



**Escola de Engenharia  
de São Carlos**

**Universidade de São Paulo**

**Departamento de Engenharia Elétrica e Computação**

# **I Exercício de Simulação Computacional**

**SEL 602 - Circuitos Elétricos**

**Professor Dr. Mário Oleskovicz  
PAE Áthila Quaresma Santos**

**Aluno: Moisés Botarro Ferraz Silva**

**Nº USP: 8504135**

**Engenharia de Computação**

**São Carlos, 28 de abril de 2014**

# 1. Enunciado

## EXERCÍCIO 01

Usando análise de malhas, calcule  $v$ ,  $v_1$  e  $i_1$  e a corrente nos resistores de 4 e de 2 Ohm.

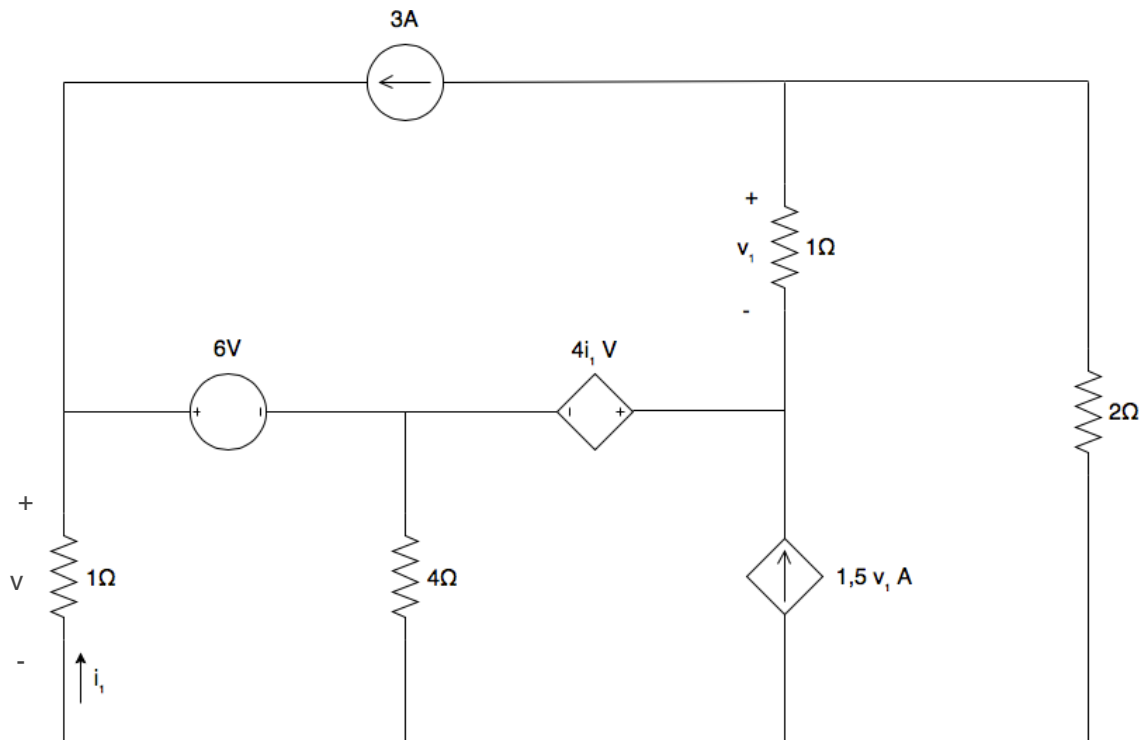


Figura 1 - Circuito Elétrico para Análise

## EXERCÍCIO 02

Para o mesmo circuito anterior, calcule o equivalente de *Thévenin*, visto a partir do resistor de 2  $\Omega$ . (Dica: para a análise computacional, utilize a função TF do SPICE).

# 2. Resolução Teórica

## EXERCÍCIO 01

Conforme foi solicitado, utilizou-se a Análise de Malhas para a resolução do circuito, encontrando os valores de  $v$ ,  $v_1$  e  $i_1$  e a corrente nos resistores de  $4\ \Omega$  e de  $2\ \Omega$ .

Para tal, identificou-se as malhas com as respectivas correntes de malha conforme ilustra a figura abaixo.

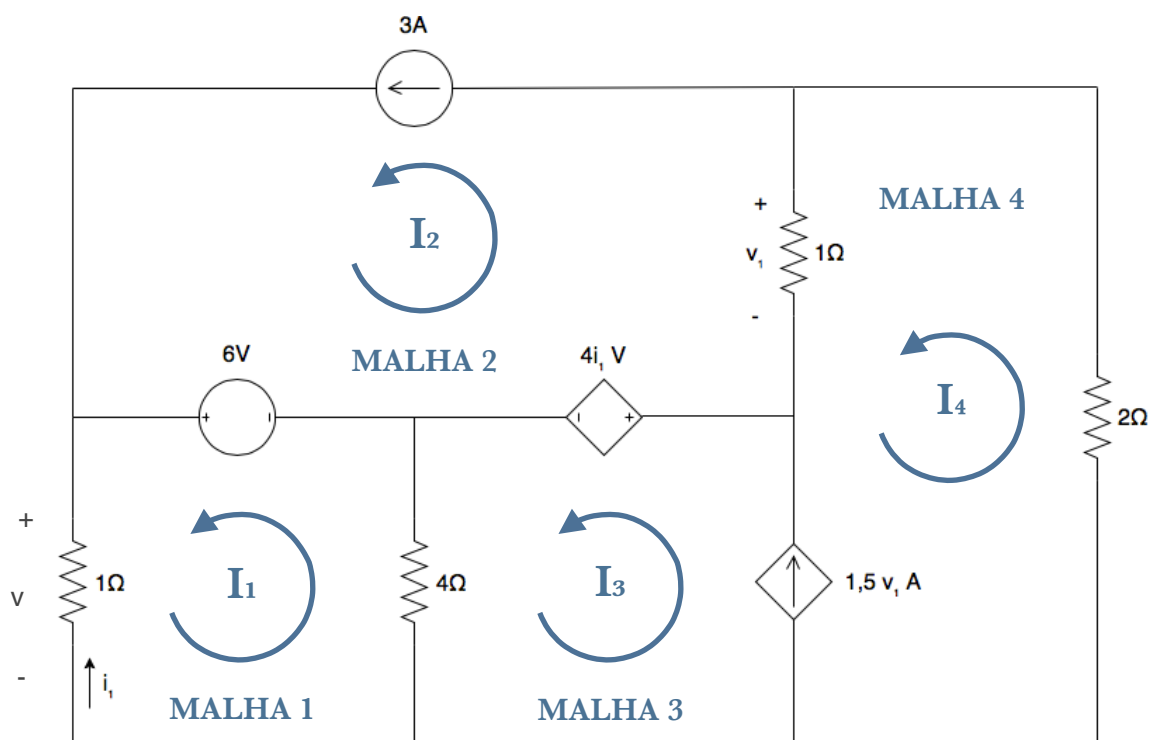


Figura 2 - Identificação das malhas com suas respectivas correntes

A seguir, é apresentada a equação característica de cada malha, usando a Lei de Kirchhoff das Tensões:

(a) Malha 1

Aplicando LKT no sentido indicado na figura,

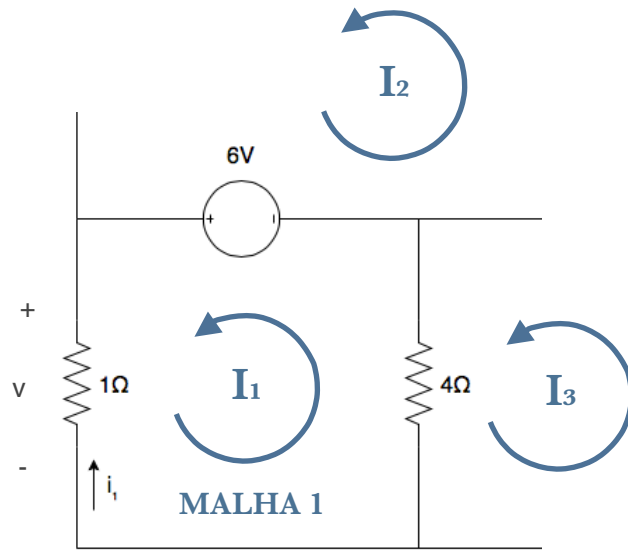


Figura 3 - Malha 1

$$I_1 \cdot (1\Omega) + (I_1 - I_3) \cdot 4 - 6 = 0$$

$$I_1 + 4I_1 - 4I_3 = 6$$

$$5I_1 - 4I_3 = 6 \quad (1^a \text{ Equação})$$

(b) Malha 2

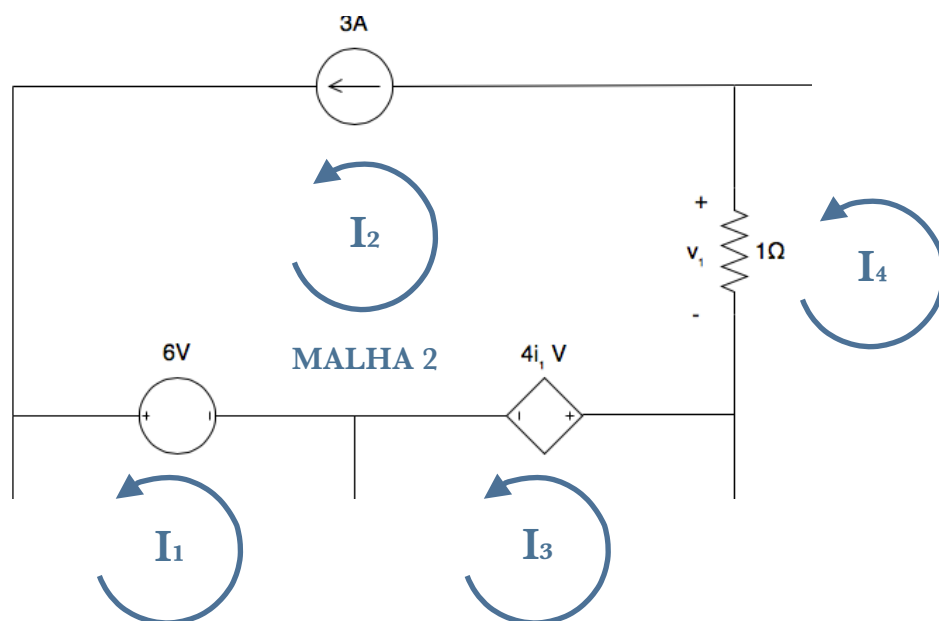


Figura 4 - Malha 2

Por inspeção do Circuito, obtém-se

$$I_2 = 3A$$

(c) Malha 3 e Malha 4

Nas malhas 3 e 4, há uma fonte de corrente. Como não se sabe a tensão presente nela, pode-se relacionar  $I_3$  e  $I_4$  com o valor da fonte de corrente, obtendo uma segunda equação para o sistema. Em seguida, inativa-se a fonte dependente de corrente (abrindo os seus terminais) e usando o princípio da super malha, aplica-se LKT na super malha resultante das malhas 3 e 4 obtendo-se assim, a terceira equação para o sistema.

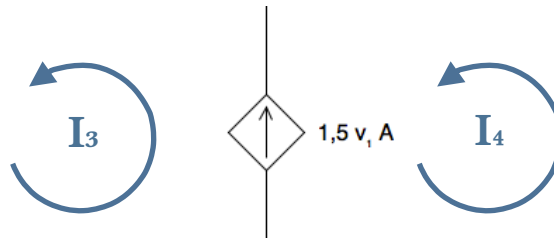


Figura 5 - Relação entre as correntes das malhas 3 e 4 com a fonte dependente de corrente

$$I_3 - I_4 = 1,5v_1 \text{ (I)}$$

Analisando o resistor no qual está aplicada a tensão  $v_1$  na figura 4, obtém-se:

$$v_1 = (I_4 - I_2) \cdot 1$$

$$v_1 = (I_4 - 3) \text{ (II)}$$

Substituindo (II) em (I), obtém-se a 2ª Equação:

$$I_3 - I_4 = 1,5 \cdot (I_4 - 3) = 1,5I_4 - 4,5$$

$$I_3 - I_4 - 1,5I_4 = -4,5$$

$$I_3 - 2,5I_4 = -4,5 \text{ (2ª Equação)}$$

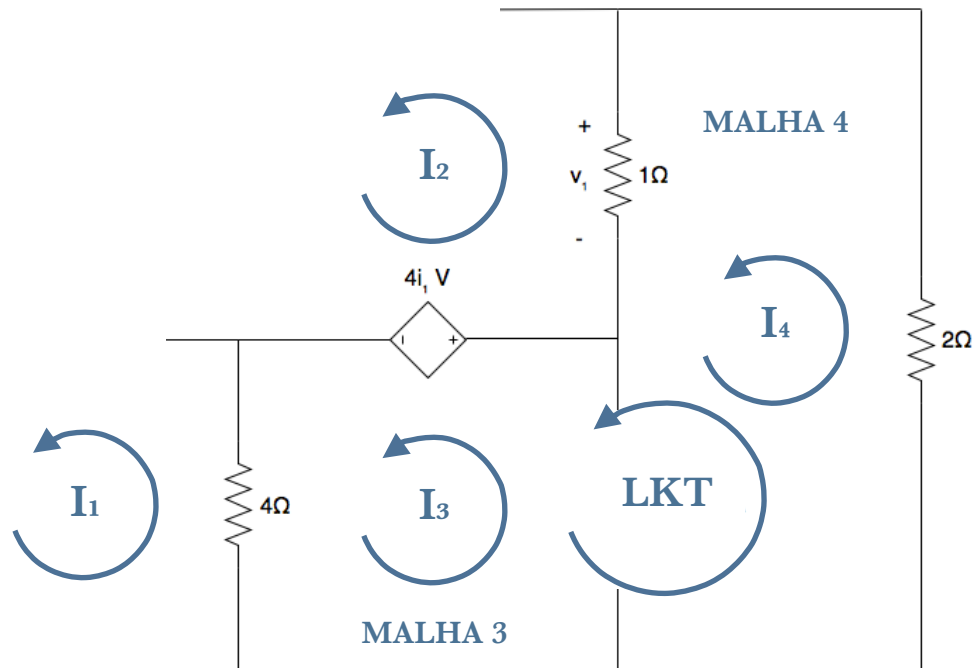


Figura 6 - Super Malha formada pelas Malhas 3 e 4

Aplicando LKT na Super Malha, obtém-se a 3ª Equação para o sistema:

$$(I_3 - I_1) \cdot 4 + 2I_4 + (I_4 - I_2) \cdot 1 + 4i_1 = 0$$

Pela análise da da malha 1 na figura 3, obtém-se:

$$i_1 = -I_1$$

Logo, substituindo-se na equação da super malha,

$$(I_3 - I_1) \cdot 4 + 2I_4 + (I_4 - I_2) \cdot 1 - 4I_1 = 0$$

$$4I_3 - 4I_1 + 2I_4 + I_4 - I_2 - 4I_1 = 0$$

$$-8I_1 - I_2 + 4I_3 + 3I_4 = 0$$

Substituindo o valor encontrado para  $I_2$ ,

$$-8I_1 - 3 + 4I_3 + 3I_4 = 0$$

$$-8I_1 + 4I_3 + 3I_4 = 3 \text{ (3ª Equação)}$$

Com as três equações acima, encontra-se o seguinte sistema com 3 variáveis:

$$\begin{cases} 5I_1 - 4I_3 = 6 \\ I_3 - 2,5I_4 = -4,5 \\ -8I_1 + 4I_3 + 3I_4 = 3 \end{cases}$$

Montando o sistema na forma matricial,

$$\begin{pmatrix} 5 & -4 & 0 \\ 0 & 1 & -2,5 \\ -8 & 4 & 3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_3 \\ I_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 6 \\ -4,5 \\ 3 \end{pmatrix}$$

Aplicando a Regra de Cramer, pode-se resolver o sistema acima, chegando aos seguintes resultados:

$$I_1 = -3,6A$$

$$I_3 = -6A$$

$$I_4 = -0,6A$$

Com as correntes de malha calculadas, pode-se obter os valores de tensão e corrente pedidos no exercício. Para auxílio, o circuito foi redesenhado, com as correntes de malha representadas com seus respectivos valores.

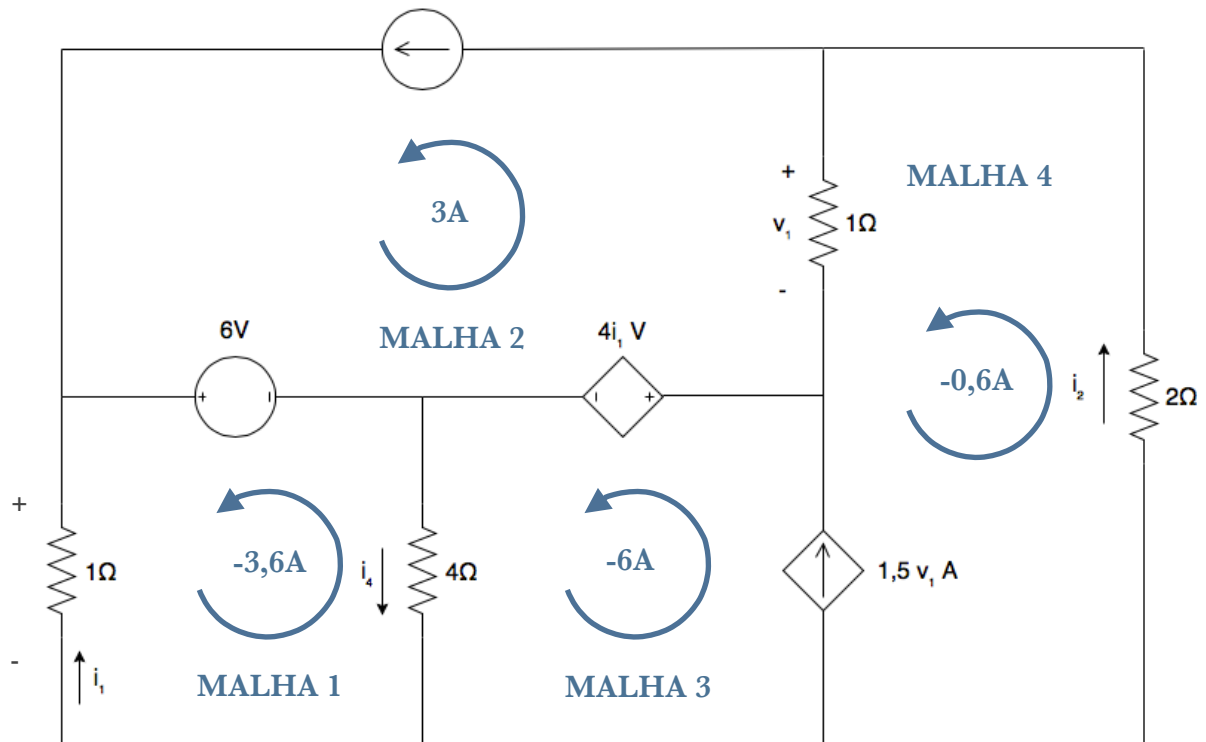


Figura 7 - Circuito com as respectivas correntes de malha

Cálculo de  $v$ :

$$v = (1\Omega) \cdot I_1$$

$$v = (1\Omega) \cdot (-3,6A)$$

$$v = -3,6V$$

Cálculo de  $v_1$ :

$$v_1 = (I_4 - I_2) \cdot (1\Omega)$$

$$v_1 = (-0,6 - 3) \cdot (1\Omega)$$

$$v_1 = -3,6V$$

Cálculo de  $i_1$

$$i_1 = -I_1$$

$$i_1 = 3,6A$$



Cálculo da corrente no Resistor de  $4\Omega$  (tomando o sentido apresentado na figura 7):

$$i_4 = I_3 - I_1 = -6A - (-3,6A)$$

$$i_4 = -2,4A$$

Cálculo da corrente no Resistor de  $2\Omega$  (tomando o sentido apresentado na figura 7):

$$i_2 = I_4 = -0,6A$$

## EXERCÍCIO 02

Para calcular o Circuito Equivalente de Thévenin, precisa-se da Tensão Equivalente de Thévenin e da Resistência Equivalente de Thévenin.

### 2.1 Tensão Equivalente de Thévenin

Como deseja-se obter o Circuito Equivalente visto a partir do Resistor de  $2\Omega$ , retira-se esse elemento do circuito e calcula-se a tensão nos terminais em aberto, que será igual à Tensão Equivalente de Thévenin. O circuito a ser estudado é representado abaixo.

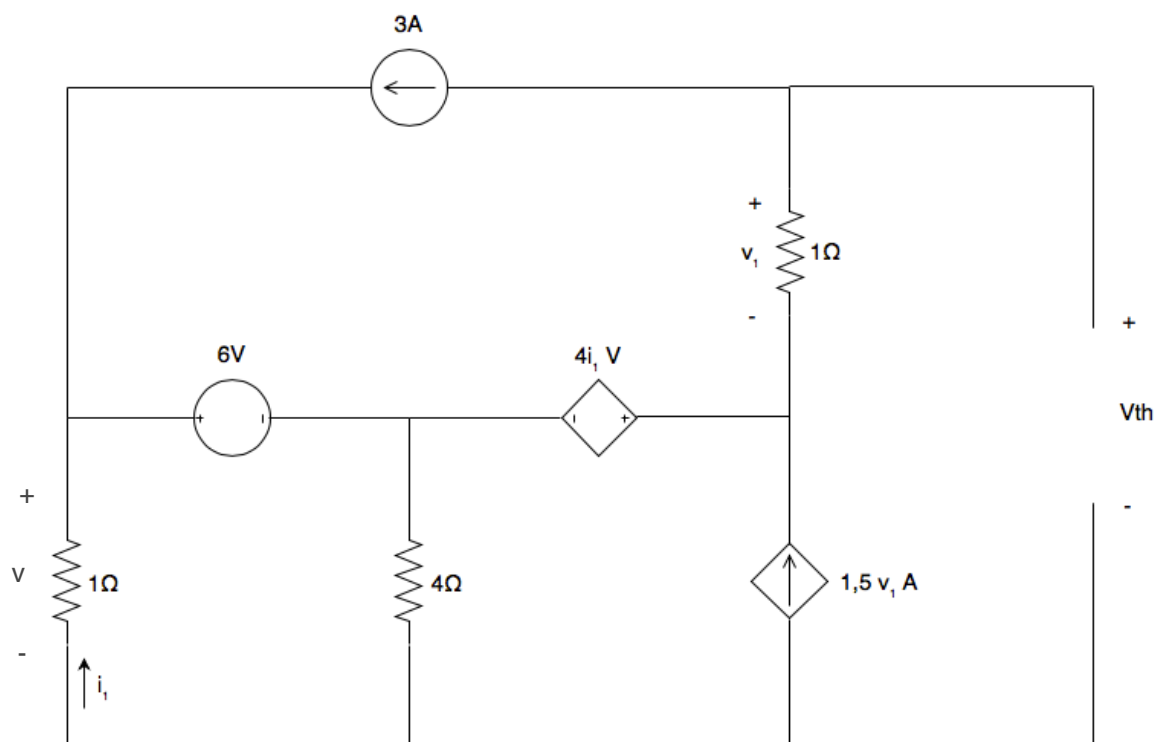


Figura 8.a - Circuito para o Cálculo da Tensão de Thévenin

Para o cálculo da Tensão  $V_{th}$ , será utilizada a Análise Nodal. No circuito da figura 8 há 5 nós. Um deles foi tomado como referência e os demais foram numerados conforme a próxima figura.

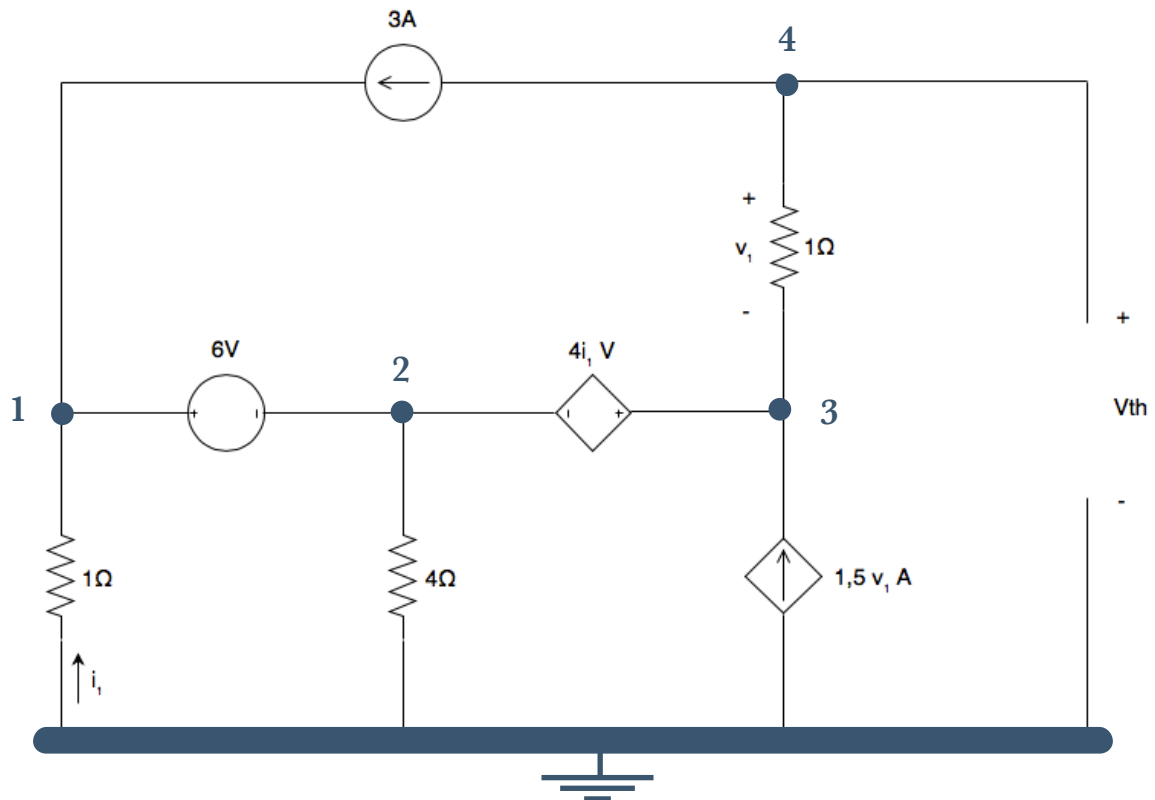


Figura 8.b - Circuito para o Cálculo da Tensão de Thévenin com Nós identificados

Como há fontes de tensão entre os nós 1 e 2 e entre 2 e 3, inativa-se essas fontes (curto circuitando seus terminais), obtendo-se um super nó conforme indicado abaixo. Aplica-se a Lei de Kirchhoff para as Correntes para o super nó e para o nó 4, seguindo a convenção: corrente saindo do nó é tomada como positiva, e corrente entrando como negativa.

(a) Super Nó

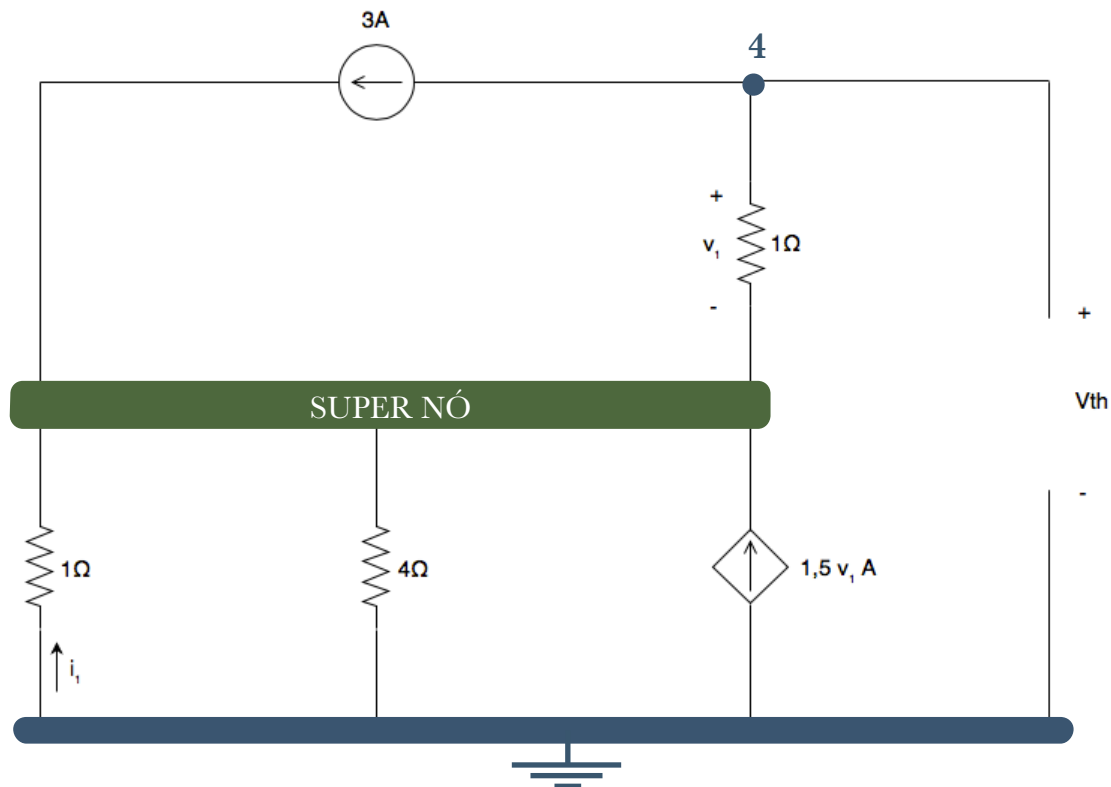


Figura 9 - Circuito para o Cálculo da Tensão de Thévenin com Super Nó

Aplicando LKC, tem-se:

$$\frac{v_{N1}}{1} - 3 + \frac{v_{N2}}{4} + \frac{(v_{N3} - v_{N4})}{1} - 1,5v_1 = 0$$

$$4v_{N1} - 12 + v_{N2} + 4v_{N3} - 4v_{N4} - 6v_1 = 0$$

$$4v_{N1} + v_{N2} + 4v_{N3} - 4v_{N4} - 6v_1 = 12 \quad (\text{I})$$

Analisando a figura 9, tem-se que

$$v_1 = v_{N4} - v_{N3}$$

Substituindo em (I), chega-se a

$$4v_{N1} + v_{N2} + 4v_{N3} - 4v_{N4} - 6(v_{N4} - v_{N3}) = 12$$

$$4v_{N1} + v_{N2} + 10v_{N3} - 10v_{N4} = 12 \quad (1^{\text{a}} \text{ Equação})$$

Pode-se obter a relação entre  $v_{n1}$ ,  $v_{n2}$  e  $v_{n3}$  analisando o trecho do circuito que foi transformado no super nó.

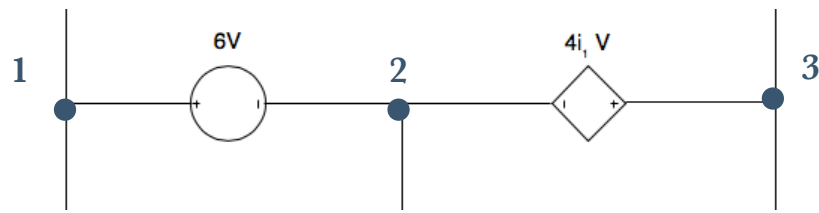


Figura 10 - Trecho do Circuito que relaciona  $v_{n1}$ ,  $v_{n2}$  e  $v_{n3}$

Analisando o trecho do circuito da figura 10, tem-se que

$$v_{N1} - v_{N2} = 6 \text{ (2ª Equação)}$$

$$v_{N3} - v_{N2} = 4i_1 \text{ (II)}$$

Pela figura 8.b, tem-se que:

$$i_1 = \frac{(0 - v_{N1})}{1} \Rightarrow i_1 = -v_{N1}$$

Substituindo em (II),

$$v_{N3} - v_{N2} = -4v_{N1}$$

$$4v_{N1} - v_{N2} + v_{N3} = 0 \text{ (3ª Equação)}$$

(b) Nó 4

Aplicando LKC ao nó 4, com base na figura 8.b, obtém-se a seguinte equação:

$$3 + \frac{(v_{N4} - v_{N3})}{1} = 0$$

$$3 + v_{N4} - v_{N3} = 0$$

$$-v_{N3} + v_{N4} = -3 \text{ (4ª Equação)}$$

Chega-se ao sistema

$$\begin{cases} 4v_{N1} + v_{N2} + 10v_{N3} - 10v_{N4} = 12 \\ v_{N1} - v_{N2} = 6 \\ 4v_{N1} - v_{N2} + v_{N3} = 0 \\ -v_{N3} + v_{N4} = -3 \end{cases}$$

obtendo-se,

$$\begin{aligned} v_{N1} &= -2,4V \\ v_{N2} &= -8,4V \\ v_{N3} &= 1,2V \\ v_{N4} &= -1,8V \end{aligned}$$

Através da análise da figura 8.b, observa-se que  $V_{th} = V_{n4} - 0$  (Tensão do nó de referência). Logo,

$$V_{TH} = -1,8V$$

## 2.2 Resistência Equivalente de Thévenin

Um modo de calcular a Resistência Equivalente de Thévenin seria inativar todas as fontes independentes do circuito e calcular a resistência equivalente. Entretanto, como há fontes dependentes, deve-se calcular a Corrente de Curto Circuito de Norton e utilizar a relação  $V_{TH} = R_{TH} \cdot I_N$ .

Para calcular a Corrente de Curto Circuito de Norton, curto circuita-se os terminais da resistência a partir da qual deseja-se obter o circuito equivalente, chegando-se à seguinte configuração:

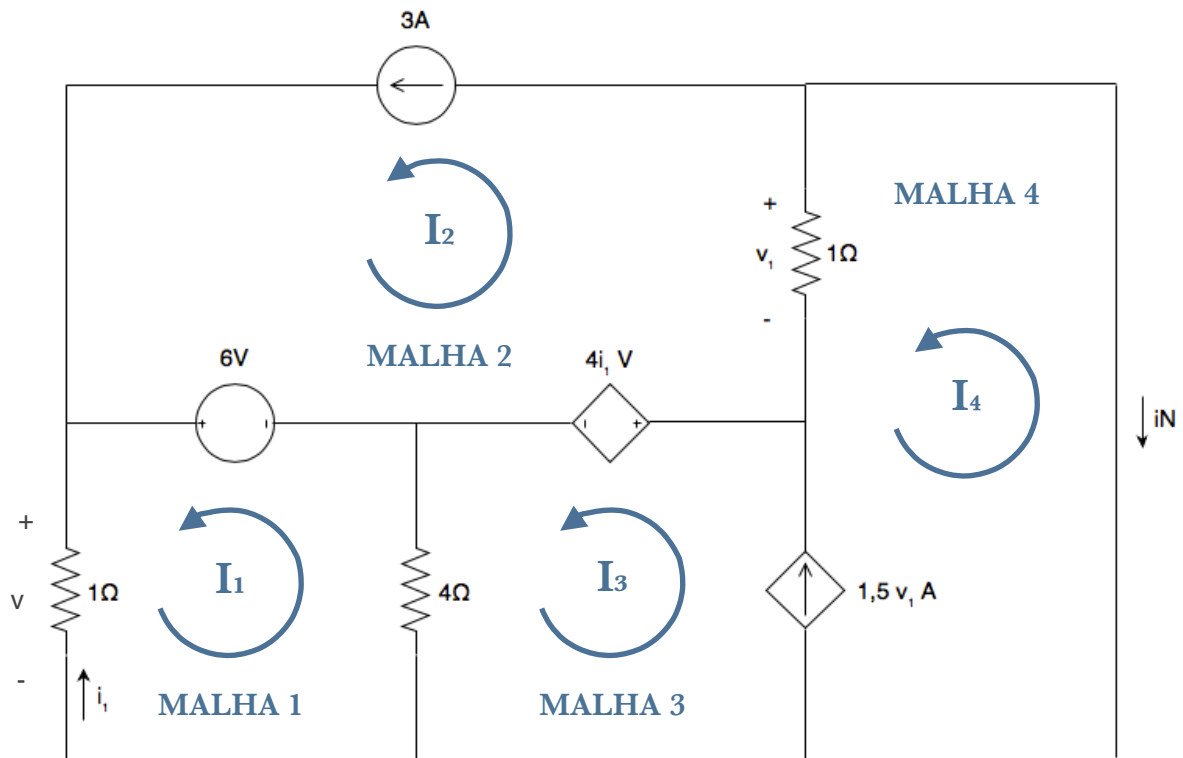


Figura 11 - Circuito para o Cálculo da Corrente de Curto Circuito de Norton com respectivas Correntes de Malha

Para o cálculo de  $I_N$ , será utilizada a Análise de Malhas. As malhas a serem estudadas estão representadas na figura 11.

As equações características de cada malha são obtidas a seguir, utilizando a Lei de Kirchhoff das Tensões.

(a) Malha 1

Aplicando LKT no sentido indicado na figura,

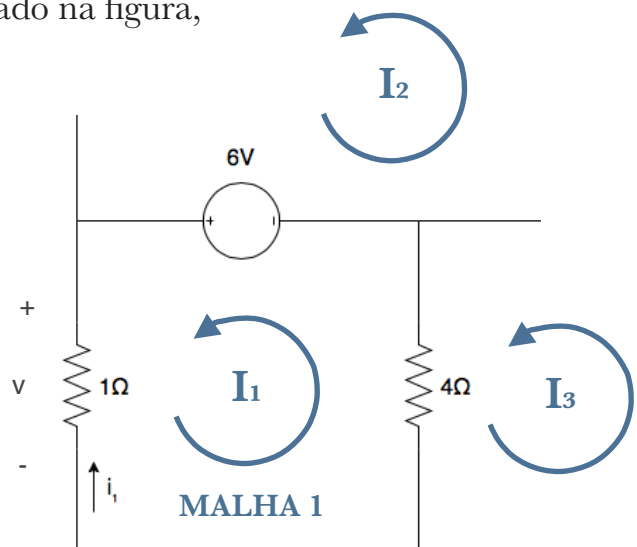


Figura 12 - Malha 1

$$I_1.(1\Omega)+(I_1-I_3).4-6=0$$

$$I_1+4I_1-4I_3=6$$

$$5I_1-4I_3=6 \text{ (1ª Equação)}$$

(d) Malha 2

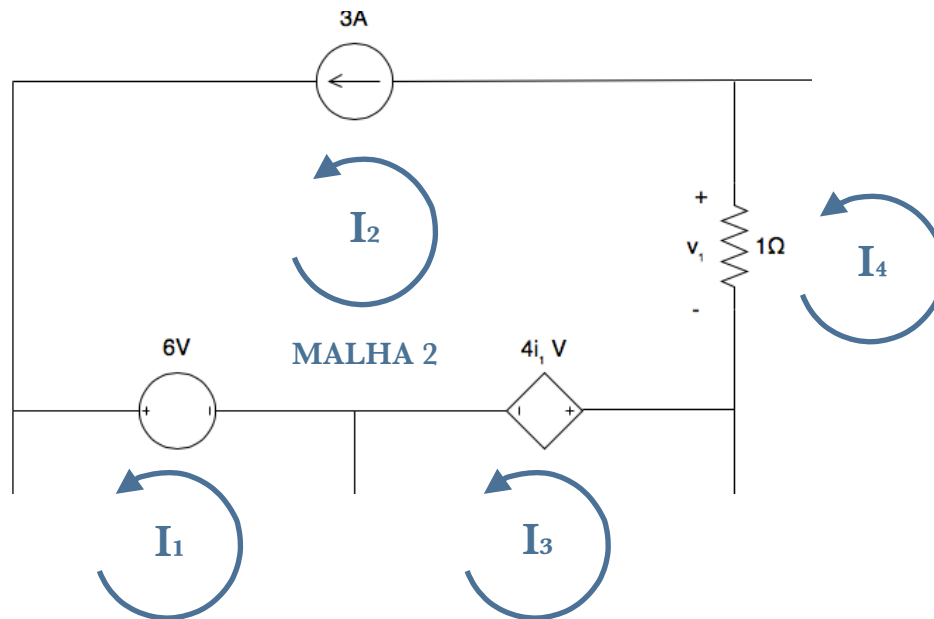


Figura 13 - Malha 2

Por inspeção do Circuito, obtém-se

$$I_2 = 3A$$

(e) Malha 3 e Malha 4

Nas malhas 3 e 4, há uma fonte de corrente. Como não se sabe a tensão presente nela, pode-se relacionar  $I_3$  e  $I_4$  com o valor da fonte de corrente, obtendo uma segunda equação para o sistema. Em seguida, inativa-se a fonte dependente de corrente (abrindo os seus terminais), e usando o princípio da super malha, aplica-se LKT na super malha resultante das malhas 3 e 4 obtendo-se assim, a terceira equação para o sistema.



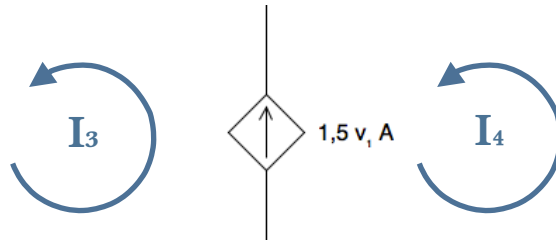


Figura 14 - Relação entre as correntes das malhas 3 e 4 com a fonte dependente de corrente

$$I_3 - I_4 = 1,5v_1 \text{ (I)}$$

Analisando o resistor no qual está aplicada a tensão  $v_1$  na figura 11, obtém-se:

$$v_1 = (I_4 - I_2) \cdot 1$$

$$v_1 = (I_4 - 3) \text{ (II)}$$

Substituindo (II) em (I), obtém-se a 2ª Equação:

$$I_3 - I_4 = 1,5 \cdot (I_4 - 3) = 1,5I_4 - 4,5$$

$$I_3 - I_4 - 1,5I_4 = -4,5$$

$$I_3 - 2,5I_4 = -4,5 \text{ (2ª Equação)}$$

Aplicando LKT na Super Malha, obtém-se a 3ª Equação para o sistema:

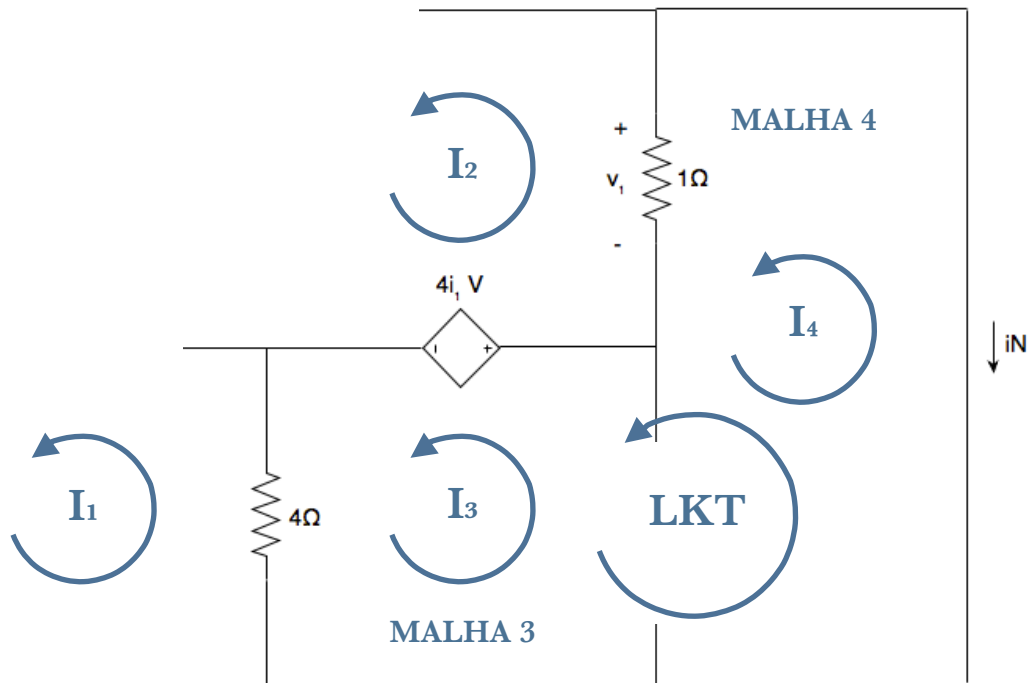


Figura 15 - Super Malha formada pelas Malhas 3 e 4

$$(I_3 - I_1) \cdot 4 + (I_4 - I_2) \cdot 1 + 4i_1 = 0$$

Pela análise da da malha 1 na figura 12, obtém-se:

$$i_1 = -I_1$$

Logo, substituindo-se na equação da super malha,

$$(I_3 - I_1) \cdot 4 + (I_4 - I_2) \cdot 1 - 4I_1 = 0$$

$$4I_3 - 4I_1 + I_4 - I_2 - 4I_1 = 0$$

$$-8I_1 - I_2 + 4I_3 + I_4 = 0$$

Substituindo o valor encontrado para  $I_2$ ,

$$-8I_1 - 3 + 4I_3 + I_4 = 0$$

$$-8I_1 + 4I_3 + I_4 = 3 \text{ (3ª Equação)}$$

Com as três equações acima, encontra-se o seguinte sistema com 3 variáveis:

$$\begin{cases} 5I_1 - 4I_3 = 6 \\ I_3 - 2,5I_4 = -4,5 \\ -8I_1 + 4I_3 + I_4 = 3 \end{cases}$$

A resolução do sistema acima fornece o valor para as correntes de malha restantes:

$$\begin{aligned} I_1 &= -3,12A \\ I_3 &= -5,4A \\ I_4 &= -0,36A \end{aligned}$$

Pela análise da figura 11, observa-se que

$$I_N = -I_4$$

Sendo assim,

$$I_N = 0,36A$$

Utilizando a relação  $V_{TH} = R_{TH} \cdot I_N$ , tem-se,

$$R_{TH} = \frac{V_{TH}}{I_N} = \frac{-1,8V}{0,36A}$$

$$R_{TH} = -5\Omega$$

Com os valores de  $V_{TH}$  e  $R_{TH}$ , podemos chegar ao seguinte circuito equivalente, denominado Circuito Equivalente de Thévenin:

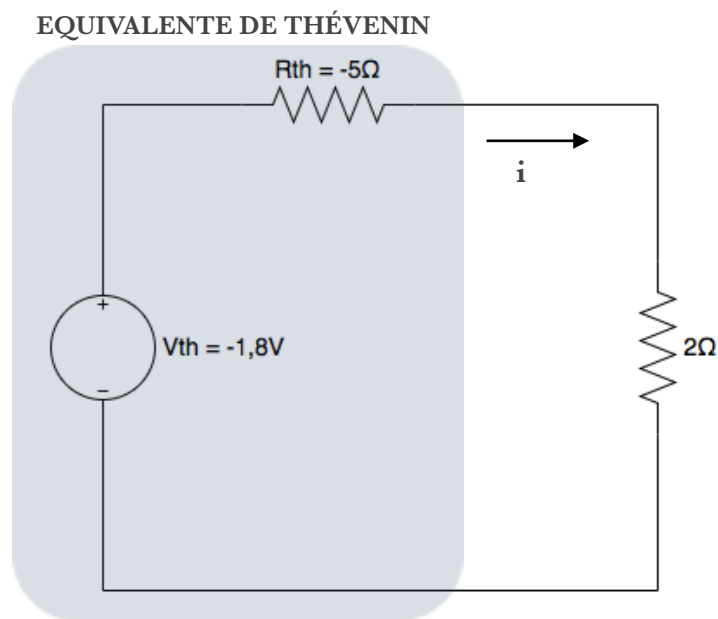


Figura 16 - Circuito Equivalente de Thévenin

### 3. Resolução por Simulação

Para descrever o circuito do exercício apresentado na figura 1, os nós foram numerados e os componentes do circuito identificados conforme ilustra a figura abaixo.

Repare que foi acrescentada uma fonte de 0V entre os nós 0 e 1 para passar como parâmetro para a fonte de tensão controlada por corrente, criando um novo nó no circuito, o nó 5.

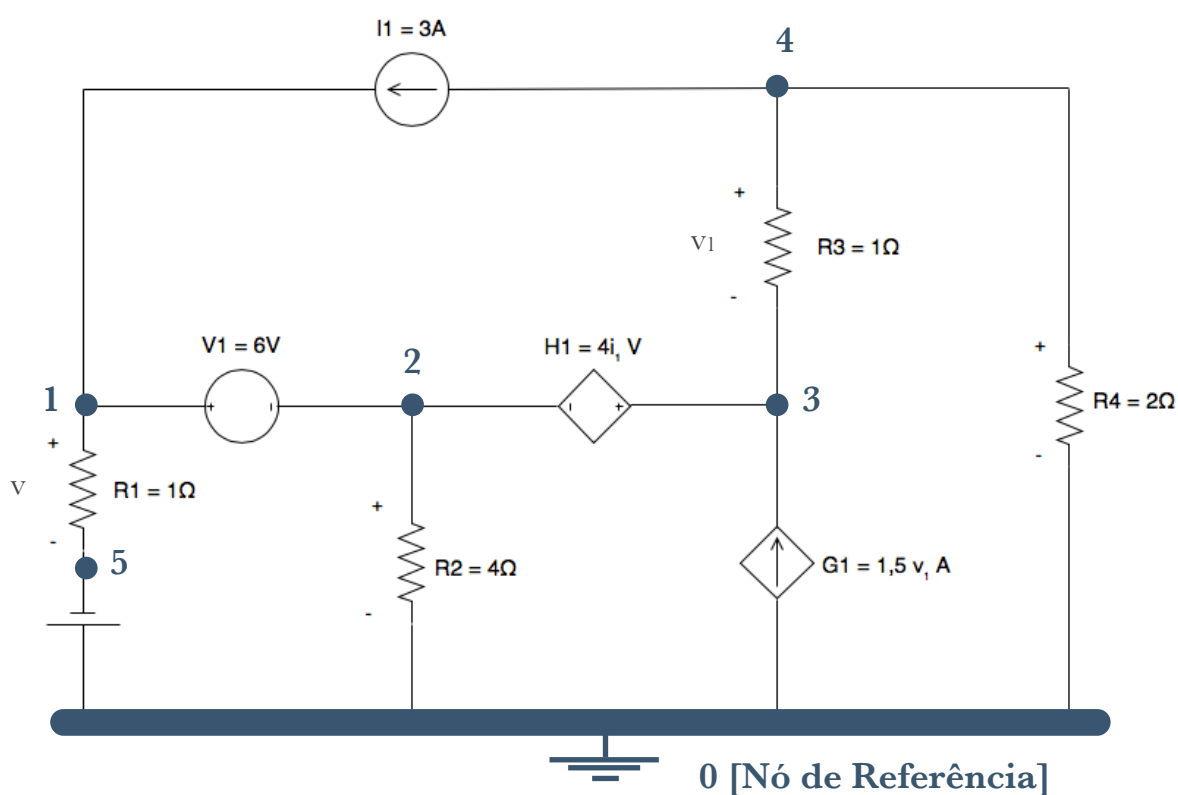


Figura 17 - Identificação dos Nós e Elementos do circuito no arquivo de Descrição do SPICE

A seguir, são fornecidos os arquivos de entrada para cada um dos dois exercícios, bem como os arquivos de saída.

# EXERCÍCIO 01

## 1. Entrada

```
*****
*
*   Nome : Moisés Botarro Ferraz Silva           N° USP: 8504135   *
*
*   Matéria : SELO602: CIRCUITOS ELÉTRICOS      *
*
*   Professor : Mario Oleskovicz                *
*   PAE : Athila Quaresma Santos                *
*
*   Trabalho : Exercício de Simulação Computacional N° 01 *
*           Exercício 01                          *
*
*****
```

\* DESCRIÇÃO DAS FONTES DE TENSÃO E CORRENTE

\* FONTES DE TENSÃO INDEPENDENTES

V1 1 2 DC 6V

Vi1 0 5 DC 0V; ARTIFÍCIO PARA MEDIÇÃO DE CORRENTE

\* FONTES DE CORRENTE INDEPENDENTES

I1 4 1 DC 3A

\* FONTES DE TENSÃO CONTROLADAS POR CORRENTE

H1 3 2 Vi1 4

\* FONTES DE CORRENTE CONTROLADAS POR TENSÃO

G1 0 3 4 3 1.5

\* DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS PASSIVOS

\* RESISTORES

R1 1 5 1ohm

R2 2 0 4ohm

R3 4 3 1ohm

R4 4 0 2ohm

\* TIPOS DE ANÁLISE

.DC V1 6 6 1

\* IMPRESSÃO DAS INFORMAÇÕES QUE SE DESEJA

.PRINT DC V(1,5) V(4,3)

.PRINT DC I(R1) I(R2) I(R4)

\* FIM DO ARQUIVO

.END

## 2. Saída

```
*EXERCÍCIO 01 - RESOLUÇÃO
***      DC TRANSFER CURVES          TEMPERATURE = 27.000 DEG C
*****
V1          V(1,5)          V(4,3)
6.000E+00   -3.600E+00     -3.600E+00
*****
***      DC TRANSFER CURVES          TEMPERATURE = 27.000 DEG C
*****
V1          I(R1)          I(R2)          I(R4)
6.000E+00   -3.600E+00     -2.400E+00     6.000E-01
```



## EXERCÍCIO 02

### 1. Entrada

\*\*\*\*\*

\* \* \* \* \*

\* Nome : Moisés Botarro Ferraz Silva N° USP: 8504135 \* \* \* \* \*

\* \* \* \* \*

\* Matéria : SEL0602: CIRCUITOS ELÉTRICOS \* \* \* \* \*

\* \* \* \* \*

\* Professor : Mario Oleskovicz \* \* \* \* \*

\* PAE : Athila Quaresma Santos \* \* \* \* \*

\* \* \* \* \*

\* Trabalho : Exercício de Simulação Computacional N° 01 \* \* \* \* \*

\* Exercício 02 \* \* \* \* \*

\* \* \* \* \*

\*\*\*\*\*

\* DESCRIÇÃO DAS FONTES DE TENSÃO E CORRENTE

\* FONTES DE TENSÃO INDEPENDENTES

V1 1 2 DC 6V

Vi1 0 5 DC 0V; ARTIFÍCIO PARA MEDIÇÃO DE CORRENTE

\* FONTES DE CORRENTE INDEPENDENTES

I1 4 1 DC 3A

\* FONTES DE TENSÃO CONTROLADAS POR CORRENTE

H1 3 2 Vi1 4

\* FONTES DE CORRENTE CONTROLADAS POR TENSÃO

G1 0 3 4 3 1.5

\* DESCRIÇÃO DOS ELEMENTOS PASSIVOS

\* RESISTORES

R1 1 5 1ohm

R2 2 0 4ohm

R3 4 3 1ohm

R4 4 0 9Tohm; COMO SE DESEJA OBTER A TENSÃO EQUIVALENTE DE THÉVENIN NO CIRCUITO VISTO A PARTIR DESSA RESISTÊNCIA, VTH É CALCULADO COMO A TENSÃO NOS TERMINAIS ABERTOS RETIRANDO ESSA RESISTÊNCIA. COMO PODEMOS REPRESENTAR CIRCUITO ABERTO COM UMA RESISTÊNCIA TENDENDO A INFINITO, ADOTA-SE UM VALOR MUITO ALTO PARA R4, A FIM DE NÃO ATRAPALHAR OS CÁLCULOS DURANTE A SIMULAÇÃO

\* CÁLCULO DO EQUIVALENTE DE THÉVENIN

\* DESEJA-SE CALCULAR RTH E VTH A PARTIR DA RESISTÊNCIA R4. PORTANTO, PASSA-SE COMO PARÂMETRO A TENSÃO ENTRE SEUS TERMINAIS

.TF V(4,0) V1

\* FIM DO ARQUIVO

.END

## 2. Saída

### \*EXERCÍCIO 02 - RESOLUÇÃO

\*\*\*\* SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION TEMPERATURE = 27.000 DEG C

\*\*\*\*\*

NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE	NODE	VOLTAGE
( 1)	-2.4000	( 2)	-8.4000	( 3)	1.2000	( 4)	<b>-1.8000</b>
( 5)	0.0000						



**Tensão de  
Thévenin**

VOLTAGE SOURCE CURRENTS

NAME	CURRENT
------	---------

V1	5.400E+00
----	-----------

Vi1	2.400E+00
-----	-----------

TOTAL POWER DISSIPATION -3.24E+01 WATTS

\*\*\*\* SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

$V(4,0)/V1 = -1.600E+00$

INPUT RESISTANCE AT V1 = 5.000E+00

**OUTPUT RESISTANCE AT V(4,0) = -5.000E+00**



**Resistência  
de Thévenin**

# 3. Análise dos Resultados

## EXERCÍCIO 01

Para facilitar a análise das grandezas obtidas na resolução teórica e pela simulação no SPICE, elas foram reescritas na tabela abaixo.

Grandeza	Resolução Teórica	Simulação pelo Spice
$v$ (V)	-3,6	-3,6
$v_1$ (V)	-3,6	-3,6
$i_1$ (A)	3,6	-3,6
Corrente no resistor de $4\Omega$ (A)	-2,4	-2,4
Corrente no resistor de $2\Omega$ (A)	-0,6	0,6

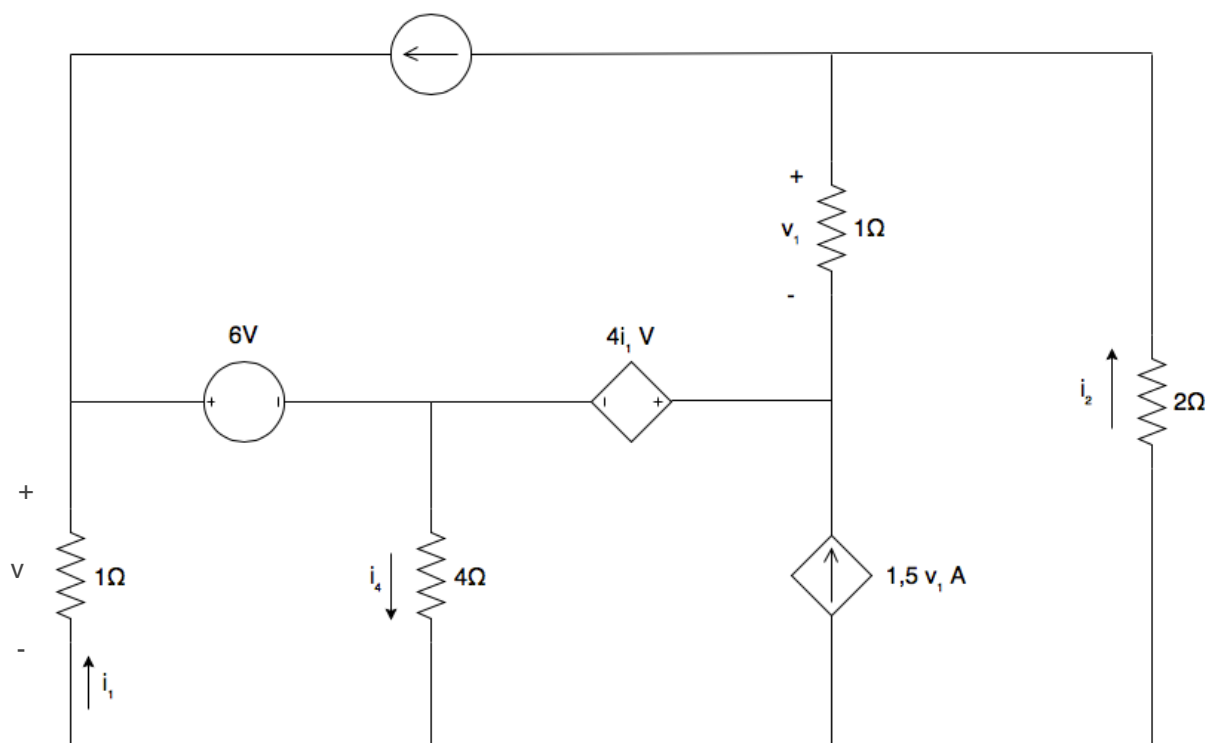


Figura 18 - Sentidos de Corrente adotados na resolução teórica

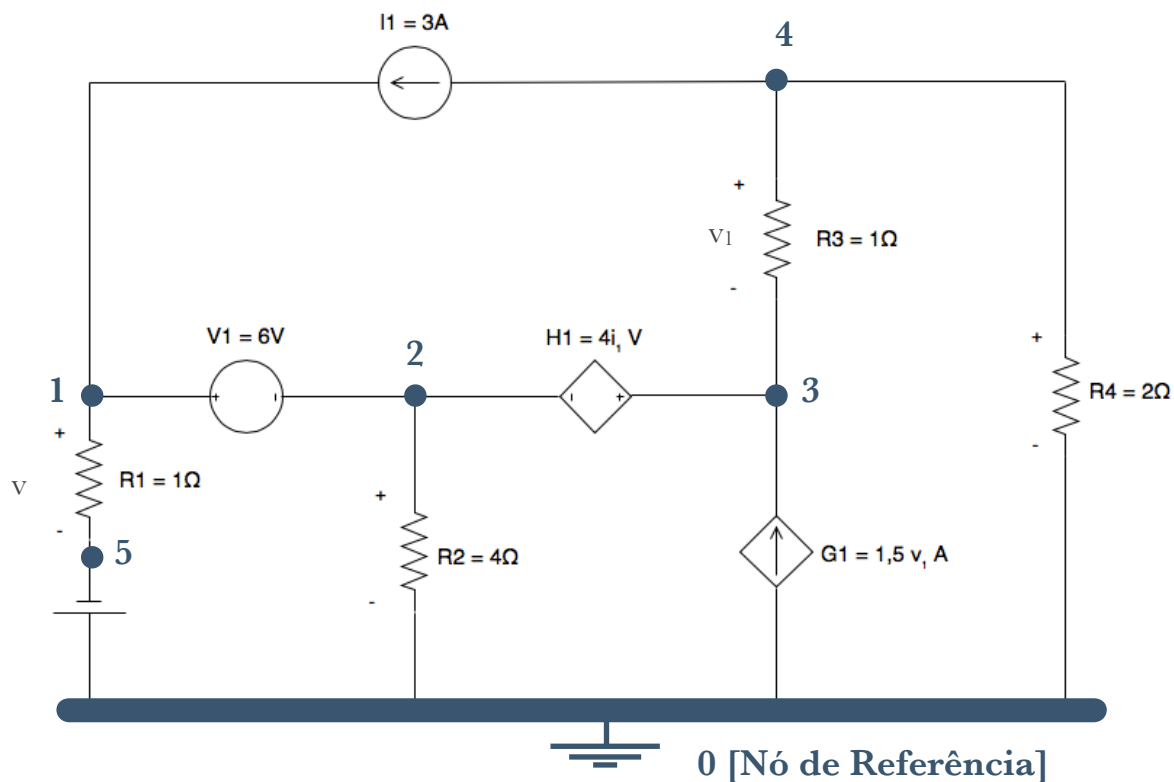


Figura 19 = 17 - Identificação dos Nós e Elementos do circuito no arquivo de Descrição do SPICE

Primeiramente, analisemos os valores de tensão para  $v$  e  $v_1$  encontrados nas duas abordagens. Os valores obtidos coincidiram integralmente devido ao fato de adotar-se, tanto na resolução teórica, quanto na descrição do circuito no Spice,  $v$  como a tensão no nó 1 menos a tensão no nó 0 e  $v_1$  como a tensão no nó 4 menos a tensão no nó 3 (Pressupõe-se que a tensão no primeiro nó de cada uma dessas duplas era maior que no segundo, ou seja, tensão em 1 maior que em 0 e tensão em 4 maior do que em 3). Observa-se, ainda, que essa suposição estava errada, devido ao fato do valor da tensão dar negativo nas duas resoluções. Entretanto, o sinal de - indica apenas que a suposição feita estava errada. Ou seja, na realidade, o nó 0 está com uma tensão maior que o nó 1 e o nó 3, com uma tensão maior que o nó 4.

Ao se analisar o valor da corrente  $i_1$  e da corrente no resistor de  $2\Omega$  obtidos na resolução teórica e na simulação no SPICE, observa-se que os valores coincidem apenas em módulo. O valor encontrado para a corrente no resistor de  $4\Omega$ , entretanto, foi a mesma nos dois estudos. Analisemos cada uma delas em particular.

O sentido da corrente  $i_1$  foi fornecido pelo enunciado. Apesar dessa corrente estar entrando no polo negativo do resistor pela figura 18, como a polaridade atribuída a  $v$  está errada ( $v$  encontrado foi negativo), na verdade ela está entrando pelo pólo positivo do resistor, como é de se esperar já que ele é um elemento passivo. Já no SPICE, o resistor R1 foi descrito com seu polo positivo conectado ao nó 1 e seu pólo negativo, ao pólo 0. Ao pedir pra imprimir a corrente em R1, o programa imprime a corrente entrando pelo pólo positivo dado e saindo pelo polo negativo passados na descrição do resistor. Logo, é de se esperar que essa corrente seja negativa na simulação, já que ela está entrando vindo do nó 1 e saindo em direção ao nó 0 (sentido contrário ao fornecido pelo enunciado).

Ao calcular a corrente no resistor de  $2\Omega$ , durante a resolução teórica, o aluno escolheu atribuir o sentido a  $i_2$  mostrado na figura 18, chegando a um valor negativo. Ou seja, o sentido atribuído arbitrariamente estava errado, indicando que a corrente está, na verdade, “para baixo”. No arquivo de descrição do SPICE, entretanto, foi indicado que esse mesmo resistor possui polo positivo ligado ao nó 4 e polo negativo ligado ao nó 0, ou seja, já que o resistor é um elemento passivo, o sentido atribuído à corrente foi de cima para baixo. Espera-se, portanto, com base na resolução teórica, que o valor encontrado pelo SPICE seja positivo, o que realmente ocorreu.

Quanto à corrente no resistor de  $4\Omega$ , ambas resoluções chegaram a valores negativos, indicando que o sentido adotado pelo estudante durante a resolução teórica estava errado, assim como a polaridade atribuída à R2 na descrição do circuito no SPICE. Repare que nesse resistor, foi atribuído o mesmo sentido para a corrente tanto na resolução teórica quanto na descrição do circuito no SPICE, chegando, portanto, a resultados iguais. O valor negativo, entretanto, não significa um resultado errado. Só nos diz que o sentido adotado para a corrente estava equivocado.

## EXERCÍCIO 02

Para facilitar a análise das grandezas obtidas na resolução teórica e pela simulação no SPICE, elas foram reescritas na tabela abaixo.

Grandeza	Resolução Teórica	Simulação pelo Spice
<b>Vth (V)</b>	<b>-1,8</b>	<b>-1,8</b>
<b>Rth (<math>\Omega</math>)</b>	<b>-5</b>	<b>-5</b>

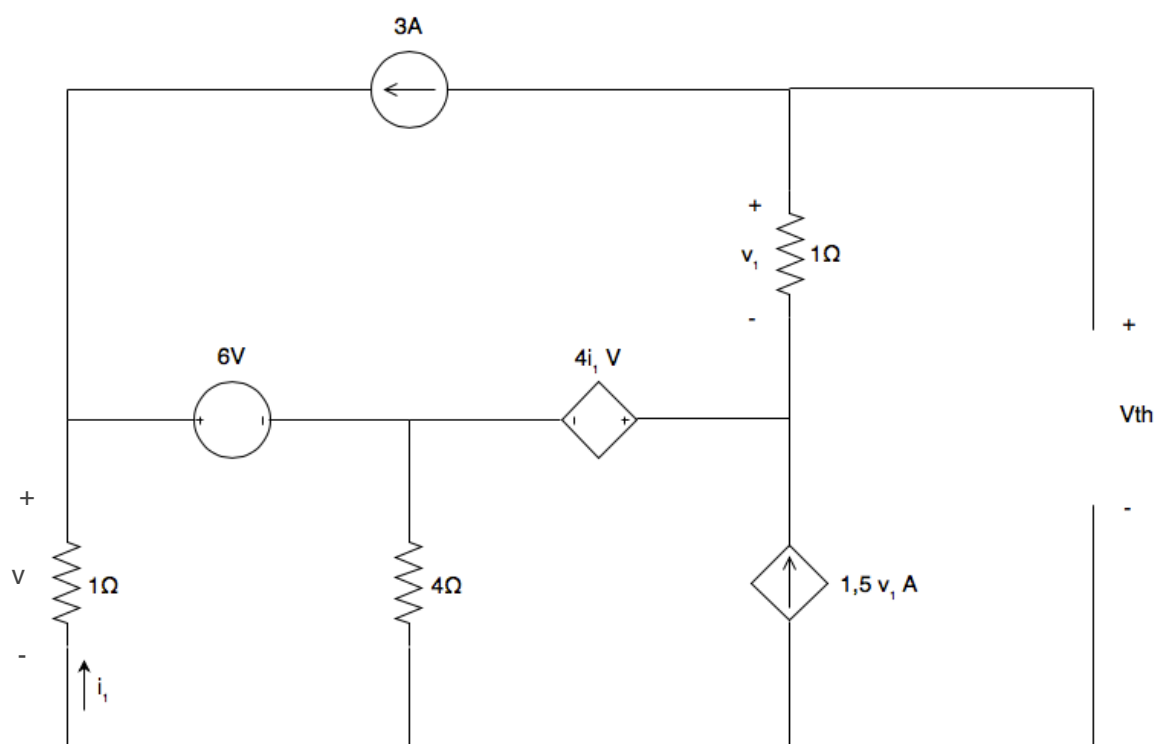


Figura 20 = 8 - Circuito para o Cálculo da Tensão de Thévenin

Nesse exercício, os valores obtidos na resolução teórica e na simulação pelo SPICE foram os mesmos.

Na resolução teórica, ao se calcular a Tensão Equivalente de Thévenin, considerou-se a polaridade indicada nas figuras 20 e 8 (a figura foi copiada para facilitar a análise). Repare que é a mesma polaridade passada durante a descrição do circuito no SPICE, já que a resistência R4 está com o terminal

positivo ligado ao nó 4 e o terminal negativo, ao nó 0. O nó zero também é tido como o nó de referência para o cálculo das tensões nos demais nós, possuindo, portanto, valor 0. No arquivo de descrição, foi fornecido um valor muito alto de resistência à  $R_4$  para que se pudesse simular o circuito aberto entre os nós 4 e 0. O valor negativo obtido para a Tensão Equivalente de Thévenin indica que a polaridade escolhida arbitrariamente está errada, estando, na realidade, o nó 4 em uma tensão menor que o nó 0.

Um dos resultados menos esperados foi o valor de resistência negativo encontrado para a Resistência Equivalente de Thévenin. Isso pode ocorrer quando o circuito a ser simplificado possui fontes dependentes. Um resistor é sempre um elemento passivo, servindo como um divisor de tensão, ou seja, diminuindo a tensão em uma malha. O resistor possuir uma resistência negativa, nesse caso, sugere que ele está fornecendo potência ao circuito, aumentando a tensão. Novamente, isso só ocorreu porque há fontes dependentes no circuito que foi simplificado.