الوحدة الثانية

الكهرباء المتحركة

الفصل الأول: التيار الكهربائي والمقاومات والعلاقة بينهما

الفصل الثاني: دارات التيار الكهربائي المستمر

أولاً: التيار الكهربائي في المقاومات والعلاقة بينهما

التيار الكهربائي: هو مصطلح يطلق على حركة الدقائق المشحونة (الكترونات، بروتونات، أيونات، ... الخ) في موصل

التيار الالكتروني: هو التيار الكهربائي الناتج عن حركة الالكترونات الحرة داخل الموصل

ملاحظة: التيار الكهربائي المستخدم في جميع مناحي الحياة (التيار الالكتروني)

شروط توليد تيار كهربائي:

1- توفر عدد من الدقائق المشحونة

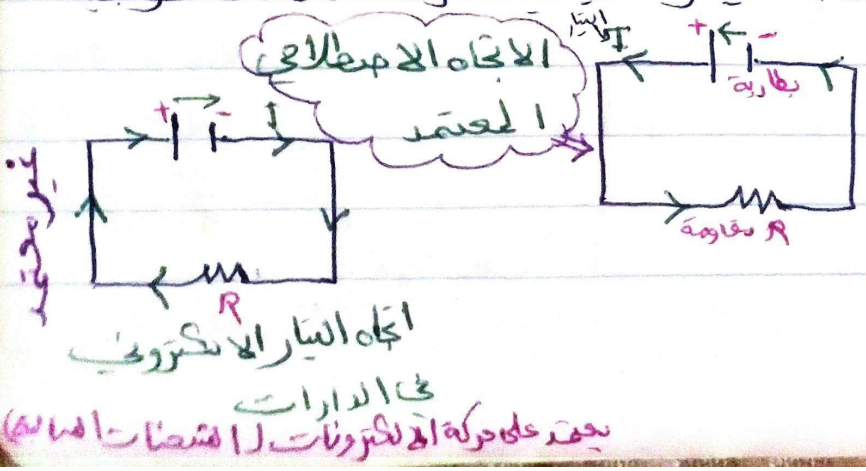
2- موصل يسمح بانتقال الدقائق المشحونة من خلاله

3- مصدر لفرق الجهد الكهربائي [مجال كهربائي داخل الموصل]

$$qE = F$$

اتجاه التيار الكهربائي في الدارات [الموصلات]

يستخدم اتجاه التيار الاصطلاحي: والذي يمثل حركة الشحنات الموجبة في الموصلات.



في الدارات يعتمد على حركة الالكترونات (الشحنات السالبة)

شدة التيار الكهربائي [I]

هو كمية الشحنة الكهربائية ΔQ التي تخترق مساحة مقطع الموصل في وحدة الزمن

تقاس بوحدة $\frac{\text{كولوم}}{\text{ثانية}}$ (أمبير)

العلاقة الرياضية

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

$$\frac{C}{s} = A$$

$$\text{أمبير} = \frac{\text{كولوم}}{\text{ثانية}}$$

$\Delta Q = N q_e$ حيث

N: العدد الكلي للالكترونات

q_e: شحنة الالكترون

$$q_e = 1.6 \times 10^{-19} C$$

وحدات التيار الكهربائي:

1. الأمبير A
2. ملي أمبير $mA = 1 \times 10^{-3} A$
3. ميكرو أمبير $\mu A = 1 \times 10^{-6} A$

كثافة شدة التيار الكهربائي [J]

هي شدة التيار الكهربائي المار في وحدة المساحة

تقاس بوحدة أمبير/م^2

العلاقة الرياضية

$$J = \frac{I}{A}$$

أمثلة :

مثال (1) : موصل مساحة مقطعه العرضي $2\ mm^2$ فإذا كانت عدد الالكترونات التي تخترق مساحة مقطع الموصل خلال 2 ميكروثانية تساوي $5\times10^{12}\ e$

جدي 1- شدة التيار المار في الموصل

2- كثافة شدة التيار

$A = 2\ mm^2 = 2\times10^{-6}\ m^2$

$\Delta t = 2\mu c = 2\times10^{-6}\ s$

$N = 5\times10^{12}\ e$

1) $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ $\quad \Delta Q = Nq_e = 5\times10^{12}\times1.6\times10^{-19} = 8\times10^{-7}\ c$

$I = \frac{8\times10^{-7}}{2\times10^{-6}} = 4\times10^{-1} = 0.4\ A$

2) $J = \frac{I}{A} = \frac{0.4}{2\times10^{-6}} = 0.2\times10^{6} = 2\times10^{5}\ A/m^2$

مثال (2) : موصل مساحة مقطعه العرضي $4\ mm^2$ تخترق مساحة مقطعه العرضي شحنة موجبة مقدارها $1.2\ \mu C$ ميكروكولوم وشحنة سالبة أخرى مقدارها $3.8\ \mu C$ ميكروكولوم خلال $2\ \mu s$ ميكروثانية.

جدي 1- شدة التيار المار في الموصل 2- كثافة شدة التيار

$A = 4\ mm^2 = 4\times10^{-6}\ m^2$

$Q_1 = 1.2\times10^{-6}\ c$

$Q_2 = -3.8\times10^{-6}\ c$

$\Delta t = 2\times10^{-6}\ s$

1) $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$

$\Delta Q = Q_1 - Q_2$

$= [1.2 - (-3.8)]\times10^{-6}$

$= 5\times10^{-6}\ c$

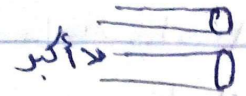
$\therefore I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{5\times10^{-6}}{2\times10^{-6}} = 2.5\ A$

2) $J = \frac{I}{A} = \frac{2.5}{4\times10^{-6}} = 0.625\times10^{6}$

$= 6.25\times10^{5}\ A/m^2$

* العوامل التي تعتمد عليها شدة التيار الكهربائي المار في الموصل

1- مساحة مقطع الموصل A



2- الكثافة الحجمية للالكترونات الحرة داخل الموصل (n)

(n): هي عدد الالكترونات الحرة الموجودة في وحدة الحجم تقاس بوحدة $\frac{\text{الكترون}}{\text{م}^3}$ $\left(\frac{e}{m^3}\right)$

الكثافة الحجمية = $\frac{\text{العدد الكلي للالكترونات الحرة}}{\text{حجم الموصل}}$

$n = \frac{N}{V}$ ← الحجم

الموصل يكون أسطواني حجمه يساوى

$V = A \times L$

طول الموصل × مساحة المقطع = الحجم

مساحة المقطع A : تكون دائرة

$A = \pi r^2$

3- السرعة الاندفاعية $[V_d]$: هي السرعة التي تقطع فيها الالكترونات الحرة طول الموصل وتكون صغيرة جداً، تقاس بوحدة m/s

علل: السرعة الاندفاعية للالكترونات الحرة داخل الموصلات صغيرة جداً

لأن الزمن الذي تستغرقه الالكترونات الحرة لقطع طول الموصل يكون كبير نسبياً بسبب المسار المتعرج الطويل الذي يسلكه الالكترون داخل الموصل بسبب تصادم الالكترونات مع ذرات الفلز عند قطع الموصل حسب العلاقة $V_d = \frac{L}{\Delta t}$

Δt كبيرة نسبياً

$\Rightarrow V_d =$ صغيرة نسبياً

4- شحنة الدقائق المتحركة (شحنة الالكترون q_e)

العلاقة الرياضية لقانون شدة التيار

$$I = n A V_d \times q_e$$

كثافة شدة التيار $J = \frac{I}{A}$

$$J = n V_d \times q_e$$

س: أثبتي أن شدة التيار الكهربائي I يتناسب طرديا مع مساحة مقطع الموصل A والكثافة الحجمية n والسرعة الانسياقية V_d للالكترونات الحرة وتعطى بالعلاقة $I = nAV_d q_e$

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{N \times q_e}{\Delta t} \qquad \frac{n}{1} = \frac{N}{V_{\text{الحجم}}}$$

$$= \frac{nV q_e}{\Delta t}$$

$$= \frac{n \times A \times \Delta L \, q_e}{\Delta t} \qquad V_d = \frac{\Delta L}{\Delta t}$$

$$= nAV_d q_e$$

مثال: موصل مساحة مقطعه العرضي $2\,mm^2$، الكثافة الحجمية للالكترونات الحرة داخل الموصل تساوي $4 \times 10^{25}\ e/m^3$ تتحرك داخل موصل بسرعة مقدارها $20\,cm/s$، فإذا كانت شحنة الالكترون تساوي $1.6 \times 10^{-19}\,C$ جدي

1- شدة التيار المار في الموصل

2- كثافة شدة التيار الكهربائي

$A = 2\,mm^2 = 2\times10^{-6}\ m^2$

$n = 4\times10^{25}\ e/m^3$

$V_d = 20\ cm/s = 0.2\ m/s$

$q_e = 1.6\times10^{-19}\ C$

1) $I = nA V_d q_e = 4\times10^{25}\times 2\times10^{-6}\times 0.2\times 1.6\times10^{-19}$

$= 2.56\ A$

2) $J = \frac{I}{A} = \frac{2.56}{2\times10^{-6}} = 1,28\times10^{6}\ A/m^2$

مثال 12: موصل مساحة مقطعه العرضي $5\,mm^2$، كثافة شدة التيار المار في الموصل تساوي $2\times10^5\ A/m^2$، فإذا كانت السرعة الاندفاعية للالكترونات الحرة داخل الموصل تساوي $50\ cm/s$، جدي الكثافة الحجمية للالكترونات الحرة داخل الموصل.

$A = 5\,mm^2 = 5\times10^{-6}\ m^2$

$J = 2\times10^5\ A/m^2$

$V_d = 50\ cm/s = 0.5\ m/s$

$J = n V_d q_e$

$2\times10^5 = n\times0.5\times1.6\times10^{-19}$

$\frac{2\times10^5}{0.8\times10^{-19}} = \frac{n\times0.8\times10^{-19}}{0.8\times10^{-19}}$

$n = 2.5\times10^{24}\ e/m^3$

المقاومة الكهربائية [R]

كمية فيزيائية تعرف مدى ممانعة مرور التيار التيار الكهربائي من خلالها

تقاس بوحدة فولت / أمبير (الأوم) (Ω)

* **المقاومة الكهربائية السلكية:** المقاومة الكهربائية المصنوعة من أسلاك فلزية مثل [النحاس، الألمنيوم، الحديد، ... الخ]

* **العوامل التي تعتمد عليها المقاومة السلكية**

* حسب العلاقة $R = \frac{\rho L}{A}$ (Ω)

فإن المقاومة السلكية تتناسب

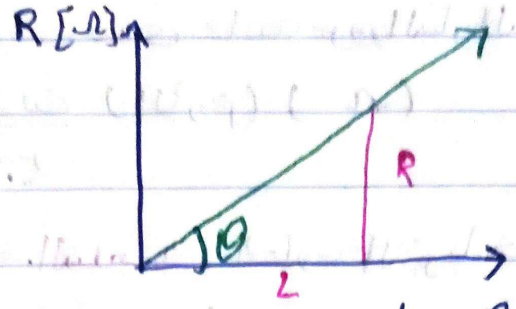
1- طردياً مع: ρ - مقاومية المادة ρ [أوم × متر] = [Ω.m]

ب - طول الموصل L [متر] [m]

2. عكسياً مع مساحة المقطع A [متر²] [m²]

المقاومية [ρ]: هي مقاومة جزء من الموصل طوله 1m ومساحة مقطعه العرضي $1m^2$ تختلف باختلاف نوع المادة تقاس بوحدة [أوم × متر]

* تمثيل العلاقة بين مقاومة الموصل R وطول الموصل L



ميل الخط المستقيم = $\tan\theta$

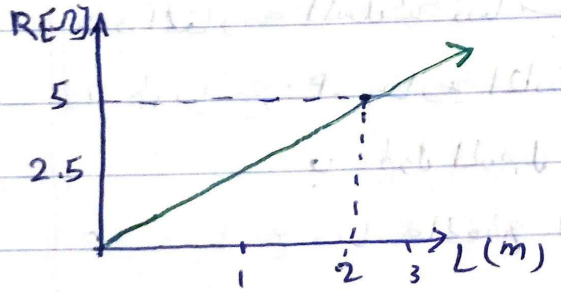
$$\tan\theta = \frac{R}{L} = \frac{\rho}{A} = \frac{\text{المقاومية}}{\text{مساحة المقطع}}$$

مثال (1) : موصل من النحاس مساحة مقطعه العرضي $1\ mm^2$ وطوله $100\ m$ مقاومية مادته $1.5\times10^{-7}\ \Omega.m$ جدي مقاومته

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{1.5\times10^{-7}\times100}{1\times10^{-6}} = 15\ \Omega$$

مثال (2) : موصل مساحة مقطعه العرضي $2\ mm^2$ ، مثلت العلاقة بين طول الموصل ومقاومته الكهربائية فكانت كما في الشكل ، جدي مقاومية الموصل

حسب قانون المقاومة



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

$$\frac{R}{L} = \frac{\rho}{A} \Rightarrow \frac{5}{2} = \frac{\rho}{2\times10^{-6}}$$

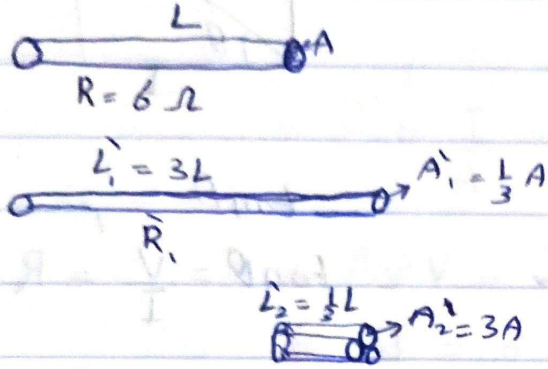
$$\frac{2\rho}{2} = \frac{5\times2\times10^{-6}}{2}$$

$$\rho = 5\times10^{-6}\ \Omega.m$$

مثال (3): موصل فلزي مقاومته 6 Ω هي مقاومة الموصل في الحالات التالية:

1- إذا سحب السلك ليصبح طوله ثلاثة أمثال طوله الأصلي

2- إذا قسم السلك إلى ثلاثة أقسام متساوية في الطول وجمعت كقطعة واحدة



$$R = \frac{\rho L}{A} = 6\,\Omega$$

$$R'_1 = \frac{\rho L'_1}{A'_1} = \frac{\rho \times 3L}{\frac{1}{3}A} = 9 \times \frac{\rho L}{A} = 9 \times 6 = 54\,\Omega$$

$$R'_2 = \frac{\rho L'_2}{A'_2} = \frac{\rho \times \frac{1}{3}L}{3A} = \frac{\rho L}{9A} = \frac{6}{9} = \frac{2}{3} = 0.666\,\Omega$$

* العلاقة بين شدة التيار المار في المقاومة I والمقاومة R

قانون أوم:

* الصيغة الأولى: تتناسب شدة التيار المار في مقاومة كهربائية ثابتة طرديا مع فرق الجهد بين طرفي المقاومة

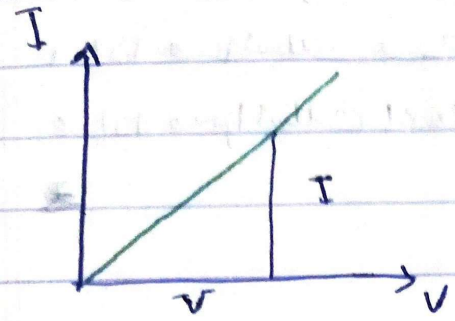
فرق الجهد بين طرفي المقاومة = شدة التيار × المقاومة

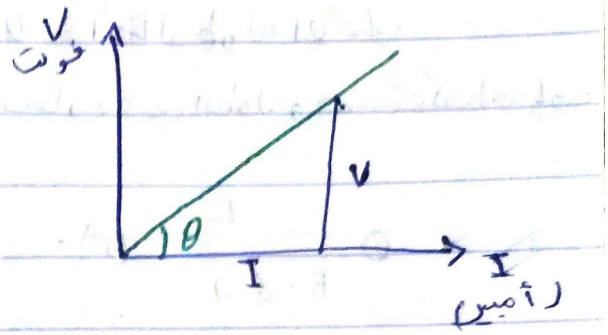
R × I = V

$V = IR$

* العلاقة الرياضية لقانون أوم

* التمثيل البياني بين فرق الجهد وشدة التيار





ميل الخط المستقيم = $\tan\theta$

$\tan\theta = \frac{V}{I} = R$ المقاومة

ميل الخط المستقيم = $\tan\theta$

$\tan\theta = \frac{I}{V} = \frac{1}{R}$ مقلوب المقاومة

* الصيغة الثانية: كثافة شدة التيار الكهربائي (J) تتناسب طرديًا مع شدة المجال الكهربائي E داخل الموصل

* العلاقة الرياضية للقانون

$$J = \sigma E$$

σ : سجما [الموصلية]

الموصلية: هي كمية فيزيائية قياسية عكس المقاومية تقاس بوحدة $(\Omega.m)^{-1} = \left(\frac{1}{\Omega.m}\right)$

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

E : شدة المجال الكهربائي داخل الموصل

حيث $V = EL$ ← فرق الجهد = شدة المجال X طول الموصل

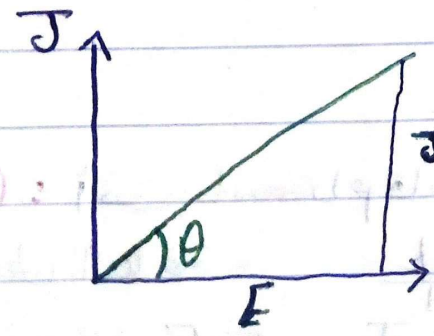
ملخص :

- $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ ، $\Delta Q = N q_e$
- $I = n A v_d q_e$ ، $n = \frac{N}{\text{الحجم } V}$
- $J = \frac{I}{A} = n v_d q_e$
- فرق الجهد $V = I R$
- $J = \sigma E$

قانون أوم

- $\sigma = \frac{1}{\rho}$ ، فرق الجهد $V = EL$
- $R = \frac{\rho L}{A}$

التمثيل البياني للصيغة الثانية لقانون أوم $J = \sigma E$



ميل الخط المستقيم = $\tan\theta$

الموصلية $\tan\theta = \frac{J}{E} = \sigma$

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

أمثلة :

مثال (1) : باستخدام قانون أوم $J = \sigma E$ أثبت أن المقاومة السلكية R تعطى بالعلاقة التالية $R = \frac{\rho L}{A}$

الإثبات : $J = \sigma E$ ، $J = \frac{I}{A}$ ، $\sigma = \frac{1}{\rho}$ ، $E = \frac{V}{L}$

$$\frac{I}{A} = \frac{1}{\rho} \times \frac{V}{L}$$

بالضرب التبادلي

$$VA = \rho L I$$ نقسم على A

$$V = \frac{\rho L}{A} I$$ نقسم الطرفين على I

$$\frac{V}{I} = \frac{\rho L}{A}$$

حسب قانون أوم

$$\frac{V}{I} = \frac{RI}{I} \Rightarrow \frac{V}{I} = R \Rightarrow R = \frac{\rho L}{A}$$

مثال (2) : أثبت باستخدام قانون أوم $V = IR$ بأن المقاومة السلكية R تعطى بالعلاقة $R = \frac{\rho L}{A}$

$V = IR$ $\quad V = EL$ $\quad I = JA$ $\quad J = \sigma E$

$$EL = JAR$$

$$\frac{EL}{\sigma A} = \frac{\sigma E A R}{\sigma A} \Rightarrow R = \frac{L}{\sigma A} \qquad \frac{1}{\sigma} = \rho$$

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

مثال (3) : يبين الشكل المجاور موصل متغير في مساحة المقطع

جدي العلاقة وفي ماذا يحدث لكل من

① شدة التيار I

② الكثافة الحجمية للالكترونات n

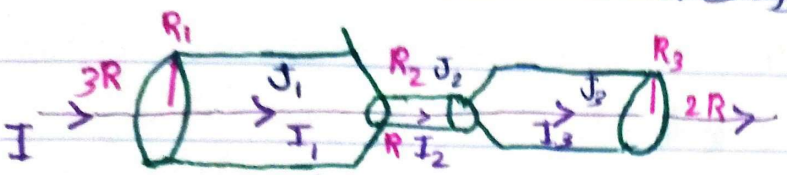
③ المقاومية ρ

④ الموصلية σ

⑤ كثافة شدة التيار J .

⑥ السرعة الاندفاعية V_d

⑦ شدة المجال الكهربائي E



① شدة التيار I , المقاومية ρ , الموصلية σ والكثافة الحجمية n

تبقى ثابتة .

التفسير : شدة التيار في حالة التوالي متساوية , الكثافة الحجمية n

المقاومية ρ , الموصلية σ .

** ثابتة للفلز الواحد لا تتغير إلا بتغير نوع الفلز (الموصل)

⑤ كثافة شدة التيار تتغير على النحو التالي $J_2 > J_3 > J_1$

التفسير : $J = \frac{I}{A}$

شدة التيار ثابتة

A متغيرة فكلما زادت مساحة المقطع قلت كثافة شدة التيار

⑥ السرعة الاندفاعية تتناسب طردياً مع كثافة شدة التيار J حسب العلاقة $J = n V_d q_e$ وبالتالي $V_{d_2} > V_{d_3} > V_{d_1}$

⑦ شدة المجال الكهربائي تتناسب طردياً مع كثافة شدة التيار حسب العلاقة $J = \sigma E$

$E_2 > E_3 > E_1$

مثال (4) : جدي العلاقة الرياضية بين كثافة شدة التيار في المثالث مقاطع
العلاقة بين J_1 , J_2

$$J_1 = \frac{I}{A_1}$$

$$J_2 = \frac{I}{A_2}$$

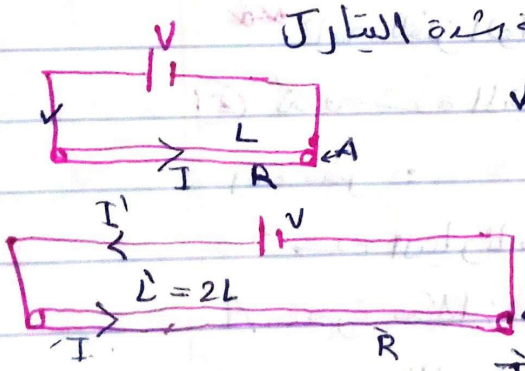
$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{I}{A_1} \times \frac{A_2}{I} = \frac{\pi R_2^2}{\pi R_1^2} = \frac{R^2}{(3R)^2} = \frac{R^2}{9R^2}$$

$$= \frac{1}{9} = \frac{J_1}{J_2} \Rightarrow J_2 = 9\, J_1$$

س : موصل طوله L ومساحة مقطعه العرضي A مقاومته ρ موصول بفرق جهد مقداره V ، إذا سحب السلك بحيث أصبح طوله ضعف طوله الأصلي مع بقاء فرق الجهد ثابت ، وضحي ماذا يحدث لكل من :

1- مقاومة السلك R 2- شدة التيار I 3- كثافة شدة التيار J

4- السرعة الانزفاعية للالكترونات الحرة v_d



① $R = \frac{\rho L}{A}$ $\quad \acute{R} = \frac{\rho \acute{L}}{\acute{A}}$

$= \frac{\rho\, 2L}{\frac{1}{2}A} = 4\frac{\rho L}{A} = 4R$

② $I = \frac{V}{R}$

$\acute{I} = \frac{V}{\acute{R}} = \frac{V}{4R} = \frac{1}{4} I$

③ $J = \sigma E$

$= \sigma \frac{V}{L}$

$\acute{J} = \sigma \acute{E}$

$= \sigma \frac{V}{\acute{L}}$

$\acute{J} = \sigma \frac{V}{2L} = \frac{1}{2} J$

$2 \times \acute{J} = \frac{1}{2} J \times 2$

$2\acute{J} = J$

④ $J = n v_d q_e$

$\acute{J} = n \acute{v}_d q_e$

بالقسمة $\frac{J}{\acute{J}} = \frac{n v_d q_e}{n \acute{v}_d q_e}$

$\frac{2\acute{J}}{J} = \frac{v_d}{\acute{v}_d}$

$2\acute{v}_d = v_d$

مثال (5): موصل مساحة مقطعه العرضي $2mm^2$ طوله 150m
مقاومية مادته $2\times10^{-8}\ \Omega.m$ وصل طرفاه بفرق جهد مقداره 5 فولت
جدي: 1- مقاومة السلك
2- شدة التيار المار في الموصل
3- كثافة شدة التيار
4- شدة المجال داخل الموصل
5- السرعة الانزفاعية للالكترونات داخل الموصل إذا كانت كثافتها الحجمية تساوي $2\times10^{25}\ e/m^3$

$A = 2mm^2 = 2\times10^{-6}\ m^2$, $L = 150\ m$, $\rho = 2\times10^{-8}\ \Omega.m$, $V = 5\ V$

1- $R = \frac{\rho L}{A} = \frac{2\times10^{-8}\times150}{2\times10^{-6}} = 1.5\ \Omega$

2- $V = IR \Rightarrow 5 = I\times1.5 \Rightarrow I = \frac{5}{1.5} = 3.33\ A$

3- $J = \frac{I}{A} = \frac{3.33}{2\times10^{-6}} = 1.66\times10^{6}\ A/m^2$

4- $V = EXL \Rightarrow 5 = E\times150 \Rightarrow E = \frac{5}{150} = 0.033\ \frac{Volt}{m} = 3.3\times10^{-2}\ V/m$

$q_e = 1.6\times10^{-19}\ C$

5- $J = n V_d q_e$

$1.66\times10^{6} = 2\times10^{25}\times V_d \times1.6\times10^{-19} \Rightarrow 1.66\times10^{6} = 3.2\times10^{6} V_d$

$V_d = \frac{1.66}{3.2} \approx 0.5\ m/s = 50\ cm/s$

س: موصل مستقيم نصف قطر مساحة مقطعه 1mm مقاومية مادته $1.2\times10^{-8}\ \Omega.m$ وصل طرفاه بفرق جهد كهربائي مقداره 2V فولت فإذا كانت كمية الشحنة التي تخترق مساحة مقطعه العرضي خلال 6 ميكروثانية تساوي $12\times10^{-7}\ C$

جد ما يلي: 1. كثافة شدة التيار 4. مقاومة الموصل

2. شدة المجال الكهربائي داخل الموصل

3. السرعة الانسياقية للالكترونات الحرة داخل الموصل إذا كانت كثافتها العددية تساوي $6\times10^{26}\ e/m^3$

$r = 1mm = 1\times10^{-3}\ m \quad \rho = 1.2\times10^{-8}\ \Omega.m \quad V = 2V$

$\Delta Q = 12\times10^{-7}\ C \quad \Delta t = 6\ \mu s = 6\times10^{-6}\ s$

① $J = \frac{I}{A}$, $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{12\times10^{-7}}{6\times10^{-6}} = 0.2\ A$

$A := \pi r^2 = 3.14\times(1\times10^{-3})^2 = 3.14\times10^{-6}\ m^2$

$J = \frac{0.2}{3.14\times10^{-6}} = 0.06\times10^{6} = 6\times10^{4}\ A/m^2$

② $V = EL$

$J = \sigma E$, $\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{1.2\times10^{-8}}$

$= 0.83\times10^{8}$

$= 8.3\times10^{7}\ (\Omega.m)^{-1}$

$\frac{6\times10^{4}}{8.3\times10^{7}} = \frac{8.3\times10^{7}\,E}{8.3\times10^{7}} \Rightarrow E = 0.72\times10^{-3}$

$= 7.2\times10^{-4}\ V/m$

③ $J = n\times V_d\times q_e$

$6\times10^{4} = 6\times10^{26}\times V_d\times1.6\times10^{-19}$

$\frac{6\times10^{4}}{9.6\times10^{7}} = \frac{9.6\times10^{7}\,V_d}{9.6\times10^{7}} \Rightarrow V_d = 0.62\times10^{-3} = 6.2\times10^{-4}\ m/s$

⑨ $R = \frac{\rho L}{A}$

$V = EL$

$2 = 7.2 \times 10^{-4} \times L$

$L = \frac{2}{7.2 \times 10^{-4}} = 0.27 \times 10^{4}$

$= 2.7 \times 10^{3}$

$\therefore R = \frac{1.2 \times 10^{-8} \times 2.7 \times 10^{3}}{3.14 \times 10^{-6}} = 10\ \Omega$

$R = \frac{V}{I} = \frac{2}{0.2} = \frac{20}{2} = 10\ \Omega$

الأثر الحراري للتيار الكهربائي

يعتبر الأثر الحراري من أحد أشكال الآثار التي تنتج عن مرور التيار الكهربائي في موصل (مغناطيسي، كيماوي، ضوئي، حركي ... e.t)

تفسير الأثر الحراري للتيار الكهربائي المار في المقاومات :

عندما يوصل طرفي موصل بفرق جهد كهربائي يتولد داخل الموصل مجال كهربائي يؤثر بقوة كهربائية على الالكترونات الحرة داخل الموصل فتتحرك من طرف إلى آخر مشكلة تيار كهربائي وهذه الالكترونات المتحركة خلال انتقالها داخل الموصل تحدث فيما بينها وبين ذرات الفلز تصادمات غير مرنة بحيث تفقد: طاقتها الحركية حيث تتحول الطاقة الحركية إلى طاقة حرارية داخل الموصل.

ما هي العوامل التي تعتمد عليها كمية الطاقة الحرارية المتولدة في موصل ؟

استطاع العالم جول أن يحدد العوامل التي تعتمد عليها كمية الطاقة الحرارية المتولدة في مقاومة كهربائية ثابتة من خلال قانون سمّي باسمه .

نص قانون جول : [إن معدل الطاقة الحرارية [القدرة] المتولدة في موصل مقاومته ثابتة تتناسب طرديا مع مربع شدة التيار المار فيها]

العلاقة الرياضية لقانون جول

معدل الطاقة [القدرة] = المقاومة × مربع شدة التيار

1. $P = R \times I^2$ وحدة (W)

أشكال أخرى للقانون

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

$P = \frac{V}{I} \times I^2 = VI$

2. $P = VI$

$$V = IR$$

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

$$\therefore P = R\left(\frac{V}{R}\right)^2 = R\frac{V^2}{R^2} = \frac{V^2}{R}$$

3. $P = \frac{V^2}{R}$

$$P = IV = RI^2 = \frac{V^2}{R} \quad W$$

القدرة الكهربائية: هي معدل الطاقة الكهربائية المستنفدة (المنتجة) في وحدة الزمن تقاس بوحدة (جول/ثانية) (واط)

$$P = \frac{\Delta E_h}{\Delta t}$$

ΔE_h : كمية الحرارة المستنفدة

Δt : الزمن

$$\Delta E_h = P\Delta t$$

تكاليف استهلاك الطاقة الحرارية: هي مجموعة الطاقة الكهربائية المستنفدة مضروبة في سعر الوحدة. (كيلوواط . ساعة)

تكاليف = E_h × سعر الوحدة

= $P \times \Delta t \times$ سعر الوحدة

في الغالب يدفع المواطن 0.06 سيقل ثمن استهلاك الكيلوواط X ساعة لذلك عند حساب التكلفة نحول القدرة P إلى كيلوواط والزمن Δt إلى ساعة.

مثال (1) : مكواة كهربائية مكتوب عليها (1000 W ، 240 V) استخدمت في منزل مصر فرق الجهد فيه 240 V ، جدي

1- مقاومة المكواة

2- شدة التيار المسحوبة من المصدر

3- تكاليف استهلاك الكهرباء في الشهر اذا كانت تعمل يومياً لمدة نصف ساعة وكان سعر الكيلووات ساعة 0.64 شيقل

$P = 1000\ W \qquad V = 240\ V$

① $P = \frac{V^2}{R}$

$1000 = \frac{(240)^2}{R}$

$1000R = 57600 \Rightarrow R = 57.6\ \Omega$

② $P = VI$

$\frac{1000}{240} = \frac{240I}{240}$

$I = 4.16\ A$

③ التكلفة = E_n × سعر الوحدة

$= P\Delta t$ × سعر الوحدة

$= \frac{1000}{1000} \times (\frac{1}{2} \times 30) \times 0.64$

$= 1 \times 15 \times 0.64$

$= 9.6$ شيقل

س٢: سخان مائي مكتوب عليه (240 V, 1200 w)
مقاومته سلك فلزي ... مقاومية مادته $1.2 \times 10^{-6}\ \Omega.m$
مساحة مقطعه العرضي $2mm^2$ جدي :
1- طول سلك السخان
2- شدة التيار الكهربائي الذي يسحبه من المصدر
3- تكاليف ... استخدامه في الشهر إذا كان يعمل يومياً 2 ساعة
وسعر الكيلو واط بـ ساعة 0.64 شيقل.

$V = 240\ V \quad P = 1200\ w \quad \rho = 1.2 \times 10^{-6}\ \Omega.m$
$A = 2mm^2 = 2 \times 10^{-6}\ m^2$

① $P = \frac{V^2}{R} = 1200 = \frac{240 \times 240}{R}$

$\frac{1}{1} = \frac{48}{R} \Rightarrow R = 48\ \Omega$

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

$\frac{48}{1} = \frac{1.2 \times 10^{-6} \times L}{2 \times 10^{-6}} \Rightarrow \frac{48}{0.6} = \frac{0.6L}{0.6} \Rightarrow L = \frac{480}{6} = 80\ m$

② $V = IR$
$240 = I \times 48$
$I = \frac{240}{48} = 5\ A$

③ ك = P × Δt × سعر الوحدة
$= \frac{1200}{1000} \times 2 \times 30 \times 0.64$
$= 72 \times 0.64 = 46$ شيقل

س: جهاز قدرته 480 واط عندما يعمل على فرق جهد كهربائي مقداره 240 V
كم تصبح قدرته عندما يعمل على فرق جهد مقداره 120 فولت

$$P_1 = \frac{V_1^2}{R}$$

$$R = \frac{V_1^2}{P_1}$$

$$= \frac{(240)^2}{480} = 120\ \Omega$$

عند نقل الجهاز تبقى مقاومته ثابتة

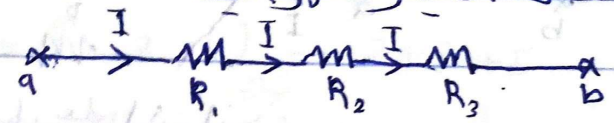
$$P_2 = \frac{V_2^2}{R}$$

$$= \frac{(120)^2}{120}$$

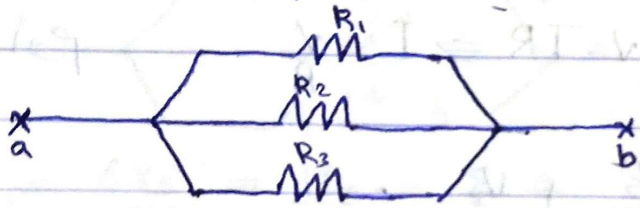
$$= 120\ W$$

طرق توصيل المقاومات الكهربائية
في الدارات الكهربائية

1- التوصيل على التوالي: مجموعة من المقاومات المتصلة في خط واحد يسري بها نفس التيار الكهربائي



2- التوصيل على التوازي: مجموعة من المقاومات المتصلة معاً في عدّة فروع تشترك في نقطة البداية ونقطة النهاية [لها نفس فرق الجهد]



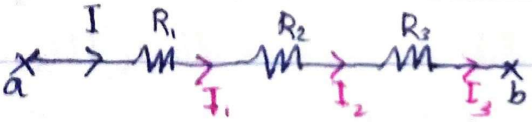
$V_1 = V_2 = V_3$

xxx المقاومة المكافئة [R_{eq} ، εR]:

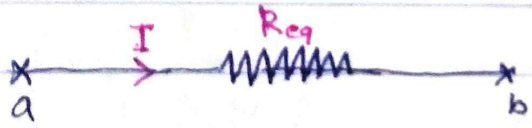
هي المقاومة الكهربائية التي تعمل مجموعة من المقاومات المتصلة معاً على التوالي أو التوازي أو معاً تدخل على الدارة الكهربائية ولا تحدث أي تغيير يذكر فيها [التيار، فرق الجهد ... الخ]

xx حساب المقاومة المكافئة εR:

أولاً: في حالة التوصيل على التوالي



في حالة التوصيل على التوالي:



أ- يتساوى التيار الكهربائي

$$I = I_1 = I_2 = I_3 \dots e.t$$

ب- توزع فرق الجهد $V_{ab} = V_1 + V_2 + V_3$

حسب العلاقة $V = IR$

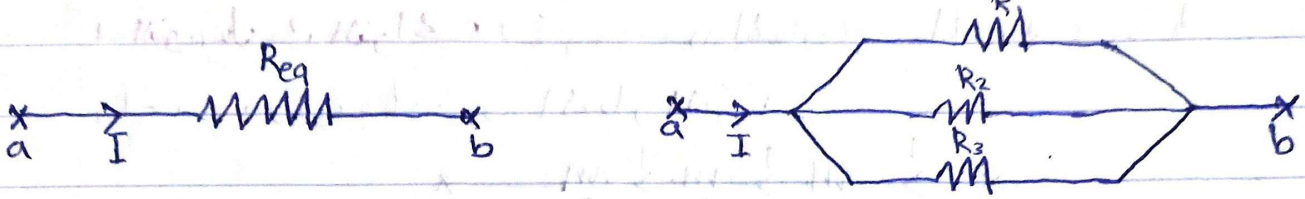
$$IR_{eq} = I_1R_1 + I_2R_2 + I_3R_3$$

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 \dots e.t$$

إذا كانت المقاومات المتصلة على التوالي متساوية وعددها N فإن

$$R_{eq} = NR$$

ثانياً: في حالة التوصيل على التوازي



في حالة التوصيل على التوازي

P. يتوزع التيار الكهربائي

ب. يبقى فرق الجهد ثابت

حسب قانون أوم

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad \cdots (1)$$

$$V_{ab} = V_1 = V_2 = V_3 \quad \cdots (2)$$

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

نعوض في (1)

$$\frac{V_{ab}}{R_{eq}} = \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \quad \cdots$$

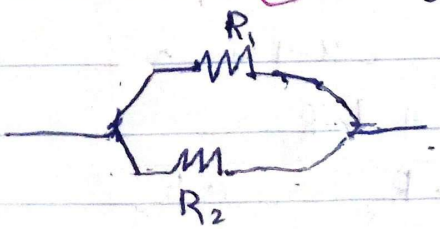
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \cdots \text{e.t}$$

إذا كانت المقاومات المتصلة على التوازي متساوية وعددها N

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \cdots = \frac{N}{R}$$

$$R_{eq} = \frac{R}{N}$$

إذا كان لدينا مقاومتان R_1، R_2 فقط متصلة على التوازي



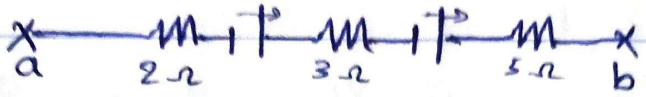
بتوحيد المقامات

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

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

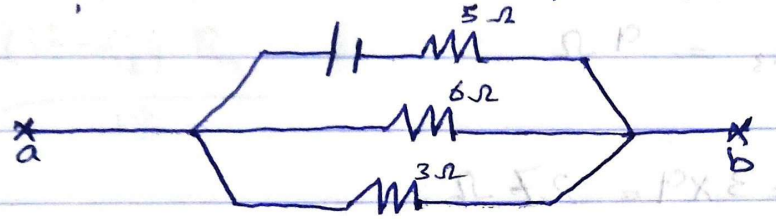
ملاحظة هامة :

1- يمكن حساب المقاومة المكافئة في حالة التوالي إذا اتصلت معها بطاريات



$$R_{eq} = (2,3,5)_{\text{توالي}} = 2+3+5 = 10\ \Omega$$

1- في حالة التوازي تستبعد المقاومة المتصل معها بطارية



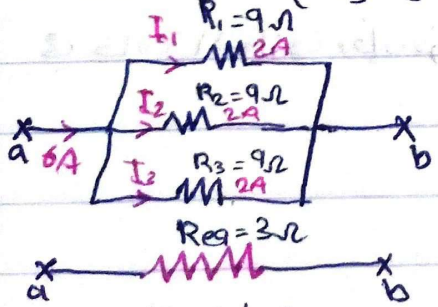
$$R_{eq}(6,3)_{\text{توازي}} = \frac{6\times3}{6+3} = \frac{18}{9} = 2\ \Omega$$

تستبعد (5Ω) معها بطارية

س : ثلاث مقاومات متساوية إذا وصلت معاً على التوازي مقاومتها المكافئة تساوي 3Ω

1- كم تصبح مقاومتها إذا وصلت معاً على التوالي

2- إذا وصلت بفرق جهد مقداره 18 V جدي شدة التيار المار في كل مقاومة في الحالتين (التوازي ، التوالي)



في حالة التوازي فرق الجهد متساوي ويساوي فرق الجهد الكلي المكافئ

$$V_{eq} = V_1 = V_2 = V_3$$

$$I_{eq}R_{eq} = I_1R_1 = I_2R_2 = I_3R_3$$

$$6\times3 = 2\times9 = 2\times9 = 2\times9$$

$R_1 = R_2 = R_3 \qquad N = 3 \qquad R_{eq}$ (على التوازي) $= 3\,\Omega$

R_{eq} (على التوالي) $= ??$

$$R_{eq}\ (\text{على التوازي}) = \frac{R}{N}$$

$$3 = \frac{R}{3} \Rightarrow R = 9\,\Omega$$

$$R_1 = R_2 = R_3 = 9\,\Omega$$

$$R_{eq}\ (\text{على التوالي}) = NR = 3 \times 9 = 27\,\Omega$$

$V_{eq} = 18 \qquad I = ??$

في حالة التوصيل على التوالي :

$$I_{eq} = I_1 = I_2 = I_3$$

$$I_{eq} = \frac{V_{eq}}{R_{eq}} = \frac{18}{27} = 0.66\ A$$

في حالة التوصيل على التوازي :

$$I_{eq} = \frac{V_{eq}}{R_{eq}} = \frac{18}{3} = 6\ A$$

في حالة التوازي ، فإن فرق الجهد الكلي يساوي فرق الجهد لكل مقاومة

$$V_{eq} = V_1 = V_2 = V_3$$

$$I_{eq} R_{eq} = I_1 R_1$$

$$6 \times 3 = 9 I_1$$

$$18 = 9 I_1 \Rightarrow I_1 = \frac{18}{9} = 2\ A$$

قيمة التيار المار في كل مقاومة = 2A ، لأن المقاومات انتلاث متساوية المقدار

مثال (2): مقاومتان $[R_1, R_2]$ القاومة المكافئة لهما عندما توصل معاً على التوالي $18\,\Omega$ بينما المقاومة المكافئة لهما عندما توصلا معاً على التوازي تساوي $4\,\Omega$ جدي قيمة كل منهما

التوصيل على التوالي:

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

$$18 = R_1 + R_2 \rightarrow R_1 = 18 - R_2 \quad \text{---} (1)$$

في حالة التوصيل على التوازي

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

$$4 = \frac{(18 - R_2) R_2}{18}$$

$$72 = 18 R_2 - R_2^2$$

$$R_2^2 - 18 R_2 + 72 = 0$$

$$(R_2 - 6)(R_2 - 12) = 0$$

$$R_2 = 6 \Rightarrow R_1 = 12\,\Omega$$

$$R_2 = 12 \Rightarrow R_1 = 6\,\Omega \quad \text{أو}$$

مثال (3): أثبتي أن المقاومة المكافئة للمقاومتان (R_1, R_2) موصولتان على التوازي تكون دائماً أقل من الصغرى.

نفرض أن المقاومتان R_1, R_2 موصولتان على التوازي وكانت R_1 صغرى

المقاومة المكافئة لهما عندما توصلا على التوازي

بتوحيد المقامات

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

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

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

نقسم الطرفان على R_1

$$\frac{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}}{R_1}$$

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

بما أن المقام أصغر من المقام

$$\therefore R_{eq} < R_1$$

$V = 12\ V$

مثال (4): ثلاث مقاومات متساوية قدرتها الكهربائية تساوي 36 w عندما توصل معاً على التوازي، كم تصبح قدرتها الكهربائية إذا وصلت معاً على التوالي بنفس مصدر فرق الجهد؟

$N = 3$ المقاومات متساوية

$P = 36\ w$ التوصيل على التوازي $V = 12\ V$

المطلوب: كم تصبح قدرة هذه المقاومات عندما توصل معاً على التوالي بنفس فرق الجهد

على التوازي

$$P_{eq} = \frac{V_{eq}^2}{R_{eq}}$$

$$36 = \frac{(12)^2}{R_{eq}}$$

$$\frac{36\,R_{eq}}{36} = \frac{(12)^2}{36} \Rightarrow R_{eq} = \frac{12 \times 12}{36} = 4\ \Omega$$

$$R_{eq} = \frac{R}{N}$$

$$4 = \frac{R}{3} \Rightarrow R = 12\ \Omega$$

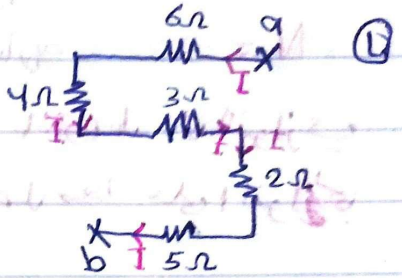
في حالة التوصيل على التوالي $R_{eq} = NR = 3 \times 12 = 36\ \Omega$

$$P_{eq} = \frac{V_{eq}^2}{R_{eq}} = \frac{12 \times 12}{36} = 4\ w$$

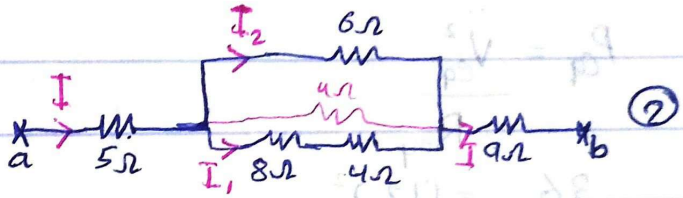
تدريبات على حساب المقاومة المكافئة R_{eq} ، ΣR

* جدي المقاومة المكافئة فيما يلي [بين النقطتين a, b]

جميع المقاومات متصلة على التوالي



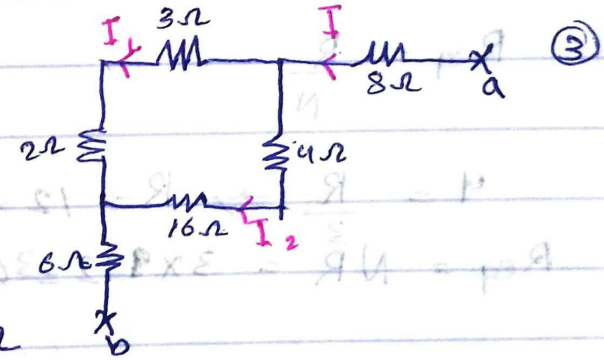
$$\Sigma R = 6+4+3+2+5$$
$$= 20\ \Omega$$



$(8,4)$ توالي $= 8+4 = 12\ \Omega$

$(12,6)$ توازي $= \frac{12 \times 6}{12+6} = 4\ \Omega$

$R_{eq}(4,5,9)$ توالي $= 4+5+9 = 18\ \Omega$

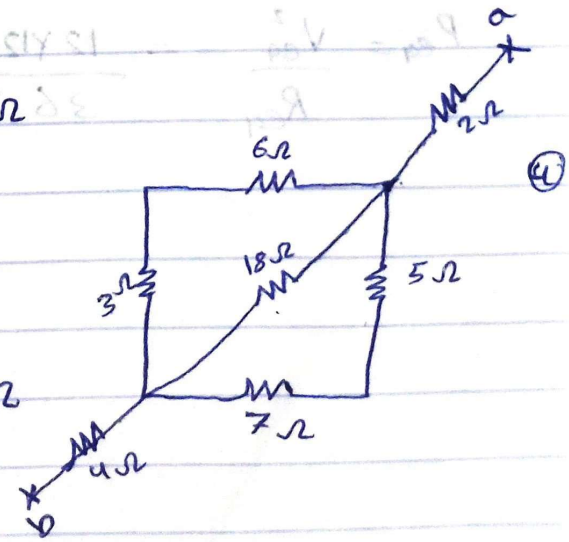


$(2,3)$ توالي $= 2+3 = 5\ \Omega$

$(16,4)$ توالي $= 16+4 = 20\ \Omega$

$(5,20)$ توازي $= \frac{5 \times 20}{5+20} = \frac{100}{25} = 4\ \Omega$

$R_{ab} = R_{eq}(8,4,6)$ توالي $= 8+4+6 = 18\ \Omega$



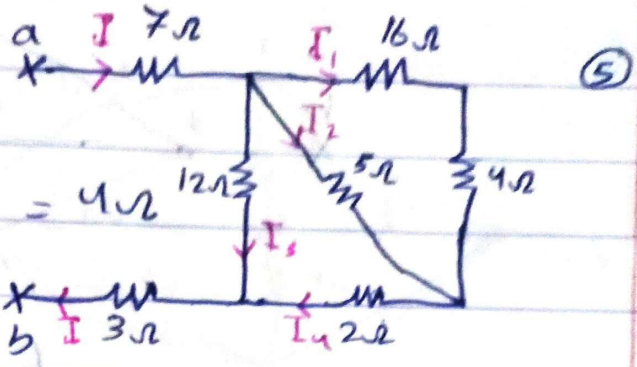
$(3,6)$ توالي $= 9\ \Omega$ $(5,7)$ توالي $= 12\ \Omega$

$(9,12,18)$ توازي $\frac{1}{R} = \frac{1}{9} + \frac{1}{12} + \frac{1}{18}$

$\frac{1}{R} = \frac{4+3+2}{36} = \frac{9}{36} \Rightarrow R = \frac{36}{9} = 4\ \Omega$

$R_{eq}(2,4,4) = 10\ \Omega$ توالي

توالی (16, 4) = 16 + 4 = 20Ω



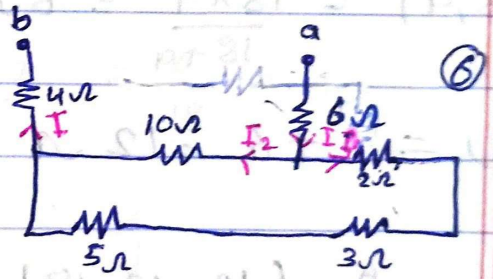
⑤

توازی (20, 5) = $\frac{5 \times 20}{5+20} = \frac{100}{25} = 4\Omega$

توالی (4, 2) = 6Ω

توازی (6, 12) = $\frac{6 \times 12}{6+12} = \frac{72}{18} = 4\Omega$

توالی R_{eq} (7, 4, 3) = 4 + 7 + 3 = 14Ω



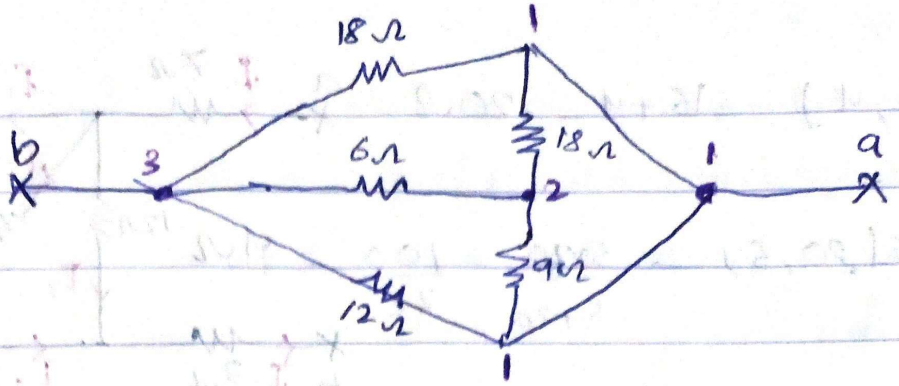
⑥

توالی (2, 3, 5) = 10Ω

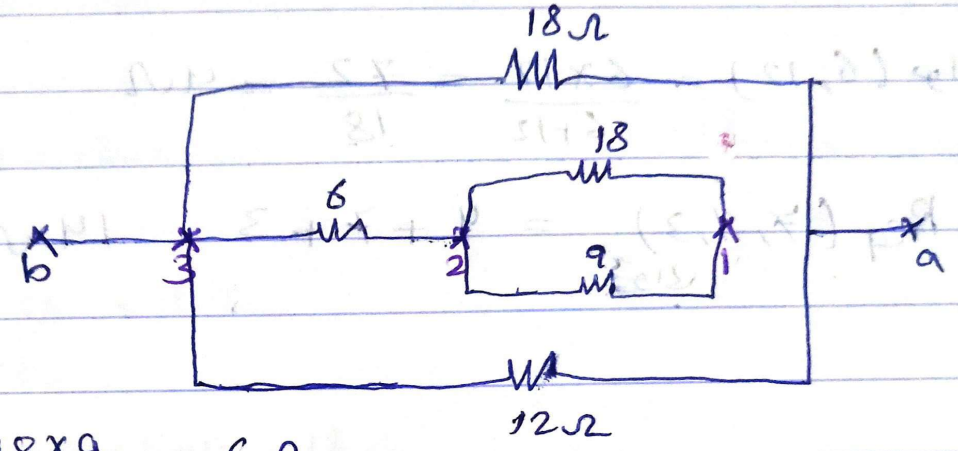
توازی (10, 10) = $\frac{10 \times 10}{10+10} = \frac{100}{20} = 5\Omega$ $\quad \frac{R}{N} = \frac{10}{2} = 5\Omega$ و

توالی (6, 5, 4) = 15Ω

(7)



هدي المقاومة المكافئة بين (a,b)



توازي (18,9) $= \frac{18 \times 9}{18+9} = 6\Omega$

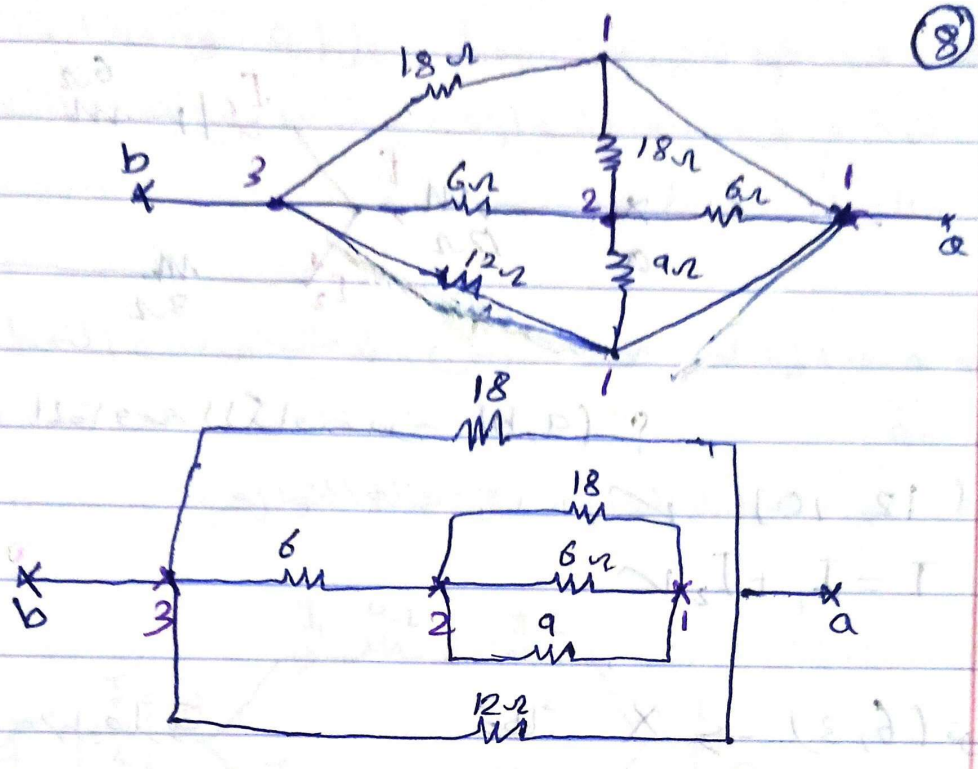
توالي (6,6) $= 6+6 = 12\Omega$

$R_{ab} = R_{eq}$ توازي $(12, 12, 18)$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{12} + \frac{1}{12} + \frac{1}{18} = \frac{3+3+2}{36} = \frac{8}{36}$$

$$R_{eq} = \frac{36}{8} = 4.5\Omega$$

(8)



توازی (18, 6, 9) $\Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{18} + \frac{1}{6} + \frac{1}{9}$

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

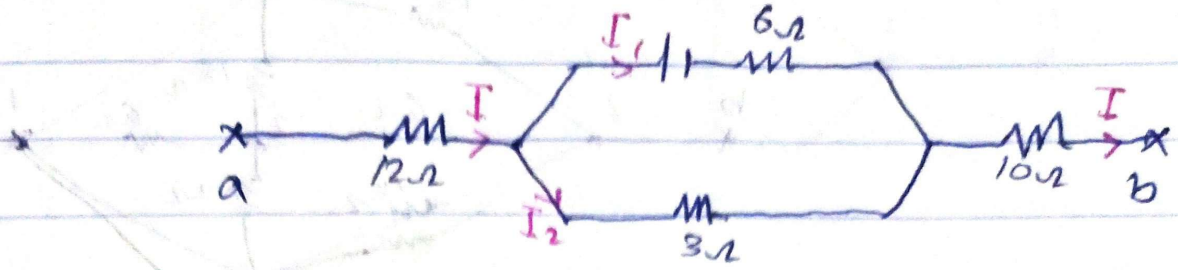
$R = \frac{18}{6} = 3\Omega$

توالی (3, 6) $= 3 + 6 = 9\Omega$

R_{eq} (18, 9, 12) توازی $\Rightarrow \frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{18} + \frac{1}{9} + \frac{1}{12}$

$= \frac{2+4+3}{36} = \frac{9}{36}$

$R_{eq} = \frac{36}{9} = 4\Omega$

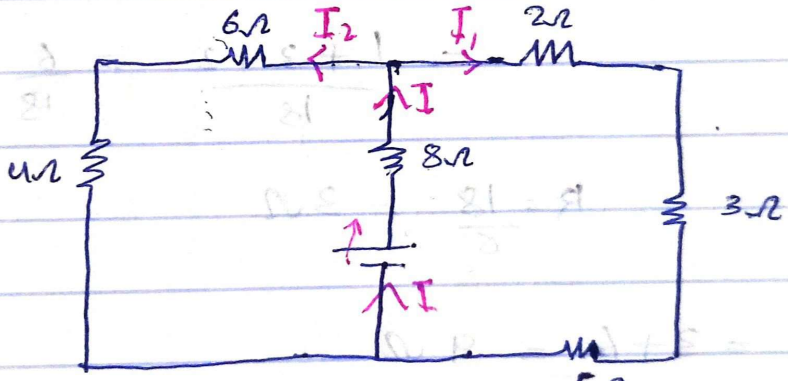


هل يمكن حساب المقاومة المكافئة بين (a,b) ؟

توازي (12, 10) ✓

$I = I_1 + I_2$ ✓

توازي (6, 3) → X خطأ لا يجوز المقاومة 6 مجهولة



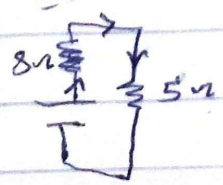
جدي مقاومة الدارة الكهربائية

توالي (2, 3, 5) = 2+3+5 = 10Ω

توالي (6, 4) = 6+4 = 10Ω

توازي (10, 10) = $\frac{10}{2}$ = 5Ω

R_{eq} توالي (8, 5) = 8+5 = 13Ω

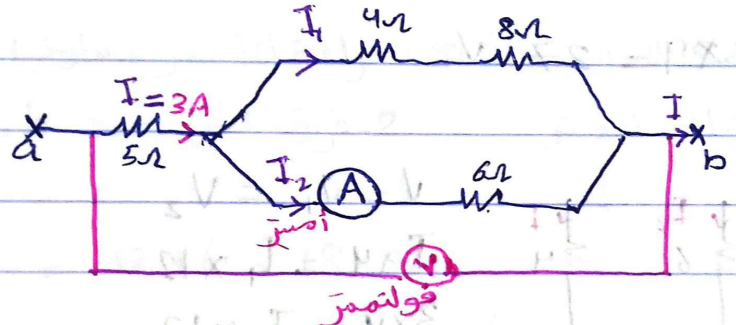


* حساب فرق الجهد بين نقطتين (a, b) وشدة التيار المار في كل فرع في حالة التوازي عندما يقع بين النقطتين مقاومات فقط

* حساب فرق الجهد بين نقطتين عندما يكون بين النقطتين مقاومات فقط

* توزيع التيار على المقاومات في حالة التوازي

مثال (1):



جدي: 1- قراءة الأمتر والفولتميتر

2- الطاقة الكهربائية المستنفذة في المقاومة 8Ω خلال دقيقتين

الأمتر: جهاز يستخدم لقياس شدة التيار الكهربائي في المقاومات

* يوصل الأمتر في المقاومات على التوالي

لأن شدة التيار تكون متساوية في جميع العناصر المتصلة على التوالي

الفولتميتر: جهاز يستخدم لقياس فرق الجهد بين نقطتين

* يوصل على التوازي لأن فرق الجهد متساوي لجميع العناصر المتصلة على التوازي

Notes:

قراءة الفولتميتر $= V_{ab} = I_{eq} \times R_{eq}$

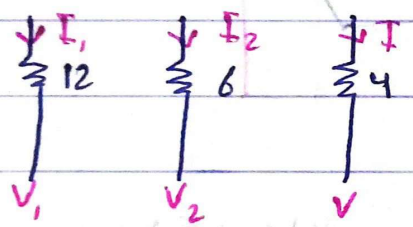
$(4,8)$ توالي $= 4+8 = 12\,\Omega$

$(12,6)$ توازي $= \frac{12\times6}{12+6} = \frac{72}{18} = 4\,\Omega$

$R_{eq}(5,4)$ توالي $= 5+4 = 9\,\Omega$

$\therefore V_{ab} = 3\times9 = 27\ V$

الأمبير:



$V = V_1 = V_2$

$I\times4 = I_1\times12$

$3\times4 = I_1\times12$

$I_1 = \frac{12}{12} = 1A$

$I = I_1 + I_2$

$3 = 1 + I_2$

$I_2 = 2A$

أو

$V = V_2$

$I\times4 = I_2\times6$

$3\times4 = I_2\times6$

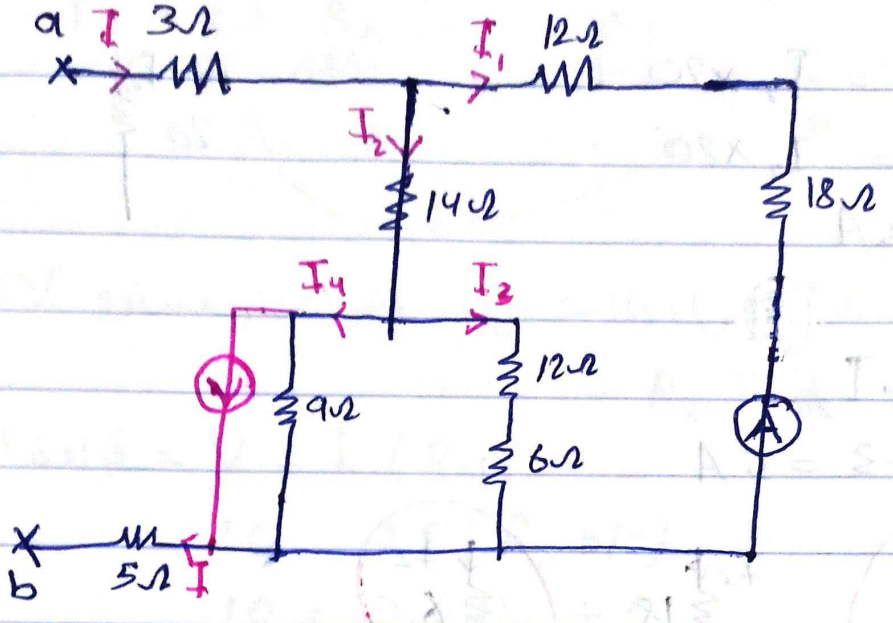
$12 = I_2\times6 \Rightarrow I_2 = 2A$

3. $E_h = P\times\Delta t$

$= I^2\times R\ \Delta t$

$= (1)^2\times8\times2\times60$

$= 8\times120 = 960$ J جول



س: في الشكل المجاور إذا كانت قراءة الأميتر تساوي 2A جدي

1- قراءة الفولتميتر 2- فرق الجهد بين a, b

$(12,6)$ توالي $= 12+6 = 18\ \Omega$

$(18,9)$ توازي $= \frac{18\times 9}{18+9} = 6\ \Omega$

$(6,14)$ توالي $= 6+14 = 20\ \Omega$

$(12,18)$ توالي $= 12+18 = 30\ \Omega$

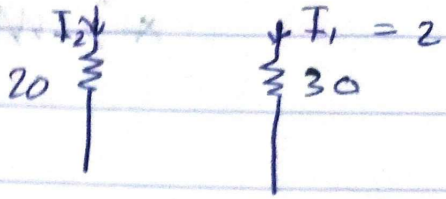
$(30,20)$ توازي $= \frac{20\times 30}{20+30} = 12\ \Omega$

$R_{eq}(3,12,5)$ توالي $= 3+12+5 = 20\ \Omega$

$I_1 \times 30 = I_2 \times 20$

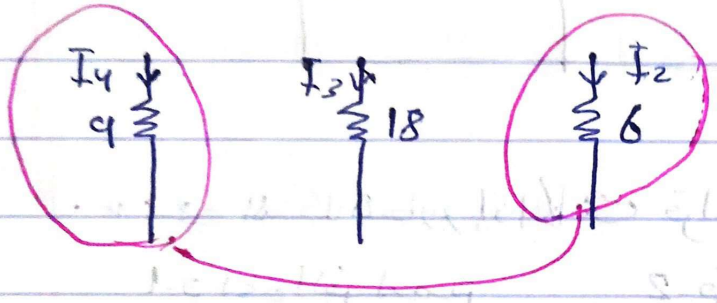
$2 \times 30 = I_2 \times 20$

$I_2 = 3A$



$I = I_1 + I_2$

$= 2 + 3 = 5A$



$I_2 \times 6 = I_4 \times 9$

$3 \times 6 = I_4 \times 9$

$\frac{18}{9} = I_4 \frac{\times 9}{9} \Rightarrow I_4 = 2A$

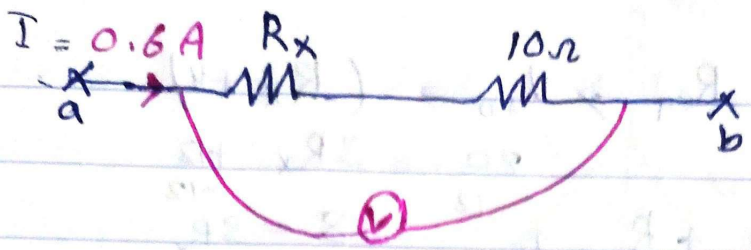
$I_2 = I_3 + I_4$

$3 = I_3 + 2$

$I_3 = 1A$

قراءة الفولتميتر $= I_4 \times 9 = 2 \times 9 = 18\ V$

$V_{ab} = I_{eq}\ R_{eq} = 5 \times 20 = 100V$



في الشكل المجاور إذا كانت قراءة الفولتميتر تساوي 10V جدي مقدار المقاومة R_x

قراءة الفولتميتر = $V = I\,(R_{eq})$

$$10 = 0.6\,(R_x + 10)$$

$$\underset{-6}{10} = 0.6\,R_x + \underset{-6}{6}$$

$$0.6\,R_x = 4 \Rightarrow R_x = \frac{4}{0.6} = \frac{40}{6}$$

$$= \frac{20}{3} = 6.6\,\Omega$$

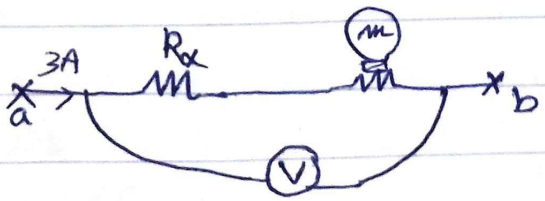
س: مصباح كهربائي مكتوب عليه (36 w, 12 V) يراد تشغيله من مصدر فرق جهد مقداره 20 V ما أقل مقاومة توصل معه وطريقة توصيلها التي يعمل على فرق الجهد هذا ؟

نحسب شدة التيار المار في المصباح حسب العلاقة

$$P = IV$$

$$36 = I \times 12 \Rightarrow I = \frac{36}{12} = 3A$$

نصل المصباح بمقاومة على التوالي



$$V_{ab} = I\,R_{eq} \Rightarrow V_{ab} = 3(R_x + 4)$$

$$20 = 3R_x + 12$$

$$-12 \qquad -12$$

$$8 = 3R_x$$

$$V_{ab} = I(R_x + R_{\text{مصباح}})$$

$$R_x = \frac{8}{3}\ \Omega$$

$$P_{\text{مصباح}} = \frac{V^2}{R_{\text{مصباح}}} \Rightarrow 36 = \frac{12 \times 12}{R_{\text{مصباح}}}$$

$$1 = \frac{4}{R_{\text{مصباح}}} \Rightarrow R_{\text{مصباح}} = 4\ \Omega$$

أو فرق الجهد الكلي يتوزع على المصباح والمقاومة R_x

$$V_{ab} = V_{\text{المقاومة}} + V_{\text{مصباح}}$$

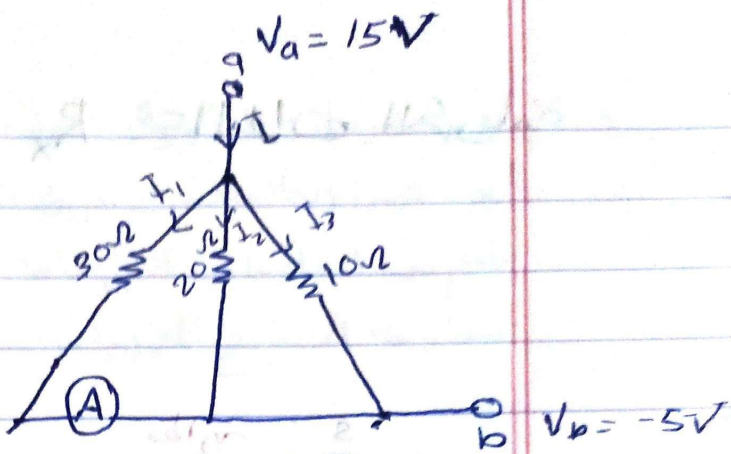
$$20 = V_{\text{المقاومة}} + 12$$

$$V_{\text{المقاومة}} = 20 - 12 = 8\ V$$

$$V_{\text{مقاومة}} = I\,R_x$$

$$8 = 3 \times R_x$$

$$R_x = \frac{8}{3}\ \Omega$$



في الشكل المجاور حدد

1- قراءة الأميتر .2. الطاقة المستنفذة في المقاومة 10Ω خلال 5 دقائق

$$Req(30, 20, 10) \quad \text{توازي} \quad \frac{2\times1}{2\times30} + \frac{3\times1}{3\times20} + \frac{6\times1}{6\times10}$$

$$\frac{2+3+6}{60} = \frac{11}{60} = \frac{1}{Req}$$

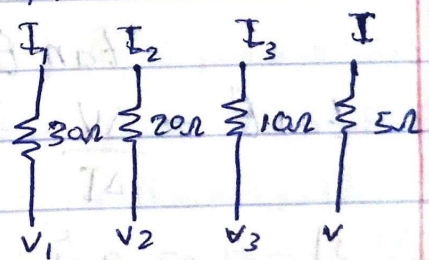
$$\frac{60}{11} = \frac{11\,Req}{11} \Rightarrow Req = 5.4\,\Omega$$

$$V_{ab} = V_a - V_b = 15 - -5 = 20\,V$$

$$V_{ab} = I\,Req$$

$$20 = I \times 5 \Rightarrow I = \frac{20}{5} = 4\,A$$

$$V = IR = 4\times5 = 20$$



$$V_1 = V = 20 = I_1 \times 30 \Rightarrow I_1 = 0.66\,A$$

$$V_2 = V = 20 = I_2 \times 20 \Rightarrow I_2 = 1A$$

$$V_3 = V = 20 = I_3 \times 10 \Rightarrow I_3 = 2A$$

$$E_n = P \times \Delta t$$

$$= I^2 \times R \times \Delta t$$

$$= (2)^2 \times 10 \times 5 \times 60$$

$$= 12000\,J$$

طرق قياس قيمة مقاومة مجهولة R_x في الدارات الكهربائية :

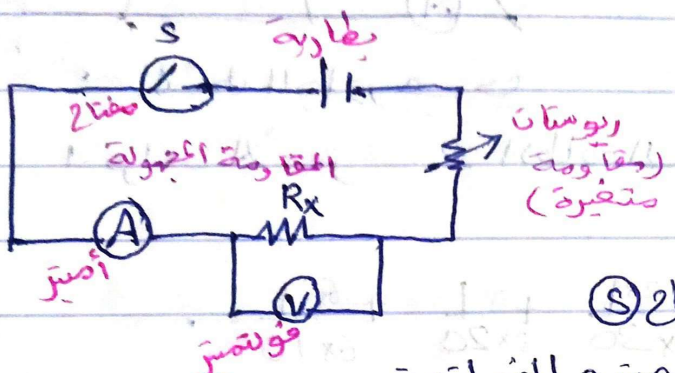
1- استخدام قانون أوم

2- استخدام قنطرة (جسر) وتستون

أولاً : استخدام قانون أوم

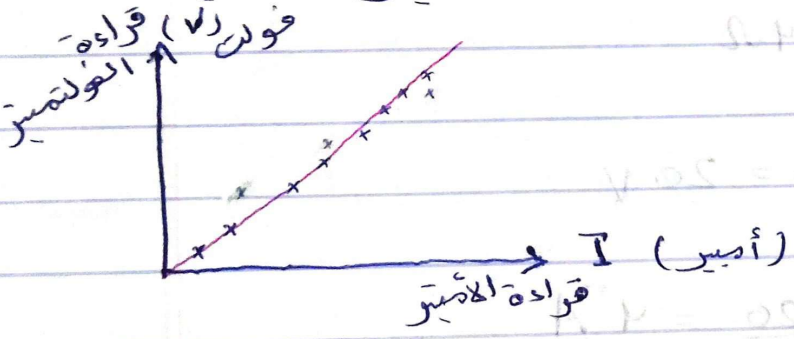
الخطوات :

1- نصل المقاومة R_x في دارة كهربائية كما في الشكل



2- نغلق الدارة الكهربائية بالمفتاح (S) ونسجل عدة قيم لكل من الأميتر والفولتميتر من خلال تغيير قيمة الريوستات (مقاومة متغيرة)

3- نمثل بيانياً العلاقة بين قراءة الأميتر (A) والفولتميتر (V) كما في الشكل



4- نحسب ميل الخط المستقيم

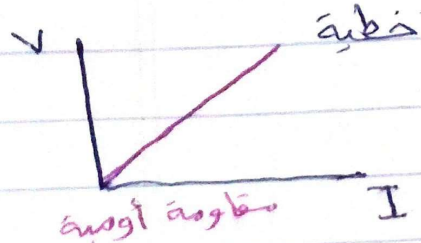
$$\tan\theta = \frac{\Delta V}{\Delta I} = R_x$$

حسب قانون أوم

المقاومات الكهربائية حسب قانون أوم تصنف إلى نوعين :

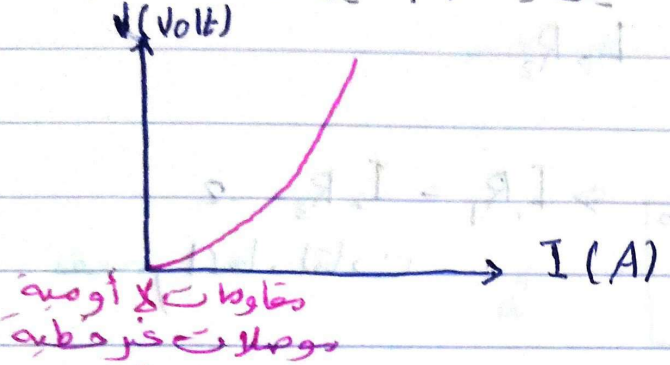
1- مقاومات أومية (موصلات خطية)

فيها تكون العلاقة بين فرق الجهد وشدة التيار علاقة خطية



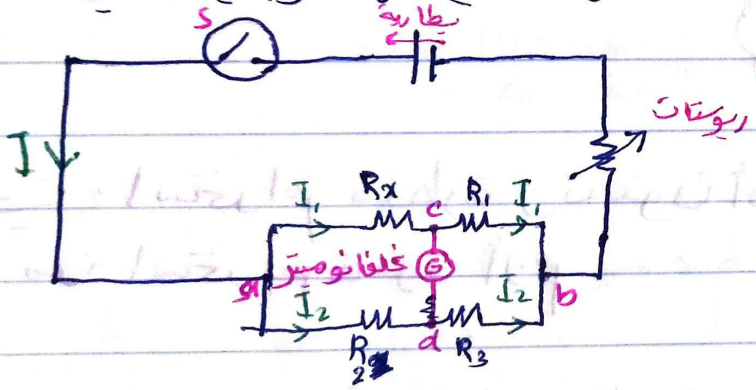
2- مقاومات لا أومية (موصلات غير خطية)

لا تكون العلاقة بين فرق الجهد وشدة التيار علاقة خطية لأن قسم من المقاومات الكهربائية تتغير قيمتها بتغير درجة حرارتها مثل مقاومة المصابيح الكهربائية.



ثانياً: استخدام قنطرة (جسر) وتسون:

هي طريقة تستخدم لقياس مقاومة مجهولة R_x من خلال توصيلها مع ثلاث مقاومات معلومة توصل في دارة كهربائية كما في الشكل تحت الشرط التالي



الشرط:

القنطرة متزنة أو قراءة الغلفانومتر تساوي صفر

الغلفانومتر: جهاز حساس يقيس القيم الصغرى لشدة التيار (أدق من الأميتر)

أو جهد النقطة c V_c يساوي جهد النقطة d V_d $V_c = V_d$

أو فرق الجهد بين النقطتين c,d (V_{cd}) يساوي صفر

عندها

$$\frac{R_x}{R_1} = \frac{R_2}{R_3}$$

الإثبات :

عندما تكون قراءة الجلفانومتر صفر فإن $V_c = V_d$

من 1-

$$V_{ac} = V_{ad}$$

$$I_1 R_x = I_2 R_2$$

$$V_{cb} = V_{db} \Rightarrow I_1 R_1 = I_2 R_3 \quad .2$$

نقسم المعادلتان :

$$\frac{I_1 R_x}{I_1 R_1} = \frac{I_2 R_2}{I_2 R_3}$$

$$\frac{R_x}{R_1} = \frac{R_2}{R_3}$$

علل : استخدام قنطرة ويتستون أدق في قياس مقاومة مجهولة من استخدام قانون أوم

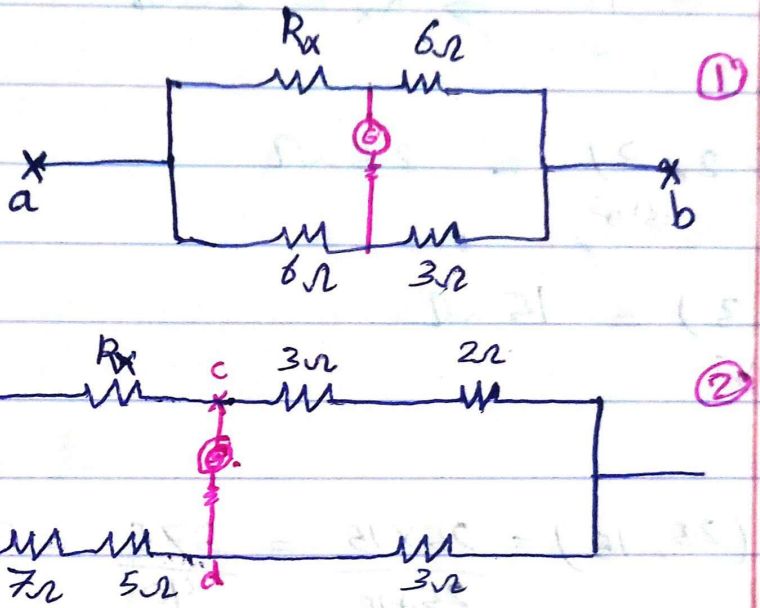
* عند استخدام قانون أوم لقياس مقاومة مجهولة R_x توصل مع فولتميتر لقياس فرق الجهد هذا التوصيل يجعل قسم من التيار المار في المقاومة ينتقل عبر الفولتميتر فيتغير فرق الجهد الأصلي للمقاومة حيث يغير في قيمة المقاومة R_x المحسوبة من قانون أوم بينما في قنطرة ويتستون لا يستخدم الفولتميتر.

سؤال : في الأشكال المجاورة جدي :

1. قيمة المقاومة المجهولة R_x

2. المقاومة المكافئة بين ab

علماً بأن قراءة الغلفانومتر تساوي صفر



① المقاومات تحقق شرط جسر وتستون

$$\frac{R_x}{6} = \frac{6}{3}$$

$$\frac{R_x}{6} = 2 \Rightarrow R_x = 12\,\Omega$$

$$(12,6)_{\text{توالي}} = 12+6 = 18\,\Omega$$

$$(6,3)_{\text{توالي}} = 6+3 = 9\,\Omega$$

$$Req\,(18,9)_{\text{توازي}} = \frac{18 \times 9}{18+9} = 6\,\Omega$$

2 المقاومات تحقق شرط قنطرة ويستون

$$\frac{R_x}{3+2} = \frac{7+5}{3}$$

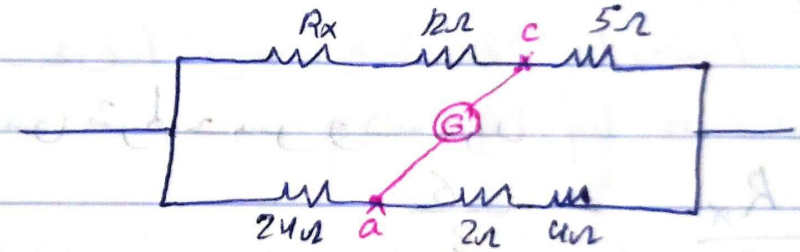
$$\frac{R_x}{5} = \frac{12}{3} \Rightarrow R_x = 20\,\Omega$$

$(20, 2, 3)$ توازي $= 25\,\Omega$

$(7, 5, 3)$ توازي $= 15\,\Omega$

$$R_{ab}(25, 15) = \frac{25 \times 15}{25+15} = \frac{375}{40} = 9.3\,\Omega$$

$V_c = V_d$



3

$$\frac{R_x + 12}{5} = \frac{24}{2+4}$$

$$\frac{R_x + 12}{5} = \frac{24}{6}$$

$$R_x + 12 = 20$$

$$R_x = 8\,\Omega$$

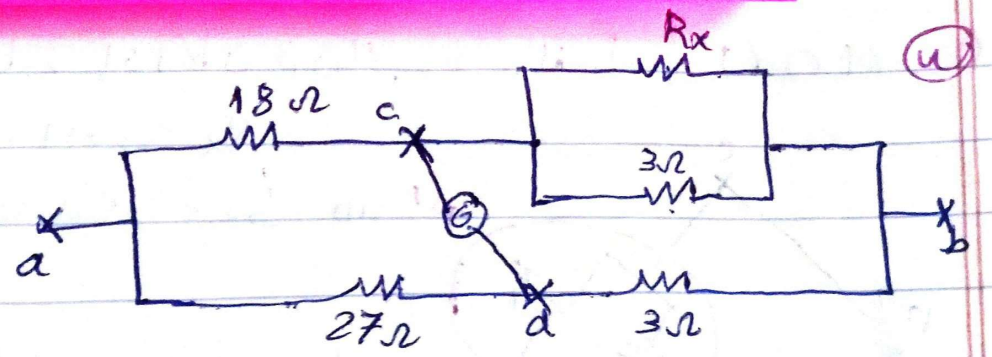
$(8, 12, 5)$ توالي $= 8+12+5 = 25\,\Omega$

$(24, 2, 4)$ توالي $= 24+2+4 = 30\,\Omega$

$(25, 30)$ توازي $= \frac{25 \times 30}{25+30}$

$= 13,6\,\Omega$

$V_c = V_d$



$\grave{R}\ (R_x, 3)$ توازي $= \frac{R_x \times 3}{R_x + 3} = \frac{3R_x}{R_x + 3}$

$\frac{\grave{R}}{18} = \frac{3}{27}$

$\frac{9\grave{R}}{9} = \frac{18}{9} \Rightarrow \grave{R} = 2\Omega$

$2 = \frac{3R_x}{R_x + 3} \Rightarrow 2R_x + 6 = 3R_x$

$-2R_x \quad -2R_x$

$R_x = 6\ \Omega$

(6, 3) توازي $= 2\Omega$

(2, 18) توازي $= 2 + 18 = 20\ \Omega$

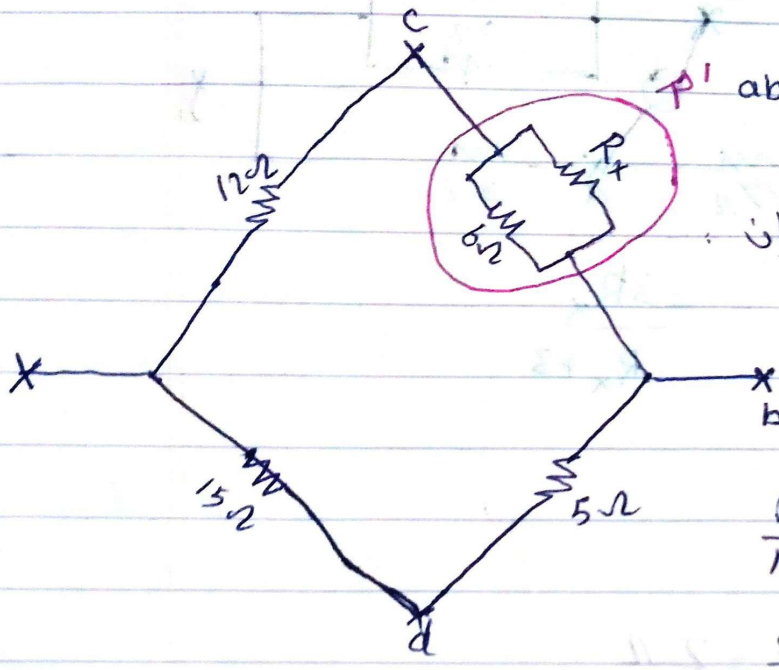
(3, 27) توازي $= 3 + 27 = 30\ \Omega$

(20, 30) توازي $= \frac{20 \times 30}{20 + 30} = \frac{600}{50} = 12\Omega$

س: في الشكل المجاور إذا كان فرق الجهد بين النقطتين (c,d) $V_{cd}=0$

احسب: 1- قيمة المقاومة R_x

2- المقاومة المكافئة بين ab



المقاومات تحقق شرط جسر وتستون فإن:

① $\dot{R}(R_x,6) = \frac{R_x \times 6}{R_x+6} = \frac{6R_x}{R_x+6}$ (توازي)

$\frac{\dot{R}}{12} = \frac{5}{15}$

$3\dot{R} = 12 \Rightarrow \dot{R} = \frac{12}{3} = 4\Omega$

$\therefore 4 = \frac{6R_x}{R_x+6} \Rightarrow 6R_x = 4R_x + 24$

$-4R_x \quad -4R_x$

$\frac{2R_x}{2} = \frac{24}{2} \Rightarrow R_x = 12\Omega$

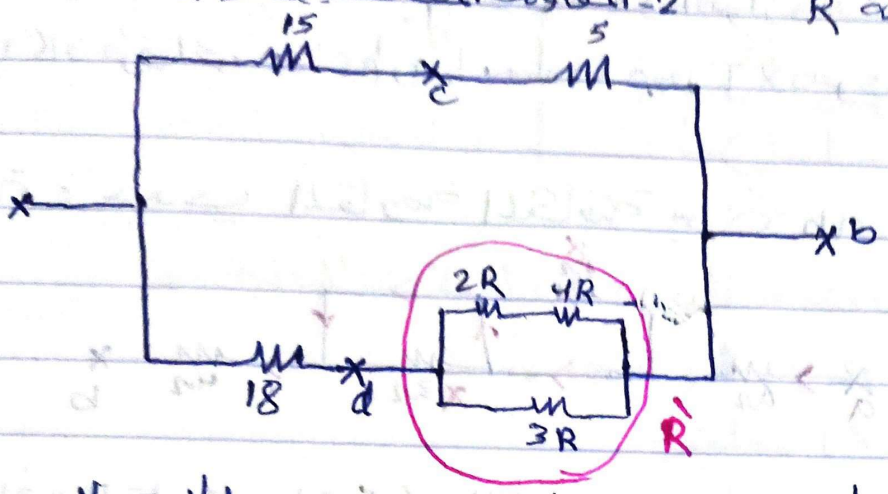
② $(12,4) = 12+4 = 16\Omega$ (توالي)

$(15,5) = 15+5 = 20\Omega$ (توالي)

$R_{ab}(16,20) = \frac{16\times20}{16+20} = \frac{16\times20}{36} = 10\Omega$ (توازي)

في الشكل المجاور، إذا كان $V_c = V_d$ جد:

1- قيمة المقاومة R 2- المقاومة المكافئة بين a b



$V_c = V_d$ المقاومات تحقق شرط قنطرة وتستون

① $\frac{15}{5} = \frac{18}{R'}$

$3R' = 18 \Rightarrow R' = \frac{18}{3} = 6\ \Omega$

$(2R, 4R)_{\text{توالي}} = 6R$

$R'(6R, 3R)_{\text{توازي}} = \frac{6R \times 3R}{6R+3R} = \frac{18R^2}{9R} = 2R = R'$

$2R = 6 \Rightarrow R = 3\ \Omega$

② $(15, 5)_{\text{توالي}} = 15+5 = 20\Omega$

$(18, 6)_{\text{توالي}} = 18+6 = 24\ \Omega$

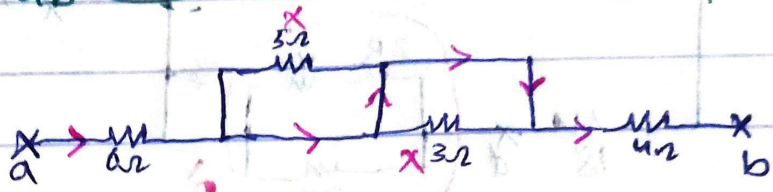
$R_{ab}(20, 24)_{\text{توازي}} = \frac{20 \times 24}{20+24} = \frac{480}{44} = 11\ \Omega$

* متى نحذف مقاومة عند حساب المقاومة المكافئة بين نقطتين

1- إذا وصلت بسلك عديم المقاومة على التوازي

2- إذا كان فرق الجهد بين طرفيها يساوي صفر [لا يسري بها تيار] مثل قنطرة وتستون

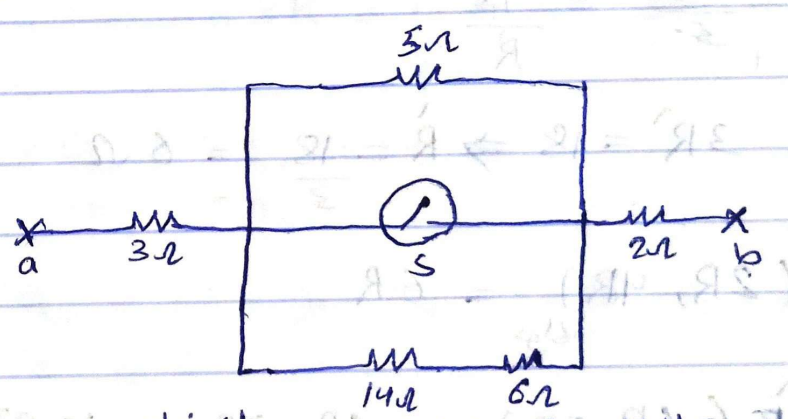
أمثلة : جدي المقاومة المكافئة بين ab فيما يلي :



①

نلغي المقاومتان (5,3) لأنها متصلة بسلك عديم المقاومة على التوازي

$$R_{ab}\ (6,4)_{\text{توالي}} = 6+4 = 10\ \Omega$$



②

جدي قيمة المقاومة بين (a,b) والمفتاح

1- S مفتوح 2- S مغلق

1- المفتاح (S) مفتوح

$$(14,6)_{\text{توالي}} = 14+6 = 20\ \Omega$$

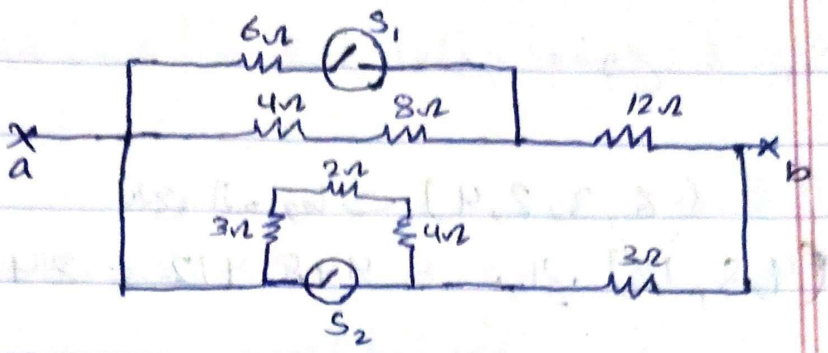
$$(20,5)_{\text{توازي}} = \frac{20\times5}{20+5} = 4\ \Omega$$

$$R_{ab}\ (3,4,2)_{\text{توالي}} = 3+4+2 = 9\ \Omega$$

2- عند إغلاق المفتاح S

(5,14,6) نلغي لأنه فيها تيار

$$R_{ab}\ (3,2)_{\text{توالي}} = 3+2 = 5\ \Omega$$



جدي المقاومة المكافئة بين a,b في الحالات التالية

① المفتاحين (S_1, S_2) مفتوحين.

② المفتاحين (S_1, S_2) مغلقين

③ المفتاح S_1 مفتوح فقط

④ المفتاح S_2 مفتوح فقط

1-(S_1, S_2) مفتوحان

(4,8,12) توالي $= 4+8+12 = 24\Omega$

(3,2,4,3) توالي $= 3+2+4+3 = 12\Omega$

$$R_{ab}\ (24,12)_{\text{توازي}} = \frac{24 \times 12}{24+12} = 8\Omega$$

2-عند إغلاق المفتاحين (S_1, S_2)

نلغي المقاومات (3,2,4) الموصولة مع المفتاح S_2

$$(4,8)_{\text{توالي}} = 4+8 = 12\Omega$$

$$(6,12)_{\text{توازي}} = \frac{6 \times 12}{6+12} = 4\Omega$$

$$(4,12)_{\text{توالي}} = 4+12 = 16\Omega$$

$$R_{ab}\ (16,3)_{\text{توازي}} = \frac{16 \times 3}{16+3} = \frac{48}{19} = 2.5\Omega$$

3- S_1 مفتوح

نلغي المقاومات (6, 3, 2, 4)

(4, 8, 12) توالي $= 4+8+12 = 24\ \Omega$

(24, 3) توازي $= \frac{24 \times 3}{24+3} = \frac{72}{27} = 2.66\ \Omega$

4- S_2 مفتوح

نحسب كل المقاومات

(4, 8) توالي $= 4+8 = 12\ \Omega$

(12, 6) توازي $= \frac{6 \times 12}{6+12} = 4\ \Omega$

(12, 4) توالي $= 12+4 = 16\ \Omega$

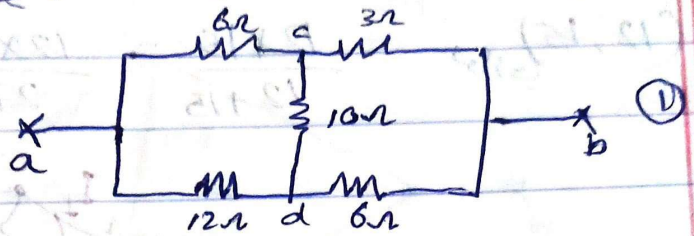
(3, 2, 4, 3) توالي $= 3+2+4+3 = 12\ \Omega$

(16, 12) توازي $= \frac{16 \times 12}{16+12} = \frac{192}{28} = 6.85\ \Omega$

٢- إذا تحققت المقاومات شرط جسر وتستون

أمثلة :

جدي المقاومة المكافئة بين النقطتين a,b فيما يلي :



① بما أن $\frac{6}{3} = \frac{12}{6}$

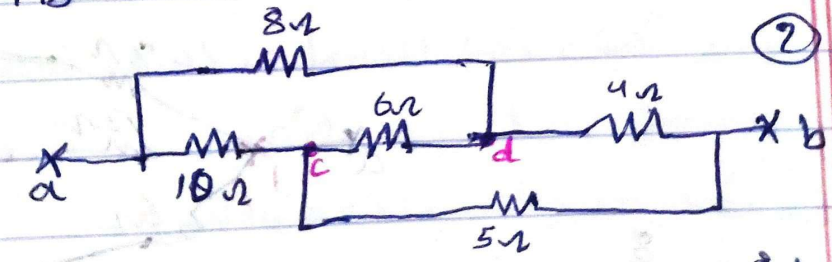
فإن المقاومات تحقق شرط جسر وتستون $V_c = V_d$

المقاومة 10Ω لا يسري بها تيار تلغى عندها

$(6,3)_{\text{توالي}} = 6+3 = 9\Omega$

$(12,6)_{\text{توالي}} = 12+6 = 18\Omega$

$R_{ab}(9,18)_{\text{توازي}} = \frac{9\times18}{9+18} = 6\Omega$



بما أن $\frac{8}{4} = \frac{10}{5}$

فإن $V_c = V_d$

المقاومة 6Ω تلغى

① نلغي المجموع ونبقي فقط 10

② نلغي 8

كذلك جميع المقاومات بين c و d

لأن التيار لا يمر هناك

حتى لو وجد مقاومات بعد ذلك

أكثر من 2 نلغي جميعهن

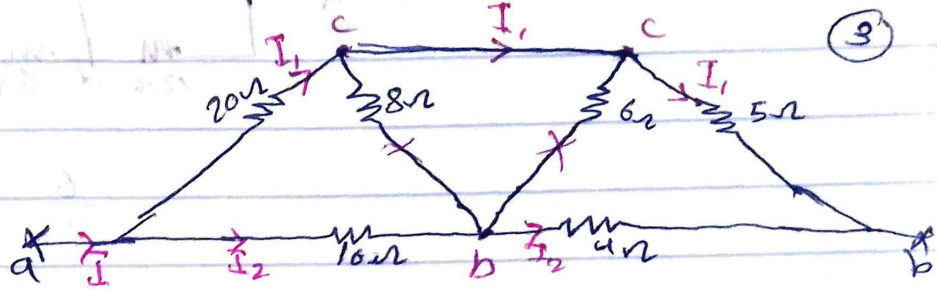
لأن التيار لن يمر بين c و d

فنلغي جميع المقاومات بين c و d

$(8,4)_{\text{توالي}} = 8+4 = 12\ \Omega$

$(10,5)_{\text{توالي}} = 10+5 = 15\ \Omega$

$R_{ab}(12,15)_{\text{توازي}} = \frac{12\times15}{12+15} = \frac{12\times15}{27} = 6.6\ \Omega$



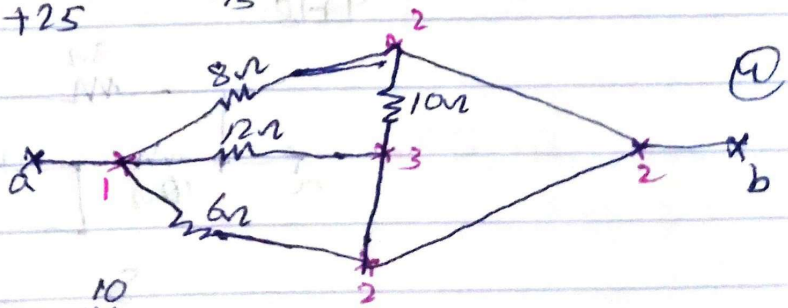
بما أن $\frac{20}{5} = \frac{16}{4}$ فإن $V_c = V_b$

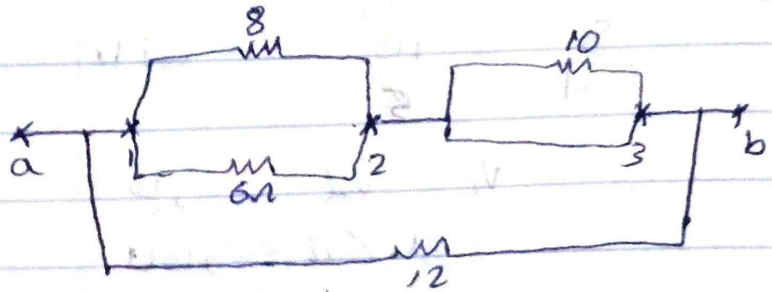
لا يمر تيار في المقاومتان (8Ω, 6Ω) تلغى

$(20,5)_{\text{توالي}} = 20+5 = 25\ \Omega$

$(16,4)_{\text{توالي}} = 16+4 = 20\ \Omega$

$R_{ab}(25,20)_{\text{توازي}} = \frac{20\times25}{20+25} = \frac{500}{45} = 11,11\ \Omega$

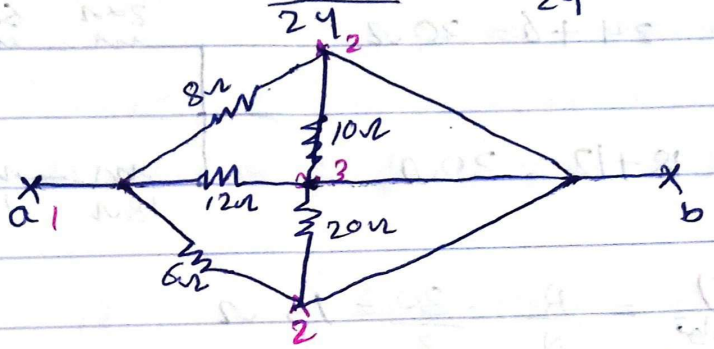




نلغي المقاومة 10Ω

$$\frac{1}{R_{ab}} = \frac{1}{8} + \frac{1}{6} + \frac{1}{12} \quad (8,6,12)_{\text{توازي}}$$

$$= \frac{3+4+2}{24} = \frac{9}{24} \Rightarrow R_{ab} = \frac{24}{9}\ \Omega$$



④

المقاومتان (10Ω, 20Ω) موصولتان بسلك عديم المقاومة على التوازي تلغى من الشكل

يبقى

$$R_{ab}(8,12,6)_{\text{توازي}}$$

$$\frac{1}{R_{ab}} = \frac{1}{8} + \frac{1}{12} + \frac{1}{6} = \frac{3+2+4}{24} = \frac{9}{24}$$

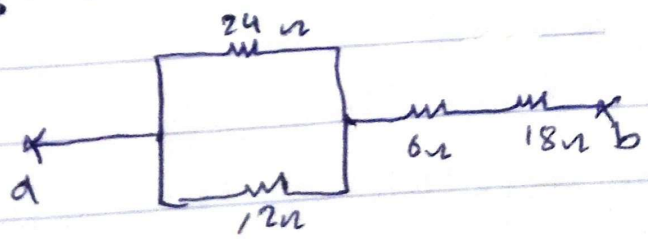
$$\frac{R_{ab}}{1} = \frac{24}{9}\ \Omega$$

س: لديك المقاومات (24Ω, 6Ω, 12Ω, 18Ω) وضحي كيف تصل المقاومات التالية للحصول على مقاومة مكافئة تساوي 1- 60Ω 2- 32Ω 3- 15Ω

① نصل جميع المقاومات على التوالي

$$R(24,6,12,18)_{\text{توالي}} = 24+6+12+18 = 60\ \Omega$$

②

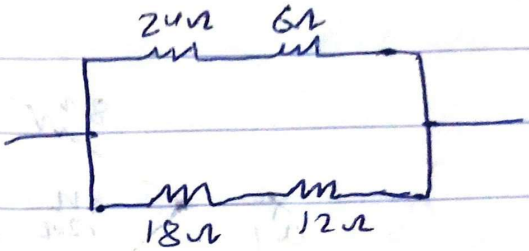


$(24, 12)_{\text{توازي}} = \frac{24 \times 12}{24+12} = 8\Omega$

$R_{ab}(8, 6, 18)_{\text{توالي}} = 8 + 6 + 18 = 32\Omega$

$(24, 6)_{\text{توالي}} = 24 + 6 = 30\Omega$

$(18, 12)_{\text{توالي}} = 18 + 12 = 30\Omega$



(3)

$R_{ab}(30, 30)_{\text{توازي}} = \frac{R}{N} = \frac{30}{2} = 15\Omega$