١- ٦- ١- ٦ القدرة في دوائر التوالي Power in a Series Circuit

القدرة المستهلكة في دوائر التوالي هي عبارة عن مجموع القدرات التي تستهلك في كل مقاومة وبالتالي تصبح:

$$P_T = P_1 + P_2 + ... + P_n$$

حيث P_T هي القدرة الكلية المستهلكة.

الصور المختلفة للقدرة

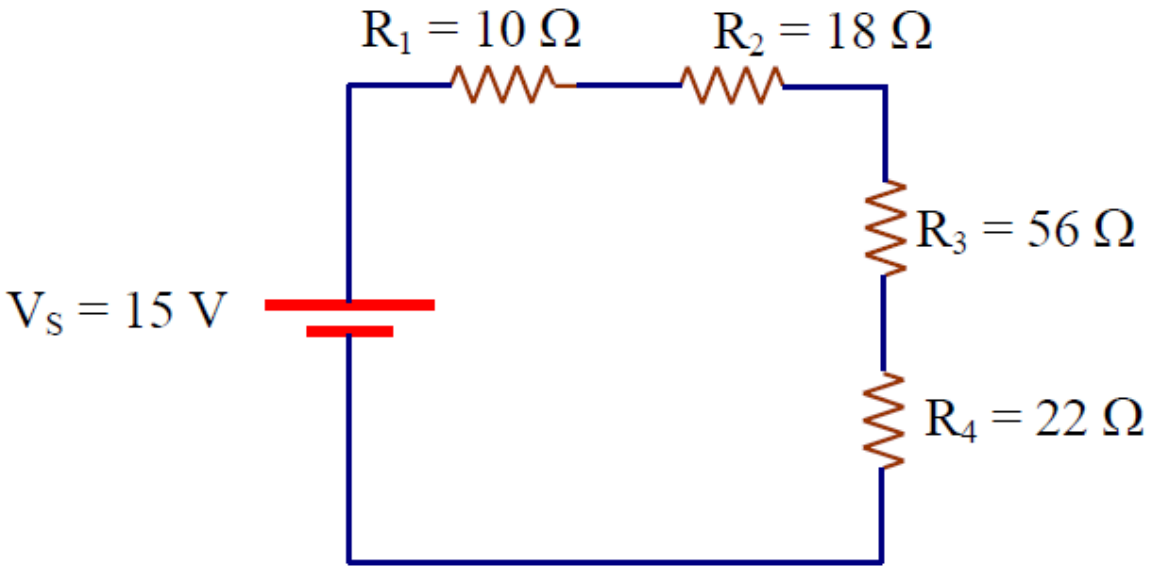
1) $P_T = V_S I$

2) $P_T = I^2 R_T$

3) $P_T = \dfrac{V_S^2}{R_T}$

مثال رقم (١- ٢٧)

أوجد القدرة الكلية في الدائرة التالية:



الحل

نوجد أولاً قيمة المقاومة الكلية.

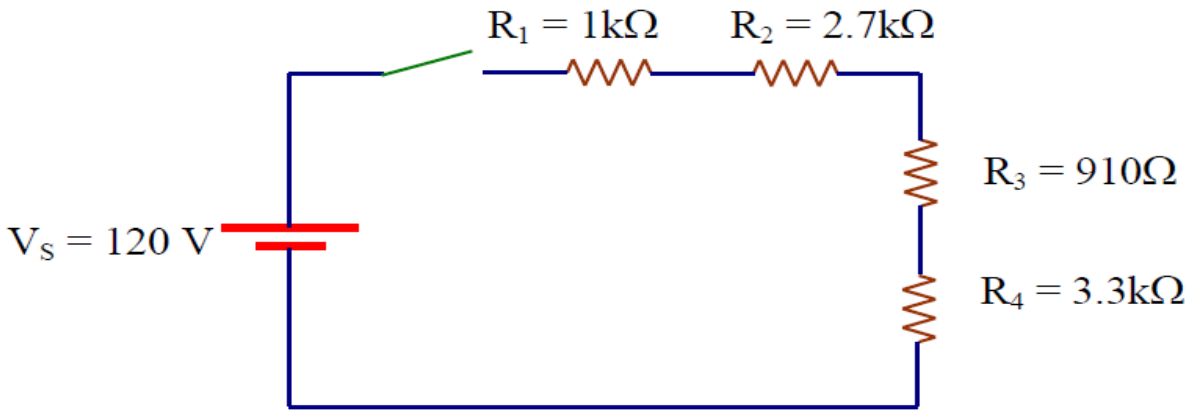
$$R_T = 10 + 18 + 56 + 22 = 106\ \Omega$$

$$\therefore P_T = \frac{V_S^2}{R_T} = \frac{(15)^2}{106} = 2.12\ W$$

$$\therefore P_T = 2.12\ W$$

مثال رقم (١- ٢٨)

إذا كانت القدرة المقننة لكل مقاومة من المقاومات المبينة بالشكل التالي هي 0.5 W ، حدّدْ هل هي كافية لتحمل القدرة الفعلية المعرضة لها ؟



الحل

أولاً نوجد المقاومة الكلية

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3 + R_4$$

$$R_T = 1 + 2.7 + 0.91 + 3.3 = 7.91\,k\Omega$$

$$R_T = 7.91\,k\Omega$$

ثم باستخدام قانون أوم لإيجاد التيار المار في الدائرة

$$I = \frac{V_S}{R_T} = \frac{120}{7.91} = 15.2\,mA$$

لحساب القدرة في كل مقاومة كما يلي:

$$P_1 = I^2 R_1 = (15.2\ \text{mA})^2 (1\ \text{k}\Omega) = 231\ \text{mW}$$

$$P_2 = I^2 R_2 = (15.2\ \text{mA})^2 (2.7\ \text{k}\Omega) = 624\ \text{mW} = 0.62\ \text{W}$$

$$P_3 = I^2 R_3 = (15.2\ \text{mA})^2 (910\ \Omega) = 210\ \text{mW} = 0.21\ \text{W}$$

$$P_4 = I^2 R_4 = (15.2\ \text{mA})^2 (3.3\ \text{k}\Omega) = 762\ \text{mW} = \frac{762}{1000} = 0.762\ \text{W}$$

نجد من النتائج السابقة أن كلاً من R_2 ، R_4 لا تتحمل القدرة الفعلية نتيجة مرور تيار قيمته 15.2 mA وبالتالي يؤدي ذلك إلى حرقها ، حيث إن القدرة الفعلية لها هي:

$$P_2 = 0.62\ \text{W} > \tfrac{1}{2}\ \text{W}$$

$$P_4 = 0.762\ \text{W} > \tfrac{1}{2}\ \text{W}$$

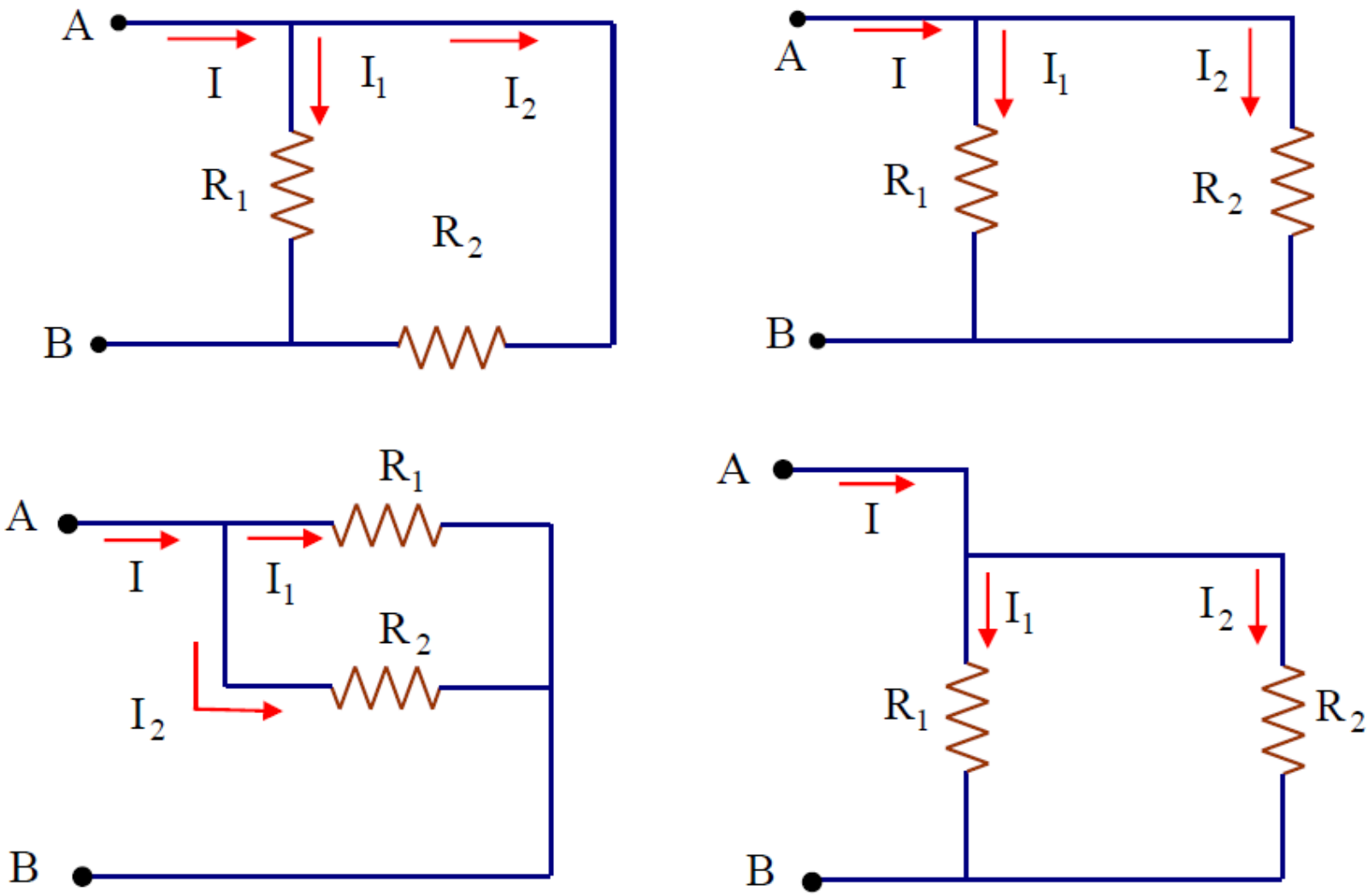
إذن في هذه الحالة يجب أن تستبدل بمقاومات تتحمل من القدرة على الأقل 1w حتى تسمح بمرور التيار

١- ٦- ٢ التوصيل على التوازي في الدوائر الكهربائية

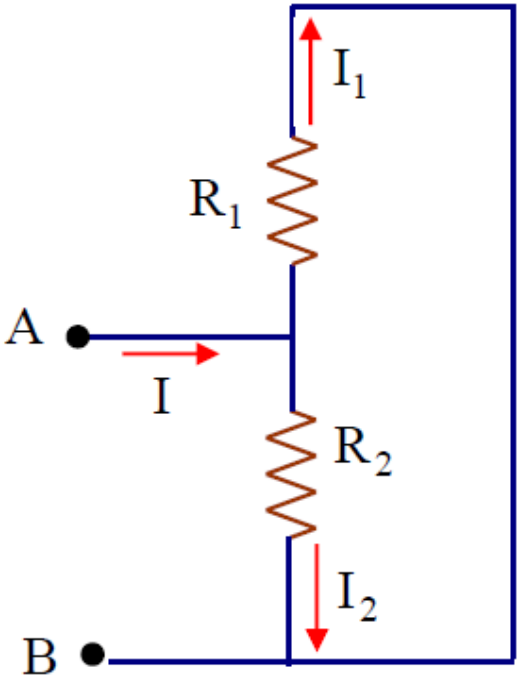
في الوحدة السابقة تم دراسة التوصيل على التوالي، بداية من التعريف، تطبيق كل من قانون أوم وقانون كيرشوف للجهد وحساب انخفاض الجهد Voltage Drop . وكذلك دراسة دوائر التوالي كمجزئ للجهد Voltage Divider.

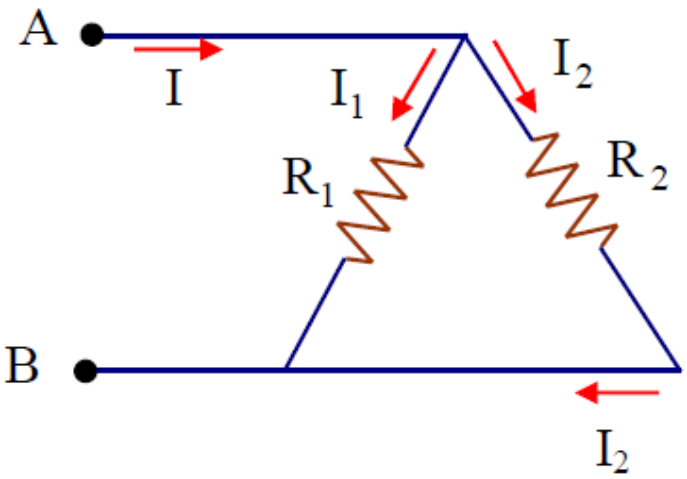
في هذا الفصل سوف ندرس التوصيل على التوازي في الدائرة الكهربائية، ويعرف توصيل التوازي بأنه أي عدد من المقاومات متصلة بين نفس النقطيين، نقطة البداية ،ونقطة النهاية ويكون لجميع المقاومات نفس الجهد بين طرفيها أي بين النقطيين. كما يتناول هذا الفصل تطبيق قوانين أوم وكيرشوف للتيار KCL ،حساب المقاومة الكلية لعدد من المقاومات المتصلة على التوازي ،وكذلك قاعدة توزيع التيار وهو ما يسمى Current Divider ويشتمل أيضاً على تطبيقات شاملة لكل النماذج المختلفة .
وتعريف دوائر التوازى Parallel Circuit

يعرف التوازي بأنة إذا كان هناك أكثر من فرع (مقاومة) بين نقطتين وكذلك أن الجهد بين النقطتين يكون مطبقاً على جميع الأفرع (المقاومات) في هذه الحالة تكون جميع الأفرع (المقاومات) متصلة على التوازي. أو بمعنى آخر تكون بدايات جميع المقاومات متصلة مع بعضها في نقطة واحدة، وجميع نهايات هذه المقاومات تتصل في نقطة أخرى. وتوضح الدوائر المبينة في شكل رقم (١- ٣٧) التوصيل على التوازي.



الشكل (١- ٣٧- أ) أمثلة لدوائر التوازي.





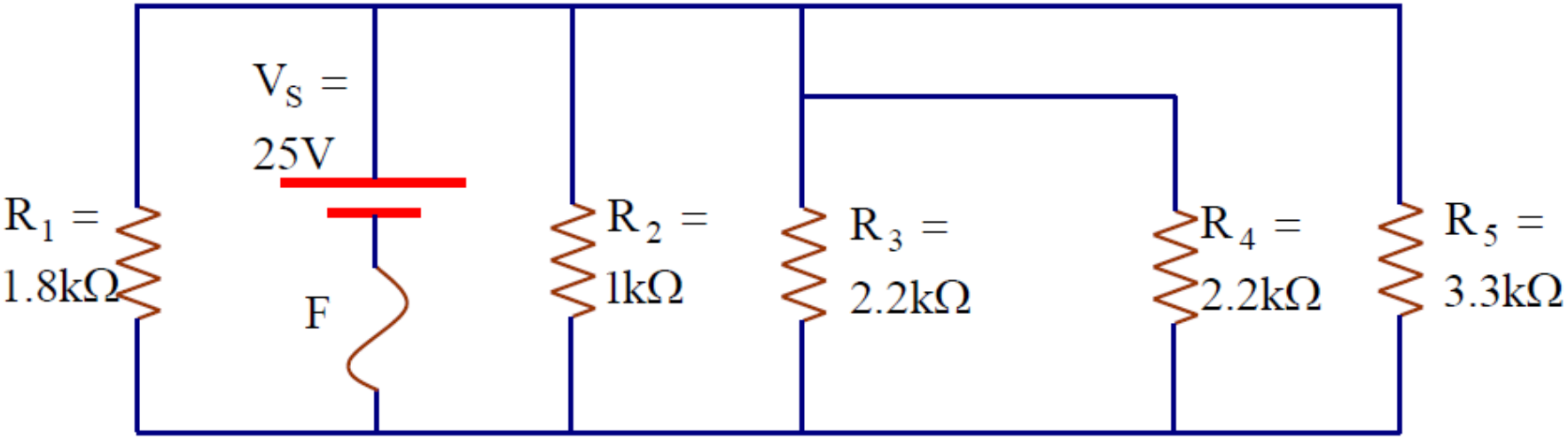
الشكل (١- ٣٧- ب) أمثلة إضافية لدوائر التوازي.

١- ٦- ٢- ١ حساب انخفاض الجهد في دوائر التوازي Voltage Drop in Parallel Circuit

لقياس انخفاض الجهد في دوائر التوازي نجد من التعريف أن جميع المقاومات المتصلة على التوازي تكون محصورة بين نقطتين وقياس الجهد بين النقطتين يعني قياس الجهد على أي مقاومة من المقاومات المتصلة على التوازي. ومن قياس الجهد نجد أن جميع المقاومات يكون لها نفس الجهد.

مثال رقم (١- ٣١)

أوجد قيمة انخفاض الجهد على كل مقاومة في شكل رقم (١- ٣٨)



الحل

من الشكل نجد أن جميع المقاومات الخمسة محصورة بين نقطتين وأن الجهد بين النقطتين يمثل الجهد على أي مقاومة من المقاومات الخمسة وبالتالي يكون:

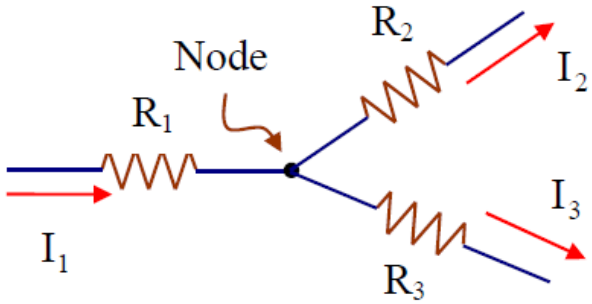
$$V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = V_5 = V_S = 25V$$

١- ٦- ٢- ٢ قانون كيرشوف للتيار Kirchhoff's Current Law (KCL)

ينص قانون كيرشوف للتيار على الآتي:

{عند أي عقدة (Node) في الدائرة الكهربائية ، فإن مجموع التيارات الكهربائية الداخلة إلى العقدة تساوي مجموع التيارات الكهربائية الخارجة منها}.

تعرف العقدة Node على أنها نقطة تجميع لأكثر من فرعين والشكل التالي يوضح ذلك.



الشكل رقم (١- ٣٩) تفريع التيار الرئيس إلى تيارات فرعية

بتطبيق قانون كيرشوف للتيار نجد أن:

$$I_1 = I_2 + I_3$$

ويمكن التعبير عن قانون كيرشوف للتيار KCL بالنص الآتي:

" المجموع الجبري للتيارات الكهربائية عند أي Node في الدائرة الكهربائية يساوي صفراً "

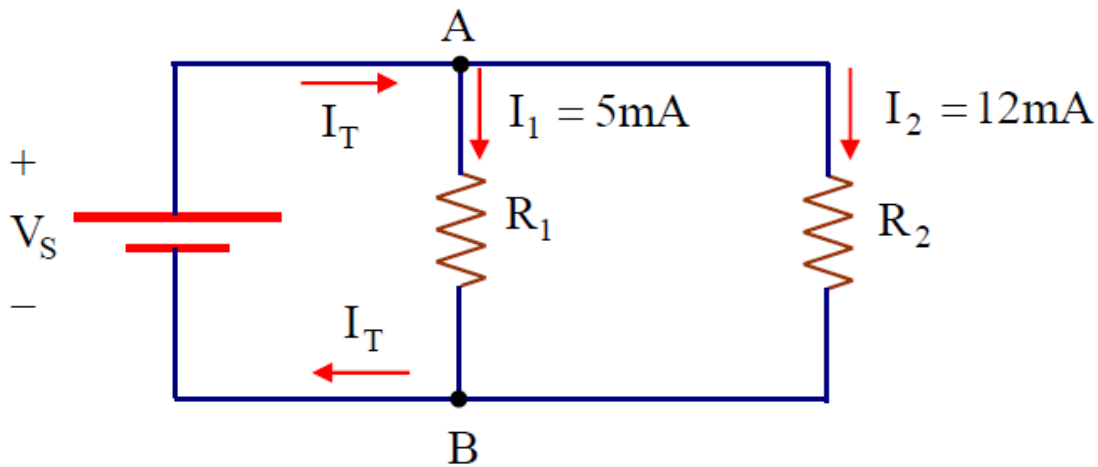
وإذا طبقنا هذه الصورة في الشكل السابق نجد أن:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0$$

قانون كيرشوف للتيار KCL يطبق دائماً في دوائر التوازي أي الدوائر التي تشتمل على مقاومات متصلة على التوازي، وكنتيجة لتوازي المقاومات فينشأ نقاط التفرع Nods وتوزيع التيار لذلك يمكن استخدام قانون كيرشوف KCL لإيجاد التيارات في الفروع المختلفة في دوائر التوازي.

مثال رقم (١- ٣٢)

إذا كانت قيمة التيار معلومة في كل فرع من فروع الدائرة المبينة بشكل رقم (١- ٣)، أوجد قيمة التيار الكلي الداخل عند النقطة A.



الحل

التيار الخارج من النقطة A عبارة عن مجموع التيارات 5mA المار في المقاومة R_1 وكذلك التيار 12mA المار في المقاومة R_2 لذلك يصبح التيار الداخل للنقطة A كما يلي:

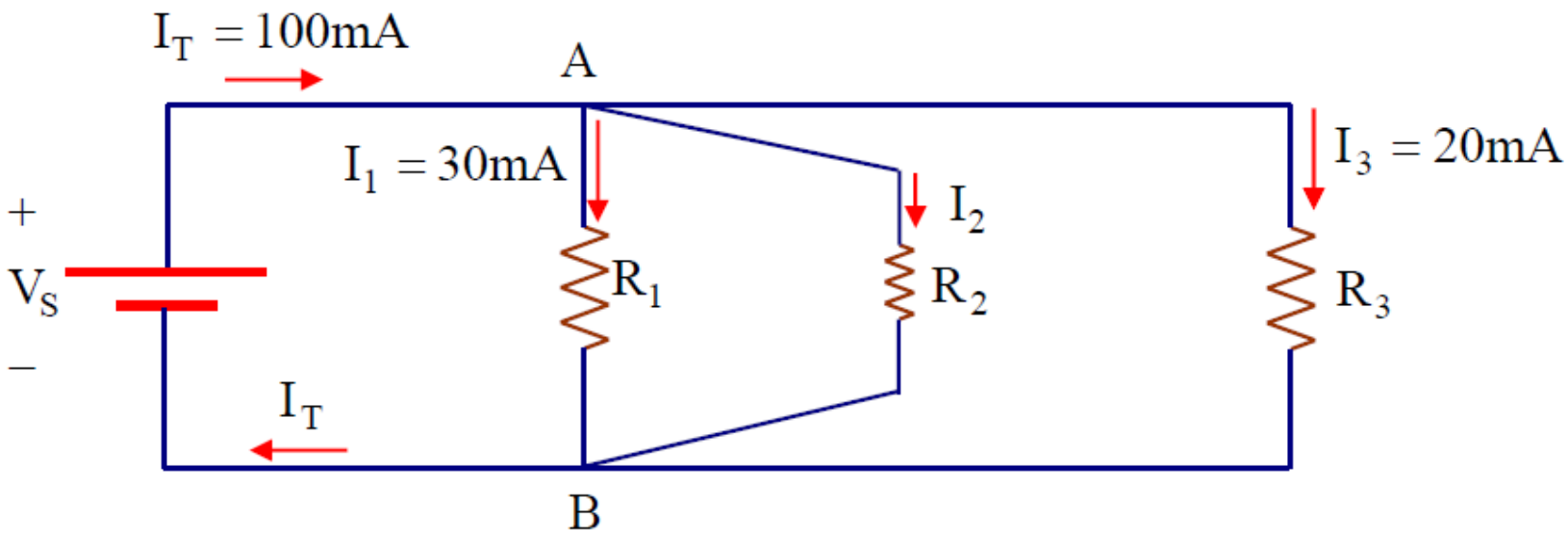
$$I_T = I_1 + I_2$$

$$= 5mA + 12mA = 17mA$$

$$\therefore I_T = 17mA$$

مثال رقم (١- ٣٣)

أوجد قيمة التيار المار في المقاومة R_2 في الشكل رقم (١- ٤).



الحل

التيار الكلي الداخل عند النقطة A هو I_T

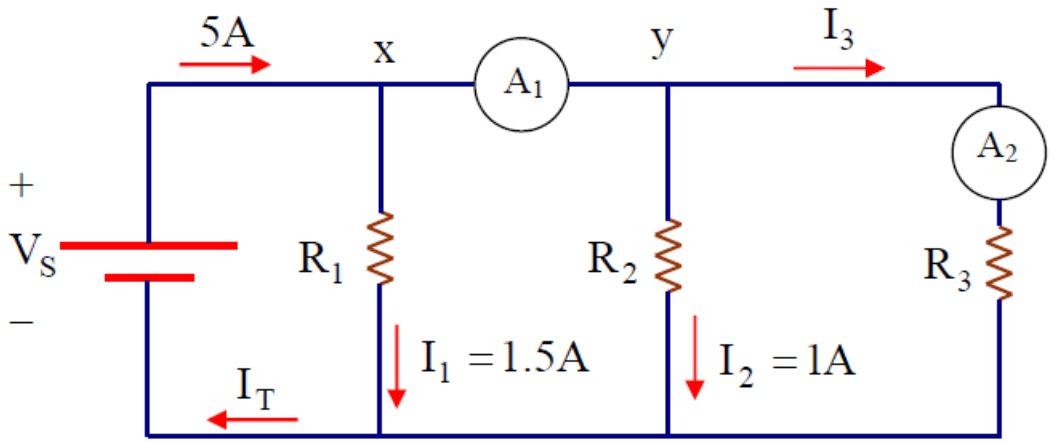
$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

$$\therefore\ 100mA = 30mA + I_2 + 20mA$$

$$\therefore\ I_2 = 100mA - 50mA = 50mA$$

مثال رقم (١- ٣٤)

استخدم قانون كيرشوف للتيار لإيجاد التيار في كل من الأميترات A_1, A_2 الموضح بالرسم التالي:



الحل

التيار الكلي الداخل عند النقطة x يساوي 5A وبتطبيق قانون كيرشوف نجد أن:

$$5A = 1.5A + I_{A1}$$

حيث إن: I_{A1} تعني قيمة التيار الذي يقيسه الأمتير A_1.

$$\therefore I_{A1} = 5 - 1.5 = 3.5A$$

من الرسم نجد أنه عند العقدة y فإن التيار الداخل فيها هو 3.5A.

$$\therefore 3.5A = 1A + I_{A2}$$

$$\therefore I_{A2} = 3.5 - 1 = 2.5A$$

∴ قراءة الأمتيرات كالتالي:

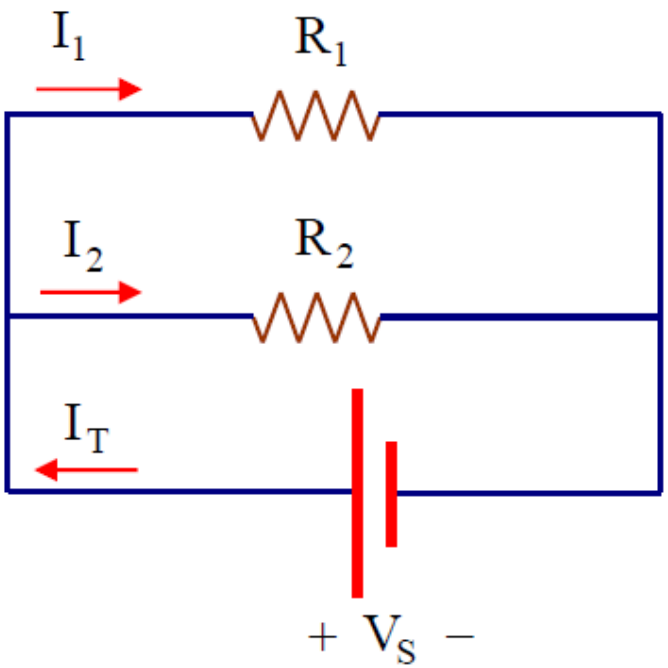
$$I_{A1} = 3.5A$$

$$I_{A2} = 2.5A$$

١- ٦- ٢- ٣ المقاومة الكلية لعدد من المقاومات متصلة على التوازي Total Parallel Resistors

أولاً: المقاومة الكلية R_T لمقاومتين موصلتين على التوازي

عندما يكون هناك مقاومتان متصلتان على التوازي فإن المقاومة الكلية المكافئة لها تكون أقل من أصغرهما وهذا يعني أن المقاومة المكافئة تقل دائماً كلما يتزايد عدد المقاومات المتصلة على التوازي.



الشكل رقم (١- ٤٣) دائرة توازٍ لمقاومتين R_1, R_2

في الدائرة السابقة نجد أن المقاومتين R_1, R_2 متصلتان على التوازي، ولإيجاد المقاومة المكافئة (المقاومة الكلية) R_T نتبع التالي:

بتطبيق قانون كيرشوف للتيار، نحصل على الآتي:

$$I_T = I_1 + I_2$$

ثم بتطبيق قانون أوم للتعويض عن التيارات بدلالة الجهد والمقاومة ينتج أن:

$$\frac{V_S}{R_T} = \frac{V_S}{R_1} + \frac{V_S}{R_2}$$

حيث إن الجهد ثابت على المقاومتين وهو نفس قيمة جهد المصدر V_S.

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

تسمى المعادلة العامة لإيجاد المقاومة المكافئة أو المقاومة الكلية لمقاومتين

ويمكن استخدامها لأكثر من مقاومتين، أي عدد من المقاومات تكون متصلة على التوازي نجد من المعادلة السابقة أن:

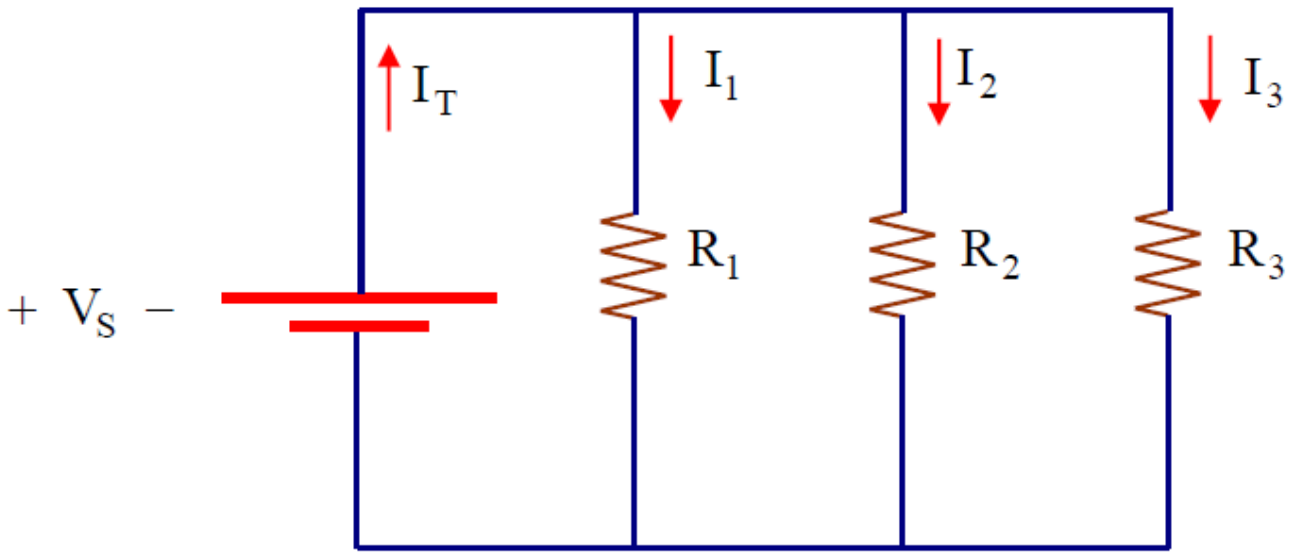
$$\frac{1}{R_T} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 * R_2}$$

أي أن:

$$R_T = \frac{R_1 * R_2}{R_1 + R_2}$$

فينتج أن R_T لمقاومتين على التوازي تساوي حاصل ضرب هذه المقاومتين ومقسومة على مجموعهما.

ثانيا: أيجاد R_T لثلاث مقاومات متصلة على التوازي



شكل رقم (١- ٤٤) دائرة توازي لثلاث مقاومات R_1, R_2, R_3

بتطبيق قانون كيرشوف للتيار نجد أن:

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

ثم بتطبيق قانون أوم للتعويض عن التيار:

$$\frac{V_S}{R_T} = \frac{V_S}{R_1} + \frac{V_S}{R_2} + \frac{V_S}{R_3}$$

ثم باختصار V_S من الطرفين:

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

وبالتالي ينتج أن:

$$R_T = \frac{R_1 * R_2 * R_3}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}$$

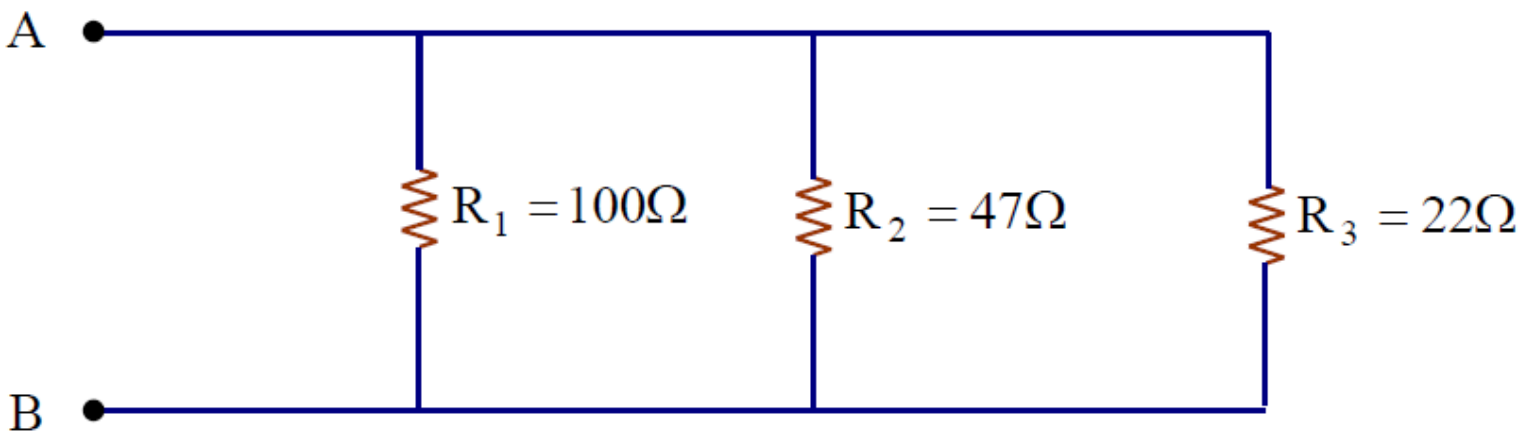
أي أن المقاومة الكلية R_T لثلاث مقاومات على التوازي تساوي حاصل ضرب المقاومات الثلاثة مقسوماً على مجموع حاصل ضرب المقاومات مثنى مثنى.

بالتالي يمكن أن نضع الصورة العامة للمقاومة الكلية R_T لأي عدد من المقاومات المتصلة على التوازي كالآتي:

$$R_T = \frac{1}{(\frac{1}{R_1}) + (\frac{1}{R_2}) + (\frac{1}{R_3}) + \ldots + (\frac{1}{R_n})}$$

مثال رقم (١- ٣٥)

احسب المقاومة الكلية R_T بين النقطتين A,B في الشكل التالي:



الحل

$$R_T = \frac{R_1 * R_2 * R_3}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}$$

ثم بالتعويض عن كل مقاومة ينتج أن

$$R_T = \frac{100 * 47 * 22}{100 * 47 + 100 * 22 + 47 * 22} = 13\Omega$$

١- ٦- ٢- ٣- ١ حالة تساوي المقاومات المتصلة على التوازي

عندما تكون المقاومات المتصلة على التوازي متساوية في القيمة، فالقيمة الكلية في هذه الحالة تأخذ صورة مختصرة وتصبح كما يلي:

$$\because R_1 = R_2 = R_3 = \ldots = R_n = R$$

$$\therefore R_T = \frac{1}{n} R$$

$$\text{or } R_T = \frac{R}{n}$$

حيث إن: R تمثل قيمة مقاومة واحدة من قيم المقاومات المتصلة على التوازي.

وبالتالي يتضح أن توصيل التوازي يؤدي إلى تصغير قيمة المقاومة، وهي ميزة كبيرة في حالة عدم وجود مقاومة قياسية صغيرة بالقيمة المطلوبة فيمكن بالتالي تكوينها عن طريق توصيل التوالي.

مثال رقم (١- ٣٦)

أربع مقاومات متساوية كل منها تساوي 8Ω متصلة على التوازي فأوجد المقاومة الكلية R_T.

الحل

نجد أن المقاومة هنا أصبحت ربع قيمة أ ي مقاومة من المقاومات كما يلي:

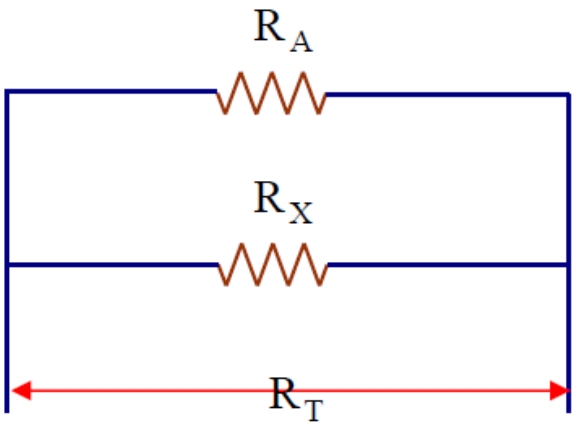
$$R_T = \frac{R}{n} = \frac{8}{4} = 2\Omega$$

١- ٦- ٢- ٣- ٢ إيجاد مقاومة مجهولة في دوائر التوازي

قد يصادف أحيانا وجود مقاومة غير معلومة القيمة في دائرة كهربائية، وبالتالي يكون من الضروري إيجاد قيمة هذه المقاومة المجهولة بدلالة المقاومة الكلية للدائرة والمقاومات الأخرى المكونة للدائرة. فإذا كانت الدائرة الكهربائية تحتوي على مقاومتين موصلتين على التوازي، وكانت إحدى قيم المقاومتين والمقاومة الكلية للدائرة R_T معلومة فإنه يمكن إيجاد قيمة المقاومة الأخرى المجهولة

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

فإذا فرضنا أن إحدى المقاومتين معلومة وقيمتها R_A والأخرى غير معلومة ولتكن R_X كما في الشكل التالي:



الشكل رقم (١- ٤٦) مقاومة مجهولة متوازية مع مقاومة معلومة.

في هذه الحالة يمكن استخدام العلاقة السابقة وعن طريقها يمكن إيجاد القيمة المجهولة R_X كما يلي:

$$R_T = \frac{R_A R_X}{R_A + R_X}$$

$$R_T (R_A + R_X) = R_A R_X$$

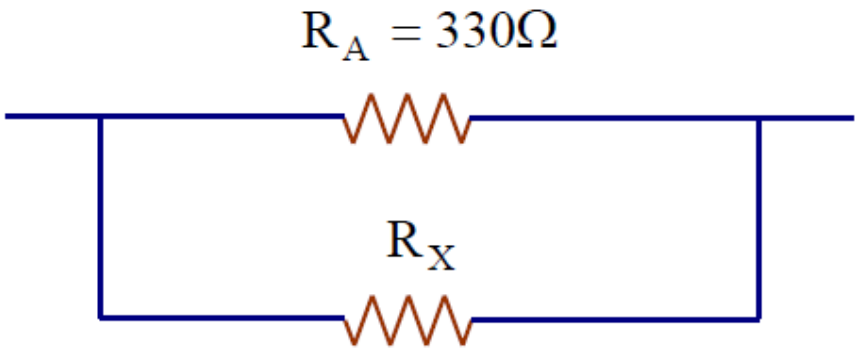
$$R_T R_A + R_T R_X = R_A R_X$$

$$R_T R_A = (R_A - R_T) R_X$$

$$\therefore R_X = \frac{R_T R_A}{R_A - R_T}$$

مثال (١- ٣٧)

إذا أردت الحصول على مقاومة تساوي 150Ω وذلك باستخدام مقاومتين متصلتين على التوازي إحداهما تساوي 330Ω. ما هي القيمة الأخرى التي تحتاجها؟



الحل

يمكن حساب قيمة المقاومة الأخرى المتصلة على التوازي مع المقاومة 330Ω عن طريق التطبيق في الصورة العامة للمقاومة الكلية لمقاومتين على التوازي أي:

$$R_T = \frac{R_A R_X}{R_A + R_X}$$

$$150 = \frac{330R_X}{330 + R_X}$$

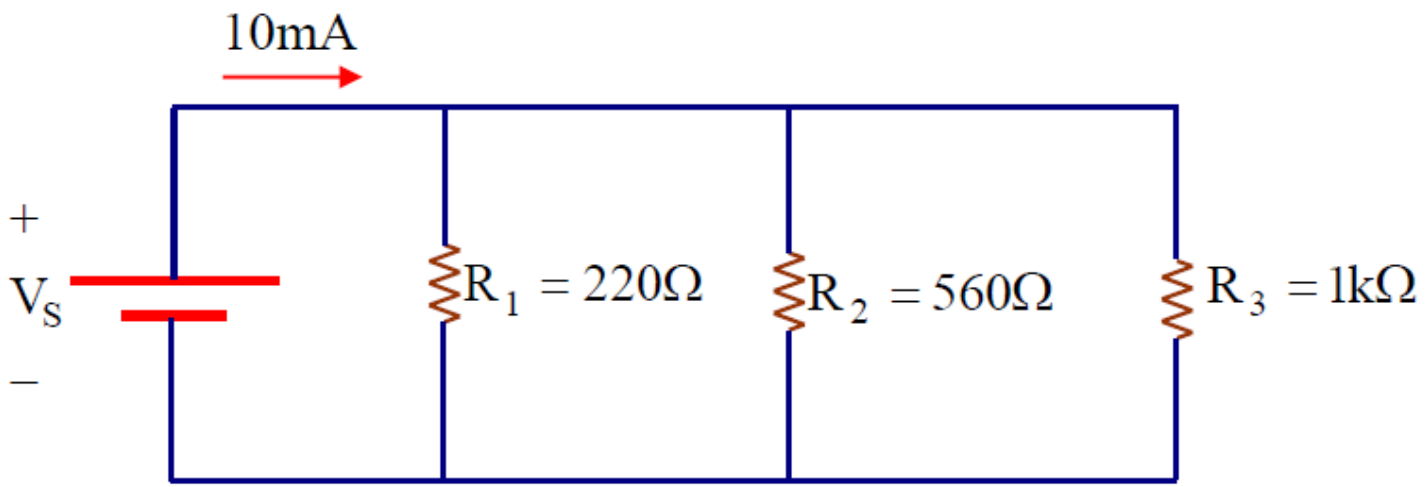
$$150(330 + R_X) = 330R_X$$

$$150 * 330 = 330R_X - 150R_X$$

$$\therefore R_X = \frac{150 * 330}{180} = 275\Omega$$

مثال (١- ٣٨)

أوجد قيمة الجهد المطبق على مجموعة التوازي في الشكل رقم (١- ٣٨).



الحل

لإيجاد الجهد المطبق على مقاومات التوازي، نوجد أولاً المقاومة الكلية R_T للمقاومات ثم نطبق قانون أوم كما يلي:

$$R_T = \frac{R_1 * R_2 * R_3}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}$$

$$R_T = \frac{220 * 560 * 1000}{220 * 560 + 220 * 1000 + 560 * 1000} = 136\Omega$$

$$\therefore\ V = I_T * R_T = 10mA * 136\Omega = 1.36V$$

مثال رقم (١- ٣٩)

في المثال السابق إذا كانت $R_3 = 680\Omega$ ، فأوجد قيمة الجهد حيث إن $I_T = 10mA$.

الحل

في البداية توجد قيمة المقاومة الكلية R_T كما يلي:

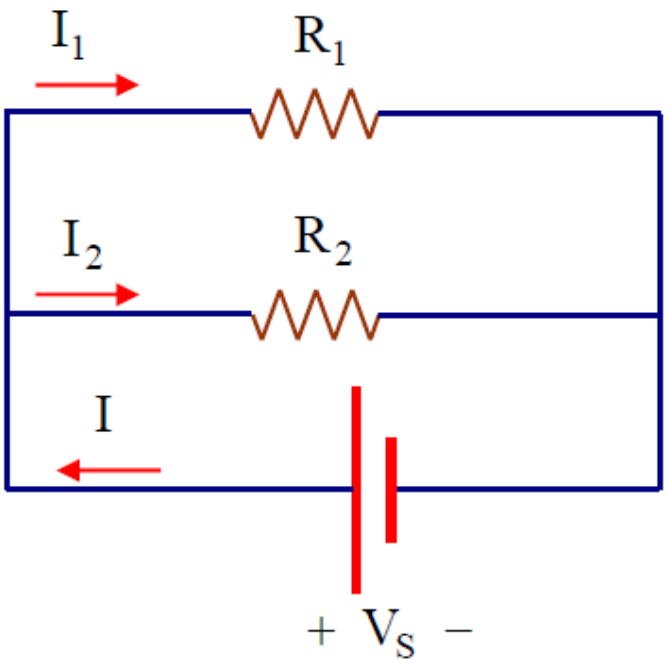
$$R_T = \frac{R_1 * R_2 * R_3}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}$$

$$R_T = \frac{220 * 560 * 680}{220 * 560 + 220 * 680 + 560 * 680} = 128\Omega$$

$$\therefore\ V = I_T * R_T = 10mA * 128\Omega = 1.28V$$

١- ٦- ٢- ٣- ٣ تجزيء (تقسيم) التيار في دوائر التوازي

في الجزء السابق أوجدنا المقاومة الكلية R_T لأي عدد من المقاومات المتصلة على التوازي، ونريد أن نشير هنا إلى أنه في دوائر التوازي يتجزأ التيار إلى عدد من المقاومات أو الأفرع Branches. في هذا الجزء سوف نستنتج قانون تقسيم التيار Current Divider Law والذي يوضح الطريقة التي يتوزع فيها التيار الكلي إلى تيارات فرعية، فإذا كانت قيمة التيار الكلي الخارج من مصدر التغذية معلومة، وأردنا معرفة التيارات الفرعية في الدائرة المبينة بشكل رقم (١- ١٢)، نتبع الآتي:



الشكل رقم (١- ٤٩) تقسيم التيار في دوائر التوازي.

لإيجاد كل من التيارات الفرعية I_1 , I_2 بدلالة التيار I وبتطبيق قانون أوم نجد أ ن:

$$V = I * R_T$$

$$V = I_1 * R_1$$

$$V = I_2 * R_2$$

$$I * R_T = I_1 * R_1$$

$$I_1 = I \frac{R_T}{R_1}$$

$$I_2 = I \frac{R_T}{R_2}$$

وبتكرار الطريقة السابقة نجد أنه إذا كان هناك عدد من المقاومات متصلة على التوازي فإن التيار الكلي الداخل إلى نقطة تفرع Node ينقسم إلى نفس عدد الأفرع الخارجة من العقدة، وبالتالي نجد أنه يمكن وضع قانون تجزيء التيار في العلاقة التالية:

$$I_X = I\frac{R_T}{R_X}$$

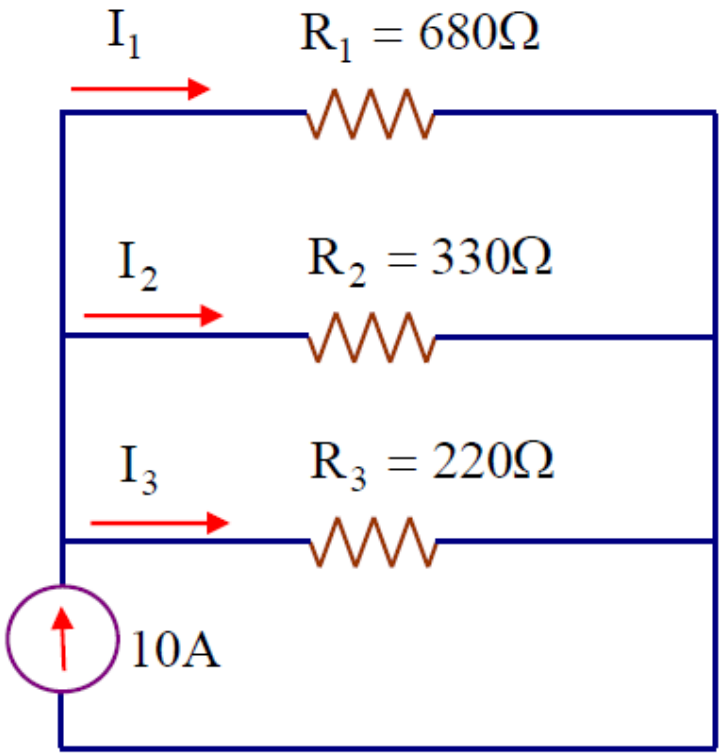
حيث إن: $X = 1,2,3,\ldots,n$.

R_T : تساوي المقاومة الكلية للمقاومات المتصلة على التوازي.

R_X : تمثل المقاومة المطلوب إيجاد التيار المار فيها.

I_X : تمثل قيمة التيار في الفرع رقم X وهكذا حيث إن X تمثل رقم الفرع الذي يمر فيه التيار المطلوب.

مثال رقم (١- ٤٠) أوجد قيم التيار في كل فرع Branch



الحل

في الدائرة السابقة نجد أن مصدر التيار يساوي 10A ، ولإيجاد التيار في كل فرع من أفرع الدائرة نوجد أولاً قيمة المقاومة الكلية R_T ثم بعد ذلك نطبق قاعدة تجزئ التيار.

$$R_T = \frac{R_1 * R_2 * R_3}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}$$

$$R_T = \frac{680 * 330 * 220}{680 * 330 + 680 * 220 + 330 * 220} = 111\Omega$$

$$I_1 = I_T \frac{R_T}{R_1} = 10 * \frac{111}{680} = 1.63A$$

$$I_2 = I_T \frac{R_T}{R_2} = 10 * \frac{111}{330} = 3.36A$$

$$I_3 = I_T \frac{R_T}{R_3} = 10 * \frac{111}{220} = 5.05A$$

كما يمكننا بعد إيجاد كل من I_1, I_2 نستخدم قانون كيرشوف لإيجاد التيار I_3 كما يلي:

$$I_T = I_1 + I_2 + I_3$$

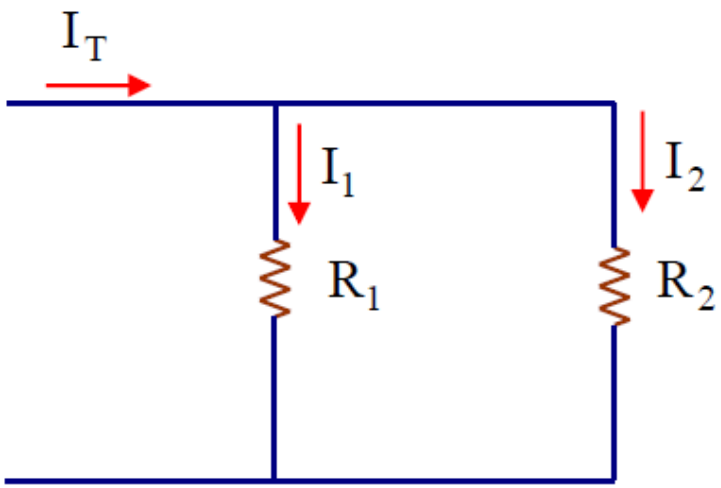
$$10 = 1.63 + 3.36 + I_3$$

$$I_3 = 10 - (1.63 + 3.36)$$

$$\therefore I_3 = 5.05A$$

بملاحظة التيارات الثلاثة السابقة نجد أن أقل مقاومة يمر فيها أكبر تيار وكذلك نجد أن أكبر مقاومة يمر فيها أقل تيار. حيث إن التيار المار في المقاومة $R_1 = 680\Omega$ يساوي $I_1 = 1.63A$. كما أن المقاومة $R_3 = 220\Omega$ يمر فيها تيار قيمته $I_3 = 5.05A$. حيث إن التيار يتناسب تناسباً عكسياً مع قيمة المقاومة.

يمكن التعبير عن إيجاد قيمة التيار في أي فرع من أفرع دائرة التوازي التي تحتوي على مقاومتين كما يلي:



شكل رقم (١- ٥١) تقسيم التيار في دوائر التوازي.

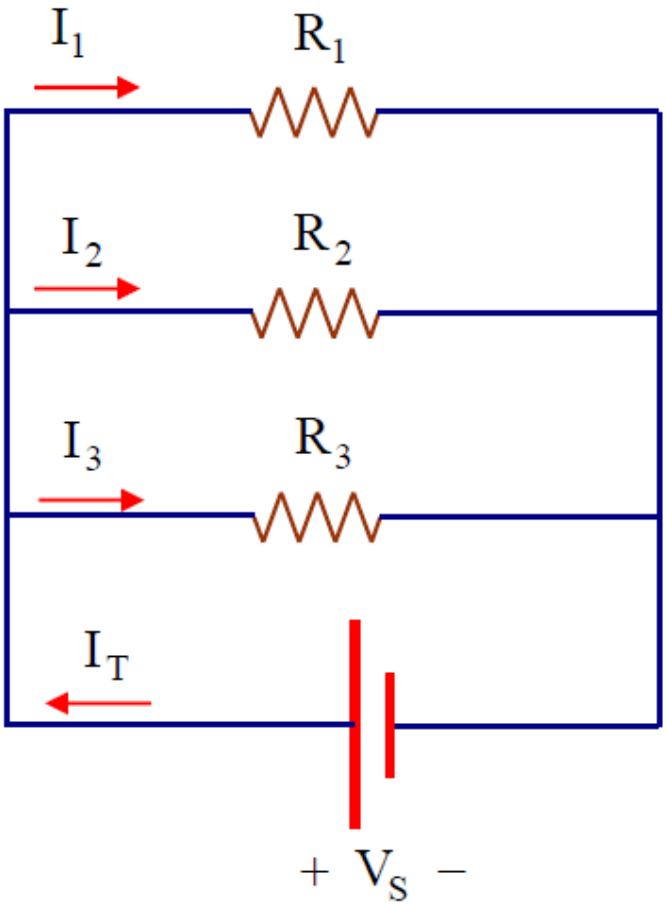
$$I_1 = I_T \frac{R_T}{R_1}$$

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

$$I_1 = I_T \frac{R_2}{(R_1 + R_2)}$$

$$I_2 = I_T \frac{R_1}{(R_1 + R_2)}$$

ولإيجاد التيارات I_1, I_2, I_3 الموضحة في الدائرة التالية:



الشكل رقم (١- ٥٢) تقسيم التيار في دوائر التوازي.

عند إيجاد التيار I_1 المار في المقاومة R_1 نطبق قاعدة توزيع التيار أي أن:

$$I_1 = I_T \frac{R_T}{R_1}$$

وحيث إن المقاومة الكلية R_T لثلاث مقاومات على التوازي تساوي :

$$R_T = \frac{R_1 * R_2 * R_3}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}$$

ثم بالتعويض عن R_T في العلاقة السابقة نجد أن:

$$I_1 = I_T . \frac{R_2 * R_3}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}$$

وبالمثل عند إيجاد I_2 , I_3 نجد أن:

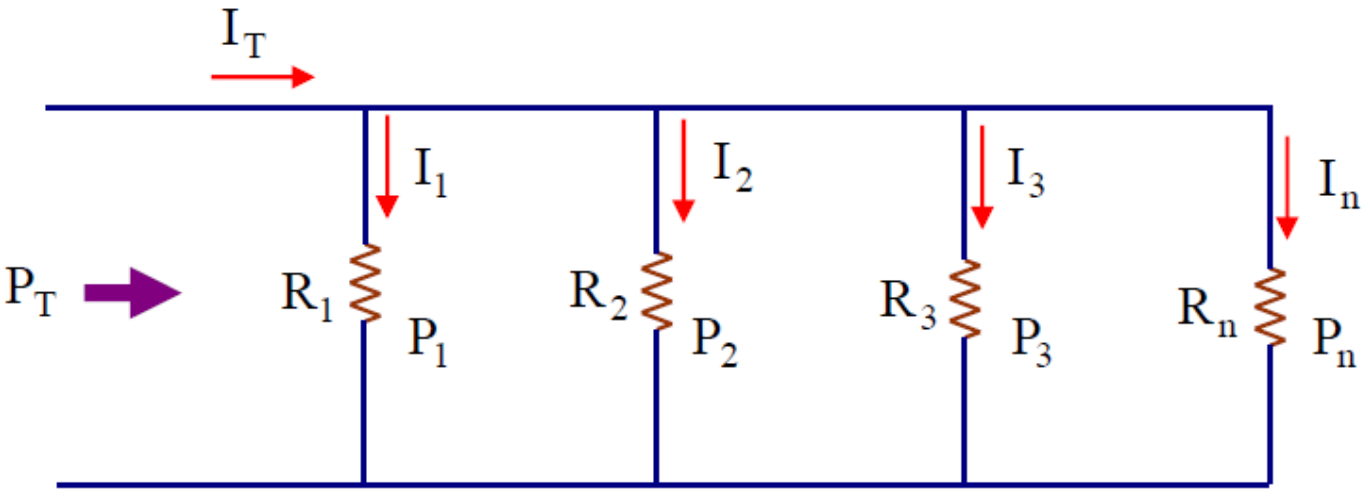
$$I_2 = I_T . \frac{R_1 * R_3}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}$$

$$I_3 = I_T . \frac{R_1 * R_2}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}$$

١- ٦- ٢- ٤ القدرة في دوائر التوازي Power in Parallel Circuits

في دوائر التوازي تمثل القدرة الكلية P_T مجموع القدرات الجزئية (القدرات المنفردة) بمعنى أن:

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \ldots + P_n$$



الشكل رقم (١- ٥٣) القدرة في دوائر التوازي.

$$P_T = V.I = I_T^2.R_T = \frac{V^2}{R_T}$$

والقدرة في كل فرع تساوي:

$$P_1 = I_1^2 . R_1$$

$$P_2 = I_2^2 . R_2$$

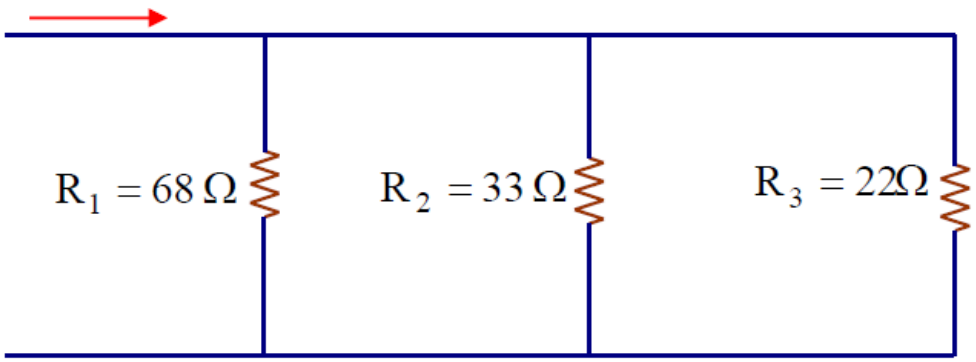
$$P_3 = I_3^2 . R_3$$

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

وجميعها تقاس بالوات Watt.

مثال رقم (١- ٤١)

احسب القدرة الكلية في دائرة التوازي التالية



الحل

أولاً نوجد المقاومة الكلية للمقاومات الثلاث

$$R_T = \frac{R_1 * R_2 * R_3}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3}$$

$$= \frac{68 * 33 * 22}{68 * 33 + 68 * 22 + 33 * 22} = 11.1\Omega$$

$$\because P_T = I_T^2 . R_T$$

$$= (2)^2 * 11.1 = 44.4W$$

$$\therefore P_T = 44.4W$$

ويمكن حساب القدرة الكلية عن طريق حساب القدرة في كل فرع ثم نقوم بتجميعها. ولإيجاد القدرة في كل فرع يجب أولاً حساب قيمة الجهد.

$$V_S = I.R_T = 2 * 11.1 = 22.2V$$

$$P_1 = \frac{V_S^2}{R_1} = \frac{(22.2)^2}{68} = 7.25W$$

$$P_2 = \frac{V_S^2}{R_2} = \frac{(22.2)^2}{33} = 14.9W$$

$$P_3 = \frac{V_S^2}{R_3} = \frac{(22.2)^2}{22} = 22.4W$$

$$\because P_T = P_1 + P_2 + P_3$$

$$= 7.25 + 14.9 + 22.4$$

من الحسابات السابقة نجد أن القدرة الكلية عبارة عن مجموع القدرات الفرعية (المنفردة). $\therefore P_T = 44.6W$