NOTA DE AULA
PROF. JOSÉ GOMES RIBEIRO FILHO

MÉTODOS DE ANÁLISE DE CIRCUITOS (CORRENTE CONTÍNUA)

1 INTRODUÇÃO

Os circuitos descritos nos capítulos anteriores tinham somente uma fonte ou duas ou mais fontes em série ou em paralelo. O procedimento descrito passo a passo nesses capítulos não pode ser aplicado se as fontes não estiverem ligadas em série ou em paralelo. Existirá uma interação entre as fontes que não permitirá o uso da técnica de redução descrita no capítulo anterior para encontrar grandezas como a resistência total e a corrente fornecida pela fonte. Foram desenvolvidos métodos de análise que nos permitem, de maneira sistemática, resolver um circuito com qualquer número de fontes em qualquer arranjo. Esses métodos podem também ser aplicados a circuitos com somente uma fonte.

2 FONTES DE TENSÃO E CORRENTE

Usando os conceitos de corrente e tensão, é possível, neste instante, sermos mais específicos ao definirmos um elemento de circuito. No entanto, é importante que saibamos diferenciar o dispositivo físico de seu modelo matemático que é usado para analisar o seu comportamento em um circuito. O modelo é apenas uma aproximação, como já vimos.

Vamos combinar que a expressão *elemento de circuito* será usada para se referir ao modelo matemático e não ao dispositivo físico em si. A escolha por um modelo, em particular, para um dispositivo real deve ser feito a partir de dados experimentais ou por meio da experiência do profissional envolvido na escolha: iremos assumir que as escolhas já foram feitas. Para simplificar, iremos considerar inicialmente que os componentes de circuitos serão representados por modelos simples.

Todos os elementos simples de circuito, que iremos considerar, serão classificados de acordo com a relação entre as correntes que fluem no, e pela corrente sobre, o elemento. Por exemplo, se a tensão sobre o elemento é linearmente proporcional à corrente que flui por ele, iremos chamar esse elemento de um resistor. Outro tipo de elementos simples de circuitos tem as tensões sobre os seus terminais proporcionais à derivada da corrente em relação ao tempo (um indutor), ou proporcional à integral da corrente em relação ao tempo (um capacitor). Existem também elementos em que a tensão é completamente independente da corrente ou a corrente é completamente independente da tensão. Esses elementos são chamados de fontes independentes. Além disso, precisaremos definir tipos especiais de fontes nas quais a tensão ou a corrente fornecida dependem de correntes ou tensões geradas em outras partes de circuitos. Essas fontes são chamadas de fontes dependentes. As fontes dependentes são muito utilizadas na eletrônica para modelar o comportamento CC e CA de transistores, especialmente em circuitos amplificadores.

Fontes Independentes de Tensão

O primeiro elemento que consideraremos é a fonte de tensão independente. O símbolo utilizado nos circuitos é mostrado na figura 1a;

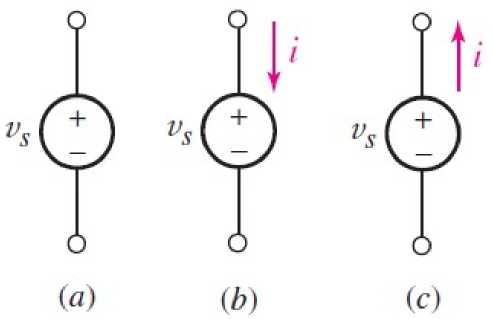


FIGURA 1 Símbolos de circuitos utilizados para representar a fonte de tensão independente.

O subscrito s indica meramente que se trata de uma "fonte" de tensão (s, no caso, se refere à palavra inglesa *source*, que significa fonte), embora comum, não e necessária. Uma fonte independente de tensão é caracterizada pela tensão em seus terminais que é completamente independente da corrente que a percorre. Então, se dissermos que temos uma fonte de tensão independente de 12 V, então, estamos assumindo que temos sempre essa tensão disponível, independente da corrente que está fluindo pelo circuito.

Uma fonte de tensão independente é uma fonte ideal e não representa exatamente um dispositivo físico real, porque uma fonte ideal deveria entregar uma quantidade infinita de energia em seus terminais. No entanto, essa fonte idealizada torna-se uma aproximação razoável para muitas fontes de tensão práticas. Por exemplo, uma bateria automotiva de 12 V apresenta tensão essencialmente constante desde que a corrente não exceda alguns ampères. Uma pequena corrente pode fluir em qualquer direção através da bateria. Se a corrente for positiva e estiver saindo do terminal positivo, então a bateria está fornecendo potência aos faróis, por exemplo; se a corrente for positiva e estiver entrando no terminal marcado como positivo, então a bateria está sendo carregada, ou seja, absorvendo energia do alternador. Uma tomada elétrica doméstica também se aproxima de uma fonte de tensão independente, fornecendo uma tensão de $v_s = 115\sqrt{2} \cos 2\pi 60t$ V. Essa representação é válida para correntes menores do que 20 A.

Um ponto que merece ser repetido aqui é que o sinal positivo presente no terminal superior do símbolo de uma fonte independente de tensão, como mostrado na figura 1a, não significa necessariamente que o terminal superior é numericamente positivo em relação ao terminal inferior. Em vez disso, isso significa que o terminal positivo é v_s volts positivo em relação ao terminal inferior. Se em um dado instante v_s for negativo, então o terminal superior é atualmente negativo em relação ao terminal inferior naquele instante.

Considere a seta da corrente rotulada "i" colocada adjacente ao terminal superior do condutor da fonte ilustrada na figura 1b. A corrente i está entrando no terminal com o sinal positivo, satisfazendo a convenção do sinal passivo, significando que a fonte está absolvendo a potência $p = v_s i$. Frequentemente esperamos que uma fonte de tensão forneça potência para uma rede e não que a absorva. Consequentemente devemos trocar a direção da seta como na figura 1c, significando então que a grandeza $v_s i$ irá representar que a fonte que estará entregando potência á rede. Tecnicamente, qualquer direção para a seta pode ser escolhida. Mas, sempre que possível, adotaremos a convenção mostrada na figura 1c para as fontes de tensões e corrente deste texto, pois não são, em geral, considerados elementos passivos.

Uma fonte de tensão independente com tensão constante em seus terminais é chamada de fonte independente de tensão CC e pode ser representada como mostrada nas figuras 2 (a) e 2 (b).

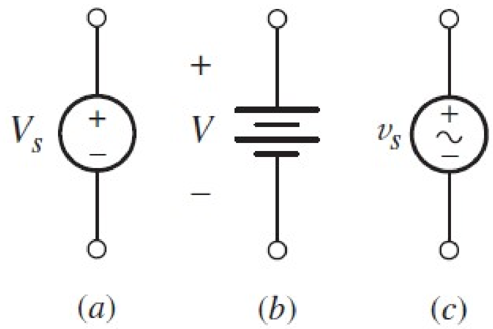


FIGURA 2 (a) Símbolo da fonte de tensão CC;
(b) símbolo da bateria;
(c) símbolo da fonte de tensão CA.

Note que na figura 2b, é utilizada uma representação física que lembra as placas de uma bateria, em que a placa maior simboliza o terminal positivo e a placa menor o terminal negativo. Neste caso, a utilização do sinal de mais e menos se torna redundante, embora geralmente sejam utilizados. Para completar a informação, o símbolo de uma fonte independente de tensão CA é mostrado na figura 2c.

Fontes Independentes de Corrente

Outra fonte ideal de que necessitaremos é a fonte independente de corrente. Aqui, a corrente através do elemento é completamente independente da tensão sobre ele. O símbolo para uma fonte independente de corrente é mostrado na figura 3.

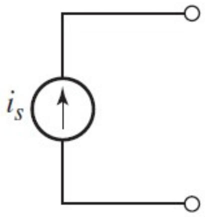


FIGURA 3 Símbolo de circuito para a fonte de corrente independente.

Se i_s é constante, chamaremos a mesma de fonte de corrente CC. Uma fonte de tensão CA é geralmente desenhada acrescentando um til (~) através da seta, similar á fonte de tensão CA mostrada na figura 2c. Assim como as fontes independentes de tensão, as fontes independentes de corrente são, no melhor dos casos, uma aproximação razoável para o elemento físico. Teoricamente, ela pode fornecer potência infinita em seus terminais por produzir a mesma corrente finita independente da tensão aplicada, não importando o quão grande seja a tensão. Ela é, no entanto, uma boa aproximação para muitas fontes reais, particularmente em circuitos eletrônicos.

Embora muitos estudantes pareçam satisfeitos com a ideia de uma fonte independente de tensão manter uma tensão fixa enquanto fornece um valor qualquer de corrente, é um engano muito frequente visualizar uma fonte de corrente independente tendo tensão nula em seus terminais enquanto fornece uma corrente fixa. Na realidade, não conhecemos, a priori, a tensão nos terminais de uma fonte de corrente, uma vez que isso depende inteiramente do circuito ao qual ela está conectada.

Fontes conectadas em série e em paralelo

Algumas das manipulações matemáticas feitas sobre o equacionamento de circuitos em série e paralelo podem ser evitadas por meio da combinação de fontes. Note, entretanto, que todas as tensões, correntes e potência relacionadas no restante do circuito não serão mudadas. Por exemplo, várias fontes de tensão em série podem ser substituídas por uma fonte de tensão equivalente em que o seu valor é igual à soma algébrica das fontes individuais (figura 4).

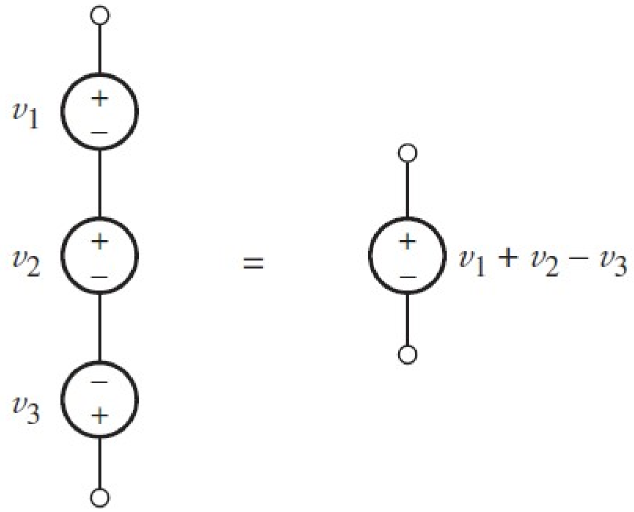


FIGURA 4 Fontes de tensão conectadas em série podem ser substituídas por uma única fonte.

Fontes de corrente ligadas em paralelo podem também ser combinadas pela soma algébrica de suas correntes individuais e a ordem de elementos em paralelo pode ser arranjada como desejado (figura 5).

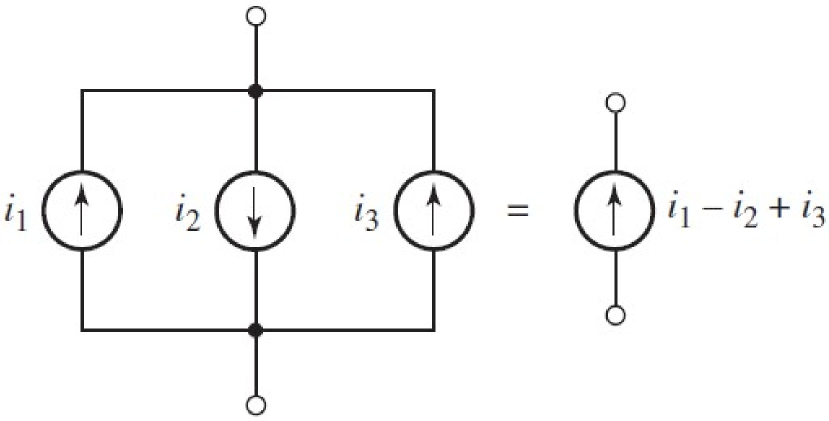


FIGURA 5 Fontes de corrente em paralelo podem ser substituídas por uma única fonte.

Para concluir a discussão a respeito da combinação série e paralelo de fontes, podemos considerar a combinação de duas fontes de tensão em paralelo e a combinação de duas fontes de corrente em série. Por exemplo, qual é o equivalente entre o paralelo de uma fonte de 5 V e outra de 10 V? Pela definição de fonte de tensão, a tensão sobre as mesmas não pode mudar; pela lei de Kirchhoff das tensões, as tensões deveriam ser iguais, ou seja, 5 igual a 10, o que é uma hipótese fisicamente impossível. Sendo assim, fontes ideais de tensão em paralelo só são permitidas quando as tensões em seus terminais forem exatamente iguais em todo instante de tempo. De maneira similar, duas fontes de corrente não pode ser colocadas em série a menos que tenham a mesma corrente, incluindo o sinal, para todo instante de tempo.

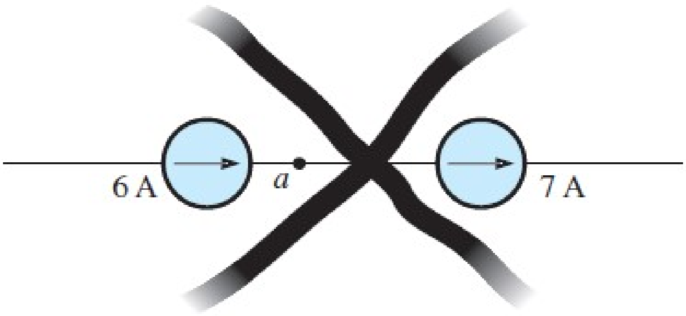


FIGURA 6 Situação impossível

3 DIVISOR DE TENSÃO E CORRENTE

a) Divisor de Tensão

Na associação série de resistores, vimos que a tensão da fonte de alimentação se subdivide entre os resistores, formando um divisor de tensão.

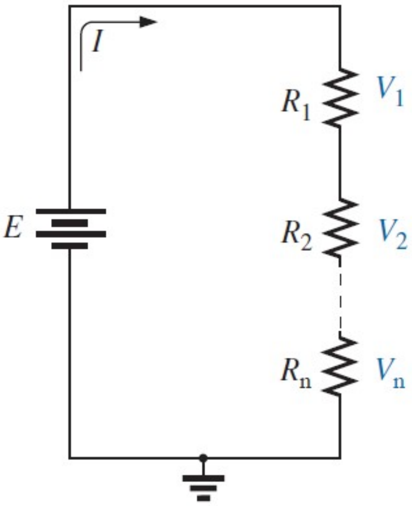


FIGURA 7 Dedução da regra do divisor de tensão.

Podemos deduzir uma equação geral para calcular a tensão V_N, num determinado resistor R_N, da associação em função da tensão E aplicada.

A tensão V_N, no resistor R_N, é dada por:

$$V_N = R_N . I \qquad [1]$$

Mas a corrente I que passa pelos resistores em série vale:

$$I = \frac{E}{R_{eq}} \qquad [2]$$

Substituindo a equação (1) na equação (2), obtém-se a equação geral do divisor de tensão:

$$V_N = \frac{R_N}{R_{eq}} E \qquad [3]$$

No caso de um divisor de tensão formado por dois resistores, as equações de V_1 e V_2 são:

$$V_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} E \quad \text{e} \quad V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E$$

b) Divisor de Corrente

Na associação paralela de resistores, vimos que a corrente fornecida pela fonte de alimentação se subdivide entre os resistores, formando um divisor de corrente.

Podemos deduzir uma equação geral para calcular a corrente I_N num determinado resistor R_N; da associação em função da corrente total I.

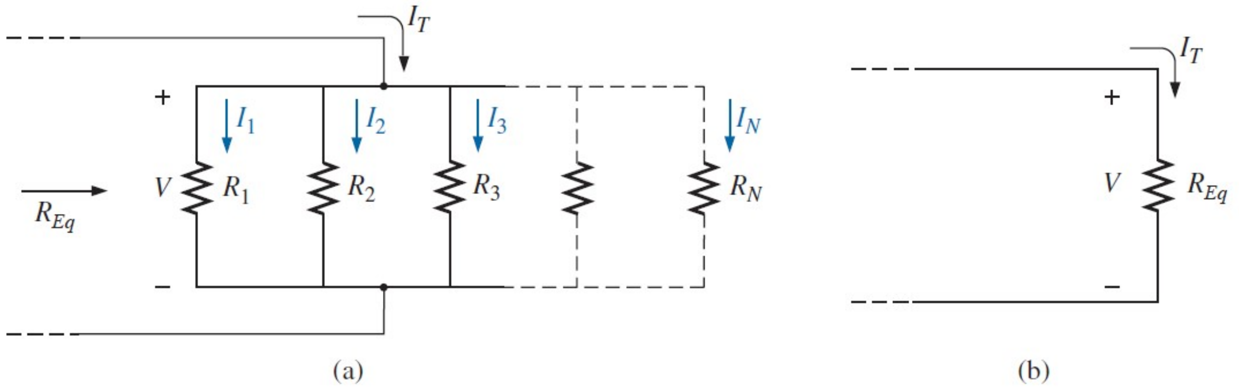


FIGURA 8 Dedução da regra do divisor de corrente.

Como os resistores estão em paralelo, temos:

$$I_N = \frac{E}{R_N} \qquad [4]$$

Mas a tensão E aplicada à associação paralela vale:

$$E = R_{eq}.I \qquad [5]$$

Substituindo a equação (5) na equação (4), obtém-se a equação geral do divisor de corrente:

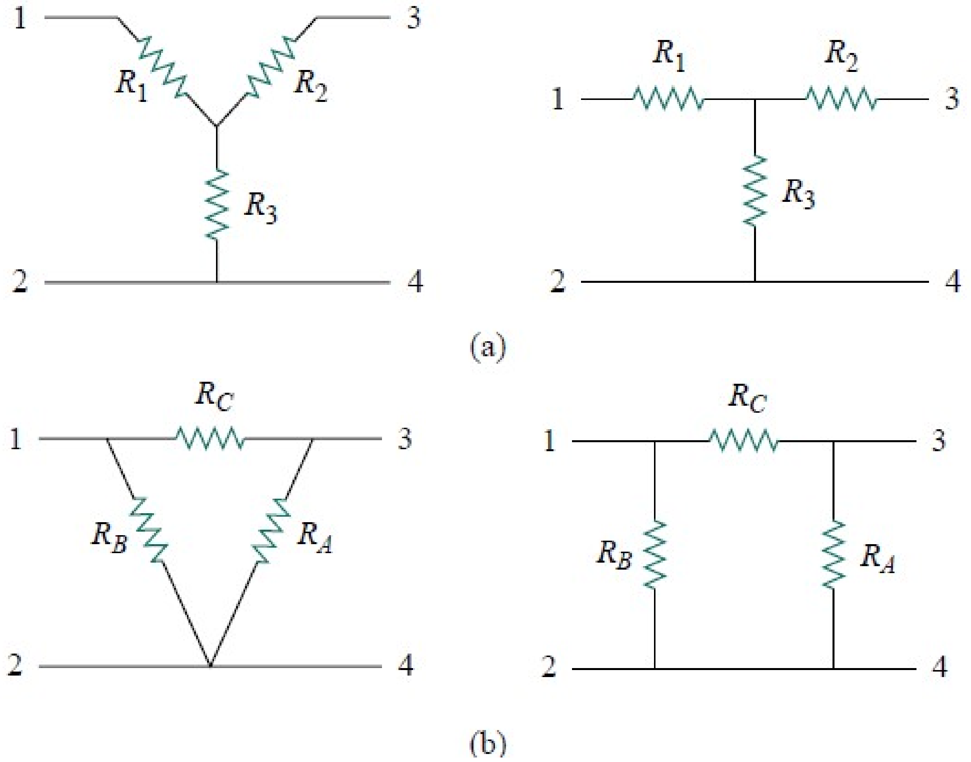
$$I_N = \frac{R_{eq}}{R_N}.I \qquad [6]$$

No caso de um divisor de corrente formado por dois resistores, podem-se deduzir facilmente as equações de I_1 e I_2, que ficam como segue:

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}.I \quad \text{e} \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2}.I$$

4 CONVERSÕES Y-Δ(T-π) E Δ-Y (π-T)

São frequentemente encontrados circuitos nos quais os resistores parecem não estar em série ou em paralelo. Nessas condições, pode ser interessante converter o circuito de uma forma para outra mais conveniente para determinar os valores das tensões e correntes sem usar o método das malhas ou o método dos nós. Duas configurações frequentemente responsáveis por esse tipo de dificuldade são a ípsilon (Y) ou tê (T) e a delta (Δ) ou pi (π), mostradas nas figura 9 (a) e (b) respectivamente.



Configuração ípsilon (Y) ou tê (T)

Configuração Delta (Δ) ou pí(π)

FIGURA 9 a) Configuração ípsilon (Y), b)Configuração Delta (Δ)

O objetivo desta seção é desenvolver as equações para converter do tipo Δ para o Y e vice-versa. Este tipo de conversão normalmente leva a um circuito que pode ser resolvido usando técnicas como as descritas no capítulo anterior. Em outras palavras, na figura 10, com os terminais a, b e c fixos, se desejarmos a configuração Y em lugar de Δ, tudo que temos a fazer é aplicar diretamente as equações que serão deduzidas a seguir. O termo em lugar de é enfatizado porque queremos assegurar que ficou entendido que somente uma dessas configurações pode aparecer de cada vez entre os terminais indicados.

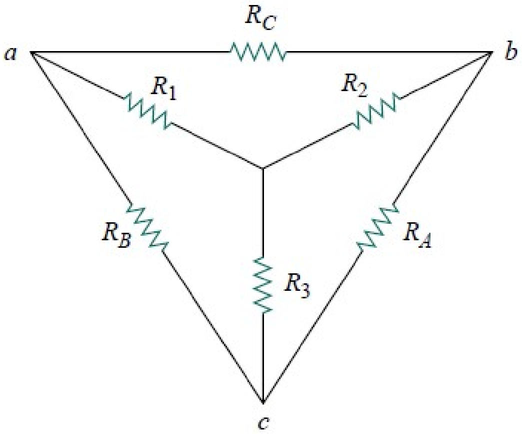


FIGURA 10 Introdução dos conceitos de conversões Δ-Y e Y-Δ.

Nosso objetivo (em relação à figura 10) é encontrar uma expressão para R_1, R_2 e R_3 em termos de R_A, R_B e R_C e vice-versa, que irá nos garantir que a resistência entre dois terminais quaisquer da configuração Y será a mesma que a da configuração Δ equivalente (e vice-versa). Para os dois circuitos serem equivalentes, a resistência total entre dois terminais quaisquer precisa ser a mesma. Considere os terminais a, b e c na configuração Δ-Y da figura 11.

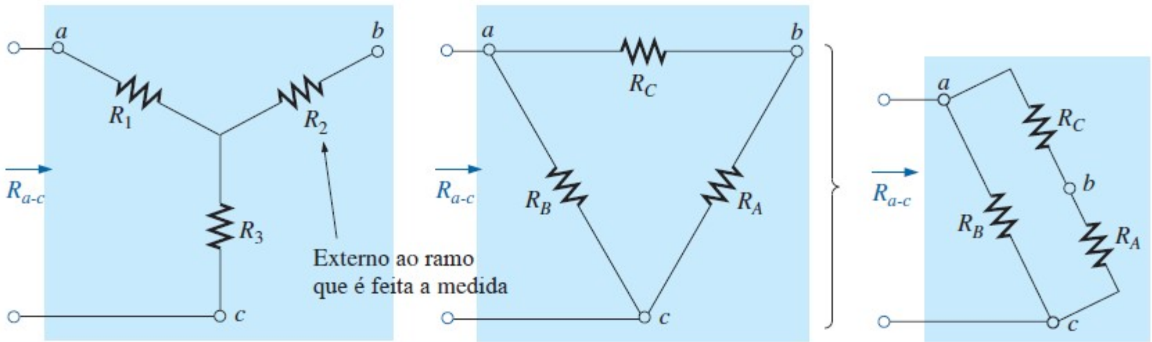


FIGURA 11 Obtenção da resistência R_{a-c} para as configurações Y e Δ.

Vamos supor primeiramente que desejamos converter de Δ (R_A, R_B e R_C) para Y (R_1, R_2 e R_3). Isto exige que tenhamos uma expressão para R_1, R_2 e R_3 em termos de R_A, R_B e R_C. Se a resistência entre os terminais a, b e c tem que ser a mesma para Δ e Y, a seguinte equação deve ser verdadeira:

R_{a-c} (Y) = R_{a-c} (Δ)

de modo que

$$R_{a-c} = R_1 + R_3 = \frac{R_B(R_A + R_C)}{R_B + (R_A + R_C)} \qquad [7]$$

Usando a mesma abordagem para a-b e b-c, obtemos as seguintes relações:

$$R_{a-b} = R_1 + R_2 = \frac{R_C(R_A + R_B)}{R_C + (R_A + R_B)} \qquad [8]$$

$$R_{b-c} = R_2 + R_3 = \frac{R_A(R_B + R_C)}{R_A + (R_B + R_C)} \qquad [9]$$

Subtraindo a equação 7 da equação 8, temos

$$(R_1 + R_2) - (R_1 + R_3) = \left(\frac{R_C R_B + R_C R_A}{R_A + R_B + R_C}\right) - \left(\frac{R_B R_A + R_B R_C}{R_A + R_B + R_C}\right)$$

de modo que

$$R_2 - R_3 = \frac{R_A R_C - R_B R_A}{R_A + R_B + R_C} \qquad [10]$$

Subtraindo a equação 10 da equação 9 temos

$$(R_2 + R_3) - (R_2 - R_3) = \left(\frac{R_A R_B + R_A R_C}{R_A + R_B + R_C}\right) - \left(\frac{R_A R_C - R_B R_A}{R_A + R_B + R_C}\right)$$

Logo $2R_3 = \dfrac{2R_B R_A}{R_A + R_B + R_C}$

o que resulta na seguinte expressão para R_3, em termos de R_A, R_B e R_C:

$$R_3 = \frac{R_A R_B}{R_A + R_B + R_C} \qquad [11]$$

Seguindo o mesmo procedimento para R_1 e R_2, temos

$$R_1 = \frac{R_B R_C}{R_A + R_B + R_C} \qquad [12]$$

e

$$R_2 = \frac{R_A R_C}{R_A + R_B + R_C} \qquad [13]$$

Não precisamos memorizar as equações (11) a (13). Para transformar uma rede Δ em uma rede Y, basta seguirmos a regra da conversão:

Cada resistor do Y é igual ao produto dos resistores nos dois ramos mais próximos do Δ dividido pela soma dos resistores do Δ.

Para obter as fórmulas de conversão para transformar uma rede Y em uma rede Δ equivalente, observamos das equações (11) a (13) que:

$$R_1.R_2 + R_2.R_3 + R_1.R_3 = \frac{R_A R_B R_C (R_A + R_B + R_C)}{(R_A + R_B + R_C)^2}$$

$$= \frac{R_A R_B R_C}{R_A + R_B + R_C} \qquad [14]$$

Dividir a equação (14) pelas equações (11) a (13) nos leva às seguintes equações:

$$R_A = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_1} \qquad [15]$$

$$R_B = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_2} \qquad [16]$$

e

$$R_C = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_3} \qquad [17]$$

Das equações (15) a (17) e da figura 10, a regra da conversão de Y para Δ é a seguinte:

O valor de cada resistor do Δ é igual à soma das possíveis combinações dos produtos das resistências do Y dividida pela resistência do Y mais distante do resistor a ser determinado.

Vamos considerar o que poderia ocorrer se todos os valores de um Δ ou Y fossem iguais. Se $R_A = R_B = R_C$, a equação 11 se tornaria (usando apenas R_A):

$$R_3 = \frac{R_A R_B}{R_A + R_B + R_C} = \frac{R_A R_A}{R_A + R_A + R_A} = \frac{R_A^2}{3R_A} = \frac{R_A}{3}$$

Da mesma forma,

$$R_1 = \frac{R_A}{3} \qquad R_2 = \frac{R_A}{3}$$

Em geral, portanto,

$$R_Y = \frac{R_\Delta}{3} \qquad [18]$$

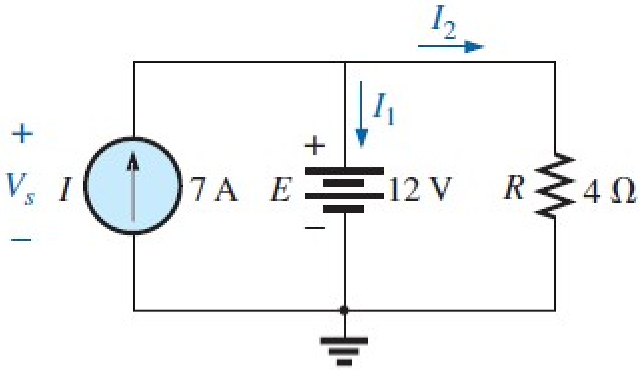
ou

$R_{\Delta} = 3R_{Y}$ [19]

o que significa que, para um Y de três resistores iguais, o valor de cada resistor do Δ é igual a três vezes o valor de um dos resistores do Y. Se somente dois elementos de Y ou de Δ forem iguais, o Δ ou Y correspondente de cada um também terá dois elementos iguais.

EXERCÍCIOS RESOLVIDOS

01. Encontrar a tensão V_s e correntes I_1 e I_2 para a rede na figura abaixo:



SOLUÇÃO:

Este é um problema interessante porque tem tanto uma fonte de corrente como uma fonte de tensão. Para a fonte de corrente, V_s deve ser determinada, bem como para o resistor R a tensão também deve ser determinada.

Uma vez que a fonte de corrente e fonte de tensão estão em paralelo, $V_s = E = 12$ V

Além disso, uma vez que a fonte de tensão e a resistência R estão em paralelo,

$V_R = E = 12$ V

$$I_2 = \frac{V_R}{R} = \frac{12V}{4\Omega} = 3A$$

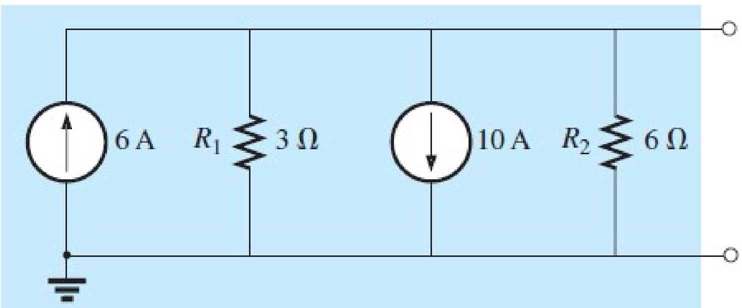
A corrente I_1 da fonte de tensão pode então ser determinada pela aplicação da lei de Kirchhoff como se segue:

$$\Sigma I_i = \Sigma I_o$$

$$I = I_1 + I_2$$

$$I_1 = I - I_2 = 7A - 3A = 4A$$

02. Reduza as fontes de corrente em paralelo da figura abaixo a uma única fonte de corrente.



SOLUÇÃO:

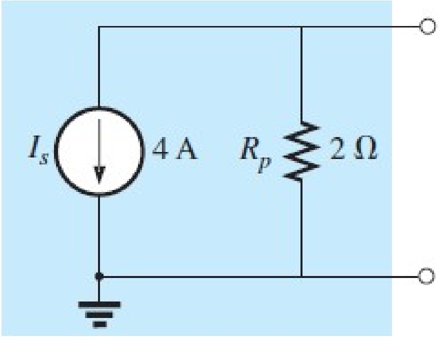
A corrente líquida da fonte é

I = 10 A - 6 A = 4 A na direção da maior.

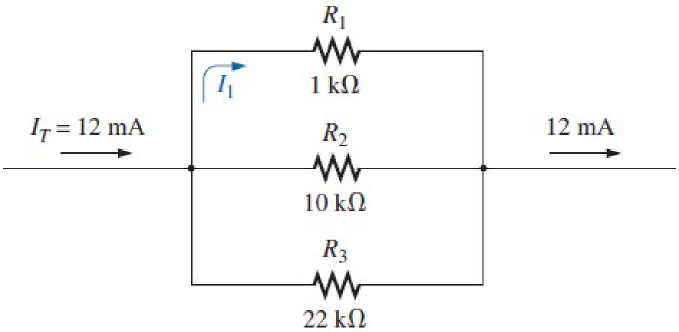
A resistência interna líquida é a combinação em paralelo das resistências, R_1 e R_2:

$$R_p = 3\Omega \| 6\Omega = 2\Omega$$

A fonte de corrente equivalente é mostrada na figura a seguir:



03. Determine a corrente I_1 no circuito da figura abaixo utilizando a regra do divisor de corrente.



SOLUÇÃO:

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

$$= \frac{1}{\frac{1}{1k\Omega}+\frac{1}{10k\Omega}+\frac{1}{22k\Omega}}$$

$$= \frac{1}{1x10^{-3}+100x10^{-6}+45,46x10^{-6}}$$

$$= \frac{1}{1,145x10^{-3}} = 873,01\Omega$$

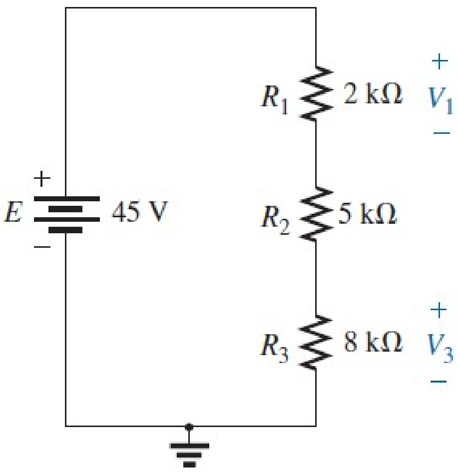
Como:

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

Termos:

$$I_1 = \frac{(873,01\Omega)}{1k\Omega}(12mA) = (0,873)(12mA) = 10,48mA$$

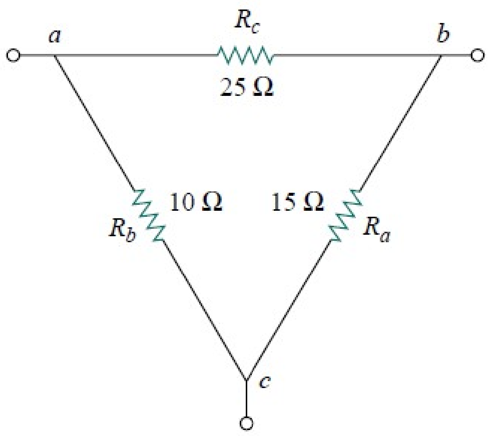
04. Usando a regra dos divisores de tensão, determine as tensões V_1 e V_3 para o circuito em série da figura.



SOLUÇÃO:

$$R_T = R_1 + R_2 + R_3$$
$$= 2k\Omega + 5k\Omega + 8k\Omega$$
$$R_T = 12k\Omega$$
$$V_1 = R_1 \frac{E}{R_T} = 2k\Omega\left(\frac{45V}{15k\Omega}\right) = 6V$$
$$V_3 = R_3 \frac{E}{R_T} = 8k\Omega\left(\frac{45V}{15k\Omega}\right) = 24V$$

05. Converta o circuito Δ da figura abaixo em um circuito Y.

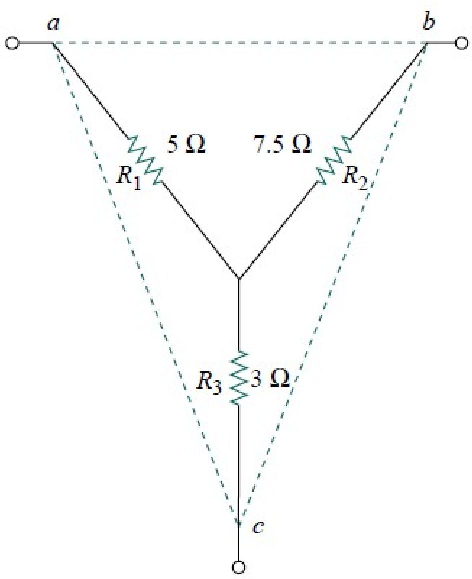


SOLUÇÃO:

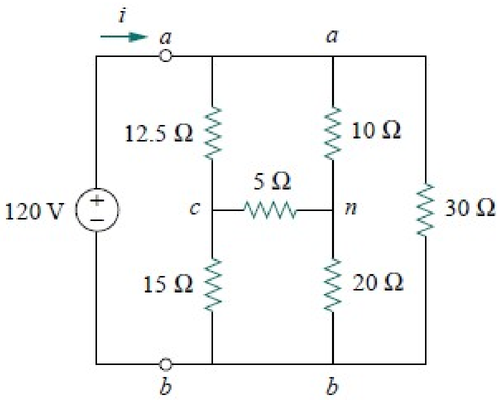
Usando as equações, temos:

$$R_1 = \frac{R_b R_c}{R_a + R_b + R_c} = \frac{25x10}{25+10+15} = \frac{250}{50} = 5\Omega$$
$$R_2 = \frac{R_c R_a}{R_a + R_b + R_c} = \frac{25x15}{50} = 7,5\Omega$$
$$R_3 = \frac{R_a R_b}{R_a + R_b + R_c} = \frac{15x10}{50} = 3\Omega$$

O equivalente Y é mostrado abaixo:



06. Obter a resistência R_{ab} equivalente para o circuito da figura abaixo e usá-lo para encontrar a corrente i.



SOLUÇÃO:

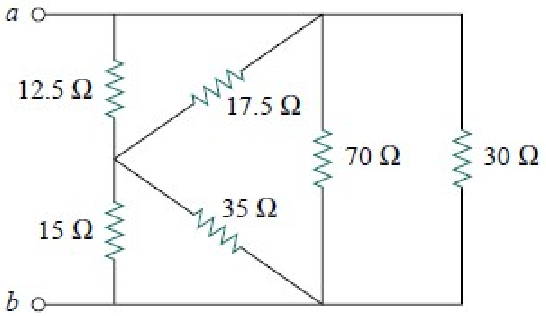
Neste circuito, existem duas redes Y e uma rede Δ. Transformar apenas um deles irá simplificar o circuito. Se convertermos a rede Y compreendendo as resistências 5Ω, 10Ω, e 20Ω, podemos selecionar R_1 = 10Ω, R_2 = 20Ω, R_3 = 5Ω. Assim, a partir das equações de transformações, temos

$$R_a = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_1} = \frac{10x20 + 20x5 + 5x10}{10} = 35\Omega$$

$$R_b = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_2} = \frac{350}{20} = 17,5\Omega$$

$$R_c = \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{R_3} = \frac{350}{5} = 70\Omega$$

Com o Y convertido para Δ, o circuito equivalente (com a fonte de tensão removida por enquanto) é mostrado na figura abaixo:



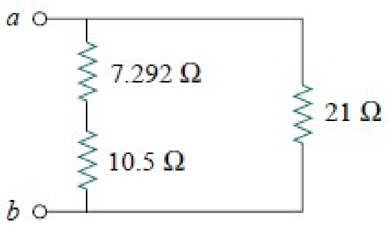
Combinando as três pares de resistências em paralelo, obtém-se

$$70\|30 = \frac{70x30}{70+30} = 21\Omega$$

$$12,5\|17,5 = \frac{12,5x17,5}{12,5+17,5} = 7,2917\Omega$$

$$15\|35 = \frac{15x35}{15+35} = 10,5\Omega$$

de modo que o circuito equivalente é mostrado na abaixo. Assim, encontramos

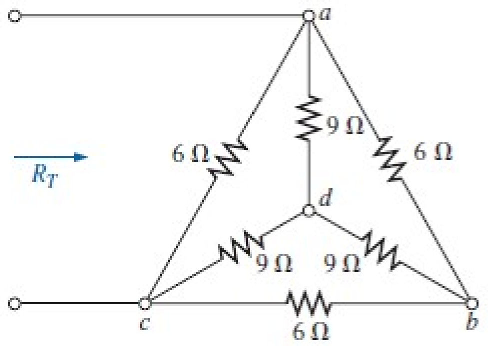


$$R_{ab} = (7,292 + 10,5)\|21 = \frac{17,792x21}{17,792+21} = 9,632\Omega$$

então

$$I = \frac{V_s}{R_{ab}} = \frac{120}{9,632} = 12,458A$$

07. Encontrar a resistência total da rede na figura a seguir:



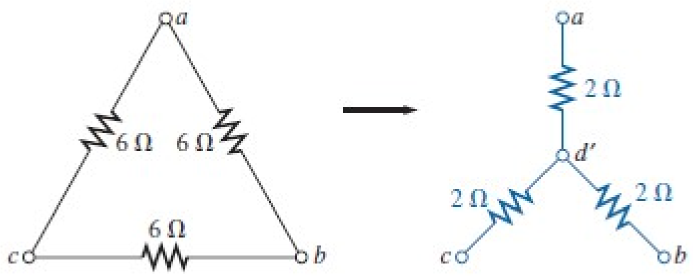
SOLUÇÃO:

Uma vez que todas as resistências do Δ ou Y são os mesmos, as equações 18 e 19 podem ser utilizadas para converter de uma forma para a outra.

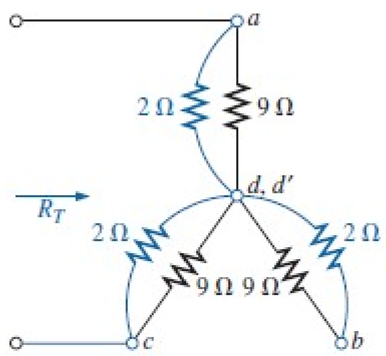
a) Convertendo o Δ para um Y:

Quando isto é feito, o d resultante da nova configuração Y será o mesmo que o ponto d mostrado na figura original, pois os dois sistemas estão "equilibrados". Isto é, a resistência em cada ramo de cada sistema tem o mesmo valor:

$$R_Y = \frac{R_\Delta}{3} = \frac{6\Omega}{3} = 2\Omega$$ figura abaixo



A rede, em seguida, é mostrada na figura a seguir:



$$R_T = 2\left[\frac{(2\Omega)(9\Omega)}{2\Omega + 9\Omega}\right] = 3{,}27\Omega$$

b. Convertendo o Y para um Δ:

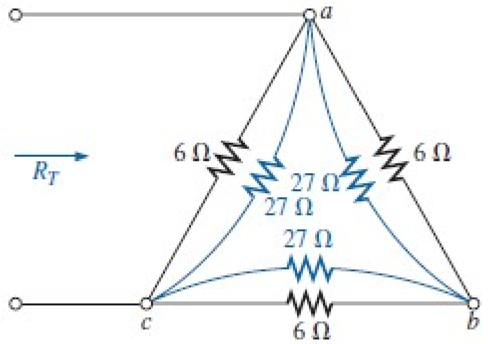
Ver figura abaixo:

$$R_\Delta = 3R_Y = (3)(9\Omega) = 27\Omega$$

$$R_T' = \frac{(6\Omega)(27\Omega)}{6\Omega + 27\Omega} = \frac{16\Omega}{33} = 4{,}91\Omega$$

$$R_T = \frac{R_T'(R_T' + R_T')}{R_T' + (R_T' + R_T')} = \frac{R_T' 2R_T'}{3R_T'} = \frac{2R_T'}{3}$$

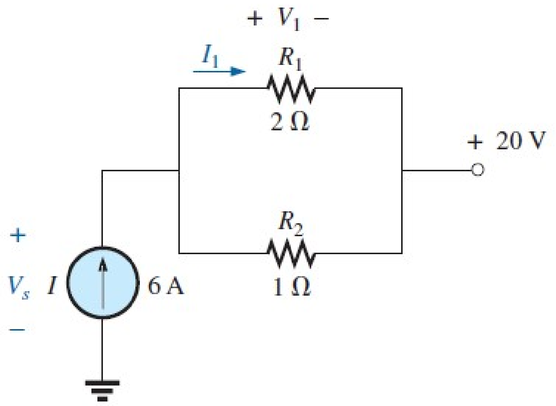
$$R_T = \frac{2(4{,}91\Omega)}{3} = 3{,}27\Omega$$



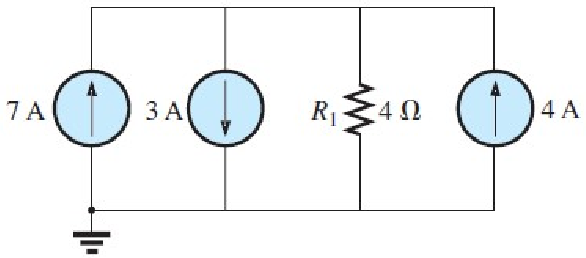
que verifica com a solução anterior.

EXERCÍCIOS PARA RESOLVER

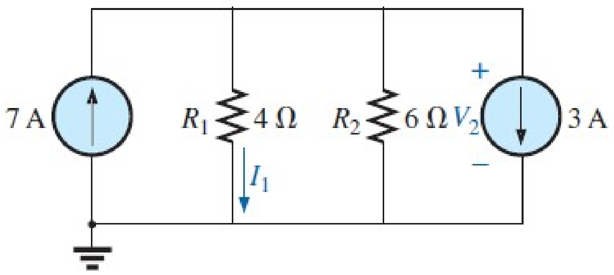
01. Determinar a corrente I_1 e a tensão V_s para a rede da figura abaixo:



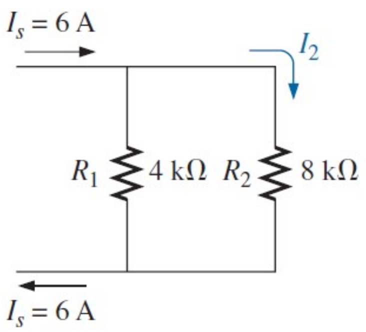
02. Reduza as fontes de corrente em paralelo da figura abaixo a uma única fonte de corrente.



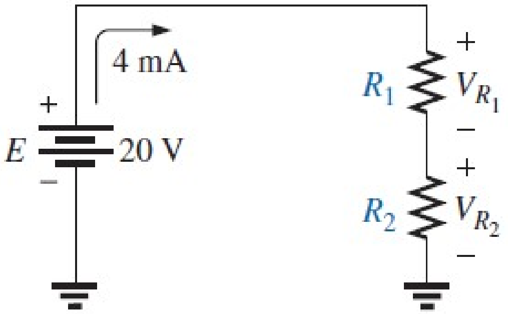
03. Encontre a tensão V_2 e a corrente I_1 para o circuito da figura abaixo:



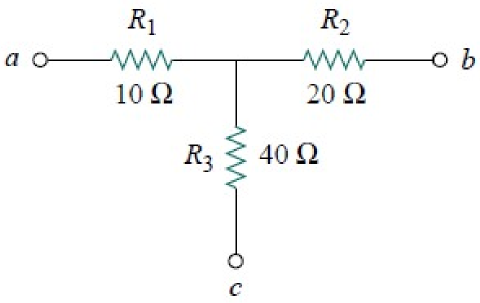
04. Determine a corrente I_2 no circuito da figura a seguir utilizando a regra do divisor de corrente.



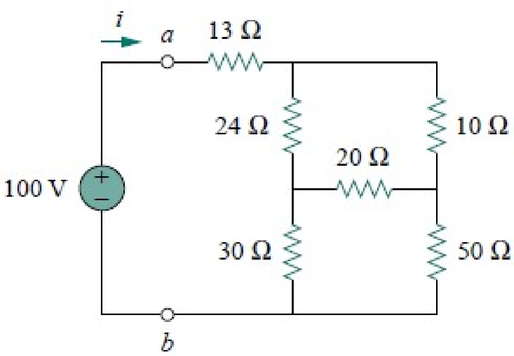
05. Determine os valores de R_1 e R_2 no divisor de tensão da figura para que $V_{R1} = 4V_{R2}$.



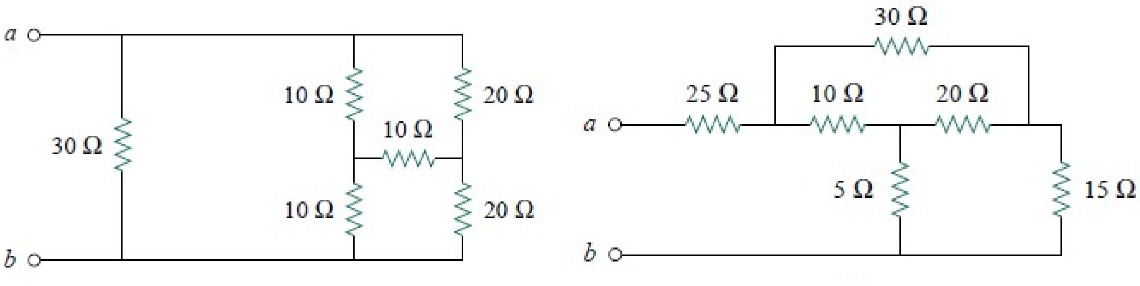
06. Converta o circuito Y da figura em um circuito Δ.



07. Para a rede da figura a seguir, encontre R_{ab} e i.

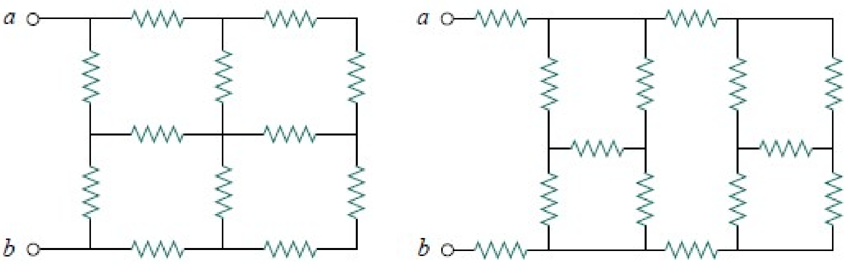


08. Obter a resistência equivalente nos terminais ab para cada um dos circuitos a seguir:



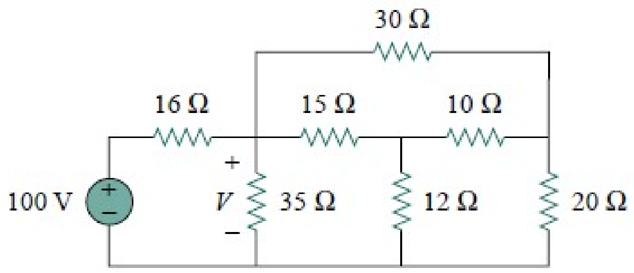
(a) (b)

09. Determinar a resistência equivalente R_{ab} em cada um dos circuitos das figuras abaixo. Cada resistor é de 100 Ω.

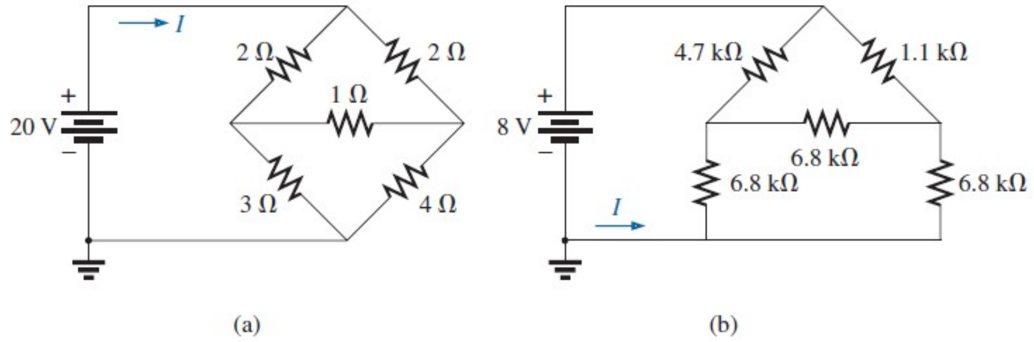


(a) (b)

10. Determinar V, no circuito da figura a seguir:

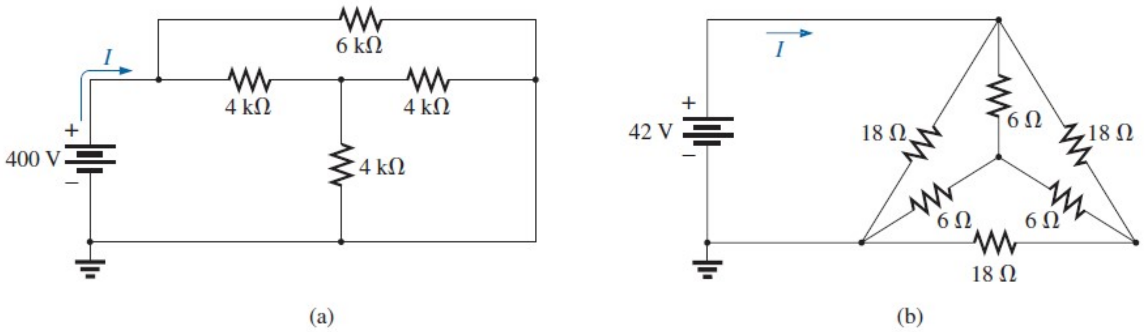


11. Usando uma conversão Δ-Y ou Y -Δ, encontre a corrente I nos circuitos abaixo:



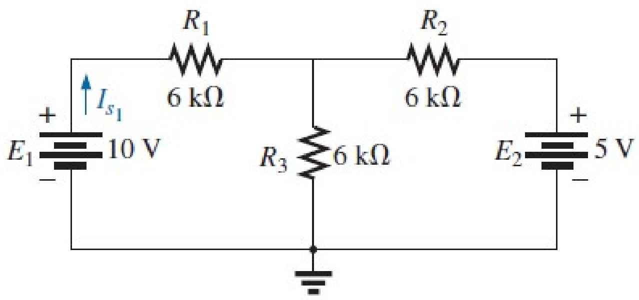
(a) (b)

12. Repita o problema 11 para os circuitos das figuras abaixo:



(a) (b)

13. Substitua a configuração T da figura abaixo (composta de resistores de 6 kΩ) por uma configuração π. Encontre a corrente I_{s1}.



14. Usando conversões Δ-Y ou Y -Δ, determine a resistência total do circuito da figura: