

Material de apoio ao aprendizado de Circuitos Elétricos I

Solução da Lista de Exercícios VI

Superposição e Transformação de Fonte

Coordenador: Prof. Mr. Volney Duarte Gomes

Aluno: Daniel Cabral Correa

Introdução

O presente trabalho é o resultado do projeto **Material de Apoio ao Aprendizado de Circuitos Elétricos I**, disciplina do curso de Engenharia de Telecomunicações, aprovado pela **Chamada Pública 04/2017 - Programa de Apoio a Projeto de Ensino, Pesquisa e Extensão no Câmpus São José - EDITAL - N04/2017**. A disciplina circuitos elétricos I, estuda as técnicas de superposição e transformação de fonte em cc e ca.

Visa deixar no ambiente Wiki IFSC Câmpus São José arquivos com as soluções da lista de exercícios de superposição e transformação de fonte em cc e ca para consulta dos alunos. É composto por:

Lista de exercícios Lista de Exercícios VI.pdf
Lista com os exercícios resolvidos Solução da Lista de Exercícios VI.pdf

Teorema da Superposição

O Teorema da superposição afirma que, para circuitos lineares, os valores de tensão e corrente em qualquer elemento passivo do circuito podem ser obtidos pelo somatório da contribuição de cada fonte independente.

Inicia-se o processo escolhendo uma fonte independente, em seguida as demais fontes devem ser substituídas, as fontes independentes de tensão por um curto-circuito e as fontes independentes de corrente por um circuito aberto, após isso deve-se calcular a contribuição da fonte escolhida.

Repete-se este processo até que se obtenha as contribuições de todas as fontes independentes. Por fim, deve-se somar a contribuição de cada fonte para obter a tensão ou corrente desejada.

Roteiro Superposição

- 1 Desligar todas as fontes independentes, exceto uma.**
- 2 Calcular a contribuição da fonte em funcionamento.**
 - 2.1 Escolher método de análise apropriado.**
 - 2.1.1 Seguir os roteiros apresentados nas soluções nas listas de exercícios anteriores.
- 3 Repetir esta etapa para todas as fontes independentes.**
- 4 Calcular o valor da tensão ou corrente desejada somando algebricamente todas as contribuições das fontes independentes.**

Circuitos selecionados

• Circuito 1.4	6
• Circuito 1.5	14
• Circuito 1.6	25
• Circuito 2.10	
• Circuito 2.11	
• Circuito 2.12	
• Circuito 3.1	
• Circuito 3.2	
• Circuito 3.3	
• Circuito 3.12	
• Circuito 4.1	
• Circuito 4.2	
• Circuito 4.3	
• Circuito 5.1	
• Circuito 5.2	
• Circuito 5.3	
• Circuito 5.4	
• Circuito 5.5	
• Circuito 5.6	

Questão 1.4 : Determine a tensão V_o

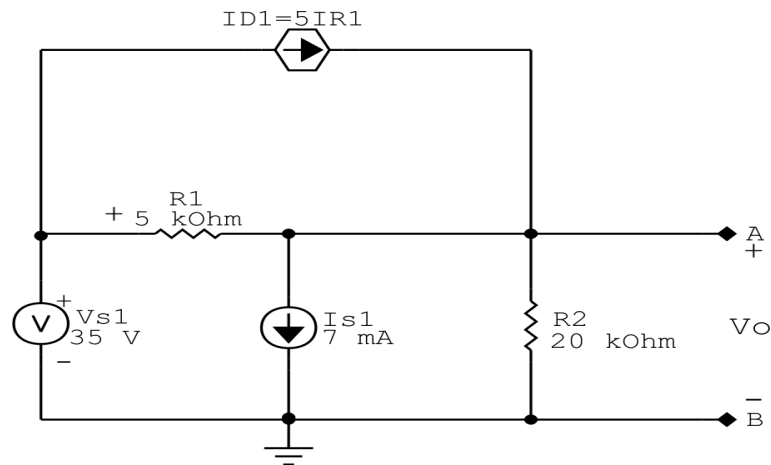


Figura 1: Circuito elétrico 1.4

Aplicando o Roteiro de Superposição

1 Desligar todas as fontes independentes, exceto uma.

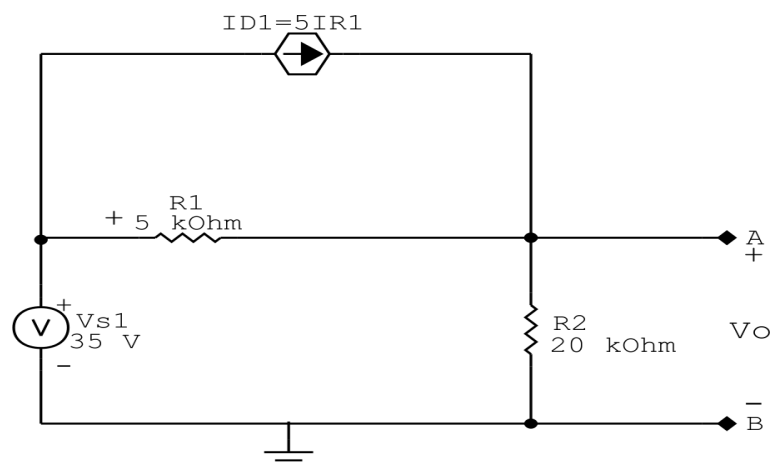


Figura 2: Circuito elétrico 1.4 - Apenas fonte Vs1 ligada

2 Calcular a contribuição da fonte em funcionamento.

2.1 Escolher método de análise apropriado.

2.1.1 Seguir os roteiros apresentados nas soluções nas listas de exercícios anteriores.

Método escolhido: Análise Nodal.

3 Identificar o Circuito

3.1 Se o circuito apresentar fontes de corrente alternada e estiver no domínio do tempo, aplicar a transformada fasorial para os elementos do circuito.

4 Identificar os Nós

4.1 Identificar os nós.

4.2 Definir o nó de referência.

4.3 Designar os demais nós essenciais.

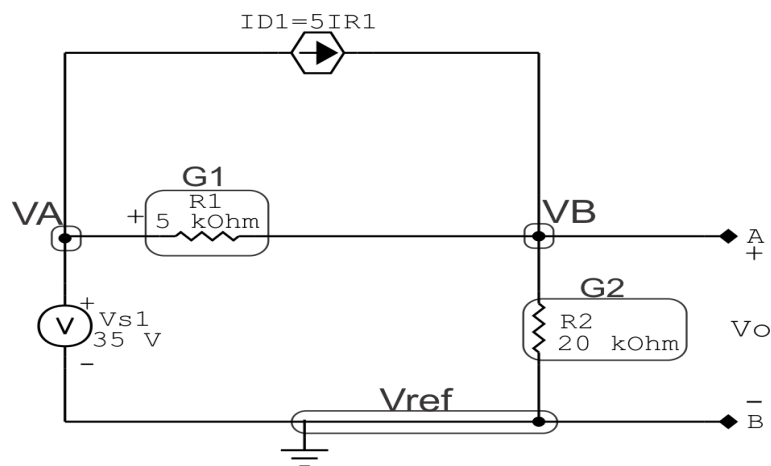


Figura 3: Circuito elétrico 1.4 - Apenas fonte Vs1 ligada - identificação de nós

5 Identificar o Circuito

5.1 Definir as impedâncias e admitâncias do circuito. $Y = \frac{1}{Z}$

Por ser um circuito de corrente contínua, estabelecer as condutâncias. $G = \frac{1}{R}$

$$R1 = 5000 \Omega \iff G1 = 0,0002 \text{ S}$$

$$R2 = 20\,000 \Omega \iff G2 = 0,00005 \text{ S}$$

5.2 Se todas as fontes são de correntes independentes: obter as equações por simples inspeção.

Não se aplica

5.3 Se possui fontes dependentes: estabelecer seu valor em função das tensões desconhecidas dos nós.

$ID1 = 5G1$, como $G1 = 0,0002 * (VA - VB)$ temos: $ID1 = 5(0,0002 * (VA - VB)) \implies ID1 = 0,001 * (VA - VB)A$

5.4 Se possuir fontes de tensão:

5.4.1 Identificar a região do supernó.

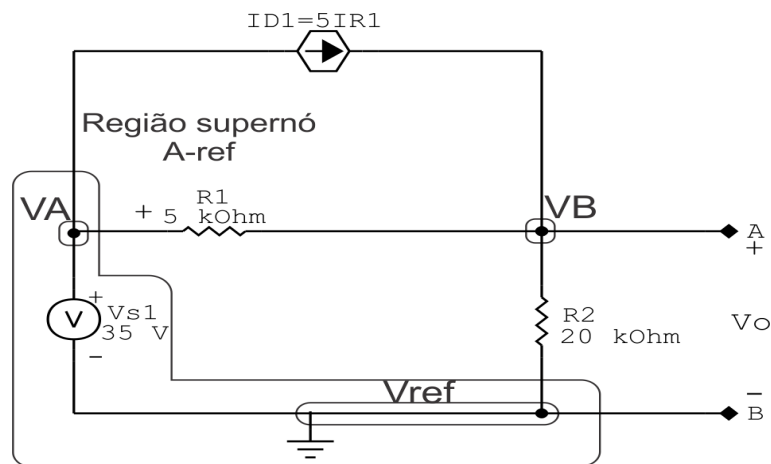


Figura 4: Circuito elétrico 1.4 - Apenas fonte Vs1 ligada - identificação supernó

5.4.2 Estabelecer a relações entre os nós envolvidos.

Supernó A-Ref: relação entre o nó A e o de Referência Vref

$VA - Vref = Vs1$, como $Vref = 0V$ e $Vs1 = 35V$, temos: $\implies VA = 35V$

5.5 Estabelecer as equações LKC para os nós e/ou supernó.

Equação no nó VB:

$G1(VB - VA) - ID1 + G2(VB) = 0$

$G1VB - G1VA + G2VB = ID1$

$(G1 + G2)VB = ID1 + G1VA$ Equação

6 Resolver as equações simultâneas para obter as tensões desconhecidas dos nós

Substituindo VA, ID1 e os valores das condutâncias na equação acima:

Na Equação 1:

$$(G1 + G2)VB = (0,001 * (35 - Vb)) + G1 * 35$$

$$(G1 + G2 + 0,001)VB = 0,035 + G1 * 35$$

$$((0,0002) + (0,00005) + (0,001))VB = 0,035 + (0,0002)(35)$$

$$(0,00125)VB = 0,042$$

$$VB = \frac{0,042}{0,00125}$$

$$VB = 33,6V$$

Assim temos:

$$VA = 35V$$

$$VB = 33,6V$$

Contribuição na fonte Vs1 para Vo:

$$Vo_{Vs1} = VB - Vref$$

$$Vo_{Vs1} = VB$$

$$Vo_{Vs1} = 33,6V$$

7 Repetir esta etapa para todas as fontes independentes.

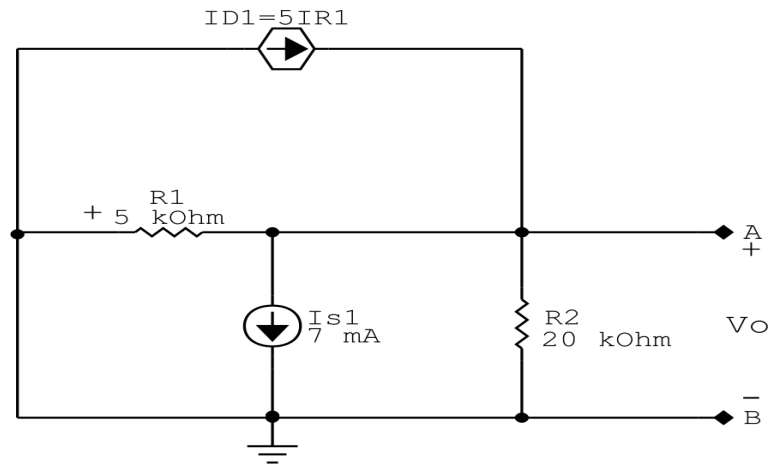


Figura 5: Circuito elétrico 1.4 - Apenas fonte Is1 ligada

8 Calcular a contribuição da fonte em funcionamento.

8.1 Escolher método de análise apropriado.

8.1.1 Seguir os roteiros apresentados nas soluções nas listas de exercícios anteriores.

Método escolhido: Análise Nodal.

9 Identificar o Circuito

9.1 Se o circuito apresentar fontes de corrente alternada e estiver no domínio do tempo, aplicar a transformada fasorial para os elementos do circuito.

10 Identificar os Nós

10.1 Identificar os nós.

10.2 Definir o nó de referência.

10.3 Designar os demais nós essenciais.

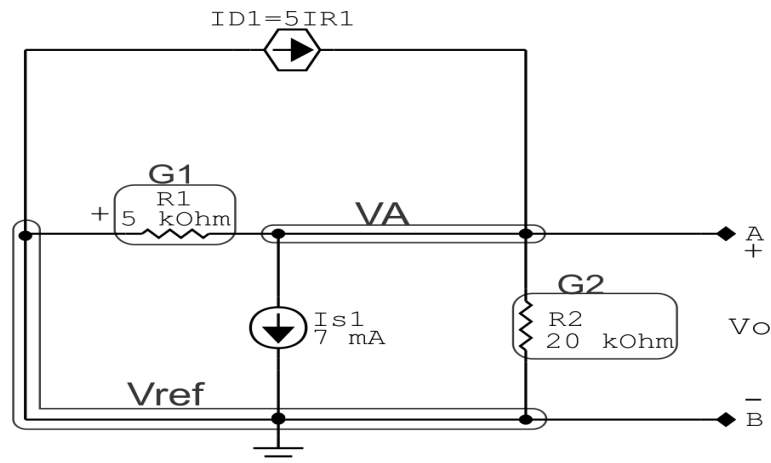


Figura 6: Circuito elétrico 1.4 - Apenas fonte Is1 ligada - identificação de nós

11 Identificar o Circuito

11.1 Definir as impedâncias e admitâncias do circuito. $Y = \frac{1}{Z}$

Por ser um circuito de corrente contínua, estabelecer as condutâncias. $G = \frac{1}{R}$

$$R1 = 5000 \Omega \iff G1 = 0,0002 \text{ S}$$

$$R2 = 20\,000 \Omega \iff G2 = 0,00005 \text{ S}$$

11.2 Se todas as fontes são de correntes independentes: obter as equações por simples inspeção.

Não se aplica

11.3 Se possui fontes dependentes: estabelecer seu valor em função das tensões desconhecidas dos nós.

$$ID1 = 5G1, \text{ como } G1 = 0,0002 * Va \text{ temos: } Id1 = 5(0,0002 * Va) \implies ID1 = -0,001 *$$

11.4 Se possuir fontes de tensão:

Não se aplica

11.4.1 Identificar a região do supernó.

Não se aplica

11.4.2 Estabelecer as relações entre os nós envolvidos.

Não se aplica

11.5 Estabelecer as equações LKC para os nós e/ou supernó.

Equação no nó VA:

$$G1 * (VA) + G2 * (VA) + 0,001 * (VA) = -Is1$$

$$(G1 + G2 + 0,001) * VA = -Is1 \dots\dots\dots \text{Equação}$$

12 Resolver as equações simultâneas para obter as tensões desconhecidas dos nós

Substituindo $Is1$, $ID1$ e os valores das condutâncias na equação acima:

Na Equação 1:

$$(G1 + G2 + 0,001) * VA = -Is1$$

$$((0,0002) + (0,00005) + (0,001)) VA = -0,007$$

$$(0,00125) VA = -0,007$$

$$VA = \frac{-0,007}{0,00125}$$

$$VA = -5,6 V$$

Assim temos:

$$VA = -5,6 V$$

Contribuição da fonte $Is1$ para Vo :

$$Vo_{Is1} = VA - Vref$$

$$Vo_{Is1} = VA$$

$$Vo_{Is1} = -5,6 V$$

13 Calcular o valor da tensão ou corrente desejada somando algebricamente todas as contribuições das fontes independentes.

$$V_o = V_{o_{V_{s1}}} + V_{o_{I_{s1}}}$$

$$V_o = (33,6) + (-5,6)$$

$$V_o = 28 \text{ V}$$

Questão 1.5 : Determine a tensão VR3

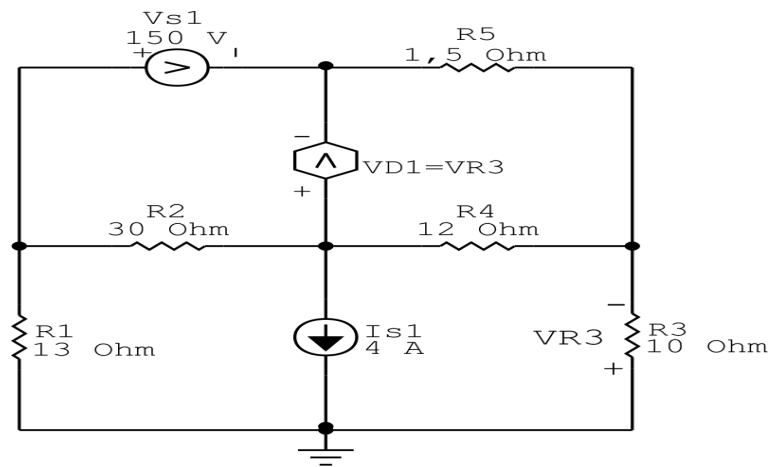


Figura 7: Circuito elétrico 1.5

Aplicando o Roteiro de Superposição

1 Desligar todas as fontes independentes, exceto uma.

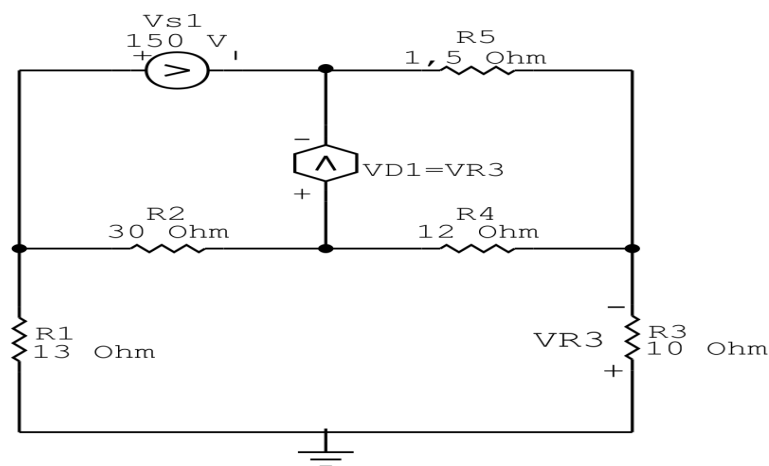


Figura 8: Circuito elétrico 1.5 - Apenas fonte Vs1 ligada

2 Calcular a contribuição da fonte em funcionamento.

2.1 Escolher método de análise apropriado.

2.1.1 Seguir os roteiros apresentados nas soluções nas listas de exercícios anteriores.

Método escolhido: Análise de Malha.

3 Identificar o Circuito

3.1 Se o circuito apresentar fontes de corrente alternada e estiver no domínio do tempo, aplicar a transformada fasorial para os elementos do circuito.

4 Identificar as malhas.

4.1 Identificar as malhas.

4.2 Definir as correntes fictícias das malhas no sentido horário.

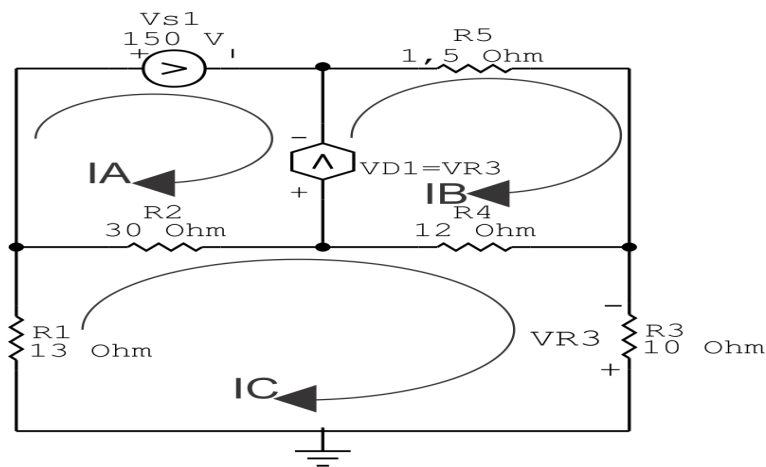


Figura 9: Circuito elétrico 1.5 - Apenas fonte Vs1 ligada - identificação de malhas

5 Obter as Equações Simultâneas

5.1 Definir as impedâncias e admitâncias do circuito.

$$R1 = 13 \Omega \quad R2 = 30 \Omega \quad R3 = 10 \Omega \quad R4 = 12 \Omega \quad R5 = 1,5 \Omega$$

5.2 Se todas as fontes são de tensão e independentes: obter as equações por simples inspeção.

Não se aplica

5.3 Se possui fontes dependentes: estabelecer seu valor em função das correntes fictícias das malhas.

$$VD1 = VR3 = (-R3 * IC) \implies VD1 = -10IC$$

5.4 Se possuir fontes de corrente:

Não se aplica

5.5 Estabelecer as equações LKT para as malhas e/ou supermalhas.

Equação na Malha A :

$$V_{s1} - V_{d1} + R_2(I_A - I_C) = 0$$

$$-V_{d1} + R_2I_A - R_2I_C = -V_{s1}$$

$$R_2I_A + (R_3 - R_2)I_C = -V_{s1} \dots\dots\dots \text{Equação 1}$$

Equação na Malha B :

$$V_{d1} + R_5(I_B) + R_4(I_B - I_C) = 0$$

$$V_{d1} + R_5I_B + R_4I_B - R_4I_C = 0$$

$$(R_4 + R_5)I_B - (R_3 + R_4)I_C = 0 \dots\dots\dots \text{Equação 2}$$

Equação na Malha C :

$$R_1(I_C) + R_2(I_C - I_A) + R_4(I_C - I_B) + R_3(I_C) = 0$$

$$R_1I_C + R_2I_C - R_2I_A + R_4I_C - R_4I_B + R_3I_C = 0$$

$$-R_2I_A - R_4I_B + (R_1 + R_2 + R_3 + R_4)I_C = 0 \dots\dots\dots \text{Equação 3}$$

6 Resolver as equações simultâneas para obter as correntes fictícias das malhas.

Substituindo V_{s1} , V_{d1} e os valores das condutâncias na equação acima:

Na Equação 1:

$$R_2I_A + (R_3 - R_2)I_C = -V_{s1}$$

$$30I_A - (10 - 30)I_C = -150$$

$$30I_A - 20I_C = -150 \dots\dots\dots \text{Equação 1}$$

Na Equação 2:

$$(R_4 + R_5)IB - (R_3 + R_4)IC = 0$$

$$(12 + 1, 5)IB - (12 + 10)IC = 0$$

$$13, 5IB - 22IC = 0 \dots\dots\dots \text{Equação 2}$$

Na Equação 3:

$$-R_2IA - R_4IB + (R_1 + R_2 + R_3 + R_4)IC = 0$$

$$-30IA - 12IB + (13 + 30 + 10 + 12)IC = 0$$

$$-30IA - 12IB + 65IC = 0 \dots\dots\dots \text{Equação 3}$$

Aplicando o Teorema de Cramer nas equações abaixo:

$$(30)IA - (20)IC = -150$$

$$(13,5)IB - (22)IC = 0$$

$$-(30)IA - (12)IB + (65)IC = 0$$

$$\begin{bmatrix} 30 & 0 & -20 \\ 0 & 13,5 & -22 \\ -30 & -12 & 65 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} IA \\ IB \\ IC \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -150 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 30 & 0 & -20 \\ 0 & 13,5 & -22 \\ -30 & -12 & 65 \end{vmatrix} = 26\,325 - 16\,020 = \Delta = 10\,305$$

$$\Delta_{IA} = \begin{vmatrix} -150 & 0 & -20 \\ 0 & 13,5 & -22 \\ 0 & -12 & 65 \end{vmatrix} = -131\,625 - (-39\,600) = \Delta_{IA} = -92\,025$$

$$IA = \frac{\Delta_{IA}}{\Delta} = \frac{-92\,025}{10\,305} \implies IA = -8,930\,131\,004\text{ A}$$

$$\Delta_{IB} = \begin{vmatrix} 30 & -150 & -20 \\ 0 & 0 & -22 \\ -30 & 0 & 65 \end{vmatrix} = -99\,000 - (0) = \Delta_{IB} = -99\,000$$

$$IB = \frac{\Delta_{IB}}{\Delta} = \frac{-99\,000}{10\,305} \implies IB = -9,606\,986\,9\text{ A}$$

$$\Delta_{ID} = \begin{vmatrix} 30 & 0 & -150 \\ 0 & 13,5 & 0 \\ -30 & -12 & 0 \end{vmatrix} = 0 - (60\,750) = \Delta_{ID} = -60\,750$$

$$ID = \frac{\Delta_{ID}}{\Delta} = \frac{-60\,750}{10\,305} \implies ID = -5,895\,196\,507\text{ A}$$

Assim temos:

$$IA = -8,930\,131\,004\text{ A}$$

$$IB = -9,606\,986\,9\text{ A}$$

$$IC = -5,895\,196\,507\text{ A}$$

Contribuição na fonte Vs1 para VR3:

$$VR3_{Vs1} = -IC * 10$$

$$VR3_{Vs1} = -(-5,895196507) * 10$$

$$VR3_{Vs1} = 58,95196507$$

$$VR3_{Vs1} = 58,952\text{ V}$$

7 Repetir esta etapa para todas as fontes independentes.

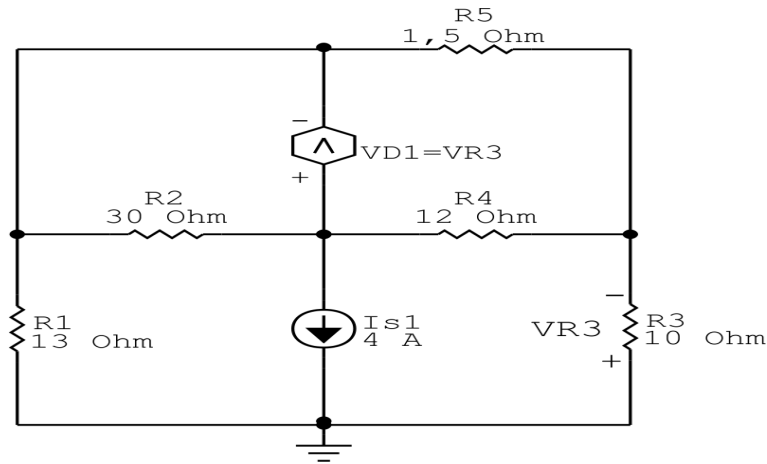


Figura 10: Circuito elétrico 1.5 - Apenas fonte Is1 ligada

8 Calcular a contribuição da fonte em funcionamento.

8.1 Escolher método de análise apropriado.

8.1.1 Seguir os roteiros apresentados nas soluções nas listas de exercícios anteriores.

Método escolhido: Análise de Malha.

9 Identificar o Circuito

9.1 Se o circuito apresentar fontes de corrente alternada e estiver no domínio do tempo, aplicar a transformada fasorial para os elementos do circuito.

10 Identificar as malhas.

10.1 Identificar as malhas.

10.2 Definir as correntes fictícias das malhas no sentido horário.

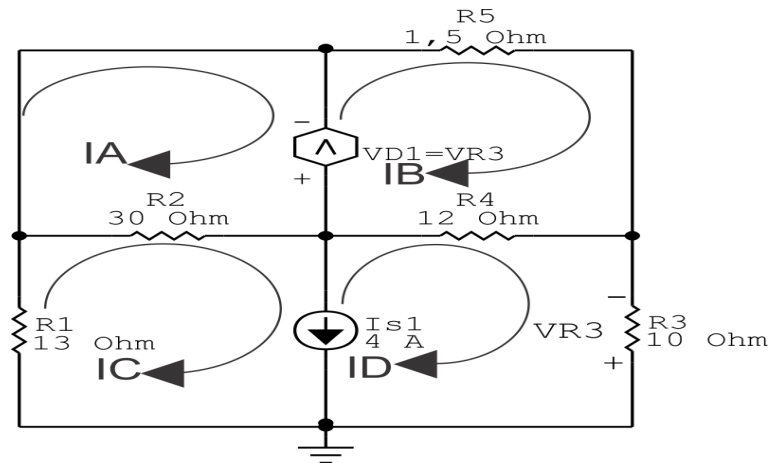


Figura 11: Circuito elétrico 1 - Apenas fonte I_{s1} ligada - identificação de malhas

11 Obter as Equações Simultâneas

11.1 Definir as impedâncias e admitâncias do circuito.

$$R1 = 13 \Omega \quad R2 = 30 \Omega \quad R3 = 10 \Omega \quad R4 = 12 \Omega \quad R5 = 1,5 \Omega$$

11.2 Se todas as fontes são de tensão e independentes: obter as equações por simples inspeção.

Não se aplica

11.3 Se possui fontes dependentes: estabelecer seu valor em função das correntes fictícias das malhas.

$$VD1 = VR3 = (-R3 * ID) \implies VD1 = -10ID$$

11.4 Se possuir fontes de corrente:

11.4.1 Se há fonte de corrente nos ramos externos do circuito.

Estabelecer a LKC em um dos nós por onde flui a corrente desta fonte.

Não se aplica.

11.4.2 Se há fonte de corrente nos ramos internos do circuito.

3.4.2.1 Identificar a Supermalha.

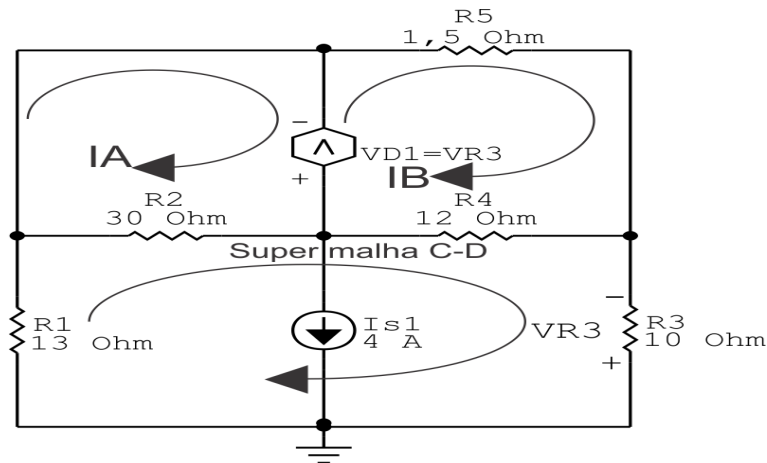


Figura 12: Circuito elétrico 1 - Apenas fonte Is1 ligada - identificação de supermalha

3.4.2.2 Estabelecer a LKC em um dos nós por onde flui a corrente desta fonte.

$$I_C - I_D = I_{s1}, \text{ e como } I_{s1} = 0,007 \text{ A} \implies I_C = 0,007 + I_D.$$

11.5 Estabelecer as equações LKT para as malhas e/ou supermalhas.

Equação na Malha A :

$$-VD1 + R2(I_A - I_C) = 0$$

$$-VD1 + R2I_A - R2I_C = 0 \dots\dots\dots \text{Equação 1}$$

Equação na Malha B :

$$VD1 + R5(I_B) + R4(I_B - I_D) = 0$$

$$VD1 + R5I_B + R4I_B - R4I_D = 0$$

$$(R4 + R5)I_B - R4I_D + VD1 = 0 \dots\dots\dots \text{Equação 2}$$

Equação na super malha :

$$R1(IC) + R2(IC - IA) + R4(ID - IB) + R3(ID) = 0$$

$$R1IC + R2IC - R2IA + R4ID - R4IB + R3ID = 0$$

$$-R2IA - R4IB + (R1 + R2)IC + (R3 + R4)ID = 0 \dots\dots\dots \text{Equação 3}$$

12 Resolver as equações simultâneas para obter as correntes fictícias das malhas.

Substituindo $IS1$, $VD1$ e os valores das condutâncias na equação acima:

Na Equação 1:

$$-VD1 + R2IA - R2IC = 0$$

$$-(-10ID) + 30IA - 30(ID + 0,007) = 0$$

$$30IA - 20ID = 0,21 \dots\dots\dots \text{Equação 1}$$

Na Equação 2:

$$(R4 + R5)IB - R4ID + VD1 = 0$$

$$(12 + 1,5)IB - 12ID + (-10ID) = 0$$

$$13,5IB - 22ID = 0 \dots\dots\dots \text{Equação 2}$$

Na Equação 3:

$$-R2IA - R4IB + (R1 + R2)IC + (R3 + R4)ID = 0$$

$$-30IA - 12IB + 43(ID + 0,007) + 22ID = 0$$

$$-30IA - 12IB + 65ID = 0,301 \dots\dots\dots \text{Equação 3}$$

Aplicando o Teorema de Cramer nas equações abaixo:

$$(30)IA - (20)ID = 0,21$$

$$(13,5)IB - (22)ID = 0$$

$$-(30)IA - (12)IB + (65)IC = -0,301$$

$$\begin{bmatrix} 30 & 0 & -20 \\ 0 & 13,5 & -22 \\ -30 & -12 & 65 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} IA \\ IB \\ IC \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,21 \\ 0 \\ -0,301 \end{bmatrix}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 30 & 0 & -20 \\ 0 & 13,5 & -22 \\ -30 & -12 & 65 \end{vmatrix} = 26\,325 - 16\,020 = \Delta = 10\,305$$

$$\Delta_{IA} = \begin{vmatrix} 0,21 & 0 & -20 \\ 0 & 13,5 & -22 \\ -0,301 & -12 & 65 \end{vmatrix} = 184,275 - (136,71) = \Delta_{IA} = 47,565$$

$$IA = \frac{\Delta_{IA}}{\Delta} = \frac{47,565}{10\,305} \implies IA = 0,004\,615\,720\,524\,A$$

$$\Delta_{IB} = \begin{vmatrix} 30 & 0,21 & -20 \\ 0 & 0 & -22 \\ -30 & -0,301 & 65 \end{vmatrix} = 138,6 - (198,66) = \Delta_{IB} = -60,06$$

$$IB = \frac{\Delta_{IB}}{\Delta} = \frac{-60,06}{10\,305} \implies IB = -0,005\,828\,238\,719\,A$$

$$\Delta_{ID} = \begin{vmatrix} 30 & 0 & 0,21 \\ 0 & 13,5 & 0 \\ -30 & -12 & -0,301 \end{vmatrix} = -121,905 - (-85,05) = \Delta_{ID} = -36,855$$

$$ID = \frac{\Delta_{ID}}{\Delta} = \frac{-36,855}{10\,305} \implies ID = -0,003\,576\,419\,214\,A$$

Assim temos:

$$IA = 0,004\ 615\ 720\ 524\ A$$

$$IB = -0,005\ 828\ 238\ 719\ A$$

$$ID = -0,003\ 576\ 419\ 214\ A$$

Contribuição na fonte Is1 para VR3:

$$VR3_{Is1} = -ID * 10$$

$$VR3_{Is1} = -(-0,003576419214) * 10$$

$$VR3_{Is1} = 0,03576419214$$

$$VR3_{Is1} = 0,036\ V$$

13 Calcular o valor da tensão ou corrente desejada somando algebricamente todas as contribuições das fontes independentes.

$$VR3 = VR3_{VS1} + VR3_{IS1}$$

$$VR3 = (58,952) + (0,036)$$

$$VR3 = 58,988\ V$$

Questão 1.6 : Determine a tensão VR2

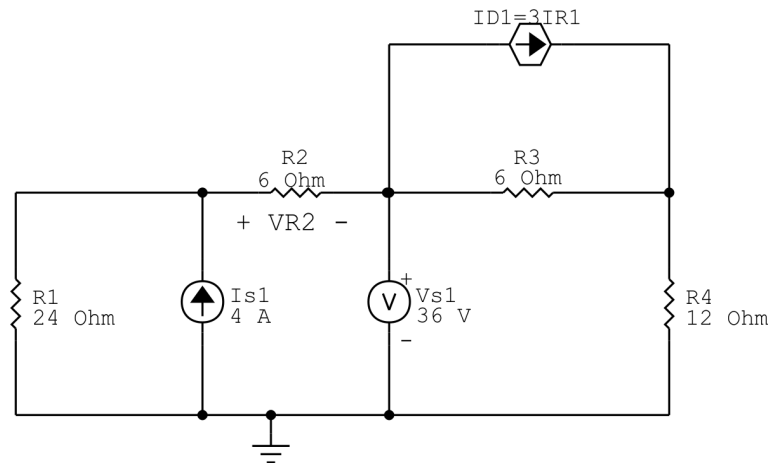


Figura 13: Circuito elétrico 1.6

Aplicando o Roteiro de Superposição

1 Desligar todas as fontes independentes, exceto uma.

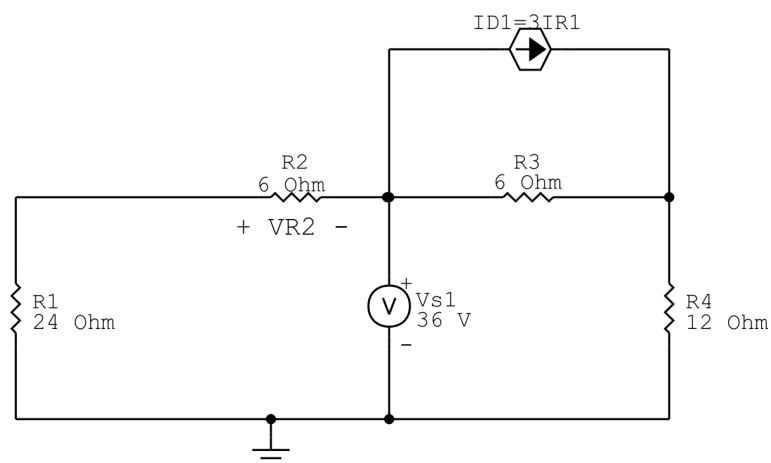


Figura 14: Circuito elétrico 1.6 - Apenas fonte Vs1 ligada

2 Calcular a contribuição da fonte em funcionamento.

2.1 Escolher método de análise apropriado.

2.1.1 Seguir os roteiros apresentados nas soluções nas listas de exercícios anteriores.

Como os dois resistores estão paralelo com a fonte V_{s1} , podemos fazer um divisor de tensão para determinar o valor de V_{R2} .

Método escolhido: Divisor de Tensão.

$$V_{R2} = -\frac{V_{s1} * R2}{R1 + R2}$$

$$V_{R2} = -\frac{36 * 6}{6 + 24}$$

$$V_{R2} = -\frac{216}{30}$$

$$V_{R2} = -7,2 \text{ V}$$

Contribuição na fonte V_{s1} para V_{R2} :

$$V_{R2_{V_{s1}}} = V_{R2}$$

$$V_{R2_{V_{s1}}} = -7,2 \text{ V}$$

3 Repetir esta etapa para todas as fontes independentes.

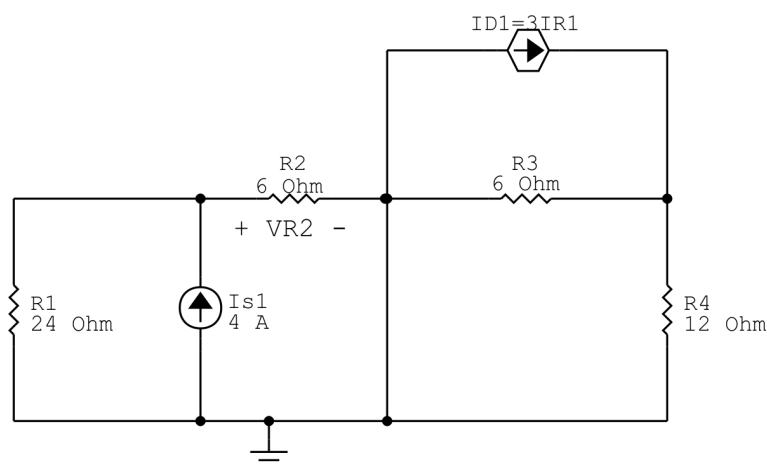


Figura 15: Circuito elétrico 1 - Apenas fonte I_{s1} ligada

4 Calcular a contribuição da fonte em funcionamento.

4.1 Escolher método de análise apropriado.

4.1.1 Seguir os roteiros apresentados nas soluções nas listas de exercícios anteriores.

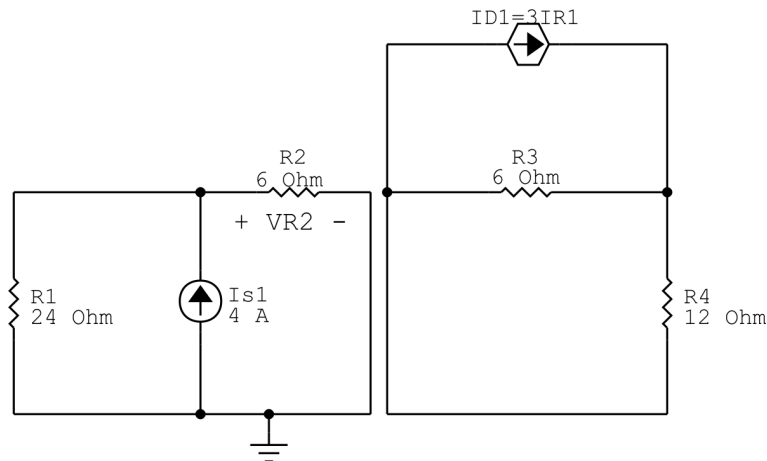


Figura 16: Circuito elétrico 1 - Apenas fonte V_{S1} ligada - seleção de nós

A existência do curto circuito elimina a influencia da fonte $ID1$ sobre o resistor $R2$, então ficamos somente com o circuito a seguir:

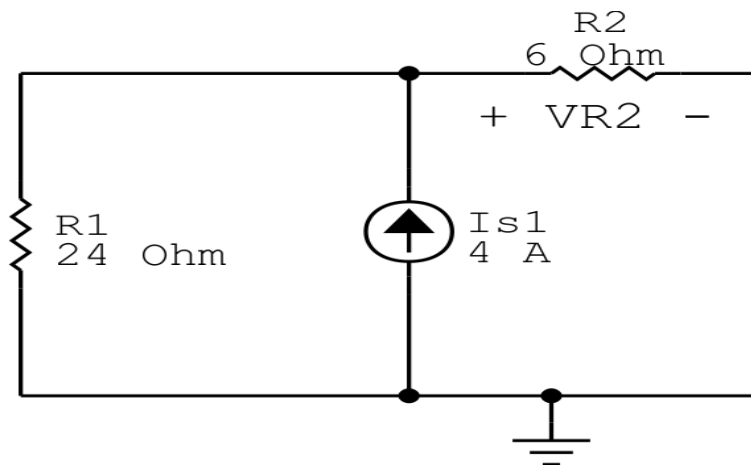


Figura 17: Circuito elétrico 1 - Apenas fonte V_{S1} ligada - seleção de nós

Método escolhido: Divisor de Corrente.

$$IR_2 = \frac{Is_1 * R_1}{R_1 + R_2}$$

$$IR_2 = \frac{4 * 24}{6 + 24}$$

$$IR_2 = \frac{96}{30}$$

$$IR_2 = 3,2 \text{ A}$$

Contribuição na fonte Is1 para VR2:

$$VR_{2_{Is1}} = IR_2 * R_2$$

$$VR_{2_{Is1}} = 3,2 * 6$$

$$VR_{2_{Is1}} = 19,2 \text{ V}$$

5 Calcular o valor da tensão ou corrente desejada somando algebricamente todas as contribuições das fontes independentes.

$$VR_2 = VR_{2_{Vs1}} + VR_{2_{Is1}}$$

$$VR_2 = (-7,2) + (19,2)$$

$$VR_2 = 12 \text{ V}$$