Chapitre 4

Théorèmes sur les circuits

Dr. M.C.E. Yagoub

Nous avons étudié dans le chapitre précédent quelques règles et méthodes pour analyser des circuits.

Néanmoins, ces règles peuvent facilement devenir très difficiles à appliquer si le circuit est complexe et/ou comporte beaucoup de mailles et de nœuds.

Il faut donc élaborer des techniques plus efficaces qui peuvent modifier la topologie ou la structure d'un circuit : ce sont les théorèmes de circuits :

Équivalence de Source

Théorème de Superposition

Circuit Équivalent Thévenin

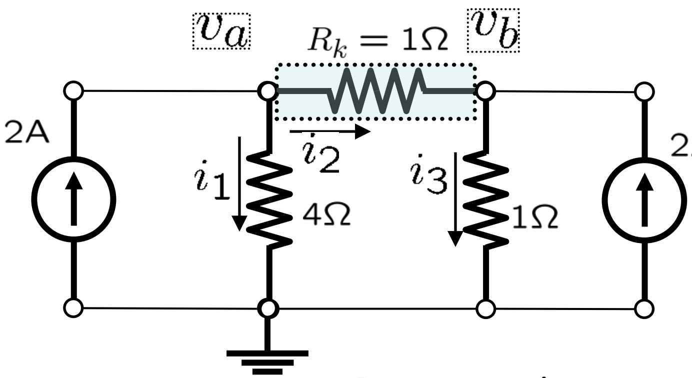
Circuit Équivalent Norton

+ Théorème de transfert maximal de puissance

PREMIER THÉORÈME

Équivalence de source

Prenons l'exemple suivant et calculons le courant dans la résistance R_k



LKC nœud a $$2 = i_2 + i_1$$

$$2 = \frac{v_a - v_b}{1} + \frac{v_a}{4}$$

$$8 = 4(v_a - v_b) + v_a$$

$$8 = 5v_a - 4v_b \quad \textbf{(1)}$$

LKC nœud b $$2 + i_2 = i_3$$

$$2 + \frac{v_a - v_b}{1} = \frac{v_b}{1}$$

$$2 = 2v_b - v_a$$

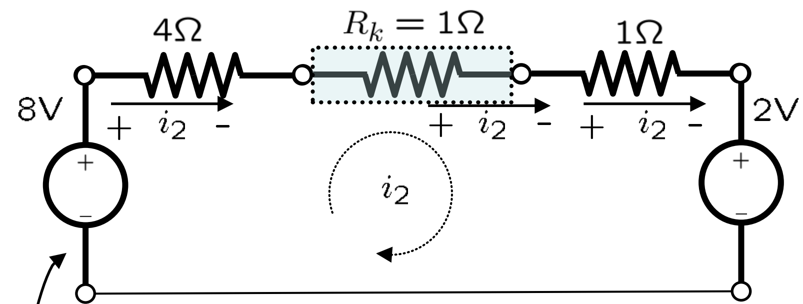
$$v_a = 2v_b - 2 \quad \textbf{(2)}$$

Résoudre (1) + (2) $$8 = 5(2v_b - 2) - 4v_b$$

$$v_b = 3\text{V}$$

$$v_a = 4\text{V}$$

Courant dans $\boldsymbol{R_k}$ $$i_2 = \frac{v_a - v_b}{1} = 1\text{A}$$



LKT pour la maille du circuit

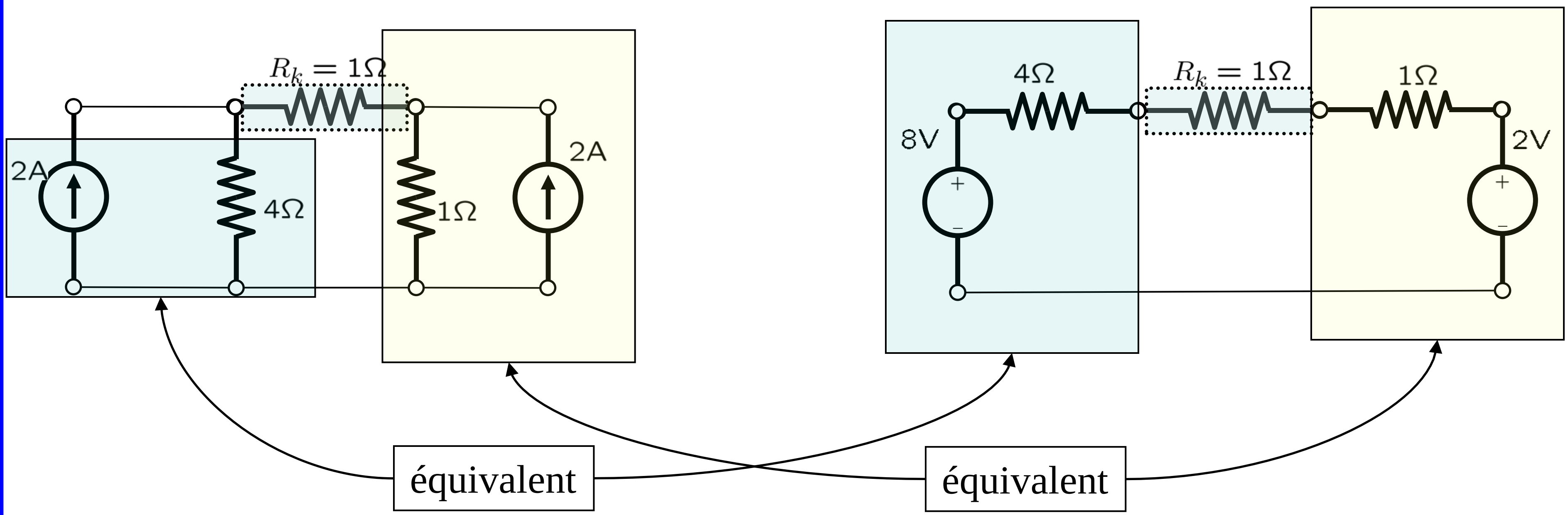
$$-8 + i_2 \times (4 + 1 + 1) + 2 = 0$$

Courant dans $\boldsymbol{R_k}$ $$i_2 = 1\text{A}$$

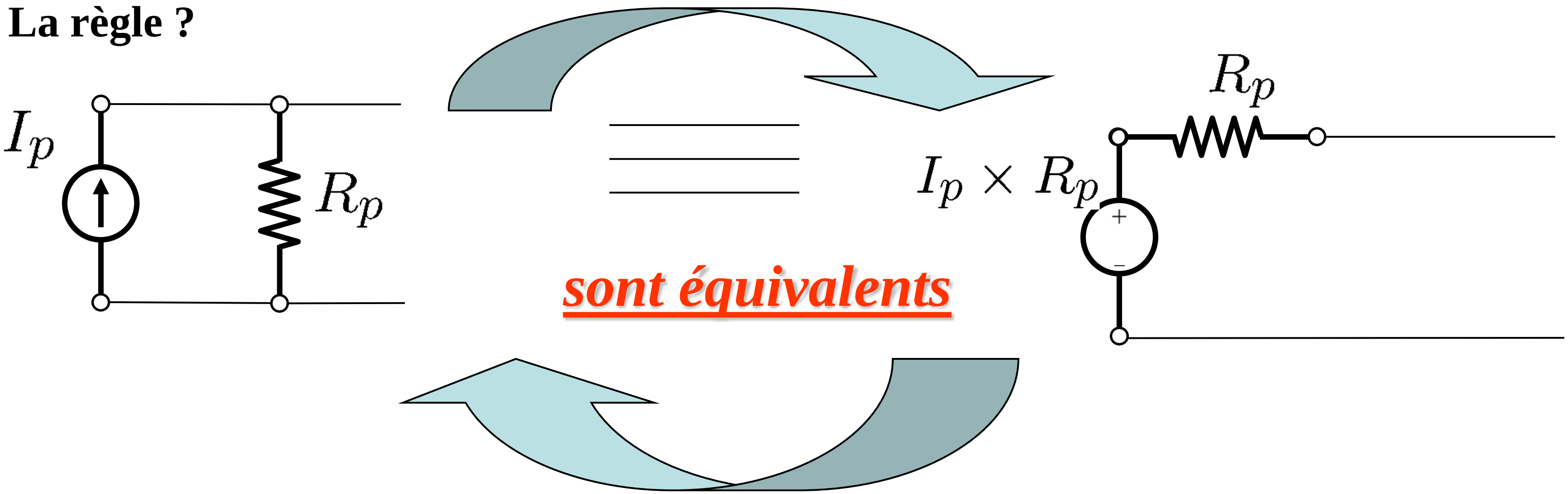
Le courant est le même !!

Mais il est plus facile de le calculer de cette manière !!

La raison ?



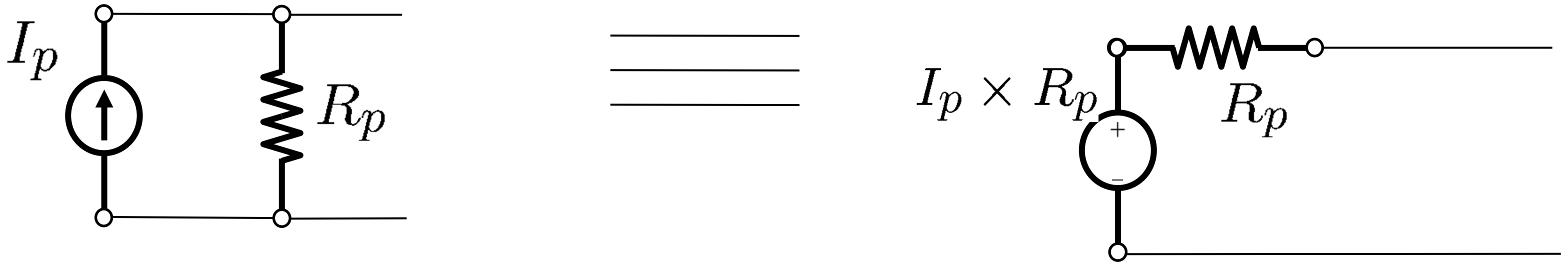
La règle ?

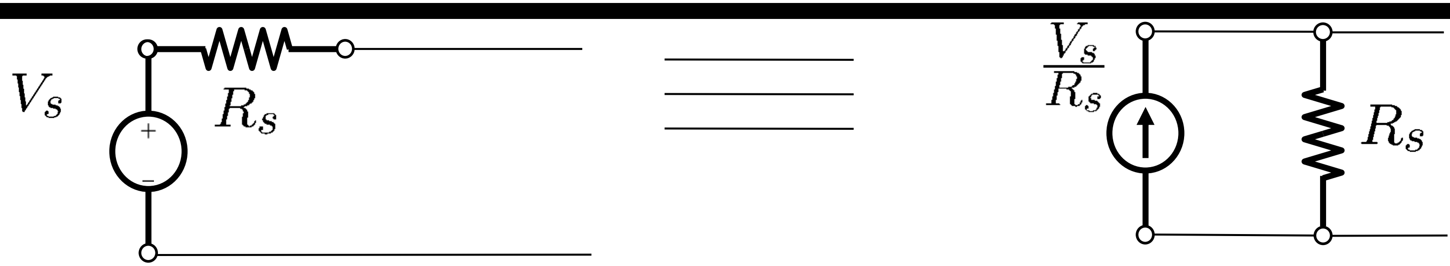


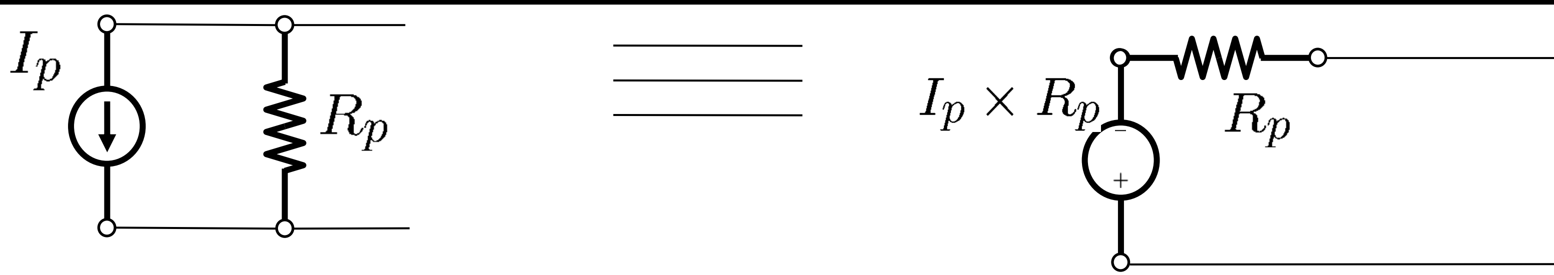
Les théorèmes de circuits sont utilisés pour simplifier l’analyse d’un circuit.

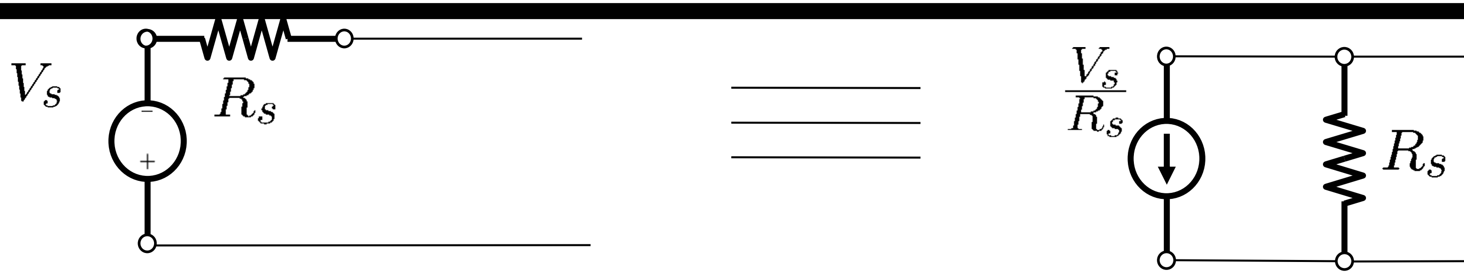
Ce premier théorème est ***l’équivalence de source***.

Il sert à transformer des sources de courant en sources de tensions et inversement :

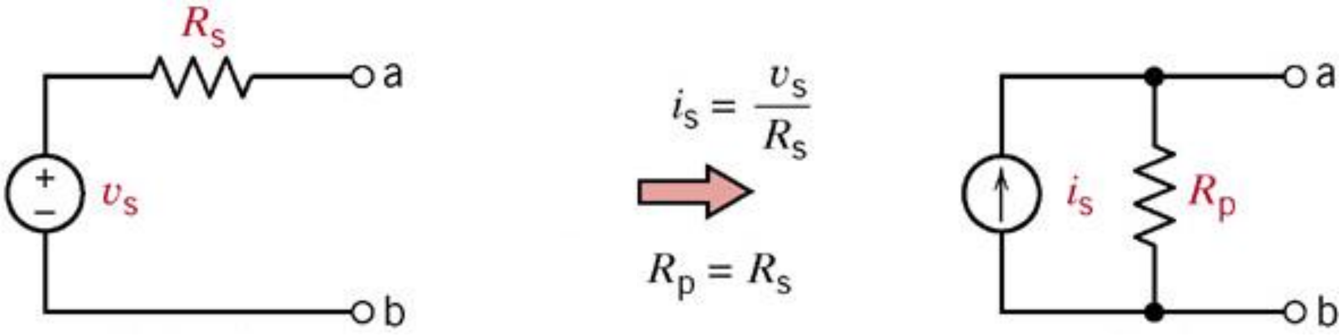


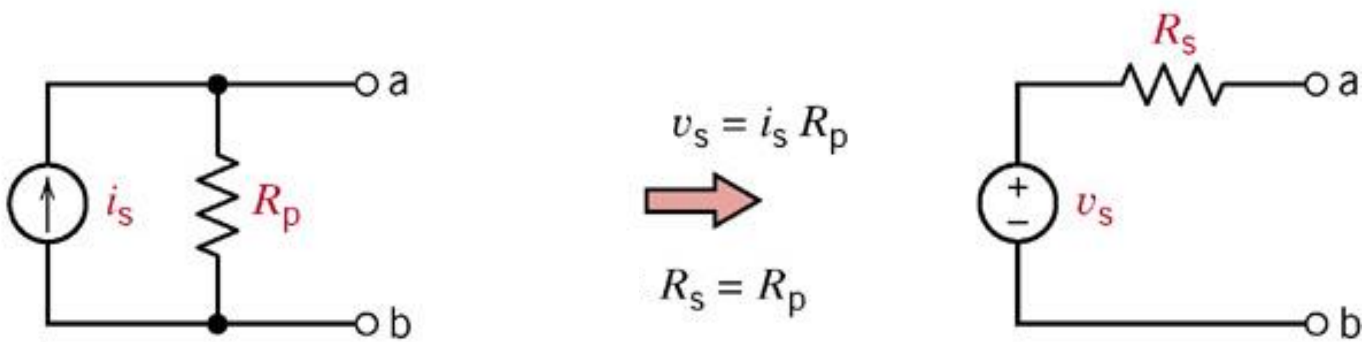






Équivalence de sources

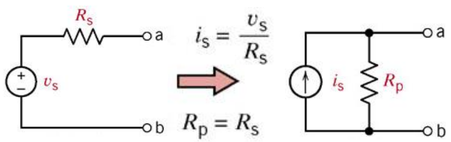


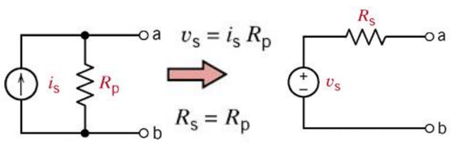


Théorèmes de circuits

Équivalence de Source

Théorème de Superposition

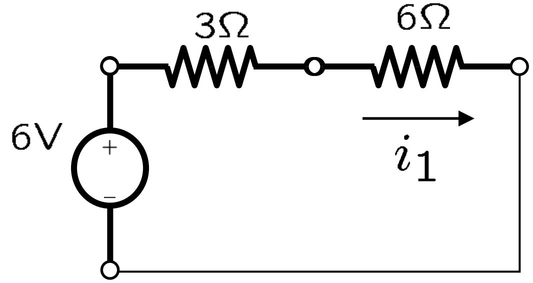




DEUXIÈME THÉORÈME

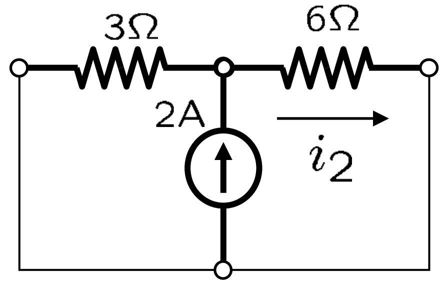
Superposition

Calculer le courant dans la résistance 6 Ω



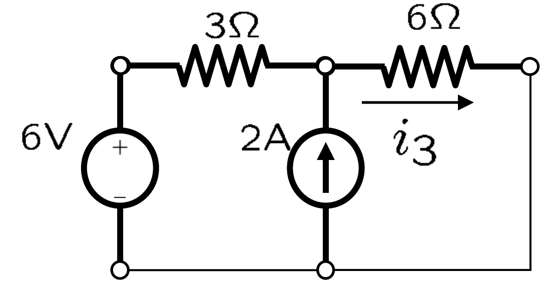
Loi d'Ohm

$$i_1 = \frac{6}{9} = \frac{2}{3}\text{A}$$

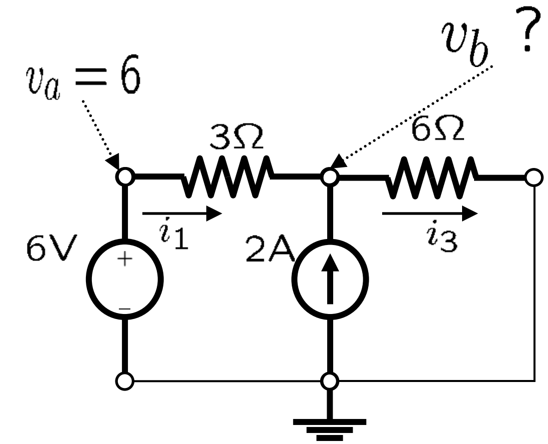


Diviseur de courant

$$i_2 = 2 \times \frac{3}{6+3} = \frac{2}{3}\text{A}$$



Tensions de nœuds



LKC au nœud

$$i_1 + 2 = i_3$$

$$\frac{6 - v_b}{3} + 2 = \frac{v_b}{6}$$

$$v_b = 8\text{V}$$

$$i_3 = \frac{8}{6} = \frac{4}{3}\text{A}$$

$$\underbrace{i_1 \qquad + \qquad i_2}$$

NOTER : $i_3 = i_1 + i_2$

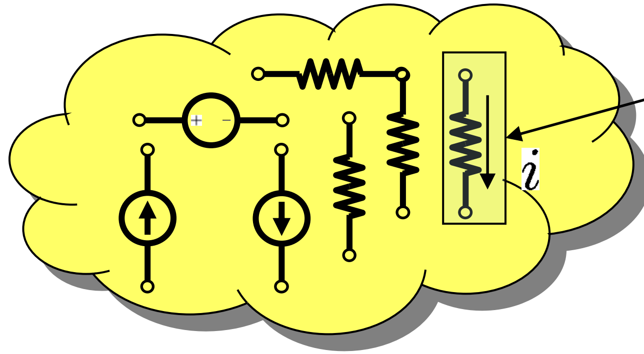
Est-ce une coïncidence ??

NON !!!

C'est le théorème de superposition

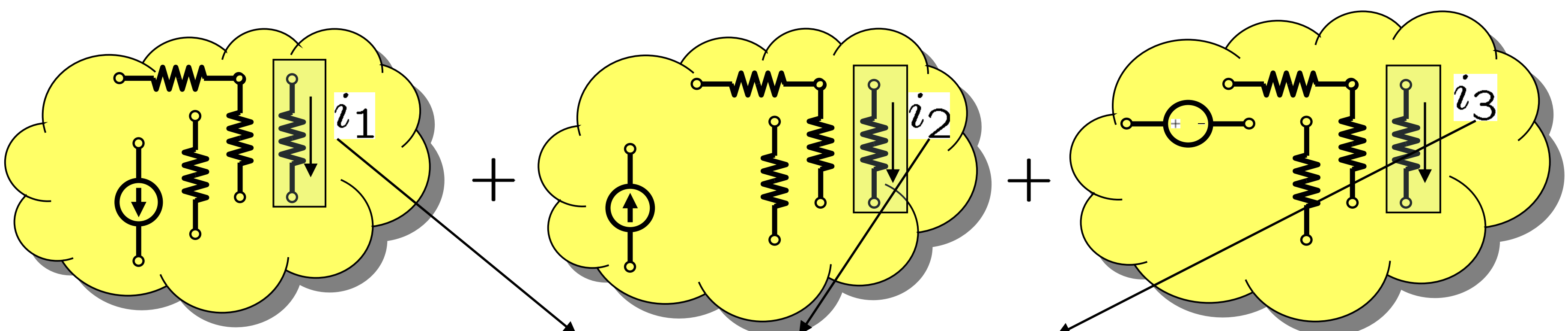
Superposition

En d'autres mots :



Supposons que nous voulions calculer le courant ***i***

Nous pouvons trouver un courant ou une tension quelconque en calculant la **CONTRIBUTION** de **CHAQUE SOURCE INDÉPENDANTE** lorsque toutes les autres sont désactivées. Le résultat final est la **SOMME** des contributions individuelles de chacune des sources indépendantes.

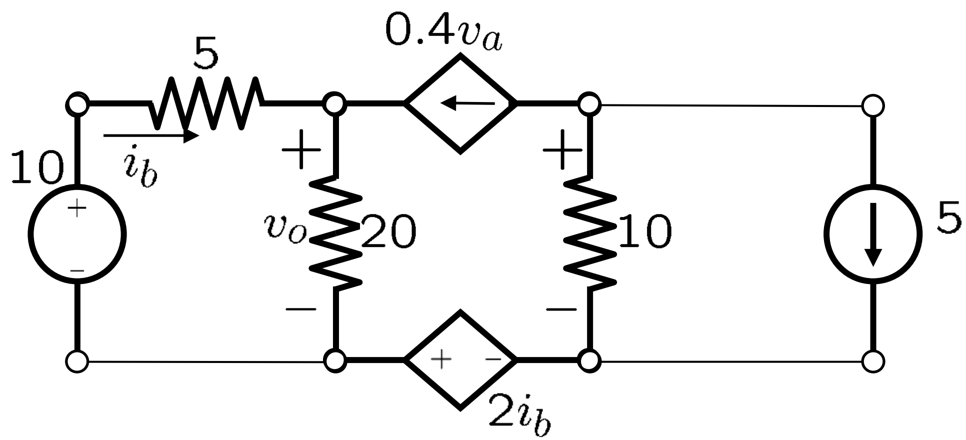


$$i = \boxed{i_1} + \boxed{i_2} + \boxed{i_3}$$

Superposition

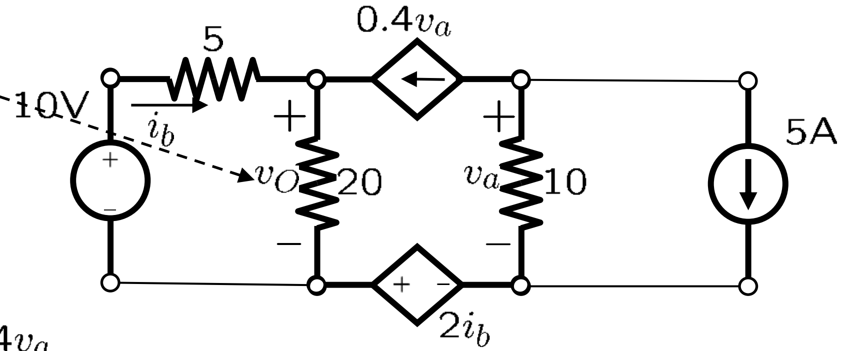
Exemple:

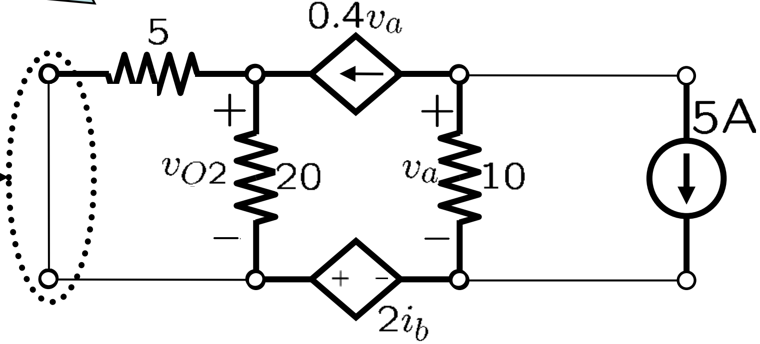
Calculer la tension v_o en utilisant le théorème de superposition

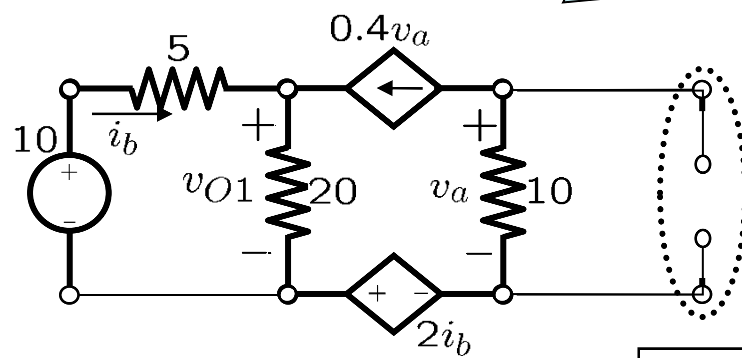


Superposition

Tension à calculer







Désactiver la source indépendante de 10V

Désactiver la source indépendante de 5A

Calculer v_{O2}

Calculer v_{O1}

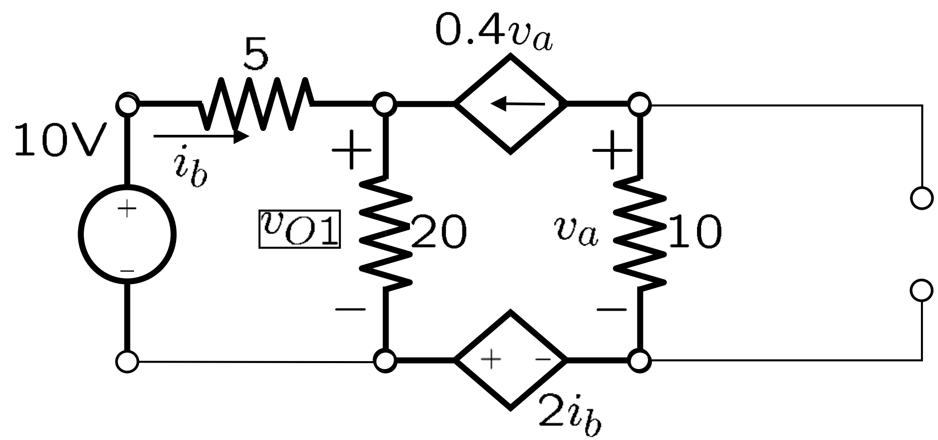
$$v_O = v_{O1} + v_{O2}$$

Commençons par cette variable

Superposition

Calculer

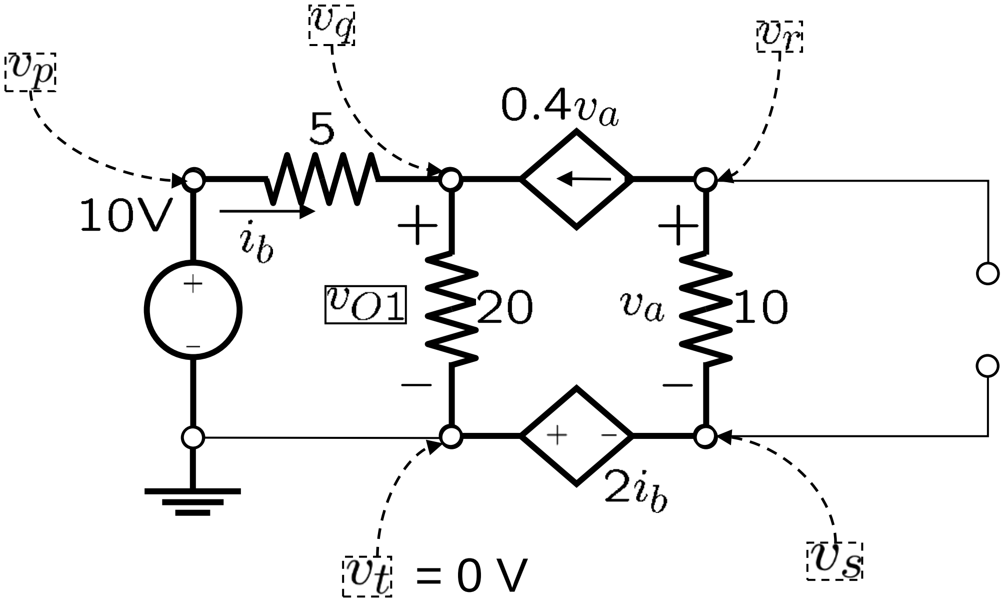
$$v_{O1}$$



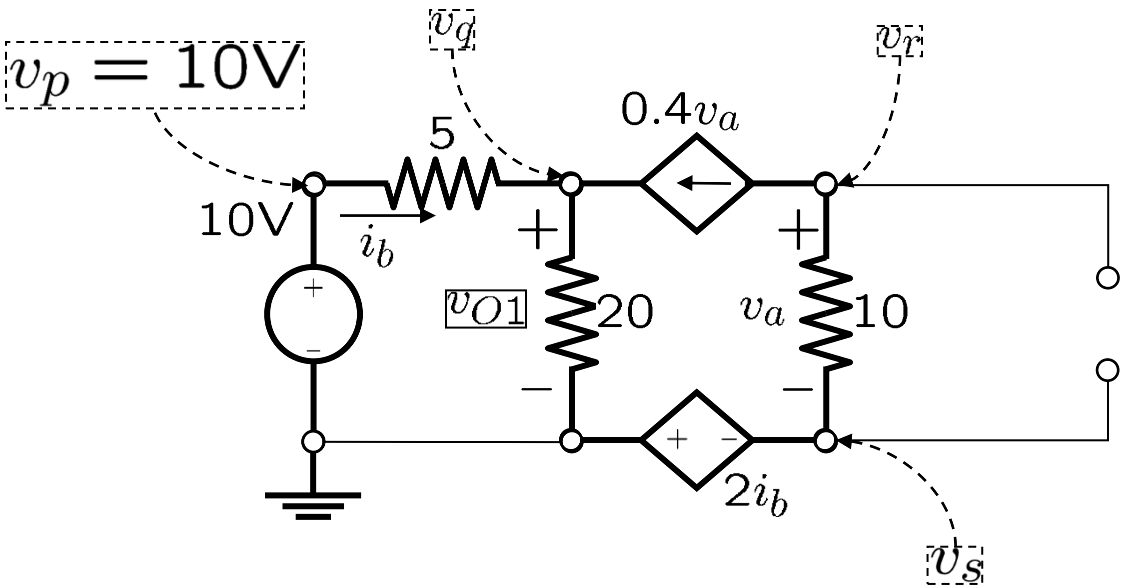
Nous pouvons utiliser la méthode des tensions de nœuds ou les courants de mailles

Utilisons la méthode des
<u>tensions de nœuds</u>

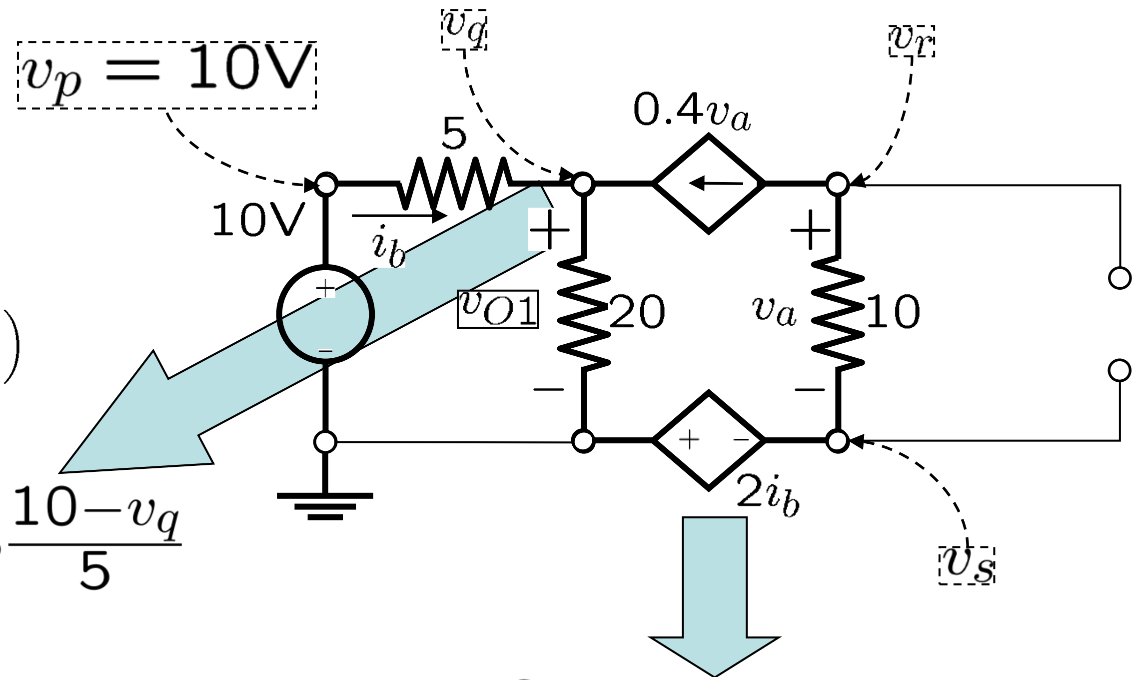
Superposition



Superposition



Superposition



$$i_b = \frac{v_p - v_q}{5} = \frac{10 - v_q}{5}$$

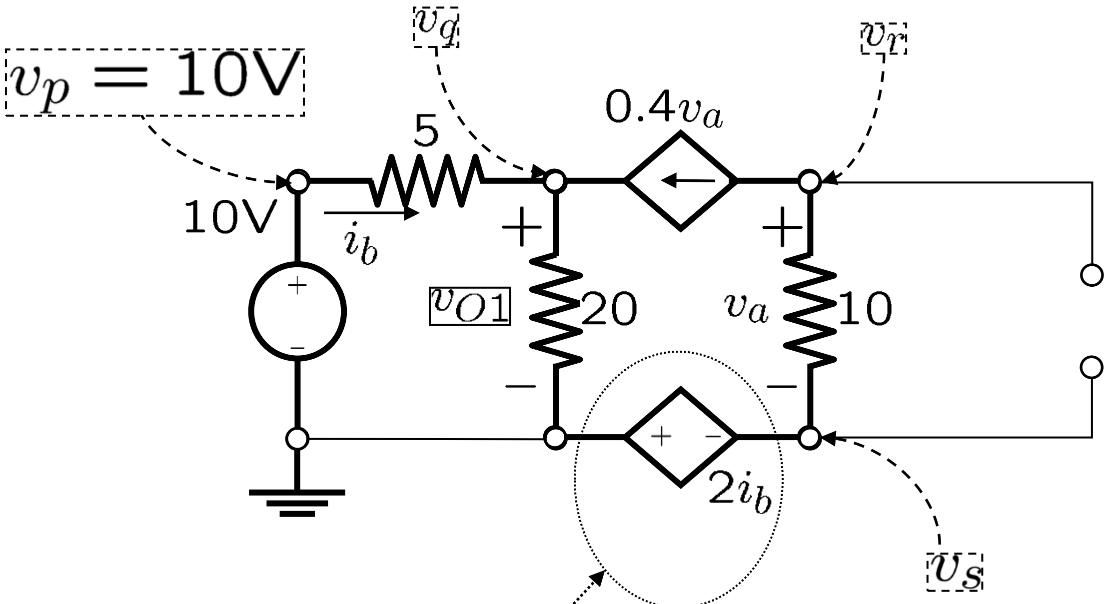
$$v_s = -2i_b = -2\left(\frac{10 - v_q}{5}\right)$$

$$v_a = v_r - v_s = v_r + 2\left(\frac{10 - v_q}{5}\right)$$

$$0.4v_a \equiv 0.4v_r + 0.8\frac{10 - v_q}{5}$$

$$2i_b \equiv \frac{2}{5}(10 - v_q)$$

Superposition



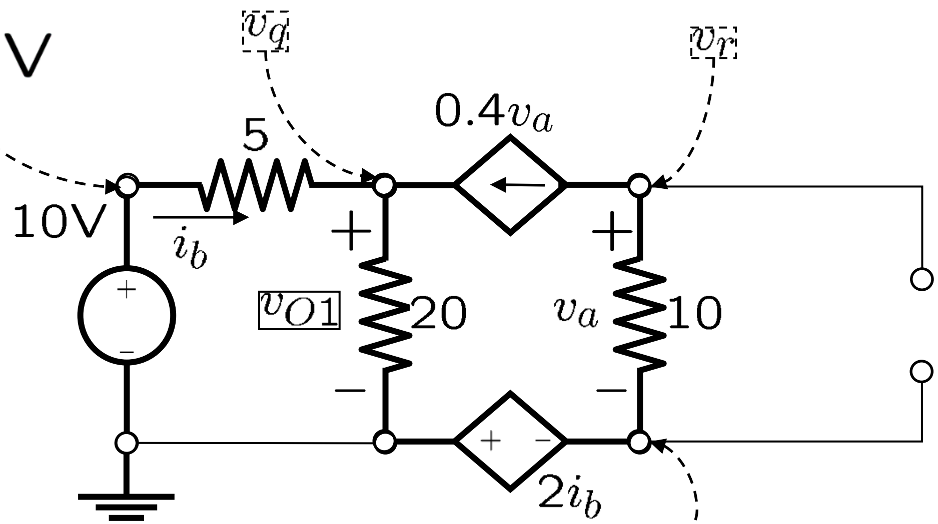
S'il y a une source dépendante, il est possible d'utiliser les notions de « super maille » ou super nœud »

Super nœud !

Superposition

$v_p = 10\text{V}$

Nous avions ce résultat

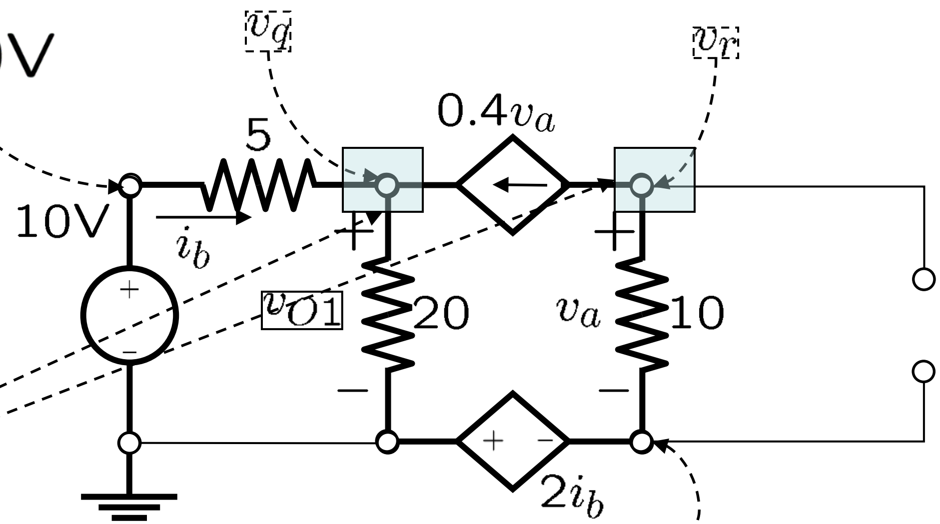


Super nœud ! Donc :

$$v_s = -2i_b = -\frac{2}{5}(10 - v_q)$$

Superposition

$$v_p = 10\text{V}$$

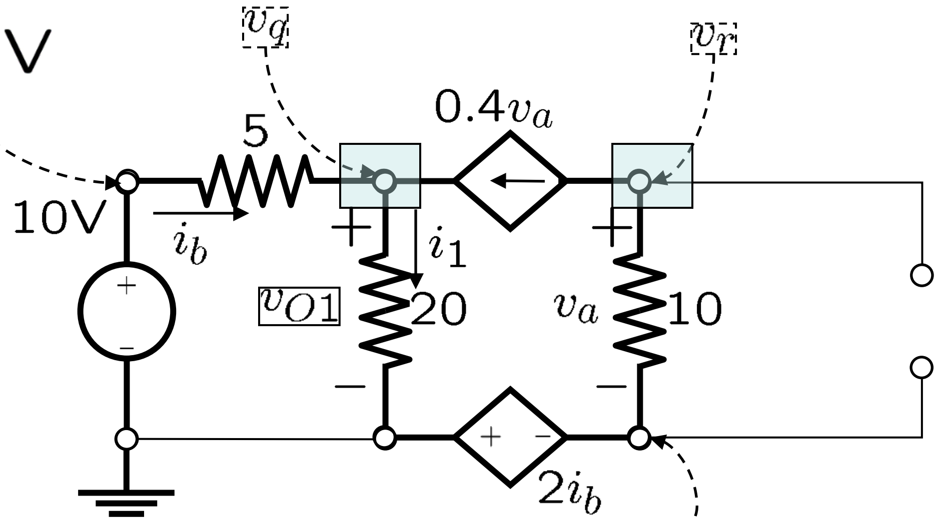


Appliquer la LKC aux deux nœuds

$$v_s = -2i_b = -\frac{2}{5}(10 - v_q)$$

Superposition

$$v_p = 10\text{V}$$



LKC @ nœud q

$$i_b + 0.4v_a = i_1$$

LKC @ nœud r

$$0.4v_a + i_2 = 0$$

$$v_s = -2i_b = -\frac{2}{5}(10 - v_q)$$

Superposition

$$\frac{10-v_q}{5} + 0.4 \times \left(v_r + 2\frac{10-v_q}{5}\right) = \frac{v_q}{20}$$

$$0.4 \times \left(v_r + 2\frac{10-v_q}{5}\right) + \frac{2\left(\frac{10-v_q}{5}\right)+v_r}{10} = 0$$

Simplifier

$$\frac{18}{5} - \frac{41}{100}\,vq + \frac{2}{5}\,v_r = 0$$

(1)

$$\frac{-3}{10}\,v_r - \frac{6}{5} + \frac{3}{25}\,v_q = 0$$

Multiplier par $\times\frac{2}{5}\times\frac{10}{3}$

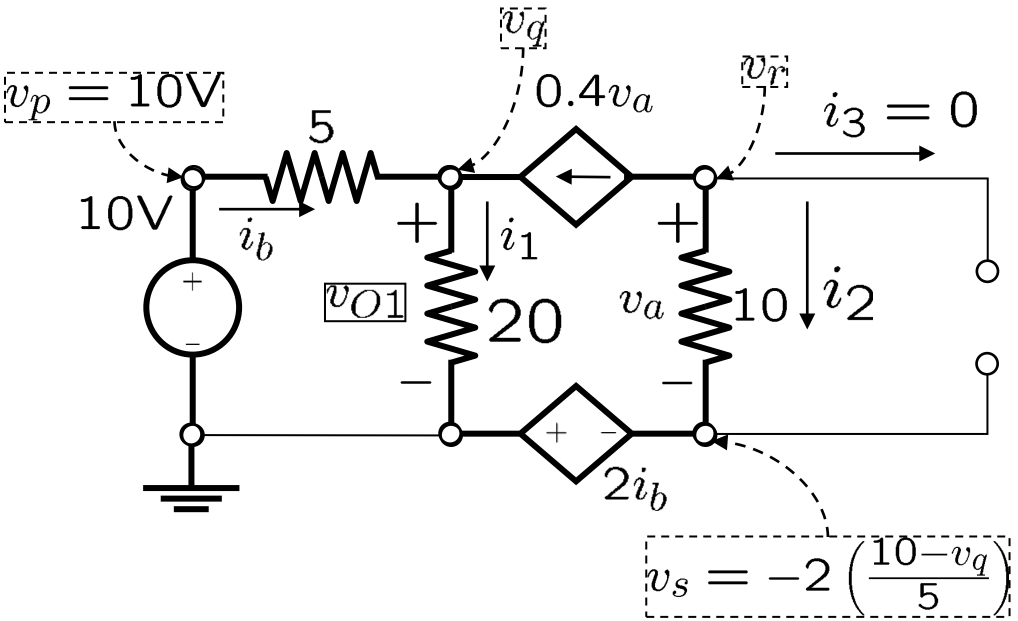
$$-\frac{2}{5}\,v_r - \frac{8}{5} + \frac{4}{25}\,v_q = 0$$

(2)

Ajouter (1) et (2)

$$\boxed{v_r = -\frac{4}{5}} \qquad \boxed{v_q = 8}$$

Superposition



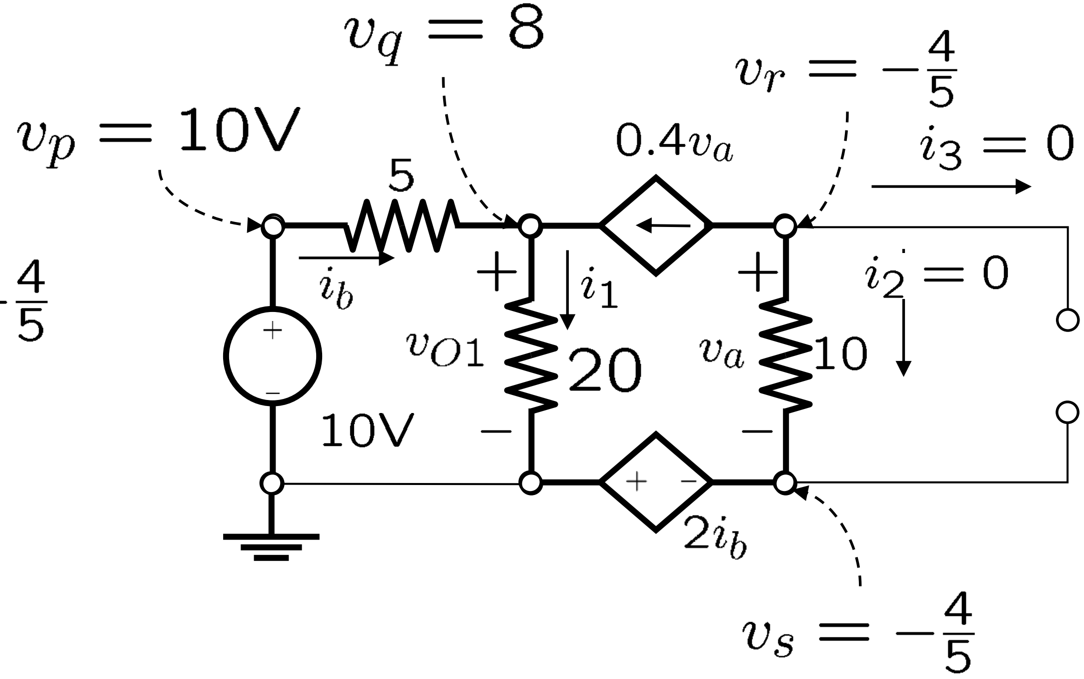
$$\boxed{v_r = -\frac{4}{5}}$$

$$\boxed{v_q = 8}$$

$$\boxed{v_{O1} = v_q = 8}$$

Superposition

Vérification



$$v_s = -2\left(\frac{10-8}{5}\right) = -\frac{4}{5}$$

$$i_b = \frac{10-8}{5} = 0.4$$

$$i_1 = \frac{8}{20} = 0.4$$

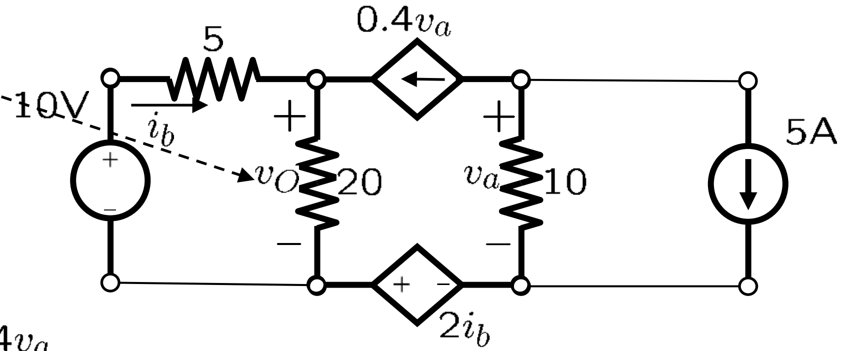
$$i_2 = 0$$

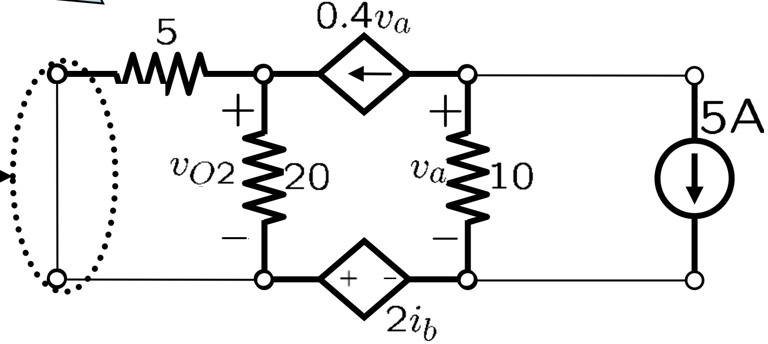
$$v_a = 0$$

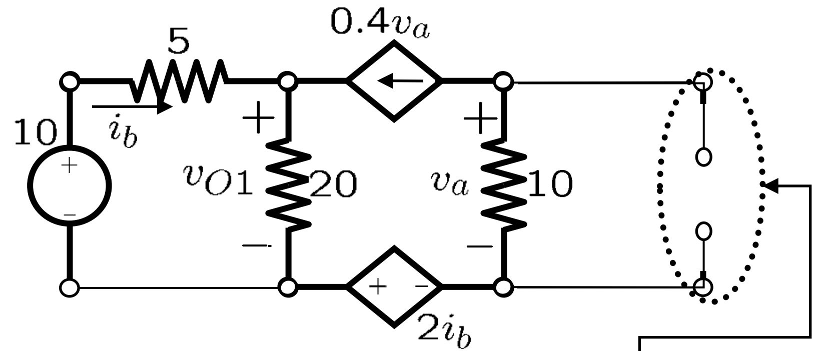
$$0.4v_a = 0$$

Superposition

Tension à calculer







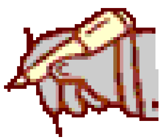
Désactiver la source indépendante de 10V

Désactiver la source indépendante de 5A

Calculer v_{O2}

Calculer v_{O1}

$$v_O = v_{O1} + v_{O2}$$

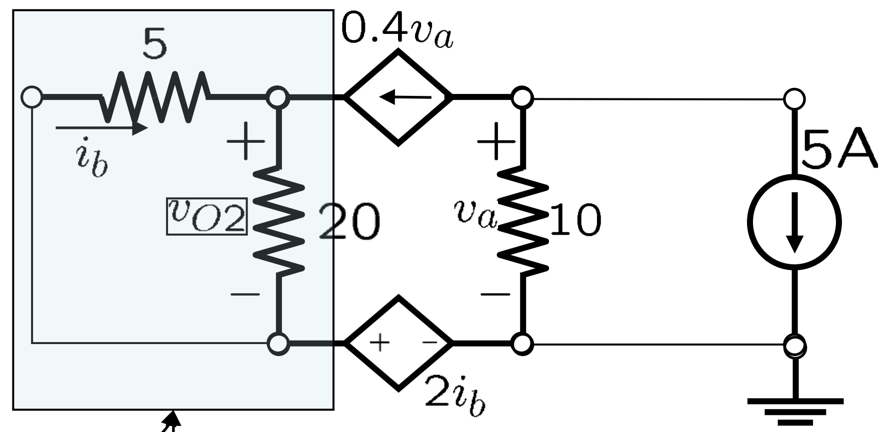


Nous allons calculer maintenant cette variable

Superposition

Calculer v_{O2}

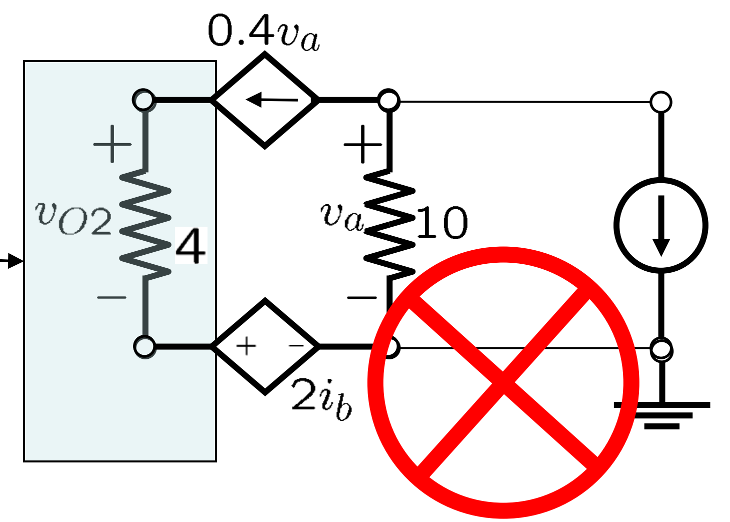
Il serait tentant de simplifier le circuit



5 Ω// 20 Ω = 4 Ω

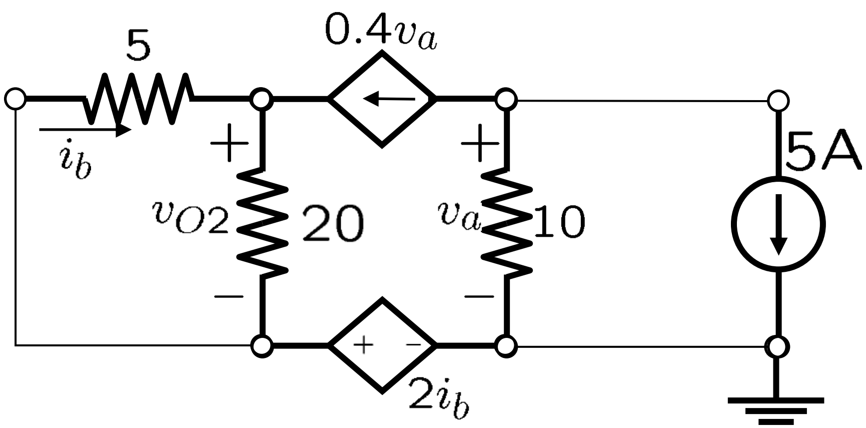
MAIS ATTENTION !!! Où est i_b ??

Cette "simplification" va compliquer encore plus le problème



Superposition

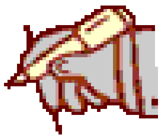
Calculer v_{O2}



Ce circuit contient DEUX sources de courant et UNE source de tension

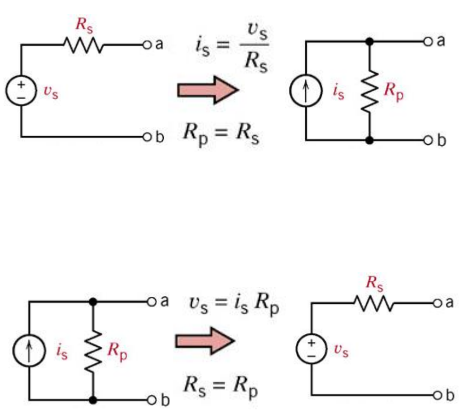
Utiliser les courants de maille

A résoudre

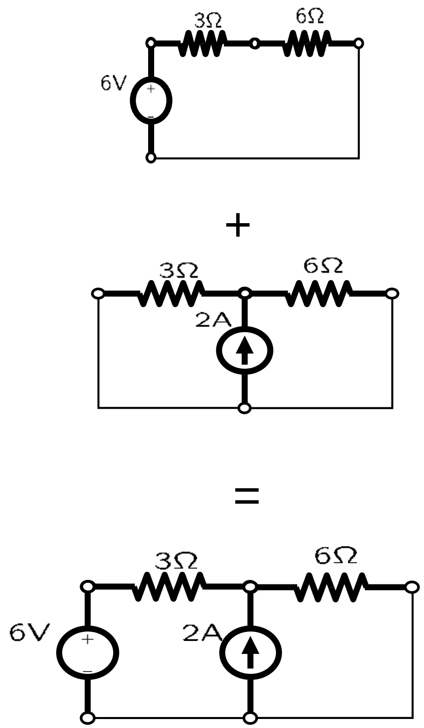


Théorèmes de circuits

Équivalence de Source



Théorème de Superposition



Circuit Équivalent Thévenin

Circuit Équivalent Norton

Introduction aux théorèmes de Thévenin et Norton

Il existe des circuits que nous ne pouvons pas simplifier par simple combinaison de résistances en série ou en parallèle.

NÉANMOINS, il existe des techniques qui permettent de simplifier un circuit :

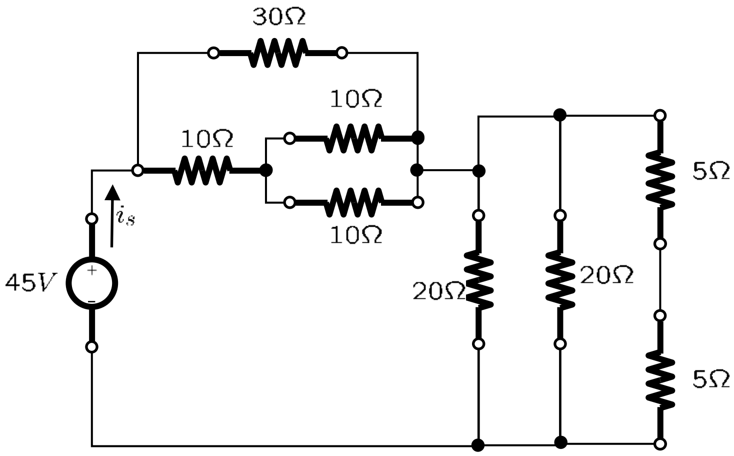
les **théorèmes de Thévenin et Norton**

TROISIÈME THÉORÈME

Circuit équivalent de Thévenin

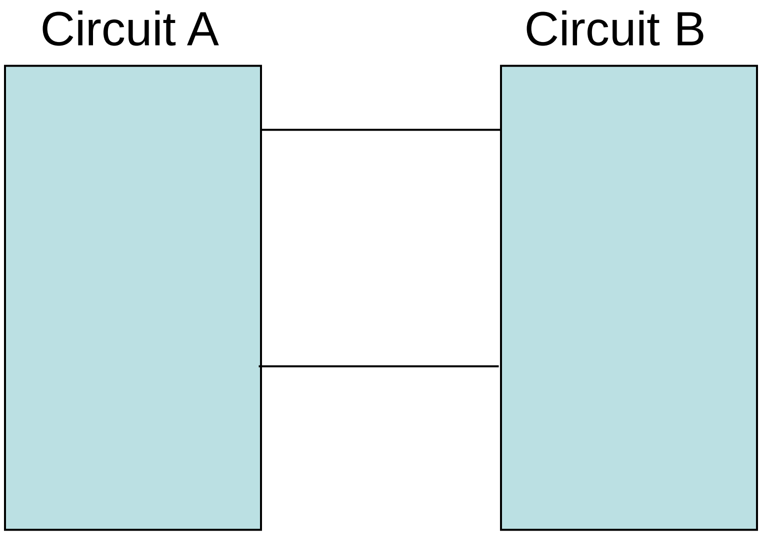
Théorème de Thévenin

Ce circuit peut être simplifié en



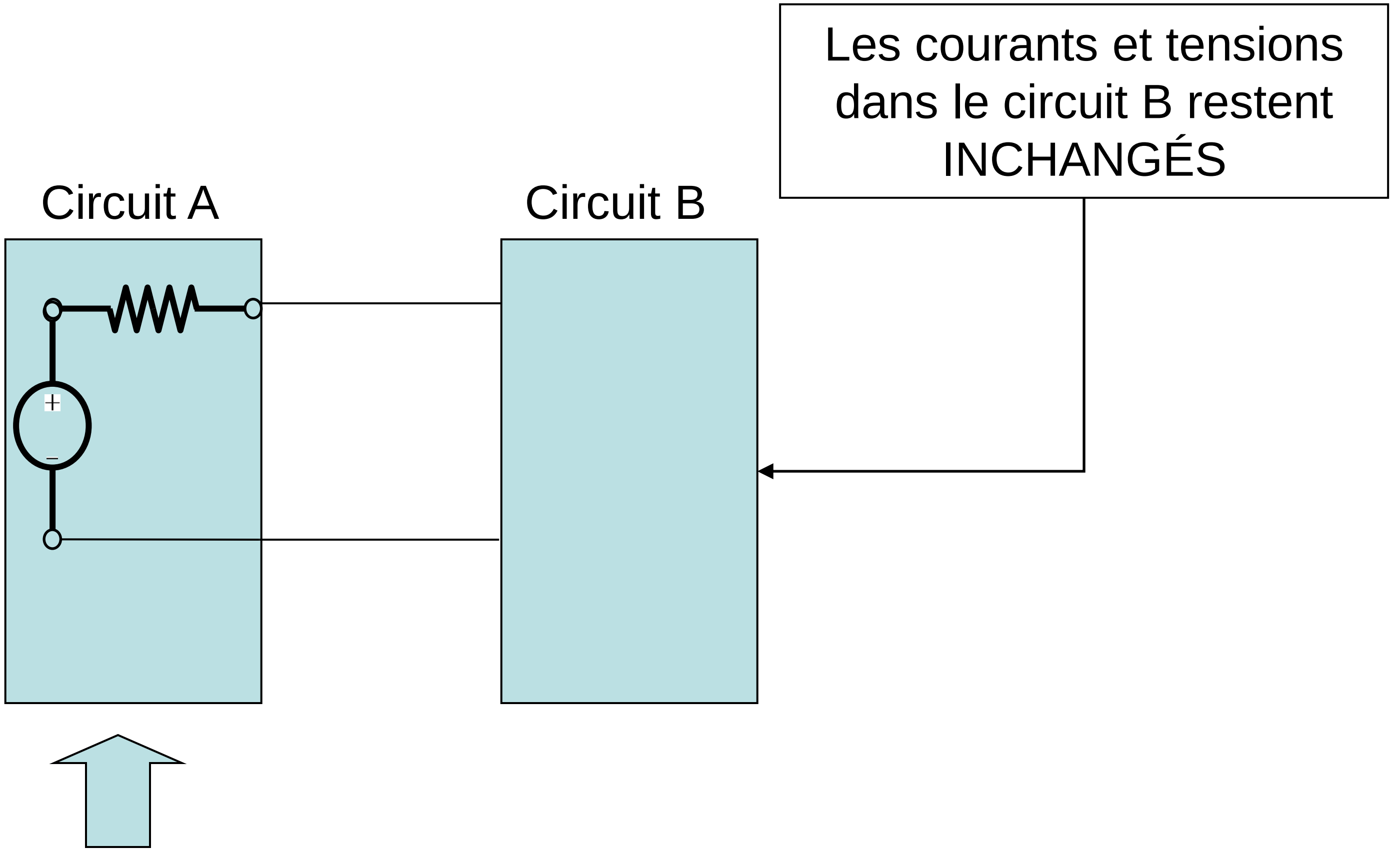
Théorème de Thévenin

Théorème de Thévenin : Soient deux circuits linéaires :



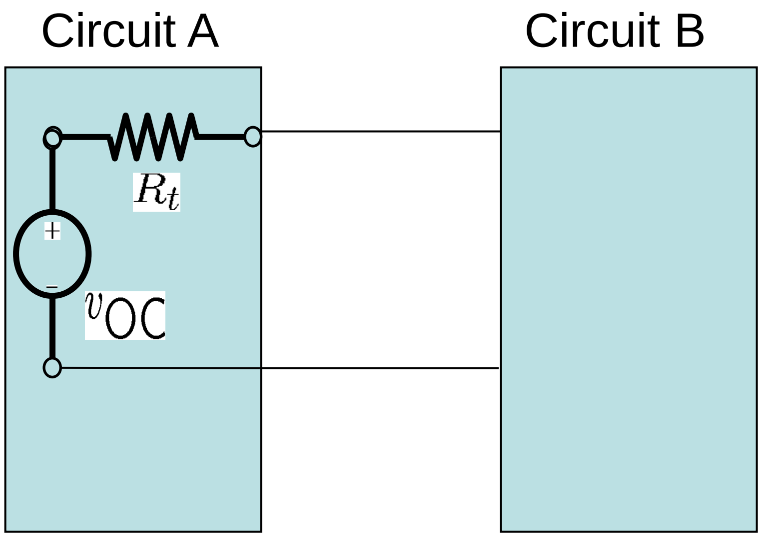
Il est **TOUJOURS** possible de remplacer l'un d'eux par une source de tension et une résistance en série **SANS** altérer le second circuit

Théorème de Thévenin



Ceci est le circuit équivalent de Thévenin

Théorème de Thévenin



Il faut donc déterminer v_{OC} R_t

Théorème de Thévenin

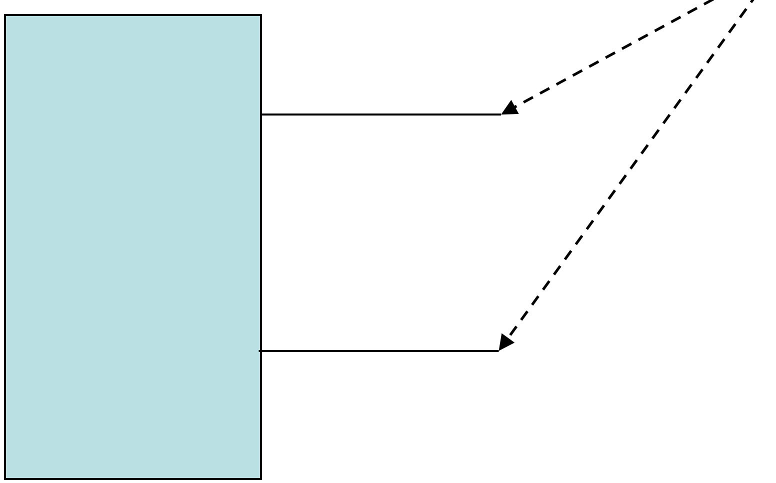
Step 1

Calculer v_{OC}

v_{OC}

TENSION
en circuit ouvert

Circuit A



Calculer une tension : circuit ouvert !!

Théorème de Thévenin

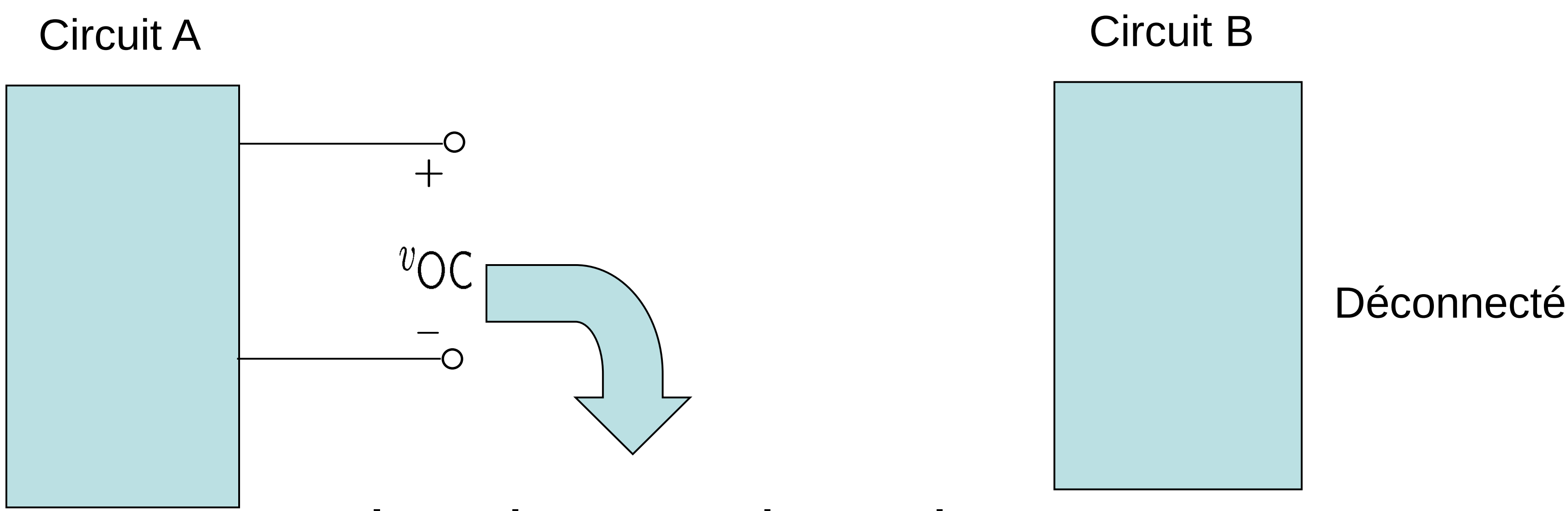
Step 1

Calculer v_{OC}

Pour calculer cette tension

v_{OC}

Nous débranchons le circuit et les terminaisons restent en circuit-ouvert

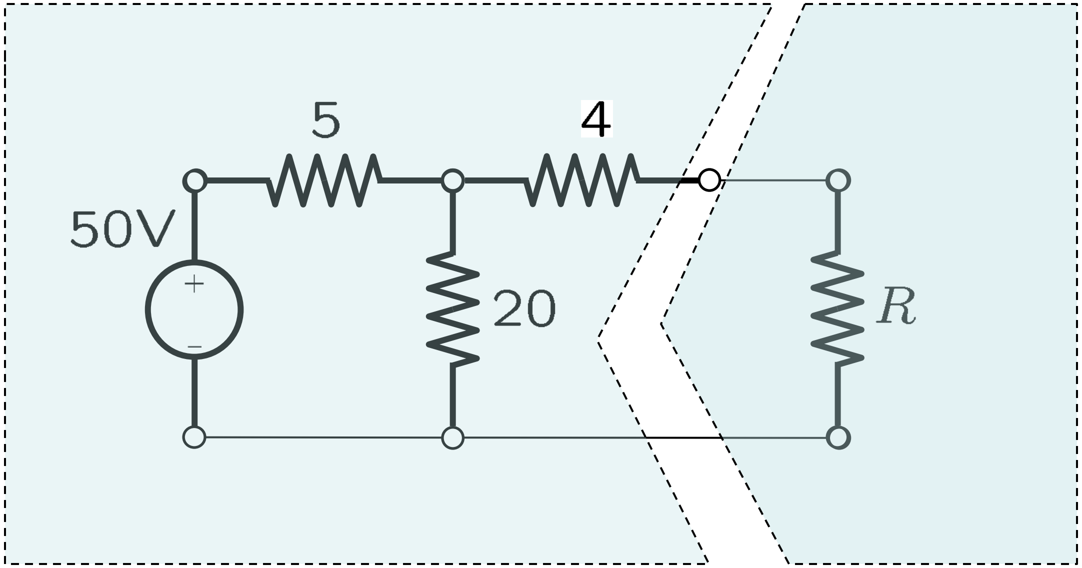


est la tension vue aux bornes des deux terminaisons

Théorème de Thévenin

Step 1 — Calculer v_{OC}

Exemple



Supposons que cette partie représente le

Circuit A

Supposons que cette partie représente le

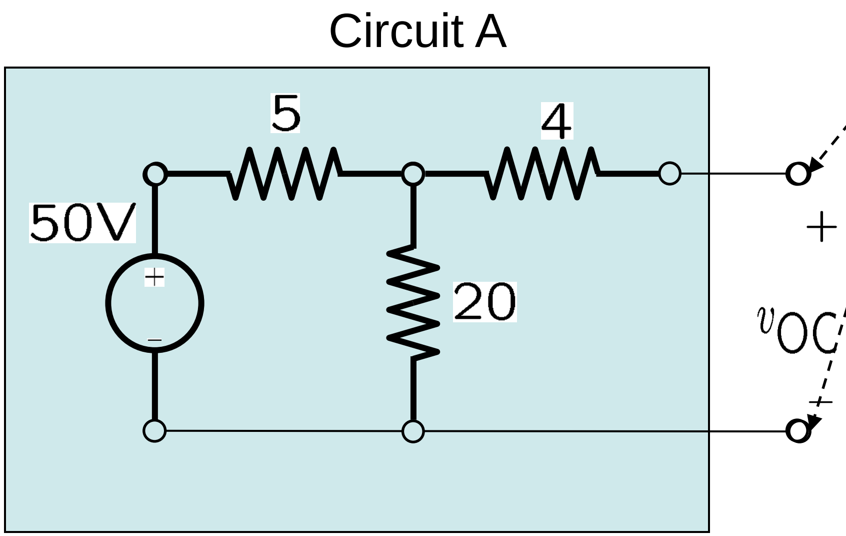
Circuit B

Théorème de Thévenin

Step 1

Calculer v_{OC}

Notre but est de trouver la différence de tension entre ces deux nœuds



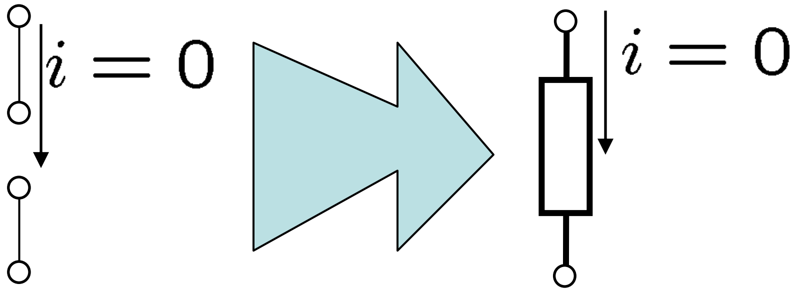
Théorème de Thévenin

<u>Step 1</u>

Calculer v_{OC}

Circuit ouvert !

L'idée est qu'un circuit ouvert est un élément dont le courant qui le parcoure est nul

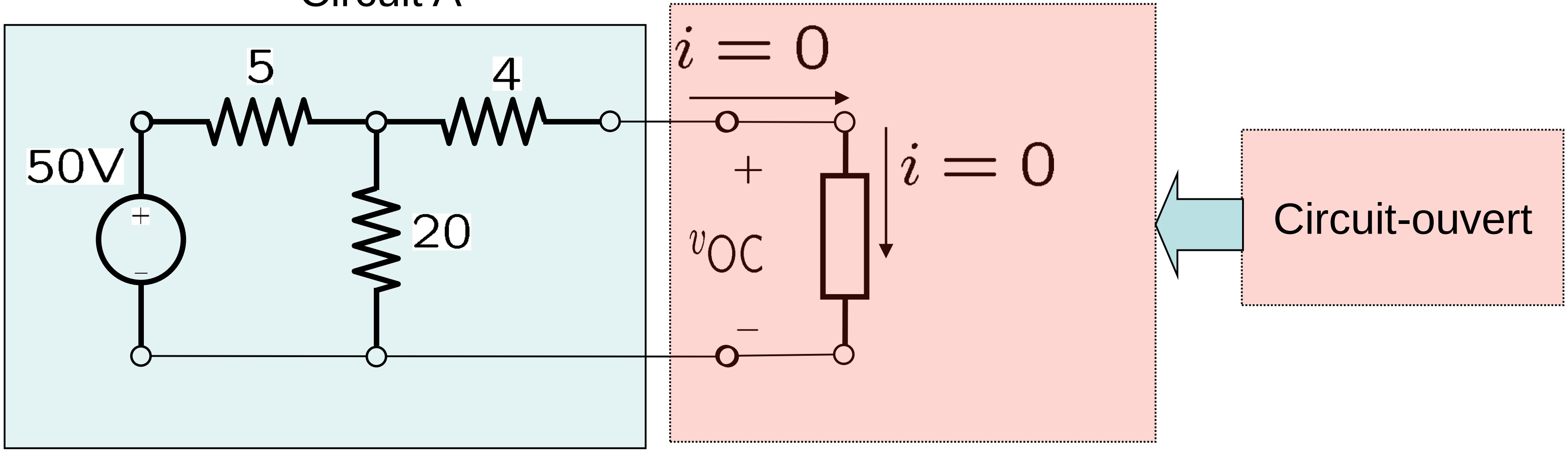


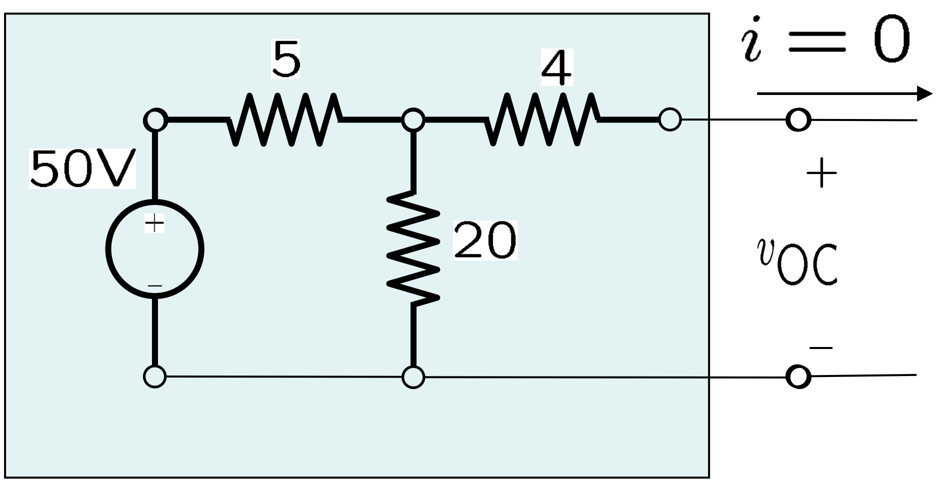
Théorème de Thévenin

Step 1

Calculer v_{OC}

Circuit A

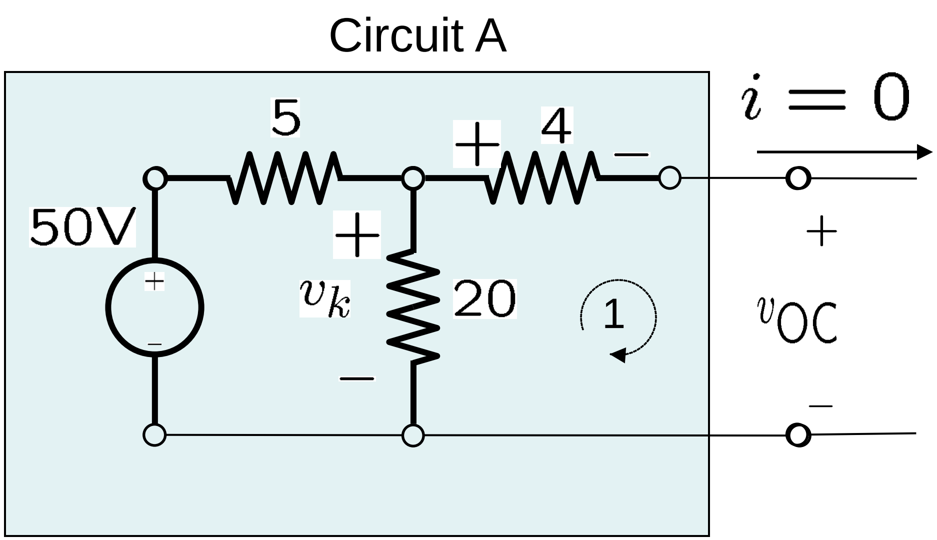




Théorème de Thévenin

Step 1

Calculer v_{OC}



Pour calculer v_{OC} appliquer la LKT (maille 1) $-v_k + 4 \times i + v_{OC} = 0$

$$v_{OC} = v_k$$

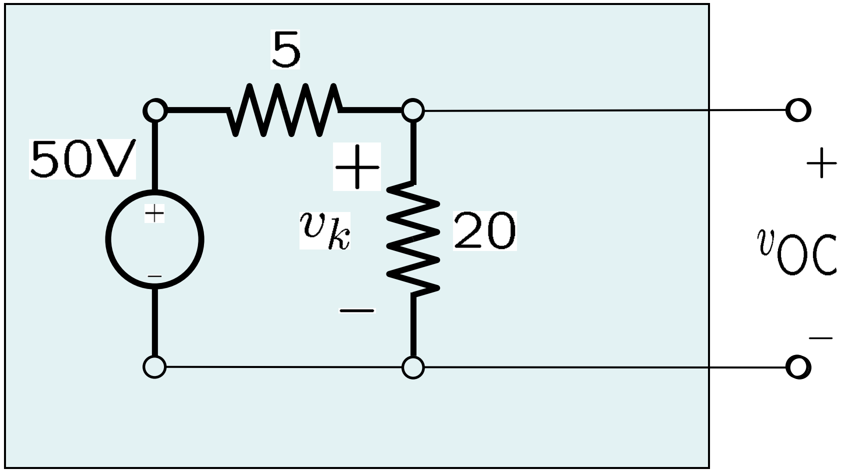
Théorème de Thévenin

Step 1

Calculer v_{OC}

Diviseur de tension :

Circuit A



$$v_k = \frac{20}{20+5} \times 50 = 40\text{V}$$

$$v_{OC} = 40\text{V}$$

Théorème de Thévenin

Step 1 — Calculer v_{OC}

Step 2 — Calculer R_t

C'est quoi ?

R_t

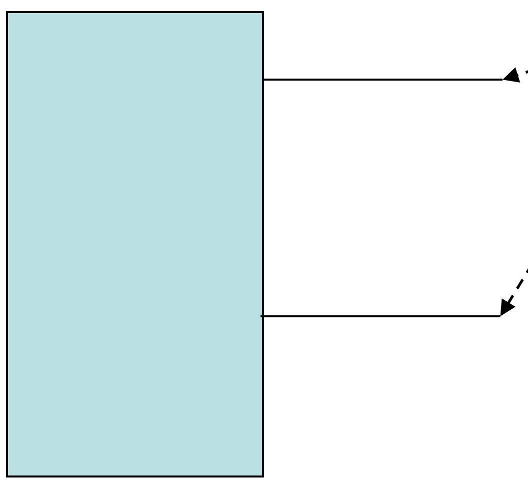
Théorème de Thévenin

<u>Step 2</u> Calculer R_t

R_t

C'est la résistance équivalente du circuit en ***absence*** de toute source ***indépendante***

Circuit A



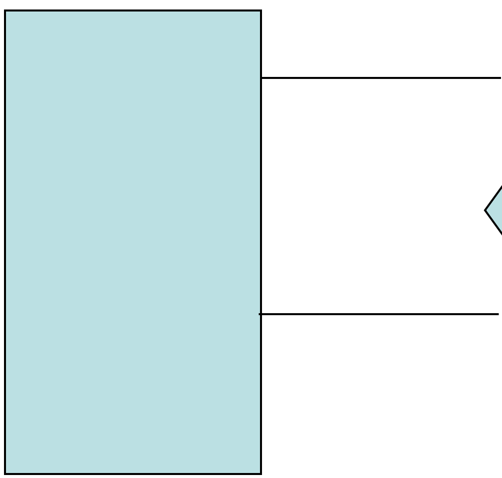
Théorème de Thévenin

<u>Step 2</u>

Calculer R_t

$$R_t$$

Circuit A



Nous devons donc

<u>DÉSACTIVER</u>

<u>toutes les sources indépendantes</u>

<u>du circuit A</u>

Théorème de Thévenin

<u>Step 2</u> Calculer R_t

1. Comment <u>*DÉSACTIVER*</u> <u>*toutes les sources indépendantes du circuit A ?*</u>

Pour désactiver

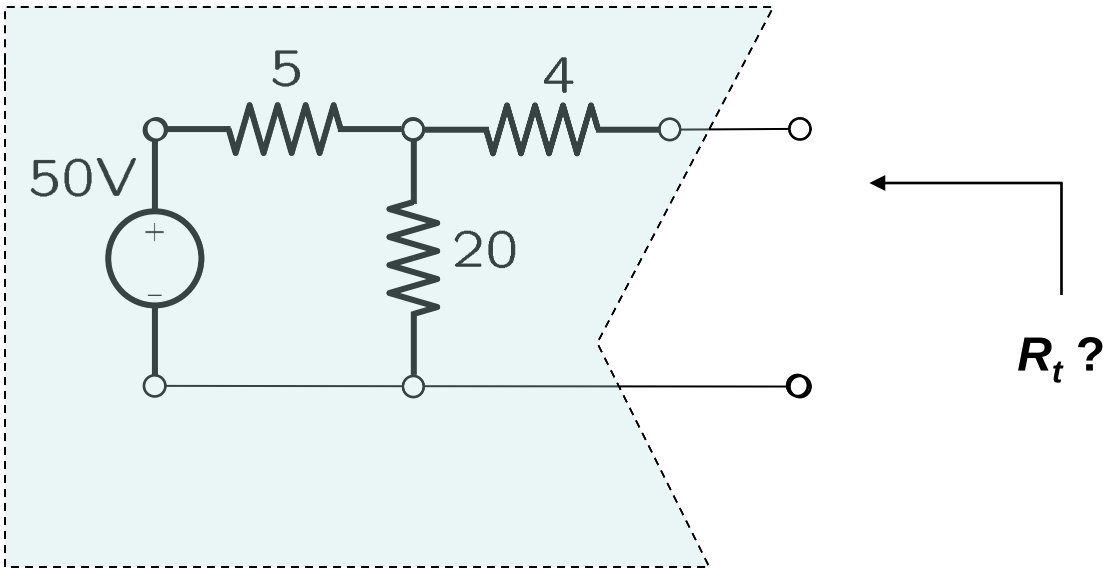
- **Source de courant indépendante** → **Remplacée par** → **Circuit-ouvert**
- **Source de tension indépendante** → **Remplacée par** → **Court-circuit**

Théorème de Thévenin

Step 2

Calculer R_t

Circuit A

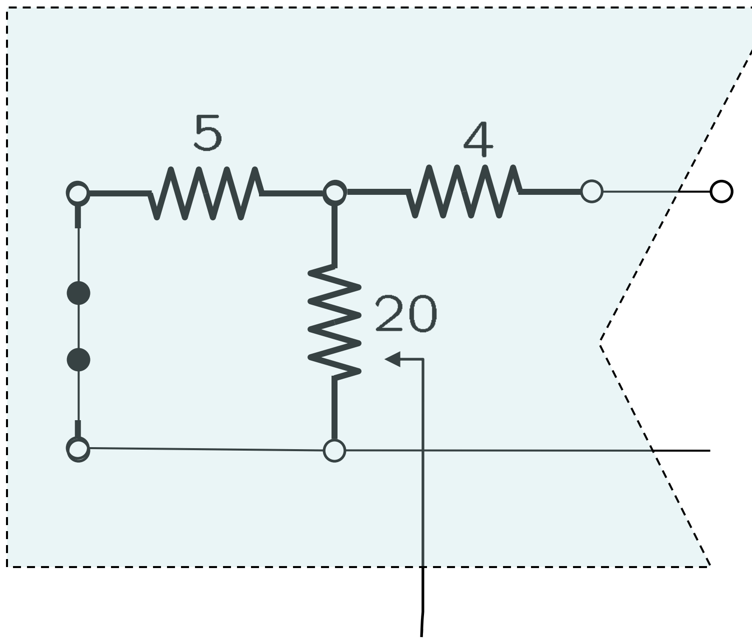


Théorème de Thévenin

Step 2

Calculer R_t

Circuit A
Désactivé



Deux résistances en parallèle $20||5 = 4\Omega$

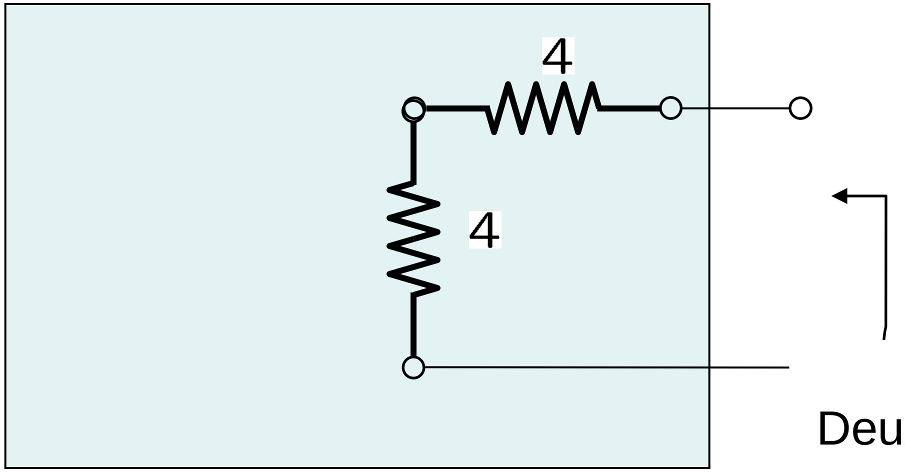
Théorème de Thévenin

Step 2

Calculer R_t

Circuit A

Désactivé



Deux résistances en série

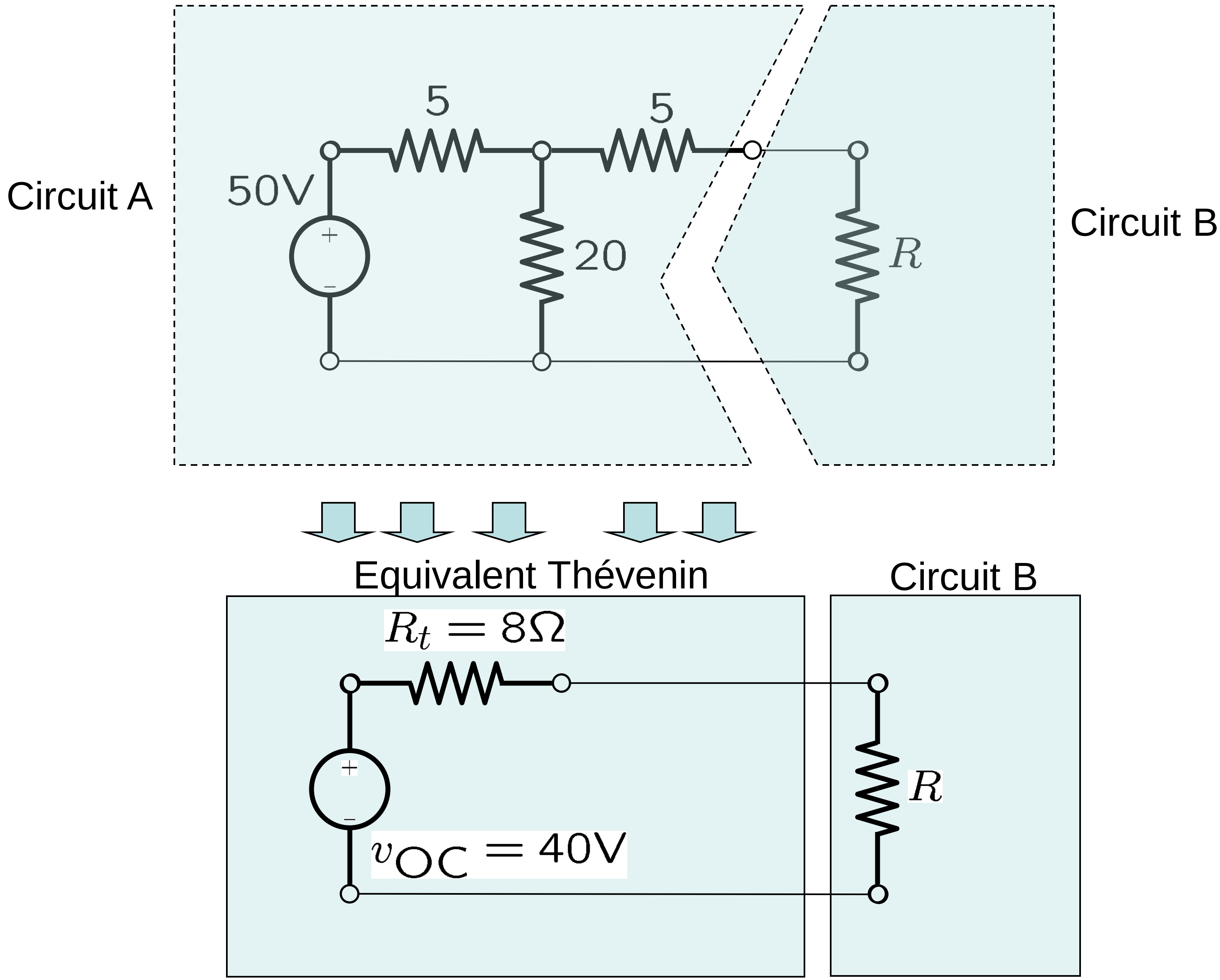
$R_t = 4 + 4 = 8\Omega$

Théorème de Thévenin

Step 1 — Calculer v_{OC}

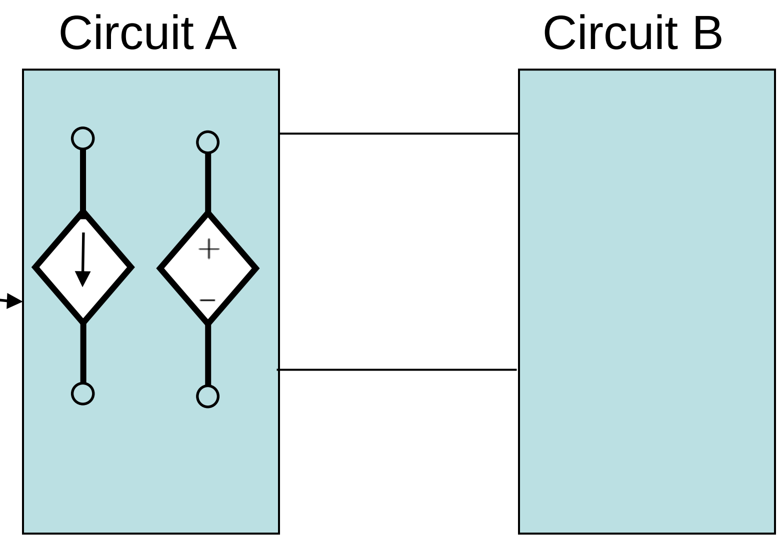
Step 2 — Calculer R_t

Théorème de Thévenin



Théorème de Thévenin

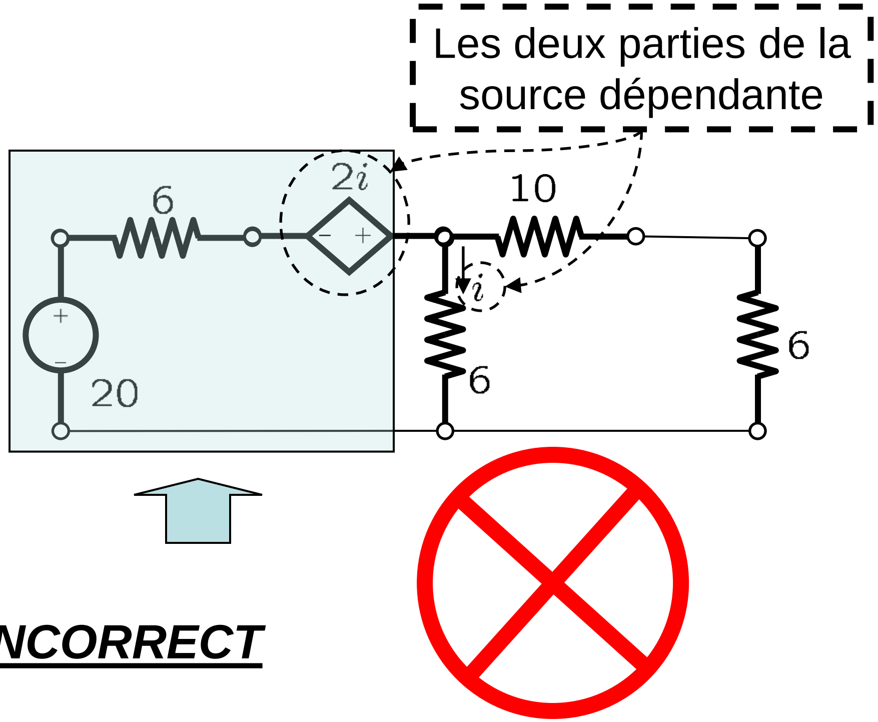
QUESTION : Que faire s'il y a une source dépendante ?



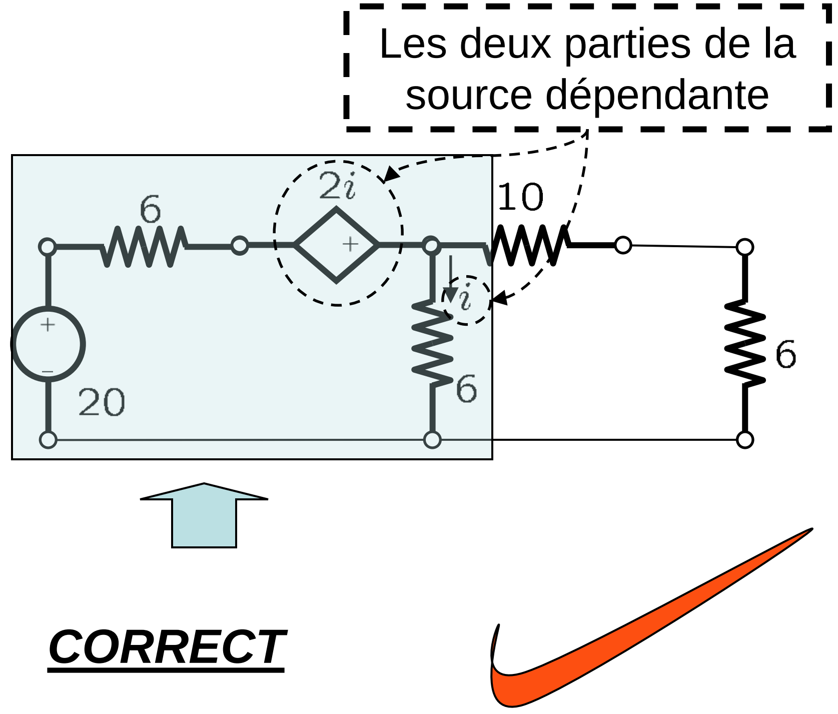
Théorème de Thévenin

ATTENTION : en sélectionnant les circuits A et B,

NE PAS SÉPARER la source dépendante de sa variable de contrôle



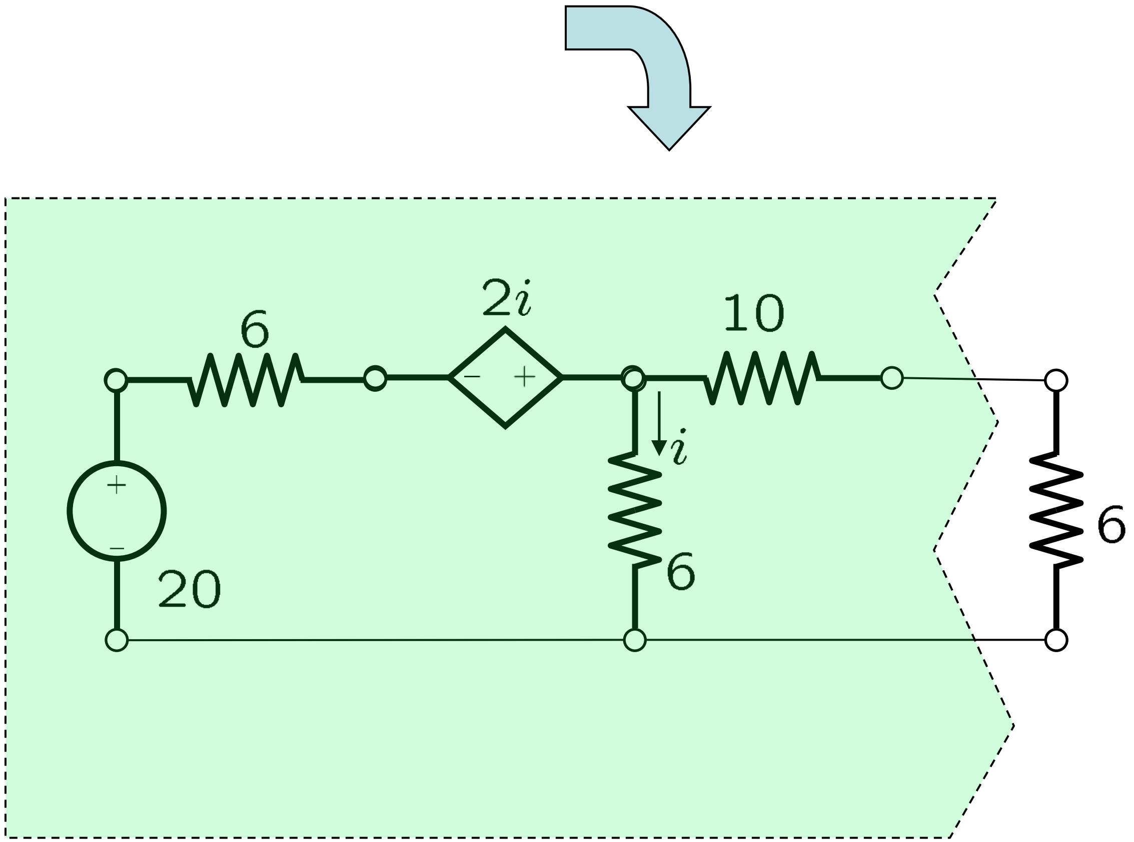
INCORRECT



CORRECT

Théorème de Thévenin

Exemple.



Théorème de Thévenin

Step 1

Calculer v_{OC}

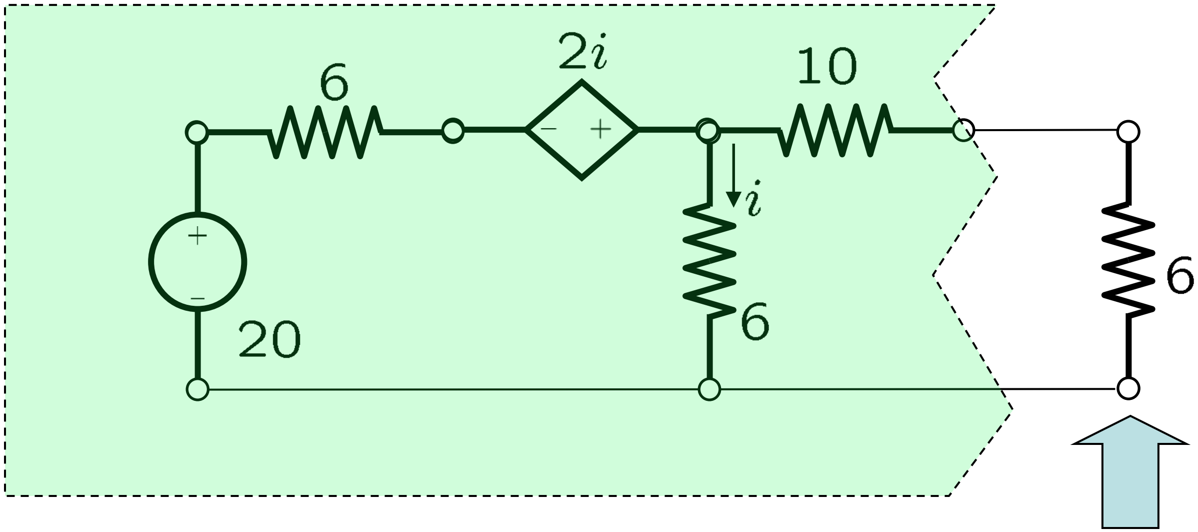
Step 2

Calculer R_t

Théorème de Thévenin

Step 1

Calculer v_{OC}

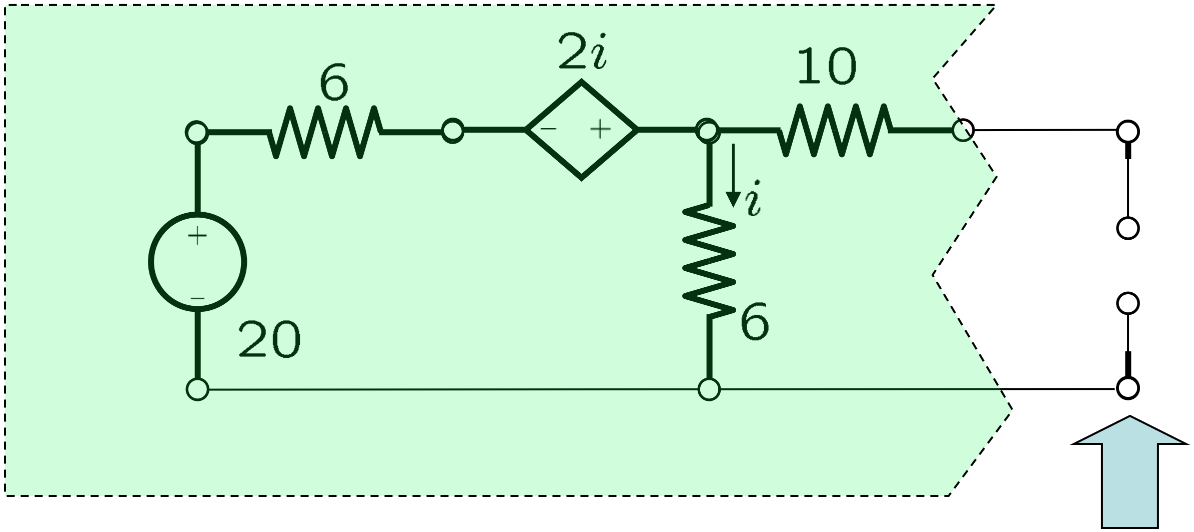


Déconnectée

Théorème de Thévenin

Step 1

Calculer v_{OC}

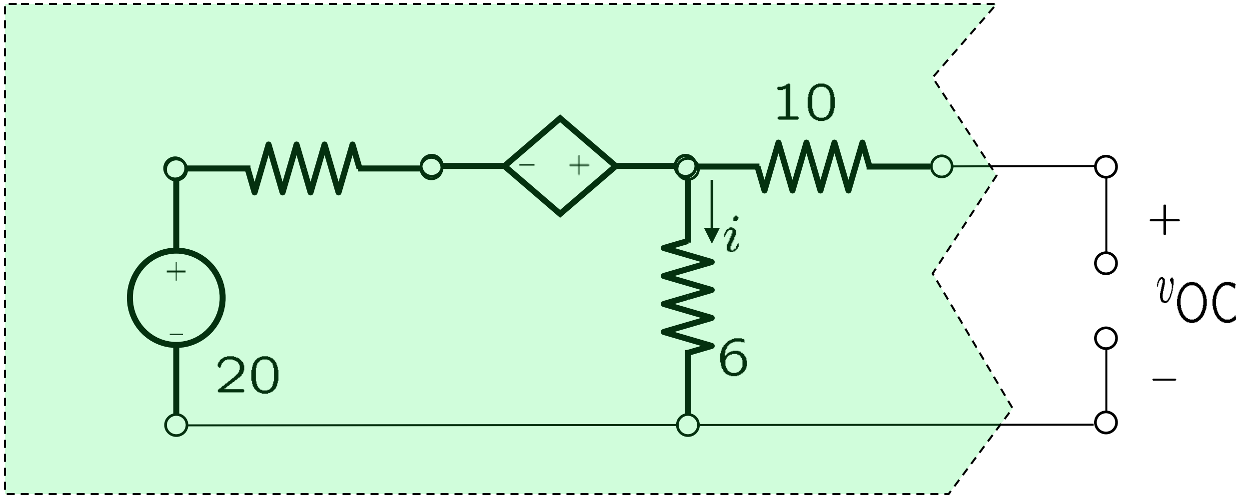


Remplacée par un circuit-ouvert

Théorème de Thévenin

Step 1

Calculer v_{OC}

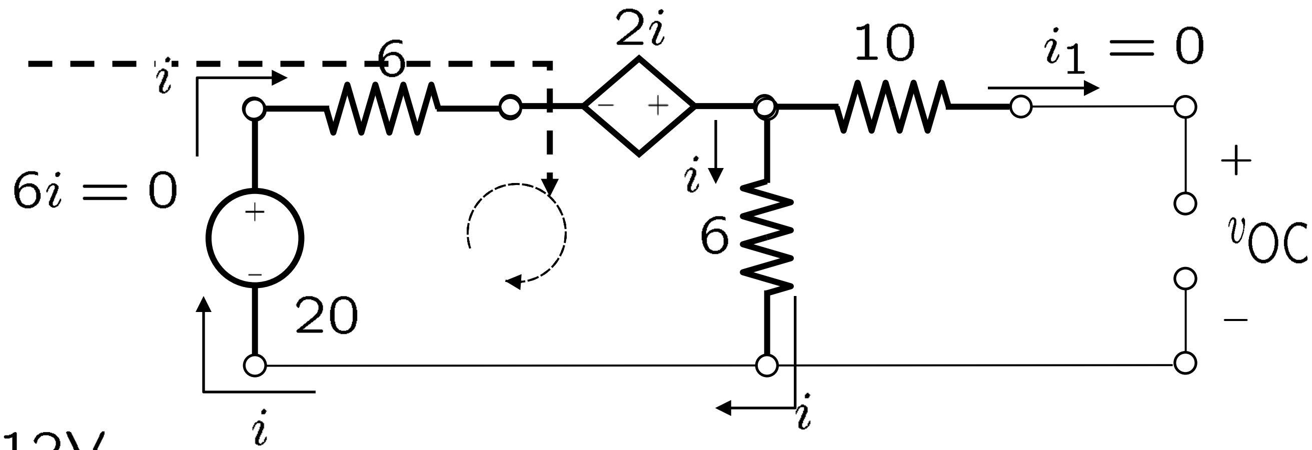


LKT

$$-20+6i-2i+6i=0$$

$$i=2\text{A}$$

$$v_{OC}=6i=12\text{V}$$



Théorème de Thévenin

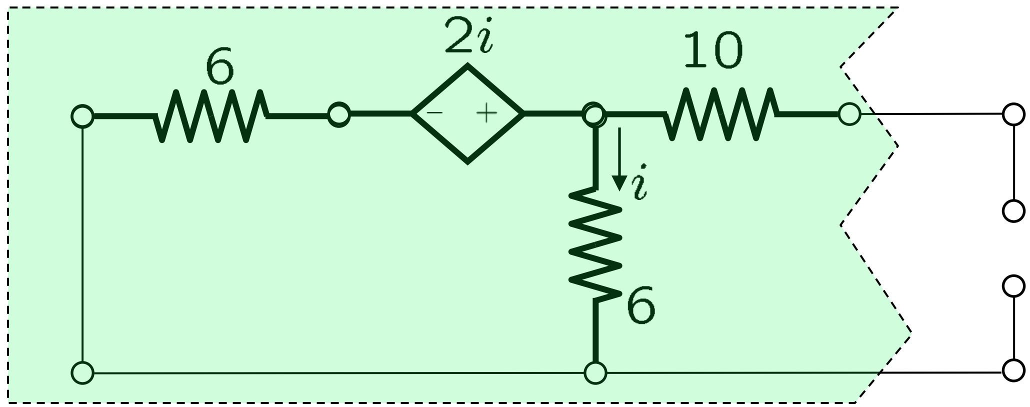
Step 1 — Calculer v_{OC}

Step 2 — Calculer R_t

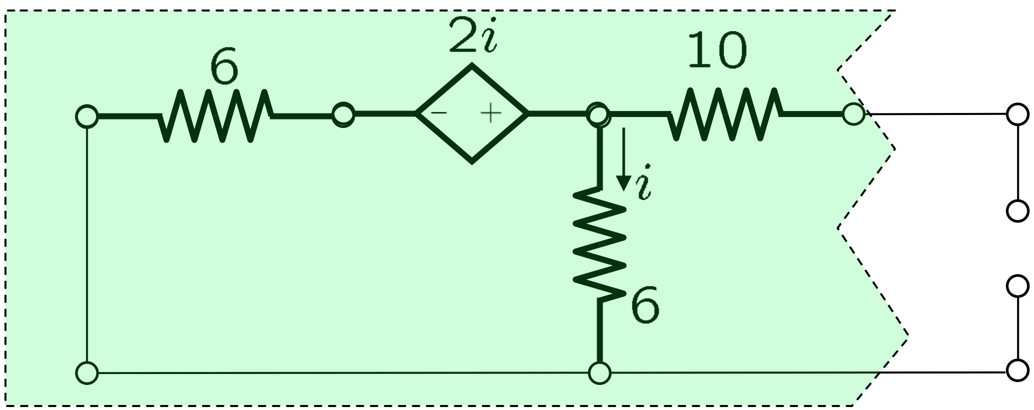
Théorème de Thévenin

Step 2

Calculer R_t



Premièrement, désactiver les sources indépendantes

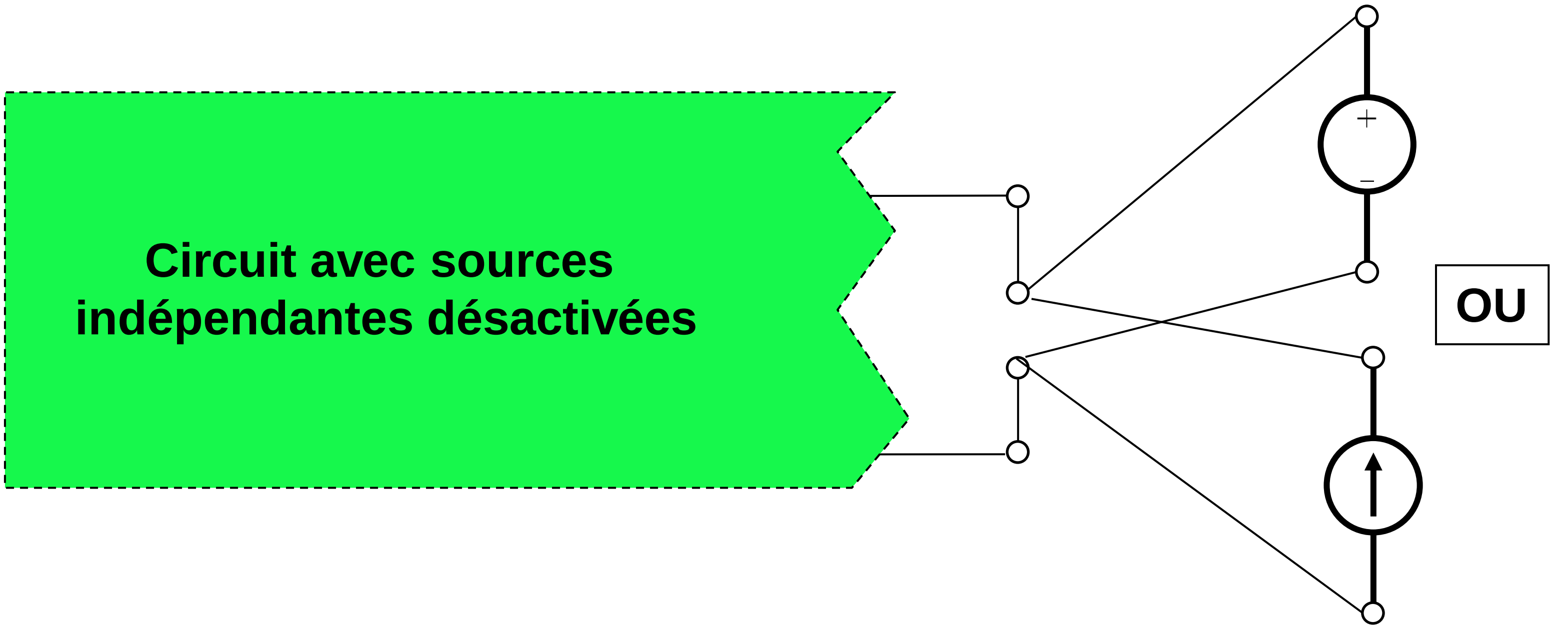


Puis, calculer la résistance Équivalente R_t

MAIS COMMENT???

Théorème de Thévenin

Concept général de la résistance équivalente



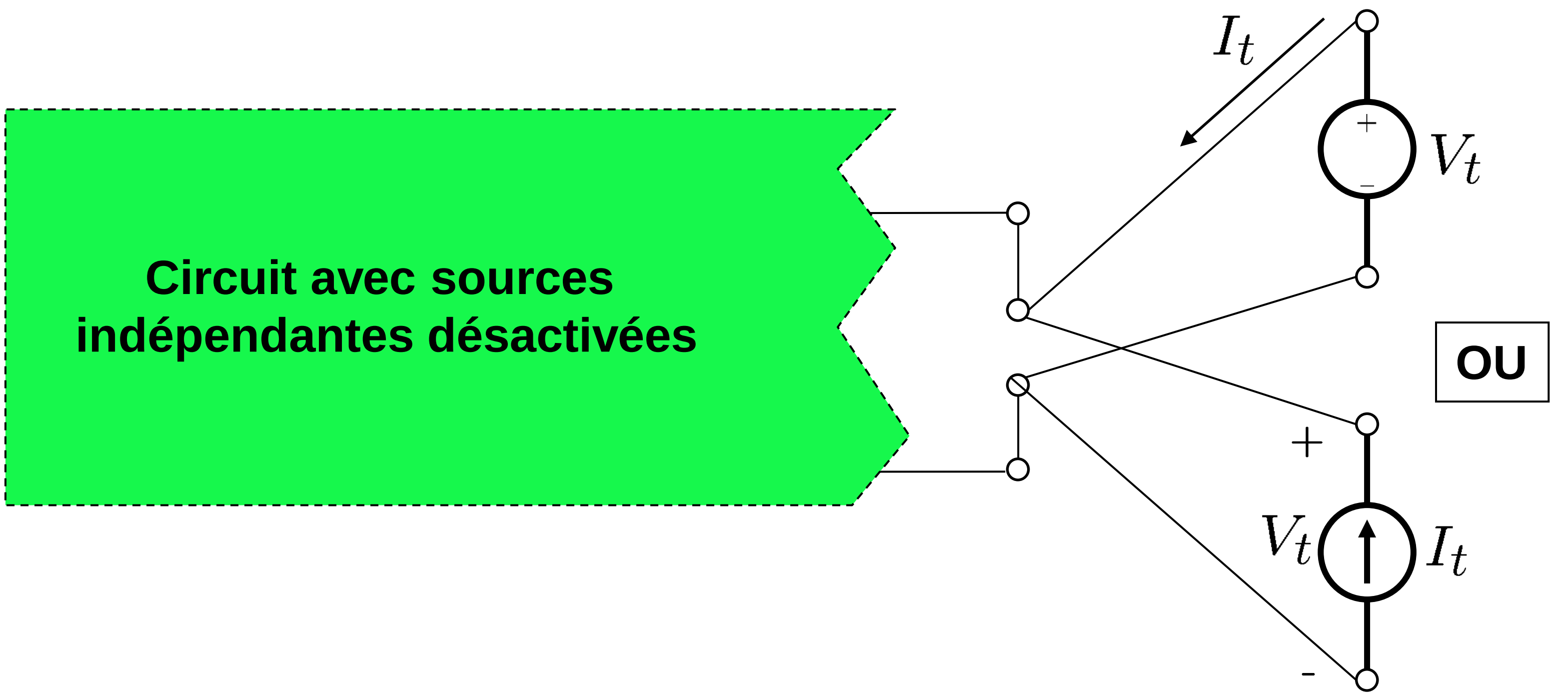
Le concept de résistance équivalente permet d'alimenter le circuit avec une source indépendante de courant ou de tension

La résistance équivalente sera le rapport entre la tension et le courant au niveau de cette source

Théorème de Thévenin

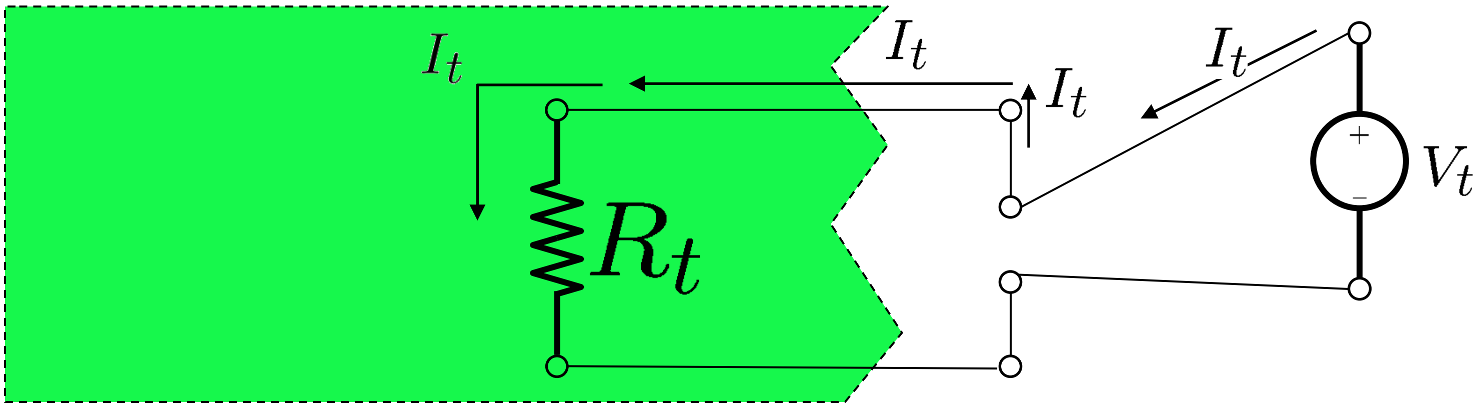
Concept général de la résistance équivalente

$$\text{Résistance équivalente} = \frac{V_t}{I_t}$$



Théorème de Thévenin

Concept général de la résistance équivalente



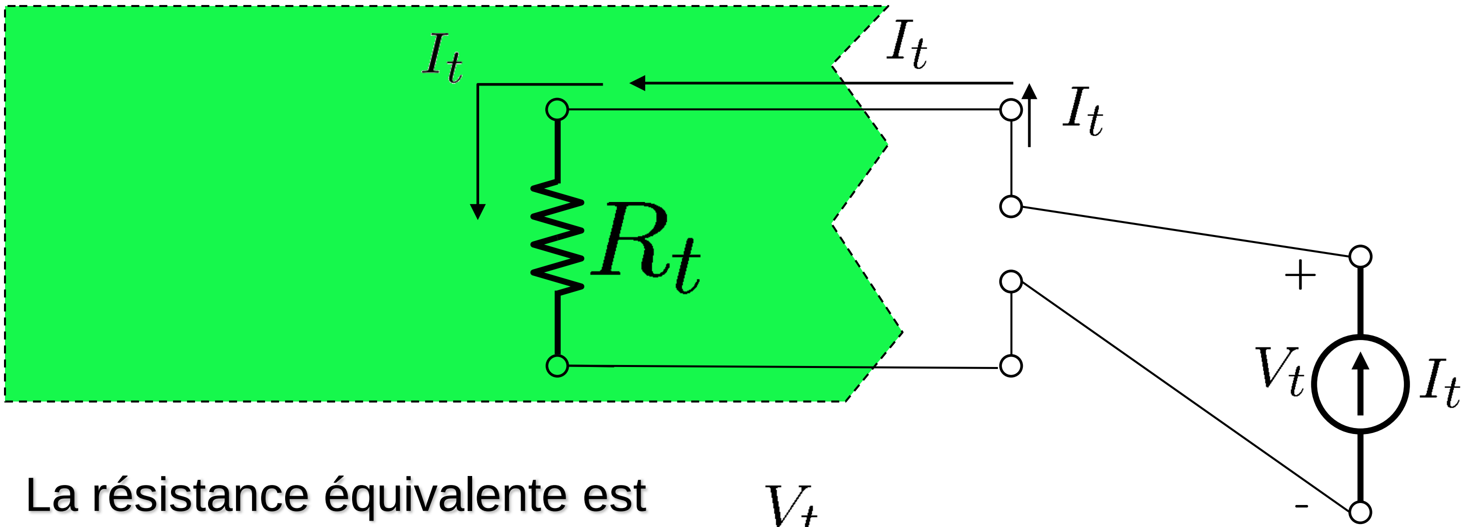
La résistance équivalente est théoriquement donnée par $\dfrac{V_t}{I_t}$

Mais en partant de $V_t = I_t R_t$

On trouve la résistance R_t

Théorème de Thévenin

Concept général de la résistance équivalente



La résistance équivalente est théoriquement donnée par $\frac{V_t}{I_t}$

Mais en partant de $V_t = I_t R_t$

On trouve la résistance R_t

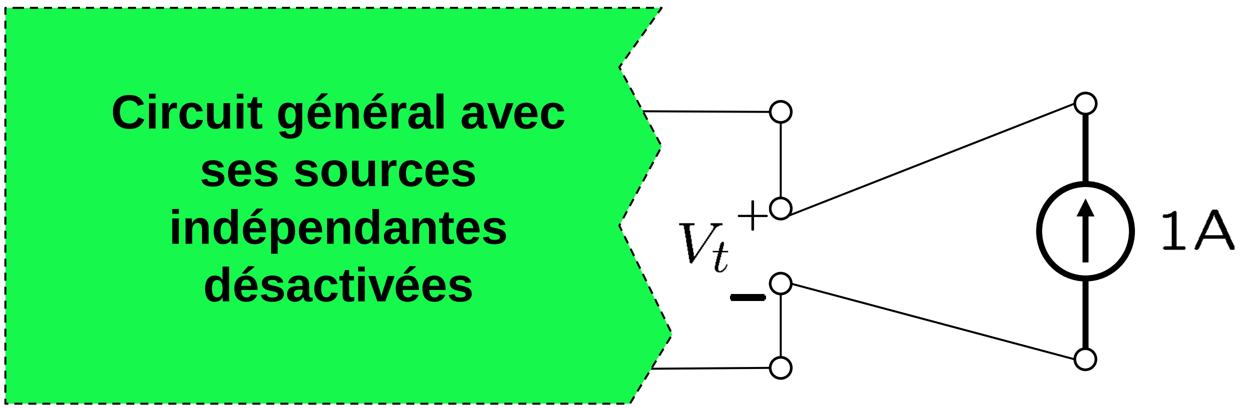
Théorème de Thévenin

Concept général de la résistance équivalente

Pour simplifier on prend des sources de 1A ou 1V

La résistance équivalente se déduit directement

$$\frac{V_t}{1\,\mathrm{A}} = V_t\ \Omega$$

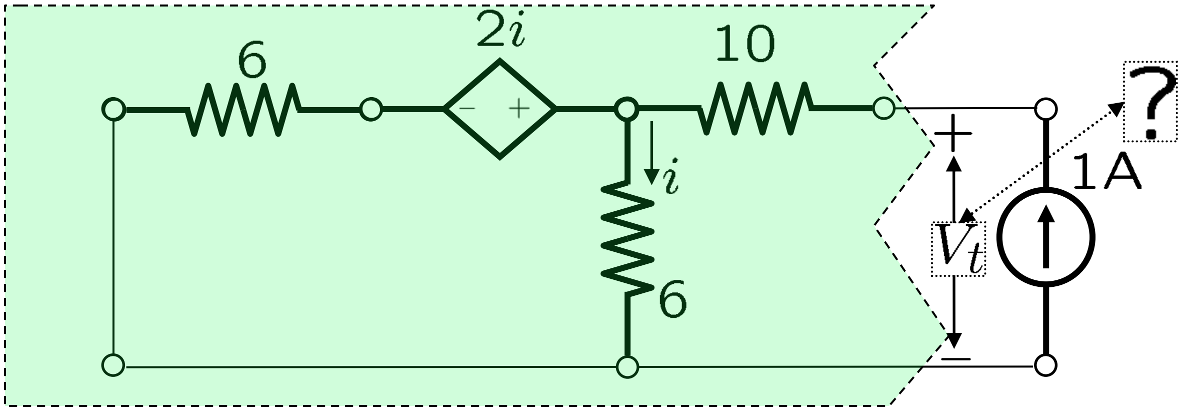


Théorème de Thévenin

Step 2

Calculer R_t

On applique donc une source de courant de 1A et on calcule la tension a ses bornes (ou inversement)



On a une source de courant $\Rightarrow$ utiliser la méthode des courants de maille

Théorème de Thévenin

Step 2

Calculer R_t

Assigner les courants de maille

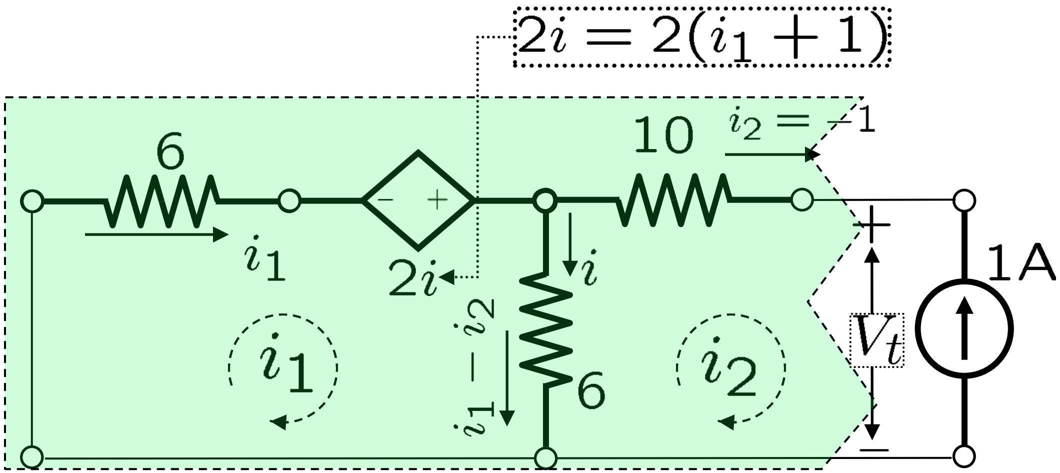
Écrire les paramètres des sources dépendantes en fonction des courants de maille

Assigner les éléments de courant

Écrire les sources dépendantes en fonction des courants de maille

Utiliser les LKT et résoudre les équations en courant

Utiliser les courants de maille pour déterminer les tensions



$$i_2 = -1$$

$$i = i_1 - i_2 = i - (-1) = i + 1$$

$$6i_1 - 2(i_1 + 1) + 6(i_1 + 1) = 0$$

$$i_1 = -0.4$$

Théorème de Thévenin

Step 2

Calculer R_t

Assigner les courants de maille

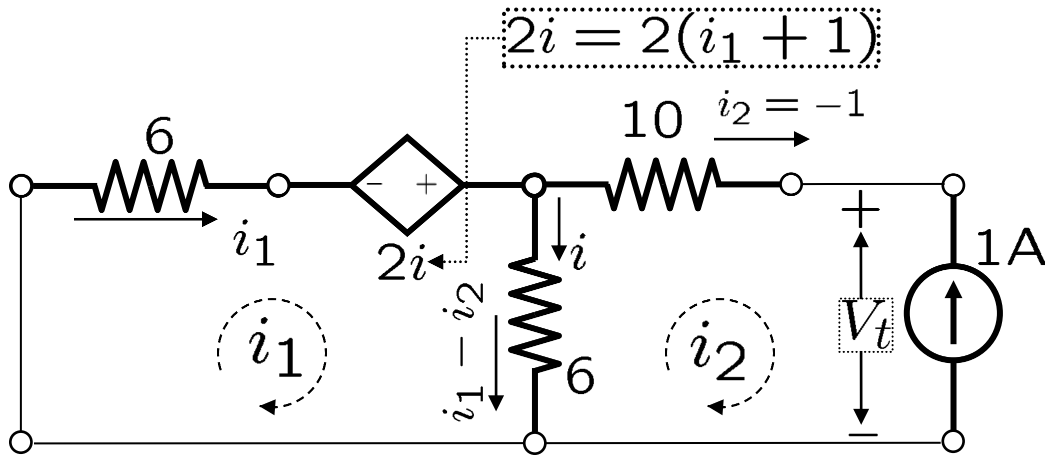
Écrire les paramètres des sources dépendantes en fonction des courants de maille

Assigner les éléments de courant

Écrire les sources dépendantes en fonction des courants de maille

Utiliser les LKT et résoudre les équations en courant

Utiliser les courants de maille pour déterminer les tensions



$$i_1 = -0.4 \qquad i_2 = -1$$

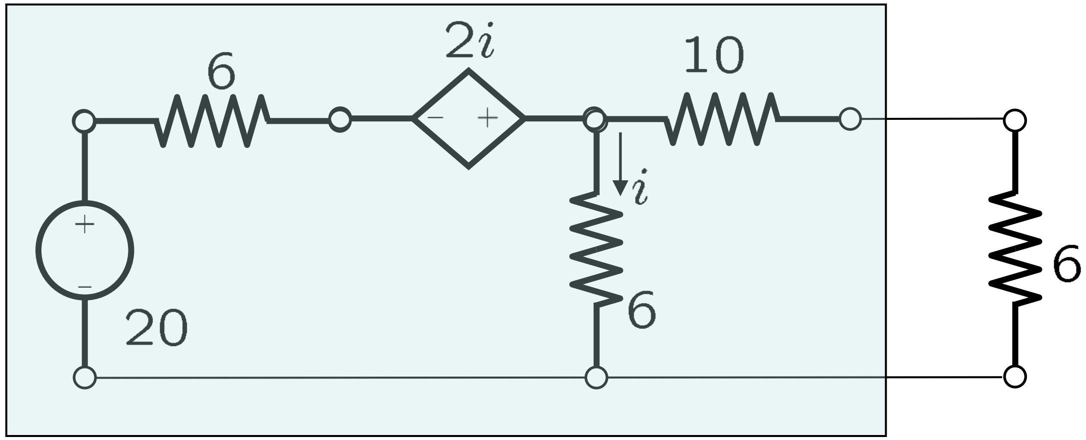
Maille # 2

$$-6(i_1 - i_2) + 10i_2 + V_t = 0$$

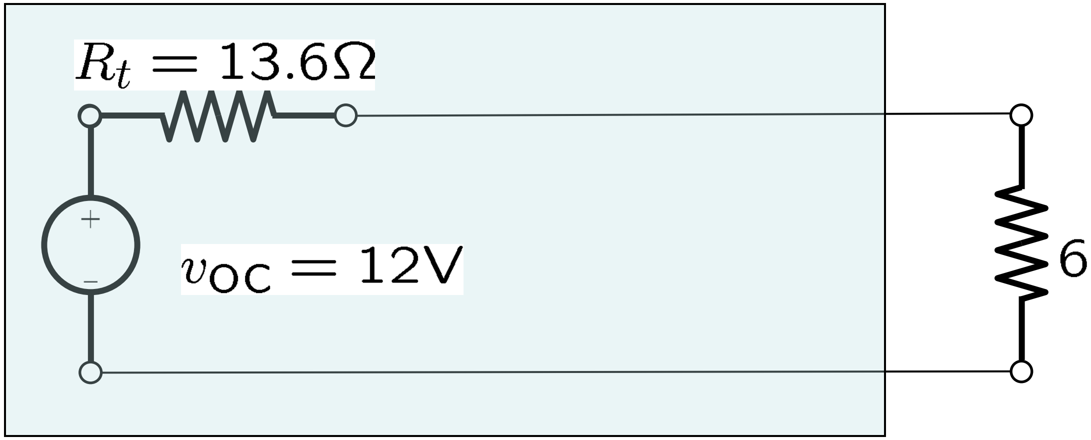
$$V_t = 13.6\text{V}$$

$$R_t = 13.6\Omega$$

Théorème de Thévenin

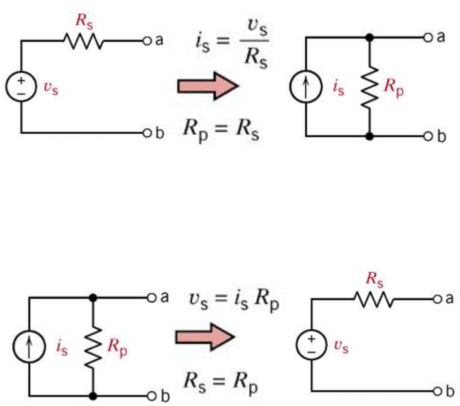


Équivalent Thévenin

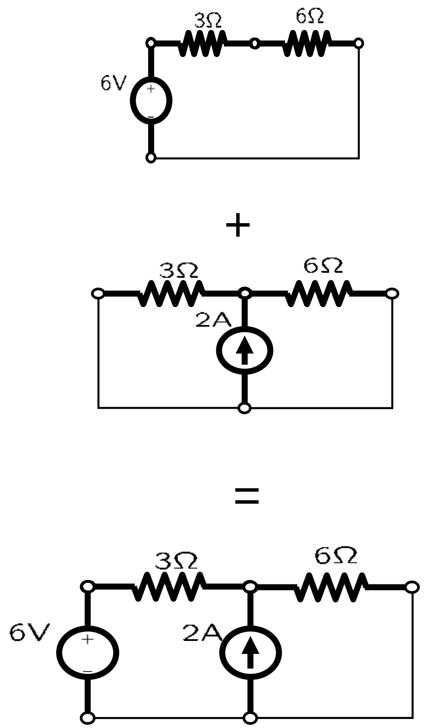


Théorèmes de circuits

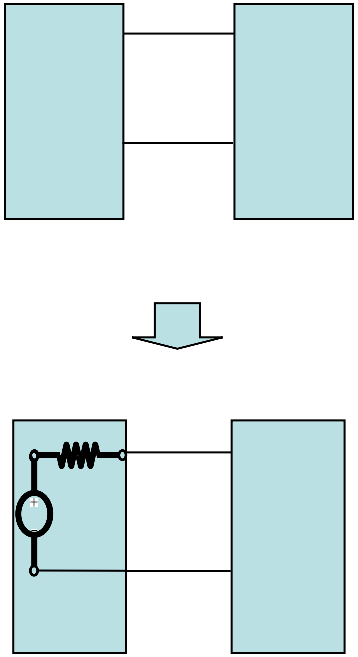
Équivalence de Source



Théorème de Superposition



Circuit Équivalent Thévenin



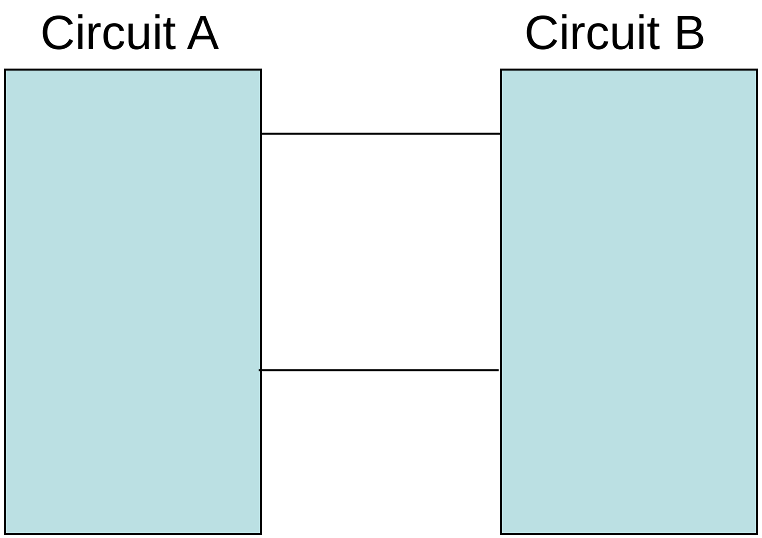
Circuit Équivalent Norton

QUATRIÈME THÉORÈME

Circuit équivalent de Norton

Théorème de Norton

Soient deux circuits connectés entre eux

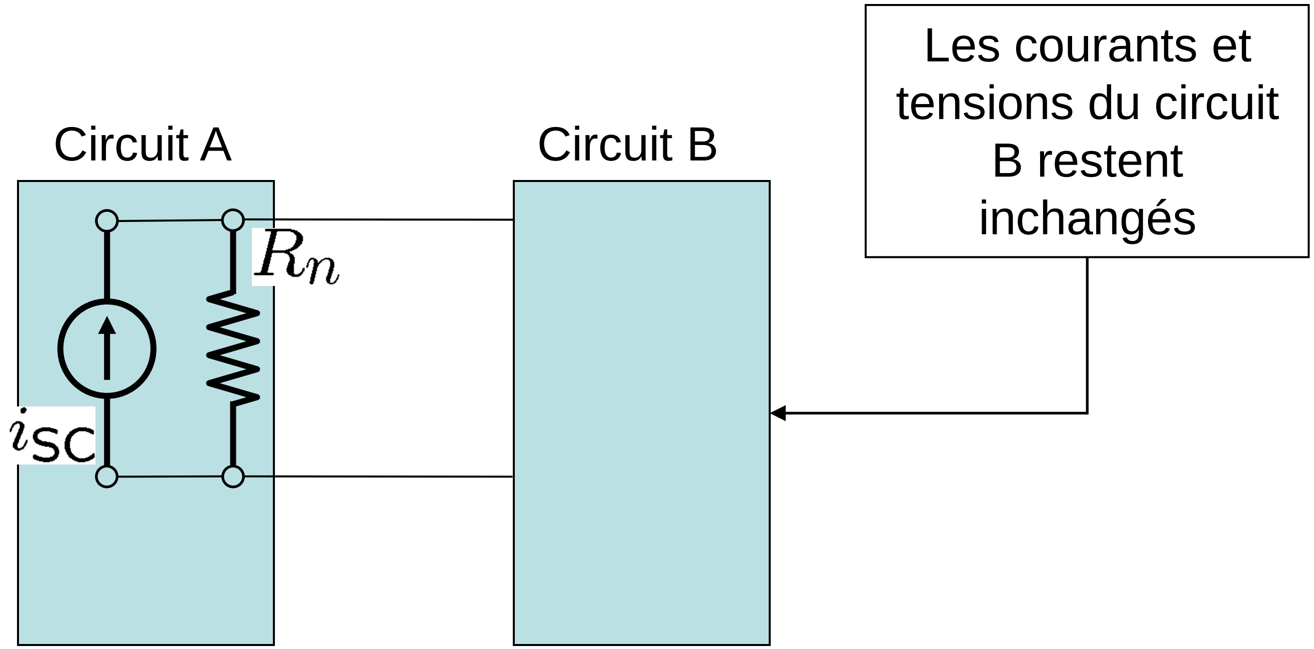


Puisqu'une source de tension peut se transformer en source de courant,

le théorème de ***Norton*** est **<u>équivalent</u>** à celui de ***Thévenin***

<u>sauf</u> qu'il faut remplacer la source de **tension** par une source de **courant** !!

Théorème de Norton



Théorème de Norton

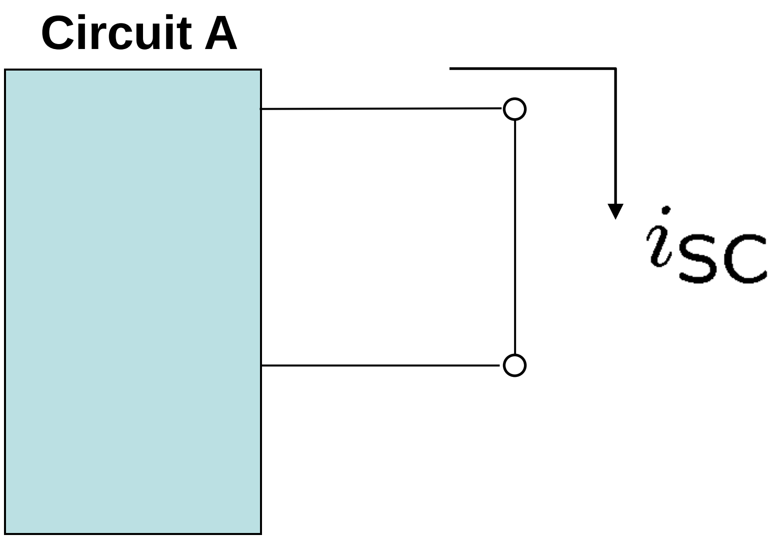
Step 1

Calculer i_{SC}

Step 2

Calculer R_n

Théorème de Norton

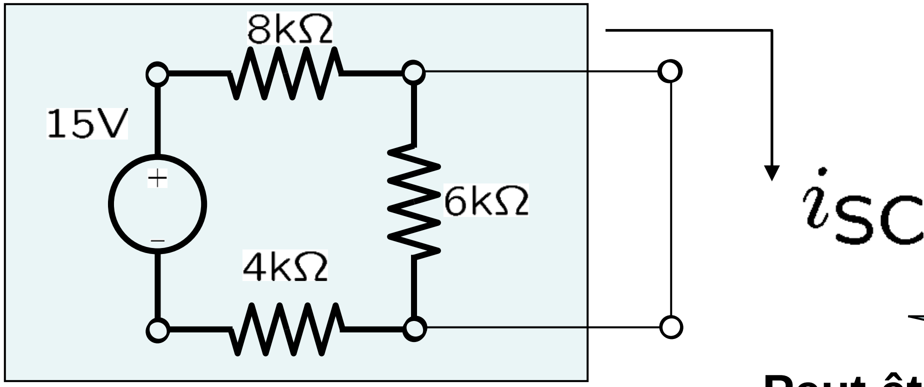


On court-circuite le circuit :

i_{SC} est le courant de court-circuit

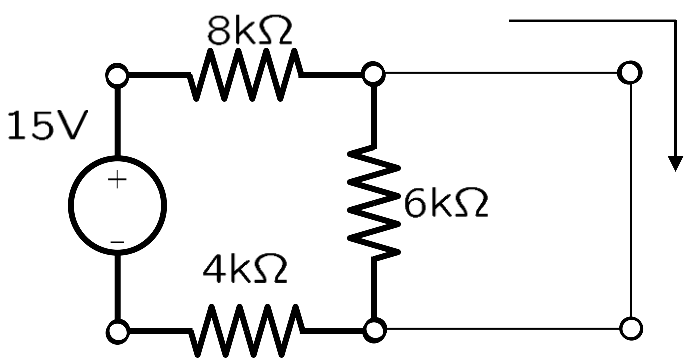
Théorème de Norton

Exemple



Peut être calculé en simplifiant le circuit

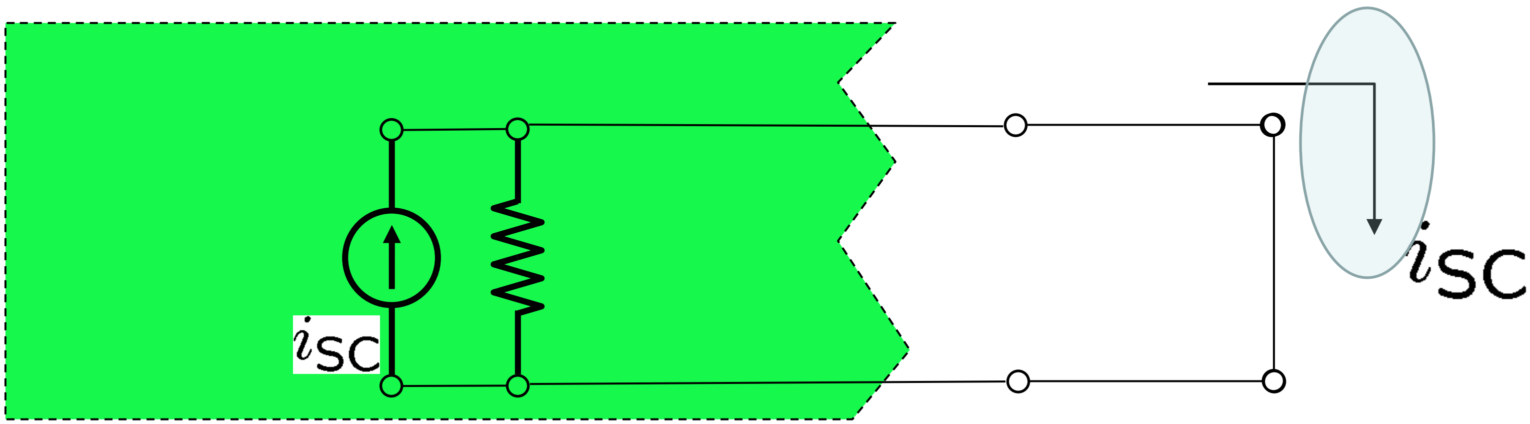
Un court-circuit en parallèle avec une résistance = court-circuit



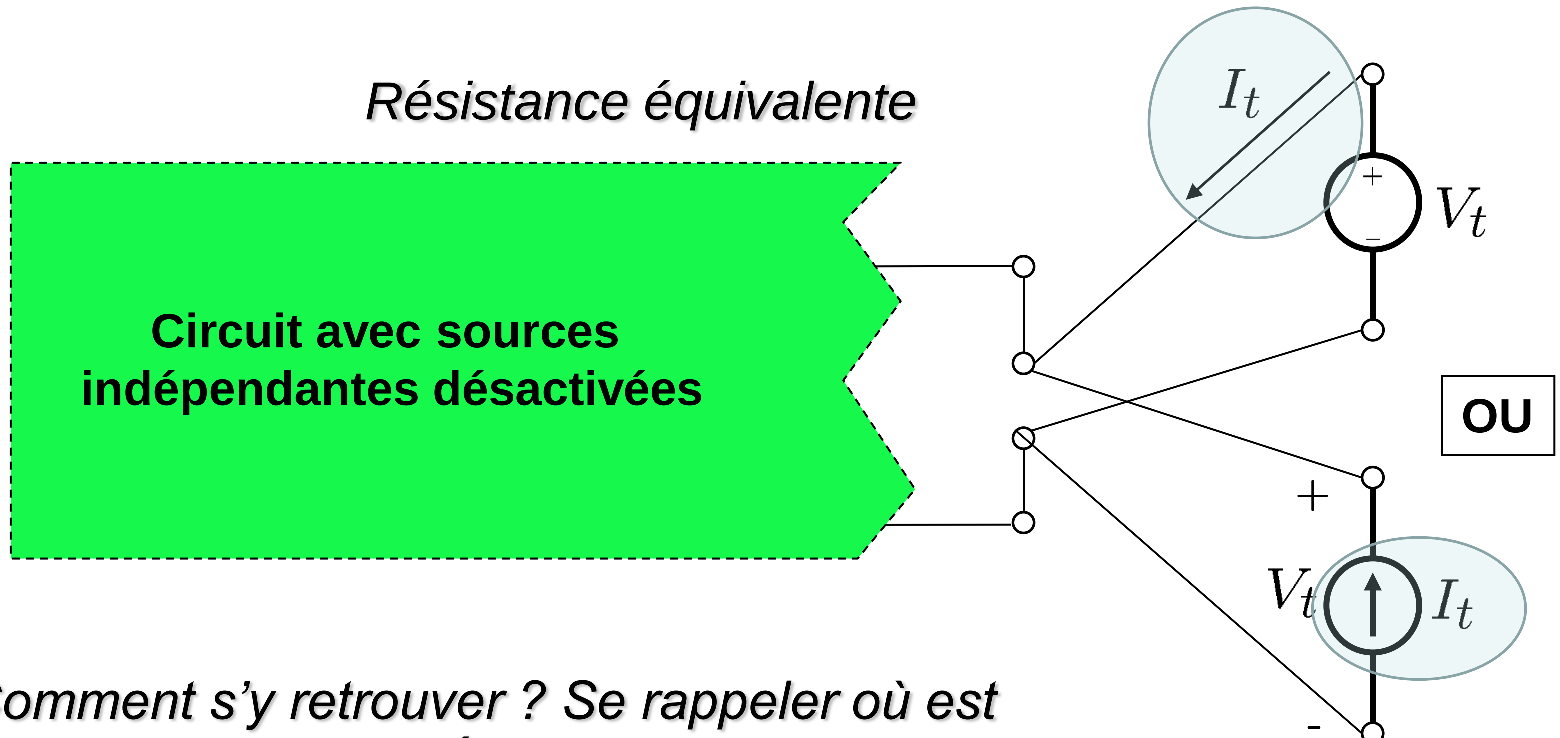
$$i_{SC} = \frac{15}{12\times 1000} = 1.25\text{mA}$$

Attention au sens du courant !!

Courant de Norton



Résistance équivalente



Comment s'y retrouver ? Se rappeler où est la source qui DÉLIVRE le courant

Théorème de Norton

Step 1 Calculer i_{SC}

Step 2 Calculer R_n

Il faut suivre la même démarche que pour Thévenin : $\boldsymbol{R_t}$

Théorème de Norton

Step 2 — Calculer R_n

1. Comment ***DÉSACTIVER*** ***toutes les sources indépendantes du circuit A ?***

Pour désactiver:

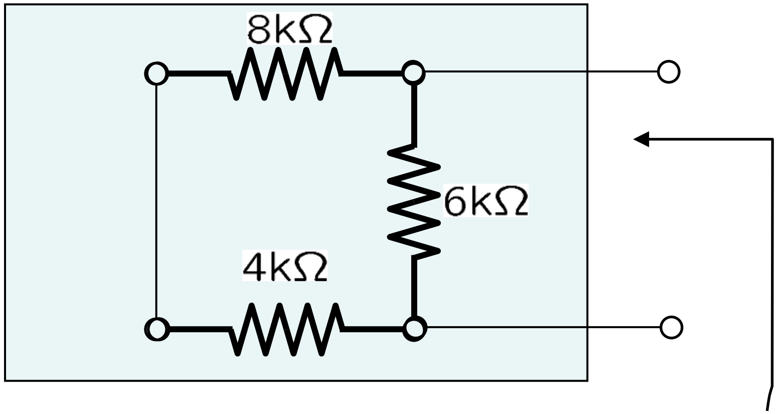
- Source de courant indépendante → Remplacée par → Circuit-ouvert
- Source de tension indépendante → Remplacée par → Court-circuit

Théorème de Norton

Step 2

Calculer R_n

Circuit A
Désactivé



$$R_n = 12\text{k}\Omega || 6\text{k}\Omega = 4\text{k}\Omega$$

Théorème de Norton

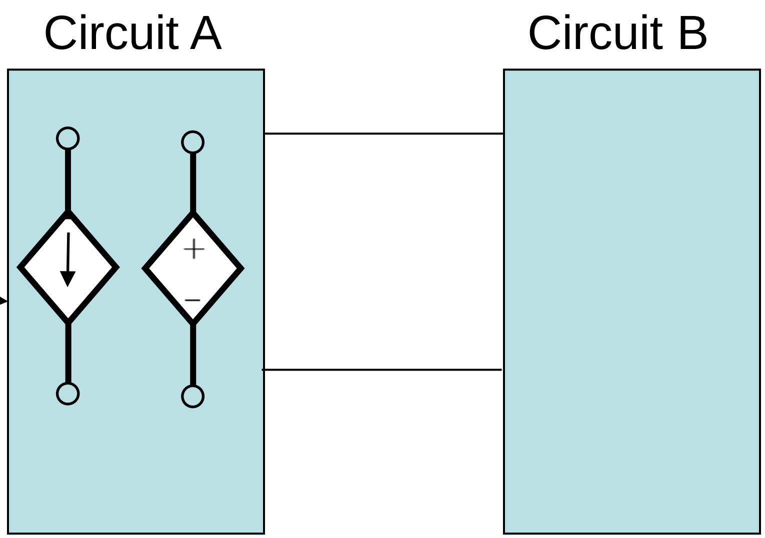
Step 1 — Calculer i_{SC}

Step 2 — Calculer R_n

Théorème de Norton

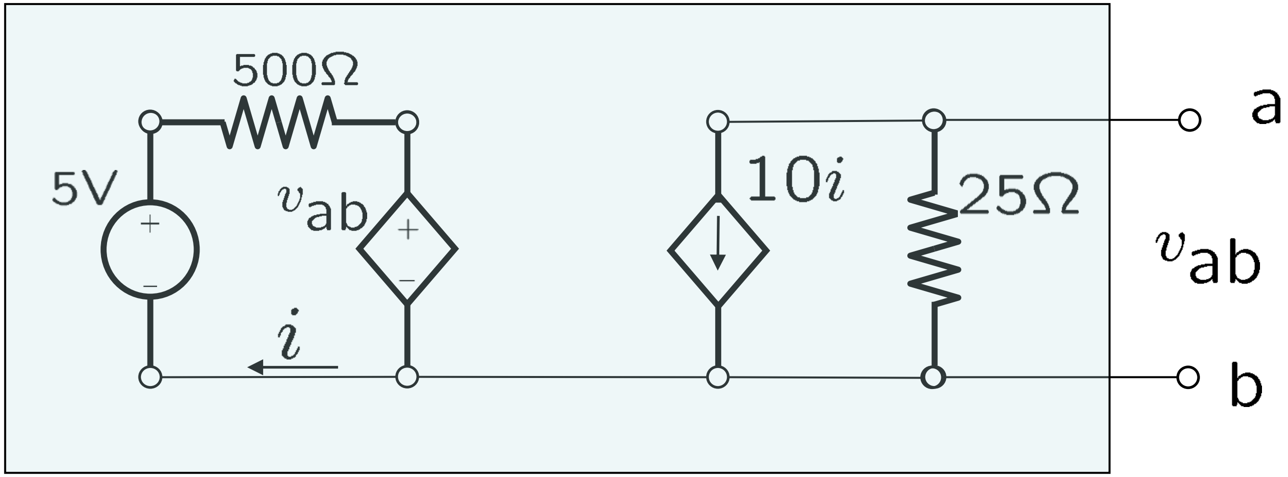
QUESTION : Que faire s'il y a une source dépendante ?

Même démarche que pour Thévenin



Théorème de Norton

Exemple

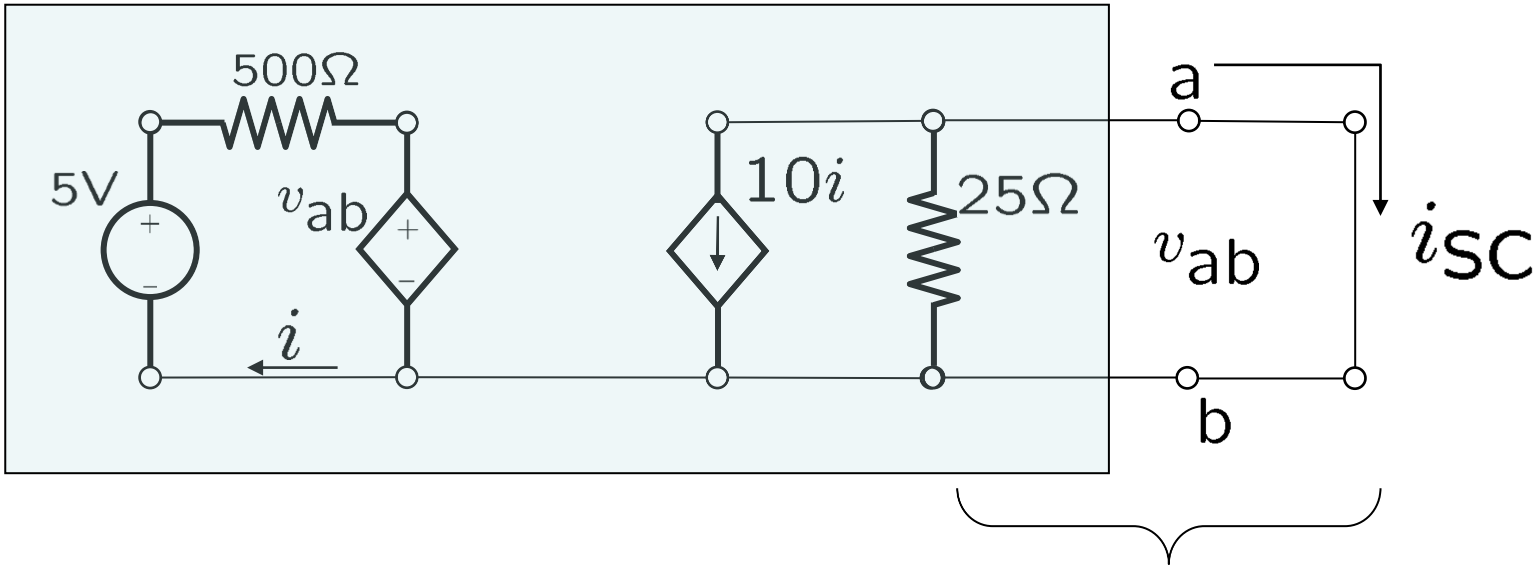


Théorème de Norton

Step 1 — **Calculer** i_{SC}

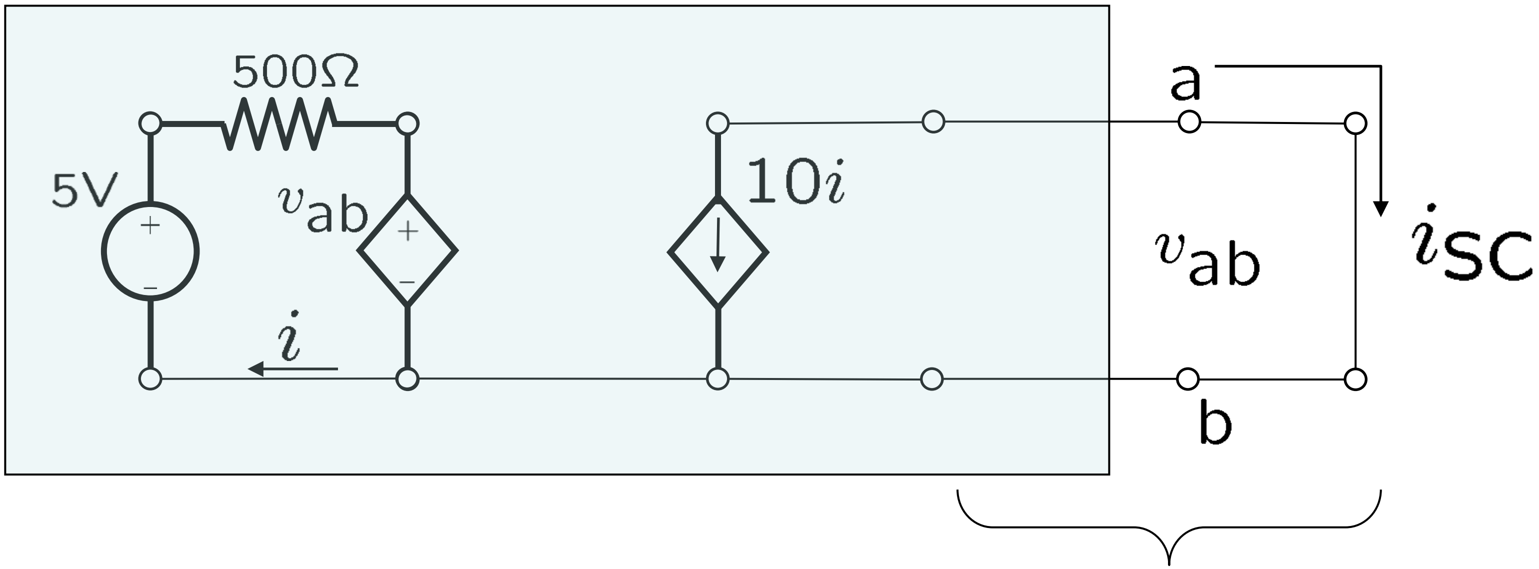
Step 2 — **Calculer** R_n

Théorème de Norton



Un court-circuit en parallèle avec une résistance → court-circuit

Théorème de Norton

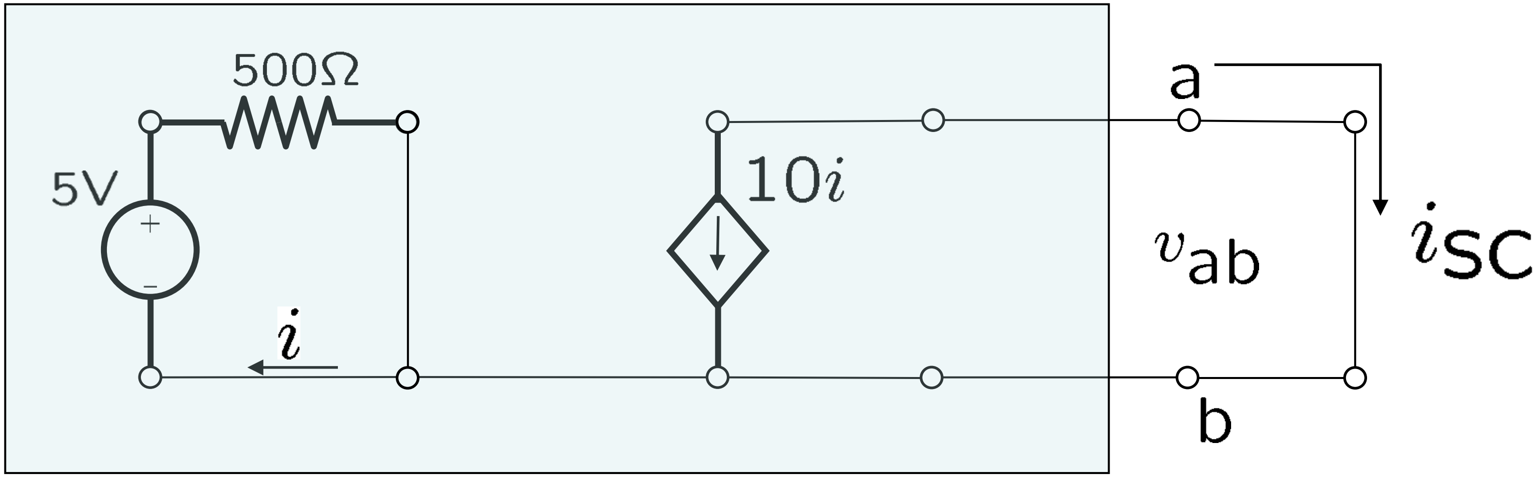


$$v_a = v_b$$

$$v_{ab} = v_a - v_b$$

$$v_{ab} = v_a - v_b = 0$$

Théorème de Norton



$$v_a = v_b$$

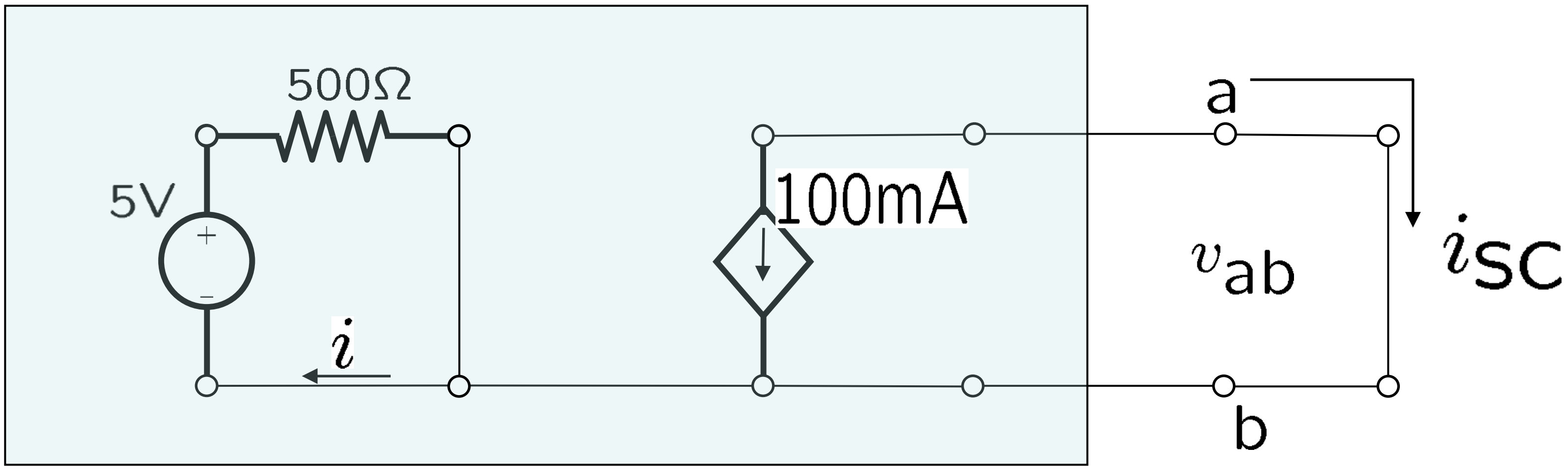
$$v_{ab} = v_a - v_b$$

$$v_{ab} = v_a - v_b = 0$$

Loi d'Ohm

$$i = \frac{5}{500} = 10\text{mA}$$

Théorème de Norton



$$i_{SC} = -100\text{mA}$$

Loi d'Ohm

$$i = \frac{5}{500} = 10\text{mA}$$

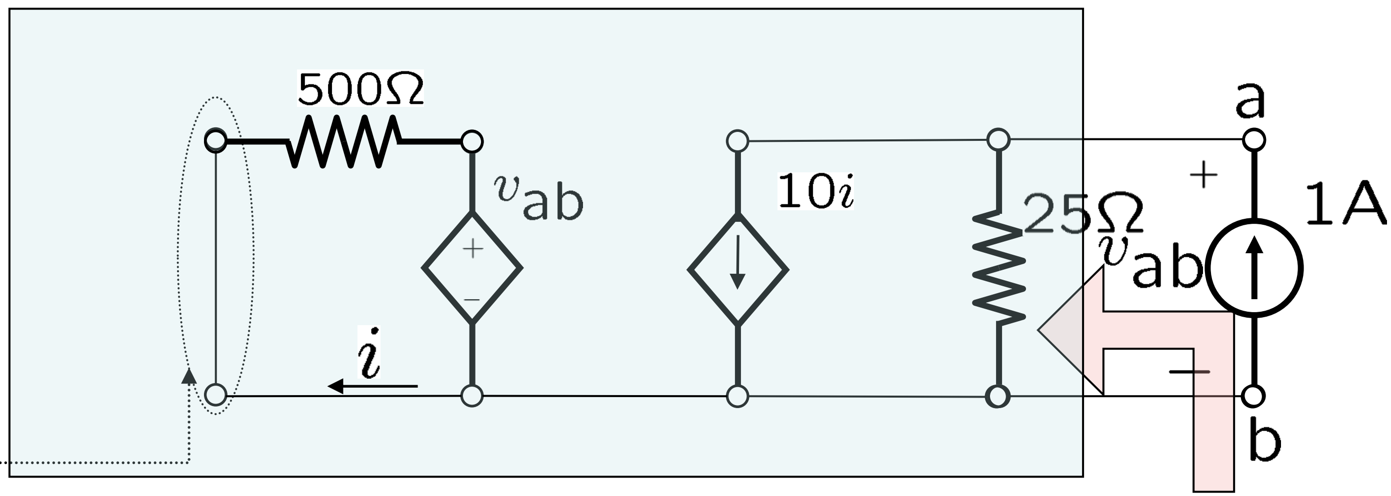
Théorème de Norton

Step 1 Calculer i_{SC}

Step 2 Calculer R_n

Théorème de Norton

Désactiver la source de tension

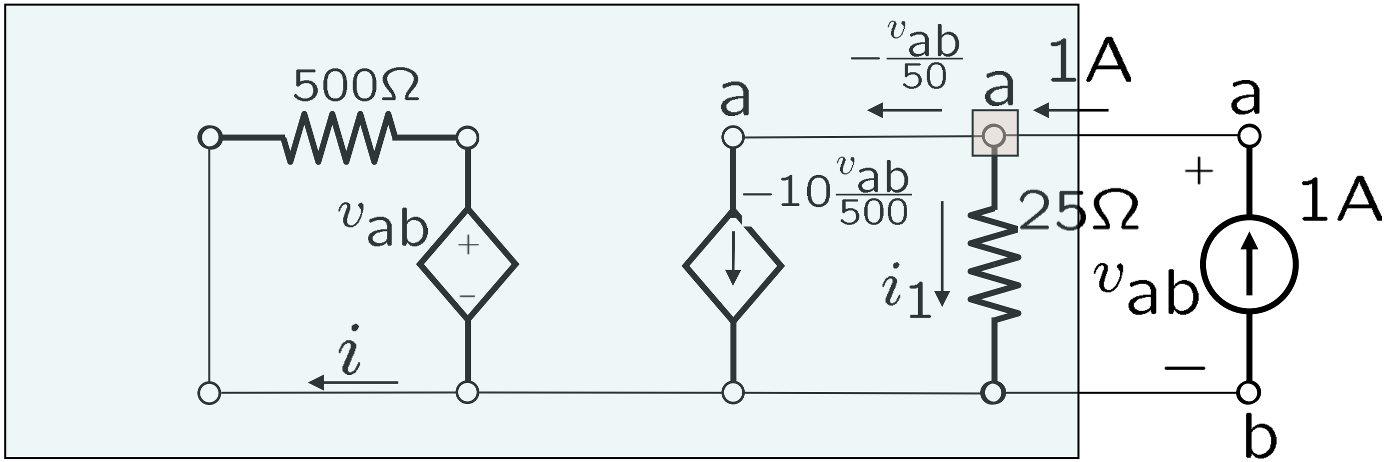


$$R_n = v_{ab}$$

Loi d'Ohm

$$i = -\frac{v_{ab}}{500}$$

Théorème de Norton



Loi d'Ohm

$$i = -\frac{v_{ab}}{500}$$

LKC au nœud a

$$1 = i_1 - \frac{v_{ab}}{50}$$

$$i_1 = 1 + \frac{v_{ab}}{50}$$

$$v_{ab} = i_1 \times 25 = \left(1 + \frac{v_{ab}}{50}\right) \times 25$$

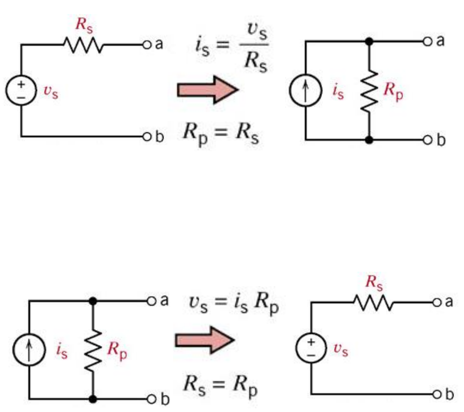
$$v_{ab} = 25 + \frac{v_{ab}}{50}$$

$$v_{ab} = 50\text{V}$$

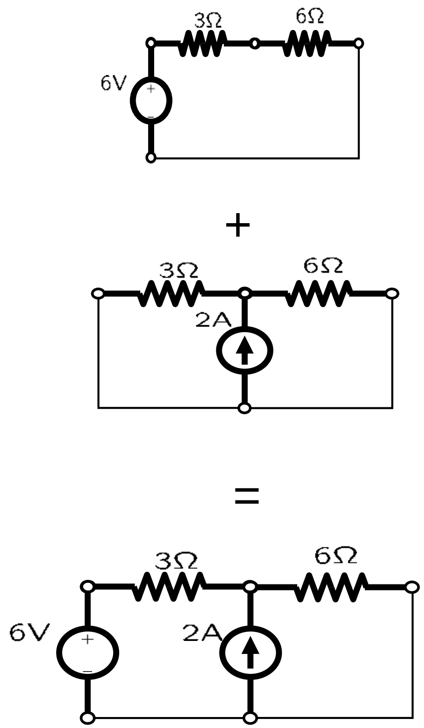
$$R_n = v_{ab} = 50\Omega$$

Théorèmes de circuits

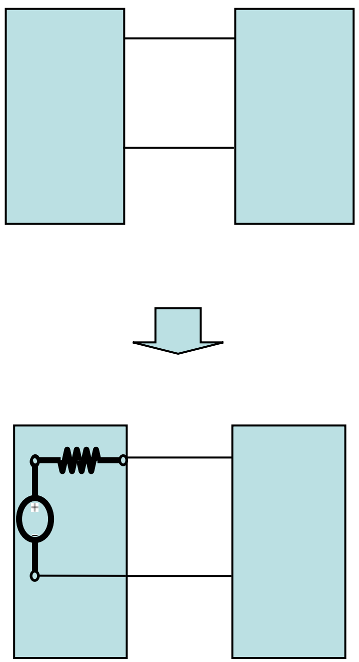
Équivalence de Source



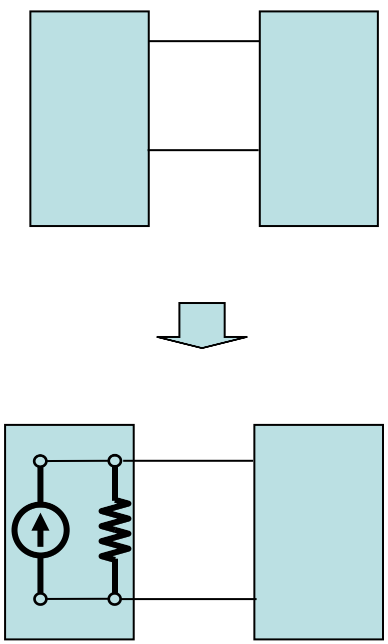
Théorème de Superposition



Circuit Équivalent Thévenin



Circuit Équivalent Norton



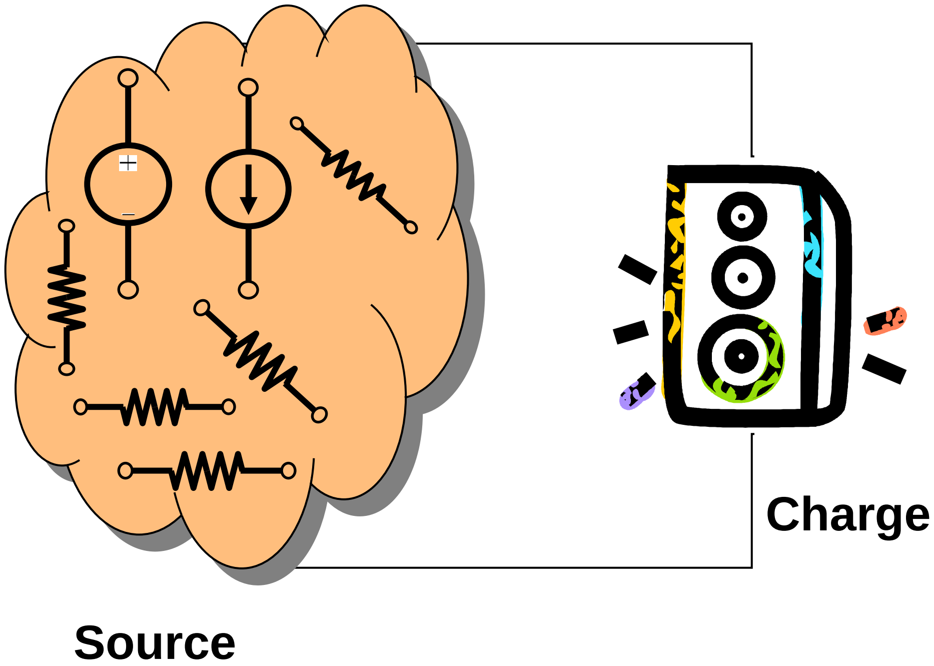
+ Théorème de transfert maximal de puissance

CINQUIÈME THÉORÈME

Transfert maximal de puissance

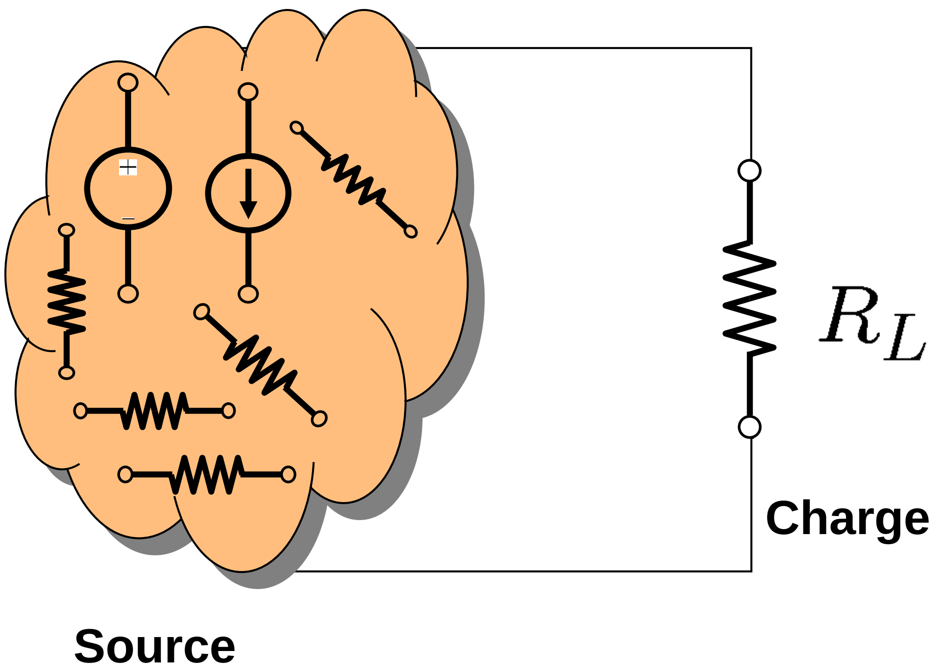
Théorème de transfert maximal de puissance

Un des problèmes fondamentaux en électronique est le transfert maximal de puissance d'un circuit (« source ») vers une charge.



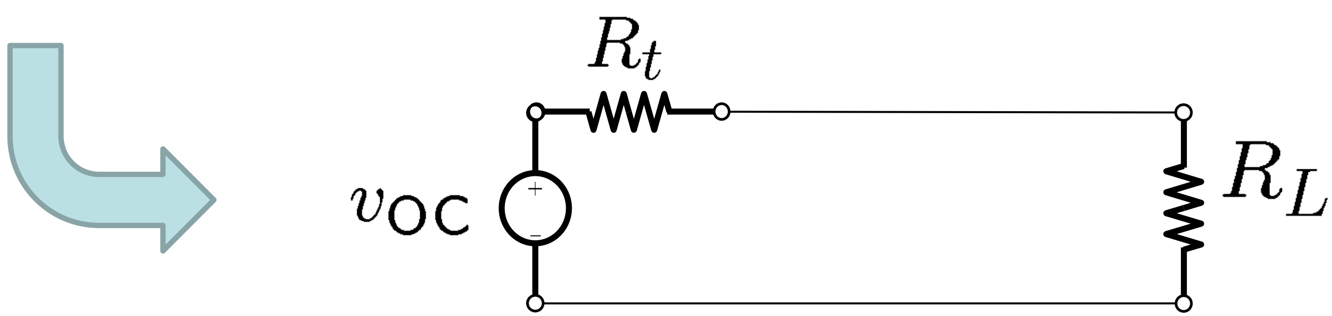
Théorème de transfert maximal de puissance

Un des problèmes fondamentaux en électronique est le transfert maximal de puissance d'un circuit (« source ») vers une charge.



<u>Pour simplifier</u>, considérons la charge comme une simple résistance

<u>Pour simplifier</u>, considérons le circuit de source sous sa forme équivalente en utilisant le théorème de Thévenin.



Théorème de transfert maximal de puissance

La question est de calculer la valeur de R_L qui maximise la puissance consommée

La puissance dans R_L est

$$p = v_L i_L$$

Loi d'Ohm :

$$v_L = i_L R_L$$

donc

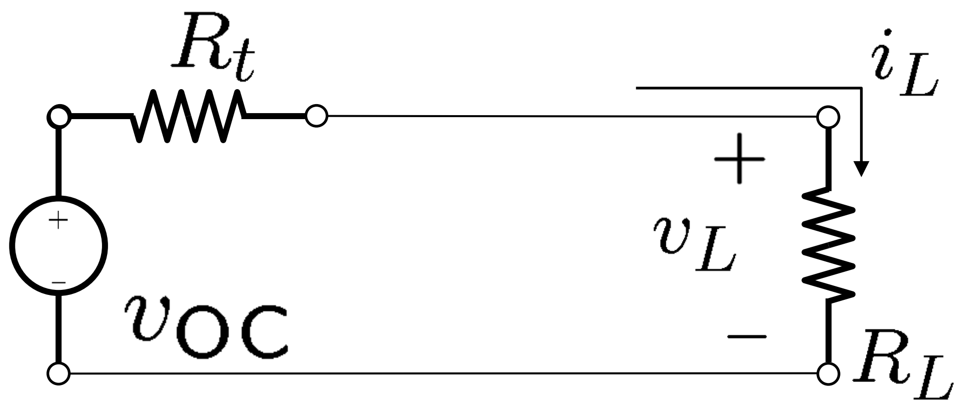
$$p = i_L^2 R_L$$

Mais,

$$i_L = \frac{v_{\mathrm{OC}}}{R_L + R_t}$$

alors,

$$p = \left(\frac{v_{\mathrm{OC}}}{R_L + R_t}\right)^2 R_L$$



Pour trouver la valeur de R_L qui maximise p, nous devons poser : $\dfrac{dp}{dR_L} = 0$

Théorème de transfert maximal de puissance

$$p = \left(\frac{v_{\mathrm{OC}}}{R_L + R_t}\right)^2 R_L$$

$$\frac{dp}{dR_L} = v_{\mathrm{OC}}^2 \frac{(R_t + R_L)^2 - 2(R_t + R_L)R_L}{(R_L + R_t)^2}$$

Cette dérivée est nulle si

$$(R_t + R_L)^2 - 2(R_t + R_L)R_L = 0$$

ou

$$(R_t + R_L)(R_t + R_L - 2R_L) = 0$$

En résolvant pour R_L, nous obtenons

$$R_L = R_t$$

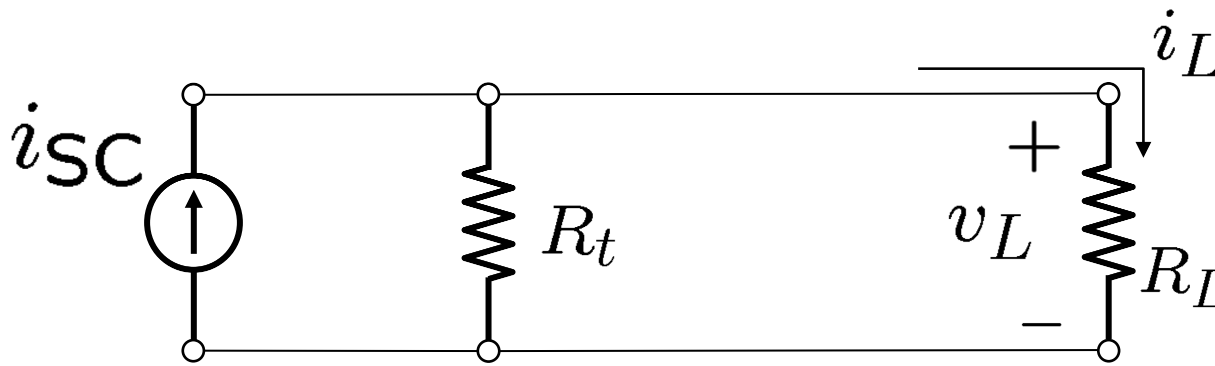
Delà, p devient maximale quand la charge est égale a la résistance équivalente de Thévenin.

Donc :

$$p_{\mathrm{max}} = \left(\frac{v_{\mathrm{OC}}}{R_t + R_t}\right)^2 R_t = \frac{v_{\mathrm{OC}}^2}{4R_t}$$

Théorème de transfert maximal de puissance

Nous pouvons aussi utiliser le théorème de Norton



$$i_L = \frac{R_t}{R_t + R_L} i_{SC}$$

$$p = i_L^2 R_L = \left(\frac{R_t}{R_t + R_L}\right)^2 i_{SC}$$

$$\Rightarrow \qquad p_{max} = {i_{SC}}^2 \frac{R_t}{4}$$

Merci de votre attention

Fin du chapitre 4