار يشير إلى رقم الآحاد و اللون الثاني يمثل مرتبة العشرات أما اللون الثالث هو معامل الضرب أما اللون الرابع (من اليمين) يشير إلى سماحية الخطأ.



$$R = 2100000\Omega \pm 5\%$$

الشكل $(15-1)$

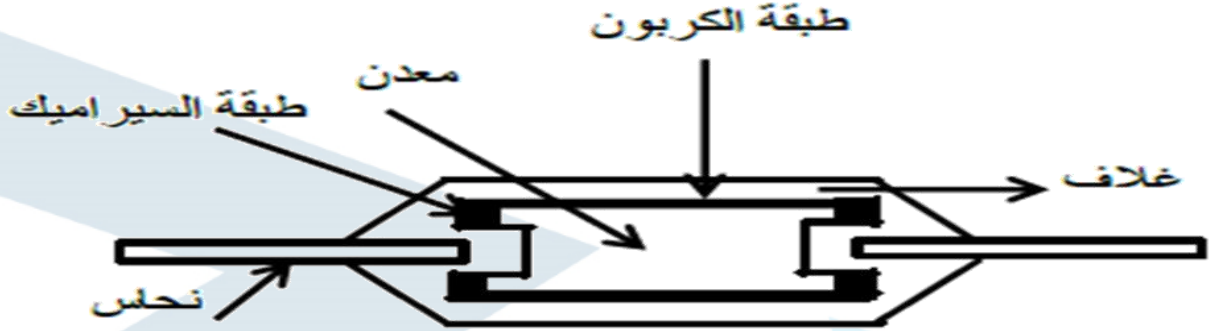
العناصر الكهربائية غير الفعالة

تركيب المقاومة وأنواعها

المواد المستخدمة في تركيب المقاومة هي الكربون بشكل أساسي، سواء على شكل كتلة أو على شكل طبقة سطحية. وذلك من أجل الحد من الضجيج وأثار أخرى. للمقاومة الكهربائية لها عدة أنواع منها:

- المقاومات الكربونية: حيث يعتبر هذا النوع من المقاومات الأكثر انتشارا واستخداما، ويرجع ذلك للمادة المستخدمة في تصنيعها وهي الكربون.
- مقاومات تتكون من خليط من الكربون و المواد العازلة (الباكليت) والنسبة المئوية للكربون في تركيب المقاومة تحدد قيمة المقاومة.
- مقاومات من طبقات الكربون: مصنوعة من كربون الغلاف الجوي الهيدروكربوني ومواد الانحلال الحراري (غاز الميتان، البيوتان أو البنزين). يترسب الكربون على قضبان صغيرة كما هو موضح بالشكل التالي:

العناصر الكهربائية غير الفعالة



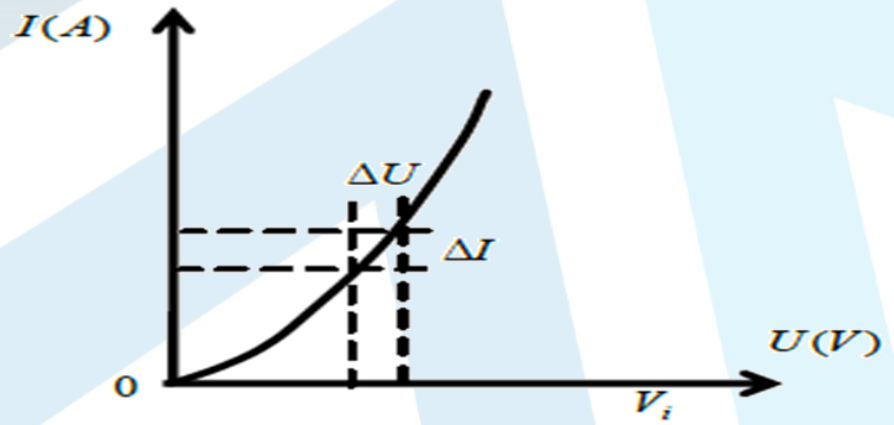
الشكل $(1-16)$: المقاومة الكربونية

- مقاومات من طبقات معدنية (صفائح معدنية). تتكون من سبيكة ورق من النيكل–الكروم.
- مقاومة ملفوفة: حيث تتراوح قيمها من عدة أومات إلى عدة ألاف الأومات، مصنوعة من أسلاك النيكل–الكروم والنحاس–النيكل. تلف الأسلاك على عازل من السيراميك.
- مقاومات مصنوعة من الخزف.
- مقاومات سميكة: تصل قيمتها حتى $1M\Omega$ مصنوعة من عجينة الزجاج والمعادن النبيلة عن طريق طباعتها على شاشة على دعامة الالومينا. من ثم توضع في درجات حرارة عالية.

العناصر الكهربائية غير الفعالة

- مقاومات تعديل: تستخدم عندما يكون من الضروري تغيير قيمة المقاومة ويكون ذلك إما بشكل خطي أو بشكل دائري أو دوار. وهذا النوع تصنع من الباكليت والكربون.
- المقاومة الديناميكية: تعرف المقاومة الديناميكية بأنها عامل ازدياد التوتر مع التيار وفق العلاقة التالية: $r = \frac{\Delta U}{\Delta I}$ $[\Omega]$

مثلاً في حالة دراسة خصائص توتر–تيار لعنصر لاخطي مثل الديود، فأن المقاومة الديناميكية تظهر بالشكل التالي:

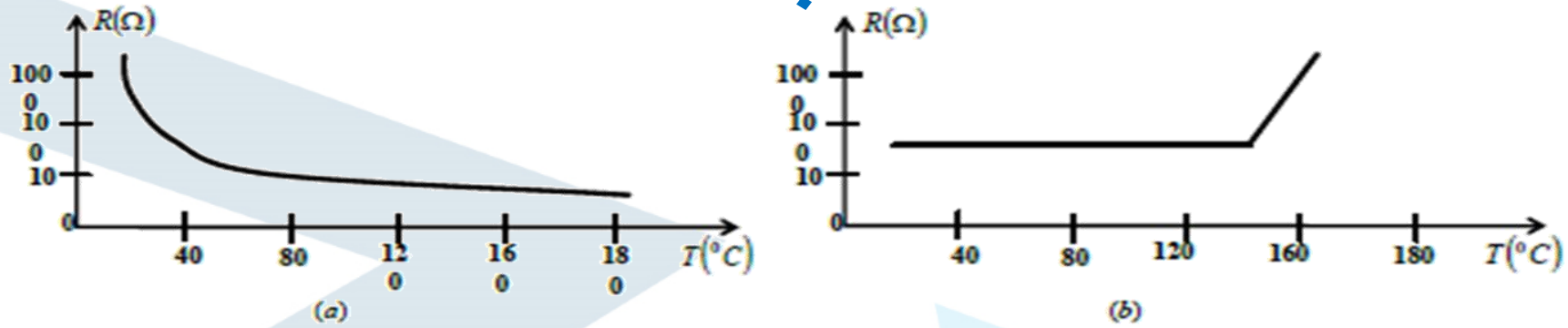


الشكل $(17-1)$: خصائص توتر–تيار لعنصر لاخطي

العناصر الكهربائية غير الفعالة

- المقاومات الضوئية Opto-photo-Resistors : نجد أن قيمة المقاومة تنقص عند تسليط الضوء على سطحها، و تزداد قيمة هذه المقاومة عند حجب الضوء عنها، وتصل قيمتها إلى قيمة كبيرة جدا عندئذ.
- المقاومات الحرارية Thermal-Resistors : تعتمد قيمة هذه المقاومات على الحرارة، حيث أن قيمتها تقل عند زيادة درجة الحرارة. أما إذا انخفضت درجة الحرارة فان قيمة المقاومة الحرارية تزداد. يمثل الشكل $(a18-1)$ عمل المقاومة الحرارية كتابع لدرجة الحرارة.
- المقاومات التوترية: تصنع من أنصاف النواقل و تتصف بأن قيمتها تنخفض بازدياد التوتر المطبق عليها و تستخدم في الحماية من زيادات الجهد.

العناصر الكهربائية غير الفعالة



الشكل $(1-18)$: العلاقة بين المقاومة الحرارية و درجة الحرارة

كما أن هناك نوعاً من المقاومات الحرارية تبقى قيمتها ثابتة عند قيمة معينة من درجة الحرارة وتزداد قيمة معينة من درجة الحرارة و تزداد زيادة مفاجئة عند زيادة درجة الحرارة عن هذه القيمة.الشكل $(1-18b)$.

- المقاومات التي تعتمد قيمته على التوتر (الجهد) Voltage Dependent Resistors يرمز لهذه المقاومات بالرمز VDR، وهذه المقاومات تقل قيمتها بزيادة الجهد المطبق.

العناصر الكهربائية غير الفعالة

الناقلية يرمز لها بالرمز G وتقاس بالسيمنس والذي يكافئ أمبير لكل فولت، وهي مقلوب المقاومة أي أن :

$$G = \frac{1}{R} \qquad (11-1)$$

نجد أن مع زيادة قيمة الناقلية فأن قيمة المقاومة تنخفض والعكس صحيح