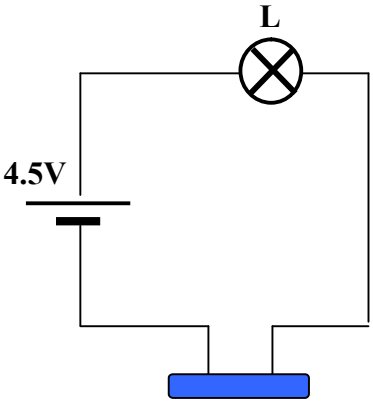
متقن أحمد البيروني * مفتية

1

مراجعة المفاهيم المكتسبة

1ـ النواقل و العوازل :



النشاط الأول : ندرج أجساما من مواد مختلفة في دارة كهربائية.
نغذي مصباح صغير ببطارية 4.5V و نترك الدارة مفتوحة للقيام ببعض التجارب.

ـ نغلق الدارة بطبشور كما توضح الصورة المقابلة .

ماذا نلاحظ ؟

نلاحظ أن المصباح لا يشتعل . إذن الطبشور عازل.

ـ نعوض قطعة الطبشور بقطعة من الحديد .

ماذا نلاحظ ؟

نلاحظ أن المصباح يشتعل . إذن الحديد ناقل.

النتائج:

الجسم	المصباح
البلاستيك	لا يضيء
الخشب	
الورق	
الزجاج	
المطاط	
الخيوط	

عوازل كهربائية

الجسم	المصباح
الفولاذ	يضيء
الألمنيوم	
الفضة	
الذهب	
الحديد	
النحاس	

نواقل كهربائية

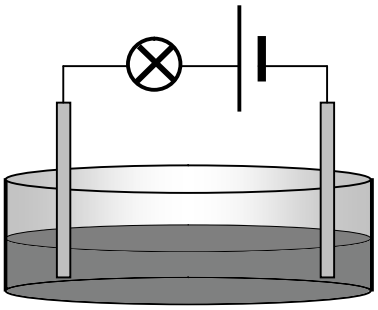
نلاحظ أن مصباح الدارة تارة يضيء وتارة أخرى لا يضيء،لذا نستنتج أن الأجسام تصنف كهربائيا إلى:
أجسام تتكون من مواد موصلة لأنها تسمح بمرور التيار الكهربائي .
أجسام تتكون من مواد عازلة لأنها لا تسمح بمرور التيار الكهربائي .

الجدول التالي يتضمن قائمة ببعض المواد الموصلة و العازلة .

المواد العازلة	المواد الموصلة
البلاستيك ، الخشب ، الصوف ، الورق ، الزجاج ، الخيوط ، المطاط.	النحاس ، الحديد ، الفضة ، القصدير ،فولاذ، الألمنيوم ، الذهب ،الزئبق ،الكربون.

ملاحظة :

- إن المعادن مواد موصلة وغير المعادن مواد عازلة (باستثناء الكربون) .
- تختلف جودة توصيل الكهرباء من معدن لآخر، و يعتبر معدن الفضة أحسنها توصيلا للكهرباء.
- تستخدم المواد الموصلة لنقل التيار الكهربائي.
- تستخدم المواد العازلة للحماية. فمثلاً تُغطى أدوات التوصيل الكهربائي بمواد عازلة مثل المطاط والبلاستيك.
- جسم الإنسان ناقل ضعيف للتيار الكهربائي.



هل الماء و الهواء موصلان للتيار الكهربائي؟

النشاط الثاني : (أنظر التقليد بالفلاش)

ماذا نلاحظ ؟

نلاحظ أن المصباح يشتعل . إذن الماء ناقل.

- **الهواء مادة عازلة بشكل طبيعي.**
- **الماء المقطر مادة عازلة ،بينما الماء المالح مادة موصلة قوية.**

ملحوظة

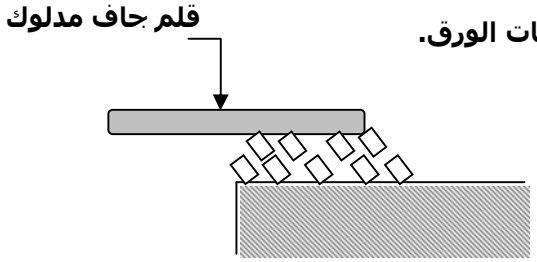
- **يصبح الهواء موصلا في حالة الصاعقة.**
- **يستطيع الماء حمل تيار كهربائي كبير لدرجة أنه يستطيع قتل إنسان.**

2ـ مفهوم الشحنة الكهربائية :

ربما تساءلت مرات و مرات عن ماهية الكهرباء؟ و ما معنى شحنات كهربائية موجبة و أخرى سالبة ؟
للإجابة على هذا التساؤل إليك النشاط التالي :

نشاط :

1- **أدلك قلمك الجاف بواسطة قطعة من الصوف و قربها من قصاصات الورق.**



ماذا نلاحظ ؟

نلاحظ انجذاب قصاصات الورق نحو القلم الجاف المدلوك .

2 - **أعد نفس التجربة و لكن باستعمال قضيب حديدي .**

ماذا نلاحظ ؟

نلاحظ أن قصاصات الورق لا تنجذب نحو القضيب الحديدي المدلوك .

الاستنتاج :

هناك مواد عند دلكها بقطعة الصوف تكتسب خاصية جذب قصاصات الورق. و هناك عند دلكها بقطعة الصوف لا تكتسب هذه الخاصية.

فما سبب هذا الاختلاف في المواد ؟

إن هذا الاختلاف في تأثير المواد يرجع إلى وجود ما يسمى بالشحنات الكهربائية و هي المسؤولة عن نشوء قوى التنافر و التجاذب بين هذه الأجسام المدلوكة.

اصطلاح : **اصطلح العلماء على :**

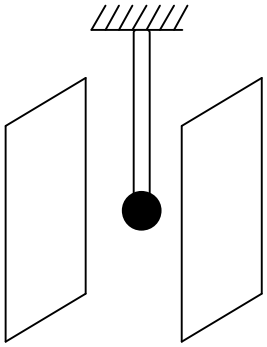
- **تسمية الشحنة الكهربائية التي يشحن بها القضيب الذي لا يجذب القصاصات بالشحنة الموجبة (+).**
- **تسمية الشحنة الكهربائية التي يشحن بها القضيب الذي يجذب القصاصات بالشحنة السالبة (-).**

ما هي خواص الشحنة الكهربائية ؟

- **هي كمية من الكهرباء من نوع (+) أو من نوع (-) .**
- **تتميز الشحنة الكهربائية بوحدة تسمى " الكولوم" « Coulomb »**
- **يمكن لهذه الشحنة الكهربائية أن تحمل بواسطة عدة دقائق صغيرة تسمى (حاملات الشحنة الكهربائية) فمثلا :**
  - **الإلكترون : يحمل شحنة كهربائية من النوع السالب (-)**
  - **البروتون : يحمل شحنة كهربائية من النوع الموجب (+).**

و لقد استطاع العالم " ميلكان" أن يحدد قيمة الشحنة الكهربائية التي يحملها الإلكترون فوجدها تساوي $-1.6\ 10^{-19}C$

3- الحقل الكهربائي :



نشاط : نأخذ سطحين كما يوضح الشكل.

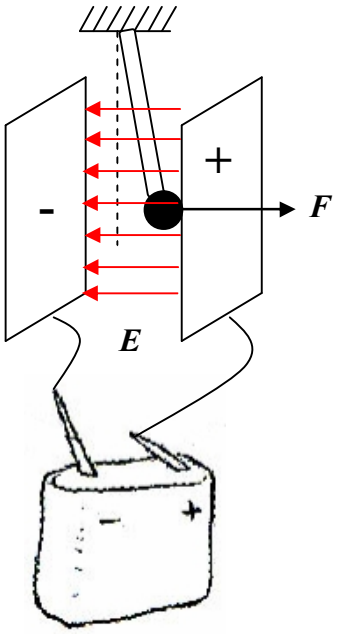
- نعلق كرة مدلوكة بواسطة قطعة من الصوف بين الصفيحتين .

ماذا نلاحظ ؟

نلاحظ أن الكرة تظل ثابتة في مكانها.

- نشحن السطحين بشحنتين مختلفتين . و ندلك الكرة بواسطة قطعة من الصوف.

ماذا نلاحظ ؟



نلاحظ انحراف الجملة (خيط + كرة) بزاوية α

الاستنتاج :

الحقل الكهربائي هو الذي تسبب وجود قوة كهربائية أدت إلى تحرك الكرة.

تعريف :

يوجد حقل كهربائي في منطقة من الفضاء إذا وجدت في ذلك المكان شحنة كهربائية و خضعت إلى تأثير قوة كهربائية.

الحقل الكهربائي يساوي :

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (N/C)$$

ملاحظة :

- إذا كانت $q_0>0$ فإن الحقل الكهربائي و القوة الكهربائية لهما نفس الاتجاه.
- إذا كانت $q_0<0$ فإن الحقل الكهربائي و القوة الكهربائية لهما اتجاهين مختلفين.

4- كمية الكهرباء :

خلال عملية التكهرب بالاحتكاك تظهر على الأجسام شحنات كهربائية موجبة و سالبة، و للتعبير عن هذا التكهرب نستعمل مفهوم كمية الكهرباء من أجل حسابها و تقديرها.

نرمز لكمية الكهرباء بـ : Q أو q

وحدة كمية الكهرباء في النظام العالمي للوحدات هي " الكولوم" « Coulomb »

كمية الكهرباء تساوي :

$$q = n \cdot |e^-|$$

حيث :

n : عدد الالكترونات المارة عبر مقطع معين.

e^- : شحنة الإلكترون.

q : كمية الكهرباء .(Coulomb)

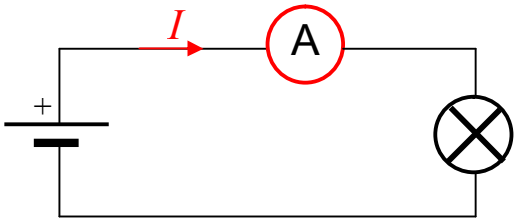
5- التيار الكهربائي :

شدة التيار الكهربائي هي كمية الشحنة الكهربائية المارة عبر مقطع من سلك خلال فاصل زمني قدره « t » و نرمز لها بالرمز « I » و تعرف بالعلاقة التالية :

$$I = \frac{q}{t}$$

وحدة شدة التيار الكهربائي في النظام العالمي للوحدات هي " الأمبير" « Ampère » (A) في حالة q "بالكولوم" « Coulomb » و t "بالثانية" « second »

تقاس شدة التيار الكهربائي بجهاز الأمبير متر « L' Ampèremètre » الذي يربط على التسلسل .

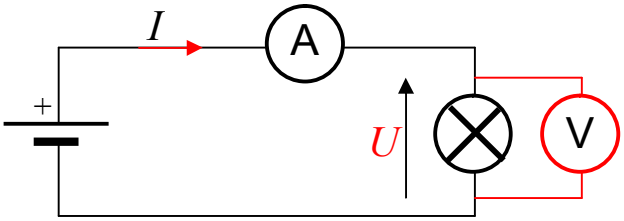


6- التوتر الكهربائي :

بين قطبي بطارية ما يوجد فرق في كثافة الالكترونات الحرة، فالقطب الموجب يفتقر إلى الالكترونات ، بينما يتميز القطب السالب بكثافة عالية للالكترونات، و يعرف هذا الفرق في كثافة الالكترونات باسم فرق الكمون أو التوتر الكهربائي .

وحدة التوتر الكهربائي هي الفولط « Volt » (V)

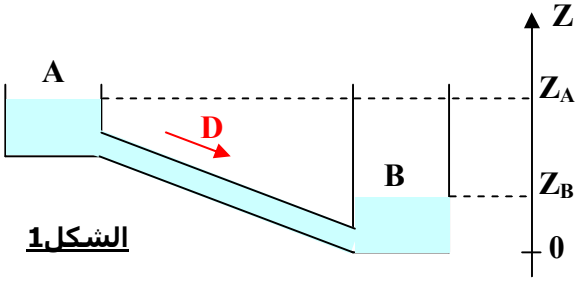
يقاس التوتر الكهربائي بجهاز الفولطمتر « Le Voltmètre » الذي يربط على التفرع.



7- تمثيل التيار و التوتر :

نشاط : يمكن مقارنة التيار الكهربائي في سلك ناقل بتيار مائي في أنبوب ، و شدة التيار « I » تكافؤ غزارة الماء « D » .

أنظر الشكل المقابل . التيار المائي بين وعاءين A و B يربط بينهما أنبوب لا يمكن أن يحدث تلقائيا إلا إذا كان هناك فرق في المستوى بين A و B . (الشكل1)



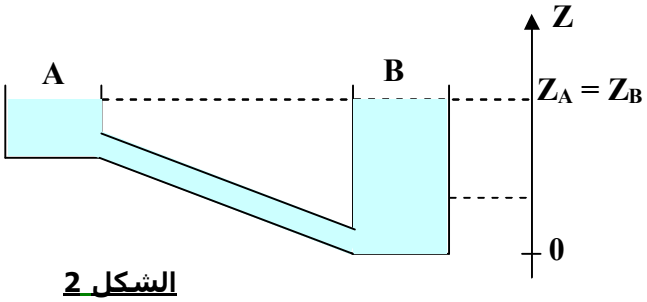
الشكل1

متى يتوقف تيار الماء؟

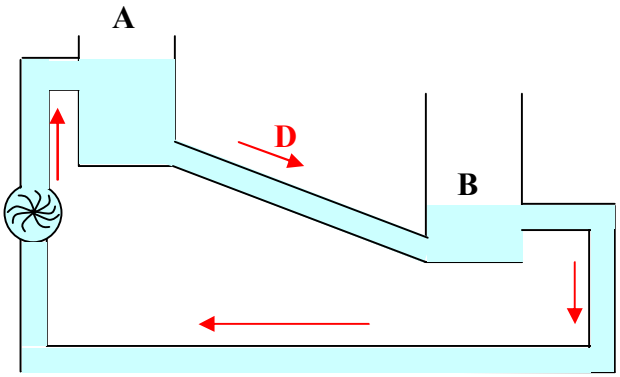
يتوقف تيار الماء عندما يصبح الفرق بين المستويين معدوم أي $h_{AB} = Z_A - Z_B = 0$ (الشكل2)

كيف يمكننا إبقاء غزارة الماء ثابتة؟

لإبقاء غزارة الماء ثابتة يمكن مثلا ضخ الماء من المستوى B و إرجاعه إلى A.
المضخة هي التي تعمل على إبقاء الفرق في المستوى h_{AB}
(الشكل3)



الشكل 2

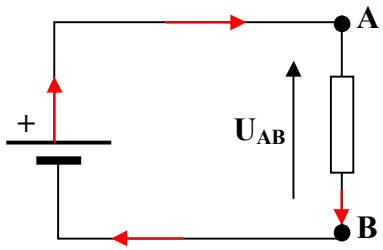


الشكل3

بالمثل:

لإبقاء التيار الكهربائي ذو شدة ثابتة بين A و B في ناقل AB ، يمكن مثلا استعمال بطارية تضمن تنقل دائم للإلكترونات من B نحو A في هذا الناقل. (الشكل4)

- **البطارية تلعب دور المضخة.**
- **المضخة تحافظ على المستوى h_{AB} و البطارية تحافظ على التوتر الكهربائي U_{AB} بين النقطتين A و B .**



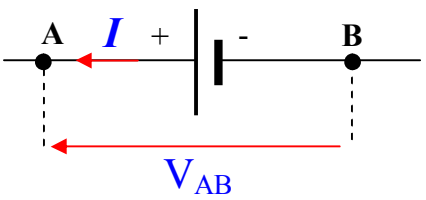
الشكل4

الاستنتاج :

نعلم أن المولد يسبب فرق كمون بين طرفيه يعمل على تحريك الشحنة الكهربائية حركة مستمرة.

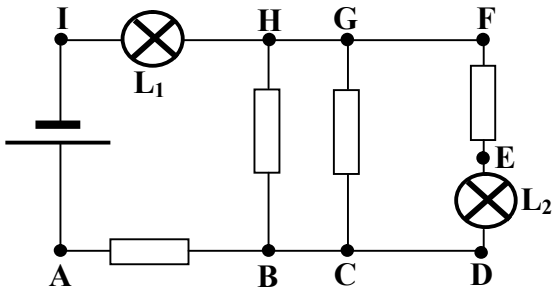
اصطلح العلماء على أن :

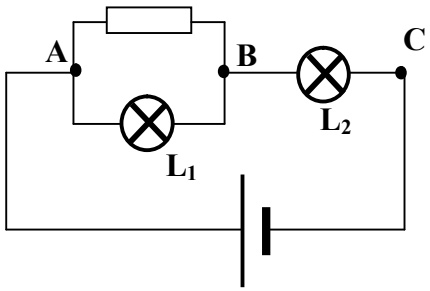
- **تمثيل فرق الكمون بسهم و من الأحسن أن يكون بلون خاص بدايته هي النقطة ذات الكمون المنخفض و نهايته (رأس السهم) يتجه إلى جهة الكمون المرتفع .**
- **تمثيل التيار الكهربائي بسهم يخرج من القطب الموجب للمولد و يدخل من القطب السالب للمولد.**



تمرين :

مثل التوترات بين طرفي المصباحين L_1 و L_2 و مثل التيارات التي تعبر الدارات التالية.



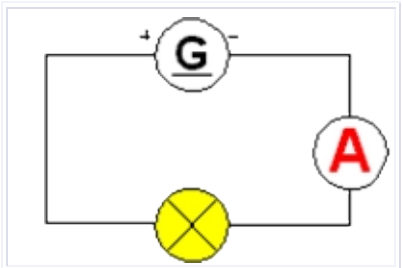


8- المقاومة الكهربائية :

1 – مفهوم المقاومة :

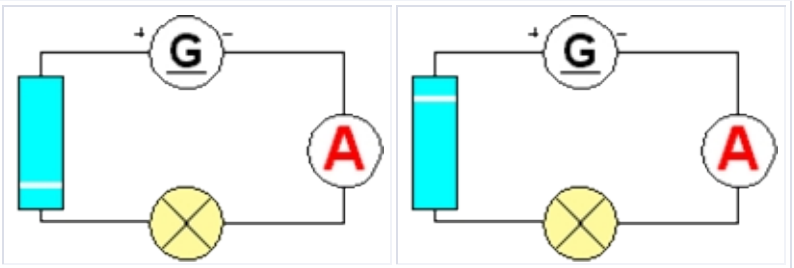
نشاط

ننجز دارة كهربائية مكونة من مولد تيار مستمر ومصباح وأمبيرمتر.



I = 200 mA

نضيف إلى التركيب السابق ناقلا أوميا على التوالي.



I = 108 mA **I = 108 mA**

نلاحظ:

- **أنه عند إدراج الناقل الأومي في دارة كهربائية فإنه يعيق مرور التيار الكهربائي.**
- **أن للناقل الأومي مربطان مماثلان.**
- **الناقل الأومي ثنائي قطب يقاوم التيار الكهربائي في الدارة بحيث يضعف من شدته لذا نقول: أن للناقل الأومي مقاومة كهربائية، يرمز لها بـ R ، وحدتها في النظام العالمي الأوم (Ohm)رمزها (Ω) "Oméga".**

ملحوظة:

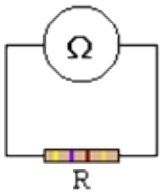
- يرمز للناقل الأومي بـ :

- تتناقص شدة التيار المار في دارة كهربائية كلما كانت قيمة المقاومة كبيرة.
- إضافة إلى وحدة الأوم نستعمل أيضا مضاعفاتها وأجزاءها :

MΩ mégaohm			kΩ kiloohm			Ω ohm			mΩ milliohm

2- قياس وتحديد المقاومة

قياس المقاومة



لقياس المقاومة نستعمل جهاز أومتر Ohmmètre حيث يتم ربط مربطيه بمربطي الناقل الأومي، فتقرأ قيمة المقاومة مباشرة على شاشة الجهاز.

تحديد المقاومة

يتم تحديد قيمة مقاومة باستعمال الترقيم العالمي للمقاومة

اللون	اسود	بني	أحمر	برتقالي	أصفر	أخضر	أزرق	بنفسجي	رمادي	أبيض
الرقم	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

لتحديد المقاومة نتبع الخطوات التالية:

- توضع المقاومة بحيث تكون الحلقات الملونة على اليسار
- يدل اللون الأول من اليسار على الرقم الأول
- يدل اللون الثاني من اليسار على الرقم الثاني
- يدل لون الحلقة الثالثة على عدد الأصفار
- يدل اللون الرابع على نسبة الدقة :

❖ اللون الفضي = ± 10% ، اللون الذهبي = ±5%

❖ اللون البني = ± 1% ، اللون الأحمر = ± 2 %

مثلا:

$R = 25 . 10^3 \Omega \pm 10\%$

$R = 25 K \Omega \pm 10\%$

تطبيق :

حدد قيمة R المميزة للموصلات الأومية التالية:

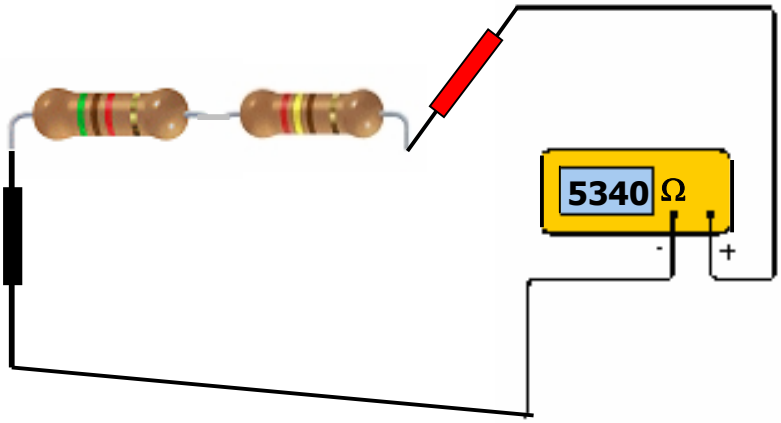
9- جمع المقاومات :

1 – جمع المقاومات على التسلسل :

نشاط :

نقيس المقاومتين المربوطتين على التسلسل حيث قيمة إحدى المقاومات 5100Ω و قيمة المقاومة الأخرى 240Ω . باستعمال جهاز الأوم متر.

فوجدنا القيمة التالية : 5340 Ω

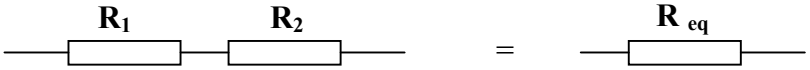


ملاحظة :

القيمة التي يشير لها جهاز الأوم متر هي قيمة مجموع المقاومتين.

نتيجة :

قيمة المقاومة المكافئة لمقاومتين مربوطتين على التسلسل في دارة كهربائية هي مجموع قيمتي هاتين المقاومتين.



$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

تعميم :

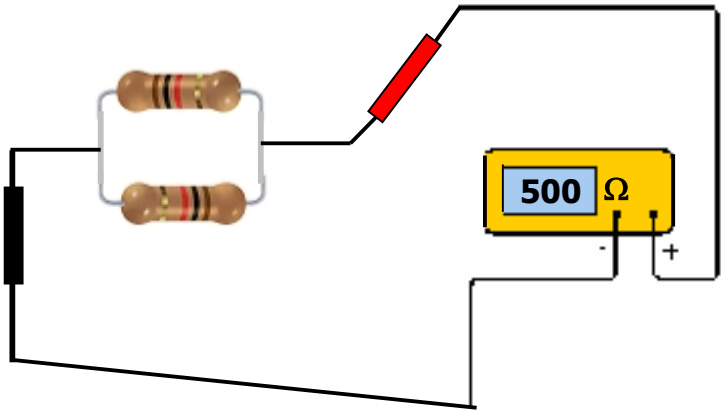
إذا احتوت الدارة على « n » مقاومة مربوطة على التسلسل فإن المقاومة المكافئة تساوي :

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots\ldots\ldots + R_n$$

2 – جمع المقاومات على التفرع :

نشاط:

نقيس باستعمال جهاز الأوم متر مقاومتين مربوطتين على التفرع حيث قيمة كل منها 1000Ω .



فنجد القيمة التالية : 500 Ω

كيف يمكننا الحصول على هذه القيمة حسابيا ؟

توقع :

قد يجيب أحد التلاميذ أن المقاومة المكافئة لمقاومتين مربوطتين على التفرع هي نصف إحدى المقاومتين.

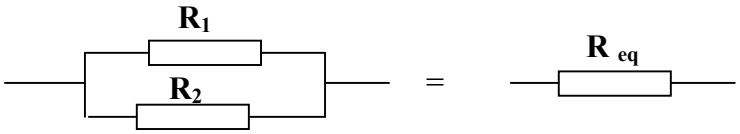
قبل إعطاء العلاقة نأخذ مقاومتين لها قيمتين مختلفين و نقوم بنفس النشاط السابق.

مثلا :

$R_1 = 100\Omega$ و $R_2 = 150\Omega$ فنجد : $R_{eq} = 60\Omega$

نتيجة :

قيمة المقاومة المكافئة لمقاومتين مربوطتين على التفرع في دارة كهربائية تحسب بالعلاقة التالية :



$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

تعميم :

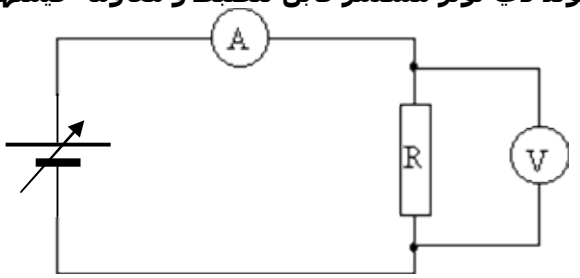
إذا احتوت الدارة على « n » مقاومة مربوطة على التفرع فإن المقاومة المكافئة تساوي :

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots\cdots\cdots + \frac{1}{R_n}$$

10- قانون أوم :

نشاط:

ننجز دارة كهربائية مكونة من مولد ذي توتر مستمر قابل للضبط و مقاومة قيمتها $R=25\ \Omega$.

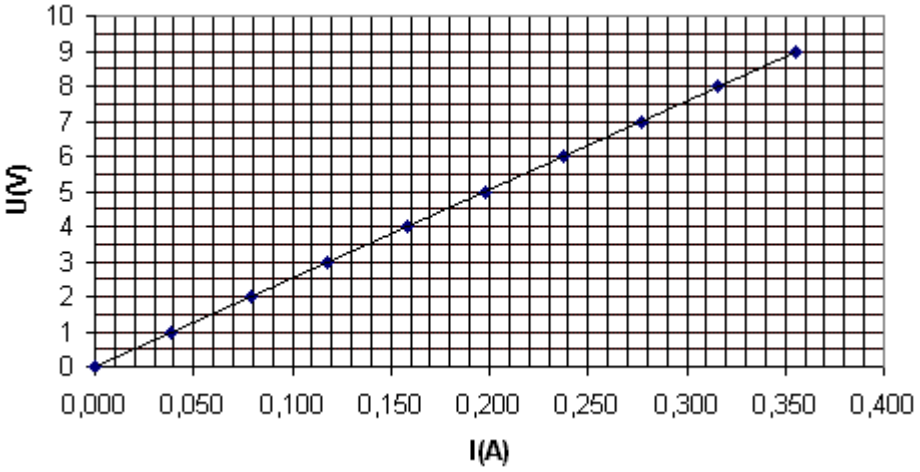


نغير توتر المولد ونقيس في كل حالة شدة التيار المار في الدارة والتوتر بين طرفي المقاومة.

ندون النتائج المحصل عليها في الجدول التالي:

التوتر(V) U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
شدة التيار (A) I	0	0,039	0,079	0,118	0,160	0,198	0,2 38	0,277	0,316	0,355

نرسم المنحنى الممثل لتغير التوتر U بدلالة شدة التيار I



تحليل المنحنى:

المنحنى المحصل عليه مستقيم يمر من المبدأ (0 ، 0) ، مما يدل على أن U يتناسب مع I، أي أن حاصل القسمة U/I ثابت، ويسمى معامل التناسب.

تكتب معادلة الميزة على الشكل U=a×I ولحساب معامل التناسب نختار نقطة تنتمي إلى المستقيم، ونحدد الثنائية (I , U) ثم نحسب النسبة U/I

نجد أن معامل التناسب(a=25,3)له نفس قيمة المقاومة R، إذا R = U/I

نص قانون أوم:

التوتر U بين طرفي مقاومة يساوي جداء المقاومة R وشدة التيار I المار عبرها.

$$U = R \times I$$

تطبيقات قانون أوم

- **أحسب مقاومة سلك مصباح كهربائي(6V - 250 mA) يشتغل بصفة عادية.**
- **أحسب شدة التيار المار عبر مقاومة قيمتها 120Ω عند تطبيق توتر 9V.**

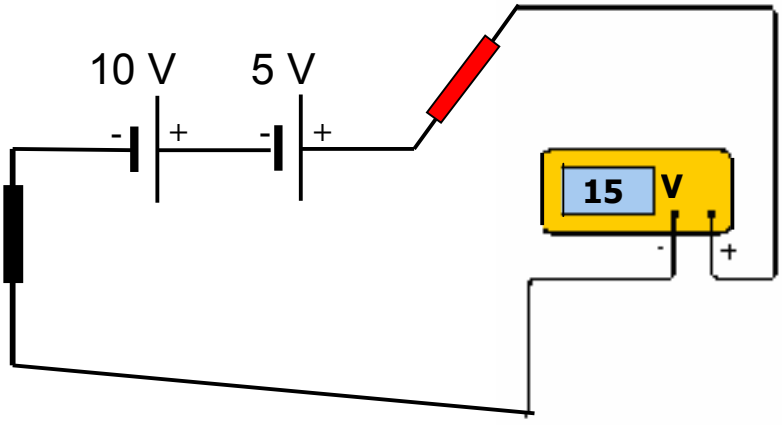
11- جمع المولدات :

1- جمع المولدات على التسلسل:

نشاط :

نقيس التوتر بين طرفي مولدين مربوطين على التسلسل (يربط القطب الموجب للمولد الأول مع القطب السالب للمولد الثاني) حيث المولد الأول مضبوط في القيمة 5V و المولد الثاني مضبوط في القيمة 10V . باستعمال جهاز الفولط متر.

فوجدنا القيمة التالية : 15V



ملاحظة :

القيمة التي يشير لها الفولط متر هي قيمة مجموع التوترين.

نتيجة :

لدينا مولدين مربوطين على التسلسل حيث :

- **المولد الأول قوته المحركة الكهربائية U_1 و مقاومته الداخلية r_1**
- **المولد الثاني قوته المحركة الكهربائية U_2 و مقاومته الداخلية r_2**

يمكن مكافئة المولدين بمولد وحيد قوته المحركة الكهربائية $U = U_1+U_2$ و مقاومته الداخلية $r = r_1+r_2$ و التيار الذي ينتجه المولد المكافئ هو أكبر تيار ينتجه المولدين.

تعميم :

يمكن مكافئة « n »مولد مربوط على التسلسل بمولد وحيد قوته المحركة الكهربائية :

$$U = U_1 + U_2 + \ldots\ldots + U_n$$

و مقاومته الداخلية : $r = r_1+r_2+\ldots\ldots+r_n$

تطبيق :

لدينا بطاريات لها الخصائص التالية :

- **التوتر = U =1.5V**
- **التيار الأعظمي = I_{max}=150mA**
- **المقاومة الداخلية = r = 0.01Ω**

نريد معرفة التوتر بين طرفي ثلاث بطاريات مربوطة على التسلسل و التيار الأعظمي الذي ينتجه هذا التجميع و كذا المقاومة الداخلية للمولد المكافئ.

الحل :

نعلم أن التوترات تجمع ومنه :

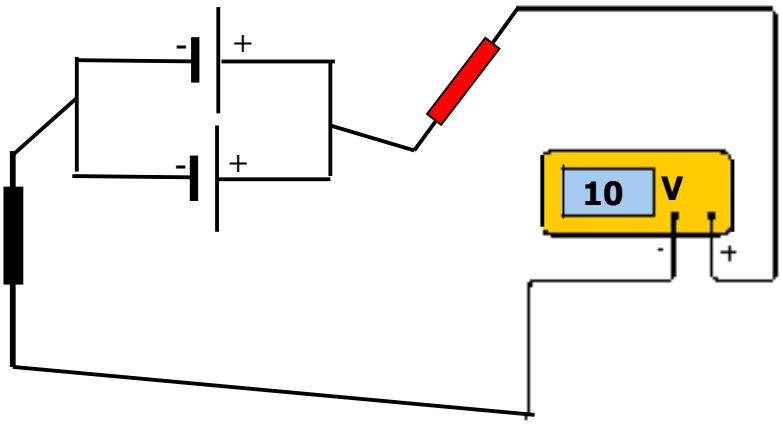
- **التوتر المكافئ : U_t= 1.5+1.5+1.5=4.5V**
- **التيار الأعظمي للبطارية المكافئة هو أكبر تيار و بما أن البطاريات متماثلة فإن: I_{max} = 150mA**
- **المقاومة الداخلية للبطارية المكافئة هي مجموع المقاومات الداخلية للبطاريات الثلاث و بالتالي :**

r_t= 0.01+0.01+0.01 = 0.03Ω

2- جمع المولدات على التفرع:

نشاط :

نأخذ حالة مولدات متماثلة لها نفس القوة المحركة الكهربائية « U=10V » و نفس المقاومة الداخلية « r » .
تعتمد عملية ربط المولدات على التفرع على ربط الأقطاب الموجبة مع بعض و الأقطاب السالبة مع بعض .



ملاحظة :

القيمة التي يشير لها الفولط متر هي قيمة أحد المولدات.

نتيجة :

لدينا مولدين مربوطين على التفرع حيث :

- **المولد الأول قوته المحركة الكهربائية U_1 و مقاومته الداخلية r_1**
- **المولد الثاني قوته المحركة الكهربائية U_2 و مقاومته الداخلية r_2**

يمكن مكافئة المولدين بمولد وحيد قوته المحركة الكهربائية $U = U_1 = U_2$ و مقاومته الداخلية هي مقاومة أحد المولدات على عدد المولدات $r = r_1/2 = r_2/2$ و شدة التيار المارة في الدارة هي مجموع التيارات الفرعية $I_t = 2I$

تعميم :

يمكن مكافئة « n »مولد مربوط على التفرع بمولد وحيد قوته المحركة الكهربائية تساوي القوة المحركة الكهربائية لأحد المولدات و مقاومته الداخلية تساوي مقاومة أحد المولدات على عدد الفروع و شدة تيار الدارة المكافئة يساوي مجموع التيارات الفرعية.

فوائد ربط المولدات :

1- فوائد ربط المولدات على التسلسل :

- **يسمح هذا الربط بالحصول على قوة محركة كهربائية كبيرة .**
- **المقاومات الداخلية هي على التسلسل ، إذن تجمع و هذا يحدد في نفس الوقت التيار الأعظمي و كذا التوتر الفعال.**
- **ليس ضروريا أن تكون توترات المولدات متساوية ، فمثلا للحصول على توتر 36V يمكن جمع مولد تنتج توتر 12V مع آخر ينتج توتر 24V.**

1- فوائد ربط المولدات على التفرع :

- **يسمح هذا الربط بالحصول على مقاومة داخلية صغير للمولد المكافئ.**
- **شدة التيار المارة في الدارة مضروبة في عدد المولدات... إذن يمكننا الحصول على شدة تيار معتبرة.**

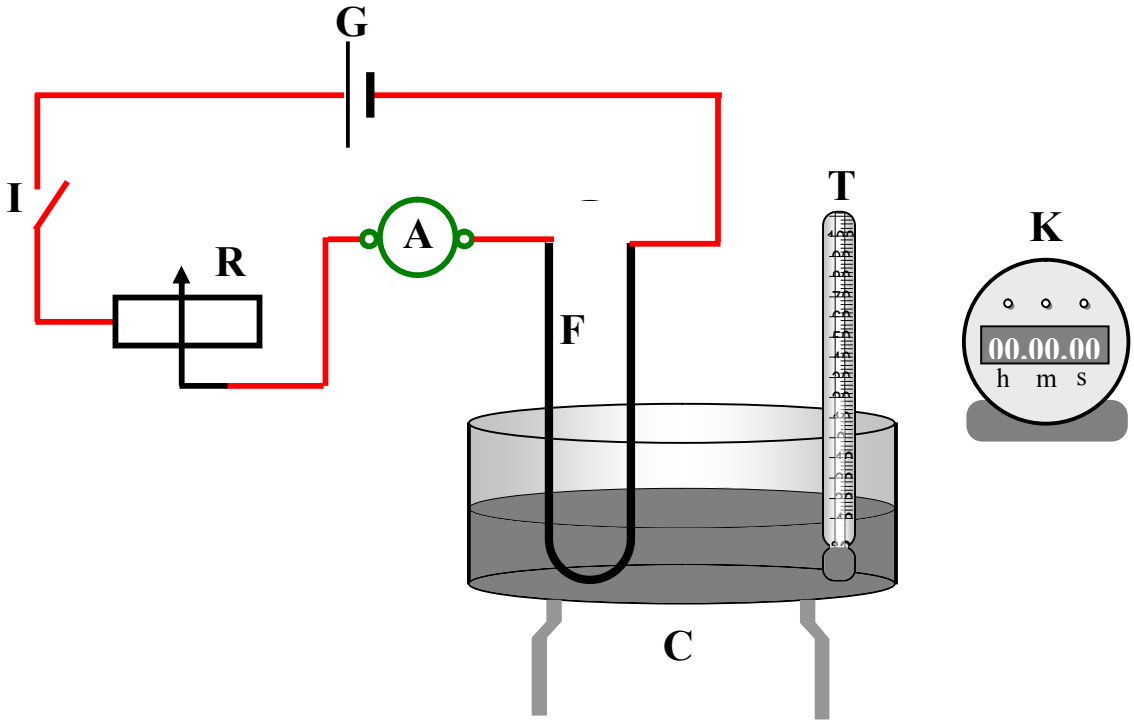
2 الاستطاعة و الطاقة

1- قانون جول :

مرور التيار في ناقل يكون دائما مصحوبا بانطلاق كمية من الحرارة ، هذه الظاهرة تسمى مفعول جول.

نشاط :

لدراسة انطلاق الحرارة نأخذ سلكا ناقلا F طويل نوعا ما مصنوع من مادة الزنك أو النيكل مربوط في دارة كهربائية مع مولد تيار مستمر و أمبيرمتر . نغمس السلك داخل " مسعر" « Calorimètre » يحتوي على سائل عازل (البترول مثلا) و محرار كما يوضح الشكل.



نقوم بسلسلة من التجارب :

*** نثبت شدة التيار I ، و نتركه يمر في الدارة أثناء فترات زمنية متصاعدة t ، 2t ، 3t . و نقرأ قيم درجة الحرارة على المحرار فنجد θ ، 2 θ ، 3 θ على الترتيب.**

نستنتج أن :

كمية الحرارة المنطلقة تتناسب طردا مع زمن مرور التيار .

*** نمرر التيار في الدارة خلال زمن ثابت t بشدات متزايدة I ، 2I ، 3I و نقوم بقراءة درجات الحرارة فنجد ها θ ، 4 θ ، 9 θ على الترتيب.**

نستنتج أن :

كمية الحرارة المنطلقة تتناسب طردا مع مربع شدة التيار .

* نعوض السلك الناقل بأسلاك أخرى ذات أطوال ، مقاطع و طبيعة مختلفة و مع كل سلك نثبت قيمة شدة التيار I ، و من أجل نفس الزمن t نجد قيم مختلفة لدرجة الحرارة.

نستنتج أن :

كمية الحرارة المنطلقة تتعلق بخصائص الناقل الذي يمر فيه التيار.

قانون جول يلخص الاستنتاجات السابقة فهو إذن ينص على :
كمية الحرارة المنطلقة من جراء مرور تيار كهربائي في ناقل :

1° تتناسب طردا مع الزمن t
2° تتناسب طردا مع مربع التيار I
3° تتغير بتغير مقاومة الناقل . R

إذا اعتبرنا Q كمية الحرارة من أجل شدة تيار I المارة في ناقل مقاومته R في مدة زمنية t فإن قانون جول يكتب بالعلاقة التالية :

$$Q = R \,.\, I^2 \,.\, t$$

(J) (Ω) (A) (s)

كمية الحرارة المنطلقة بمفعول جول تعادل استهلاك طاقة كهربائية و بالتالي نتكلم إما عن كمية الحرارة Q ، و إما عن الطاقة الكهربائية W و كلاهما تقاس ' بالجول '

$$Q = W = R \,.\, I^2 \,.\, t$$

ملاحظة :

* إذا أردنا حساب كمية الحرارة بالحريرة فإن العلاقة تصبح كما يلي :

$$Q = \frac{1}{4.18} \; R \,.I^2 \,.t \quad (C)$$

لحساب الاستطاعة الممتصة P بمفعول جول يكفي أن نضع t = 1s . و تقاس ' بالواط'

$$P_J = R \,.\, I^2 = U \,.I$$

(W) (Ω) (A) (V) (A)

2- تحويل الطاقة و حفاظها :

توجد الطاقة في الطبيعة على عدة أشكال حركية ، حرارية ، ضوئية ، كهربائية ... و من جهة أخرى الطاقة يمكن لها أن تتحول من شكل لآخر بدون ضياعات ، فمثلا توجد داخل الخشب و عند حرقه تتحول هذه الطاقة إلى طاقة حرارية و ضوئية ، و لما نضع وعاء مملوء بالماء فوق الخشب المشتعل ، الماء يسخن ثم يتحول إلى بخار فنستعمل هذا البخار كطاقة لتحريك الآلات أو لتوليد الطاقة الكهربائية و التي بدورها نستعملها للإضاءة أو تشغيل الآلات الكهربائية ، إذن الإنسان يعتمد في حياته على هذه التحولات و التي تعتبر الشمس المصدر الرئيسي لهذه الطاقة الموجودة على الأرض.

3

تحليل الدارات الكهربائية

1) طرق التحليل المباشرة :

1-1) القانون الأول لكيرشوف :(Kirchoff) (قانون العقد)

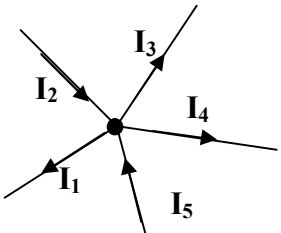
نسمي « **فرع** » كل قطعة من دارة كهربائية يمر بها نفس التيار و تتكون من مركبات كهربائية (مصادر للتغذية ، مقاومات ، مكثفات ...) موضوعة على التسلسل. و نسمي « **عقدة** » النقطة التي يلتقي فيها ثلاثة فروع أو أكثر .

ينص قانون كيرشوف الأول على ما يلي :

كيرشوف (1824-1887)

قانون كيرشوف الأول :

مجموع التيارات الداخلة إلى العقدة يساوي مجموع التيارات الخارجة من نفس العقدة. أو بعبارة أخرى المجموع الجبري لجميع التيارات الداخلة إلى العقدة و التيارات الخارجة منها معدوم .



$$I_2 + I_5 = I_1 + I_3 + I_4$$

أو

$$I_1 - I_2 + I_3 + I_4 - I_5 = 0$$

ملاحظة: نأخذ مثلا الإشارة (+) للتيارات الخارجة من العقدة و الإشارة (−) للتيارات الداخلة إلى العقدة. و لكل واحد الحرية في اختيار الإشارات.

1-2) القانون الثاني لكيرشوف :(قانون العروات أو قانون الحلقات)

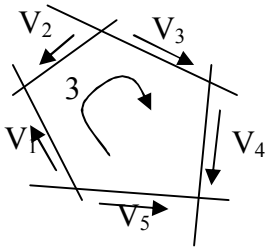
نسمي « عروة » أو « حلقة » كل دارة مغلوقة مكونة من مجموعة من الفروع .

ينص قانون كيرشوف الثاني على ما يلي :

قانون كيرشوف الثاني :

مجموع فرق الكمون بين مختلف العقد المكونة للعروة معدوم في كل لحظة. أو بعبارة أخرى المجموع الجبري للتوترات على طول الحلقة معدوم في كل لحظة.

$$V_1 - V_2 + V_3 + V_4 - V_5 = 0$$



ملاحظة: تطبيق قانون العروات يوجب علينا اختيار اتجاه السير (توجيه العروة)

2) طرق التحليل الغير المباشرة : (طرق الدارات المكافئة)

2-1) نظرية تيفنين : (Thevenin) : تنص نظرية تيفنين على :

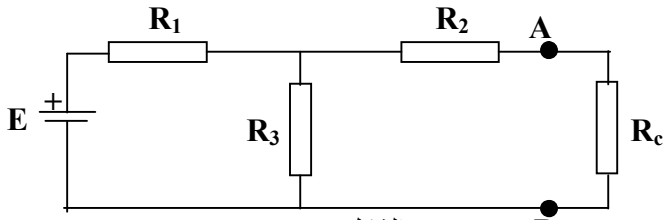
نظرية تيفنين :

كل شبكة ذات مربطين مكونة من عناصر خطية و تحتوي على منبع واحد (أو أكثر) للتيار أو التوتر بإمكاننا تبسيطها إلى دارة تحتوي على منبع تيار ثابت على التسلسل مع مقاومة خطية.

مثال تطبيقي :

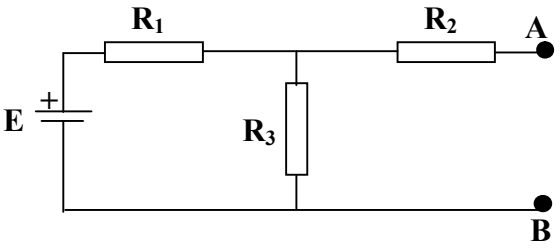
* إيجاد مولد تيفنين :

ليكن التركيب التالي :

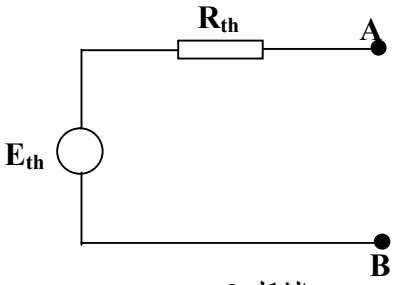


الشكل 1

لإيجاد التركيب المكافئ (الشكل 1) : نحذف الحمولة R_c (الشكل 2) ثم نحصل على مولد تيفنين (الشكل 3) .



الشكل 2



الشكل 3

عندما نحذف الحمولة R_c سيكون فرق الكمون بين النقطتين " A " و " B " يساوي فرق الكون بين طرفي R_3 . و بما أن الدارة مفتوحة في " A " و " B " يكون التيار منعدما في R_2 (كذلك للتوتر بين قطبيهما يكون منعدما) .

يصبح توتر تيفنين E_{th} هو التوتر بين **A** و **B** .

$$E_{th} = U_{AB} = U_3 \Rightarrow R_3.i = E - R_1.i$$
$$\Rightarrow U_3 = E - R_1.i$$
$$\Rightarrow R_3 \,.\, U_3 = R_3 \,.\, E - R_1.R_3 \,.\, i$$
$$\Rightarrow R_3 \,.\, U_3 = R_3 \,.\, E - R_1.\, U_3$$
$$\Rightarrow R_3 \,.\, E = U_3 \,(R_1 + R_3\,)$$

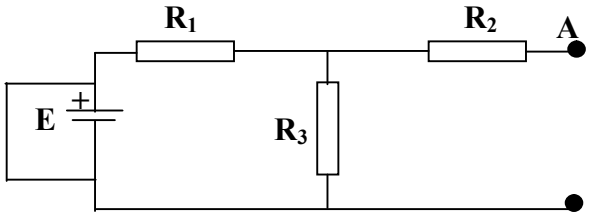
إذن :

$$E_{th} = \frac{R_3}{R_3 + R_1}\, E$$

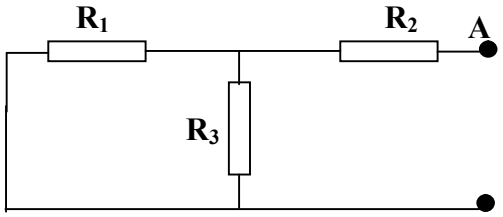
عندما تكون الدارة مفتوحة يشكل هذا التوتر توتر تيفنين .

* إيجاد مقاومة تيفنين : أنظر الشكل 2

للحصول على مقاومة تيفنين نقصر دارات كل منابع التوتر و نعوض منابع التيار بدارات مفتوحة و تبقى المقاومة المكافئة لكل المقاومات و تسمى مقاومة " تيفنين " .



الشكل 4



الشكل 5

$R_{AB} = R_{th} = (R_1 // R_3)$ على التسلسل مع المقاومة R_2

$$R_{th} = \frac{R_3 . R_1}{R_3 + R_1} + R_2$$

ج : تسمى مقاومة تيفنين .

2-2) نظرية نورتن : (Norton) تنص نظرية نورتن على :

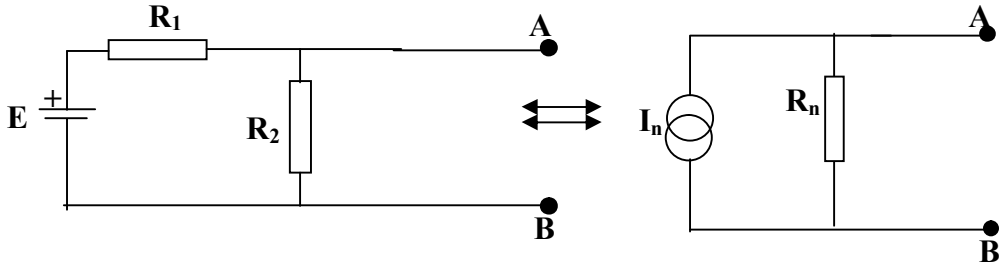
نظرية نورتن :

كل دارة كهربائية لها وصلتين A و B يمكن تعويضها بمنبع تيار وحيد I_n موصول على التفرع مع مقاومة R_n

مثال تطبيقي :

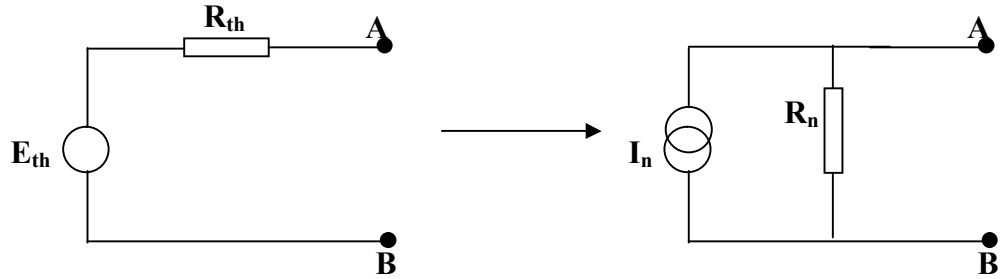
* إيجاد مولد نورطن :

ليكن التركيب التالي :



- عند قصر A و B التيار المار في الدارة هو : $I_n = E / R_1$ و هو تيار نورتن
- و بقصر المنبع و النظر من النقطتين و إلى عمق الدارة و حساب المقاومة المكافئة نجد : $R_n = R_1R_2/ (R_1+R_2)$ و هي المقاومة الداخلية لمنبع نورتن.

3-2) التحويل تيفنن – نورتن:



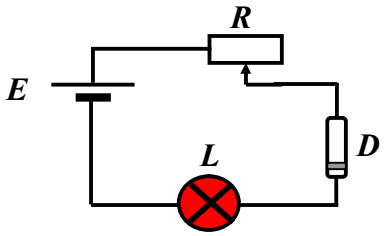
من مولد تيفنن E_{th} و المقاومة R_{th} نستنتج تيار نورتن I_n و مقاومة نورتن R_n كما يلي : $I_n = E_{th} / R_{th}$ و $R_n = R_{th}$

4 تكنولوجيا العناصر الخطية و غير الخطية

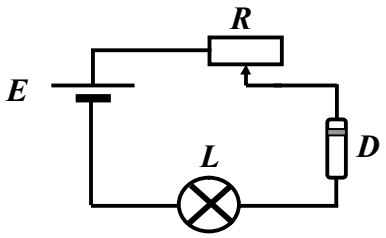
ثنائي المساري:

نشاط : نحقق التركيبين الممثلين في الشكلين 1 و 2

نضبط المقاومة المتغيرة ***R*** بحيث يشتعل المصباح بدون العنصر ***D*** ، بعد ذلك نضيف العنصر ***D*** إلى التركيب في وضعيتين مختلفتين كما توضح الأشكال 1 و 2



الشكل 1



الشكل 2

ماذا تلاحظ ؟

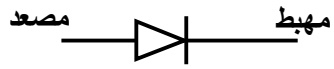
– العنصر ***D*** يمرر التيار في اتجاه و لا يمرر في الاتجاه الآخر و الدليل على ذلك حالة المصباح في الحالتين. إذن العنصر ***D*** له مربطان مختلفان.

ما هو هذا العنصر *D* ؟

العنصر ***D*** يسمى ثنائي المساري (Diode) :

يتصرف ثنائي المساري في الاتجاه المباشر(الشكل1) كقاطعة مغلوقة و في الاتجاه العكسي (الشكل 2) يتصرف كقاطعة مفتوحة.

و يرمز له بالرمز :



لماذا يمرر ثنائي المساري التيار في الجهة المباشرة و لا يمرر التيار في الاتجاه العكسي ؟

للإجابة على هذا السؤال نرى تركيبة الثنائي أولا :

يصنع ثنائي المساري من التحام قطعتين صغيرتين لنفس نصف الناقل (سيليسيوم (Si) أو الجيرمانيوم (Ge)) مشابتين (مخدرتين) بطريقتين مختلفتين (واحدة مشابة سليا و الأخرى مشابة إيجابا)

الإشابة من النوع السالب « N » : (dopage de type Négatif)

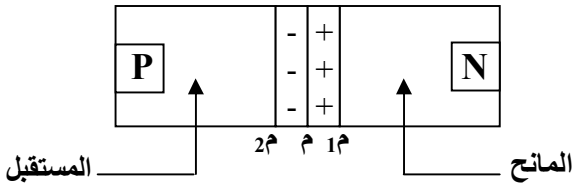
تشاب ذرات السيليسيوم بذرات الفوسفور « P » ، هذه الأخيرة تعمل على تغيير توزيع الشحنة الكهربائية السالبة. مما يجعل القطعة المشابة سلبا ترغب في التخلص من الإلكترونات الحرة ... تسمي هذه القطعة **بالمانح** و نرمز لها بالرمز « N ».

الإشابة من النوع الموجب « P » : (dopage de type Positif)

تشاب ذرات السيليسيوم هذه المرة بذرات الألمنيوم « Al » ، تحدث هذه الأخيرة خللا في توزع الشحنة الكهربائية الموجبة فتظهر مناطق مشحونة إيجابا ، تسمى هذه القطعة **بالمستقبل** لأن لها الرغبة في اكتساب الإلكترونات عكس قطعة المانح . و يرمز لهذه القطعة بالرمز « P » .

إذن :

تنتقل الإلكترونات من قطعة المانح « N » إلى قطعة المستقبل « P » و نظرا لأن كلا القطعتين متعادلتين كهربائيا قبل الالتحام فإن هذا الانتقال عند الالتحام سيجعل المانح مشحون في منطقة صغيرة إيجابا و المستقبل مشحون في منطقة صغيرة سلبا كما في الشكل :

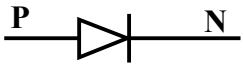


الشكل 3

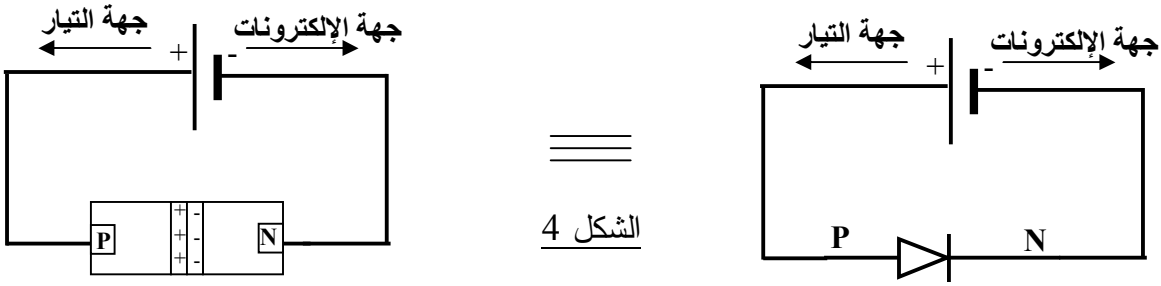
- تسمى منطقة الالتحام ($م_1$ ، م ، $م_2$) الوصلة ، سمكها من رتبة 1 ميكرون.
- تسمى القطعتين (مانح + مستقبل) ثنائي المساري ذو الوصلة .

لنحاول الآن تفسير التجربتين السابقتين:

أولا يمكن أن نكافئ الشكل 3 بالرمز التالي :



لقد رأينا في التجارب السابقة أنه عند توصيل ثنائي المساري في دارة توصيلا مباشرا فإن التيار الكهربائي يعبر الثنائي بعد تطبيق فرق كمون أكبر من فرق كمون العتبة (Vs)



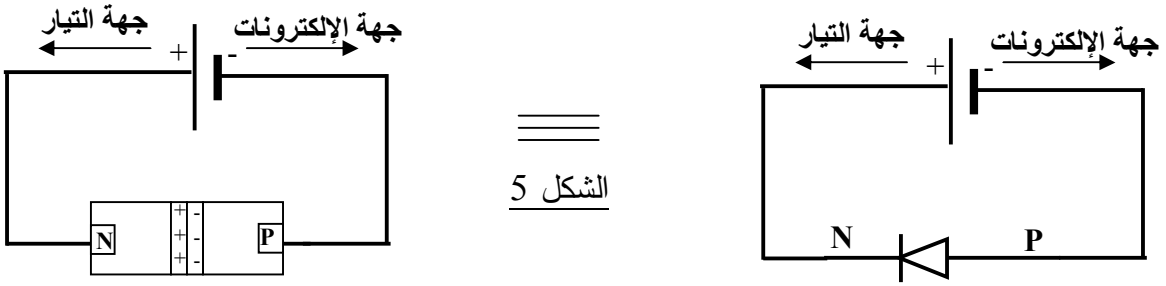
الشكل 4

تذكر :

جهة حركة الإلكترونات هي الجهة الحقيقية للتيار بينما الجهة التي نمثلها هي جهة اصطلاحية فقط.

لاحظ أن المولد يعمل على تحريك الإلكترونات كما يوضح الشكل 4 ، أي من المانح إلى المستقبل و بالتالي في هذا الاتجاه (الاتجاه المباشر) هناك مرور للتيار الكهربائي.

لنقلب أقطاب الصمام :



الشكل 5

المولد الآن يعمل على تحريك الإلكترونات من المستقبل إلى المانح و هذا غير ممكن ، و بالتالي في هذا الاتجاه (الاتجاه العكسي) ليس هناك مرور للتيار الكهربائي.

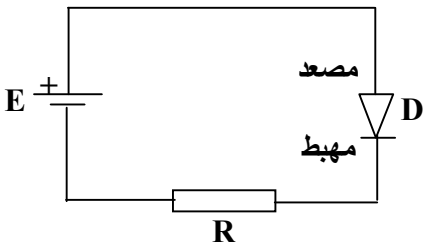
الميزة المباشرة:

هي المنحنى الذي يمثل تغيرات شدة التيار المار عبر الثنائي بدلالة التوتر بين طرفيه عند استقطابه مباشرة .

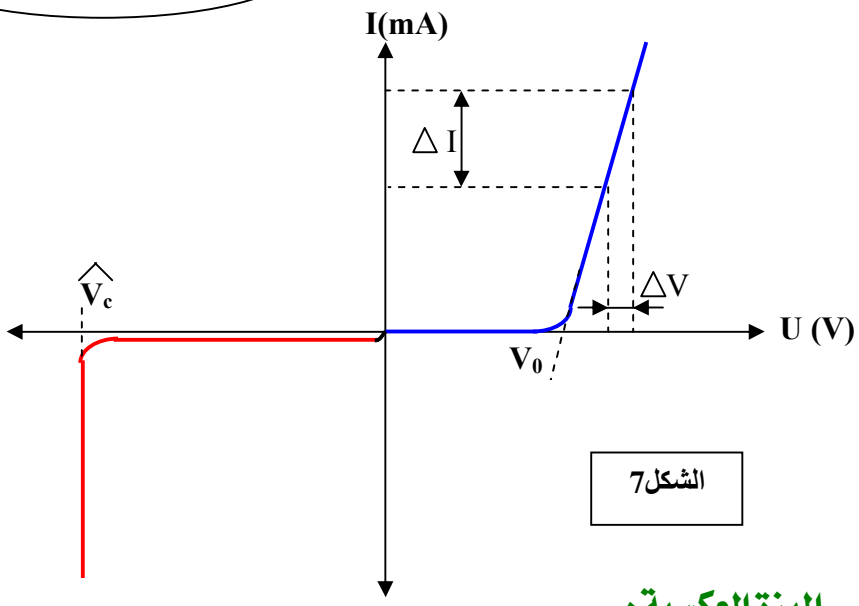
- عند رفع قيمة التوتر تدريجيا يبقى التيار ضعيفا (مهملا) إلى أن يصل التوتر إلى قيمة تسمى توتر العتبة V_0 و تساوي تقريبا 0.7V
- ابتداء من هذه القيمة (V_0) فإن التيار يرتفع بسرعة بصفة خطية من أجل تغيير طفيف في التوتر لا يتعدى 1V غالبا، عليما أن لا نتعدى شدة التيار الذي يتحمله الثنائي و المحدد من طرف الصانع I_n الأعظمي .

نقول بأن الثنائي في حالة عبور و هو يشبه قاطعة مغلوقة نظريا و ذلك إذا ما أهملنا المقاومة الداخلية للثنائي و المسماة " بالمقاومة الديناميكية" « R_d » و التي نستطيع حسابها بحساب ميل الجزء المستقيم من الميزة المباشرة .
(أنظر الشكل 7)

$$R_d = \frac{\triangle V}{\triangle I} = \frac{V2 - V1}{I2 - I1}$$



الشكل 6



الشكل7

الميزة العكسية :

هي المنحنى الذي يمثل تغيرات شدة التيار المار عبر الثنائي بدلالة التوتر بين طرفيه عند استقطابه عكسيا . للحصول على هذه الميزة نقلب أقطاب الثنائي .

مهما كبر التوتر فإن التيار يبقى دائما ضعيفا . حيث أن التوتر قد يصل إلى قيم كبيرة بالنسبة لبعض الثنائيات (مئات الفولطات) و لكن علينا أن لا نتعدى قيمة التوتر العكسي الأقصى الذي يتحمله الثنائي و الذي يحدده الصانع Vc الأعظمي .

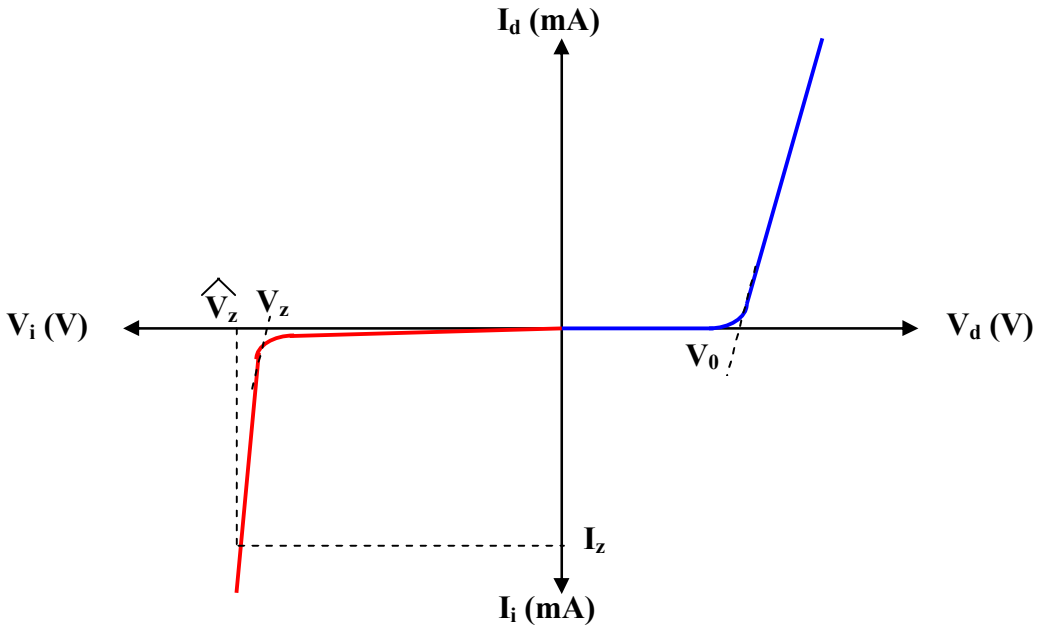
نقول بأن الثنائي في حالة توقف و هو يشبه قاطعة مفتوحة نظريا.

ثنائي زينر :

تعريف: ثنائي زينر هو عبارة عن وصلة م س حيث إذا استقطبناها عكسيا تحت توتر أكبر من توتر زينر فإنها تتحمل تيارا عكسيا مرتفعا دون تعرضها للانهيار.

❖ **الميزة المباشرة:** هي الميزة الخاصة بالثنائي العادي.

❖ **الميزة العكسية**: يبقى التيار معدوما ما دام التوتر المطبق على الثنائي أصغر من توتر زينر (V_z). بعد ذلك يرتفع تدريجيا حتى يصل إلى القيمة القصوى المسموح بها.

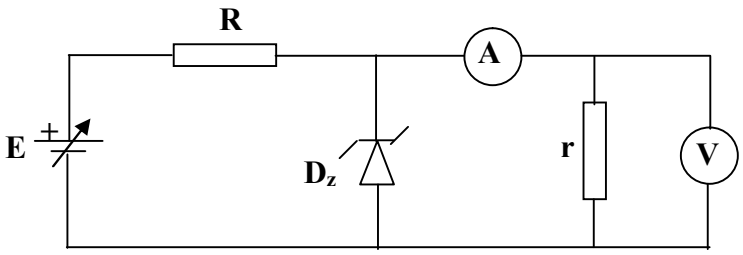


❖ I_z : هو التيار الأقصى (تيار زينر)

نشاط:

نحقق التركيب التالي من أجل ثنائي زينر BZX 83C 6V8 ميزاته كالتالي :

V_z =6.8V ، V_z الأقصى = 7.2V ، I_z =58mA ، R_d= 8 Ohm ، P = 0.5 W في درجة الحرارة العادية 25°C ، درجة الحرارة القصوى = 175°C



ما معنى الرمز BZX 83C 6V8 ؟

BZX 83C 6V8

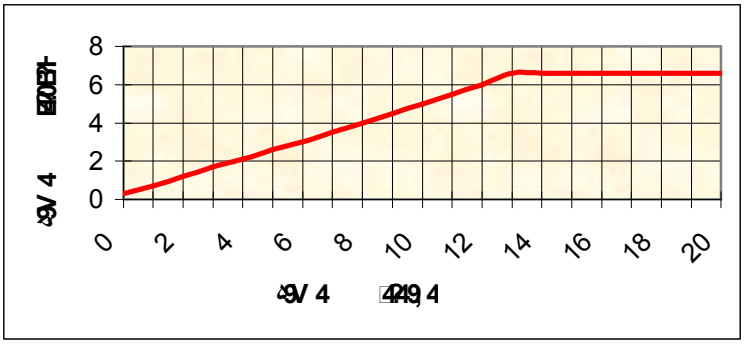
B Silicium
Z Type (Z pour Zener)
X83 référence constructeur
C Tolérance 5%
A:1%
B:2%
D:10%
E:20%
6V8 indique que V_Z = 6,8V.

نغير التغذية من 1V إلى 20V و نأخذ في كل مرة تيار الحمولة I_{ch} و توتر الحمولة V_{ch} فكانت النتائج كالتالي :

النتائج :

E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V	0.3	0.7	1.2	1.7	2.1	2.6	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
I	0.43	0.9	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.7	8.7	9.9	10.2	12	12.9	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8

المنحنى $V_{ch} = f(E)$

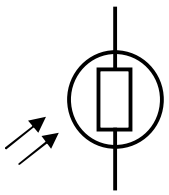


ماذا تلاحظ ؟

نلاحظ أنه عندما يصل التوتر بين طرفي ثنائي زينر إلى القيمة V_z يبقى ثابتا حتى و إن غيرنا توتر التغذية ... إذن نستعمل ثنائي زينر لتثبيت التوتر.

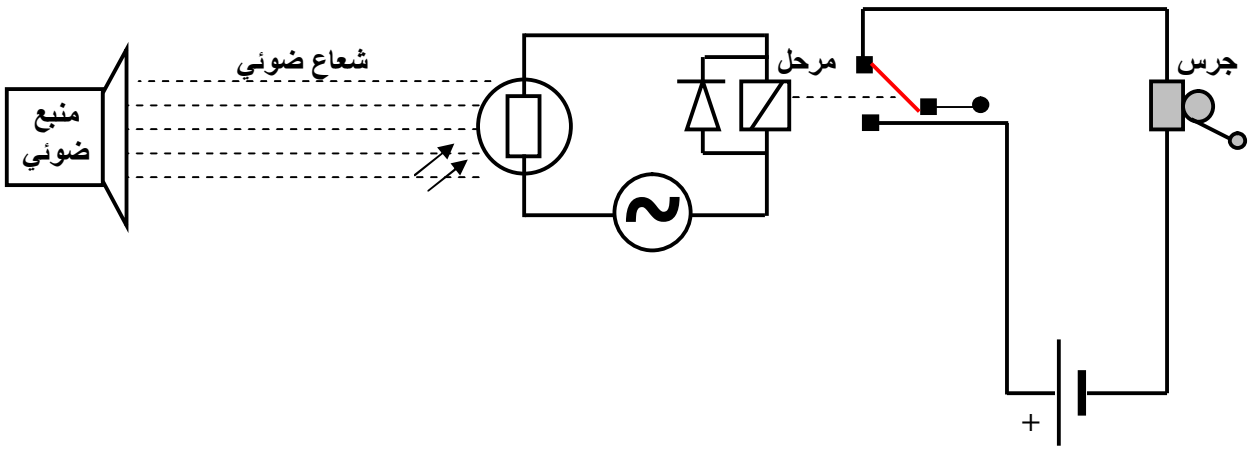
المقاومة الضوئية :

المقاومة الضوئية واحدة من أقدم العناصر الكهروضوئية ، وهذه المقاومة تتناقص قيمتها بازدياد شدة الضوء الساقط عليها ، و تصنع المقاومة الكهروضوئية من مواد حساسة للضوء مثل (سلفيد الكاديوم) (Cds) أو (سليتيد الكاديوم) (Cdse) و يرمز لها بالرمز :



إن معظم المقاومات الضوئية تستطيع أن تتحمل توترا يتراوح مابين 100v و 200v و 300v و القدرة العظمى لهذه العناصر يتراوح مابين 30mW و 300mW .

للمقاومة الضوئية تطبيقات عديدة في مجال الإلكترونيك فعلى سبيل المثال , تستعمل غالباً في أجهزة الإنذار و فاتحة الأبواب الآلية حيث يتطلب الأمر الإحساس بوجود ضوء أو غيابه و يبين الشكل التالي إحدى أبسط التطبيقات لهذا العنصر .

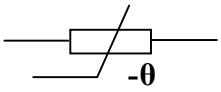


مقاومات من نوع CTN و CTP :

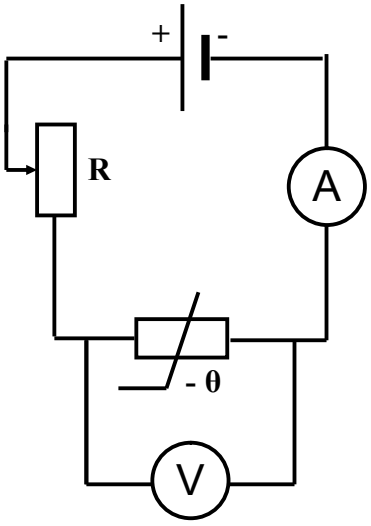
1- مقاومات ذات المعامل الحراري السالب CTN :

Résistance à Coefficient de Température Négatif

هي ثنائيات قطب تتغير مقاومتها بتغير درجة حرارتها ، و يرمز لها في دارة كهربائية بالرمز :



نشاط : نحقق التركيب التالي :



- درجة حرارة الـــ CTN هي 25°C

نغير قيمة شدة التيار بواسطة المعدلة و نسجل قيمة فرق الكمون الموافقة بين طرفي CTN .

النتائج ضمن الجدول التالي :

	T = 25°C					
I(mA)	0	16.66	33.33	50	66.66	83.33
V(Volt)	0	1	2	3	4	5

- لنعيد نفس التجربة بعد رفع درجة حرارة الـــ CTN إلى 100°C

النتائج ضمن الجدول التالي :

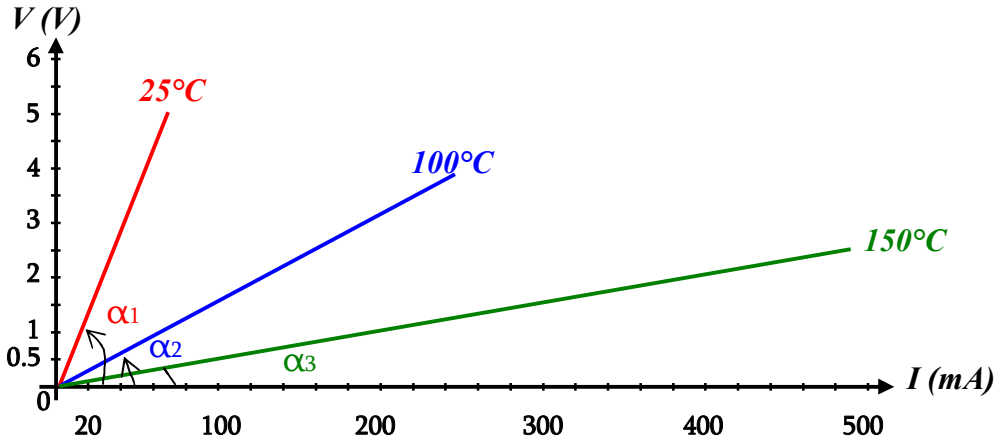
	T = 100°C					
I(mA)	0	90	181	272	363	454
V(Volt)	0	1	2	3	4	5

- لنعيد نفس التجربة بعد رفع درجة حرارة الـــ CTN إلى 150°C

النتائج ضمن الجدول التالي :

	T = 150°C					
I(mA)	0	250	500	750	1000	1250
V(Volt)	0	1	2	3	4	5

➢ لنرسم البيانات الثلاثة $V = f(I)$ في نفس المعلم :



أوجد مقاومة الـ CTN عند كل درجة حرارة ؟

☑ عند درجة الحرارة 25°C نجد :

$$R_1 = tg\ \alpha_1 = \frac{4 - 3}{66.66 - 50}\ 10^{+3} = 60\ \Omega$$

☑ عند درجة الحرارة 100°C نجد :

$$R_2 = tg\ \alpha_2 = \frac{4 - 3}{363 - 272}\ 10^{+3} = 11\ \Omega$$

☑ عند درجة الحرارة 150°C نجد :

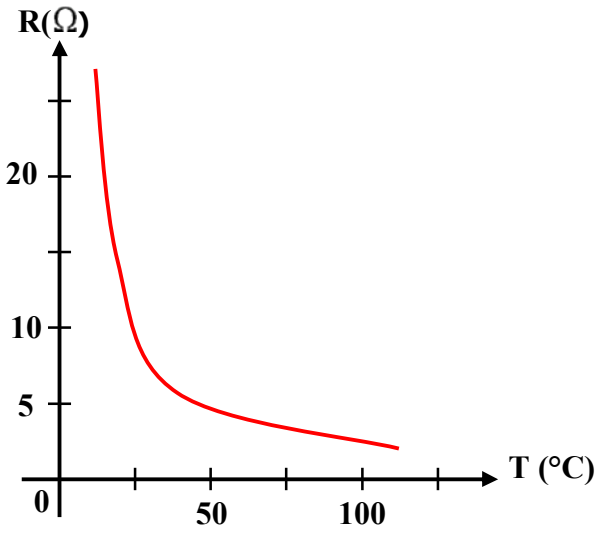
$$R_3 = tg\ \alpha_3 = \frac{4 - 3}{1000 - 750}\ 10^{+3} = 4\ \Omega$$

ماذا تلاحظ ؟

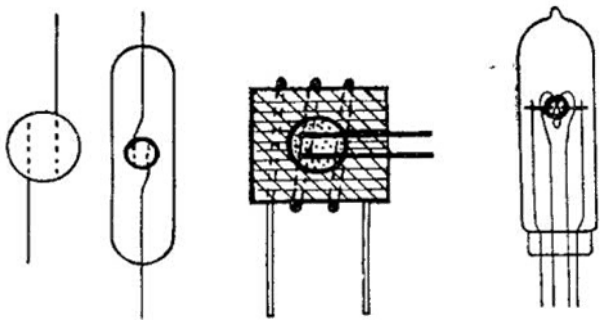
نلاحظ أنه كلما ارتفعت درجة حرارة الـــ CTN قلت مقاومتها و هذا واضح أيضا من البيانات الثلاثة حيث ميل الخط المستقيم عند الدرجة 150°C أقل من ميل المستقيم عند الدرجة 100°C و هذا الأخير أقل من ميل المستقيم عند الدرجة 25°C .

ماذا تستنتج ؟

الـــ CTN عبارة عن ثنائي قطب خطي تتناقص مقاومته بزيادة درجة الحرارة... و يمكن تمثيل ذلك بالبيان التالي:



بعض الأنواع :

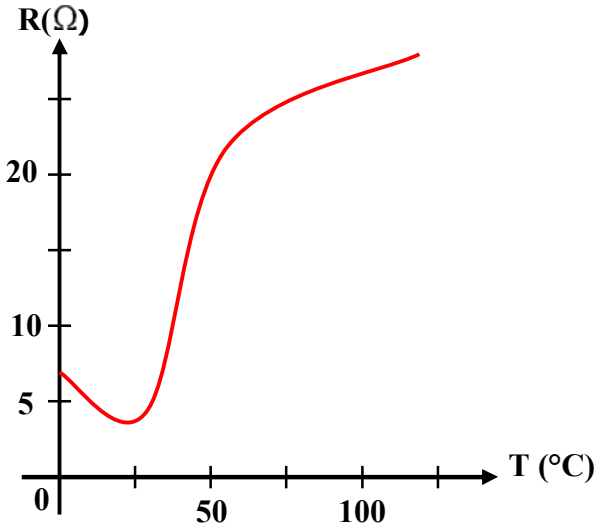


Thermistances perles

2- مقاومات ذات المعامل الحراري الموجب CTP :

Résistance à Coefficient de Température Positif

الـــ CTP عبارة عن ثنائي قطب خطي تتزايد مقاومته بزيادة درجة الحرارة... و يمكن تمثيل ذلك بالبيان التالي:

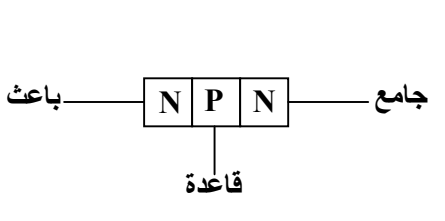


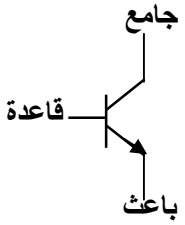
المقحل ثنائي المقحل :

1) التكوين :

يحتوي المقحل على وصلتين ناتجتين عن زرع شوائب في بلور أحادي نصف موصل (من السيليسيوم أو الجرمانيوم) للحصول على :

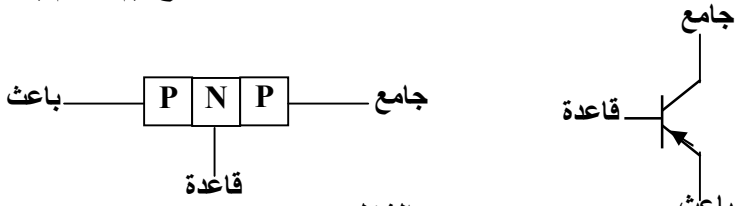
- منطقتين س (سالبتين) بينهما منطقة م (موجبة) . يكون المقحل من النوع (س م س)





الشكل1

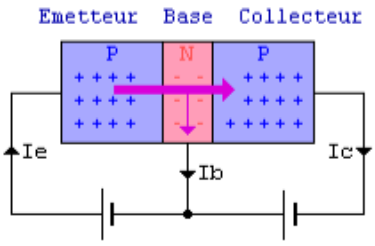
– أو منطقتين موجبتين بينهما منطقة سالبة : يكون المقحل من النوع (م س م) .



الشكل2

2) مفعول المقحل :

ليكن التركيب المقابل :



الشكل 3

الوصلة E-B مستقطبة في الاتجاه المباشر ، بينما الوصلة B-C مستقطبة في الاتجاه العكسي . يمر إذن تيار من E إلى B يسمى تيار القاعدة (I_b).
القاعدة منطقة ضيقة و الإلكترونات القادمة من الباعث تتحد مع الثقب الموجودة في القاعدة و التي بدورها تجذب نحو الجامع عن طريق الحقل الكهربائي الناتج عن الاستقطاب العكسي للوصلة B-C . و ينتج عن هذا التزاوج (الانجذاب) تيار معتبر يسمى تيار الجامع (I_c).

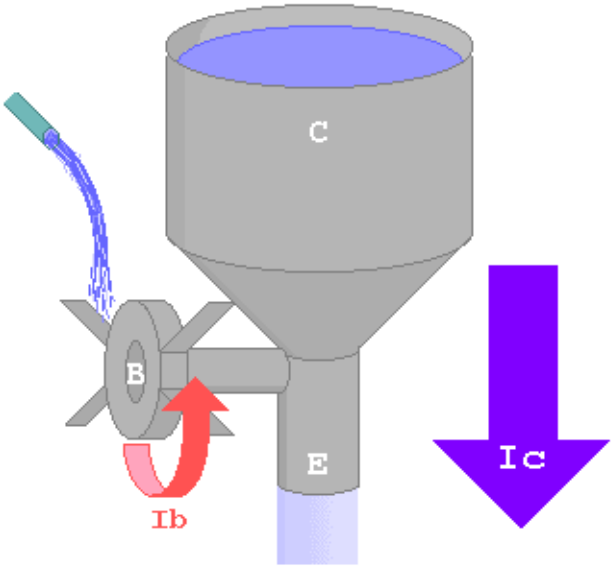
هذا هو مفعول المقحل .

تيار الجامع يتناسب مع تيار القاعدة . و المعامل ß هو التضخيم في التيار .حسب العلاقة التالية :

$$I_c = ß \ I_b$$

فكيف يمكننا أن نتصور أن تيار ضعيف I_b يتحكم في تيار أكبر I_c ؟

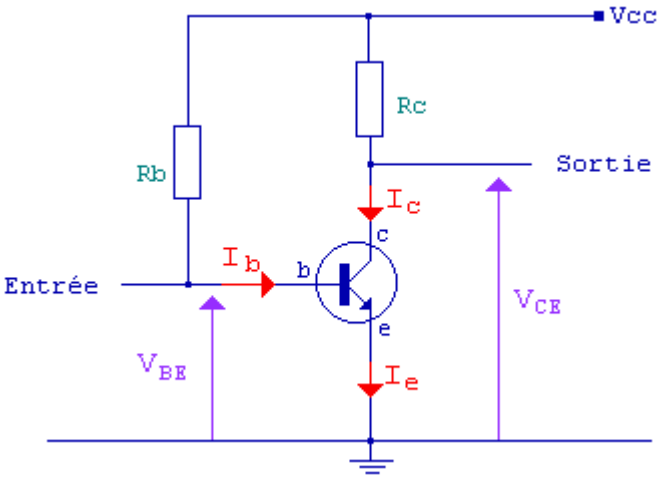
يمكننا مقاربة (الشكل 3) بالشكل التالي (الشكل 4) ... و لكن لتفق أولا أن هذه المقاربة ليست سوى لأهداف تربوية فقط لتقريب المفاهيم لا أكثر.



لاحظ تيار ضعيف نوعا ما I_b يمكنه فتح الحنفية B مما يؤدي إلى التدفق الكبير للتيار I_c القادم من الخزان C .
لاحظ أيضا أنه عندما تفتح الحنفية B كلية فإن التيار I_c يكون أعظميا . و هذا معناه أن هناك نهاية فيزيائية للتضخيم في التيار.

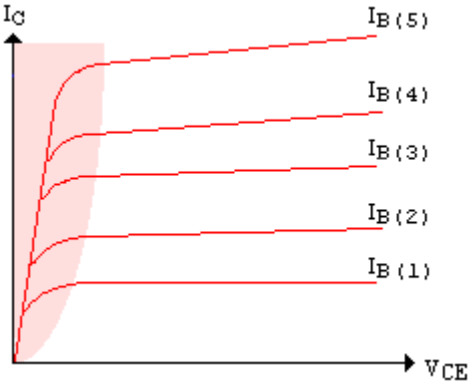
3) خصائص المقحل ثنائي القطب :

ليكن التركيب التالي :

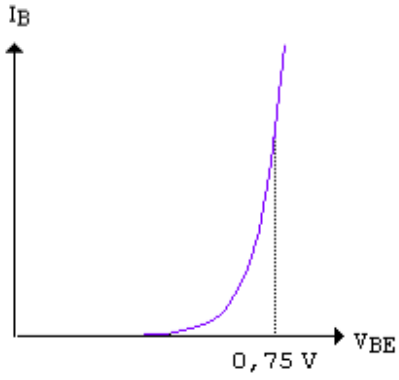


مقادير الدخول هي I_b و V_{BE} و مقادير الدخول هي I_c و V_{CE}

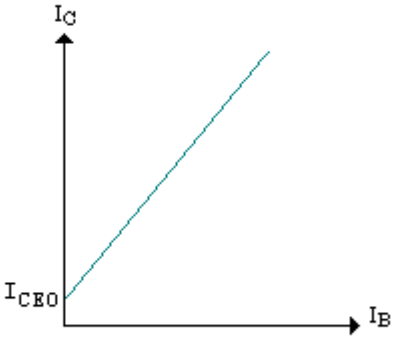
خاصية الخروج : $I_c = f(V_{CE})$ مع I_b = ثابت



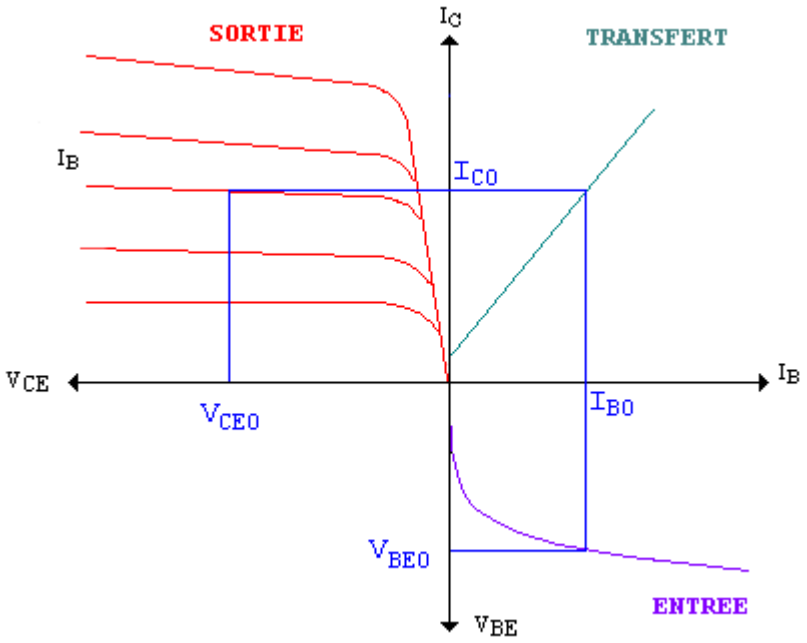
خاصية الدخول : $I_b = f(V_{BE})$ مع V_{CE} = ثابت



خاصية التحويل : $I_C = f(I_b)$ مع V_{CE} = ثابت



الخصائص الثلاثة ممثلة في الشكل التالي :



4) تصنيف المقاحل :

يوجد على الأقل ثلاث مقاييس للترميز وهي :

- المقياس الأمريكي : JEDEC (*Joint Electron Device Engineering Council*)
- المقياس الأوربي : Pro Electron
- المقياس الياباني : JIS (*Japanese Industrial Standards*).

المقياس الأمريكي يبدأ بالرمز 1N بالنسبة للثنائيات و 2N بالنسبة للمقحل ، المقداح ... يأتي بعد ذلك الرقم التسلسلي مكون من 4 أرقام ، بعد ذلك يأتي رمز (اختياري) يكون إما A (معناه تضخيم ضعيف) أو B (معناه تضخيم متوسط) أو C (معناه تضخيم مرتفع)

مثال :

1N4148 : ثنائي المساري

2N2222A : مقحل (تضخيم ضعيف)

المقياس الأوربي يضع ترميز مكون من ثلاثة معلومات : الأولى تعين نصف الناقل المستعمل ، و الثانية تعين طبيعة المركب ، و الثالثة عبارة عن ثلاثة أرقام بالنسبة للمركبات التي تمثل الاستعمال العام و رقمين بالنسبة للمركبات الصناعية .و الجدول التالي يشرح ذلك بالتفصيل.

B: silicium	**A**: diode, signal	100 à 999 ou 10 à 99 + lettre
	C: transistor, low power, audio frequency	
	D: transistor, power, audio frequency	
	F: transistor, low power, high frequency	
	R: switching device, low power (e.g. thyristor)	
	U: transistor, power switching	
	Y: diode, rectifier	

مثال :

BA159 : ثنائي المساري

BC547 : مقحل ذو استطاعة ضعيفة.

BD135 : مقحل الاستطاعة.

5) أهم المقادير المميزة للمقحل :

اختيار المقحل في أي تركيب لا يكون عشوائيا ، بل يكون مؤسسا على مقادير مميزة هي :

V_{CEMax} :

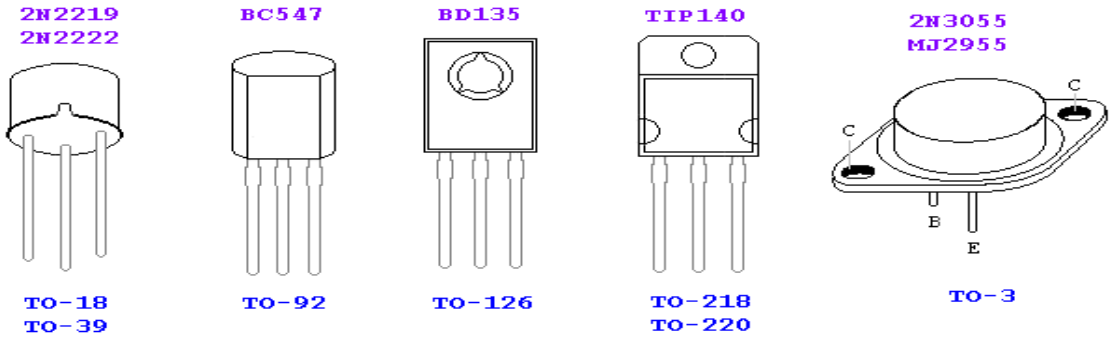
I_{CMax} :

P_{Max} :

على سبيل المثال إليك بعض الأمثلة :

Type number	Package	V_{CE} max (V)	I_C max (mA)	P_{TOT} (mW)	h_{FE} min	h_{FE} max	f_T (MHz)
2N3904	TO-92	40	200	500	100	300	300
2N3906	TO-92	40	200	500	100	300	250
BC337	TO-92	45	500	625	100	600	100
BC547	TO-92	45	100	500	110	800	100
BD135	TO-126	45	1500	8000	40	> 40	60

Package معناه نوع العلبة . و إليك بعض الأنواع .



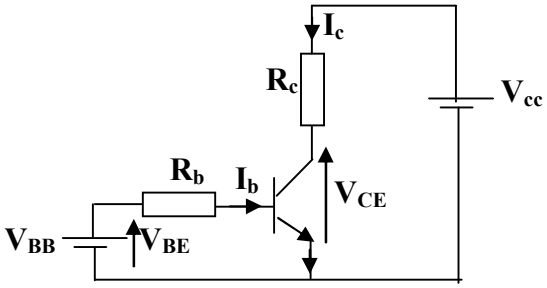
6) مستقيم التحميل السكوني : $I_c = f(V_{CE})$

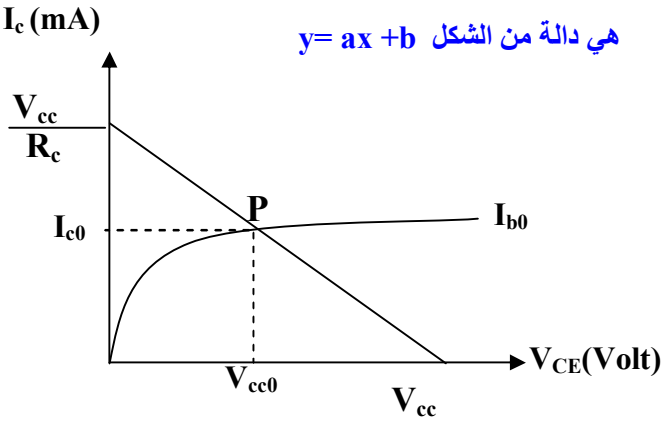
حسب دارة الخروج للشكل القابل نجد :

Vcc= VCE + RcIc

إذن

Ic = -1/Rc VCE + Vcc/Rc





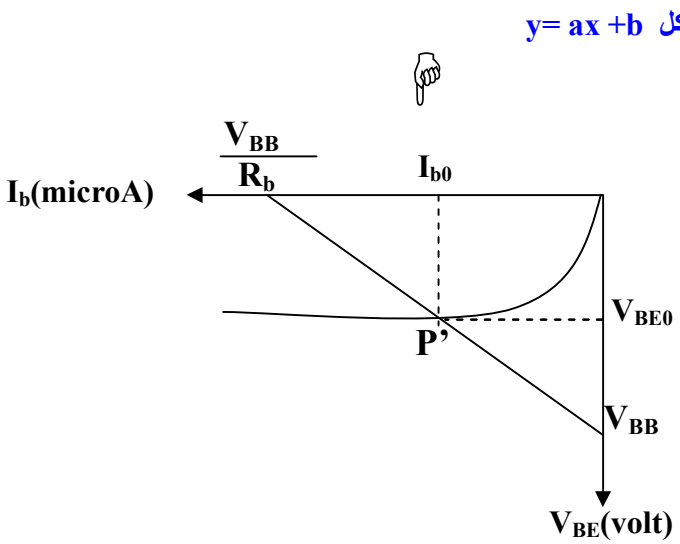
7) مستقيم التحكم : (الهجوم ، الدخول) $I_b = f(V_{BE})$

حسب دارة الدخول للشكل السابق نجد :

$$V_{BB} = V_{BE} + R_b I_b$$

إذن

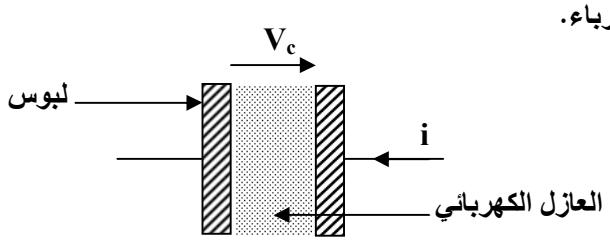
$$I_b = -1/R_b\ V_{BE} + V_{BB}/R_b$$



شحن و تفريغ مكثفة :

1) تعريف :

المكثفة هي عبارة عن موصلين (لبوسين) تفصل بينها عازلة ذات سمك صغير (الشكل 1) . إن أبسط ما يقال عن المكثفة أنها وسيلة قادرة على تخزين الكهرباء.



الشكل 1

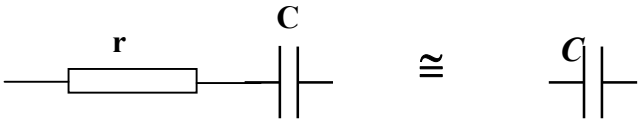
2) المكثفة المثالية :

تكون المكثفة مثالية إذا :

- كانت سعتها ثابتة على الإطلاق.
- مقاومة العزل بداخلها لا متناهية.

3) المكثفة الحقيقية :

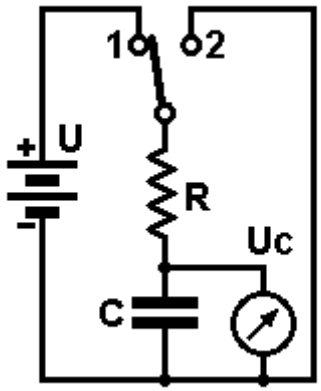
يمكننا تعريف النموذج المكافئ للمكثفة الحقيقية كتجميع مكثفة مثالية مع مقاومة وهمية قيمتها عالية مربوطة على التسلسل و يكون فرق الصفحة بينها $\pi /2$.



الشكل 2

المقاومة التي تظهر في النموذج ليست " مادية " ، و هي تجسيد للاستطاعة الفعالة المستهلكة من طرف المكثفة (تسخين) . و سبب هذا الاستهلاك هو وجود تيار التسرب في العازل (شدته ضعيفة و لها علاقة بتكنولوجية الصنع) .

4) عملية شحن و تفريغ مكثفة :



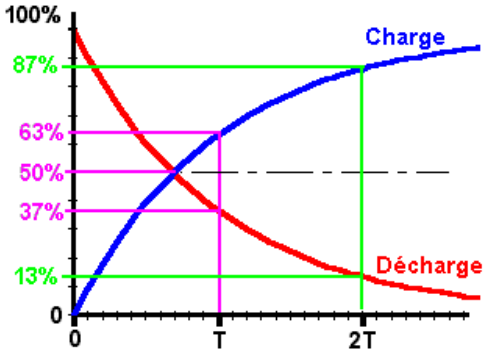
الشكل المجاور يسمح بشحن مكثفة عن طريق مقاومة R (الوضعية 1 للقاطعة) ثم تفريغ نفس المكثفة في المقاومة R (الوضعية 2 للقاطعة) .

- المقاومة R قيمتها كبيرة
- المكثفة C سعتها أيضا كبيرة
- نقيس التوتر Uc بين طرفي المكثفة .

معادلة الشحن هي : $Uc = U.(1 - e^{-t/RC})$

معادلة الشحن هي : $Uc = U\, e^{-t/RC}$

5) منحنى الشحن و التفريغ :



الشكل المقابل تمثل التوتر بين طرفي مكثفة تفرغ في مقاومة (Décharge)
أو تشحن عبر مقاومة (Charge)
نرى أن منحنى التفريغ متناظر تماما مع منحنى الشحن بالنسبة لمحور التناظر الأفقي المار عبر القيمة 50% .

6) ثابت الزمن : العلاقة التي تمكننا من حساب ثابت الزمن هي :

$$T = R \cdot C$$

حيث :

T : ثابت الزمن (Second)
R : المقاومة (Ohm)
C : سعة المكثفة (Farad)