

# الدوائر الكهربائية – ١

## مبادئ و دوائر التيار المستمر

**الجدارة:** معرفة القواعد الأساس للدوائر الكهربائية ذات التيار المستمر و كيفية التعامل مع العناصر الكهربائية و الكميات الكهربائية و وحداتها و القوانين التي تحكم الدائرة الكهربائية.

### الأهداف:

عندما تستكمل هذه الوحدة يكون لدى المتدرب القدرة بإذن الله سبحانه على معرفة وفهم :

(١) التعريفات الأساسية لعناصر الدائرة الكهربائية للتيار المستمر ووحداتها مثل شدة التيار ، و فرق الجهد ، والمقاومة وكذلك العلاقات المختلفة مثل قانون أوم وطرق حساب القدرة والطاقة الكهربائية.

(٢) كيفية حل الدوائر الكهربائية الموصلة على التوالي وتطبيق قانون كيرشوف للجهد وقاعدة توزيع الجهد.

(٣) كيفية حل الدوائر الكهربائية الموصلة على التوازي وتطبيق قانون كيرشوف للتيار وكذلك قاعدة توزيع التيار.

(٤) طرق حساب الكميات الكهربائية المختلفة للدوائر الموصلة على التوالي والتوازي معاً.

(٥) كيفية حل الدوائر الكهربائية الموصلة على الشكل نجمي أو على الشكل دلتا و إجراء تحويل في الربط من نوع إلى مكافئه من النوع الآخر

(٦) كيفية التصنيف و التمييز بين طائفة من الخواص الكهربائية الأساس للمواد (الموصلة و العازلة و شبه الموصلة).

**مستوى الأداء المطلوب:** أن يصل المتدرب إلى إتقان هذه الوحدة بنسبة ٩٠ %.

**الوقت المتوقع للتدريب:** ١٠ ساعات

## الفصل الرابع

### مبادئ التيار المستمر

تقوم المنظومات الكهربائية بوظيفتين ، فإما أن تكون وسيطاً فى استغلال الطاقة المتوفرة فى الطبيعة بأنواعها المختلفة ، وذلك بتحويلها إلى طاقة الكهربائية يسهل نقلها وتوزيعها إلى حيث الحاجة ، فيعاد تحويلها إلى الشكل الذى يستفاد منه كطاقة حرارية أو ميكانيكية أو غير ذلك . وإما أن تقوم المنظومة الكهربائية بدور الوسيط لنقل المعلومات ، وعندئذ تكون الطاقة الكهربائية واسطة نقل معلومات ، ويلزم لذلك الحد الأدنى من الطاقة التى تكفى لتحويل المعلومات إلى إشارات الكهربائية والتى يمكن أن تنقل إلى أماكن بعيدة ، ومن ثم يعاد تحويلها إلى الصيغ التى يستفاد منها كأن تكون إشارات صوتية أو إشارات توجيه أو سيطرة .

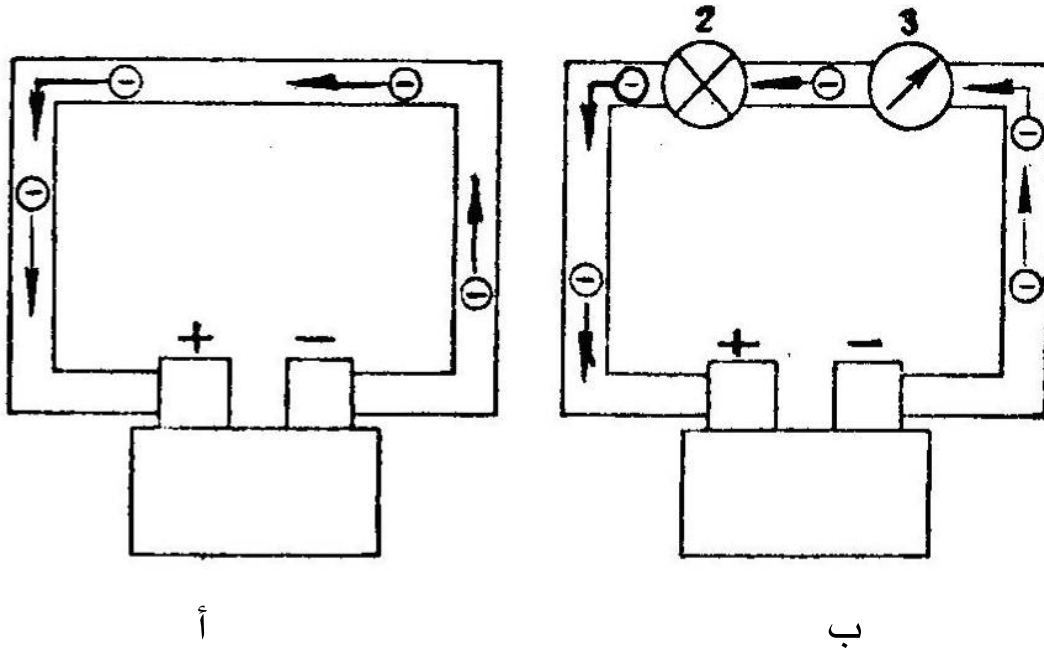
وفى هذا الفصل سيتم شرح التعريفات الأساسية للكميات الكهربائية المستخدمة فى دوائر التيار المستمر مثل شدة التيار وفرق الجهد والمقاومة والقدرة والطاقة الكهربائية بالإضافة إلى دراسة العلاقات والقوانين الهامة مثل قانون أوم وطرق حساب القدرة والطاقة الكهربائية والكفاءة.

### شدة التيار الكهربائى : ( Electric Current )

يقصد بالتيار الكهربى تحرك أو سريان شحنة كهربائية فى اتجاه ما تحت تأثير قوة المجال الكهربى . وكما ذكرنا فى الجزء الأول ( الكهروستاتيكية ) فإنه يوجد نوعان من الشحنة الكهربائية ، شحنة موجبة (شحنة البروتون ) وشحنة سالبة ( شحنة الإلكترون ) ، وسريان شحنة موجبة فى اتجاه ما يكافئ سريان شحنة سالبة متساوية فى المقدار ومتضادة فى الاتجاه . وذلك لأن انتقال شحنة سالبة من مكان ما يترك وراءه نقصاً فى الشحنة السالبة أى زيادة مساوية فى الشحنة الموجبة . ولقد اصطلح على اعتبار اتجاه التيار الكهربى بأنه هو اتجاه سريان الشحنة الموجبة ، أى إن اتجاه التيار فى هذه الحالة هو عكس اتجاه سريان الإلكترونات الحرة .

إن التيار الكهربائى المزود من البطاريات ( خلايا جافة ) هو عبارة عن تيار ثابت ، وإذا نظرنا إلى البطارية الجافة المبينة بالشكل ( ٤ - ١ ) نجد نتوئين برأسين معدنيين ، أحدهما يعرف بالقطب السالب ، والآخر بالقطب الموجب . فإذا وصلنا ناقلاً سلكياً بين القطبين أى إذا وصلنا أحد نهايات الناقل بالقطب الموجب و

النهاية الأخرى بالقطب السالب كما هو مبين بالشكل (٤ - ١) فنجد أن الشحنات السالبة سوف تتحرك من القطب السالب إلى القطب الموجب باستمرار و عندها تالشكل التيار الكهربائي. فإذا وضعنا مصباحاً كهربائياً بين طرفي الناقل كما هو مبين بالشكل (٤ - ١ ب)، نجد أن المصباح يضيء، وهذا دليل على مرور التيار الكهربائي. وإذا وضعنا مقياس الأمبير بين طرفي الناقل، فإن المؤشر سوف يتحرك إلى الطرف الآخر، مما يدل على مرور التيار الكهربائي عبر الناقل.



1- خلية جافة. 2- مصباح. 3- مقياس الأمبير.

الشكل (٤ - ١) التيار الكهربائي

وتعرف شدة التيار الكهربى المار فى موصل عبر مقطع ما بأنها كمية الشحنة الموجبة ( أو ما يكافئها من الشحنة السالبة ) التى تعبر هذا المقطع فى الثانية الواحدة. ويرمز لشدة التيار بالرمز  $I$  والشحنة بالرمز  $Q$  والزمن بالرمز  $t$  ، وعليه فإن شدة التيار تعطى بالمعادلة :

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad \text{Coulomb /second ( C / s)} \quad (4-1)$$

ووحدة التيار هى الأمبير (ampere) فى النظام العالمى ، أى أن

$$1 \text{ Ampere} = \text{Coulomb /second}$$

وحيث إن التيار المستمر هو تيار ثابت فى المقدار والاتجاه ( أى لا يعتمد على الزمن ) وبالتالى فيأخذ الصورة :

$$I = \frac{Q}{t} \quad \text{Ampere (A)} \quad (4-2)$$

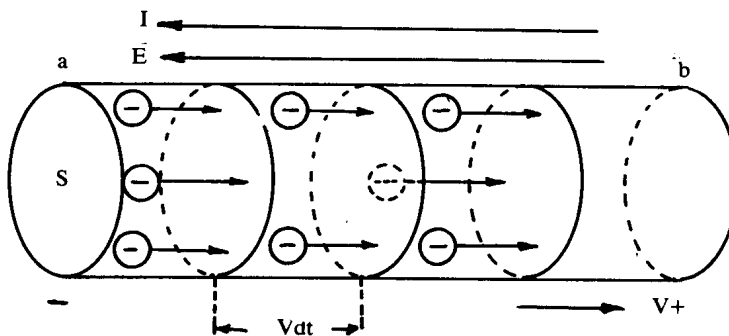
يعبر عن التيارات الصغيرة بالملي أمبير ( mA ) و يساوي 0.001 A و بالميكرو أمبير و يساوي (1/ 1000000)A واتجاه التيار المصطلح هو عكس اتجاه تحرك الشحنات السالبة فى الموصلات. وإذا أخذنا اتجاه التيار و علاقته باتجاه هذه الشحنة فإن المعادلة ( 4-2 ) يمكن كتابتها بالصورة التالية :

$$I = -\frac{dQ}{dt} \quad (4-2-a)$$

إذا تعرضت قطعة من سلك موصل منتظم الشكل ( ٤ - ٢ ) لمجال كهربائي شدته E و متجهه إلى اليسار فإن الإلكترونات ستتحرك إلى اليمين. فإذا فرضنا أن كل إلكترون يسير بسرعة ثابتة مقدارها v فإنه سيقطع مسافة قدرها vdt فى زمن قدره dt. وإذا كانت مساحة مقطع السلك S و كانت n عدد الإلكترونات الحرة فى وحدة الحجم، فإن عدد الإلكترونات التي تمر من مقطع السلك فى الزمن dt تساوي n.S.v.dt. فإذا كانت e تمثل شحنة الإلكترون فإن الشحنة الكلية التي تمر فى هذه المسافة فى الزمن dt هي :

$$dq = e.n.v.S.dt \quad (4-3)$$

$$I = \frac{dQ}{dt} = n.e.v.S \quad (4-4)$$



الشكل (٤ - ٢)

### كثافة التيار:

و تعرف كثافة التيار لموصل ما بأنها خارج قسمة التيار على مساحة مقطع الموصل أي إن:

$$J = I / S = n.e.v \quad (4-5)$$

و تحدد المعادلة ( ٤ - ٥ ) متوسط كثافة التيار في المساحة  $S$ . فإذا لم يكن التيار موزعاً بانتظام فإنه يمكن اعتبار مرور التيار خلال مساحة متناهية في الصغر مقدارها  $dS$  و بذلك يمكن كتابة كثافة التيار بالصيغة التالية:

$$J = dI / dS \quad (4-6)$$

أي إن كثافة التيار عبارة عن التيار خلال وحدة المساحة العمودية على اتجاه سريان الشحنة.

### كمية الكهرباء : ( Quantity of Charge )

تعرف كمية الكهرباء على أنها عدد الإلكترونات التي تمر خلال مساحة مقطع مستعرض لموصل في الثانية الواحدة .

ويرمز لكمية الكهرباء بالرمز  $Q$  ووحدتها الكولوم ( وحدة الشحنة الكهربائية ) وبالتالي يمكن الحصول على كمية الكهرباء من التعريف السابق لشدة التيار ، أي أن

$$Q = I . t \quad \text{Ampere - second ( Coulomb )} \quad (4-7)$$

حيث  $I$  هي شدة التيار الكهربى ،  $t$  هو الزمن .

أي إنه يمكن الحصول على كمية كهرباء قدرها ١ كولوم عند إمرار تيار كهربائي مقداره ١ أمبير لفترة مقدارها ثانية واحدة .

### الجهد الكهربائي : ( Electric Potential )

يصحب أى انفصال فى الشحنة الكهربائية استهلاك فى الطاقة ، أو شغل . وتكتسب الإلكترونات جزءاً من الطاقة المستهلكة عند فصل الشحنات. ويمكن الشغل هذا من مرور الإلكترونات عبر دائرة كهربائية مقفلة إلى القطب الموجب لمصدر الجهد ، مسببة توازن فى الشحنات . ويسمى الشغل هذا بالجهد الكهربائي .

### القوة الدافعة الكهربائية: ( Electromotive Force )

سبق أن عرفنا فى الوحدة الأولى فرق الجهد بين نقطتين بأنه الشغل المبذول لتحريك وحدة الشحنات الموجبة بين النقطتين فى اتجاه عكس المجال الكهربى الموجود بينهما . ومن المنابع التى لها فرق جهد ما يلى:

#### (١) البطاريات:

لقد سبق شرحها فى الوحدة الثانية وفيها تتحول الطاقة الكيميائية أثناء عملية التفريغ إلى طاقة الكهربائية . وهى تتيح لنا فروق جهد صغيرة نسبياً بين طرفيها . ويسري التيار الكهربى خارج البطارية من القطب الموجب عبر الأحمال المختلفة إلى القطب السالب . والتيار لا بد أن يسري فى مسار مقفل ، أى إنه لا بد أن يسري داخل البطارية من القطب السالب إلى القطب الموجب . والشغل المبذول لتحريك وحدة الشحن من القطب السالب إلى القطب الموجب داخل البطارية يسمى القوة الدافعة الكهربائية للبطارية ، والتى يرمز لها بالرمز  $E$  ووحدتها هى وحدة فرق الجهد أى الفولط (Volt).

#### (٢) المولدات الكهربائية:

وهى مولدات التيار المستمر وفيها تتحول الطاقة الحركية إلى طاقة كهربائية ، وهذه الطاقة تتيح فرق جهد عالياً نسبياً . ومثل البطاريات فإن هناك قوة دافعة كهربية تدفع التيار إلى المرور من القطب السالب للمولد إلى القطب الموجب للمولد داخل أسلاك المولد نفسه . ويرمز لها أيضاً بالرمز  $E$  .

### المقاومة وقانون أوم : ( Resistance and Ohm's law )

إن التيار الكهربى هو نتيجة تحرك شحنات كهربية ، وهذه الشحنات المتحركة تلقى معارضة للحركة نتيجة لتصادمها مع ذرات وأيونات الوسط الذى تتحرك فيه . ويطلق على هذه المعارضة " المقاومة " ويسمى الوسط الذى تحدث فيه هذه المقاومة بالوسط المقاوم . ويرمز لها بالرمز  $R$  .

وتعرف المقاومة بأنها خارج قسمة فرق الجهد المسلط بين طرفي المقاومة على شدة التيار المار فيه . أى أن

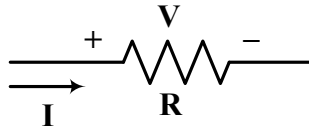
$$R = V / I \quad (4-8)$$

حيث  $R$  هى المقاومة (Resistance) ،  $V$  هو فرق الجهد المسلط ،  $I$  هو التيار المار . ووحدة  $R$  هى

Volt / Ampere ويطلق عليها أوم (Ohm) نسبة إلى العالم الألمانى جورج سيمون أوم الذى يعتبر أول من

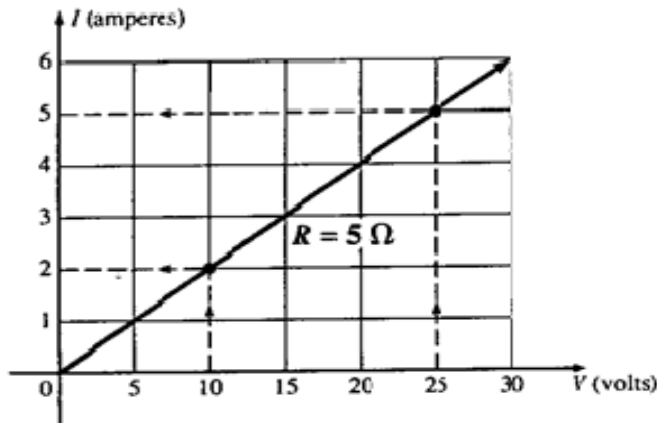
لاحظ هذه العلاقة عام ١٨٢٧ م . ويرمز للأوم بالحرف اللاتينى  $\Omega$  (Omega) . وتعرف العلاقة (4-8)

بقانون أوم ( Ohm's law ) . الشكل ( ٤ - ٣ ) يوضح اتجاه التيار  $I$  وكذلك فرق الجهد  $V$  عبر المقاومة  $R$  .



الشكل ( ٤ - ٣ )

ولقد لاحظ أوم أن مقاومة الموصلات المعدنية ثابتة عند درجة حرارة معينة ولا تتوقف على أى من فرق الجهد أو التيار . أى أن العلاقة بين فرق الجهد  $V$  المسلط عبر طرفيه وبين التيار الناتج  $I$  هى علاقة خطية عند درجة حرارة معينة ، أى أن هذه العلاقة تمثل بخط مستقيم كما فى الشكل ( ٤ - ٤ ) . وميل هذا الخط المستقيم بالنسبة لمحور التيار هو المقاومة  $R$  ومن أمثلة المقاومات الخطية الموصلات المعدنية .



الشكل ( ٤ - ٤ ) العلاقة بين فرق الجهد والتيار المار في الموصل.

### النواقل - العوازل - أنصاف النواقل :

إن حركة الشحنات تكون سهلة و حرة في بعض الأجسام ، و تكون صعبة و شديدة في أجسام أخرى . و جميع الأجسام يمكن تصنيفها إلى ثلاثة أصناف :

- نواقل
- أنصاف نواقل
- عوازل

و ذلك وفقا لدرجة السهولة التي تتمتع بها الشحنات في حركتها ، و سنقوم بدراسة تفصيلية لكل منها :



**النواقل:**

إن الأجسام المعروفة بالنواقل تنحصر في:

- المعادن بجميع أنواعها.
  - الغرافيت و هو الشكل من الكربون الأسود الطري.
  - الأرض و جسم الإنسان.
  - المحاليل بجميع أنواعها: الحمضي - و الملحي - و القلوي.
- ففي جميع هذه الأجسام نجد أن الشحنة الكهربائية يمكنها أن تتحرك بسهولة و بدون قيد. حيث يمكن الحصول على التيار الكهربائي بواسطة شكلين مختلفين:

**الشكل الأول: التوصيل الإلكتروني:**

ونعني بالتوصيل الإلكتروني ، بأن التيار الكهربائي يمكن الحصول عليه بواسطة الحركة المستمرة و المتواصلة للإلكترونات الحرة، بينما الذرات و الجزيئات التي تؤلف الناقل تبقى في حالة ثبات دون حركة. و يعتبر الناقل المعدني شكلاً من أشكال التوصيل الإلكتروني ، حيث إن قوة الجذب بين الإلكترونات الخارجية و النواة في المادة المعدنية تكون قليلة و صغيرة نسبياً ، و يمكن للإلكترونات أن تتطلق و تتحرر من مدارها بسهولة جداً: و نتيجة لهذه الحركة نحصل على التيار الكهربائي.

**الشكل الثاني: التوصيل الأيوني:**

و نعني بالتوصيل الأيوني بأن التيار الكهربائي يمكن الحصول عليه بواسطة الحركة المستمرة و المتواصلة للأيونات المتشردة في المحلول المائي. حيث إن هذه المحاليل تتركب من شوارد و أيونات موجبة و سالبة، و نحصل على الأيونات الموجبة عندما تخسر ذرة أو مجموعة ذرات، جزءاً من الإلكترونات أما الأيونات السالبة فيمكن الحصول عليها عن طريق ربح الذرة أو مجموعة الذرات على إلكترونات إضافية و عندما تكون هذه المواد في حالة صلبة و جافة، فإن الأيونات الموجبة و السالبة تكون في حالة ثبات و لا تستطيع الحركة، و بالتالي لا يمر تيار كهربائي. و منه نستطيع أن نستنتج:

إن جميع المحاليل المائية تنقل التيار الكهربائي في الحالة السائلة فقط، أما الحالة الصلبة فلا تنقل التيار الكهربائي.

إذا تم تطبيق حقل كهربائي على المحلول، فنحصل على حركة باتجاه معين للأيونات تحت تأثير قوة الكهرباء الساكنة، فالأيونات الموجبة ستتحرك باتجاه خطوط قوة التيار، بينما الأيونات السالبة سوف تتحرك في الاتجاه المعاكس، وبذلك يتالشكل التيار الكهربائي.

إن التوصيل الكهربائي من خلال الأرض أو جسم الإنسان ينتمي إلى التوصيل الأيوني، حيث إن كلاً من جسم الإنسان و الأرض الرطبة، يحتوي على العديد من الأيونات الحرة.

وإن الكمية الفيزيائية المصنف بها المعدن هي عبارة عن القدرة المحددة في التوصيل و ندعوها بالمقاومية أو القدرة على المقاومة، فكلما كانت المقاومة أصغر كلما كانت على نحو أفضل للتوصيل. فالموصلات الكهربائية هي مواد لا تتعرض للإلكترونات الحرة فيها سوى لمقاومة صغيرة، عندما تتحرك داخلها حركة موجهة، فهي توصل التيار الكهربائي. و من هذه المواد: الفضة، والنحاس، والألمنيوم، والفولاذ، والكربون، والزنبق، والتغستين و الجدول ( ٤ - ١) فيه مقاومة عدد من المعادن.

جدول (٤ - ١) المقاومة (المقاومة النوعية) و المعامل الحراري لبعض المواد

المواد	$\rho(\Omega.m)$	$\alpha$
ألومنيوم	$0.282 \times 10^{-7}$	0.0039
بيزموت	$12.5 \times 10^{-7}$	0.004
نحاس أصفر	$0.719 \times 10^{-7}$	0.002
كربون 0°	$349.65 \times 10^{-7}$	-0.0005
كربون 500°	$270.3 \times 10^{-7}$	-0.0005
كوستنتان	$4.9 \times 10^{-7}$	0.00001
نحاس ملدن	$0.172 \times 10^{-7}$	0.00393
نحاس صلب مسحوب	$0.176 \times 10^{-7}$	0.00382
حديد نقي 99.98%	$1.0 \times 10^{-7}$	0.005
رصاص	$2.22 \times 10^{-7}$	0.004
منفتين (Cu84%, Mn12%, Ni4%)	$4.35 \times 10^{-7}$	0.000002
زئبق	$9.62 \times 10^{-7}$	0.00089
نيكروم	$10.00 \times 10^{-7}$	0.0004
فضة	$0.162 \times 10^{-7}$	0.0038
صوديوم «صلب» 0°	$0.43 \times 10^{-7}$	0.0044
صوديوم «سائل» 1161°	$1.02 \times 10^{-7}$	0.0033
فولاذ	$6.21 \times 10^{-7}$	0.0008
ولفرام «تجستن»	$0.552 \times 10^{-7}$	0.0045
زنك	$0.58 \times 10^{-7}$	0.0037
كهرمان	$5.0 \times 10^{14}$	
شمع الختم	$8.0 \times 10^{13}$	
مطاط صلب	$1 \times 10^{16} - 2 \times 10^{13}$	
زجاج عادي	$9 \times 10^{11}$	
خشب المهاقوني	$4 \times 10^{11}$	
صفائح زجاج تجاري	$2 \times 10^{11}$	
خشب الاسفندان	$3 \times 10^8$	
ألياف حمراء	$5 \times 10^7$	
رخام	$1 \times 10^5$	
باكليت	$2 \times 10^5 - 2 \times 10^{14}$	
زيت الرافين	$1 \times 10^{14}$	
إثيل الكحول	$3 \times 10^3$	
ماء مقطر	$5 \times 10^3$	
محلول كلوريد الصوديوم	$8.33 \times 10^{-2}$	
كلوريد الصوديوم المنصهر	$2.94 \times 10^{-3}$	

الجدول (٤ - ٢) السماحية النسبية و متانة العزل لعدد من المواد

المخزف	السماحية النسبية $\epsilon_r$	متانة العزل [MV/m]
زيت المحولات	4	16
النفط	1.0007	3
المطاط	3	27

52	2.5	الورق المشمع
60	2	بلاستيك (تفلون)
120	7.5	زجاج
200	5	مايكا

### العوازل:

العوازل هي عبارة عن المواد التي تكون فيها حركة الشحنات صعبة جداً وتكون مقتصرة على بعض المواد كما يبين الجدول:

نرى كثيراً من المواد العازلة مستخدمة في التطبيقات اليومية في الأجهزة الكهربائية ومن أشهرها: المواد البلاستيكية بأنواعها المتعددة والزيوت والزجاج والسيراميك والورق وأكاسيد المعادن. كل هذه المواد تتميز بمقاومة نوعية عالية تفوق  $10^{12}$  أوم مترو عند اختيار المادة العازلة يراعى فيها جودة العزل و منع تسريب التيار الكهربائي من خلال المادة وكذلك متانة العزل أو المتانة الكهربائية للمادة. ويقصد بهذه أقصى فولتية تتحملها المادة لكل متردون أن تنهار وتبدأ بالتوصيل.

وتتأثر المواد العازلة بالشوائب والظروف الجوية من حرارة ورطوبة. فالشوائب والعيوب التركيبية في المواد العازلة تؤدي إلى انخفاض المقاومة النوعية. و أما ارتفاع درجة الحرارة فيؤدي إلى هبوط المقاومة أيضاً.

وإن من الخواص المهمة للعوازل ثابت العزل  $\epsilon$  و يحدد عادة نسبة إلى ثابت العزل للفراغ أو الهواء

المطلق وهو  $\epsilon_0 = 8.8 \times 10^{-12}$  و  $\epsilon_r$  ويشار إليه بالسماحية النسبية وهذه الخاصية تصف قابلية المادة في استيعاب خطوط الفيض للمجال الكهربائي فيها. وفي الجدول (٤ - ٢) تظهر السماحية النسبية و متانة العزل لعدد من المواد العازلة.

إن متانة العزل قد تنخفض كثيراً بفعل تراكم الشوائب والأتربة على سطوح المواد العازلة مما يؤدي إلى تسرب التيار. وقد تنجم عن هذا التيار حرارة عالية أو قوس شرارة بين النقاط المعزولة مما يؤدي إلى تدهور المتانة وحدوث الانهيار بمرور الزمن. وقد نرى عملياً أن أضراراً كبيرة تلحق بالمنظومات الكهربائية نتيجة تأثر المواد العازلة بمرور الزمن.

المواد شبه الموصلة:

هناك انواع كثيرة من المواد تصنف بمثابة مواد شبه موصلة تتراوح مقاومتها النوعية من  $10^{-6}$  الى  $10^6$  أوم مترو تتأثر هذه المواد بصورة كبيرة بالشوائب، و هي ليست مألوفة من التطبيقات العامة بل إنها تدخل في تصنيع الأجهزة و النبائط الإلكترونية.

إن من المواد شبه الموصلة الأكثر شيوعاً مادة السيليكون و الجيرمانيوم و مواد أخرى مركبة كأرسنيد الكاليوم و غيرها. و من أهم صفات هذه المواد أنها تتأثر كثيراً بالحرارة و بالضوء و الضغط و غيرها من العوامل الخارجية. كما أن مقاومتها النوعية يمكن أن تتحدد بفعل تطعيم المادة بالشوائب. وأن تأثر خواصها الكهربائية بالعوامل الخارجية يجعلها مادة صالحة للاستخدام كمجسات لتحسس الظواهر الفيزيائية من حرارة و صوت و ضوء و غيرها.

و يمكن التمييز بين المعادن و المواد شبه الموصلة في أن الأخيرة لها معامل حراري سالب للمقاومة أي أن مقاومتها النوعية تنخفض بارتفاع درجة الحرارة.

**العوامل التي تتوقف عليها مقاومة موصل :**

(١) طول الموصل

(٢) مساحة المقطع

(٣) نوع مادة الموصل

(٤) درجة الحرارة

تتناسب مقاومة الموصل تناسباً طردياً مع طول الموصل وتتناسب عكسياً مع مساحة مقطعه وذلك عند ثبوت درجة الحرارة ، ولذلك أمكن الحصول على العلاقة :

$$R = \rho \ell / A \quad (4-9)$$

حيث  $\rho$  ثابت يتوقف على نوع المادة وتسمى المقاومة النوعية (Resistivity) ، ووحدتها هي أوم\_متر (Ohm\_meter). و  $\ell$  هي طول الموصل ، و  $A$  هي مساحة مقطعه . وجدير بالذكر أن نعرف هنا ما يسمى الموصلية النوعية (Conductivity)  $\sigma$  وهي مقلوب المقاومة النوعية  $\rho$  ، أي أن

$$\sigma = 1 / \rho = \ell / R A \quad (4-10)$$

ووحدة  $\sigma$  هي  $(\text{Ohm-meter})^{-1}$  أو  $\text{S/m}$  حيث  $1 \text{ siemens (S)} = 1 (\text{ohm})^{-1}$  .

ويجدر بنا أيضاً أن نعرف هنا ما يعرف بالموصلية (Conductance)  $G$  وهي مقلوب المقاومة ، أي أن

$$G = 1 / R \quad (\text{mho})$$

أى أن وحدة G هي mho أو  $(ohm)^{-1}$  ، أو S (Siemens)

### تأثير درجة الحرارة على مقاومة الموصل :

تتغير المقاومة النوعية للمواد المختلفة مع تغير درجة الحرارة ، وتأخذ الصورة :

$$\rho_T = \rho_0 (1 + \alpha_0 T) \quad (4-11)$$

حيث T هي درجة الحرارة مقاسة بالتقدير المئوي ،  $\alpha_0$  يسمى المعامل الحراري للمقاومة النوعية منسوباً للصفر المئوي الجدول (٤ - ١) . ويمكن الحصول على العلاقة التي تمثل تغير المقاومة مع درجة الحرارة كالآتي :

$$R_T = \rho_T \ell / A , \quad R_0 = \rho_0 \ell / A$$

وبالتالي يمكن الحصول على الصورة :

$$R_T = \rho_T \ell / A = \rho_0 (\ell / A) (1 + \alpha_0 T)$$

أى أن

$$R_T = R_0 (1 + \alpha_0 T) \quad (4-12)$$

ويمكن الآن إيجاد المقاومة عندما ترتفع درجة الحرارة من  $T_1$  إلى  $T_2$  كالآتي :

$$R_{T1} = R_0 (1 + \alpha_0 T_1) , \quad R_{T2} = R_1 (1 + \alpha_1 T_2) \quad (4-13)$$

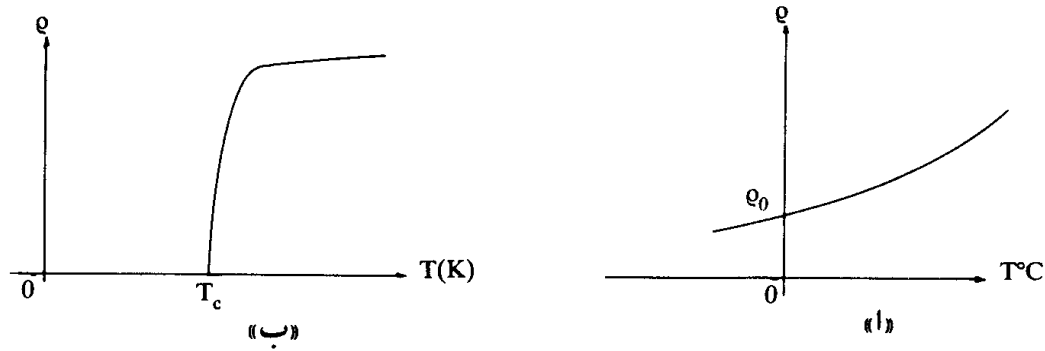
وبالتالي يمكن الحصول على الصورة :

$$R_{T2} = R_{T1} [1 + \alpha_{T1} (T_2 - T_1)] \quad (4-14)$$

### المعامل الحراري الموجب والمعامل الحراري السالب :

و هذه العلاقات المستنتجة أعلاه تصلح فقط للمعادن و أما في حالة السوائل الموصلة فإن المقاومة تنخفض بارتفاع درجة الحرارة نتيجة انخفاض لزوجة المحلول بارتفاع الحرارة مما يؤدي إلى زيادة سرعة الأيونات ، و لهذا فإن المعامل الحراري للمقاومة يكون سالباً . و في حالة أشباه الموصلات تقل المقاومة بارتفاع درجة الحرارة بسبب زيادة عدد الإلكترونات الحرة . و يلاحظ أن هناك طائفة من المعادن تسمى بالموصلات فائقة ( مفرطة ) التوصيل الشكل (٤ - ٥) و التي فيها تختفي المقاومة تماماً عند درجات حرارة أقل من

10 درجات مطلقة ولذلك سميت بالمواد فائقة التوصيل مرتفعة الحرارة و صنعت هذه المواد من مواد خزفية.



الشكل (٤ - ٥)

- أ - العلاقة بين المقاومة النوعية  $\rho$  و درجة الحرارة  $T$  للموصلات.  
ب - العلاقة بين المقاومة  $\rho$  النوعية و درجة الحرارة  $T$  للمواد فائقة التوصيل.

حيث أن

$$\alpha_{T1} = \alpha_0 / (1 + \alpha_0 T_1) \quad (4-15)$$

حيث  $\alpha_{T1}$  المعامل الحراري للمقاومة النوعية منسوباً لدرجة الحرارة  $T_1$ . وهذا المعامل الحراري يكون موجباً للموصلات المعدنية ، أى أن المقاومة  $R$  تزداد بازدياد درجة الحرارة  $T$ .

مثال (٤ - ١):

موصل نحاسي طوله 5 m وقطر مقطعه الدائري المستعرض 5 mm ، احسب مقاومته عند درجة حرارة 20°C إذا كانت المقاومة النوعية للنحاس عند 20°C تساوي  $1.72 \times 10^{-8} \Omega.m$

الحل:

يمكن الحصول على مقاومة الموصل من العلاقة التالية :

$$R = \rho \ell / A$$

حيث  $\ell$  طول الموصل ، و  $\rho$  هي المقاومة النوعية ، و  $A$  هي مساحة مقطعه وهي تساوي

$$A = \pi D^2 / 4$$

حيث  $D$  هو قطر الموصل ، لذلك يمكن الحصول على المساحة كالآتي :

$$A = \pi D^2 / 4 = \pi (5 \times 10^{-3})^2 / 4 = 6.25 \pi \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

ولذلك يمكن الحصول على المقاومة R كالاتي :

$$R = \rho \ell / A = (1.72 \times 10^{-8}) (5) / (6.25 \pi \times 10^{-6}) = 4.38 \text{ m } \Omega$$

مثال (٤ - ٢):

تبلغ مقاومة موصل معدني  $7\Omega$  عند  $0^\circ\text{C}$ ، وتصبح  $7.8\Omega$  عند  $200^\circ\text{C}$  ، احسب معامل درجة حرارة المعدن عند  $200^\circ\text{C}$  .

الحل:

يمكن حساب معامل درجة حرارة المعدن باستخدام العلاقة الآتية:

$$R_{T_2} = R_{T_1} [ 1 + \alpha_{T_1} ( T_2 - T_1 ) ]$$

أى أن

$$R_0 = R_{T_1} [ 1 + \alpha_{T_1} ( T_0 - T ) ]$$

وبالتعويض عن القيم المعطاه فى الصورة السابقة ، أى

$$7 = 7.8 [ 1 + \alpha_{T_1} ( 0 - T ) ]$$

ومن ذلك نحصل على  $\alpha_{T_1}$  ( معامل درجة الحرارة عند  $200^\circ\text{C}$  )  $= 0.005130^\circ\text{C}^{-1}$  .

مثال (٤ - ٣):

موصل مقاومته  $25\Omega$  تزداد مقاومته بمقدار 10% عندما تزداد درجة حرارته من 15 إلى  $500^\circ\text{C}$  ، حسب متوسط ارتفاع درجة حرارة الموصل عند درجة حرارة محيطه تبلغ  $200^\circ\text{C}$  عندما تكون مقاومته  $30\Omega$  ويكون معامل درجة الحرارة ثابتاً .

الحل:

يمكن حل هذا المثال باستخدام العلاقة الآتية:

$$R_T = R_0 ( 1 + \alpha_0 T )$$

وبالتالى يكون

$$R_{15} = 25 = R_0 ( 1 + 15\alpha_0 ) ,$$

$$R_{50} = 25 + 2.5 = 27.5 = R_0 ( 1 + 50\alpha_0 )$$

بحل المعادلتين السابقتين معاً نحصل على:

$$\alpha_0 = 0.0029850^\circ\text{C}^{-1} , \quad R_0 = 23.9286 \Omega$$

ويمكن حساب درجة حرارة الموصل عندما تكون مقاومته  $30 \Omega$  كالآتي :

$$R_T = 30 = R_0 (1 + \alpha_0 T) = 23.9286 (1 + 0.002985 T)$$

وبالتالي نحصل على درجة الحرارة  $T = 85^\circ \text{C}$

وبالتالي يكون الارتفاع في درجة الحرارة  $\Delta T$

$$\Delta T = 85 - 20 = 65^\circ \text{C}$$

### القدرة والطاقة الكهربائية : Electric Power and Energy

عند مرور تيار كهربى قدره  $I$  فى موصل مقاومته  $R$  فإن طاقة كهربية تتحول إلى طاقة حرارية تعمل على رفع درجة حرارة المقاومة . فإذا كان الجهد بين طرفي هذا الموصل هو  $V$  فإن شحنة قدرها  $dQ$  تمر فى زمن قدره  $dt$  تعطى بالعلاقة لتالية:

$$dQ = I dt$$

وتكون بالتالي الطاقة التى تكتسبها هذه الشحنة (كما سبق دراسته فى الوحدة الأولى ) فى الصورة :

$$dW = V dQ = V I dt$$

والقدرة الكهربائية التى تعرف على أنها معدل تغير الطاقة بالنسبة للزمن تكون :

$$P = dW / dt = V I dt / dt = V I \quad (4-16)$$

أى أن القدرة الكهربائية  $P$  تعطى قيمتها من شدة التيار وفرق الجهد ، ووحدتها هى  $\text{joule} / \text{s}$  أو (Watt) ومن قانون أوم نجد أن

$$V = I R , I = V / R$$

لذلك يمكن أن تأخذ القدرة  $P$  الصور التالية:

$$P = VI = I^2 R = V^2 / R \quad \text{Watt} \quad (4-17)$$

فى حالة المنبع الكهربى فإن الشحنة تتحرك داخله من النقطة الأقل جهداً إلى النقطة الأعلى جهداً ، أى أنها تكتسب طاقة كهربية أثناء مرورها داخل المنبع ، وهذا لا بد أن يأتى من صورة مختلفة من صور الطاقة ، فإذا كان المنبع مثلاً بطارية فإن الطاقة الكيميائية تتحول إلى طاقة كهربية ، وتكون القدرة فى هذه الحالة :

$$P = E I \quad \text{Watt} \quad (4-18)$$

حيث  $E$  هى القوة الدافعة الكهربائية للبطارية .



ويمكننا الحصول على الطاقة الكهربائية المفقودة أو المكتسبة  $W$  كالتى :

$$W = P t \quad ( \text{Watt-sec or Joules} ) \quad (4-19)$$

### الكفاءة: ( Efficiency )

تنتقل الطاقة الكهربائية من المصدر الكهربى إلى الأحمال عبر الموصلات الكهربائية و يمكننا أن نعرف عندئذ الكفاءة  $\eta$  للنظام كالتى :

$$\eta = P_o / P_i \quad (4-20)$$

حيث  $P_o$  هى القدرة الخارجة ( قدرة الحمل ) و  $P_i$  هى القدرة الداخلة ( قدرة المنبع ) و التى يمكن حسابها كالتى :

$$P_i = E I \quad (4-21)$$

حيث  $E$  هو جهد المنبع ،  $I$  هو التيار الداخل . ويمكن كذلك حساب  $P_i$  كما يلي :

$$P_i = P_o + P_{\text{loss}} \quad (4-22)$$

حيث  $P_{\text{loss}}$  هى القدرة المفقودة فى الموصل ، و التى يمكن حسابها كالتى :

$$P_{\text{loss}} = I^2 R$$

حيث  $I$  هو شدة التيار و  $R$  هى المقاومة .

ويمكننا كذلك أن نعرف الكفاءة  $\eta$  بدلالة الطاقة كالتى :

$$\eta = W_o / W_i$$

حيث  $W_o$  هى الطاقة الخارجة و  $W_i$  هى الطاقة الداخلة .

### مثال (٤ - ٤):

احسب التيار المار فى المقاومة  $2 \text{ K } \Omega$  إذا كان فرق الجهد بين طرفيها  $16 \text{ V}$  .

### الحل:

يمكن حساب التيار الكهربى  $I$  طبقا لقانون أوم كالتى :

$$I = V / R = ( 16 / 2000 ) = 8 \text{ m A}$$

حيث  $V$  هو فرق الجهد بين طرفى المقاومة ،  $R$  هى المقاومة .

مثال (٤ - ٥):

احسب القدرة المفقودة في المقاومة  $5\Omega$  إذا كان التيار المار بها  $4\text{ A}$  .

الحل:

القدرة المفقودة في المقاومة هي :

$$P = I^2 R = (4)^2 (5) = 80\text{ W}$$

مثال (٤ - ٦):

احسب الطاقة الكهربائية اللازمة لإضاءة مصباح كهربى قدرته  $60\text{ W}$  لمدة سنة .

الحل:

يمكن حساب الطاقة الكهربائية  $W$  كالآتى:

$$W = P t = 60 (24) (365) / 1000 = 525.6\text{ KWh}$$

حيث  $P$  هي القدرة الكهربائية و  $t$  هو الزمن .

مثال (٤ - ٧):

احسب قدرة المحرك الكهربى إذا كانت الكفاءة  $80\%$  وكان التيار المغذى للمحرك  $8\text{ A}$  عند

$$120\text{ V}$$

الحل:

حيث إن الكفاءة  $\eta$  تعطى بالعلاقة :

$$\eta \% = (P_o / P_i) (100 \%)$$

$$P_i = V I = (120) (8) = 960\text{ W}$$

ولذلك نحصل على قدرة المحرك  $P_o$  كما يلي :

$$0.80 = (P_o / 960)$$

$$P_o = (0.8) (960) = 768\text{ W}$$

ويمكن الحصول على قدرة المحرك بالحصان (horse \_ Power ( hp ) كالآتي :

$$P_o = 768 \text{ W ( 1 hp / 746 W )} = 1.029 \text{ hp}$$

مثال (٤ - ٨) :

تبلغ القدرة التي يأخذها ملف مقاوم مصنوع من سلك نحاسي  $220 \text{ W}$  عند  $110 \text{ V}$  و  $20^\circ \text{C}$  . احسب القدرة التي يستهلكها الملف عند  $110 \text{ V}$  و  $120^\circ \text{C}$  ، إذا كان معامل درجة الحرارة عند  $20^\circ \text{C}$  هو  $0.00393 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  .

الحل:

يمكننا الحصول على القدرة المطلوبة  $P_{120}$  كما يلي :

$$P_{20} = V^2 / R_{20}$$

$$R_{20} = V^2 / P_{20} = (110)^2 / 220 = 55$$

$$R_{120} = R_{20} [ 1 + \alpha_{20} ( 120 - 20 ) ] = 55 [ 1 + 0.00393 ( 100 ) ]$$

$$= 76.615 \Omega$$

$$P_{120} = V^2 / R_{120} = (110)^2 / 76.615 = 157.93 \text{ W}$$

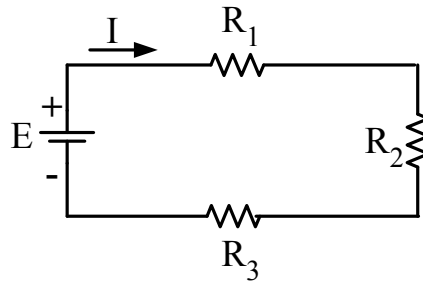
## توصيل المقاومات والبطاريات على التوالي

### مقدمة:

فى هذا الفصل سيتم شرح كيفية توصيل المقاومات والبطاريات على التوالي فى الدوائر الكهربائية ، بالإضافة إلى شرح قانون كيرشوف للجهد وقاعدة توزيع الجهد ، مع توضيح ذلك بأمثلة متنوعة .

### توصيل المقاومات على التوالي:

إذا ما تم توصيل عدد من المقاومات بالشكل ما بحيث يسرى نفس التيار فى كل منها ، فإن هذا التوصيل يسمى بالتوصيل على التوالي كما هو موضح فى الشكل (٥ - ١) . من هذا الشكل يمكننا إيجاد المقاومة الكلية  $R_T$  كالآتى :



الشكل (٥ - ١) توصيل المقاومات على التوالي.

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 \quad \Omega$$

ويمكننا إيجاد المقاومة الكلية فى الصورة العامة لعدد  $N$  من المقاومات الموصلة على التوالي كما يلى:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_N \quad \Omega \quad (5-1)$$

يمكن الحصول كذلك من الشكل (٥ - ١) على التيار  $I$  طبقاً لقانون أوم ، أى أن :

$$I = E / R_T \quad A \quad (5-2)$$

حيث  $E$  هى القوة الدافعة الكهربائية للبطارية . ويمكن كذلك إيجاد فرق الجهد عبر كل مقاومة فى الصورة العامة طبقاً لقانون أوم كما يلى :

$$V_1 = I R_1 , V_2 = I R_2 , V_3 = I R_3 , \dots, V_N = I R_N \quad V \quad (5-3)$$

والقدرة المفقودة فى كل مقاومة يمكن حسابها باستخدام أى من المعادلات التالية الموضحة ( فى حالة المقاومة  $R_1$  ) :

$$P_1 = V_1 I_1 = I_1^2 R_1 = V_1^2 / R_1 \quad W \quad (5-4)$$

وقدرة المنبع تكون فى هذه الحالة :

$$P_{del} = E I \quad W$$

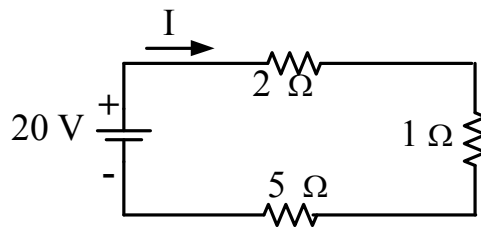
ولأى عدد  $N$  من المقاومات موصلة على التوالى تكون القدرة المفقودة فى هذه المقاومات :

$$P_{del} = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_N \quad (5-5)$$

ونلاحظ هنا أن قدرة المنبع ( $P_{delivered}$ ) تساوى القدرة المفقودة فى المقاومات المتصلة على التوالى بهذا المنبع.

#### مثال (٥ - ١) :

للدائرة الموضحة فى الشكل (٥ - ٢) ، احسب : (أ) المقاومة الكلية والتيار الكهربى . (ب) فرق الجهد الكهربى  $V_1$  و  $V_2$  و  $V_3$  عبر المقاومات  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  .  
(ج) القدرة المفقودة فى المقاومات  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  ، وكذلك قدرة المنبع .



الشكل (٥ - ٢)

#### الحل:

(أ) المقاومة الكلية  $R_T$  نحصل عليها من المعادلة (٥ - ١) وهى :

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 = 2 + 1 + 5 = 8 \quad \Omega$$

وطبقا لقانون أوم نحصل على التيار  $I$  المار فى الدائرة ، أى أن

$$I = E / R_T = 20 / 8 = 2.5 \quad A$$

(ب) وفروق الجهد الكهربى  $V_1$  و  $V_2$  و  $V_3$  عبر المقاومات  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  هى :

$$V_1 = I R_1 = (2.5) (2) = 5 \quad V$$

$$V_2 = I R_2 = (2.5) (1) = 2.5 \quad V$$

$$V_3 = I R_3 = (2.5) (5) = 12.5 \quad V$$

(ج) القدرة المفقودة فى المقاومات  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  هى على الترتيب :

$$P_1 = I_1^2 R_1 = (2.5)^2 (2) = 12.5 \quad W$$

$$P_2 = V_2 I_2 = (2.5) (2.5) = 6.25 \quad W$$

$$P_3 = V_3^2 / R_3 = (12.5)^2 / 5 = 31.25 \quad W$$

وقدرة المنبع هى :

$$P_{del} = E I = (20) (2.5) = 50 \quad W$$

ونلاحظ هنا أن

$$P_1 + P_2 + P_3 = 12.5 + 6.25 + 31.25 = 50 \quad W = P_{del}$$

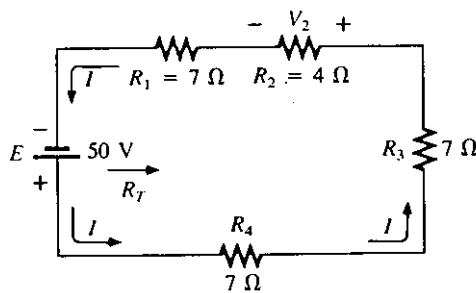
فى حالة توصيل عدد  $N$  من مقاومات متساوية  $R$  على التوالى تكون المقاومة الكلية هى :

$$R_T = N R \quad (5-6)$$

مثال (٥ - ٢) :

أوجد المقاومة الكلية  $R_T$  والتيار  $I$  وفرق الجهد  $V_2$  للدائرة الموضحة فى الشكل (٥ - ٣) .

الحل:



الشكل (٥ - ٣)

لأن المقاومات  $R_1 = R_3 = R_4$  ، فإن المقاومة الكلية تكون :

$$R_T = N R_1 + R_2 = (3) (7) + 4 = 25 \quad \Omega$$

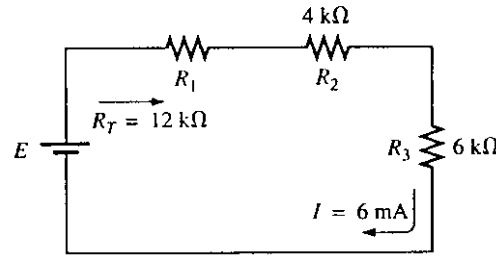
$$I = E / R_T = 50 / 25 = 2 \quad A$$

$$V_2 = I R_2 = (2) (4) = 8 \quad V$$

مثال (٥ - ٣) :

فى الدائرة الموضحة فى الشكل (٥ - ٤) المقاومة الكلية  $R_T$  والتيار  $I$  لها قيم معلومة ، أوجد المقاومة  $R_1$  وجهد البطارية  $E$  .

الحل:



الشكل (٥ - ٤)

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$

$$12 = R_1 + 4 + 6$$

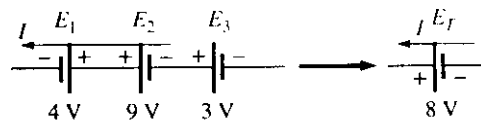
$$R_1 = 12 - 10 = 2 \text{ k} \Omega$$

$$E = I R_T = (6)(10^{-3})(12)(10^3) = 72 \text{ V}$$

**توصيل المنابع الكهربائية على التوالي :**

عندما يوصل أكثر من منبع جهد على التوالي ، فإن الجهد الكلي للنظام هو مجموع هذه الجهود بحيث كل جهد يكون مأخوذاً بإشارته ( موجباً أو سالباً ) ، وبالتالي فإن الجهد الكلي للنظام يمكن أن يزيد أو أن ينقص إشارة ( اتجاه ) هذه المنابع . وكما موضح فى الشكل (٥ - ٥) فإن الجهد الكلي يكون :

$$E_T = E_2 + E_3 - E_1 = 9 + 3 - 4 = 8 \text{ V}$$

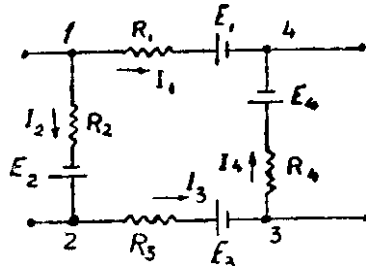


الشكل (٥ - ٥)

### قانون كيرشوف للجهد : ( Kirchhoff's Voltage Law )

يعرف هذا القانون على أن : المجموع الجبري لكل من مقادير القوى الدافعة الكهربائية للمنابع المختلفة فى دائرة كهربائية مغلقة ومقادير الهبوط فى الجهد فى مقاومات الدائرة المختلفة مساوٍ للصفر .

ويلاحظ هنا أن اتجاه الهبوط فى الجهد على أية مقاومة يضاد اتجاه التيار المار فى هذه المقاومة . ولتوضيح تطبيق هذا القانون بدون الوقوع فى بعض الأخطاء الشائعة نفرض أن الشكل (٥ - ٦) يمثل إحدى الدوائر المغلقة التى تتكون منها دائرة كهربائية والتى يراد تطبيق القانون عليها . نفرض أن اتجاه التيارات فى الفروع المختلفة كما هو موضح فى الشكل ونبدأ تطبيق القانون من نقطة معينة (ولتكن النقطة ١) .



الشكل (٥ - ٦)

طبقاً لقانون كيرشوف يجب أن يكون مجموع القوى الدافعة الكهربائية ومجموع مقادير الهبوط فى الجهد فى مقاومات الدائرة المختلفة مساوياً للصفر ابتداءً من النقطة ١ حتى تعود إليها فى أى الاتجاهين ، أى أن فى الاتجاه الأول ١ ٢ ٣ ٤ ١ يكون :

$$-I_1 R_1 - E_1 + E_4 + I_4 R_4 + E_3 + I_3 R_3 - E_2 + I_2 R_2 = 0$$

أو فى الاتجاه الآخر ١ ٤ ٣ ٢ ١ يكون

$$-I_2 R_2 + E_2 - I_3 R_3 - E_3 - I_4 R_4 - E_4 + E_1 + I_1 R_1 = 0$$

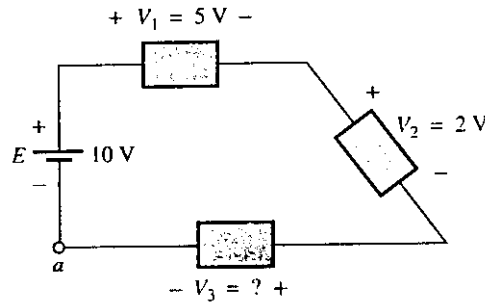
يلاحظ من المعادلتين السابقتين أن القوة الدافعة الكهربائية للبطارية تدخل فى المعادلة بإشارة موجبة عندما يكون المرور عليها أثناء تطبيق القانون من القطب السالب إلى القطب الموجب ، كما أن مقدار الهبوط فى الجهد على المقاومة يدخل فى المعادلة بإشارة سالبة عندما يكون المرور على المقاومة أثناء تطبيق القانون فى اتجاه التيار .



مثال (٥ - ٤) :

احسب فرق الجهد  $V_3$  للدائرة الموضحة في الشكل (٥ - ٧) باستخدام قانون كيرشوف للجهد .

الحل:



الشكل (٥ - ٧)

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد وذلك بأخذ مسار في اتجاه عقارب الساعة ابتداء من النقطة a فنحصل على :

$$E - V_1 - V_2 - V_3 = 0$$

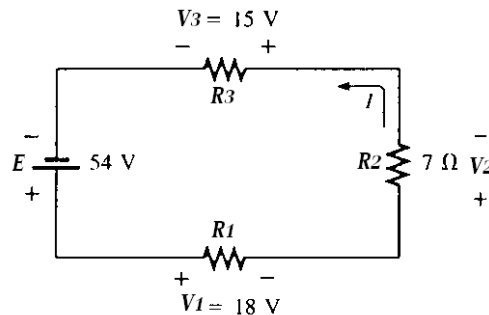
أى أن

$$V_3 = E - V_1 - V_2 = 10 - 5 - 2 = 3 \text{ V}$$

مثال (٥ - ٥) :

للدائرة الموضحة في الشكل (٥ - ٨) ، أوجد فرق الجهد  $V_2$  و التيار  $I$  وأوجد كذلك قيمة المقاومتين  $R_1$  و  $R_3$  .

الحل:



الشكل (٥ - ٨)

بتطبيق قانون كيرشوف للجهد (بأخذ مسار فى اتجاه عقارب الساعة ) نحصل على

$$-E + V_3 + V_2 + V_1 = 0$$

ومنها

$$V_2 = E - V_1 - V_3 = 54 - 18 - 15 = 21 \text{ V}$$

$$I = V_2 / R_2 = 21 / 7 = 3 \text{ A}$$

$$R_1 = V_1 / I = 18 / 3 = 6 \Omega$$

$$R_3 = V_3 / I = 15 / 3 = 5 \Omega$$

**مثال (٥ - ٦):**

احسب للدائرة المبينة فى الشكل (٥ - ٩) التيار  $I$  وفرق الجهد عبر المقاومة  $7\Omega$  وكذلك القدرة المفقودة فى المقاومة  $7\Omega$  .

**الحل:**

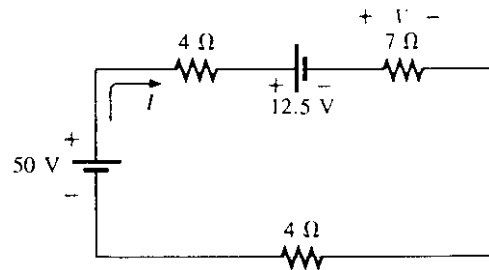
يمكننا هنا إبدال موضع العناصر فى الدائرة بدون أن يحدث أى تغيير فى المقاومة الكلية للدائرة أو التيار أو القدرة لأى من هذه العناصر . ففى الشكل (٥ - ١٠) قمنا بتغيير وضع البطارية  $12.5 \text{ V}$  وكذلك وضع المقاومة  $4 \Omega$  بدون أن يؤثر ذلك على الدائرة الأساسية .

$$R_T = 4 + 4 + 7 = 15 \Omega$$

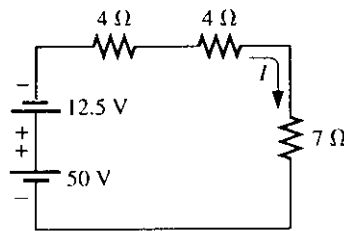
$$I = E / R_T = (50 - 12.5) / 15 = 37.5 / 15 = 2.5 \text{ A}$$

$$V_{7\Omega} = I R = (2.5) (7) = 17.5 \text{ V}$$

$$P_{7\Omega} = I^2 R = (2.5)^2 (7) = 43.75 \text{ W}$$



الشكل (٥ - ٩)



الشكل (٥ - ١٠)

### قاعدة توزيع الجهد : ( Voltage Divider Rule )

فى حالة توصيل مقاومات على التوالي مع منبع جهد كهربى ، فإن فرق الجهد عبر أية مقاومة فى هذه الدائرة يساوي حاصل ضرب هذه المقاومة فى جهد المنبع مقسوماً على المقاومة الكلية للدائرة . ويمكن استنتاج هذه القاعدة وذلك من الدائرة الموضحة فى الشكل (٥ - ١١) كالآتى :

$$R_T = R_1 + R_2$$

حيث  $R_T$  هى المقاومة الكلية ، وبتطبيق قانون أوم نحصل على :

$$I = E / R_T$$

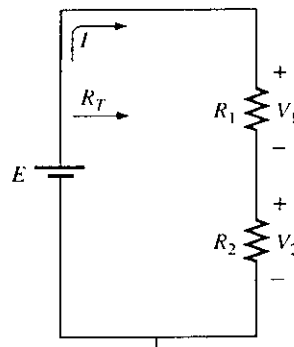
$$V_1 = I R_1 = (E / R_T) R_1 = (R_1 E / R_T)$$

$$V_2 = I R_2 = (E / R_T) R_2 = (R_2 E / R_T)$$

ويمكن كتابة هذه القاعدة فى الصورة العامة ، أى أن :

$$V_x = (R_x E / R_T) \quad (5-7)$$

حيث  $x$  تمثل رقم المقاومة (  $R_1, R_2, R_3, \dots$  ) و رقم الجهد بين طرفيها (  $V_1, V_2, V_3, \dots$  ) فإذا كانت الدائرة تحتوي على 6 مقاومات مربوطة على التسلسل فإن الجهد بين طرفي المقاومة  $R_6$  قيمته  $V_6$  و بالتالى وباستعمال الصورة العامة فإن  $V_6 = (R_6 E / R_T)$

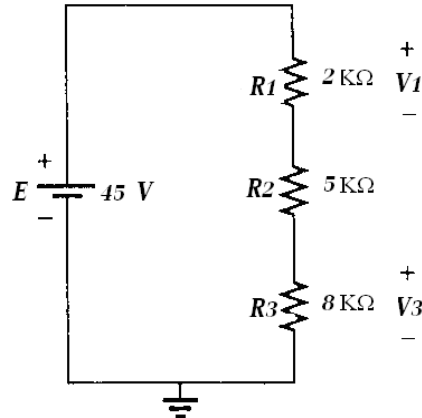


الشكل (٥ - ١١)

مثال (٥ - ٧) :

باستخدام قاعدة توزيع الجهد ، احسب فرقي الجهد  $V_1$  و  $V_3$  للدائرة المبينة فى الشكل (٥ - ١٢) .

الحل:



الشكل (٥ - ١٢)

يمكن حساب فرق الجهد  $V_1$  و  $V_3$  بتطبيق قاعدة توزيع الجهد كما يلي :

$$V_1 = (R_1 E / R_T) = (2 \times 10^3) (45) / (2 + 5 + 8) \times 10^3$$

$$= 90 / 15 = 6 \text{ V}$$

$$V_3 = (R_3 E / R_T) = (8 \times 10^3) (45) / (2 + 5 + 8) \times 10^3$$

$$= 360 / 15 = 24 \text{ V}$$

## توصيل المقاومات على التوازي

سيتم فى هذا الفصل شرح كيفية توصيل المقاومات على التوازي وكذلك قانون كيرشوف للتيار بالإضافة إلى قاعدة توزيع التيار ، وكذلك الدوائر المفتوحة ودوائر القصر. وقد تم توضيح ذلك بأمثلة متنوعة .

### توصيل المقاومات على التوازي :

إذا تم توصيل عدد من المقاومات بالشكل ما بحيث إن فرق الجهد عبر أى منها متساو ، فإن هذا التوصيل يسمى بالتوصيل على التوازي .

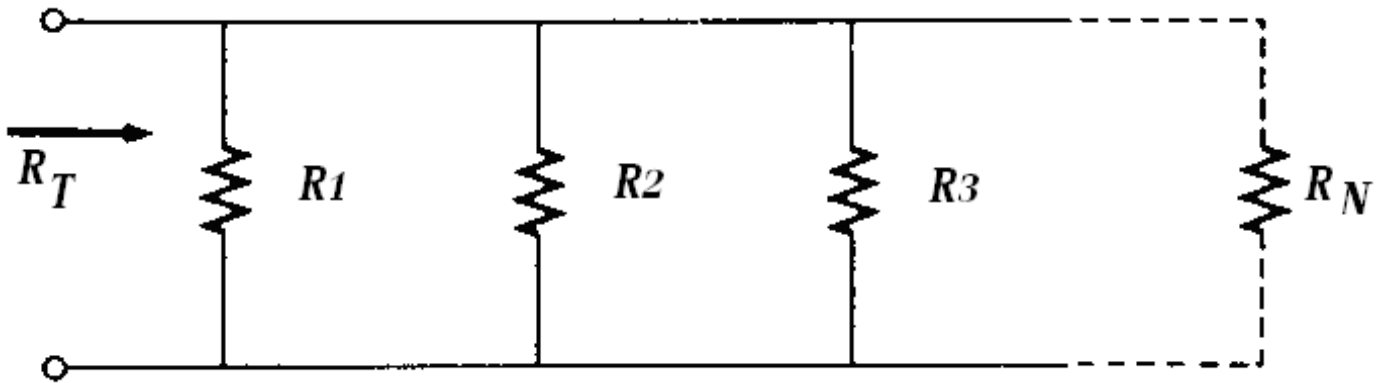
لأي عدد من الموصلة  $G$  موصلة على التوازي ، يمكننا أن نحصل على الموصلية الكلية  $G_T$  كالآتى :

$$G_T = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_N \quad (6-1)$$

حيث إن  $G$  (كما عرفت فى الفصل الخامس ) هى مقلوب المقاومة  $R$  ( $R = 1 / G$ ) ، وبالتالي فإن :

$$1 / R_T = 1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_3 + \dots + 1 / R_N \quad (6-2)$$

حيث  $R_T$  هى المقاومة الكلية كما هو موضح فى الشكل (٥ - ١٣) .

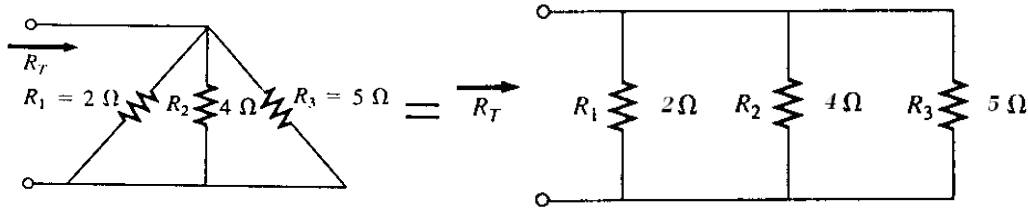


الشكل (٦ - ١) توصيل المقاومات على التوازي.

مثال (٦ - ١) :

للدائرة الموضحة فى الشكل (٦ - ٢) ، احسب المقاومة الكلية  $R_T$  وكذلك الموصلية الكلية  $G_T$ .

الحل:



الشكل (٦-٢)

$$\begin{aligned} 1 / R_T &= 1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_3 \\ &= 1 / 2 + 1 / 4 + 1 / 5 = 0.95 \text{ S} \\ R_T &= 1 / 0.95 = 1.053 \Omega \\ G_T &= 0.95 \text{ S} \end{aligned}$$

**المقاومة الكلية لمقاومات متساوية موصلة على التوازي :**

يمكن إيجاد المقاومة الكلية لعدد  $N$  من المقاومات المتساوية قيمة كل منها  $R$  والموصلة على التوازي كالآتي :

$$\begin{aligned} 1 / R_T &= 1 / R + 1 / R + 1 / R + \dots + 1 / R = N (1 / R) \\ \text{أي أن المقاومة الكلية } R_T &\text{ تكون} \\ R_T &= R / N \end{aligned}$$

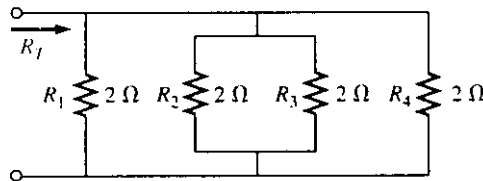
وتكون الموصلية الكلية  $G_T$  لعدد  $N$  متساو من الموصلية  $G$  في هذه الحالة :

$$G_T = N G$$

**مثال (٦-٢):**

للدائرة الموضحة في الشكل (٦-٣) ، احسب المقاومة الكلية  $R_T$  .

الحل:



الشكل (٦-٣)

كما هو موضح في الشكل (٦-٣) حيث المقاومات متساوية ، فتحسب  $R_T$  كالآتي :

$$R_T = R / N = 2 / 4 = 0.5 \Omega$$

### قاعدة هامة :

١. إذا وصلت مقاومتين  $R_1$  و  $R_2$  على التوازي فتحسب المقاومة الكلية  $R_T$  كما يلي  

$$1/R_T = 1/R_1 + 1/R_2 = (R_1 + R_2) / R_1 R_2$$

أى أن

$$R_T = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) \quad (6-3)$$

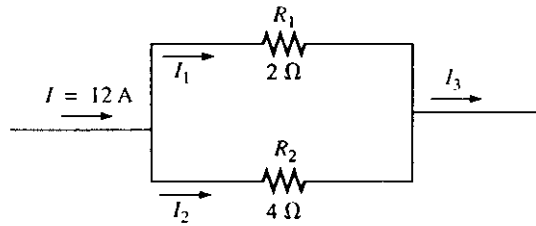
٣. إذا وصلت ثلاث مقاومات  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  على التوازي فتحسب المقاومة الكلية  $R_T$  كذلك كما يلي:  

$$R_T = R_1 R_2 R_3 / (R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3) \quad (6-4)$$

### مثال (٦-٣):

احسب المقاومة الكلية  $R_T$  للدائرة المبينة فى الشكل (٦-٤) باستخدام المعادلة (6-3).

الحل:



الشكل (٦-٤)

باستخدام المعادلة (6-3) يمكننا حساب  $R_T$  كما يلي :

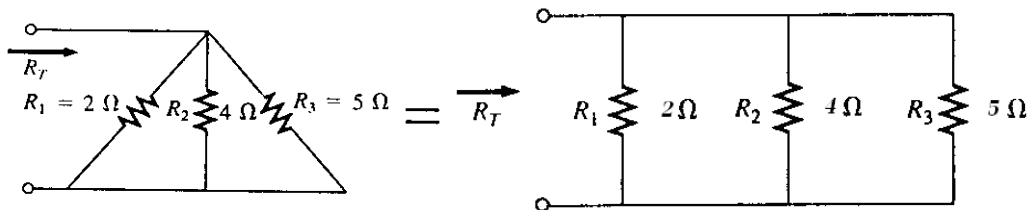
$$R_T = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = (2)(4) / (2 + 4) = 1.3333 \Omega$$

### مثال (٦-٤):

أعد حل مثال (٦-١) باستخدام المعادلة (6-4) .

الحل:

باستخدام المعادلة (6-4) يمكننا حساب  $R_T$  كما هو موضح فى الشكل (٦-٥) كالآتى :



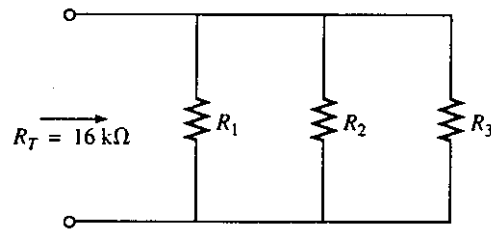
الشكل (٦-٥)

$$R_T = R_1 R_2 R_3 / (R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3) \\ = (2)(4)(5) / [(2)(4) + (2)(5) + (4)(5)] = 40 / 38 = 1.053 \Omega$$

مثال (٦ - ٥):

احسب المقاومات  $R_1$  و  $R_2$  و  $R_3$  للدائرة المبينة في الشكل (٦ - ٦) وذلك إذا كان  $R_2 = 2 R_1$  و  $R_3 = 2 R_2$  وكانت المقاومة الكلية  $R_T = 16 \text{ k} \Omega$ .

الحل:



الشكل (٦ - ٦)

كما هو موضح في الشكل (٦ - ٦) يمكننا أن نحصل على :

$$1 / R_T = 1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_3$$

وحيث إن  $R_2 = 2 R_1$  و  $R_3 = 2 R_2 = 2 (2 R_1) = 4 R_1$  وبالتعويض في الصورة السابقة عن  $R_2$  و  $R_3$  وكذلك عن قيمة  $R_T$  نحصل على :

$$1 / 16 = (1 / R_1) + (1 / 2R_1) + (1 / 4R_1) = 1.75 (1 / R_1)$$

ومنها نحصل على المقاومة  $R_1$  ، أي أن

$$R_1 = 1.75 (16) = 28 \Omega$$

وبالتالي نحصل على المقاومات  $R_2$  و  $R_3$  كما يلي :

$$R_2 = 2 R_1 = 2 (28) = 56 \Omega , \quad R_3 = 4 R_1 = 4(28) = 112 \Omega$$

مثال (٦ - ٦) :

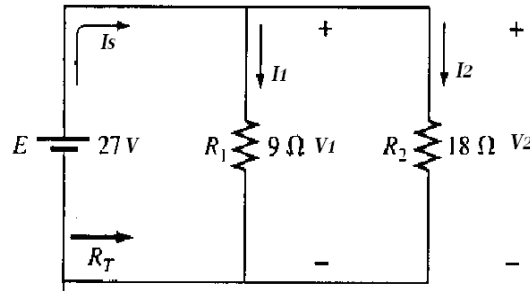
لدائرة التوازي الموضحة في الشكل (٦ - ٧) احسب :

(أ) المقاومة الكلية  $R_T$  والتيار الكلي  $I_S$  وكذلك التيارات  $I_1$  و  $I_2$ .

(ب) القدرة المفقودة في كل مقاومة ، وكذلك قدرة المنبع ( البطارية ).



الحل:



الشكل (٦ - ٧)

(أ) المقاومة الكلية  $R_T$  والتيارات  $I_s$  و  $I_1$  و  $I_2$  يمكن حسابها كما يلي :

$$R_T = R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = (9)(18) / (9 + 18) = 162 / 27 = 6 \Omega$$

$$I_s = E / R_T = 27 / 6 = 4.5 \text{ A}$$

$$I_1 = V_1 / R_1 = E / R_1 = 27 / 9 = 3 \text{ A}$$

$$I_2 = V_2 / R_2 = E / R_2 = 27 / 18 = 1.5 \text{ A}$$

نلاحظ هنا أن التيار  $I_s = I_1 + I_2$  ، أى أن  $4.5 = 3 + 1.5$  وهذا يعتبر تأكيد لصحة الحل .

(ب) نوجد القدرة المفقودة فى كل مقاومة ، وقدرة المنبع ( البطارية ) كالآتى :

$$P_1 = V_1 I_1 = E I_1 = (27)(3) = 81 \text{ W}$$

$$P_2 = V_2 I_2 = E I_2 = (27)(1.5) = 40.5 \text{ W}$$

$$P_s = E I_s = (27)(4.5) = 121.5 \text{ W}$$

نلاحظ هنا أن القدرة  $P_s = P_1 + P_2$  ، أى أن  $121.5 = 81 + 40.5$  .

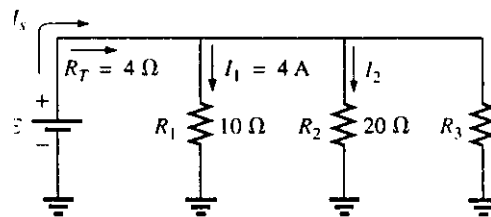
مثال (٦ - ٧) :

للدائرة الموضحة فى الشكل (٦ - ٨) ، احسب :

(أ) المقاومة  $R_3$  وجهد البطارية  $E$  وكذلك تيار المنبع  $I_s$  .

(ب) التيار  $I_2$  والقدرة المفقودة فى المقاومة  $R_2$  أى  $P_2$  .

الحل:



الشكل (٦ - ٨)

(أ) يمكن حساب المقاومة  $R_3$  وجهد البطارية  $E$  وكذلك تيار المنبع  $I_S$  كما يلي:

$$1 / R_T = 1 / R_1 + 1 / R_2 + 1 / R_3$$

$$1 / 4 = 1 / 10 + 1 / 20 + 1 / R_3$$

$$0.25 = 0.1 + 0.05 + 1 / R_3$$

$$0.25 = 0.15 + 1 / R_3, 1 / R_3 = 0.1, R_3 = 10 \Omega$$

$$E = V_1 = I_1 R_1 = (4) (10) = 40 \text{ V}$$

$$I_T = E / R_T = 40 / 4 = 10 \text{ A}$$

(ب) يمكننا حساب التيار  $I_2$  والقدرة المفقودة في المقاومة  $R_2$  أى  $P_2$  كما يلي :

$$I_2 = V_2 / R_2 = E / R_T = 40 / 20 = 2 \text{ A}$$

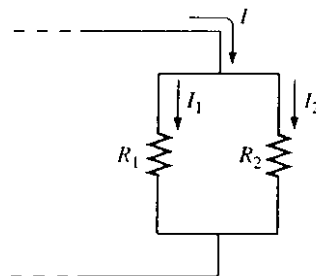
$$P_2 = I_2^2 R_2 = (2)^2 (20) = 80 \text{ W}$$

**قانون كيرشوف للتيار : ( Kirchhoff's Current Law )**

ينص هذا القانون على أن المجموع الجبرى للتيارات الكهربائية الداخلة إلى عقدة معينة يساوى مجموع التيارات الخارجة منها . ويقصد بالعقدة فى الدائرة الكهربائية النقطة التى تلتقي عندها أو تتفرق منها فروع الدائرة . وكما هو موضح فى الشكل (٦ - ٩) فإنه طبقاً لقانون كيرشوف للتيار يكون :

$$I = I_1 + I_2$$

حيث التيار  $I$  هو التيار الداخل إلى العقدة و التيارات  $I_1$  و  $I_2$  هى التيارات الخارجة منها .

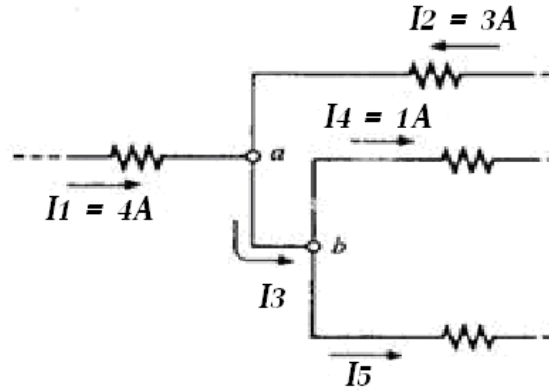


الشكل (٦ - ٩)

مثال (٨ - ٦) :

احسب التيارات  $I_3$  و  $I_5$  في الشكل (٦ - ١٠) وذلك بتطبيق قانون كيرشوف للتيار .

الحل:



الشكل (٦ - ١٠)

طبقاً لقانون كيرشوف للتيار فإن التيار  $I_3$  يكون :

$$I_3 = I_1 + I_2 = 4 + 3 = 7 \text{ A}$$

وكذلك التيار  $I_5$  نحصل عليه طبقاً لنفس القانون ، أى أن

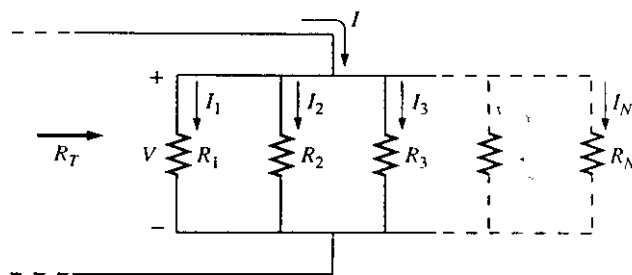
$$I_3 = I_4 + I_5$$

$$7 = 1 + I_5$$

$$I_5 = 7 - 1 = 6 \text{ A}$$

**قاعدة توزيع التيار :**

نطبق هذه القاعدة وذلك عندما نرغب فى حساب التيار فى أى فرع من فروع دائرة كهربية موصلة على التوازي كما موضح فى الشكل (٦ - ١١) . فإذا أردنا مثلاً إيجاد قيمة التيار  $I_x$  المار فى المقاومة  $R_x$  ، فإننا نحسب أولاً التيار  $I$  حيث  $I = V / R_T$  ويكون فرق الجهد  $V$  عبر المقاومة  $R_x$  هو  $V = I_x R_x$  الشكل (٦ - ١١) ، أى أن :



الشكل (٦ - ١١)

$$I = V / R_T = I_x R_x / R_T$$

حيث  $R_T$  هي المقاومة الكلية للدائرة ، وبالتالي يكون

$$I_x = (R_T / R_x) I \quad (6-5)$$

المعادلة السابقة تمثل الصورة العامة لقاعدة توزيع التيار . فمثلاً لإيجاد أى تيار وليكن  $I_1$  فطبقاً لهذه القاعدة يكون :

$$I_1 = (R_T / R_1) I$$

وهكذا يمكن إيجاد أى تيار فى الدائرة الموضحة فى الشكل (7 - 9) طبقاً لهذه القاعدة . وبالتالي يكون التيار  $I_2$

$$I_2 = (R_T / R_2) I$$

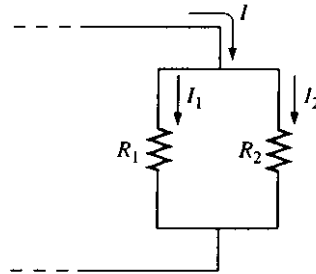
وفى حالة خاصة إذا ما كانت الدائرة الكهربائية عبارة عن مقاومتين على التوازي كما مبين فى الشكل (6 - 12) ، فتكون المقاومة الكلية  $R_T$  فى هذه الحالة :

$$R_T = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$$

$$I_1 = (R_T / R_1) I = [(R_1 R_2 / (R_1 + R_2)) / R_1] I$$

أى أن التيار  $I_1$  يكون

$$I_1 = I R_2 / (R_1 + R_2) \quad (6-6)$$



الشكل (6 - 12)

وبالمثل يمكن الحصول على التيار  $I_2$  ، أى أن

$$I_2 = I R_1 / (R_1 + R_2) \quad (6-7)$$

مثال (6 - 9) :

أوجد قيمة التيار  $I_1$  للدائرة المبينة فى الشكل (6 - 13) .

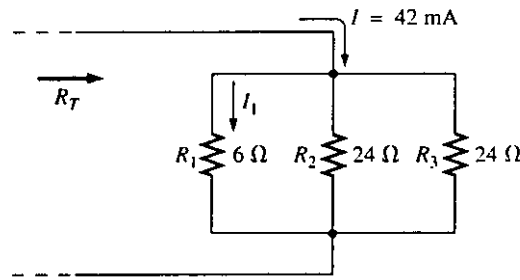
الحل:

$$R_{T1} = 24 / 2 = 12 \quad \Omega$$

وبالتالى المقاومة الكلية  $R_T$  تكون

$$R_T = R_{T1} R_1 / (R_{T1} + R_1) = (12)(6) / (12 + 6) = 72 / 18 = 4 \quad \Omega$$

وبالتالى طبقاً لقاعدة توزيع التيار يكون التيار  $I_1$



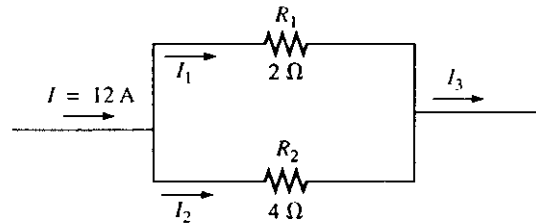
الشكل (٦- ١٣)

$$I_1 = (R_T / R_1) I = (4 / 6) (42) = 28 \text{ mA}$$

مثال (٦- ١٠) :

أوجد قيمة التيارات  $I_1$  و  $I_2$  و  $I_3$  للدائرة المبينة فى الشكل (٦- ١٤) .

الحل:



الشكل (٦- ١٤)

باستخدام قاعدة توزيع التيار يكون التيار  $I_1$

$$I_1 = [R_2 / (R_1 + R_2)] I = [ (4) / (2 + 4) ] (12) = 8 \text{ A}$$

وبالمثل يمكن الحصول على التيار  $I_2$  طبقاً لنفس القاعدة ، أى أن

$$I_2 = [R_1 / (R_1 + R_2)] I = [ (2) / (2 + 4) ] (12) = 4 \text{ A}$$

ويمكن كذلك الحصول على التيار  $I_2$  بتطبيق قانون كيرشوف للتيار ، أى أن

$$I_2 = I - I_1 = 12 - 8 = 4 \text{ A}$$

وبتطبيق قانون كيرشوف للتيار أيضاً يمكن حساب التيار  $I_3$  ، أى أن

$$I_3 = I_1 + I_2 = 8 + 4 = 12 \text{ A}$$

مع ملاحظة أنه يمكن حساب التيار  $I_3$  مباشرة وذلك باعتبار أن التيار الكلى الداخلى للمقاومتين  $R_1$

و  $R_2$  يجب أن يكون مساوياً للتيار الخارج منهما وذلك طبقاً لقانون كيرشوف للتيار ، أى أن

$$I_3 = I = 12 \text{ A}$$

مثال (٦ - ١١) :

أوجد قيمة المقاومة  $R_1$  للدائرة المبينة فى الشكل (٦ - ١٥) .

الحل:

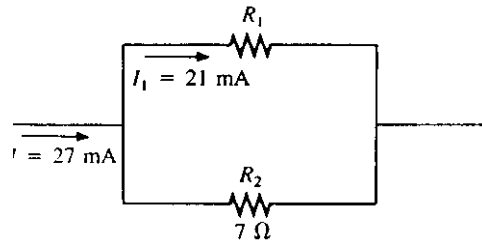
بتطبيق قاعدة توزيع التيار للدائرة المبينة فى الشكل (٦ - ١٥) للتيار  $I_1$  ، أى أن

$$I_1 = [R_2 / (R_1 + R_2)] I$$

أى أن

$$(R_1 + R_2) I_1 = R_2 I$$

$$R_1 I_1 + R_2 I_1 = R_2 I$$



الشكل (٦ - ١٥)

$$R_1 I_1 = R_2 I - R_2 I_1 = R_2 (I - I_1)$$

$$R_1 = [R_2 (I - I_1)] / I_1$$

وبالتعويض عن قيم  $I$  و  $I_1$  و  $R_2$  فى العلاقة السابقة نحصل على المقاومة  $R_1$  ، أى

$$R_1 = [R_2 (I - I_1)] / I_1 = [(7) (27 - 21)] / (21) = (7) (6) / (21) = 2 \Omega$$

حل آخر:

بتطبيق قانون كيرشوف للتيار يمكن الحصول على التيار  $I_2$  ، أى أن

$$I_2 = I - I_1 = 27 - 21 = 6 \text{ mA}$$

وبالتالى يمكن حساب فرقى الجهد  $V_1$  و  $V_2$  وكذلك المقاومة  $R_1$  كما يلى :

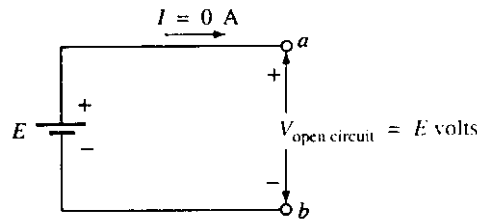
$$V_2 = I_2 R_2 = (6) (7) = 42 \text{ mV}$$

$$V_1 = I_1 R_1 = V_2 = 42 \text{ mV}$$

$$R_1 = V_1 / I_1 = (42 \text{ mV}) / (21 \text{ mA}) = 2 \Omega$$

## الدوائر المفتوحة ودوائر القصر: (Open and Short Circuits)

الدائرة الكهربائية المفتوحة يكون لها فرق جهد بين طرفيها المفتوحين ، بينما التيار يكون دائماً مساوياً للصفر بين هذين الطرفين المفتوحين . ويبين الشكل (٦ - ١٦) دائرة كهربائية مفتوحة عند الطرفين a و b بينما يكون فرق الجهد بين طرفي الدائرة:  $V_{ab} = E$  والتيار  $I = 0$ .



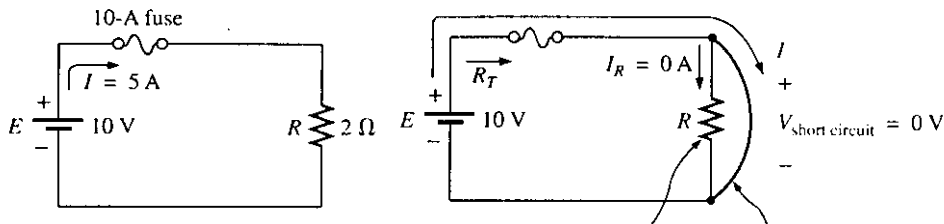
الشكل (٦ - ١٦)

أما بالنسبة لدائرة القصر فيكون فرق الجهد بين الطرفين المقصورين دائماً مساوياً للصفر بينما يمر بين هذين الطرفين تيار كهربى. والدائرة الموضحة فى الشكل (٦ - ١٧) تبين أن القصر حدث بين طرفي المقاومة R ، وبالتالي يكون فرق الجهد بين طرفي المقاومة بعد حدوث القصر هو

$$V = IR = (I)(0) = 0 \quad V$$

ويكون التيار بعد حدوث القصر الشكل (٦ - ١٧) بين طرفي المقاومة R هو

$$I = E / R = E / 0 \rightarrow \infty \quad A$$

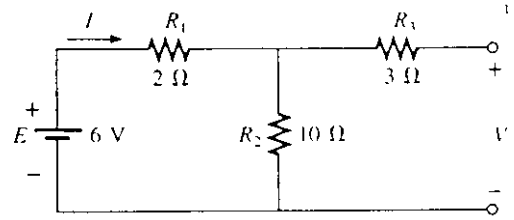


الشكل (٦ - ١٧)

مثال (٦ - ١٢) :

احسب قيمة التيار I وفرق الجهد V للدائرة المبينة فى الشكل (٦ - ١٨) ، ثم أعد حساب التيار I وفرق الجهد V بعد حدوث قصر بين طرفي المقاومة  $R_2$ .

الحل:



الشكل (٦- ١٨)

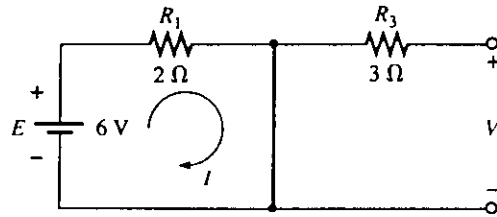
حيث إن الدائرة مفتوحة عند الطرفين فيكون التيار الكلي  $I$  هو التيار المار في المقاومتين  $R_1$  و  $R_2$  فقط حيث إن التيار المار في المقاومة  $R_3$  يكون مساوياً للصفر . أى أن

$$R_T = R_1 + R_2 = 2 + 10 = 12 \Omega$$

$$I = E / R_T = 6 / 12 = 0.5 \text{ A}$$

$$V = I R_2 = (0.5) (10) = 5 \text{ V}$$

أما بعد حدوث القصر بين طرفي المقاومة  $R_2$  فتكون المقاومة  $R_T = R_1$  كما هو موضح في الشكل (٦- ١٩) وبالتالي يكون التيار  $I$  هو



الشكل (٦- ١٩)

$$I = E / R_T = E / R_1 = 6 / 2 = 3 \text{ A}$$

أما فرق الجهد  $V$  فيكون مساوياً للصفر ، أى أن

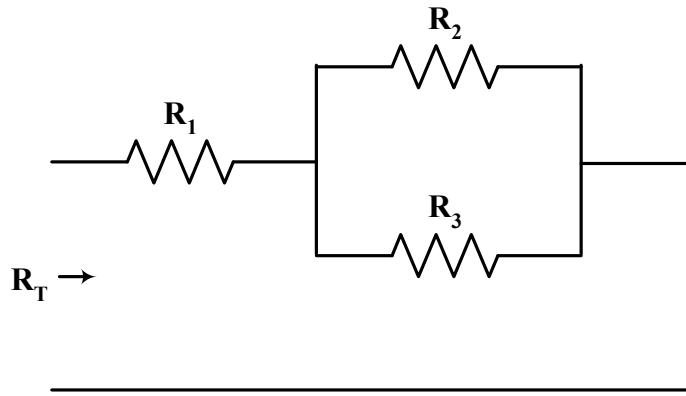
$$V = I R_2 = (3) (0) = 0 \text{ V}$$



## التوصيل المركب والتوصيل على الشكل نجمة أو دلتا

### التوصيل توالي - توازي :

هذا النوع من الدوائر يتكون من دوائر التوالي والتوازي معاً كما هو موضح في الشكل (٧ - ١) وبالتالي يمكن إيجاد المقاومة الكلية  $R_T$  لهذه الدائرة كما يلي:



الشكل (٧ - ١)

$$R_T = R_S + R_P$$

حيث المقاومة  $R_S$  هي مجموع المقاومات الموصلة على التوالي ، والمقاومة  $R_P$  هي المقاومة المكافئة للمقاومات الموصلة على التوازي. وبالتالي يكون حساب هذه المقاومات في الشكل (٧ - ١) كالتالي:

$$R_S = R_1 \quad , \quad R_P = (R_2 R_3) / (R_2 + R_3)$$

لذلك تكون المقاومة الكلية لهذه الدائرة هي :

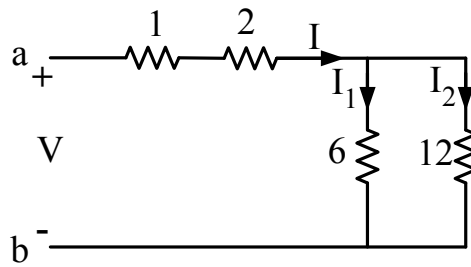
$$R_T = R_S + R_P = R_1 + (R_2 R_3) / (R_2 + R_3)$$

وسوف نقوم بحل أمثلة توضيحية لهذا النوع من الدوائر الكهربائية.

مثال (٧ - ١):

احسب فرق الجهد الذي يجب أن يوصل عبر الطرفين ab بحيث يكون فرق الجهد عبر المقاومة  $2\ \Omega$  هو  $10\ V$  كما موضح في الشكل (٨ - ٢).

الحل:



الشكل (٧ - ٢).

التيار الداخل إلى الدائرة الموضحة في الشكل (٧ - ٢) يكون

$$I = \frac{10}{2} = 5A$$

$$R_T = \frac{6 \times 12}{6 + 12} = 4\Omega$$

$$R_T = 1 + 2 + 4 = 7\Omega$$

$$V = IR_T = 7 \times 5 = 35\ V$$

مثال (٧ - ٢):

في مثال (٧ - ١) احسب فرق الجهد عبر المقاومة  $6\ \Omega$  ومن ثم احسب التيارين  $I_1$  و  $I_2$ .

الحل:

$$V_{6\Omega} = V - V_{2\Omega} - V_{1\Omega} = 35 - 10 - 5 = 20V$$

$$I_1 = \frac{20}{6} = 3.333\ A$$

$$I_2 = \frac{20}{12} = \frac{10}{6}\ A$$

مثال (٧- ٣) :

نريد تشغيل أربعة مصابيح 60W و 110V من منبع 230V حدد قيمة المقاومة المتصلة على التوالي مع الخط حتى لا يزيد الجهد الداخلي عبر المصابيح عن 110V .

الحل:

القدرة الإجمالية المسحوبة من المنبع في الدائرة المبينة في الشكل (٧- ٣) تكون

$$P = 4 \times 60 = 240 \text{ W}$$

ويكون تيار الدخل

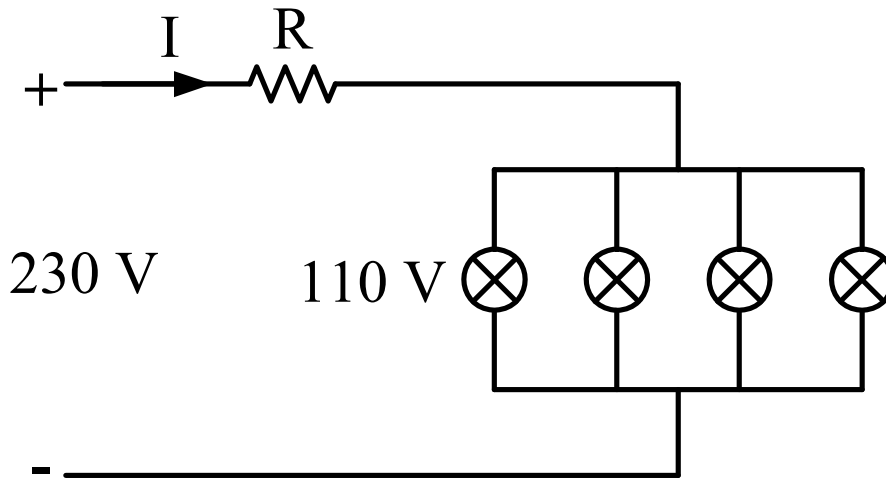
$$I = P / V = 240 / 110 = 2.1818 \text{ A}$$

وفرq الجهد عبر المقاومة R المتصلة على التوالي يكون

$$V_R = 230 - 110 = 120 \text{ V}$$

وبالتالي تصبح المقاومة R هي

$$R = V_R / I = 120 / 2.1818 = 55 \text{ } \Omega$$

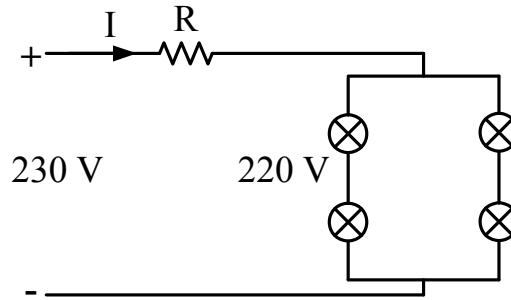


الشكل (٧- ٣)

مثال (٧- ٤) :

ثمة طريقة بديلة لتشغيل مصابيح المثال (٧- ٣) بتوصيلها كما في الشكل (٧- ٤) مع مقاومة على التوالي احسب قيمة المقاومة التي على التوالي وحدد أي الطريقتين أفضل مع تعليل ذلك .

الحل:



الشكل (٧ - ٤)

في هذه الحالة

$$I = \frac{P}{V_L} = \frac{240}{220} = 1.0909 \text{ A}$$

$$V_R = 230 - 220 = 10 \text{ V} = R I$$

وهكذا نحصل على R

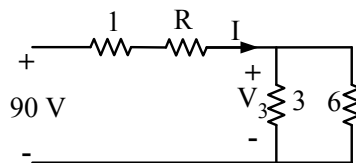
$$R = \frac{10}{1.0909} = 9.167 \Omega$$

القدرة المفقودة ( $I^2 R$ ) في طريقة المثال (٧ - ٣) هي ( $P_{loss} = 120^2 / 55 = 261.82 \text{ W}$ ) والقدرة المفقودة في الطريقة التي يعتمد عليها المثال الحالي هي ( $P_{loss} = 10^2 / 9.167 = 10.9 \text{ W}$ ). وهكذا تكون الطريقة الثانية أكثر فاعلية ولكن إن احترق مصباح فلن يعمل إلا مصباحان فقط.

مثال (٧ - ٥) :

احسب المقاومة R في الدائرة المبينة في الشكل (٧ - ٥) بحيث تكون القدرة المفقودة في المقاومة  $\Omega$  3 هي 300 W .

الحل:



الشكل (٧ - ٥)

$$P_{3\Omega} = \frac{V_3^2}{3} = 300W$$

أى أن

$$V_3 = 30V$$

$$I_{3\Omega} = \frac{V_3}{3} = \frac{30}{3} = 10A$$

أو

$$I_{6\Omega} = \frac{V_3}{6} = \frac{30}{6} = 5A$$

$$I = 10 + 5 = 15A = \frac{V}{1 + R + (6 \times 3) / (6 + 3)} = \frac{V}{3 + R}$$

وحيث إن

$$V = 45 + 15R = 90 \quad V$$

لذلك فإن

$$R = \frac{90 - 45}{15} = 3\Omega$$

مثال (٧ - ٦) :

احسب القدرة التي تمتصها كل مقاومة في المثال (٧ - ٥) و أثبت أن القدرة الإجمالية التي يتم الحصول عليها تكون مماثلة لتلك التي يزودها المنبع.

الحل:

القدرة الإجمالية الممتصة فى المقاومات هى

$$P_{\text{loss}} = (30^2 / 6) + (30^2 / 3) + 3 \times 15^2 + 1 \times 15^2 = 1350 \quad W$$

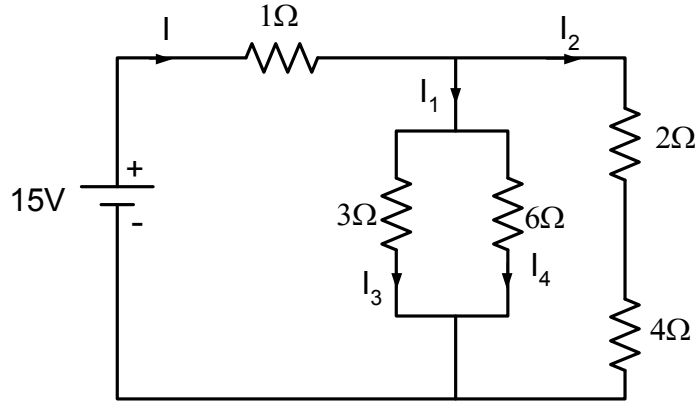
القدرة التي يزودها المنبع

$$P = 15 \times 90 = 1350 \quad W$$

وواضح أن القدرة التي يزودها المنبع تكون مماثلة للقدرة الممتصة فى المقاومات .

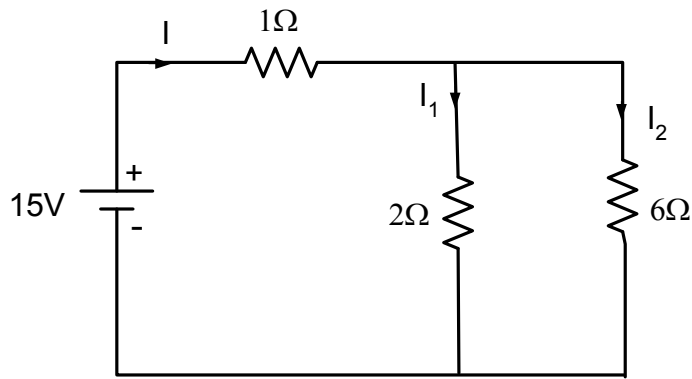
مثال (٧ - ٧) :

احسب التيار المسحوب من البطارية 15V في الدائرة المبينة في الشكل (٧ - ٦)



الشكل (٧ - ٦)

سنقوم أولاً باختزال الدائرة إلى مقاومة مكافئة واحدة وذلك كما هو موضح في الشكل (٧ - ٦ ب)، ومن الشكل (٧ - ٦ أ) نحصل على المقاومة الكلية  $R_T$  والتيار  $I$  كما يلي :



الشكل (٧ - ٦ ب)

$$R_T = 1 + \frac{(2)(6)}{2+6} = 1 + (3/2) = 5/2 \Omega$$

ويكون التيار  $I$  هو

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{15}{5/2} = 6A$$

مثال (٧-٨):

احسب القدرة المفقودة في المقاومة  $2 \Omega$  للدائرة الموضحة في الشكل (٧-٦) في مثال (٧-٧)

الحل:

من المثال (٧-٧) لدينا التيار ( $I = 6A$ ) وعند تطبيق قاعدة تقسيم التيار على هذه الدائرة المبينة في الشكل (٧-٦) نحصل على

$$I_2 = [2 / (2 + 6)] 6 = 1.5A$$

وبالتالي تكون القدرة المفقودة في المقاومة  $2 \Omega$  هي :

$$P_{2\Omega} = I_2^2 (2) = (1.5)^2 2 = 4.5W$$

مثال (٧-٩):

احسب قيمة القدرات التي تمتصها المقاومات الموضحة في الشكل (٧-٦) في مثال (٧-٧) ثم أثبت أن مجموع هذه القدرات يساوي القدرة المسحوبة من البطارية.

الحل:

من الشكل (٧-٦) في المثال (٧-٧) لدينا التيار

$$I_1 = 6 [ 6 / ( 2+6 ) ] = 4.5 \text{ A}$$

ومن الشكل (٧-٦) في المثال (٧-٧) نحصل على

$$I_3 = \frac{6}{3+6} (4.5) = 3A$$

$$I_4 = \frac{3}{3+6} (4.5) = 1.5A$$

ومن المثال (٧-٨) لدينا التيار ( $I_2 = 1.5 A$ ) وحيث إن القدرة المفقودة في المقاومة هي

$$P = I^2 R$$

ولذلك فإن

$$P_{3\Omega} = (3)^2 3 = 27W \quad P_{2\Omega} = (1.5)^2 2 = 4.5W \quad P_{1\Omega} = (6)^2 1 = 36W$$

$$P_{6\Omega} = (1.5)^2 6 = 13.5W \quad P_{4\Omega} = (1.5)^2 4 = 9W$$

وبالتالي تكون القدرة الكلية  $P_T$  هي :

$$P_T = 36 + 4.5 + 27 + 9 + 13.5 = 90 \text{ W}$$

تدقيق:

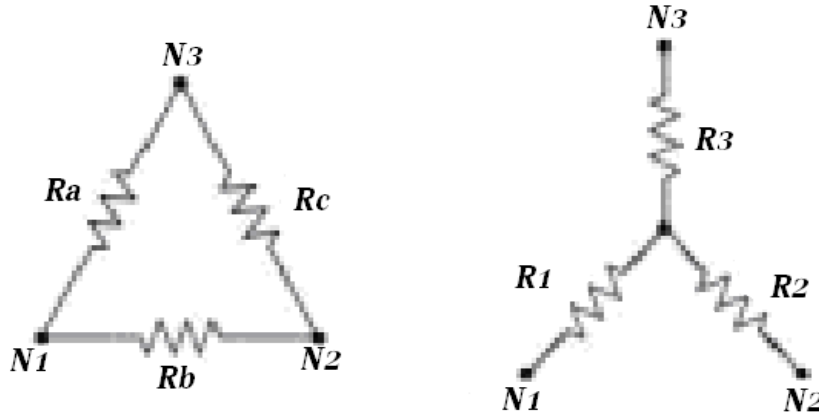
$$P_{\text{battery}} = V I = 15 \times 6 = 90 \text{ W} = P_T$$

حيث أن  $P_{\text{battery}}$  هي القدرة المسحوبة من البطارية.

**الربط النجمي وربط دلتا (  $\Delta - Y$  ) :**

يحدث كثيراً أن ترتبط ثلاث مقاومات ، لا على التوازي و لا على التوالي بل على الشكل نجمي  $Y$  و يشار إليه أيضاً بالربط  $T$  أو أن ترتبط على الشكل دلتا ويشار إليه أيضاً بالربط  $\pi$ . وإذا أريد تحليل دائرة تحتوي على ربط من أحد النوعين بدون استخدام التحليل العقدي أو الحلقي فقد يكون من المفضل إجراء تحويل في الربط من نوع إلى مكافئه من النوع الآخر كأن يتم تحويل ربط  $Y$  إلى ربط  $\Delta$  أو العكس. ويمكن إيجاد المكافئ لأي من الرباطين بدلالة الآخر عن طريق الموازنة بين قيم المقاومة بين أي طرفين من الأطراف الثلاثة و مرادفتها في الربط الآخر و تحت نفس الشروط.

وعند الموازنة بين الربط  $Y$  و  $\Delta$  في الشكل (٧ - ٧) فإن تكافؤ الربطين يتطلب أن تكون المقاومة بين أي طرفين من الربط  $\Delta$  مساوية للمقاومة بين نفس الطرفين للربط  $Y$  فالمقاومة الكلية بين  $N1$  و  $N3$  في الربط  $\Delta$  هي:



الشكل (٧ - ٧)

**تحويل ربط  $Y$  إلى ربط  $\Delta$**

$$R_a = \frac{R_2 R_3 + R_2 R_1 + R_3 R_1}{R_2} \quad (7-1)$$

$$R_b = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_3}$$



$$R_c = \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{R_1}$$

تحويل ربط  $\Delta$  إلى ربط Y

$$R_1 = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b + R_c}$$

$$R_2 = \frac{R_b R_c}{R_a + R_b + R_c}$$

$$R_3 = \frac{R_a R_c}{R_a + R_b + R_c}$$

(7-2)

مثال (٧- ١٠):

لتكن المقاومات  $R_1, R_2, R_3$  الموضحة في الشكل (٧- ٧) قيمتها  $1 \Omega, 12 \Omega, 34 \Omega$  على التوالي (الحالة الأولى الجدول (٧- ١)). تم تحويل ربط Y إلى ربط  $\Delta$ . احسب قيمة المقاومات  $R_a, R_b, R_c$  للحالات الست.

الحل:

بتطبيق القوانين (7-1) نحصل على قيم المقاومات للحالات الست الجدول (٧- ١).

	$R_3 [\Omega]$	$R_1 [\Omega]$	$R_2 [\Omega]$	$R_b [\Omega]?$	$R_c [\Omega]?$	$R_a [\Omega]?$
1	1	12	34	13.353	37.833	454
2	18.5	45.36	16.78	113.87	42.124	103.283
3	1264	2345	657	8121	2275	4221
4	0.354	1.216	18.402	1.593	24.113	82.829
5	87.5	132	220	272	453.333	683.886
6	13546	12868	66453	29078	147864	140463

الجدول (٧- ١)

### مثال (٧- ١١)

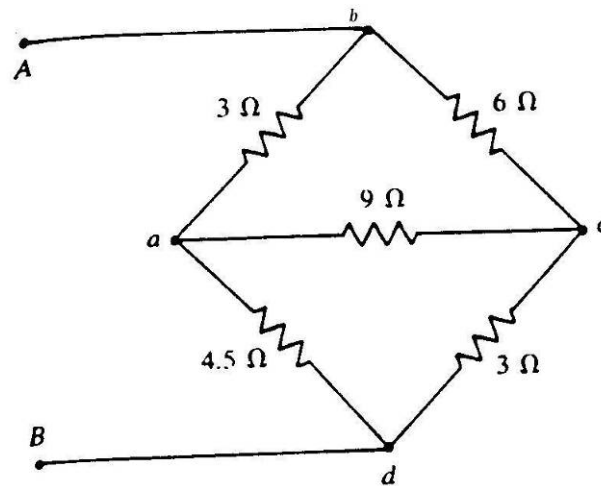
لتكن المقاومات  $R_A$ ،  $R_C$  و  $R_B$  الموضحة في الشكل (٧- ٧) قيمتها  $16 \Omega$ ،  $27 \Omega$ ،  $76 \Omega$  على التوالي (الحالة الأولى الجدول (٧- ١)). تم تحويل ربط  $\Delta$  إلى ربط  $Y$ . احسب قيمة المقاومات  $R_1$ ،  $R_2$ ،  $R_3$  للحالات الست. بتطبيق القوانين (2-7) نحصل على قيم المقاومات للحالات الخمس الجدول (٧- ١).

الحل:

	$R_A [ \Omega ]$	$R_C [ \Omega ]$	$R_B [ \Omega ]$	$R_3 [ \Omega ]?$	$R_1 [ \Omega ]?$	$R_2 [ \Omega ]?$
1	16	27	76	3.63	10.218	17.244
2	158	545	227	92.591	38.566	133.027
3	1320	725	38	459.434	24.081	13.226
4	0.76	1.45	3.12	0.206754	0.444878	0.84878
5	12000	45625	27210	6454	3849	14634

### مثال (٧- ١٢):

في شبكة المقاومات المبينة بالشكل (٧- ١٧ أ). احسب قيمة المقاومة المكافئة عند الطرفين  $AB$ .



الشكل (٧- ١٧ أ).

الحل:

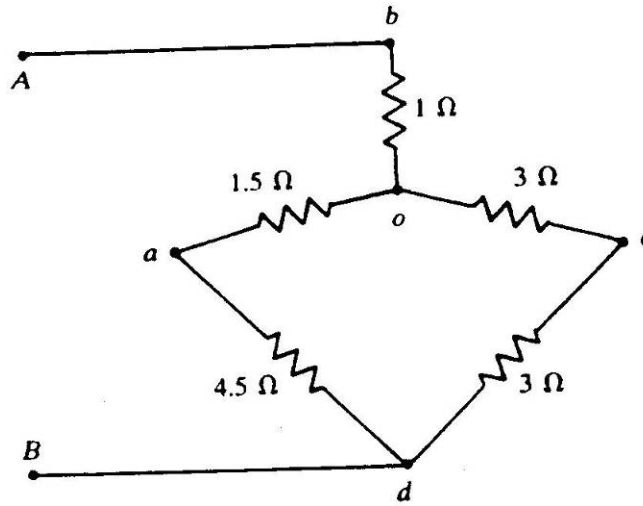
نحول شبكة الدلتا الشكل (٧ - ٧ ب) إلى شبكة نجمية باستخدام المعادلة (٧ - ٢):

$$R_{ao} = (9)(3) / (3+6+9) = 1.5\Omega$$

$$R_{bo} = (6)(3) / (3+6+9) = 1\Omega$$

$$R_{co} = (6)(9) / (3+6+9) = 3\Omega$$

و منها نحصل على الدائرة المكافئة الشكل (٧ - ٧ ب) التي تحتوي على مجموعات مقاومات موصلة توالي/ توازي ، و منها نجد أن:



الشكل (٧ - ٧ ب)

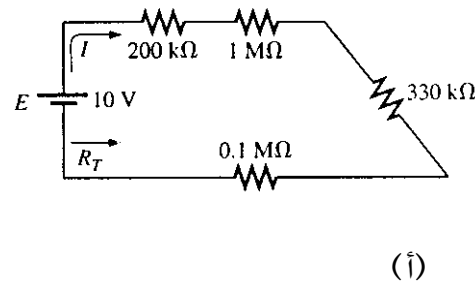
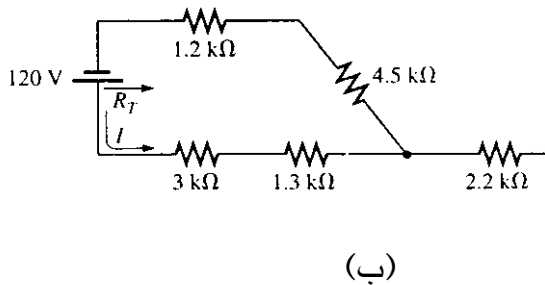
$$R_{ad} = (1.5 + 4.5) (3+3) / (1.5 + 4.5 + 3 + 3) = 3\Omega$$

و لذلك :

$$R_{ab} = R_{bo} + R_{od} = 1 + 3 = 4\Omega$$

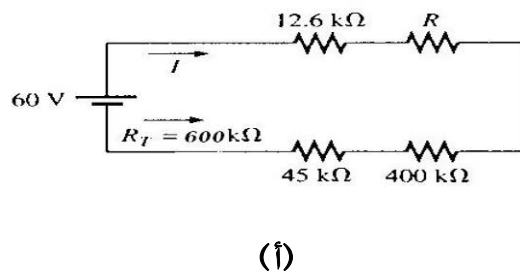
### تمارين على الوحدة الثالثة:

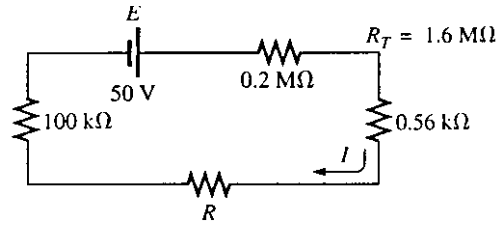
١. موصل نحاسي طوله  $4\text{ m}$  وقطر مقطعه الدائري المستعرض  $0.4\text{ mm}$  ، احسب مقاومته عند درجة حرارة  $20^\circ\text{C}$  إذا كانت المقاومة النوعية للنحاس عند  $20^\circ\text{C}$  تساوي  $1.72 \times 10^{-8}\ \Omega\cdot\text{m}$
٢. موصل مقاومته  $28\ \Omega$  تزداد مقاومته بمقدار  $12\%$  عندما تزداد درجة حرارته من  $18^\circ\text{C}$  إلى  $20^\circ\text{C}$  ، احسب متوسط ارتفاع درجة حرارة الموصل عند درجة حرارة محيطه تبلغ  $20^\circ\text{C}$  عندما تكون مقاومته  $35\ \Omega$  ويكون معامل درجة الحرارة ثابتاً.
٣. احسب التيار المار في المقاومة  $4\ \Omega$  إذا كان فرق الجهد بين طرفيها  $20\text{ V}$ .
٤. احسب كفاءة المحرك الكهربى إذا كانت القدرة الخارجة منه  $850\text{ W}$  وكان التيار المغذى للمحرك  $8\text{ A}$  عند  $120\text{ V}$  .
٥. احسب المقاومة الكلية والتيار الكلي من الدوائر الكهربائية التالية والموضحة في الشكل (١) .



الشكل (١)

٦. إذا علمت المقاومة الكلية للدوائر الموضحة في الشكل (٢) ، احسب المقاومات المجهولة وكذلك التيار  $I$  لكل من هذه الدوائر .



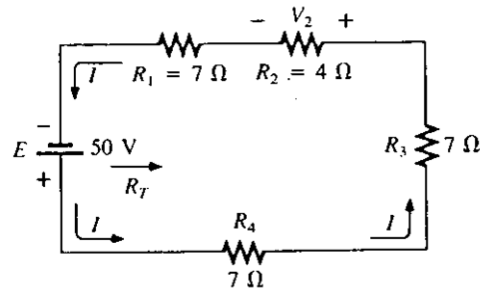


الشكل (٢)

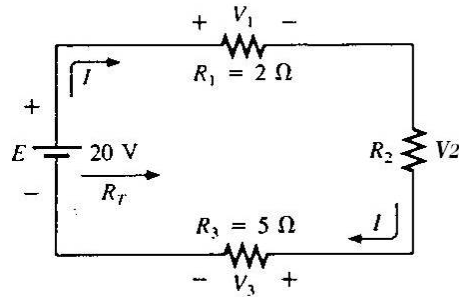
٧. للدوائر الكهربائية الموضحة في الشكل (٣) احسب :

(أ) المقاومة الكلية والتيار وفرق الجهد عبر كل مقاومة.

(ب) القدرة المفقودة في كل مقاومة وكذلك قدرة البطارية وأثبت أن القدرة المفقودة في المقاومات تساوي قدرة المنبع ( البطارية ) .



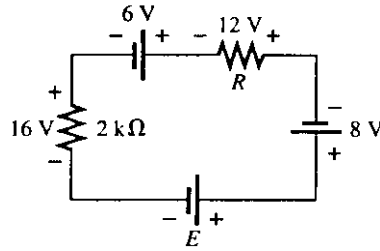
(أ)



(ب)

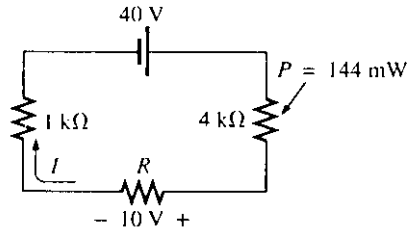
الشكل (٣)

٨. احسب المقاومة  $R$  وجهد البطارية  $E$  للدائرة الموضحة في الشكل (٤) .



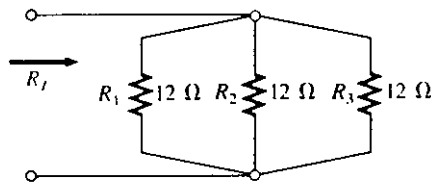
الشكل (٤)

٩. احسب للدائرة الموضحة في الشكل (٥) المقاومة  $R$  و فرق الجهد عبر كل مقاومة .

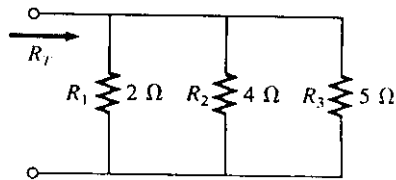


الشكل (٥)

١٠. احسب المقاومة الكلية للدوائر الموضحة في شكل (٦)



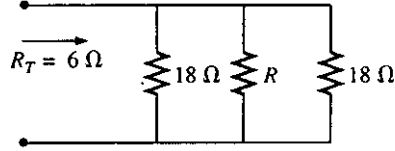
(أ)



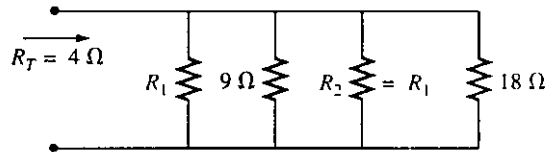
(ب)

الشكل (٦)

١١. احسب المقاومات المجهولة للدوائر الموضحة فى الشكل (٧) .



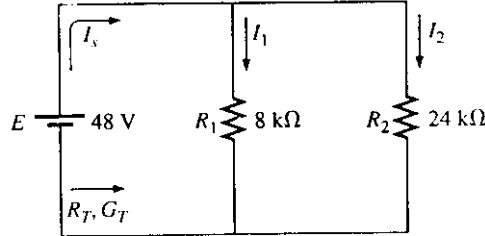
(أ)



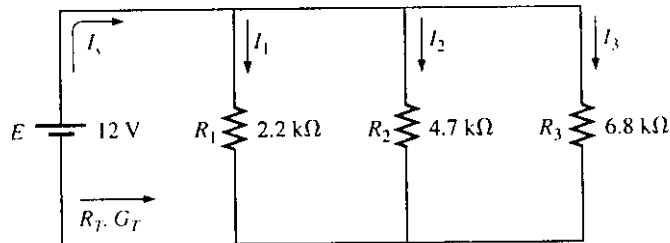
(ب)

الشكل (٧)

١٢. احسب المقاومة الكلية والتيار  $I_S$  وكذلك التيارات فى كل فرع بالإضافة إلى القدرة المفقودة فى كل مقاومة وذلك للدوائر الموضحة فى الشكل (٨) .



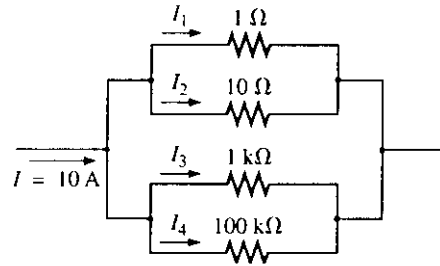
(أ)



(ب)

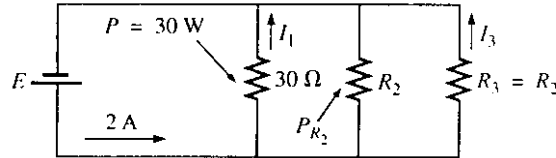
الشكل (٨)

١٣. احسب المقاومة الكلية للدائرة المبينة فى الشكل (٩) واحسب كذلك التيارات المارة فى كل مقاومة.



الشكل (٩)

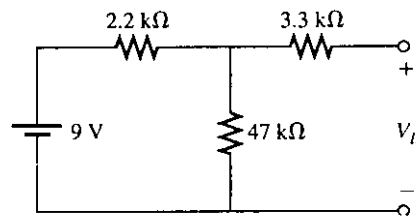
١٤. احسب الكميات المجهولة فى الدائرة الموضحة فى الشكل (١٠).



الشكل (١٠)

١٥. للدائرة الموضحة فى الشكل (١١) احسب :

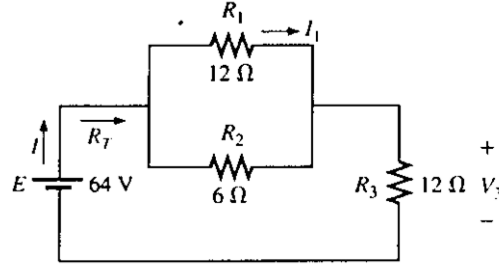
- أ- فرق الجهد  $V_L$  بين طرفى الدائرة المفتوحة .
- ب- إذا تم عمل قصر بين طرفى المقاومة  $2.2 \text{ K } \Omega$  احسب قيمة  $V_L$  .
- ج- إذا تم عمل قصر بين طرفى  $V_L$  احسب تيار القصر فى هذه الحالة .



الشكل (١١)

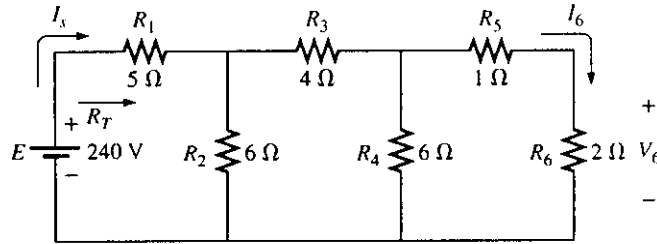


١٦. احسب الكميات المجهولة في الدائرة الموضحة في الشكل (١٢) .



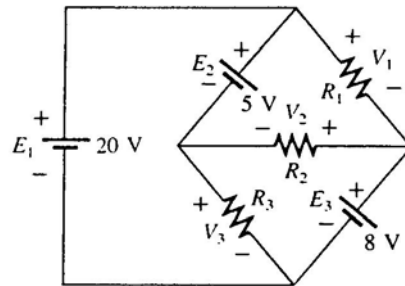
الشكل (١٢)

١٧. احسب الكميات المجهولة في الدائرة الموضحة في الشكل (١٣) .



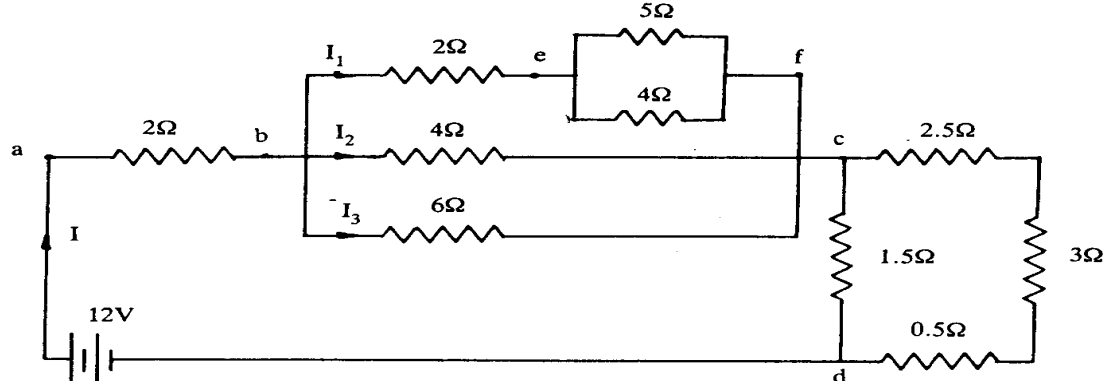
الشكل (١٣)

١٨. احسب الكميات المجهولة في الدائرة الموضحة في الشكل (١٤) .



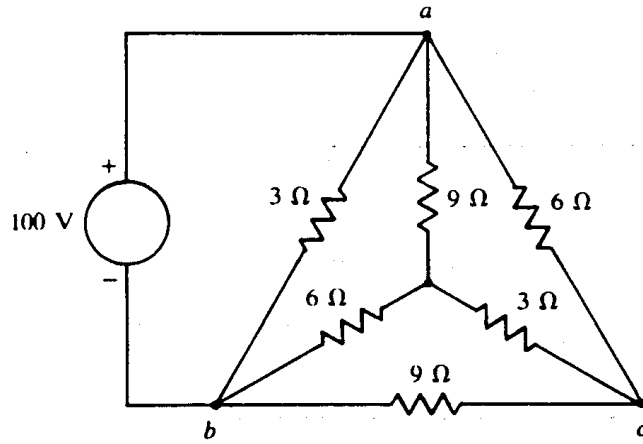
الشكل (١٤)

١٩- لتكن الدائرة الممثلة في الشكل (١٤) احسب التيار الكلي  $I$  وكذلك التيارات  $I_1, I_2, I_3$ .



الشكل (١٥)

٢٠- احسب القدرة المغذاة إلى الشبكة الشكل (١٦).



الشكل (١٦)