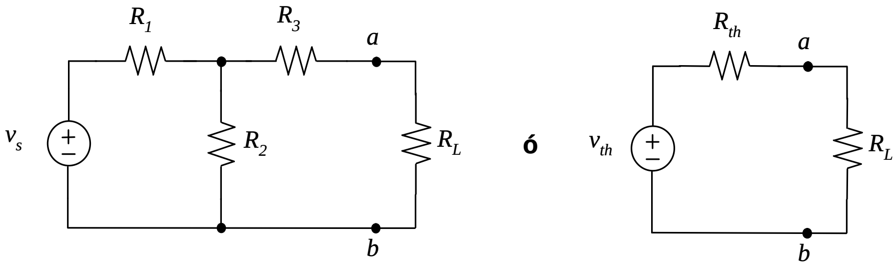
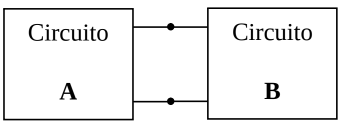
Teorema de Thévenin

O objectivo do teorema de Thévenin é reduzir um determinado circuito, de determinada complexidade, a um circuito mais simples, composto apenas por uma fonte de tensão e uma resistência em série. Contudo, o comportamento deste circuito, aos seus terminais, é totalmente equivalente ao primeiro circuito, tomando também a resposta entre os mesmos dois terminais.
Por exemplo, para determinar i, v ou p em R_L no seguite circuito, o resto do circuito pode ser reduzido a um circuito equivalente.

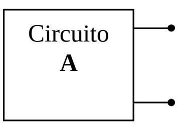


Enunciado do teorema de Thévenin

Dado qualquer circuito linear, este pode ser dividido em dois circuitos, A e B, cada qual ligado ao mesmo par de terminais. De seguida, calcula-se o equivalente de Thévenin do circuito A. Define-se v_{oc} como a tensão de circuito aberto do circuito A, quando o circuito B está desligado dos dois terminais. Então, o circuito equivalente de A será uma fonte de tensão v_{oc} em série com R_{th}, onde R_{th} é a resistência vista para dentro dos terminais do circuito A, com todas as fontes independentes anuladas.

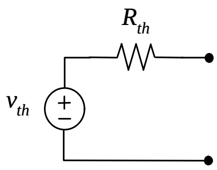
1) 

Identificar os circuitos A e B

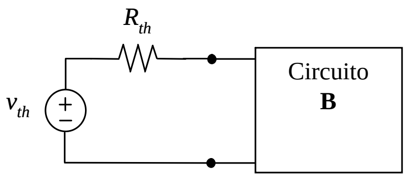
2) 

Separar o circuito A do circuito B

Enunciado do Teorema de Thévenin

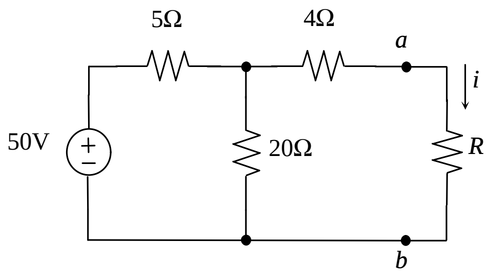
3) 

Substituir o circuito A pelo seu equivalente de Thévenin

4) 

Voltar a ligar o circuito B e determinar a variável de interesse

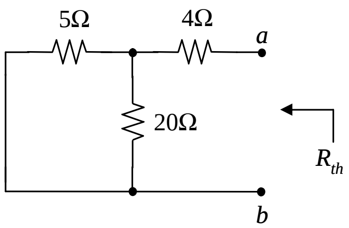
Exemplo: Usando o teorema de Thévenin, calcule a corrente através de *R* no seguinte circuito.



Exemplo de utilização do Teorema de Thévenin

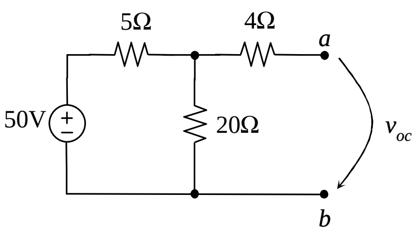
R é o circuito B. Tudo à esquerda dos terminais a – b é o circuito A.

Anular a fonte independente de tensão e calcular a resistência vista para dentro do circuito A.



$$R_{th} = 20 // 5 + 4 = \frac{20 \times 5}{20 + 5} + 4 = 8\Omega$$

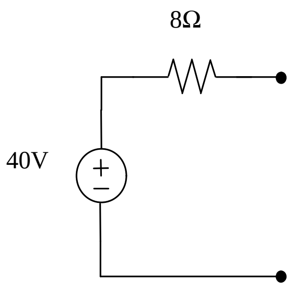
Determinar v_{oc}:



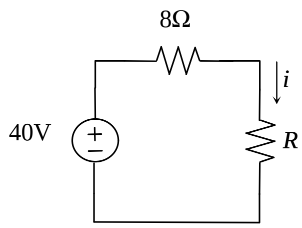
$$v_{oc} = \frac{20}{20+5} 50 = 40\text{V}$$

v_{oc} também pode designar-se por v_{th}.

Circuito equivalente de Thévenin:



Corrente através de *R*:

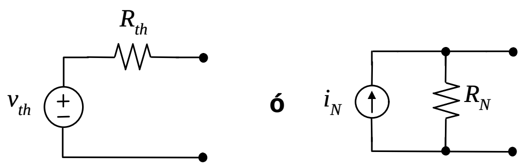


$$i = \frac{40}{8+R} \text{ [A]}$$

Este procedimento é particularmente útil se *R* variar frequentemente. Sem o teorema de Thévenin, ter-se-ia que calcular tudo da mesma forma para cada valor de *R*.

Circuito equivalente de Norton

Pode também falar-se de circuito equivalente de Norton, o qual se obtém da seguinte forma, a partir do equivalente de Thévenin:



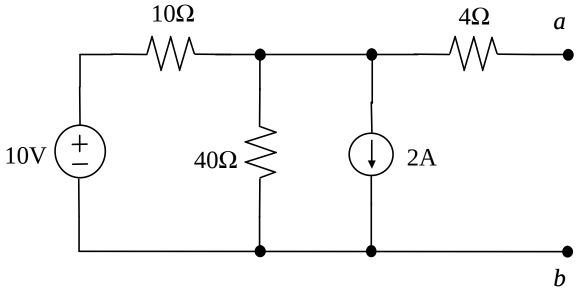
$$R_N = R_{th}$$

$$i_N = \frac{v_{th}}{R_{th}}$$

Pode notar-se que tanto um circuito como outro pode ser encarado como uma fonte de tensão, e outra de corrente, respectivamente, não-ideais.

Exercício:

Calcular o equivalente de Thévenin do seguinte circuito (aos terminais a – b).

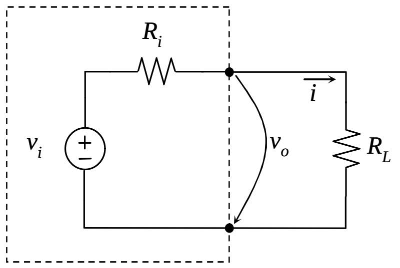


Solução: R_{th} = 12Ω v_{th} = - 8V

Mas como resolver este problema?..

Recta de carga

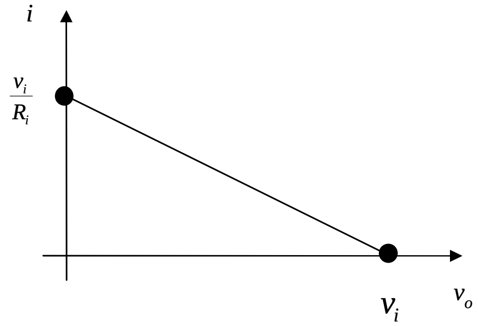
Como o circuito resultante da aplicação do teorema de Thévenin é uma fonte de tensão não-ideal, (fonte com resistência interna), é importante ter em atenção o que se passa aos terminais desse circuito, de acordo com a possível variação da "resistência de carga".



Fonte real

$$v_o = v_i - R_i i$$

R_i – Resistência interna
v_i – tensão da fonte de tensão ideal
v_o – tensão da fonte de tensão real
R_L – resistência de carga

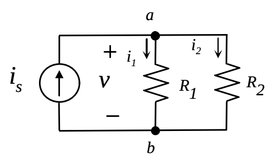


$i = \dfrac{v_i}{R_i}$ quando $v_o = 0$

$v_o = v_i$ quando $i = 0$

O conceito de recta de carga tem particular importância nos circuitos com dispositivos semicondutores.

Divisor de corrente



Pela KCL, no nó a temos: $i_s - i_1 - i_2 = 0$, ou seja, $i_s = i_1 + i_2$

Pela lei do Ohm, temos $i_1 = \dfrac{v}{R_1}$ e $i_2 = \dfrac{v}{R_2}$

Então, $i_s = \dfrac{v}{R_1} + \dfrac{v}{R_2}$

Exprimindo a equação em termos de condutâncias, conduz-nos a $i_s = G_1 v + G_2 v = (G_1 + G_2)v$

Desta forma, a condutância total (paralelo) é $G_p = G_1 + G_2 = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2}$

Como $G_p = \dfrac{1}{R_p}$, fica $\dfrac{1}{R_p} = \dfrac{1}{R_1} + \dfrac{1}{R_2} \Leftrightarrow R_p = \dfrac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = R_1 // R_2$

Divisor de corrente

Nota: A condutância total vai aumentando à medida que são colocadas mais resistências em paralelo. Dito de outra forma, a resistência paralelo vai diminuindo.

$i_1 = G_1 v$ e $i_s = (G_1 + G_2)v$, então, $v = \dfrac{i_s}{G_1 + G_2} \Leftrightarrow \dfrac{i_1}{G_1} = \dfrac{i_s}{G_1 + G_2} \Leftrightarrow i_1 = \dfrac{G_1}{G_1 + G_2} i_s$,

e de igual forma, $i_2 = \dfrac{G_2}{G_1 + G_2} i_s$

$$i_1 = \frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} i_s = \frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}} i_s \Leftrightarrow i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i_s$$

Caso geral: $i_s = i_1 + i_2 + \mathbf{L} + i_N$, para o qual, $i_n = G_n v$, então

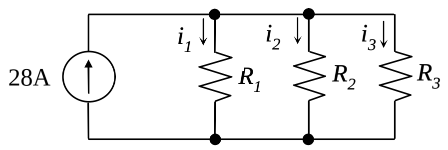
$$i_s = (G_1 + G_1 + \mathbf{L} + G_N)v \Leftrightarrow i_s = v\sum_{i=1}^{N} G_i$$

A corrente que se obtém em cada ramo é

$$i_n = \frac{G_n}{\sum_{i=1}^{N} G_i} i_s = \frac{G_n}{G_p} i_s$$

Divisor de corrente – Exemplo

- Exemplo: Calcular a corrente em cada ramo do seguinte circuito



$R_1 = \dfrac{1}{2}\Omega;\quad R_2 = \dfrac{1}{4}\Omega;\quad R_3 = \dfrac{1}{8}\Omega$

Sabendo que $i_n = \dfrac{G_n}{G_p} i_s$, $G_p = \sum_{i=1}^{N} G_n = G_1 + G_2 + G_3 = 2 + 4 + 8 = 14\text{S}$

$i_1 = \dfrac{G_1}{G_p} i_s = \dfrac{2}{14} 28 = 4\text{A}$ $\qquad i_2 = \dfrac{G_2}{G_p} i_s = \dfrac{4}{14} 28 = 8\text{A}$

$i_3 = \dfrac{G_3}{G_p} i_s = \dfrac{8}{14} 28 = 16\text{A}$ $\qquad v = \dfrac{i_1}{G_1} = \dfrac{4}{2} = 2\text{V}$