الفصل السادس

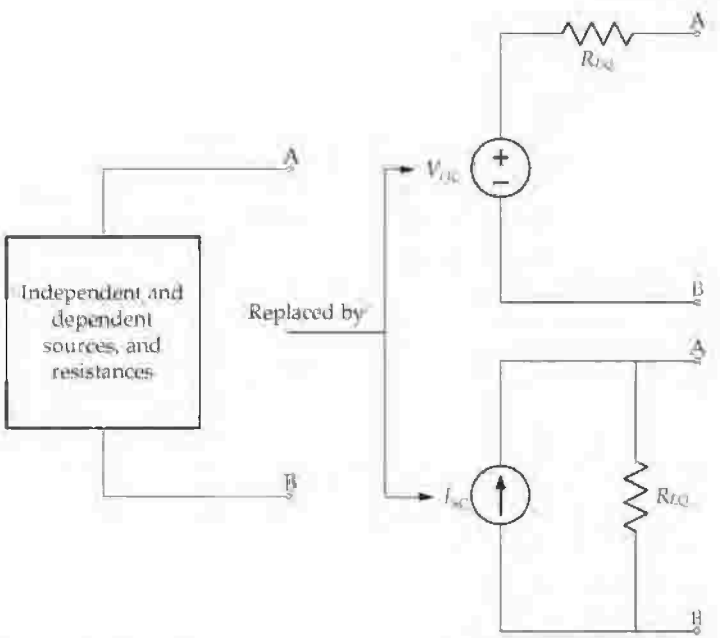
نظريات ثيفينن ونورتن
Th´evenin's and Norton's Theorems

إن أي تركيبة للمقاومات، والمصادر التابعة، والمصادر المستقلة ذات النهايتين (A و B، ويُشار إليها A,B) يمكن استبدالها بمقاومة واحدة ومصدر مستقل، كما هو مبين في الشكل.رقم (٦.١). تقلّل دارة ثيفنن (Th'evenin) المكافئة الدارة الأصلية إلى مصدر جهد على التسلسل مع مقاومة (الجزء العلوي الأيمن من الشكل رقم (٦.١)). وتقلّل دارة نورتون (Norton) المكافئة الدارة الأصلية إلى مصدر تيار على التفرع مع مقاومة (الجزء الأيمن السفلي من الشكل رقم (٦.١)). تساعد هاتان النظريتان في تخفيض الدارات المعقدة إلى دارات أبسط. ونشير إلى عناصر الدارة المتصلة عبر النهايتين A,B (التي لا يتم إظهارها) بالحمل. إن دارة ثيفنن المكافئة ودارة نورتون المكافئة مكافئتان للدارة الأصلية التي يتم فيها ملاحظة نفس الجهد والتيار عبر أي حمل. عادة، لا يتم تضمين الحمل في تبسيط الدارة لأنه مهم لتحاليل أخرى، مثل الطاقة العظمى المُستهلكة من قبل الحمل. على الرغم من ذلك فأننا نركّز هنا على المصادر والمقاومات، ويمكن توسيع هاتين النظريتين لتشملا أية دارة تتألف من عناصر خطية ذات نهايتين.

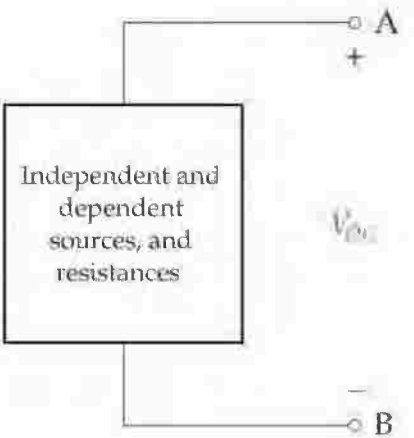
(٦.١) نظرية ثيفنن
THE VENIN'S THEOREM

تنص نظرية ثيفنن على أن دارة مكافئة تتكون من مصدر جهد مثالي، V_{OC}، على التسلسل مع مقاومة مكافئة، R_{EQ}، يمكن استخدامها لتحل محل أي دارة تتكون من مصادر جهد وتيار مستقلة وتابعة، ومقاومات. إن الـ V_{OC} مساوي إلى جهد الدارة المفتوحة على النهايتين A,B كما هو مبين في الشكل رقم (٦.٢)، ويتم حسابه باستخدام التقنيات القياسية مثل طريقة جهد العقدة أو طريقة تيار الشبكة.

إن المقاومة R_{EQ} هي المقاومة التي يتم رؤيتها عبر النهايتين A,B عندما تكون جميع المصادر ميتة. تذكّر أن مصدر الجهد الميت هو دارة مقصورة ومصدر التيار الميت هو دارة مفتوحة.



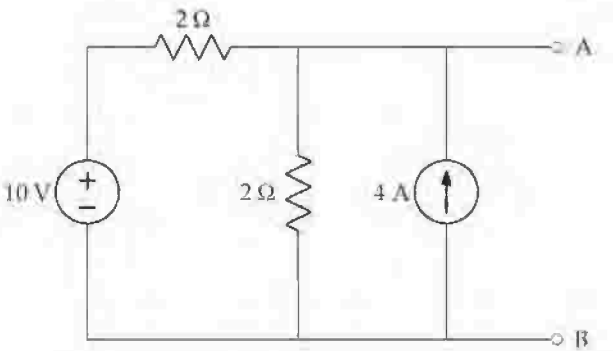
الشكل رقم (٦.١). يمكن استبدال دارة عامة تتألف من مصادر مستقلة وتابعة بمصدر جهد (V_{OC}) على التسلسل مع مقاومة (R_{EQ}) أو مصدر تيار (I_{SC}) على التفرع مع مقاومة(R_{EQ}).



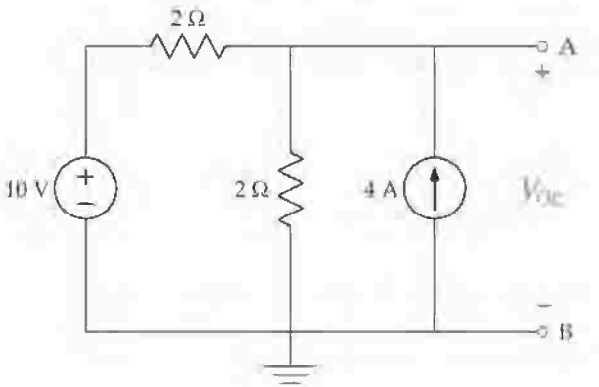
الشكل رقم (٦.٢). يتم حساب جهد الدارة المفتوحة، V_{oc}، عبر النهايتين A,B باستخدام تقنيات قياسية مثل طريقة جهد العقدة أو طريقة تيار الشبكة.

مثال (٦.١):

المطلوب إيجاد دارة ثيفنن المكافئة بالنسبة إلى النهايتين A,B للدارة التالية.



الحل: إن الحل لإيجاد دارة ثيفنن المكافئة يتم في جزأين، أولاً إيجاد V_{OC} ومن ثم الحل بالنسبة لـ R_{EQ}. يتم إيجاد جهد الدائرة المفتوحة، V_{OC}، بسهولة، وذلك باستخدام طريقة جهد العقدة كما هو موضح في الدارة التالية:

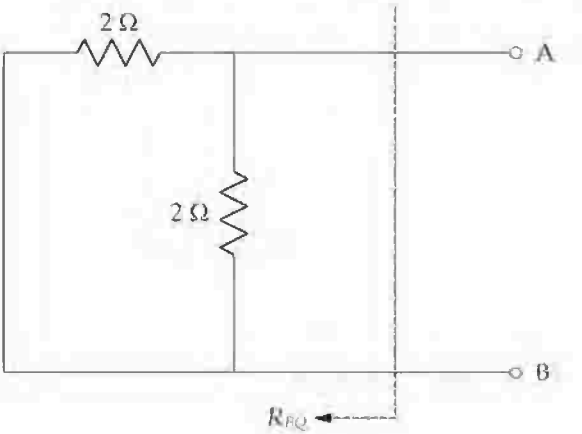


إن مجموع التيارات الخارجة من العقدة هو:

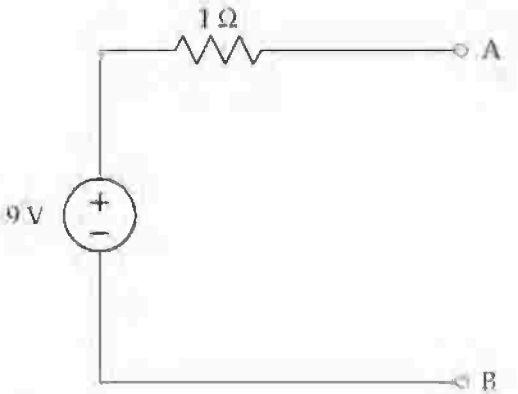
$$\frac{V_{OC}-10}{2}+\frac{V_{OC}}{2}-4=0$$

و $V_{OC}=9\ V$

ثانياً، يتم إيجاد R_{EQ} أولاً من خلال جعل جميع المصادر ميتة (إن مصدر التيار الميت هو دارة مفتوحة ومصدر الجهد الميت هو دارة مقصورة)، ومن ثم إيجاد المقاومة التي يتم رؤيتها من النهايتين A,B كما هو موضح في الشكل التالي:



يتضح من الدارة السابقة أن R_{EQ} تساوي ١ أوم (وهذا هو، $2\Omega//2\Omega$). وهكذا، فإن دارة ثيفنن المكافئة هي:

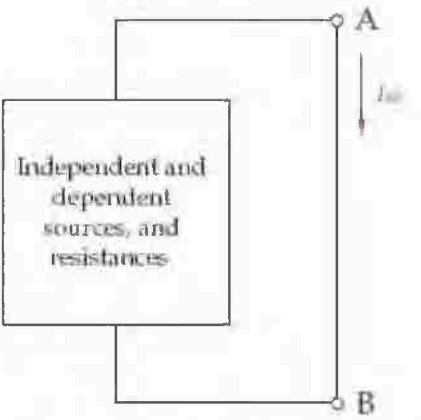


ومن المهم ملاحظة أن الدارة المستخدمة في إيجاد V_{OC} لا ينبغي استخدامها لإيجاد R_{EQ} لأنه ليس جميع الجهود والتيارات ذات صلة في الدارة الأخرى، والمرء لا يستطيع المزج والمطابقة ببساطة.

(٦.٢) نظرية نورتون
NORTON'S THEOREM

تنص نظرية نورتون على أن دارة مكافئة تتألف من مصدر تيار مثالي، I_{SC}، على التفرع مع مقاومة مكافئة، R_{EQ}، يمكن استخدامها لتحل محل أي دارة تتكون من مصادر جهد وتيار مستقلة وتابعة، ومقاومات. إن I_{SC} يساوي التيار الذي يتدفق من خلال القصر بين النهايتين A,B كما هو مبين في الشكل رقم (٦.٣)، ويتم حسابه باستخدام التقنيات القياسية مثل طريقة جهد العقدة أو طريقة تيار الشبكة. وترتبط دارة ثيفنن المكافئة ودارة نورتون المكافئة مع بعضهما البعض وفقاً لما يلي:

$$R_{EQ} = \frac{V_{OC}}{I_{SC}} \qquad (٦.١)$$

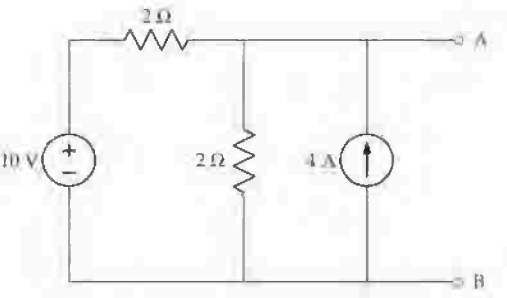


الشكل رقم (٦.٣). يتم حساب تيار الدارة المقصورة، I_{sc}، من خلال قصر النهايتين A,B وإيجاد التيار المار خلال القصر باستخدام تقنيات قياسية مثل طريقة جهد العقدة أو طريقة تيار الشبكة.

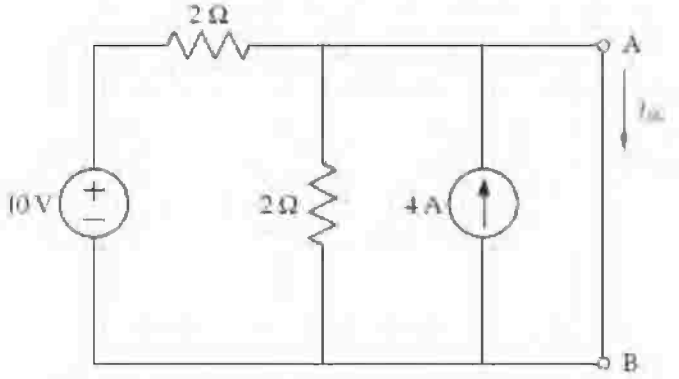
يتم رؤية هذا بسهولة من خلال قصر النهايتين A,B في الشكل.رقم (٦.٢). إن التيار الذي يتدفق من خلال القصر يساوي $\frac{V_{OC}}{I_{SC}}$ متطابق مع المعادلة.رقم (٦.١). وينبغي أن يكون واضحاً أن الشكلين رقم (٦.٢) ورقم (٦.٣) هما تحويلات مصدر لبعضهما البعض.

مثال (٦.٢):

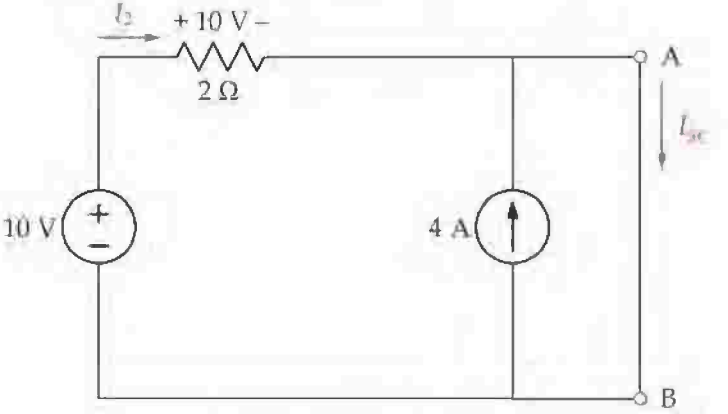
المطلوب إيجاد دارة نورتون المكافئة بالنسبة إلى النهايتين A,B للدارة التالية.



الحل: إن هذه الدارة هي نفسها في المثال رقم (٦.١)، وعليه $R_{EQ}=1\Omega$. ولإيجاد I_{SC} نقوم بقصر النهايتين A,B كما هو موضح في الشكل التالي.



لاحظ أن المقاومة ٢ أوم هي على التفرع مع القصر عبر النهايتين A,B، وعليه فإنه يتم إزالتها لأنه لا يتدفق أي تيار من خلالها، كما هو موضح في الشكل التالي.



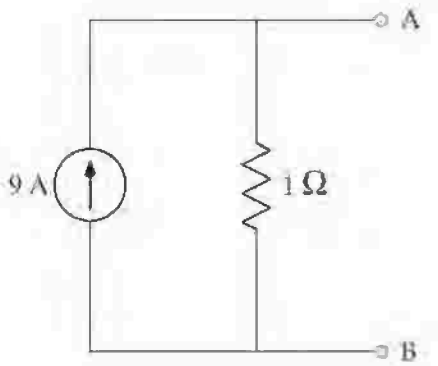
لاحظ أيضاً أن التيار I_2 يساوي ٥ أمبير لأن المصدر ١٠ فولت مُطبَّق مباشرة على طرفي المقاومة ٢ أوم. إن تطبيق قانون كيرشوف للتيار (KCL) على العقدة المُشار إليها بـ A يعطي:

$$0=-I_2-4+I_{SC}=-5-4+I_{SC}$$

و $I_{SC} = 9\ A$. ونستطيع إيجاد التيار I_{SC} مباشرة من حل المثال رقم (٦.١) لأن :

$$I_{SC} = \frac{V_{OC}}{R_{EQ}} = \frac{9}{1} = 9\ A$$

ودارة نورتون المكافئة مبينة في الشكل التالي.



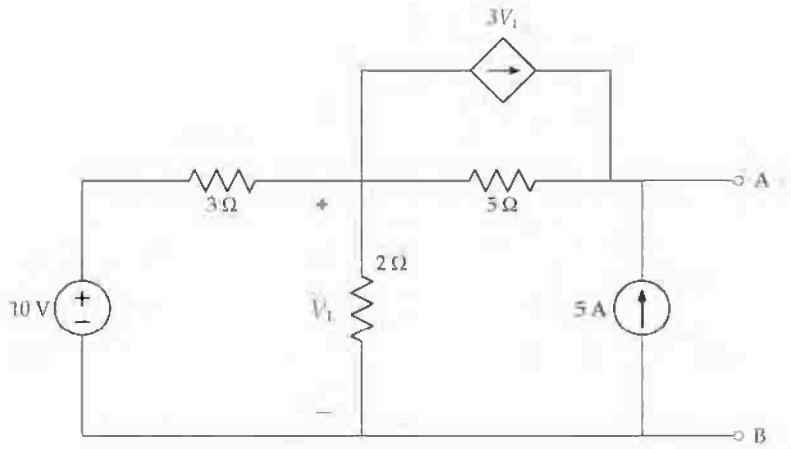
(٦.٣) المصادر التابعة ودارات نورتون وثيفنن المكافئة
DEPENDENT SOURCES AND THE´VENIN AND NORTON EQUIVALENT CIRCUITS

إذا كان هناك دارة متصلة بالنهايتين A,B وتحتوي على مصادر تابعة ، فإن العملية لإيجاد R_{EQ} لدارة ثيفنن المكافئة أو دارة نورتون المكافئة يجب تعديلها ، وذلك لأن المصدر التابع لديه مقاومة ، وهذه المقاومة لا يمكن حسابها عند جعل جميع المصادر ميتة.

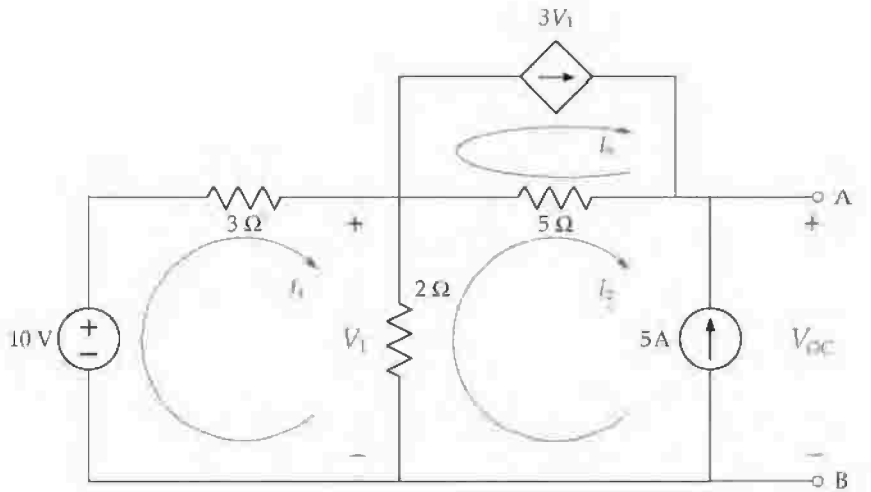
في هذه الحالة نجد V_{OC} و I_{SC} ومن ثم نحسب $R_{EQ} = \frac{V_{OC}}{I_{SC}}$.

مثال (٦.٣) :

المطلوب إيجاد دارة ثيفنن المكافئة بالنسبة إلى النهايتين A,B للدارة التالية :



الحل: بما أن لهذه الدارة مصدراً تابعاً، يتم إيجاد R_{EQ} من خلال $R_{EQ} = \frac{V_{OC}}{I_{SC}}$. دعونا أولاً نجد V_{OC} باستخدام طريقة تيار الشبكة كما هو موصف في الشكل التالي.



لاحظ أن هناك نوعين من مصادر التيار على محيط الدارة $I_2 = -5\ A$ و

$$I_3 = 3V_1 = 3\times 2(I_1 - I_2) = 6I_1 + 30$$

إن جمع هبوطات الجهد حول الشبكة ١ يعطي :

$$-10 + 3I_1 + 2(I_1 - I_2) = 0$$

إن التبسيط من خلال $I_2 = -5\ A$ يعطي $I_1 = 0\ A$. إن تطبيق قانون كيرشوف للجهد (KVL) حول الشبكة ٢ لإيجاد V_{OC} يعطي :

$$2(I_2 - I_1) + 5(I_2 - I_3) + V_{OC} = 0$$

ومع $I_1 = 0\ A$ ، و $I_2 = -5\ A$ ، و $I_3 = 30\ A$ فإن هذا يعطي $V_{OC} = 185\ V$.

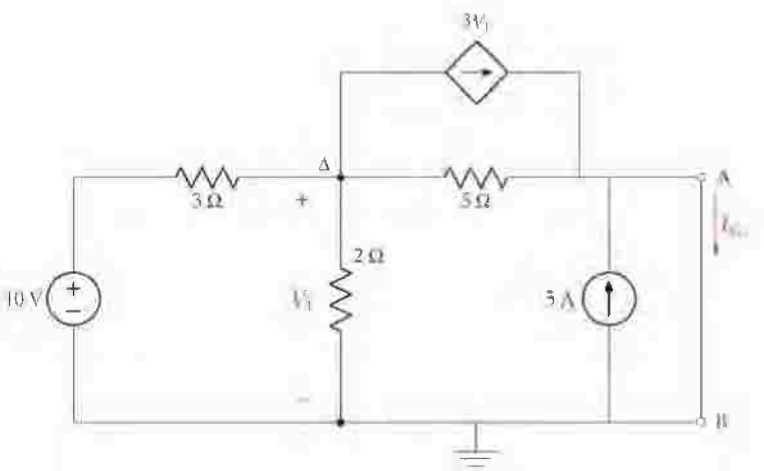
ثانياً، نجد I_{SC} باستخدام طريقة جهد العقدة كما هو موصوف في الشكل التالي.

إن جمع التيارات الخارجة من العقدة Δ يعطي ما يلي :

$$\frac{V_1 - 10}{3} + \frac{V_1}{2} + \frac{V_1}{5} + 3V_1 = 0$$

و

$$V_1 = \frac{100}{121}\ V$$



ويعطي تطبيق قانون كيرشوف للتيار (KCL) على النهاية A ما يلي :

$$-3V_1 - 5 - \frac{V_1}{5} + I_{SC} = 0$$

ومع $V_1 = \frac{100}{121}$ ، يكون $I_{SC} = 7.65\ A$. وهكذا فإن $R_{EQ} = \frac{V_{OC}}{I_{SC}} = \frac{185}{7.65} = 24.18\ \Omega$.

وتكون دارة ثيفنن المكافئة كما يلي :