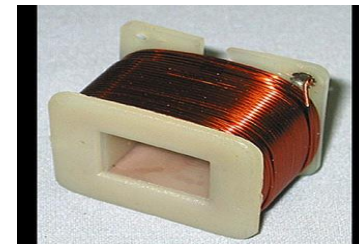
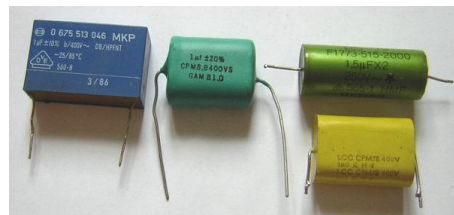
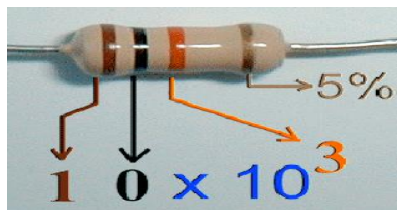
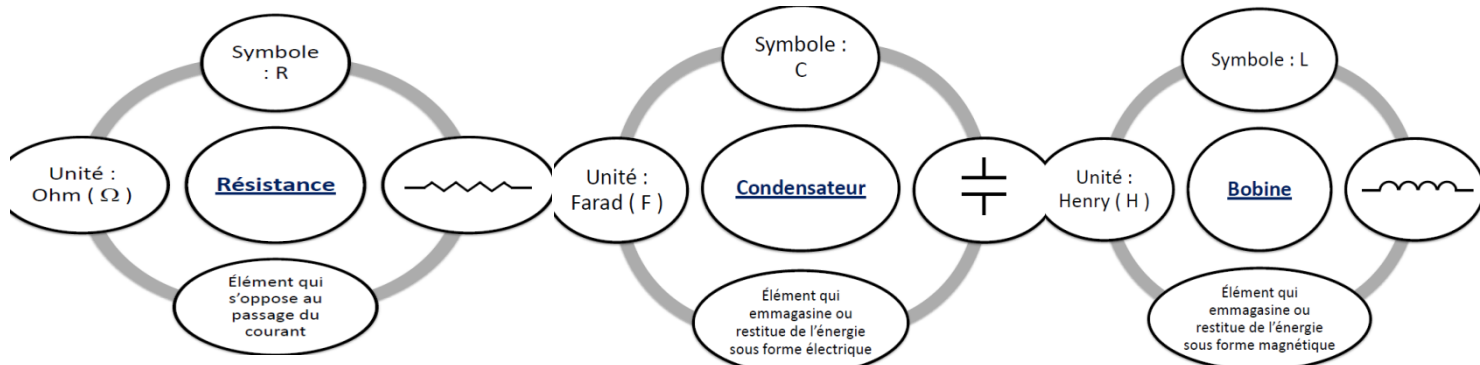
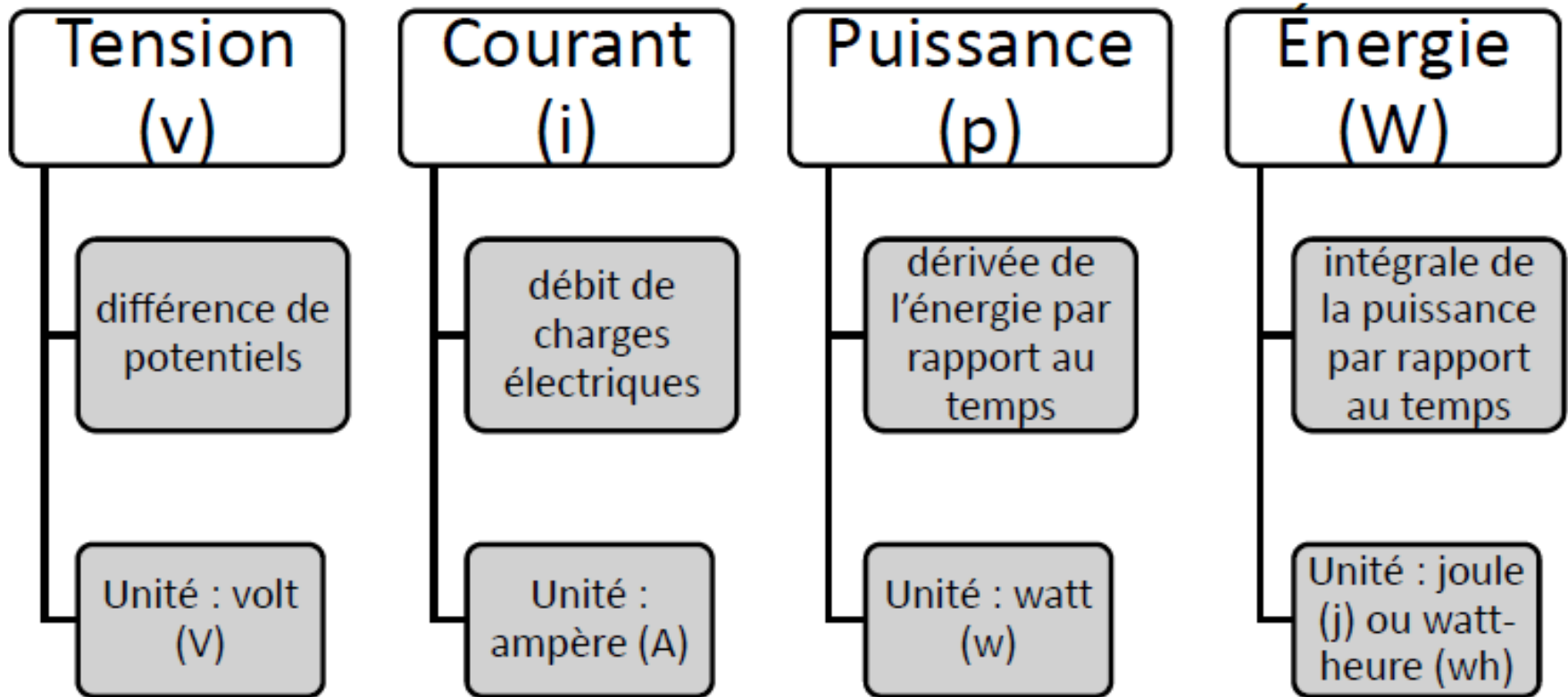


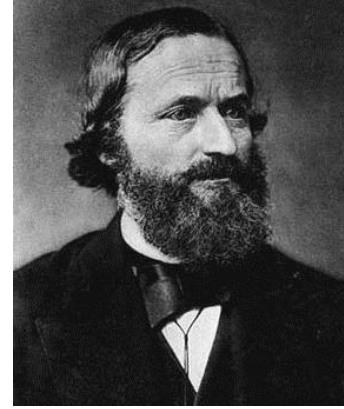
Concepts fondamentaux :



Types de variables



Lois de Kirchhoff



*Gustav Robert
Kirchhoff
1824-1887*

Loi de Kirchhoff relative aux courants (LKC)

- Basé sur la conservation de charge

Loi de Kirchhoff relative aux tensions (LKT)

- Basé sur la conservation de l'énergie

Loi de Kirchhoff relative aux courants (LKC)

La somme algébrique des courants associés à un nœud ou à un contour fermé ou encore à une surface donnée est égale à zéro.

$$\sum_{\text{algébrique}} i = 0$$

La somme algébrique des courants entrants dans un nœud ou un contour fermé ou encore une à une surface fermée est égale à celle des courants sortants.

$$\sum i_{\text{entrant}} = \sum i_{\text{sortant}}$$

Loi de Kirchhoff relative aux courants (LKC)

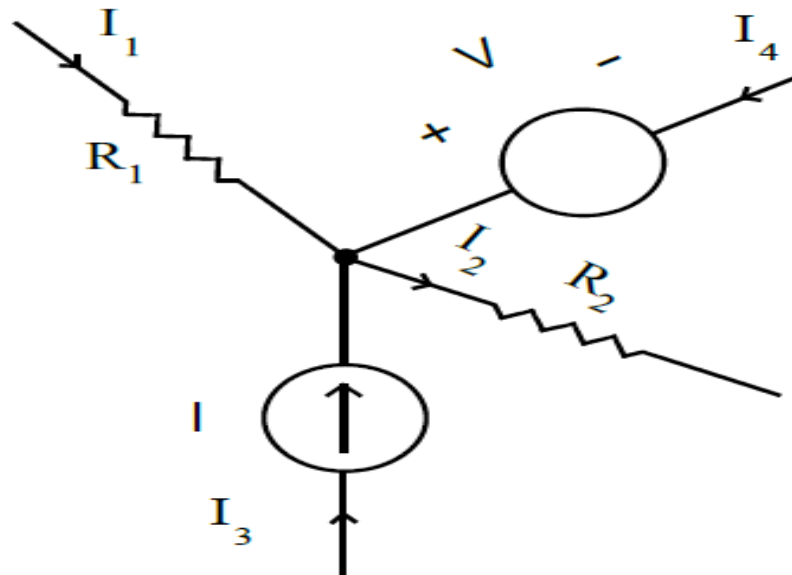
Par convention :

$I \text{ entrant} \rightarrow > 0$

$I \text{ sortant} \rightarrow < 0$

Loi de Kirchhoff relative aux courants (LKC)

Exemple



Loi de Kirchhoff relative aux tensions (LKT)

La somme algébrique des tensions associées à une boucle ou à une maille est égale à zéro.

$$\sum_{\text{algébrique}} v = 0$$

La somme des gains de tension dans une boucle ou une maille est égale à celle des chutes de tension.

$$\sum \text{chutes de tension} = \sum \text{gains de tension}$$

Loi de Kirchhoff relative aux tensions (LKT)

Par convention :

gain de tension $\rightarrow > 0$

chute de tension $\rightarrow < 0$

Techniques de diviseurs de tension et de courant

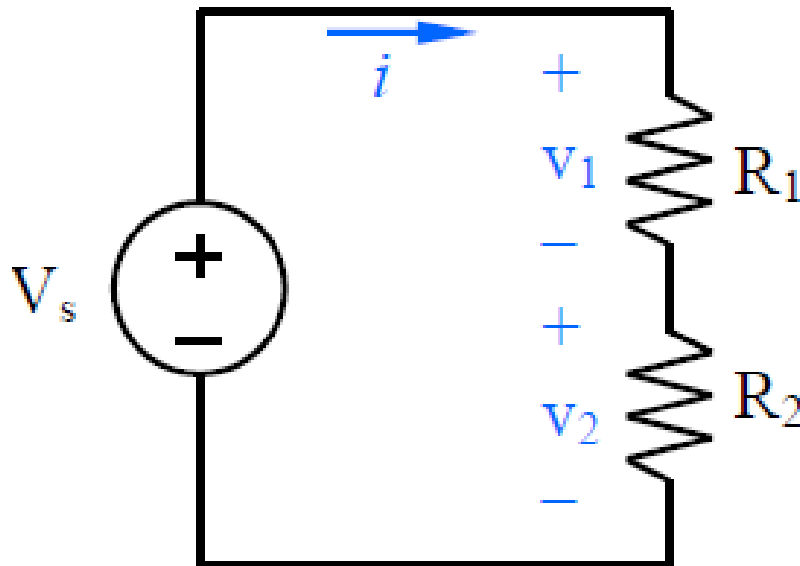
Ces deux techniques sont des conséquences des deux lois de Kirchhoff.

⊕ Diviseur de tension

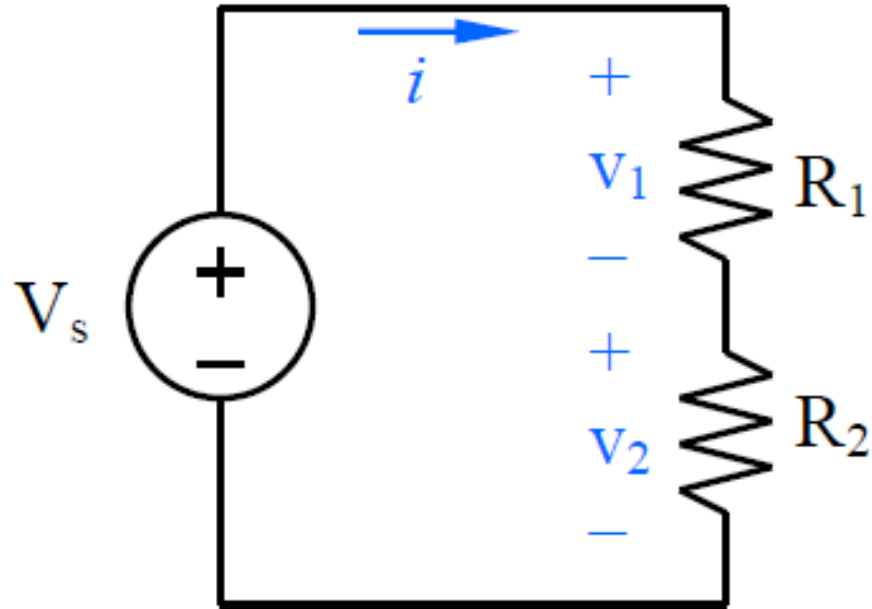
⊕ Diviseur de courant

TECHNIQUE DE DIVISEURS DE TENSION

- Méthode pour accélérer le calcul de tensions dans un circuit.
- Il ne doit pas avoir une autre résistance en parallèle avec R_1 ou R_2 .
- Le circuit doit être de la forme donnée.



On obtient les équations suivantes :

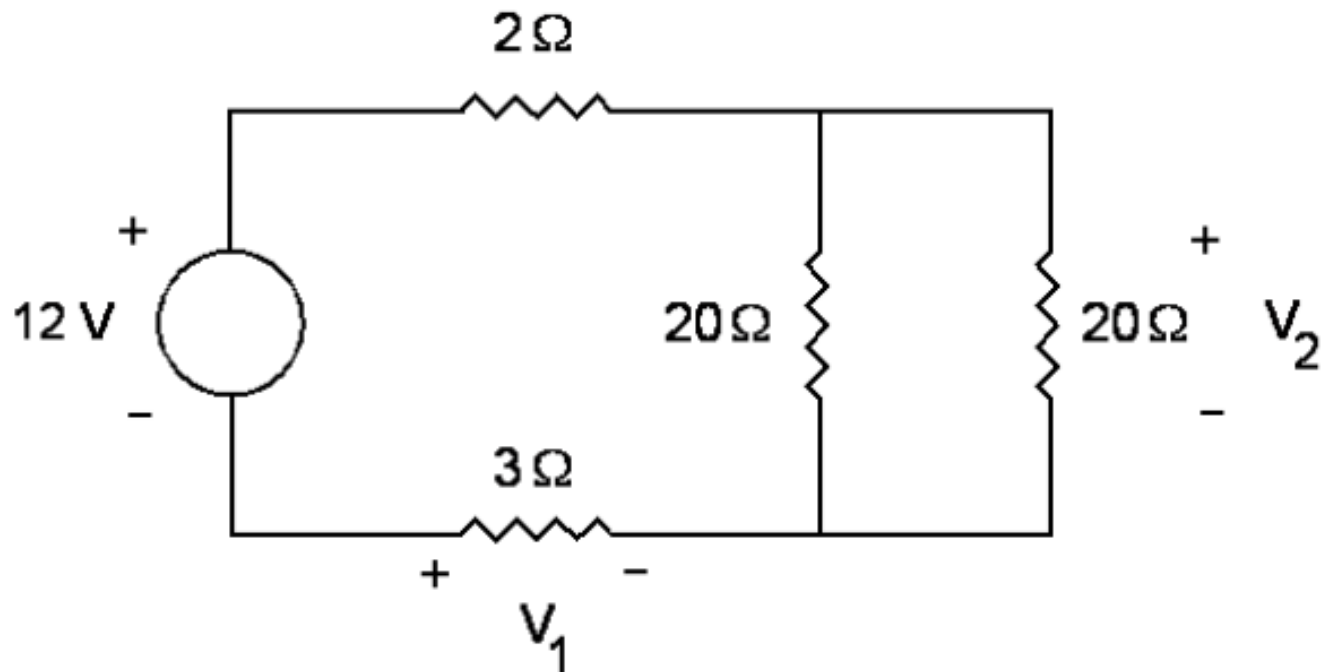


$$v_1 = R_1 i = \frac{R_1}{R_1 + R_2} v_s$$

$$v_2 = R_2 i = \frac{R_2}{R_1 + R_2} v_s$$

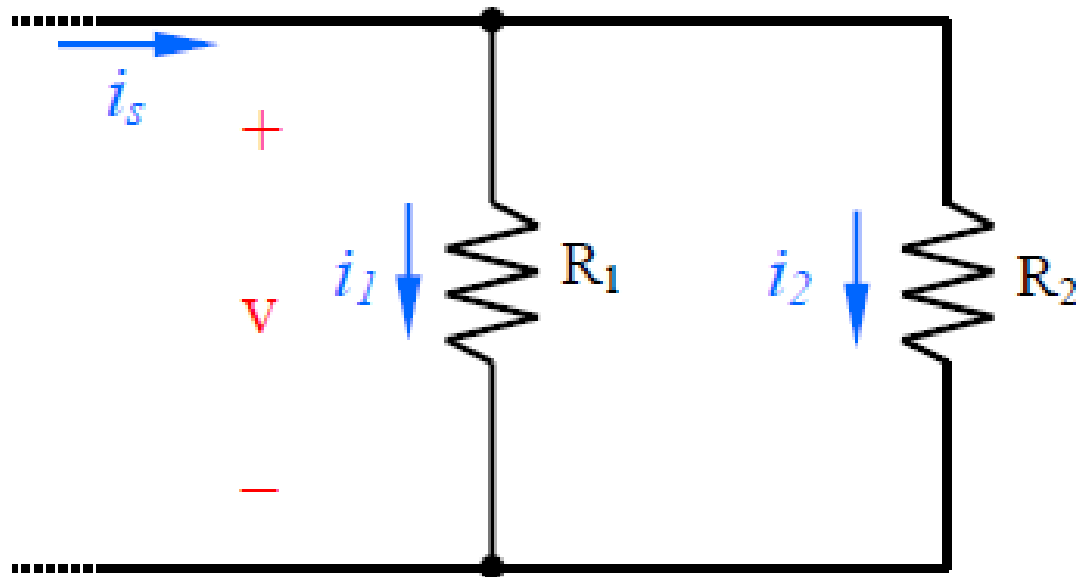
Diviseurs de tension - Exemple

D'après le circuit qui suit, quelles sont les valeurs pour les tensions V_1 et V_2 ?

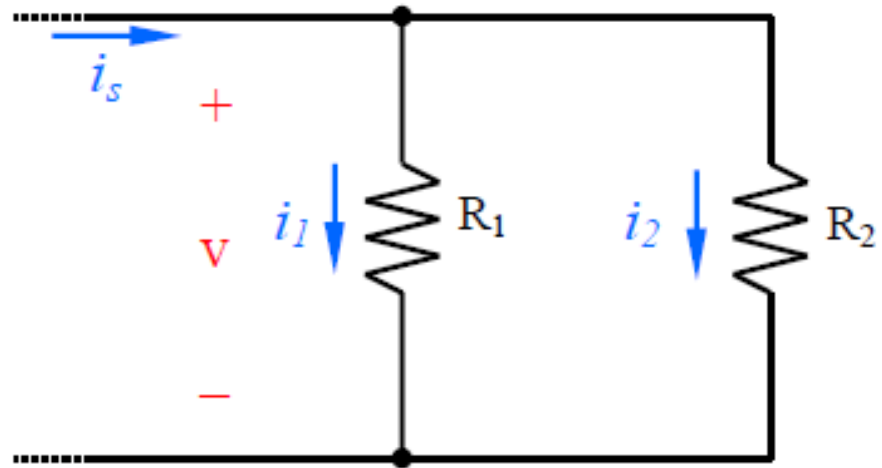


TECHNIQUE DE DIVISEURS COURANT

- Méthode pour accélérer le calcul de courants dans un circuit.
- i_s peut provenir d'une source de courant, ou de n'importe quel genre de circuit.
- Il ne doit pas avoir une autre résistance en parallèle avec R_1 ou R_2 .
- Le circuit doit être de la forme donnée.



On obtient les équations suivantes :

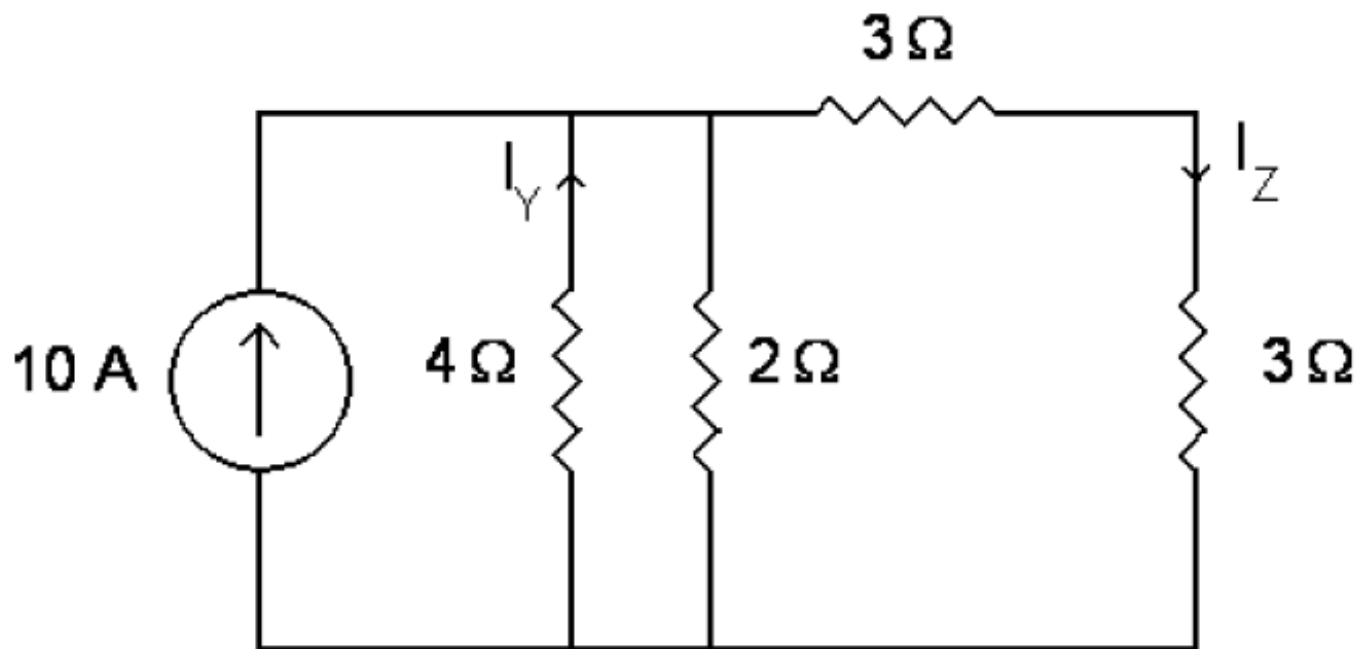


$$i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i_s$$

$$i_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i_s$$

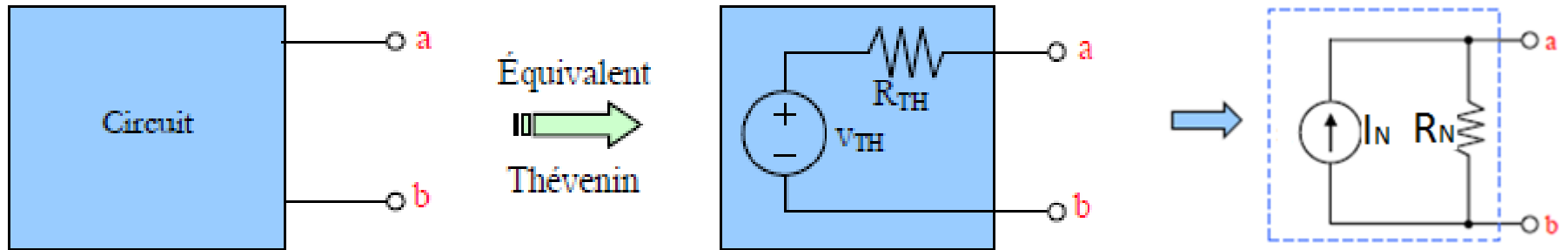
Diviseurs de courant - Exemple

D'après le circuit suivant, quelles sont les valeurs de I_Y et I_Z .



Équivalent de Thévenin et de Norton

- Les équivalents **Thévenin** et **Norton** sont une autre méthode pour simplifier l'analyse de circuits.
- On se sert de ces méthodes lorsqu'on est intéressé par la tension et le courant à une seule branche du circuit.
- On n'est pas intéressé par ce qui se passe dans le reste du circuit ;
- on cherche juste à voir l'impact du circuit aux bornes qui nous intéressent.



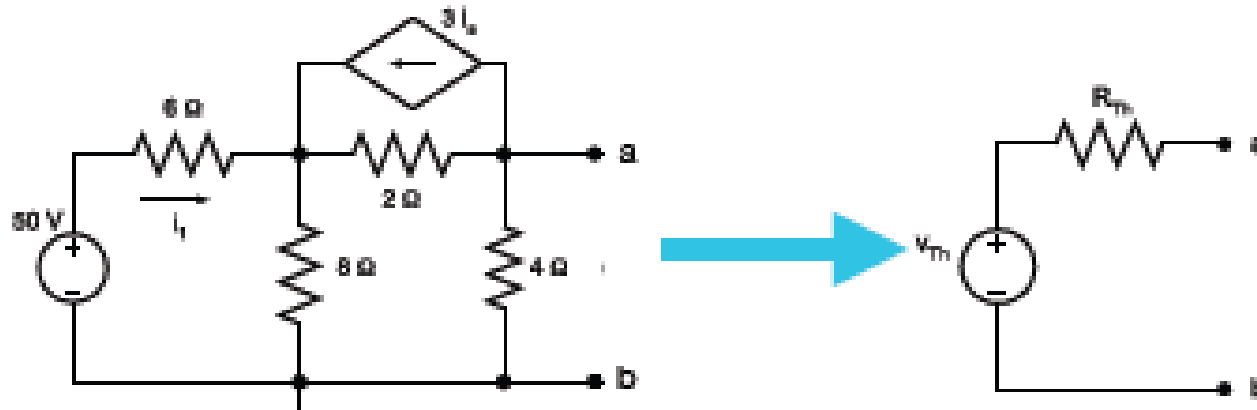
*Peu importe ce que l'on branchera entre **a** et **b** le comportement sera équivalent à s'il aurait été branché entre le point **a** et **b** du circuit original*

Théorème de Thévenin

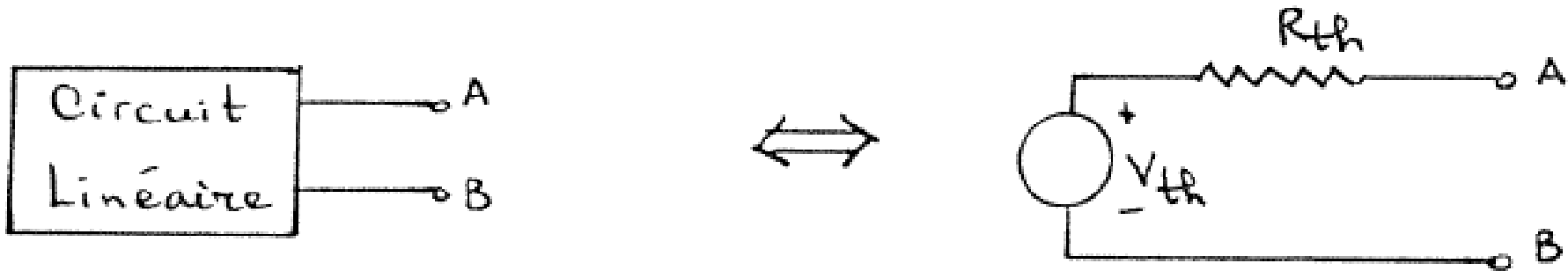


Léon Thévenin,
(1857 - 1926).

Tout circuit linéaire composé de sources et de résistances peut être représenté par un équivalent de Thévenin



Méthodes de calcul de V_{th} et R_{th}



$$V_{th} = V_{AB} \text{ (en circuit ouvert ou à vide)}$$

$$R_{th} = R_{AB}$$

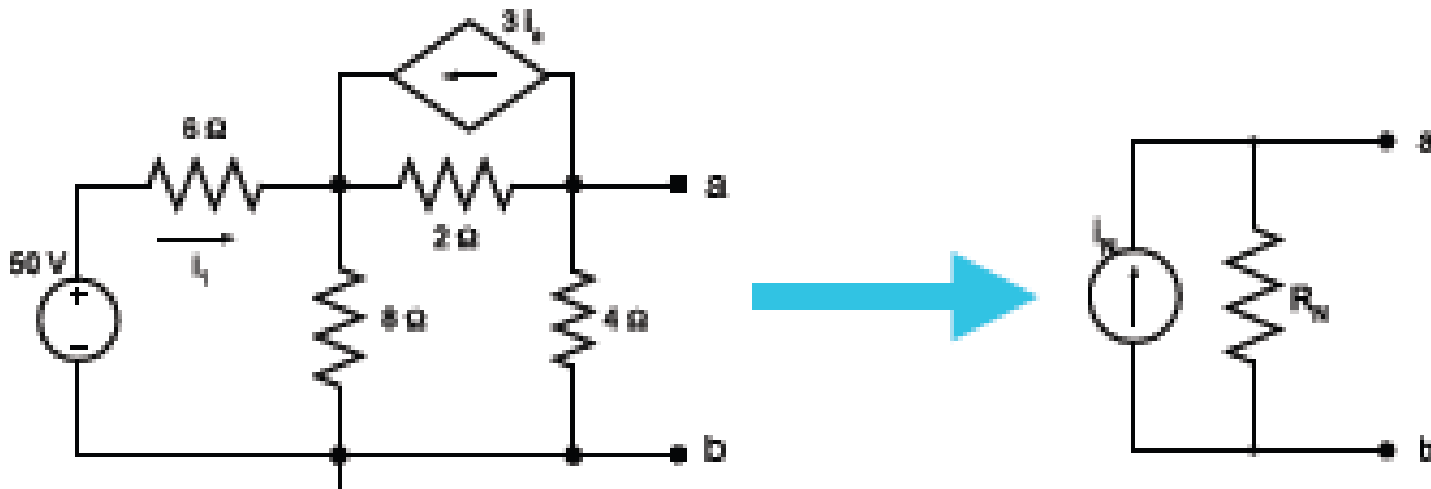
- Sources “**TUÉES**”

Théorème de Norton



Edward Lowry Norton,
(1898-1983).

Tout circuit linéaire composé de sources et de résistance peut être représenté par un équivalent Norton



Méthode de Norton



$$I_N = I_{AB} \text{ (court - circuit)}$$

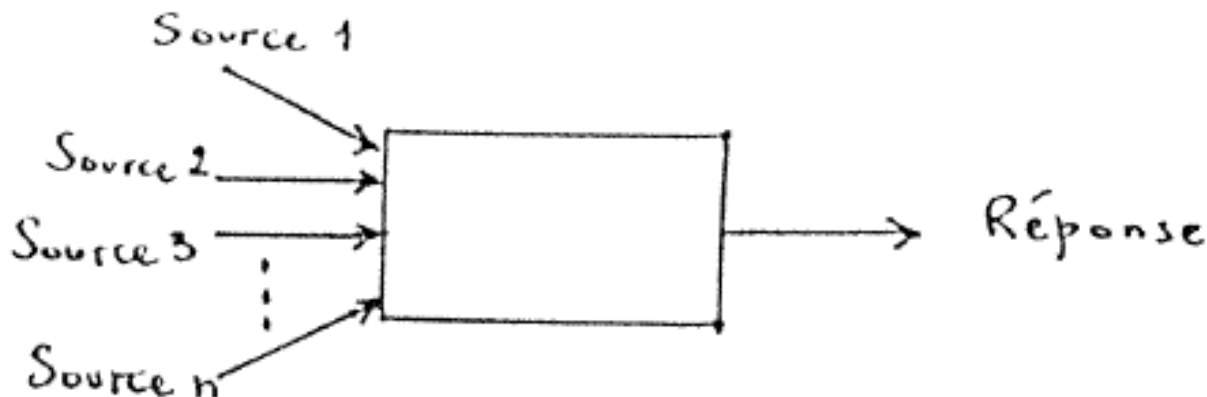
$$R_N = R_{AB}$$

- Sources “**TUÉES**”

*Souvent pour déterminer l'équivalent de **Norton**,
il est plus facile de déterminer d'abord
l'équivalent de **Thévenin** et ensuite trouver
l'équivalent de **Norton** (et vice-versa)*

Théorème de Superposition

- Puisque les sources et éléments dans les circuits sont linéaires, ils obéissent aux lois des systèmes linéaires, soit *la superposition*.
- On peut analyser un circuit une source à la fois et la réponse finale (tension ou courant) est la somme des réponses individuelles.



Méthode :

- Lorsqu'on analyse un circuit *par superposition*, il faut désactiver toutes les sources sauf *une*.
- On remplace une source de tension par un **court-circuit**,
- et une source de courant par un **circuit ouvert**
- on dit qu'on « **TUE** » les sources.

TRANSFERT MAXIMAL DE PUISSANCE

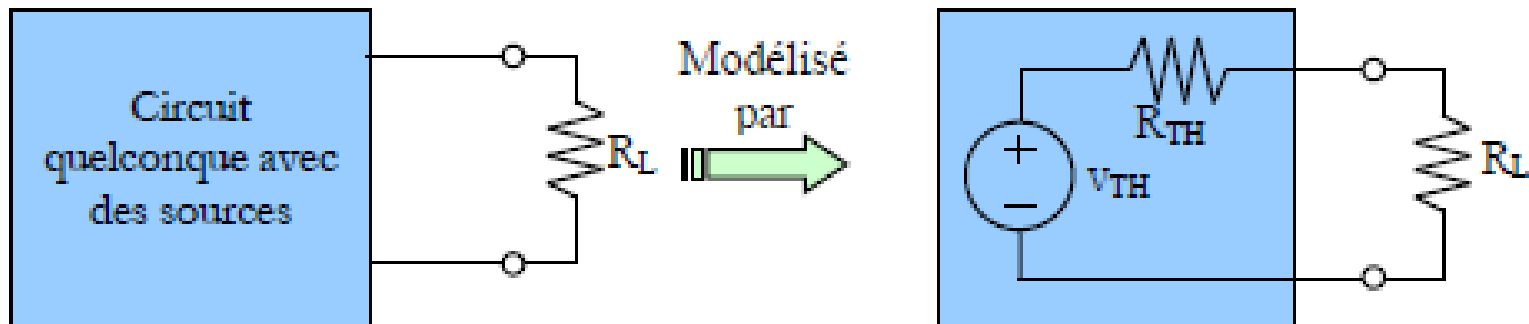
- Souvent, l'analyse de circuits est nécessaire pour déterminer la puissance fournie à une charge

(**antenne, haut-parleur, ligne de transport électrique, etc**).

- On cherche maintenant à maximiser la puissance transmise à une charge.

- Plus le rendement (du transfert de puissance) est élevé, moins on perd de puissance en chaleur.

- On commence avec un circuit quelconque, contenant des sources (tension ou courant) et des résistances,
- on modélise de façon générale par un circuit équivalent Thévenin.
- Une charge *est branchée à ce circuit.*

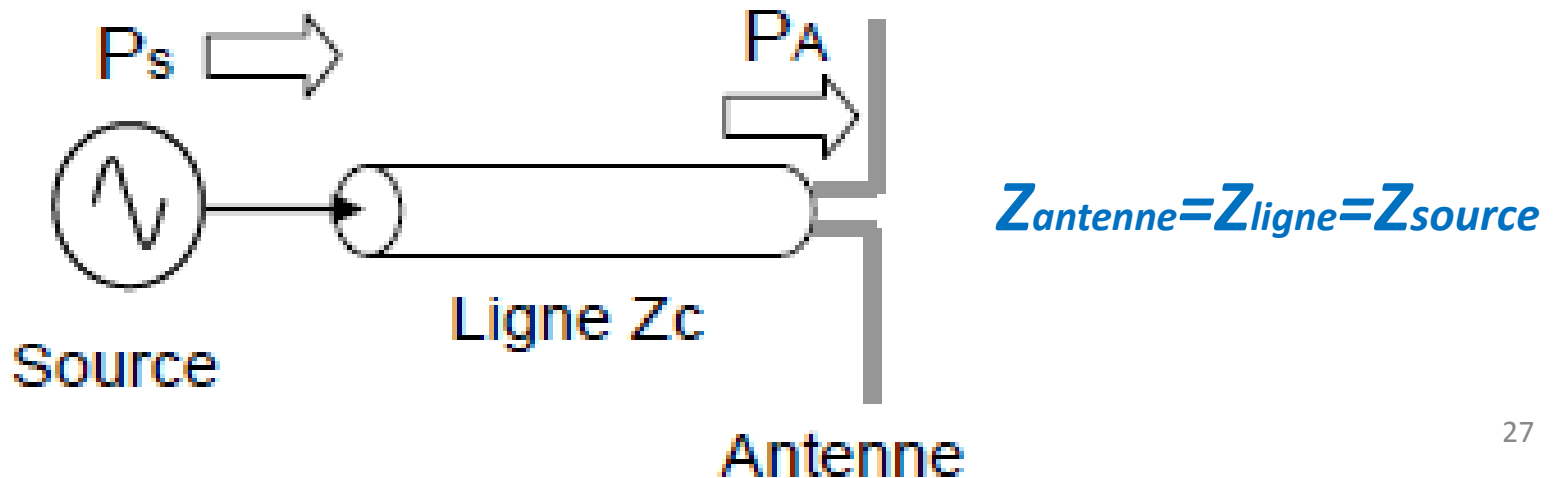


Circuit général pour transfert maximum de puissance

Exemple 1:

Une antenne est reliée à la source par une ligne de transmission d'impédance caractéristique Z_c (en général, $Z_c = 50 \Omega$).

Pour assurer un transfert maximal de puissance entre l'alimentation (émetteur) et l'antenne, il est nécessaire d'assurer une adaptation d'impédance.



NOTIONS DE BASE : Résumé

THÉORÈMES FONDAMENTAUX

Puissance et énergie

DÉFINITION:

LA PUISSANCE DISSIPÉE DANS UNE **RÉSISTANCE** ÉQUIVAUT À LA TENSION **APPLIQUÉE À SES BORNES** MULTIPLIÉE PAR LE COURANT QUI LA TRAVERSE

$$P_R = E_R \cdot I_R$$

Autres formules :

$$P_{R_2} = \frac{(E_{R_2})^2}{R_2}$$

$$P_{R_2} = R_2 (I_{R_2})^2$$

DÉFINITION:

LA PUISSANCE DISSIPÉE À TRAVERS UNE RÉSISTANCE (puissance électrique) OU UN CORPS EN MOUVEMENT (puissance mécanique) EST DÉFINIE COMME ÉTANT LE

TAUX DE VARIATION DE L'ÉNERGIE DANS LE TEMPS

$$\text{ÉNERGIE} = \text{PUISSANCE} \cdot \text{TEMPS}$$

$$1 \text{ WATT} = 1 \text{ JOULE} / \text{SECONDE}$$

NOTIONS DE BASE : Résumé

Théorème de transfert maximal de puissance

ÉNONCÉ DU THÉORÈME:

PAR CALCUL, ON DÉMONTRE QUE LE MAXIMUM DE PUISSANCE EST TRANSITÉ , I.E. DISSIPÉ PAR LA RÉSISTANCE DE CHARGE, LORSQUE CETTE DERNIÈRE PREND LA VALEUR DE LA RÉSISTANCE DE THÉVENIN DE LA SOURCE.

i.e. P_{\max} à la charge si

$$R_L = R_{TH}$$

Lorsque cette condition est atteinte, on a
$$P_{\max} = \frac{(E_{TH})^2}{4 R_{TH}}$$

COMPOSANTES DE BASE DES CIRCUITS ÉLECTRIQUES

Définition de la résistance

La résistance est une composante électrique qui est strictement associée à la notion **puissance active** (ou puissance "réelle"),

... par opposition à ce qu'on appelle la puissance réactive et la puissance apparente.

DÉFINITION de la RÉSISTANCE:

APTITUDE D'UN MILIEU NON ISOLANT À RÉSISTER AU PASSAGE D'UN COURANT ÉLECTRIQUE LORSQU'UNE TENSION ÉLECTRIQUE LUI EST APPLIQUÉE.

SUIVANT LA LOI D'OHM, LA VALEUR DE LA RÉSISTANCE CORRESPOND À LA CONSTANCE DE PROPORTIONNALITÉ ENTRE LA TENSION ET LE COURANT ÉLECTRIQUE:

$$R = \frac{E}{I}$$

$$\left(\frac{\text{Volt}}{\text{Ampère}} = \text{Ohm} \right)$$

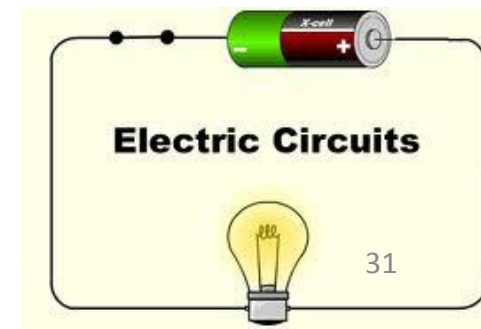
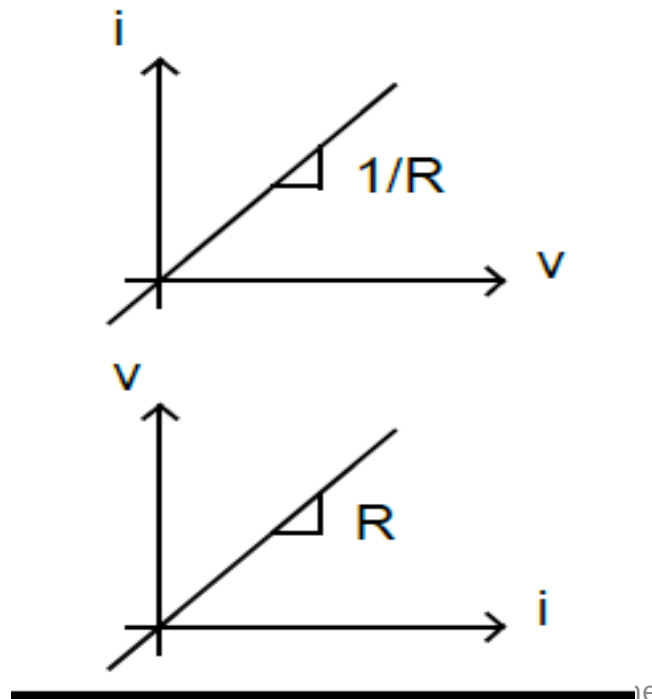
1 OHM...

CORRESPOND À LA PROPRIÉTÉ D'UN MILIEU NON ISOLANT DE VOIR APPARAÎTRE À SES BORNES UNE TENSION DE 1 VOLT LORSQU'IL EST TRAVERSÉ PAR UN COURANT DE 1 AMPÈRE.

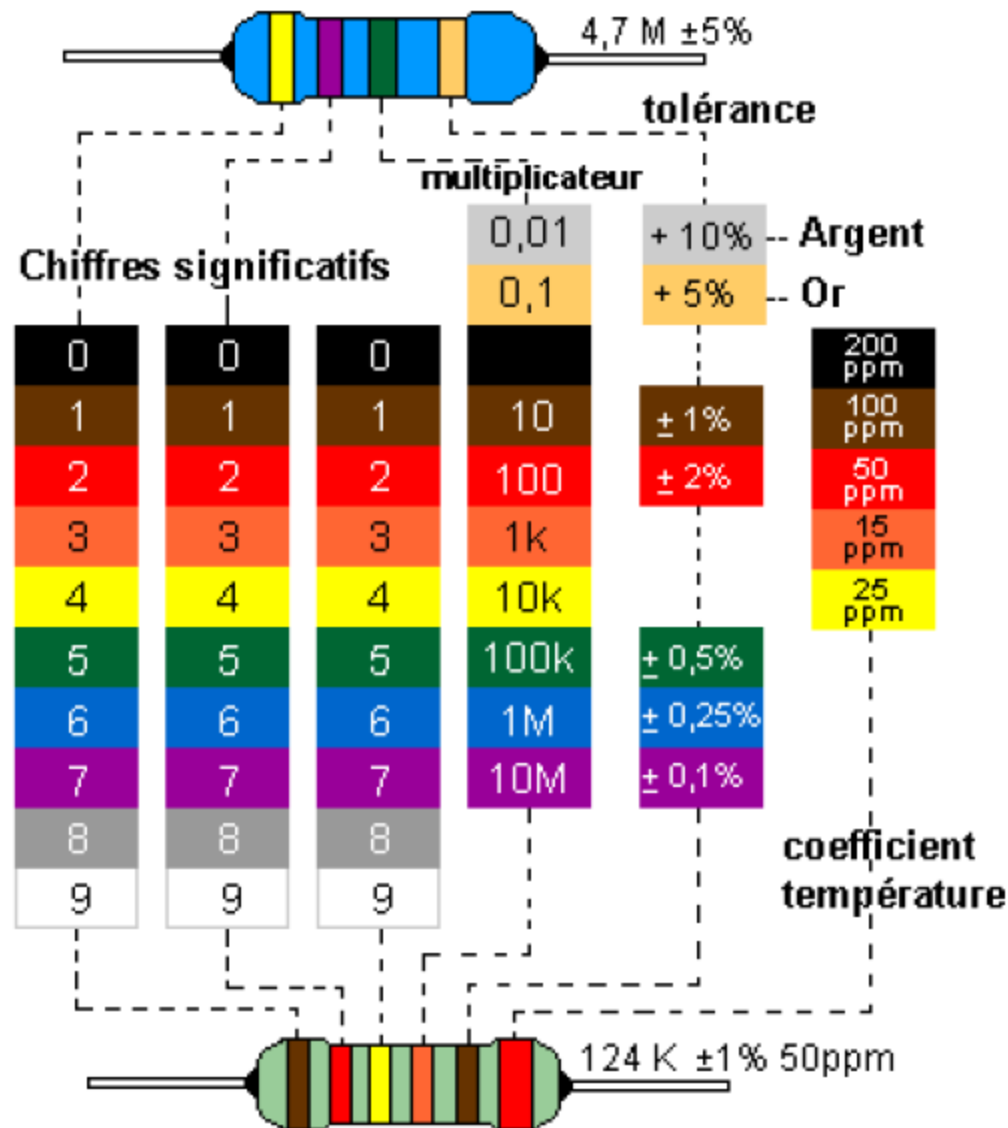
Résistance

La résistance, notée généralement par R , est un élément qui s'oppose au passage du courant électrique. La résistance électrique s'exprime en ohms (symbole Ω).

Résistance R
linéaire

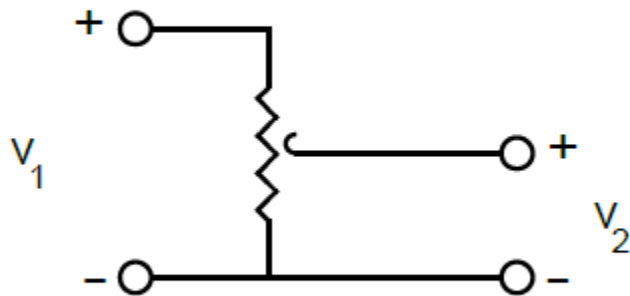


Code des couleurs des résistances

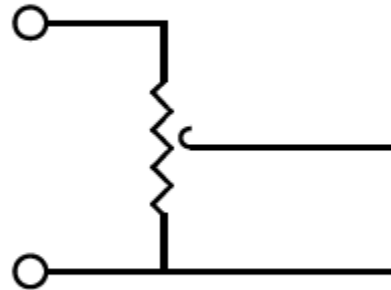


Résistance variable

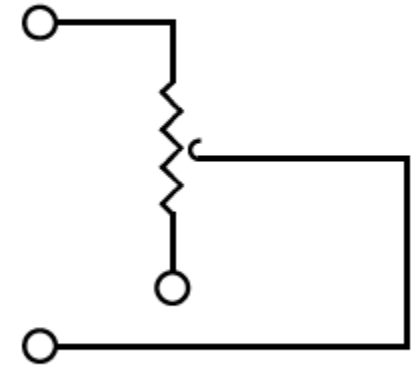
Une résistance variable peut être utilisée comme un potentiomètre (quadripôle) ou comme un rhéostat (dipôle).



potentiomètre

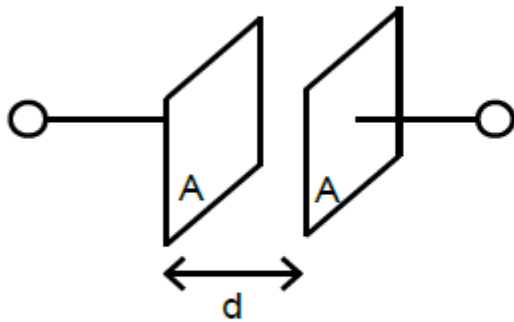


Réostat



Le condensateur

Le condensateur, noté généralement par C , est un élément qui a la capacité d'emmagasiner ou de restituer de l'énergie sous forme électrique. Un condensateur est composé de deux armatures, des conducteurs, qui sont séparées par un isolant tel que l'air.



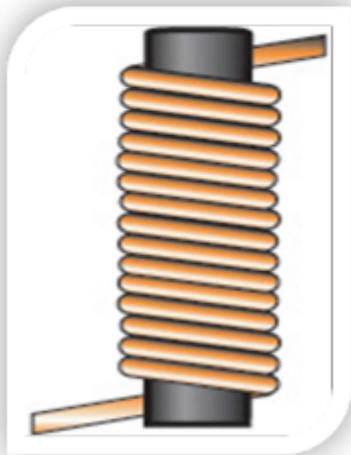
$$C = \frac{\epsilon A}{d}$$

Condensateur munis de deux armatures séparées par un isolant diélectrique.



La bobine

La bobine est un élément qui emmagasine ou restitue de l'énergie sous forme magnétique. Il existe une dualité entre la bobine et le condensateur. C'est l'inductance L qui permet de caractériser la bobine. L'inductance s'exprime, dans le système international, en Henri (H).



Un solénoïde est un fil métallique enroulé en spirale qui est parcourue par un courant électrique.

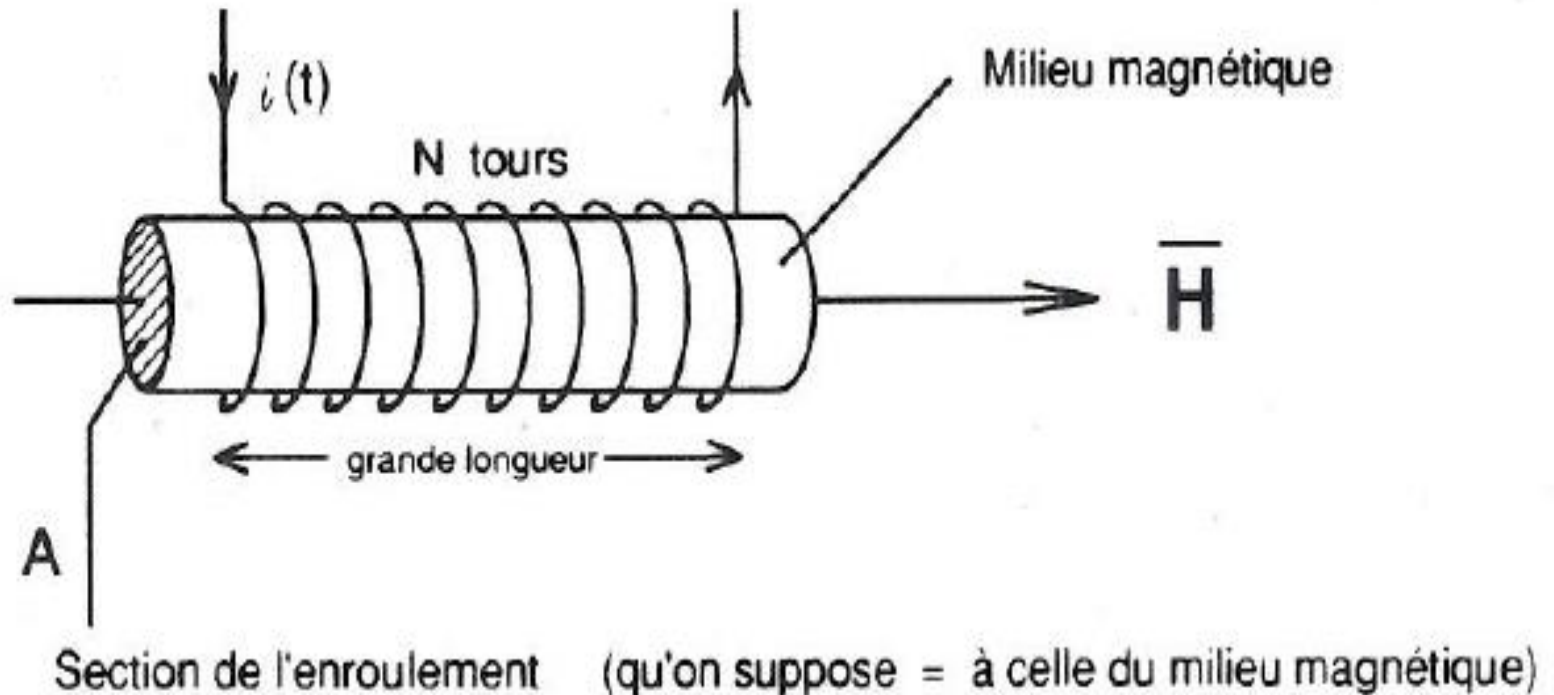
L'inductance L d'un solénoïde de N tours, d'une longueur l et composé d'un noyau ferromagnétique de perméabilité μ , est déterminée par

$$L = \frac{\mu N^2 A}{l}$$

L'inductance

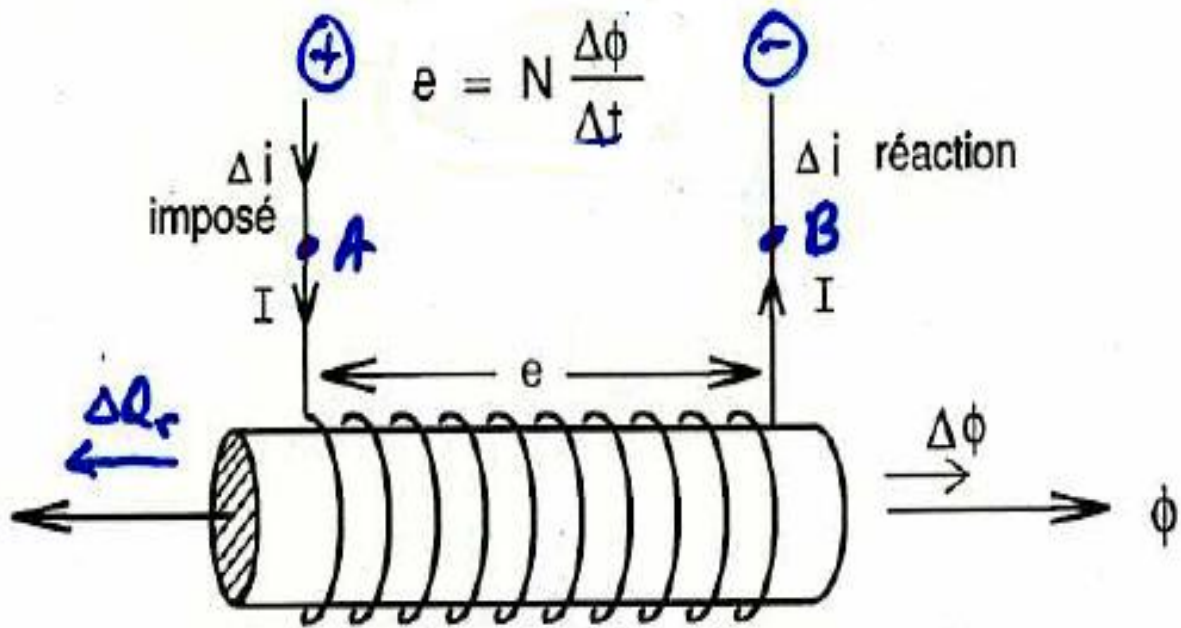
Principes:

Prenons, à titre d'exemple concret, le cas d'un solénoïde long (bobine) :



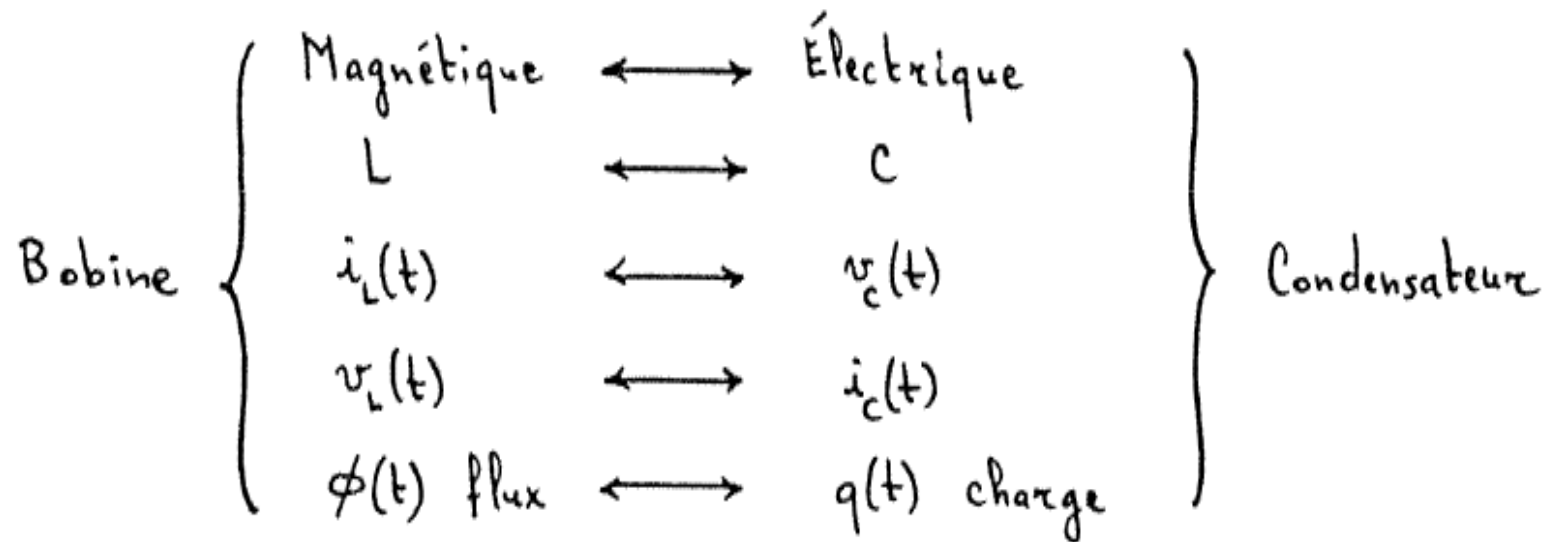
Principe de l'inductance appliqué à un solénoïde long:

Prenons le cas de la bobine décrite précédemment. Pour une variation de flux magnétique il s'induit AUX BORNES DE LA BOBINE une tension électrique:



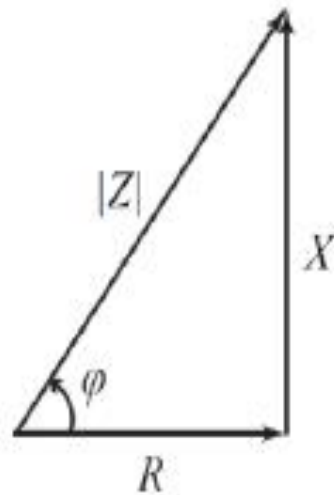
Introduction sur les éléments réactifs

Il existe une dualité entre une bobine et un condensateur :

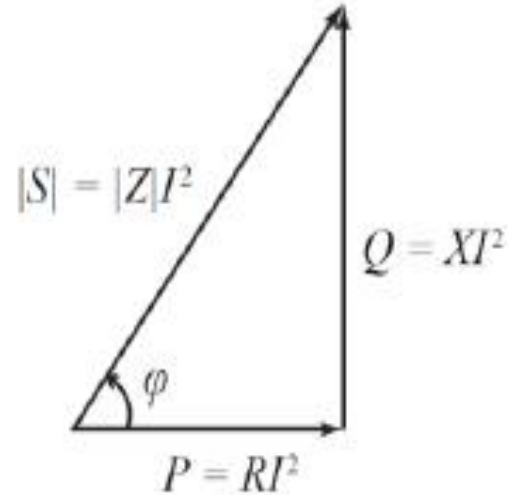


Triangle d'impédance et de puissance *

Il est à noter qu'on peut représenter l'impédance complexe (Z) et la puissance complexe (S) sous forme de triangles, comme le montre la figure 8.15.



(a)



(b)

a) Impédance complexe (Z); b) puissance complexe (S).

* Gracieuseté de Chahé Nerguizian : « Circuits électriques, des fondements aux applications », C. Nerguizian et V. Nerguizian

Notion de facteur de puissance

Le facteur de puissance (FP) est un critère permettant de quantifier le surdimensionnement du courant par rapport à la puissance consommée. Il est donné par :

$$FP = \cos \varphi = \frac{P_z}{|S_z|} = \frac{R}{|Z|}$$

où $0 \leq FP = \cos \varphi \leq 1$.

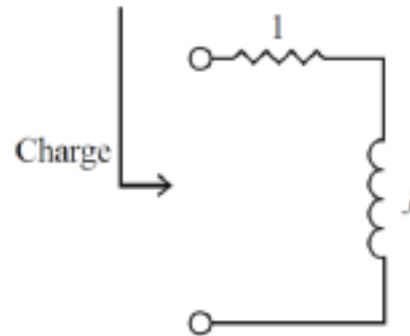
Les valeurs de facteur de puissance pour différents éléments sont :

- Résistance (R) : $\varphi = 0^\circ \rightarrow FP = 1$;
- Bobine idéale (L) : $\varphi = 90^\circ \rightarrow FP = 0$;
- Condensateur parfait (C) : $\varphi = -90^\circ \rightarrow FP = 0$;
- Charge inductive (RL) : $0^\circ < \varphi < 90^\circ \rightarrow FP = \cos \varphi$ en retard (i en retard par rapport à v) ou inductif (*lagging*);
- Charge capacitive (RC) : $-90^\circ < \varphi < 0^\circ \rightarrow FP = \cos \varphi$ en avance (i en avance par rapport à v) ou capacitif (*leading*).

Exemple :

Détermination du facteur de puissance d'une charge

Soit la charge inductive ci-dessous.



Déterminer le facteur de puissance de la charge.

Solution

L'impédance de la charge est donnée par :

$$Z = 1 + j$$

$$\Rightarrow \varphi = \arctan\left(\frac{1}{1}\right) = 45^\circ$$

Donc :

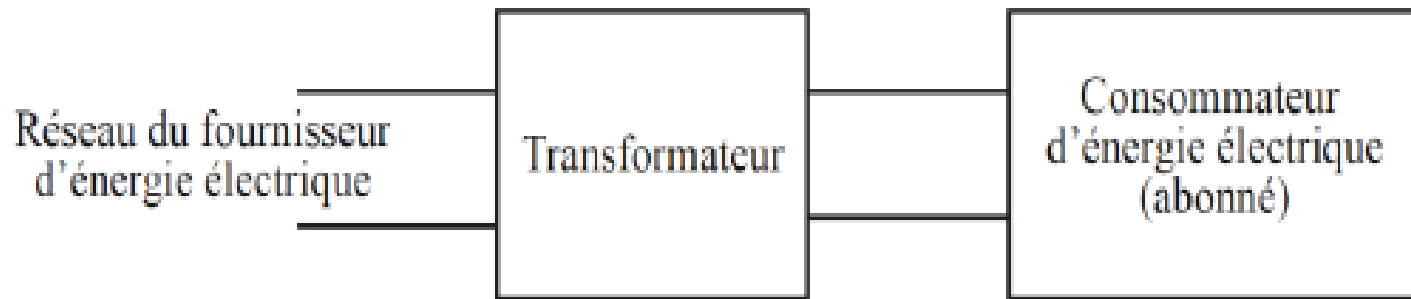
$$FP = \cos\varphi = \cos(45^\circ) = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

Le facteur de puissance est en retard, car on prend la tension comme référence, et le courant dans une charge inductive est en retard par rapport à la tension. En pratique, il est important de mentionner si le facteur de puissance est en retard (inductif) ou en avance (capacitif) puisque sa valeur est toujours positive.

* *Gracieuseté de Chahé Nerguizian : « Circuits électriques, des fondements aux applications », C. Nerguizian et V. Nerguizian*

CORRECTION OU COMPENSATION DU FACTEUR DE PUISSANCE

Dans le diagramme de la figure on calcule la consommation d'énergie électrique en multipliant le nombre de watts par le nombre d'heures, car l'énergie utilisée est égale à la puissance active par le nombre d'heures.



Réseau d'énergie électrique.

* Gracieuseté de Chahé Nerguizian : « Circuits électriques, des fondements aux applications », C. Nerguizian et V. Nerguizian

CORRECTION OU COMPENSATION DU FACTEUR DE PUISSANCE

Dans l'industrie, le calcul de la consommation se fait sur la base des éléments suivants :

- l'énergie utilisée (kWh);
- le facteur de puissance (FP);
- le coût associé à la puissance demandée (kW).

Donc, à la limite, si le facteur de puissance est nul (bobine ou condensateur), la puissance réelle en watts sera nulle, mais le courant demandé au fournisseur d'électricité sera différent de zéro à cause de la puissance réactive mise en jeu.

Par conséquent, le fournisseur ne pourra pas accepter cette situation et demandera au consommateur de corriger le facteur de puissance de sa charge ou de payer une pénalité en fonction du facteur de puissance tant que les critères suivants ne sont pas respectés :

- un facteur de puissance supérieur ou égal à 0,9 pour les industries à puissance moyenne;

* Gracieuseté de Chahé Nerguizian : « Circuits électriques, des fondements aux applications », C. Nerguizian et V. Nerguizian

CORRECTION OU COMPENSATION DU FACTEUR DE PUISSANCE

- un facteur de puissance supérieur ou égal à 0,95 pour les industries à grande puissance.

L'objectif de l'amélioration du facteur de puissance est de diminuer la valeur de la phase φ entre la tension et le courant de charge totale, ce qui aura l'effet de diminuer la puissance apparente ainsi que le courant demandé par le fournisseur d'électricité ($FP \nearrow \Rightarrow \varphi \searrow \Rightarrow |S| \searrow \Rightarrow I \searrow$).

Ainsi, la capacité du réseau ou du transformateur sera augmentée et la perte dans la ligne sera diminuée.

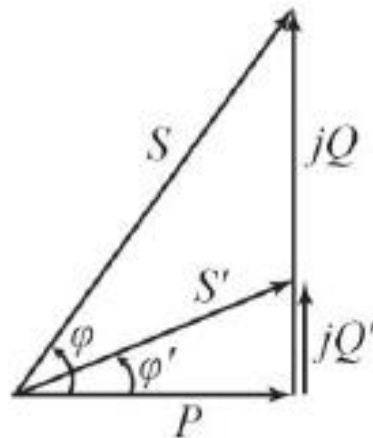
L'amélioration du facteur de puissance se fait en ajoutant une puissance réactive négative (en VAR) pour diminuer l'angle φ de la charge

Pour une charge inductive, il s'agit de placer un condensateur en parallèle avec la charge.

CORRECTION OU COMPENSATION DU FACTEUR DE PUISSANCE

Il faut noter que :

- pour améliorer le facteur de puissance, on utilise un condensateur ou un moteur synchrone qui peut fournir de la puissance réactive négative (en VAR);
- pendant l'amélioration du facteur de puissance, la puissance réelle P ne change pas, mais les puissances réactive (Q) et apparente ($|S|$) changent.



Augmentation du facteur de puissance vue par le triangle des puissances.

Références

- Notes de cours de Mr Jean François Drapeau
- « Circuits électriques , des fondements aux applications », C. Nerguizian et V. Nerguizian, Presses internationales de Polytechnique, 2017
- http://www8.umoncton.ca/umcm-cormier_gabriel/Circuits/GELE2112