

## قانون أوم

لعلك تذكر من دروسك السابقة كيف تنتقل الحرارة بين جسمين إذا اتصلا ببعضهما البعض ، ولعلك تذكر أيضاً كيف إنك استفدت من ذلك في فهم كيفية انتقال الشحنات الكهربائية بين جسمين إذا اتصلا معاً .

هل تتذكر المقصود بالجهد الكهربائي في نقطة ما ؟ وهل تتذكر ماذا يعني فرق الجهد الكهربائي بين نقطتين ؟ إن سريان التيار الكهربائي في موصل يعود إلى وجود فرق الجهد الكهربائي بين طرفي ذلك الموصل ، بل وتوجد علاقة رياضية بين شدة التيار الكهربائي المار في موصل ما وفرق الجهد بين طرفي ذلك الموصل يعود اكتشافها إلى العالم الألماني (سيجموند أوم) (OHM) يطلق عليها قانون أوم .

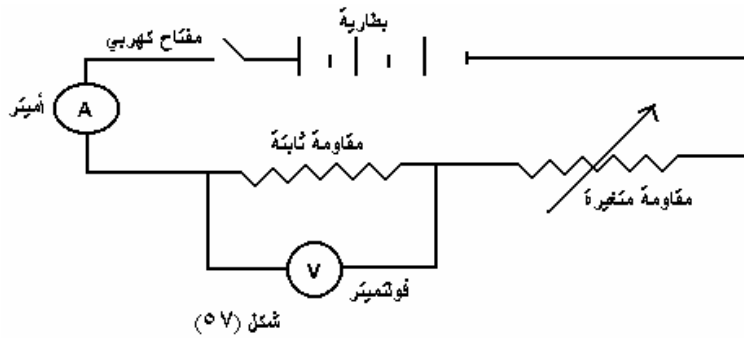
### نشاط لاستنتاج قانون أوم :

#### الأدوات والأجهزة المطلوبة :

مصدر طاقة كهربية ، مفتاح كهربائي ، مقاومة ثابتة ، مقاومة متغيرة ، أميتر ، فولتميتر ، أسلاك توصيل .

#### طريقة إجراء النشاط :

(أ) كوّن الدائرة الكهربائية كما في الشكل (٥٧) ، (البطارية ، المفتاح الكهربائي ، الأميتر ، المقاومة الثابتة والمتغيرة) جميعها موصلة على التوالي أما الفولتميتر موصول على التوازي بين طرفي المقاومة الثابتة .



الوحدة الثانية : (الكهربية)

- (ب) أقل المفتاح وسجل قراءة الأميتر (شدة التيار الكهربائي) وقراءة الفولتميتر (فرق الجهد).
- (ج) غيّر من مقدار المقاومة المتغيرة عدة مرات وفي كل مرة سجل قراءتي الأميتر والفولتميتر .

$$(د) \text{ أحسب قيمة } \frac{\text{قراءة الفولتميتر (ج)}}{\text{قراءة الأميتر (ت)}} \text{ في كل مرة}$$

(هـ) دوّن النتائج كما في الشكل أدناه :

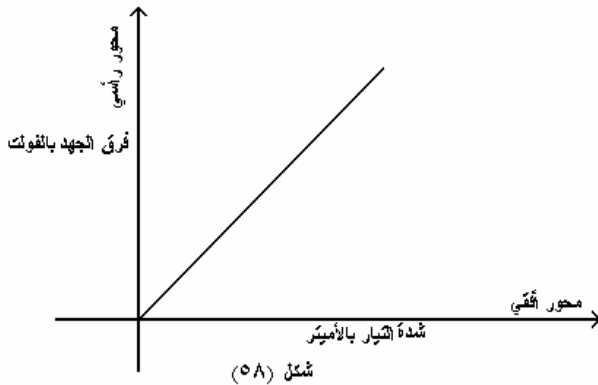
قراءة الفولتميتر (ج) بالفولت	قراءة الأميتر (ت) بالأميتر	قراءة الفولتميتر (ج) / قراءة الأميتر (ت)
ج ١	ت ١	$\frac{ج ١}{ت ١}$
ج ٢	ت ٢	$\frac{ج ٢}{ت ٢}$
ج ٣	ت ٣	$\frac{ج ٣}{ت ٣}$

إذا كانت درجة الحرارة ثابتة أثناء القيام بالنشاط تجد أن المقدار:

$$\text{فرق الجهد بالفولت} \\ \text{شدة التيار بالأميتر} = \text{مقداراً ثابتاً}$$

من النتائج أعلاه يمكن استنتاج الآتي :

فرق الجهد يتناسب تناسباً طردياً مع شدة التيار الكهربائي، كما يمكن عمل رسم بياني للنتائج المتحصل عليها من الجدول أعلاه توضح العلاقة بين فرق الجهد وشدة التيار الكهربائي . شكل (٥٨) .



الفيزياء

الخط المستقيم الناتج من الرسم البياني يحقق صحة العلاقة بين شدة التيار وفرق الجهد الكهربائي .  
من النشاط ونتائجه يمكن صياغة قانون أوم على هذا النحو :

عند ثبوت درجة حرارة الموصل يتناسب فرق الجهد بين طرفيه تناسباً طردياً مع شدة التيار الكهربائي المار فيه .

أو بصيغة رياضية :

$$\text{مقدار ثابت} = \frac{\text{فرق الجهد (ج)}}{\text{شدة التيار (ت)}}$$

المقدار الثابت اصطلح على تسميته بالمقاومة (م)

$$\therefore \text{شدة التيار (ت) بالأمتير} = \frac{\text{فرق الجهد (ج) بالفولت}}{\text{المقاومة (م) بالأوم}}$$

ملاحظات عن الدائرة الكهربائية :

- لا يمر تيار كهربائي في الدائرة الكهربائية إلا إذا كانت مغلقة وبها مصدر للتيار الكهربائي .
- الأجهزة الكهربائية الموصلة على التوالي شدة التيار الكهربائي فيها متساوية بينما يتجزأ فرق الجهد بين تلك الأجهزة الكهربائية .
- الأجهزة الكهربائية الموصلة على التوازي فرق الجهد فيها متساوٍ بينما تتجزأ شدة التيار الكهربائي .

## ٢/ توصيل المقاومات الكهربائية :

كما علمت من قانون أوم أن قيمة التيار الكهربائي في أي دائرة كهربائية تتوقف على مقدار المقاومة الكلية في تلك الدائرة ومما لا شك فيه أن الحصول على تيار مناسب الشدة يستلزم وجود مقاومة كلية كبيرة أو صغيرة مكافئة لعدة مقاومات توصل معاً بإحدى الطرق الآتية :

١. توصيل على التوالي .
٢. توصيل على التوازي .
٣. توصيل مختلط .

### أ) توصيل المقاومات الكهربائية على التوالي :

أفرض أن : (  $R_1$  ،  $R_2$  ،  $R_3$  ) ثلاث مقاومات موصلة على التوالي شكل (٥٩) .  
∴ المقاومات على التوالي .

∴ شدة التيار الكهربائي المار في كلٍ منها متساوٍ بينما يتجزأ فرق الجهد بينها وعلى حسب قانون بقاء الطاقة .

فرق الجهد الكلي =

فرق الجهد بين طرفي  $R_1$  + فرق الجهد بين طرفي  $R_2$  + فرق الجهد بين طرفي  $R_3$

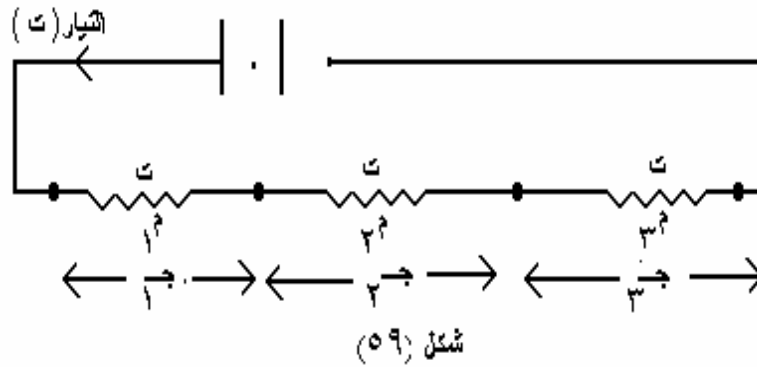
$I \times R_{\text{كلي}} = I R_1 + I R_2 + I R_3$

$$\therefore R_{\text{كلي}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

وإذا كانت المقاومات الموصلات على التوالي متساوية فإن:

$$R_{\text{كلي}} = R \times \text{عدد المقاومات}$$

يتضح مما سبق أن توصيل المقاومات على التوالي يزيد من مقدار المقاومة الكلية وبالتالي يقلل من شدة التيار الكهربائي ، ولهذا السبب تستعمل طريقة التوصيل على التوالي في السدوات الكهربائية التي تتطلب تياراً صغيراً .



### (ب) توصيل المقاومات على التوازي :

أفرض أن  $m_1$  ،  $m_2$  ،  $m_3$  ثلاث مقاومات موصلات على التوازي شكل (٦٠) ، في حالة توصيل المقاومات على التوازي تكون المقاومات جميعها تحت فرق الجهد نفسه بينما تختلف شدة التيار المار فيها . وعلى هذا :

$$\text{التيار الكلي} = \text{تيار المقاومة } m_1 + \text{تيار المقاومة } m_2 + \text{تيار المقاومة } m_3$$

$$\therefore \frac{J}{m} = \frac{\text{فرق الجهد}}{\text{المقاومة}} = \text{التيار}$$

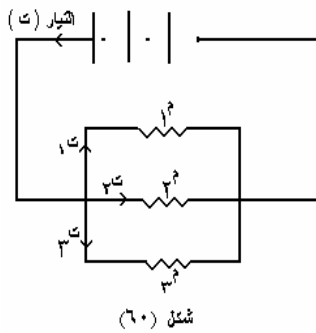
$\therefore$  فرق الجهد ثابت وليكن  $J$  .

$$\therefore \frac{J}{m_1} + \frac{J}{m_2} + \frac{J}{m_3} = \frac{J}{\text{المقاومة الكلية}}$$

$$\dots \frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} + \frac{1}{m_3} = \frac{1}{\text{المقاومة الكلية}}$$

وإذا وصلت عدة مقاومات كهربية متساوية على التوازي وكان مقدار كل منها أوم ستكون المقاومة الكلية على هذا النحو :

$$\frac{m}{n} = \text{المقاومة الكلية}$$



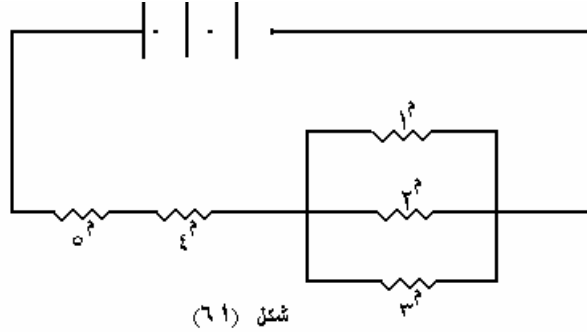
حيث:  $m \equiv$  مقاومة واحدة .

$n \equiv$  عدد المقاومات .

وعلى ذلك يتضح أن توصيل المقاومات على التوازي يقلل من مقدار المقاومة الكلية ولهذا يستعمل توصيل المقاومات بهذه الطريقة في الدوائر الكهربية التي تتطلب تياراً كهربياً كبيراً .

**ب) توصيل المقاومات الكهربائية بطريقة مختلطة (التضاعف):**

هذه الطريقة تعني أن مجموعة من المقاومات توصل على التوالي ومجموعة أخرى توصل على التوازي ، وتوصل المجموعتان في دائرة واحدة كما في شكل (٦١) .



المقاومات  $R_1$  ،  $R_2$  ،  $R_3$  موصلات على التوازي بينما المقومتان  $R_4$  ،  $R_5$  موصلتان على التوالي . ولإيجاد المقاومة الكلية تتبع الخطوات الآتية :

□ المقاومة الكلية للمقاومات  $R_1$  ،  $R_2$  ،  $R_3$  تحسب كالتالي :

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

□ المقاومة الكلية للمقاومتين  $R_4$  ،  $R_5$  تحسب كالتالي :

$$R_4 + R_5 = R'$$

∴ المقاومة الكلية للدائرة =  $R + R'$

من الشكل (٤-١) يمكن حساب التيارات المتجزئة (ت<sub>١</sub> ، ت<sub>٢</sub> ، ت<sub>٣</sub>) على

النحو التالي :

∴ المقاومات موصلات على التوازي

∴ فرق الجهد فيها جميعاً متساوٍ ويساوي مقداراً ثابتاً وليكن ج فولت ( وهو فرق

الجهد الكلي) وعلى ذلك يكون :

فرق الجهد الكلي = فرق الجهد في المقاومة  $R_1$  = فرق الجهد في المقاومة  $R_2$  = فرق الجهد في

المقاومة  $R_3$  .

$$U = U_1 = U_2 = U_3$$

الفيزياء

$$\therefore T_1 = T_1 M \leftarrow \frac{T_1 M}{M} = T_1$$

بالمثل :

$$\therefore T_2 = T_2 M \leftarrow \frac{T_2 M}{M} = T_2$$

$$\therefore T_3 = T_3 M \leftarrow \frac{T_3 M}{M} = T_3$$

حيث أن :

$T \equiv$  التيار الكلي  
 $M \equiv$  المقاومة الكلية للجزء الذي توزع فيه التيار الكهربائي  
 $T_1 \equiv$  تيار الفرع الأول .  
 $M_1 \equiv$  مقاومة الفرع الأول .

ومما سبق يمكن صياغة القانون بصورة عامة على النحو التالي :

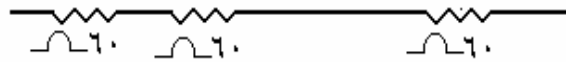
$$\text{تيار الفرع} = \frac{\text{التيار الكلي} \times \text{المقاومة الكلية}}{\text{مقاومة الفرع}}$$

مثال (١) :

ثلاث مقاومات متساوية مقدار كل منها ٦٠ أوم كيف يمكن توصيلها بأربع طرق مختلفة لتعطي أربع مقاومات كلية مكافئة ، ثم أحسب مقدار المقاومة الكلية في كل حالة ، مع توضيح إجابتك بالرسم .

الحل :

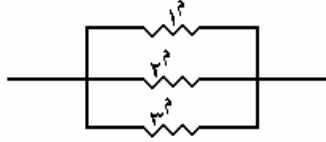
أولاً على التوالي :



$$\begin{aligned} \text{المقاومة الكلية} &= M_1 + M_2 + M_3 \\ &= 3 \times 60 = \underline{\underline{180 \Omega}} \end{aligned}$$

الوحدة الثانية : (الكهربية)

ثانياً : على التوازي :



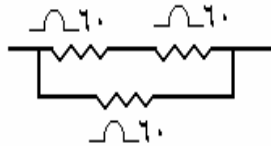
$$\frac{1}{\underline{1}} + \frac{1}{\underline{2}} + \frac{1}{\underline{3}} = \frac{1}{\text{المقاومة الكلية}}$$

$$\frac{1}{\underline{60}} + \frac{1}{\underline{60}} + \frac{1}{\underline{60}} =$$

$$\underline{\underline{\Omega 20}} = \text{المقاومة الكلية} .:$$

ثالثاً : بطريقة مختلفة على هذا النحو :

$$\Omega 120 = 60 + 60 = \text{مقاومة الفرع الأعلى}$$



$$\frac{1}{\underline{60}} + \frac{1}{\underline{120}} = \frac{1}{\text{المقاومة الكلية}}$$

$$\underline{\underline{\Omega 40}} = \text{المقاومة الكلية} .:$$

رابعاً : بطريقة مختلطة على هذا النحو :

المقاومة الكلية للمقاومتين الموصلتين على التوازي

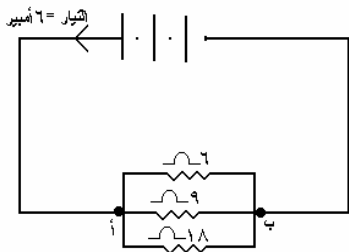
$$\underline{\underline{\Omega 30}} = \frac{60}{\underline{2}} =$$

$$\underline{\underline{\Omega 90}} = 60 + 30 = \text{المقاومة الكلية للدائرة}$$

مثال (٢) :

في الشكل أعلاه أحسب :

- ١ . المقاومة الكلية .
- ٢ . فرق الجهد بين أ ب .
- ٣ . شدة التيار المار في كل مقاومة .





الحل :

$$\frac{1}{3} + \frac{1}{2} + \frac{1}{1} = \frac{1}{\text{المقاومة الكلية}}$$

$$\frac{1 + 2 + 3}{18} = \frac{1}{18} + \frac{1}{9} + \frac{1}{6} =$$

∴ المقاومة الكلية = 3 Ω

١. فرق الجهد بين أ ب = التيار الكلي × المقاومة الكلية

$$18 = 3 \times 6 = \text{فولت}$$

٢. تيار الفرع =  $\frac{\text{التيار الكلي} \times \text{المقاومة الكلية}}$

مقاومة الفرع

$$\text{تيار المقاومة } 6 \Omega = \frac{3 \times 6}{6} = 3 \text{ أمبير}$$

$$\text{تيار المقاومة } 9 \Omega = \frac{3 \times 6}{9} = 2 \text{ أمبير}$$

$$\text{تيار المقاومة } 18 \Omega = \frac{3 \times 6}{18} = 1 \text{ أمبير}$$

مثال (٣) :

مقاومتان مقدارهما ٤٠ ، ٦٠ أوم موصلتان على التوازي فإذا وصلت مقاومة ثالثة مقدارها

٢ أوم على التوالي مع المجموعة . وإذا كان فرق الجهد بين طرفي المقاومة الثالثة ٤ فولت :

١. ارسم شكل الدائرة الكهربائية الموصوفة أعلاه .

٢. ما مقدار :

أ) المقاومة الكلية للدائرة .

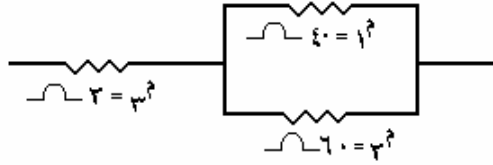
ب) التيار الكلي للدائرة .

ج) التيار المار في كل مقاومة .

الوحدة الثانية : (الكهربية)

الحل :

. ١



أ) المقاومة الكلية للمقاومتين ١م ، ٢م .

$$\frac{1}{60} + \frac{1}{40} = \frac{1}{24} + \frac{1}{12} = \frac{1}{8}$$

المقاومة الكلية

∴ المقاومة الكلية = ٢٤ Ω

∴ مقاومة الدائرة = ٢٦ Ω = ٢ + ٢٤

ب) التيار الكلي للدائرة = تيار المقاومة ٣م = ٢/٢٦ = ٢ أمبير

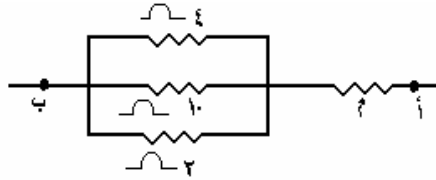
ج) ∴ تيار الفرع =  $\frac{\text{التيار الكلي} \times \text{المقاومة الكلية}}{\text{مقاومة الفرع}}$

$$\therefore \text{تيار المقومة م} = \frac{24 \times 2}{40} = 1,2 \text{ أمبير}$$

$$\therefore \text{تيار المقومة م} = \frac{24 \times 2}{60} = 0,8 \text{ أمبير}$$

### الأسئلة والتمارين :

- ١/ ثلاث مقاومات مقاديرها ٦ ، ٩ ، ١٨ أوم كيف يمكن توصيلها لتعطي :
- (أ) أكبر مقاومة وما مقدارها ؟
- (ب) أصغر مقاومة وما مقدارها ؟
- (ج) مقاومة مقدارها  $12 \Omega$ .
- ٢/ مقاومتان مقدار الأولى ١٢ أوم والثانية ٢٤ أوم موصلتان على التوازي إذا وصلت مع المجموعة مقاومة ثالثة مقدارها  $10 \Omega$  على التوالي ، ما مقدار المقاومة الكلية للدائرة ؟
- ٣/ ما مقدار المقاومة التي إذا وصلت على التوازي مع مقاومة مقدارها ١٠٠ أوم تصبح مقاومتها الكلية المكافئة  $20 \Omega$  ؟
- ٤/ ثلاث مقاومات مقاديرها ٣ ، ٤ ، ٥ أوم موصلة في دائرة كهربية على التوالي فإذا كان فرق الجهد بين طرفي المقاومة ٥ أوم هو ١٠ فولت أحسب :
- أ. شدة التيار المار في كل مقاومة .
- ب. فرق الجهد بين طرفي كل مقاومة .
- /٥



- في الشكل أعلاه إذا كانت المقاومة الكلية بين النقطتين أ ب تساوي  $15 \Omega$  أحسب مقدار المقاومة م.
- ٦/ ثلاثة مصابيح كهربية مقاومتها الكهربائية ٢٢ ، ٤٤ ، ٣٣ أوم وصلت جميعاً على التوازي بفرق جهد مقداره ١١٠ فولت فإذا كانت شدة التيار الكلي المار في المصابيح الثلاثة ١١,٩ أمبير أحسب مقدار مقاومة المصباح الثالث (م) .

### ٣/ العوامل المؤثرة في مقدار مقاومة موصل :

تدل التجارب العملية على أن مقاومة الموصل تعتمد على العوامل الآتية :

١. طول الموصل .
  ٢. مساحة مقطع الموصل ( سُمك ) الموصل .
  ٣. نوع المادة المصنوع منها الموصل .
  ٤. درجة حرارة الموصل .
- ولدراسة العلاقة بين مقدار مقاومة الموصل وكل من العوامل السابقة دلت التجارب العملية التي أجريت على أن :
- ( تتناسب مقاومة الموصل (م) تناسباً طردياً مع طوله ( ل ) وعكسياً مع مساحة مقطعه ( س ) ) وتتوقف على نوع المادة المصنوع منها الموصل ( س ) .
- ويمكن كتابة ذلك بصورة رياضية على النحو الآتي :

$$م \propto \frac{ل}{س}$$

$$م = \frac{\text{ثابت} \times ل}{س}$$

الثابت يعرف بالمقاومة النوعية (ن)

$$م = \frac{ن ل}{س}$$

حيث أن :

- م  $\equiv$  مقاومة الموصل بالأوم .
- ل  $\equiv$  طول الموصل بالمتري .
- س  $\equiv$  مساحة مقطع الموصل بالمتري المربع .
- ن  $\equiv$  المقاومة النوعية بالأوم  $\times$  متري .

**(د) أثر درجة حرارة الموصل على مقاومته :**

بوجه عام تزداد مقاومة الموصل المعدني بارتفاع درجة حرارته ويفسر ذلك بأن زيادة درجة حرارة الموصل المعدني تعمل على زيادة طاقة الحركة فيزداد تبعاً لك سرعة الجزيئات فتزداد فرصة تصادمها بالإلكترونات وبالتالي تزداد مقاومة الموصل ومما يجدر ذكره أن مقاومة بعض السبائك مثل (الكونستانتان) و (المنجانين) لا تتأثر كثيراً بدرجة الحرارة .

□ ومما سبق يمكن تعريف المقاومة النوعية بأنها مقاومة موصل منتظم المقطع طوله واحد متر ومساحة مقطعه واحد متر مربع .

الوحدة الثانية : (الكهربية)

### الأسئلة والتمارين :

- ١/ أحسب مقاومة سلك من النحاس طوله ٣ أمتار ومساحة مقطعه ٠,٥ ملليمتر مربع إذا كانت المقاومة النوعية للنحاس  $10^{-8}$  أوم . متر .
- ٢/ أحسب مقاومة سلك معدني طوله ١٨٠ متراً وقطره ٠,٥ ملليمتر علماً بأن المقاومة النوعية للمادة المصنوع منها  $10^{-6}$  أوم سنتيمتر .
- ٣/ مقاومة كهربية عندما يمر فيها تيار شدته ٣ أمبير يصبح فرق الجهد بين طرفيها ١٢ فولت . أحسب المقاومة النوعية لمادتها علماً بأن طولها ٢ متراً ومساحة مقطعها ٠,١ سنتيمتر مربعاً .
- ٤/ سلك طوله ٦٢٥ متراً ونصف قطره ٢٥ ملليمتراً قيست مقاومته فوجدت أنها ٣٥ أوم فما هي المقاومة النوعية لمادة السلك ؟
- ٥/ سلك نصف قطره ٠,٧ ملليمتر ومقاومته ٤ أوم ما طوله إذا كانت المقاومة النوعية للمادة المصنوع منها  $10^{-6}$  أوم سنتيمتر .
- ٦/ سلك قطره ٠,٦ ملليمتر ومقاومته النوعية  $10^{-8}$  أوم . سنتيمتر أحسب مقاومة ما طوله كيلومتر من هذا النوع .

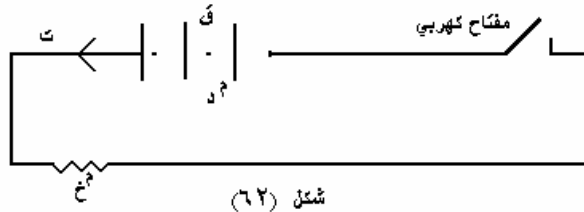
#### ٤/ القوة الدافعة الكهربائية ( ق . د . ك ) :

لنأخذ دائرة كهربية شكل (٦٢) مؤلفة من مولد كهربى قوته الدافعة الكهربائية ( ق ) فولت ومقاومته الداخلية م د أوم وجهاز أو أجهزة مقاومتها الخارجية م خ أوم . عند غلق الدائرة الكهربائية الموصوفة لمدة من الزمن يعطى المولد الكهربى قوة دافعة كهربية تدفع التيار فى جميع أجزاء الدائرة الداخلية والخارجية يمكن تحديد مقدارها رياضياً على هذا النحو :

$$ق = ت م خ + ت م د$$

حيث أن :

- ق  $\equiv$  القوة الدافعة الكهربائية .
- ت  $\equiv$  شدة التيار الكهربى .
- م خ  $\equiv$  المقاومة الخارجية .
- م د  $\equiv$  المقاومة الداخلية .



□ تقاس القوة الدافعة الكهربائية بالفولتميتر ووحدة قياسها هى الفولت .

∴ ت م خ = فرق الجهد الكهربى (جـ)

$$∴ ق = جـ + ت م د$$

ويتضح من العلاقة أعلاه أن القوة الدافعة الكهربائية ( ق ) أكبر من فرق الجهد ( جـ ) ولكن فى حالة عدم وجود أى مقاومة داخلية ( م د = صفر ) أو فى حالة عدم مرور أى تيار كهربى ( ت = صفر ) عندئذ فإن فرق الجهد الكهربى يساوى القوة الدافعة الكهربائية .

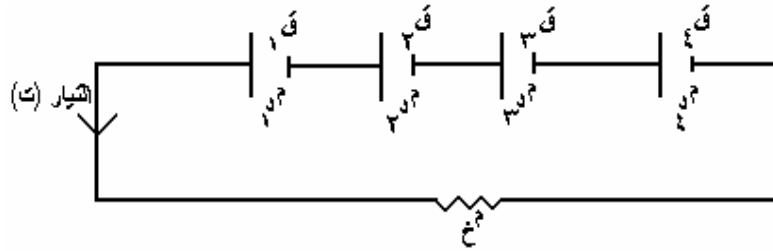
### ٥ / توصيل الأعمدة الكهربية :

عند الحاجة لزيادة القوة الدافعة الكهربية أو شدة التيار الكهربي لابد من توصيل مجموعة من الأعمدة الكهربية مع بعضها البعض وهناك طريقتان أساسيتان لذلك :

- ١ . توصيل الأعمدة على التوالي .
- ٢ . توصيل الأعمدة على التوازي .

#### توصيل الأعمدة على التوالي :

إذا وصل القطب الموجب للعمود الأول مع سالب العمود الثاني وموجب العمود الثاني مع سالب العمود الثالث وهكذا تكون الأعمدة موصلة على التوالي كما في شكل (٦٣) .



شكل (٦٣)

$$Q . د . ك الكلية = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + \dots$$

∴ القوة الدافعة الكهربية الكلية = مجموع القوى الدافعة الكهربية للأعمدة جميعاً

$$المقاومة الداخلية الكلية = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + \dots$$

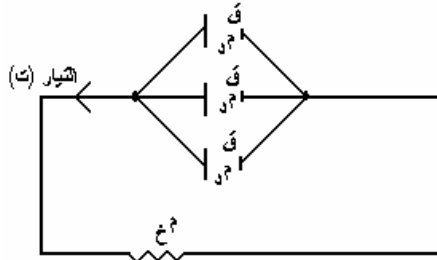
المقاومة الداخلية الكلية = مجموع المقاومات الداخلية للأعمدة جميعاً

ملاحظة :

إذا عكس توصيل أحد الأعمدة أو بعضها تعطي إشارة جبرية سالبة للعمود أو الأعمدة المعكوسة ، أما المقاومة الداخلية الكلية فلا تتأثر بذلك .



### توصيل الأعمدة على التوازي :



شكل (٦٤)

إذا وصلت الأقطاب الموجبة لجميع الأعمدة معاً في نقطة وجميع الأقطاب السالبة لنفس الأعمدة معاً في نقطة أخرى ، وتكون الأعمدة موصلة على التوازي شكل (٦٤) . في هذه الحالة تكون الأعمدة الكهربائية متشابهة أي قوتها الدافعة الكهربائية متساوية ومقاومتها الداخلية متساوية أيضاً.

القوة الدافعة الكلية = قوة دافعة كهربية لعمود واحد فقط

المقاومة الداخلية الكلية يمكن حسابها وفق القانون الآتي :

$$\dots + \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} = \frac{1}{\text{المقاومة الداخلية الكلية}}$$

الوحدة الثانية : (الكهربية)

### الأسئلة والتمارين :

١/ عمود كهربي قوته الدافعة الكهربية ٢ فولت ومقاومته الداخلية ٠,٥ أوم وصل على التوالي مع عمود آخر قوته الدافعة الكهربية ١,٥ فولت ومقاومته الداخلية ٠,٥ أوم فإذا وصل بقطبي العمودين ملف مقاومته ٦ أوم ، أحسب شدة التيار الكهربي المار . وإذا عكس توصيل العمود الثاني كم تصبح شدة التيار الكهربي عندئذ ؟

٢/ خليتان كهريتان ق . د . ك لكل منها ٢ فولت والمقاومة الداخلية لكل منها ٠,٥ أوم وصلت مرة على التوالي وأخرى على التوازي بمقاومة خارجية مقدارها ١٠ أوم أحسب :  
أ. تيار الدائرة الكهربية في كل حالة .  
ب. التيار الكهربي المار من كل خلية في كل حالة .

٣/ أ ، ب ، ج ثلاث خلايا كهربية القوة الدافعة الكهربي لها ٢ ، ٤ ، ٦ فولت ومقاومتها الداخلية ٠,٥ ، ١ ، ١,٥ أوم على الترتيب . وصلت على التوالي بملف مقاومته ٩ أوم أحسب شدة التيار الكهربي الناتج ؟ وإذا عكس توصيل الخلية (ب) ما مقدار التغيير في شدة التيار الكهربي ؟  
٤/ بطارية ق . د . ك ١٢ فولت ومقاومتها الداخلية ٣  $\Omega$  وصلت على التوالي مع بطارية ق . د . ك ٨ فولت ومقاومتها الداخلية ٢  $\Omega$  فإذا وصل طرفا البطاريتين بمقاومة خارجية مقدارها ١٠ أوم أحسب شدة التيار الناتج وإذا عكس توصيل البطارية الثانية كم تصبح شدة التيار الكهربي عندئذ ؟ .

٥/ بطارية مكونة من ٦ خلايا ق . د . ك لكل خلية ١,٥ فولت موصلة على التوالي فإذا وصل طرفا البطارية بمقاومة خارجية مقدارها ٦ أوم وجد أن فرق الجهد بين طرفي المقاومة الخارجية ٦ فولت أحسب المقاومة الداخلية لكل خلية ؟ .