

Cours d'électricité

Circuits électriques en courant constant

Mathieu BARDOUX

mathieu.bardoux@univ-littoral.fr

IUT Saint-Omer / Dunkerque
Département *Génie Thermique et Énergie*

1^{re} année





Objectifs du chapitre :

Circuit électrique

- Composants
- Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

- Loi des nœuds
- Théorème de Millman
- Loi des mailles

Théorèmes

- Théorème de superposition
- Théorème de Thévenin
- Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

- Nomenclature
- Résistance d'un fil
- Coefficient de température

Associations de résistances

- Pont de Wheatstone
- Théorème de Kennelly

- Description des circuits électriques :
 - Types de composants
 - Graphe du réseau
- Lois de Kirchhoff :
 - Loi des mailles
 - Loi des nœuds
 - Théorème de Millman
- Théorèmes fondamentaux :
 - Théorème de superposition
 - Théorème de Thévenin
 - Théorème de Norton
- Notions sur les résistances :
 - Fonctionnement
 - Nomenclature
 - Associations

Circuit électrique

Circuit électrique

Composants

Grphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

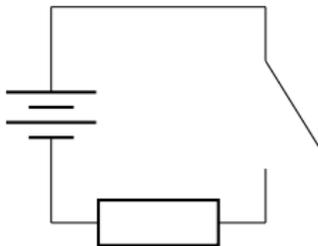
Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

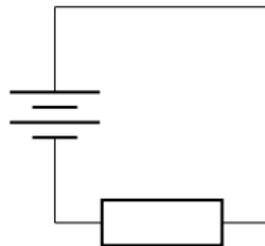
En reliant les bornes d'un générateur entre elles par un ou plusieurs matériaux conducteurs, on réalise un *circuit fermé*, dans lequel le courant électrique peut circuler.

Dans le cas contraire, le circuit est dit *ouvert* : un corps isolant (air, bakélite) interrompt le circuit, dans lequel le courant ne peut circuler. Pour ouvrir ou fermer un circuit, on utilise un interrupteur.

Circuit ouvert



Circuit fermé



Les composants du circuit

Circuit électrique

Composants

Grphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Le circuit électrique peut contenir un certain nombre d'appareils aux propriétés différentes :

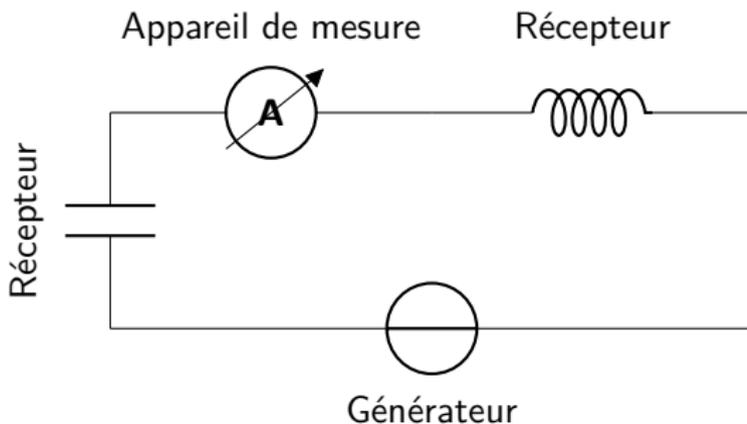
Générateurs : batteries, générateurs de tension, piles...

Récepteurs : résistances, bobines, condensateurs...

Appareils de mesure : voltmètres, ampèremètres, oscilloscopes...

Appareils de sécurité : disjoncteurs, fusibles...

Appareils de manœuvre : inverseurs...



Dipôles polarisés, dipôles non polarisés

Circuit électrique

Composants

Graphes du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Appareils polarisés Ils ont une borne \oplus (souvent rouge) et une borne \ominus (souvent bleue ou verte) de polarités indépendantes du sens du courant. Exemple : piles et accumulateurs. L'intensité qui les traverse peut être positive ou négative. Ainsi, ils fonctionnent en électromoteurs si le sens conventionnel du courant sort par la borne \oplus , et en contre-électromoteur si le sens conventionnel du courant sort par la borne \ominus .

Appareils non polarisés En l'absence de courant, ils sont aussi appelés récepteurs véritables. Exemples : moteurs, électrolyseurs. Ils se polarisent si un courant les traverse, et ne fonctionnent qu'en électromoteurs.

Noëuds et mailles d'un circuit

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

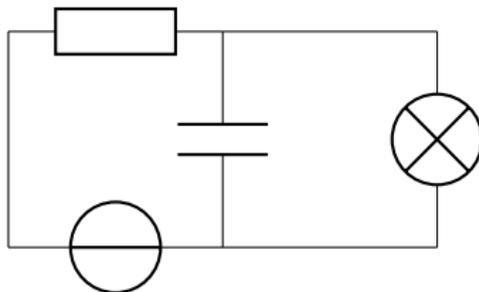
Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Un réseau électrique est constitué d'un ensemble de dipôles linéaires ; ceux-ci sont reliés par des fils de résistance négligeable.

Le réseau est formé de branches, reliées entre elles par des nœuds, et formant des mailles. L'ensemble est appelé graphe du réseau.

- plusieurs dipôles reliés en série constituent une branche ;
- un point du réseau relié à trois branches au moins est appelé nœud ;
- une maille est un parcours fermé, constitué de branches et ne passant qu'une seule fois par un nœud donné.



Noëuds et mailles d'un circuit

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

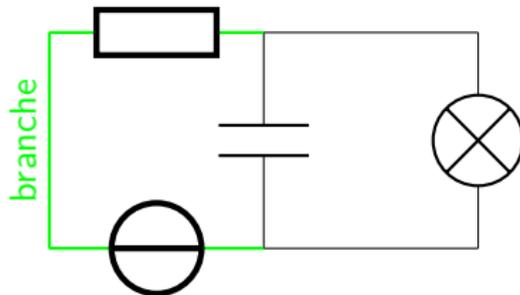
Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Un réseau électrique est constitué d'un ensemble de dipôles linéaires ; ceux-ci sont reliés par des fils de résistance négligeable.

Le réseau est formé de branches, reliées entre elles par des nœuds, et formant des mailles. L'ensemble est appelé graphe du réseau.

- plusieurs dipôles reliés en série constituent une branche ;
- un point du réseau relié à trois branches au moins est appelé nœud ;
- une maille est un parcours fermé, constitué de branches et ne passant qu'une seule fois par un nœud donné.



Noëuds et mailles d'un circuit

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

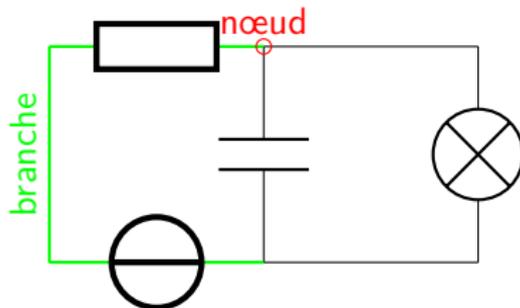
Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Un réseau électrique est constitué d'un ensemble de dipôles linéaires ; ceux-ci sont reliés par des fils de résistance négligeable.

Le réseau est formé de branches, reliées entre elles par des nœuds, et formant des mailles. L'ensemble est appelé graphe du réseau.

- plusieurs dipôles reliés en série constituent une branche ;
- un point du réseau relié à trois branches au moins est appelé nœud ;
- une maille est un parcours fermé, constitué de branches et ne passant qu'une seule fois par un nœud donné.



Noëuds et mailles d'un circuit

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

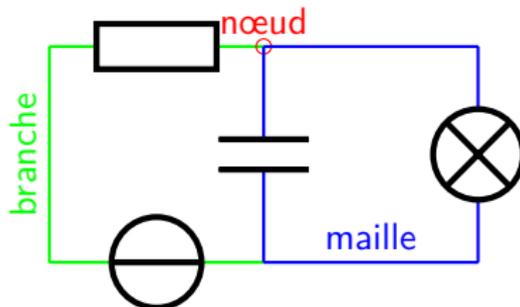
Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Un réseau électrique est constitué d'un ensemble de dipôles linéaires ; ceux-ci sont reliés par des fils de résistance négligeable.

Le réseau est formé de branches, reliées entre elles par des nœuds, et formant des mailles. L'ensemble est appelé graphe du réseau.

- plusieurs dipôles reliés en série constituent une branche ;
- un point du réseau relié à trois branches au moins est appelé nœud ;
- une maille est un parcours fermé, constitué de branches et ne passant qu'une seule fois par un nœud donné.



Association en série, résistance équivalente

Circuit électrique

Composants

Graphes du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

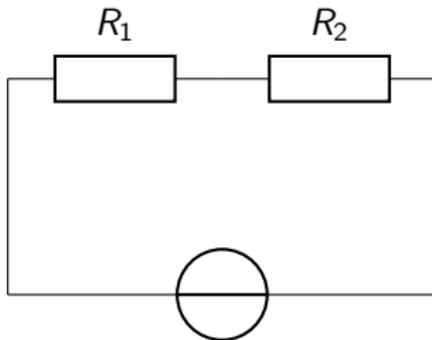
Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Lorsque plusieurs composants sont placés sur une même branche du circuit, on dit qu'ils sont placés *en série*. Dans ce circuit par exemple, les deux résistances sont placées en série :



Association en série, résistance équivalente

Circuit électrique

Composants

Graphes du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

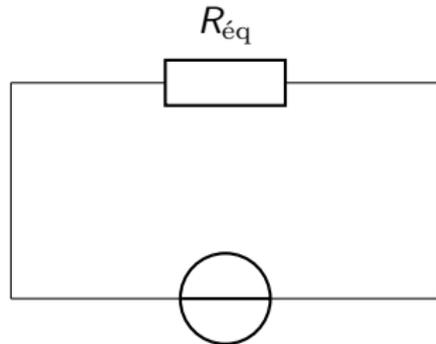
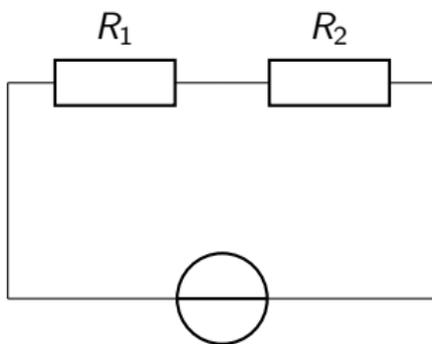
Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Lorsque plusieurs composants sont placés sur une même branche du circuit, on dit qu'ils sont placés *en série*. Dans ce circuit par exemple, les deux résistances sont placées en série :



On peut représenter ces deux résistances comme une seule *résistance équivalente*. Dans le cas d'une association série, la résistance équivalente est égale à la somme des résistances :

$$R_{\text{éq}} = R_1 + R_2$$

Association en série, pont diviseur de tension

Circuit électrique

Composants

Graphé du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

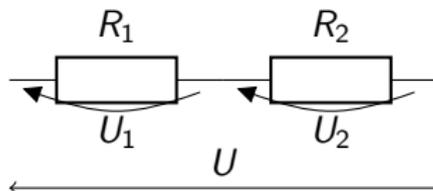
Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Plusieurs résistances associées en série constituent ce qu'on appelle un *pont diviseur de tension*.



Une chute de tension apparaît dans chacun des dipôles successifs. Cette chute de tension est proportionnelle à la tension appliquée au pont (U). Elle est proportionnelle à la résistance du dipôle, et inversement proportionnelle à la résistance totale du pont. Ici :

$$U_1 = U \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} ; U_2 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Remarque : $U_1 + U_2 = U$

Association en parallèle, résistance équivalente

Circuit électrique

Composants

Graphes du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

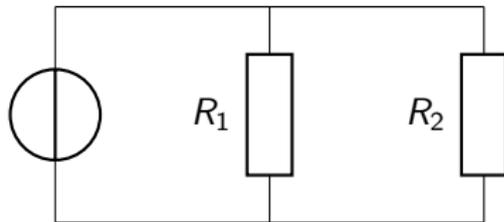
Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Lorsque des composants sont placés sur des branches du circuit reliant deux mêmes nœuds, on dit qu'ils sont placés en *parallèle*, ou en dérivation. Ici, deux résistances placées en parallèle :



Association en parallèle, résistance équivalente

Circuit électrique

Composants

Graphes du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

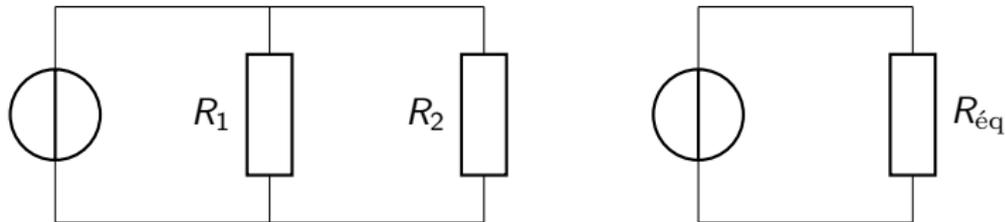
Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Lorsque des composants sont placés sur des branches du circuit reliant deux mêmes nœuds, on dit qu'ils sont placés en *parallèle*, ou en dérivation. Ici, deux résistances placées en parallèle :



On peut représenter ces deux résistances comme une seule *résistance équivalente*. Dans le cas d'une association parallèle, la conductance équivalente est égale à la somme des conductances :

$$G_{\text{éq}} = G_1 + G_2 \Leftrightarrow \frac{1}{R_{\text{éq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

où la conductance G est l'inverse de la résistance : $G = \frac{1}{R}$

Association en parallèle, pont diviseur de courant

Circuit électrique

- Composants
- Graphie du circuit

Lois de Kirchhoff

- Loi des nœuds
- Théorème de Millman
- Loi des mailles

Théorèmes

- Théorème de superposition
- Théorème de Thévenin
- Théorème de Norton

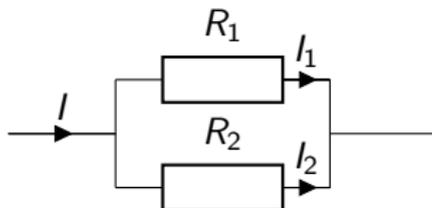
Compléments sur les résistances

- Nomenclature
- Résistance d'un fil
- Coefficient de température

Associations de résistances

- Pont de Wheatstone
- Théorème de Kennelly

Plusieurs résistances associées en parallèle constituent ce qu'on appelle un *pont diviseur de courant*.



Le courant qui traverse chacune des branches est proportionnel au courant injecté dans le diviseur (I). Elle est proportionnelle à la *résistance de l'autre branche*, et inversement proportionnelle à la résistance totale du pont :

$$I_1 = I \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} ; I_2 = I \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Remarque : $I_1 + I_2 = I$

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

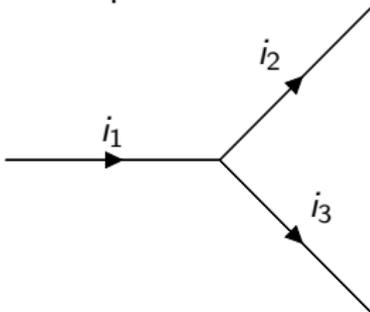
Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Loi des nœuds

La somme algébrique des courants entrant dans un nœud est égale à la somme algébrique des courants qui en sortent.

Cette loi exprime la conservation de la charge dans un circuit électrique.



$$i_1 = i_2 + i_3$$

Loi des nœuds : exemple d'application

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

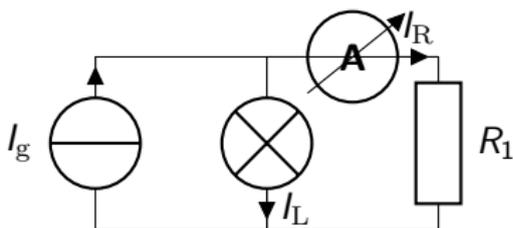
Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly



Une lampe et une résistance R_1 sont branchées en parallèle sur un générateur de courant, délivrant une intensité $I_g = 0,5 \text{ A}$. Un ampèremètre mesure le courant $I_R = 0,3 \text{ A}$ traversant la résistance.

Comment trouver I_L ?

Loi des nœuds : exemple d'application

Circuit électrique

Composants

Grphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Théorème de Norton

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

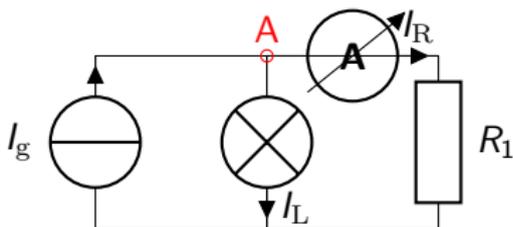
température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Kennelly



Une lampe et une résistance R_1 sont branchées en parallèle sur un générateur de courant, délivrant une intensité $I_g = 0,5 \text{ A}$. Un ampèremètre mesure le courant $I_R = 0,3 \text{ A}$ traversant la résistance.

Comment trouver I_L ?

Appliquons la loi des nœuds au point A :

$$I_g = I_R + I_L \Rightarrow I_L = I_g - I_R$$

$$I_L = 0,2 \text{ A}$$

Théorème de Millman

Circuit électrique

Composants

Graphes du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

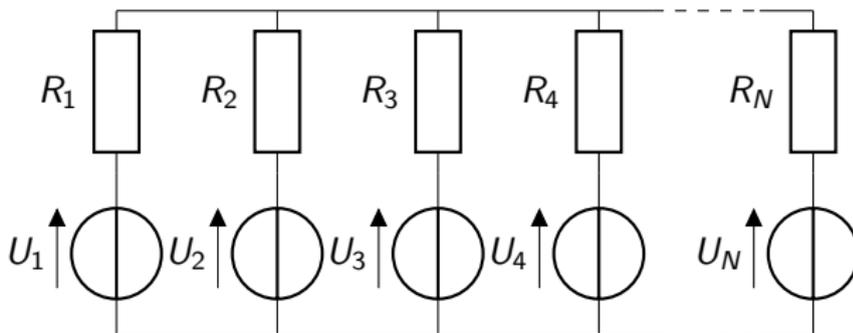
Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Considérons N branches parallèles, comprenant chacune un générateur de tension parfait en série avec une résistance :



Théorème de Millman

Circuit électrique

Composants

Graphes du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

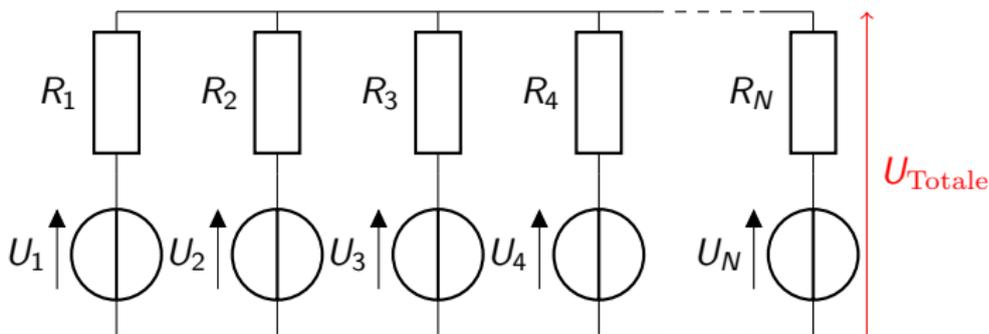
Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Considérons N branches parallèles, comprenant chacune un générateur de tension parfait en série avec une résistance :



La tension aux bornes des branches vaut alors :

$$U_{\text{Totale}} = \frac{\sum_{n=1}^N U_n G_n}{\sum_{n=1}^N G_n}$$

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

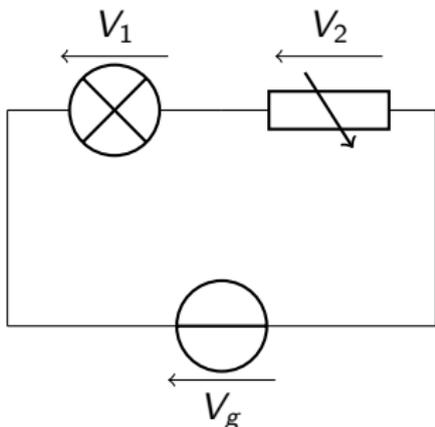
Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Loi des mailles

La somme algébrique des différences de potentiel le long d'une maille d'un circuit est nulle.

Cette loi exprime la conservation de l'énergie dans un circuit électrique. Une des conséquences de la loi des mailles est la suivante : dans un circuit série, la somme des chutes de tension entre les bornes des résistances est égale à la tension appliquée.



$$U_1 + U_2 = U_g$$

U_g est la tension appliquée aux bornes du générateur, U_1 et U_2 les chutes de tension aux bornes de la lampe et du potentiomètre.

Loi des mailles : exemple d'application

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

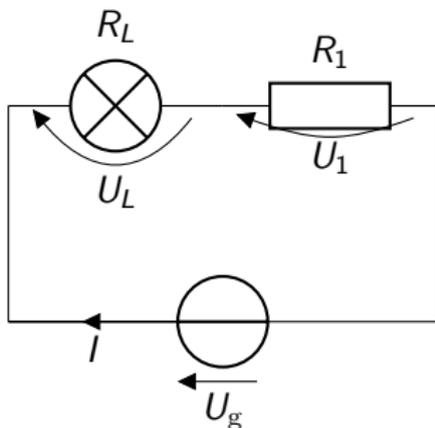
Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly



Une lampe de résistance R_L et une résistance R_1 sont branchées en série sur un générateur de tension, délivrant une tension $U_g = 12\text{V}$.

Comment calculer la chute de tension dans la lampe, U_L ?

Loi des mailles : exemple d'application

Circuit électrique

Composants

Graphes du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

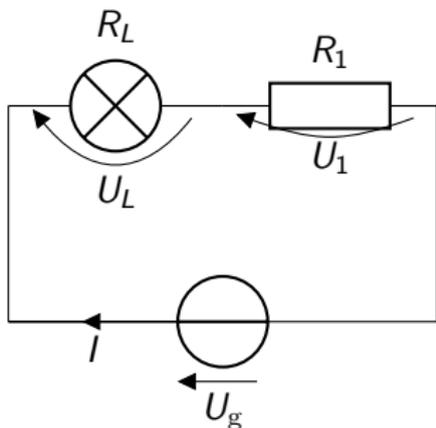
Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly



Une lampe de résistance R_L et une résistance R_1 sont branchées en série sur un générateur de tension, délivrant une tension $U_g = 12\text{V}$.

Comment calculer la chute de tension dans la lampe, U_L ?

La loi d'Ohm nous permet d'écrire $U_1 = R_1 I$ et $U_L = R_L I$.

Par conséquent : $U_1 = \frac{U_L R_1}{R_L}$

Loi des mailles : exemple d'application

Circuit électrique

Composants

Graphes du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

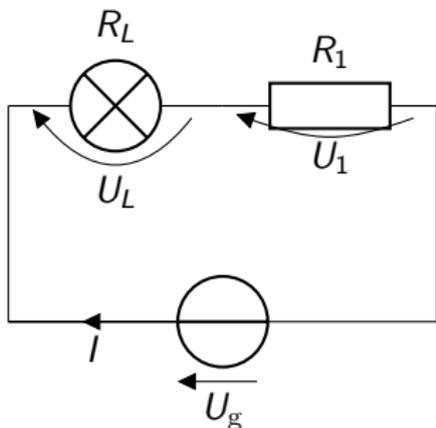
Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly



Une lampe de résistance R_L et une résistance R_1 sont branchées en série sur un générateur de tension, délivrant une tension $U_g = 12\text{V}$.

Comment calculer la chute de tension dans la lampe, U_L ?

La loi d'Ohm nous permet d'écrire $U_1 = R_1 I$ et $U_L = R_L I$.

Par conséquent : $U_1 = \frac{U_L R_1}{R_L}$

Appliquons la loi des mailles sur l'unique maille du circuit : $U_g = U_L + U_1 = U_L + \frac{U_L R_1}{R_L} = \frac{R_1 + R_L}{R_L} U_L$.

Loi des mailles : exemple d'application

Circuit électrique

Composants

Graphes du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

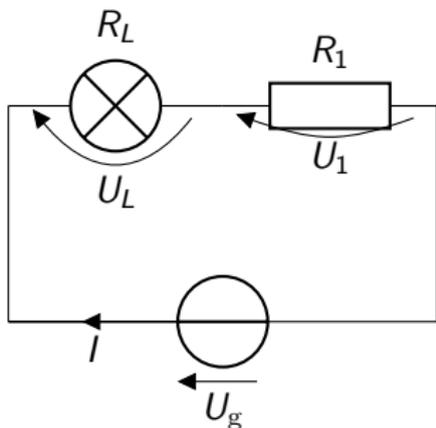
Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly



Une lampe de résistance R_L et une résistance R_1 sont branchées en série sur un générateur de tension, délivrant une tension $U_g = 12\text{V}$.

Comment calculer la chute de tension dans la lampe, U_L ?

La loi d'Ohm nous permet d'écrire $U_1 = R_1 I$ et $U_L = R_L I$.

Par conséquent : $U_1 = \frac{U_L R_1}{R_L}$

Appliquons la loi des mailles sur l'unique maille du circuit : $U_g = U_L + U_1 = U_L + \frac{U_L R_1}{R_L} = \frac{R_1 + R_L}{R_L} U_L$.

D'où nous tirons finalement :

$$U_L = \frac{R_L}{R_1 + R_L} U_g$$



Théorème de superposition

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Théorème de superposition

Dans un réseau électrique linéaire, le courant (ou la tension) dans une branche quelconque est égal à la somme algébrique des courants (ou des tensions) obtenus dans cette branche sous l'effet de chacune des sources indépendantes prise isolément, toutes les autres ayant été remplacées par leur résistance interne.

L'énoncé de ce théorème est à connaître par cœur.



Théorème de Thévenin

Circuit électrique

- Composants
- Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

- Loi des nœuds
- Théorème de Millman
- Loi des mailles

Théorèmes

- Théorème de superposition
- Théorème de Thévenin
- Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

- Nomenclature
- Résistance d'un fil
- Coefficient de température

Associations de résistances

- Pont de Wheatstone
- Théorème de Kennelly

Théorème de Thévenin

On peut remplacer tout circuit linéaire, qui alimente par les bornes A et B un dipôle D , par un générateur de tension idéal en série avec une résistance R_{Th} .

La fem E_{Th} du générateur est égale à la ddp mesurée entre A et B quand le dipôle D est débranché.

La résistance R_{Th} est égale à la résistance mesurée entre A et B quand le dipôle D est débranché et que les générateurs sont remplacés par leurs résistances internes.

L'énoncé de ce théorème est à connaître par cœur.

Le théorème de Thévenin est à privilégier lorsqu'on s'intéresse à des dipôles en série.

Théorème de Thévenin : exemple d'application

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

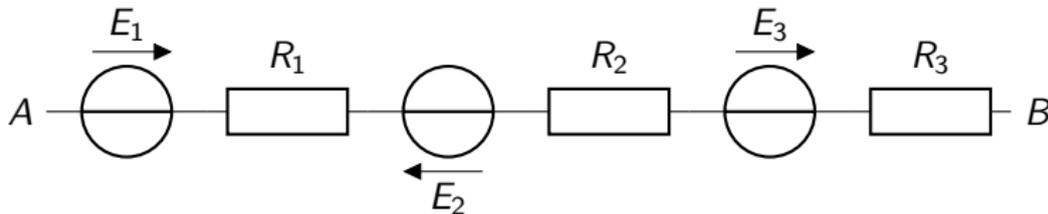
Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Déterminer l'équivalent de Thévenin du « dipôle » AB :



1^{re} étape

Lorsque le dipôle AB est débranché, à vide, le courant est nul : $I = 0$.

La force électromotrice totale aux bornes du dipôle vaut alors :

$$E_{Th} = E_1 - E_2 + E_3$$

Théorème de Thévenin : exemple d'application

Circuit électrique

Composants

Graphes du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

2^e étape

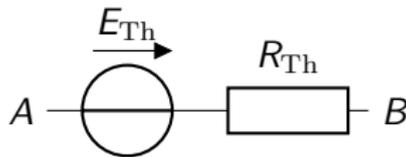
Lorsque les générateurs E_1 , E_2 et E_3 sont remplacés par leurs résistances internes (qui sont nulles pour des générateurs de tension idéaux), on obtient le graphe suivant :



La résistance équivalente de ces résistances placées en parallèle vaut $R_{Th} = R_1 + R_2 + R_3$.

Bilan

Le graphe AB est équivalent au dipôle de Thévenin suivant :



Avec $R_{Th} = R_1 + R_2 + R_3$ et $E_{Th} = E_1 - E_2 + E_3$.



Théorème de Norton

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Théorème de Norton

On peut remplacer tout circuit linéaire, qui alimente par les bornes A et B un dipôle D , par un générateur de courant idéal en parallèle avec une résistance R_N .

L'intensité I_N du générateur est égale au courant de court-circuit entre A et B quand le dipôle D est débranché.

La résistance R_N est égale à la résistance mesurée entre A et B quand le dipôle D est débranché et que les générateurs sont remplacés par leurs résistances internes.

L'énoncé de ce théorème est à connaître par cœur.

Le théorème de Norton est à privilégier lorsqu'on s'intéresse à des dipôles en parallèle.

Théorème de Norton : exemple d'application

Circuit électrique

Composants
Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds
Théorème de Millman
Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition
Théorème de Thévenin
Théorème de Norton

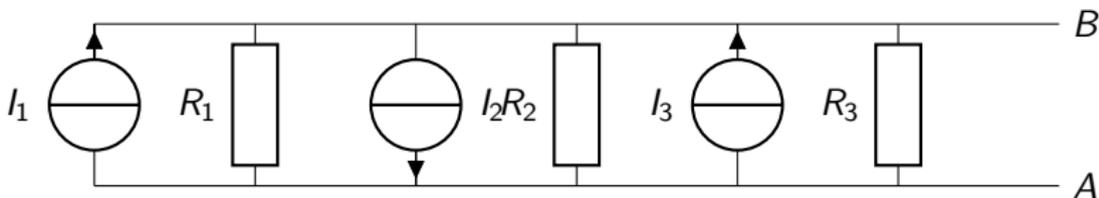
Compléments sur les résistances

Nomenclature
Résistance d'un fil
Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone
Théorème de Kennelly

Déterminer l'équivalent de Norton du « dipôle » AB :



1^{re} étape

Lorsqu'on place les pôles A et B en court-circuit, la tension aux bornes du dipôle est nulle. Il n'y a donc aucun courant à travers les trois résistances du circuit.

Le courant de court-circuit est donc égal à :

$$I_N = I_1 + I_2 + I_3$$

Théorème de Norton : exemple d'application

Circuit électrique

Composants

Grphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

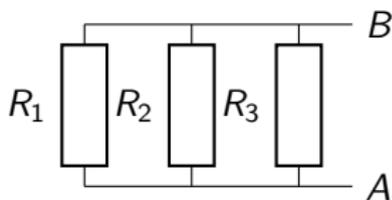
Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

2^e étape

Lorsque les trois générateurs de courant idéaux sont remplacés par leurs résistances internes (qui sont infinies pour des générateurs de courant idéaux), on obtient le graphe :

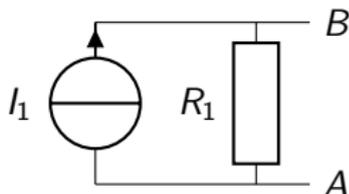


R_N est équivalente aux trois résistances R_1 , R_2 et R_3 , placées en parallèle :

$$\frac{1}{R_N} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Bilan

Le dipôle équivalent de Norton est donc le suivant :



avec $I_N = I_1 + I_2 + I_3$
et $R_N = (R_1^{-1} + R_2^{-1} + R_3^{-1})^{-1}$.



Conversion Thévenin-Norton

Circuit électrique

Composants
Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds
Théorème de Millman
Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition
Théorème de Thévenin
Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature
Résistance d'un fil
Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone
Théorème de Kennelly

Il est possible de convertir un circuit de Thévenin en circuit de Norton, et ce de manière simple.

Pour passer de Thévenin à Norton, on écrit :

$$R_N = R_{Th}, \quad I_N = E_{Th}/R_{Th}$$

Pour passer de Norton à Thévenin, on écrit :

$$R_{Th} = R_N, \quad E_{Th} = I_N R_N$$

À retenir :

- la résistance équivalente *n'est pas modifiée* ;
- la tension de Thévenin est liée à l'intensité de Norton par une formule *semblable à la loi d'Ohm*.



Nomenclature des résistances

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

La résistance est un élément essentiel des circuits électriques. Très courant, il permet entre autres de réguler la tension d'un circuit.

C'est pourquoi il est essentiel de pouvoir déterminer de manière standard et rapide les caractéristiques d'une résistance.

Pour cette raison, les résistances portent toutes le même code de couleurs, qui permet de lire leurs propriétés.

Ce code est régi par la norme internationale CEI 60757.

Nomenclature des résistances : règles

Circuit électrique

- Composants
- Grappe du circuit

Lois de Kirchhoff

- Loi des nœuds
- Théorème de Millman
- Loi des mailles

Théorèmes

- Théorème de superposition
- Théorème de Thévenin
- Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

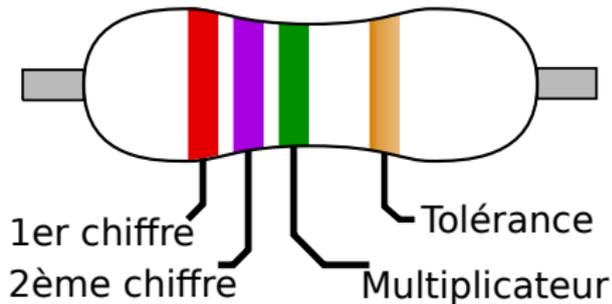
- Nomenclature
- Résistance d'un fil
- Coefficient de température

Associations de résistances

- Pont de Wheatstone
- Théorème de Kennelly

La résistance d'un composant est indiquée à l'aide d'un système d'anneaux. Une résistance porte 4 anneaux de couleurs. Les trois premiers anneaux indiquent la résistance du composant. Le quatrième anneau indique la *tolérance*, c'est à dire l'incertitude du constructeur, sur la valeur de cette résistance.

La couleur de chaque anneau correspond à un nombre :



Nomenclature des résistances : règles

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

La résistance du composant est indiquée en utilisant le code couleur suivant :

Couleur	Premier chiffre	Deuxième chiffre	Multiplicateur
Noir	0	0	10^0
Marron	1	1	10^1
Rouge	2	2	10^2
Orange	3	3	10^3
Jaune	4	4	10^4
Vert	5	5	10^5
Bleu	6	6	10^6
Violet	7	7	10^7
Gris	8	8	10^8
Blanc	9	9	10^9



Nomenclature des résistances : règles

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

La tolérance sur la résistance du composant est indiquée en utilisant le code couleur suivant :

Couleur	Tolérance
Marron	1%
Rouge	2%
Vert	0,5%
Bleu	0,25%
Violet	0,1%
Gris	0,05%
Or	5%
Argent	10%
Néant	20%

Nomenclature des résistances : exemples

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly



Nomenclature des résistances : exemples

Circuit électrique

- Composants
- Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

- Loi des nœuds
- Théorème de Millman
- Loi des mailles

Théorèmes

- Théorème de superposition
- Théorème de Thévenin
- Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

- Nomenclature
- Résistance d'un fil
- Coefficient de température

Associations de résistances

- Pont de Wheatstone
- Théorème de Kennelly



Lecture de la résistance : Noir=0 ; Marron=1 ; Noir= $\times 10^0$

$$\Rightarrow R = 01 \cdot 10^0 = 1 \Omega$$

Nomenclature des résistances : exemples

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

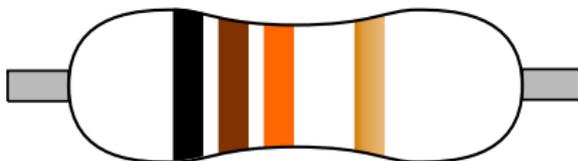
Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly



Nomenclature des résistances : exemples

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

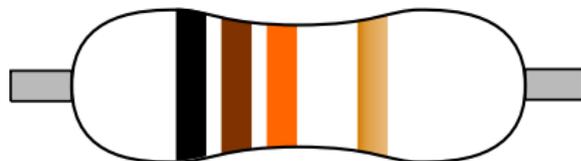
Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly



Lecture de la résistance : Noir=0 ;Marron=1 ;Orange= $\times 10^3$

$$\Rightarrow R = 01 \cdot 10^3 = 1 \text{ k}\Omega$$

Nomenclature des résistances : exemples

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly



Nomenclature des résistances : exemples

Circuit électrique

- Composants
- Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

- Loi des nœuds
- Théorème de Millman
- Loi des mailles

Théorèmes

- Théorème de superposition
- Théorème de Thévenin
- Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

- Nomenclature
- Résistance d'un fil
- Coefficient de température

Associations de résistances

- Pont de Wheatstone
- Théorème de Kennelly



Lecture de la résistance : Rouge=2 ; Violet=7 ; Vert= $\times 10^5$

$$\Rightarrow R = 27 \cdot 10^5 = 2,7 \text{ M}\Omega$$

Nomenclature des résistances : exemples

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

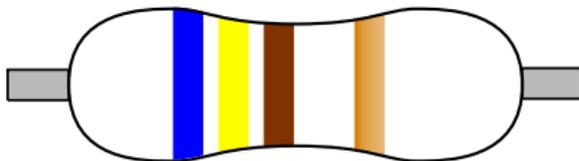
Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly



Nomenclature des résistances : exemples

Circuit électrique

- Composants
- Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

- Loi des nœuds
- Théorème de Millman
- Loi des mailles

Théorèmes

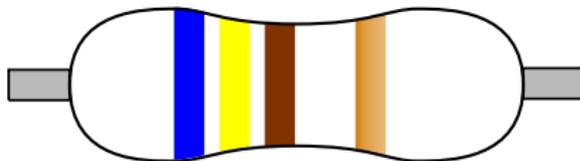
- Théorème de superposition
- Théorème de Thévenin
- Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

- Nomenclature
- Résistance d'un fil
- Coefficient de température

Associations de résistances

- Pont de Wheatstone
- Théorème de Kennelly



Lecture de la résistance : Bleu=6 ; Jaune=4 ; Marron= $\times 10^1$

$$\Rightarrow R = 64 \cdot 10^1 = 640 \Omega$$



Résistance d'un fil électrique

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

On considère le plus souvent qu'un fil électrique possède une résistance électrique nulle. Ceci est vrai *en général* dans un circuit électrique, *par comparaison avec les autres éléments résistifs du circuit.*

Il peut arriver cependant qu'on ne puisse pas négliger la résistance du fil électrique. C'est le cas par exemple pour les transports sur de longues distances (réseau de distribution électrique) ou pour des systèmes de mesure de grande précision.

Résistance d'un fil de cuivre de longueur L et de section S ?

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Principe : en Physique, les équations représentent des *grandeurs physiques*, énergie, pression, longueur, etc. Celles-ci peuvent toutes se ramener à quatre grandeurs fondamentales : le temps, la masse, la distance, et le courant électrique.

Exemples :

- ☛ la vitesse (qui s'exprime en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), est homogène à une longueur divisée par un temps. On note $[V] = [L][T]^{-1}$.
- ☛ l'énergie, exprimée en J, est homogène à une masse, multipliée par une vitesse au carré : $[E] = [M][V]^2 = [M][L]^2[T]^{-2}$.
- ☛ La tension est égale à la puissance dissipée, divisée par le courant ($P = U \cdot I$) : $[V] = [P][A] = [M][L]^2[A]^{-1}[T]^{-3}$.



Résistance d'un fil : analyse dimensionnelle

Circuit électrique

Composants
Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds
Théorème de Millman
Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition
Théorème de Thévenin
Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature
Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone
Théorème de Kennelly

Soit un fil électrique réalisé dans un métal conducteur. Les données dont nous disposons pour déterminer la résistance de ce fil sont les suivantes :

- Sa longueur, L , en m
- Sa section, S , en m^2
- La *résistivité* du matériau, ρ , en $\Omega \cdot m$

La résistivité du matériau représente sa propension à s'opposer au passage du courant. Plus elle est faible, et plus le matériau est conducteur. $1 \Omega \cdot m$ correspond à une résistance de 1Ω , pour une longueur de matériau de 1 m, sur une section de $1 m^2$.



Résistance d'un fil : analyse dimensionnelle

Circuit électrique

- Composants
- Graphes du circuit

Lois de Kirchhoff

- Loi des nœuds
- Théorème de Millman
- Loi des mailles

Théorèmes

- Théorème de superposition
- Théorème de Thévenin
- Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

- Nomenclature
- Résistance d'un fil

- Coefficient de température

Associations de résistances

- Pont de Wheatstone
- Théorème de Kennelly

Soit un fil électrique réalisé dans un métal conducteur. Les données dont nous disposons pour déterminer la résistance de ce fil sont les suivantes :

- Sa longueur, L , en m
- Sa section, S , en m^2
- La *résistivité* du matériau, ρ , en $\Omega \cdot m$

La résistivité du matériau représente sa propension à s'opposer au passage du courant. Plus elle est faible, et plus le matériau est conducteur. $1 \Omega \cdot m$ correspond à une résistance de 1Ω , pour une longueur de matériau de $1 m$, sur une section de $1 m^2$.

$$[R] = ([R][L]) \cdot [L]^{-2} \cdot [L]$$



Résistance d'un fil : analyse dimensionnelle

Circuit électrique

Composants
Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds
Théorème de Millman
Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition
Théorème de Thévenin
Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature
Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone
Théorème de Kennelly

Soit un fil électrique réalisé dans un métal conducteur. Les données dont nous disposons pour déterminer la résistance de ce fil sont les suivantes :

- Sa longueur, L , en m
- Sa section, S , en m^2
- La *résistivité* du matériau, ρ , en $\Omega \cdot m$

La résistivité du matériau représente sa propension à s'opposer au passage du courant. Plus elle est faible, et plus le matériau est conducteur. $1 \Omega \cdot m$ correspond à une résistance de 1Ω , pour une longueur de matériau de $1 m$, sur une section de $1 m^2$.

$$[R] = ([R][L]) \cdot [L]^{-2} \cdot [L]$$

$$R = \rho \frac{L}{S}$$



Coefficient de température

Circuit électrique

- Composants
- Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

- Loi des nœuds
- Théorème de Millman
- Loi des mailles

Théorèmes

- Théorème de superposition
- Théorème de Thévenin
- Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

- Nomenclature
- Résistance d'un fil
- Coefficient de température

Associations de résistances

- Pont de Wheatstone
- Théorème de Kennelly

En règle générale, ρ est une fonction de la température du matériau : $\rho = f(T)$. En fonction de sa température, le matériau présente un comportement différent vis-à-vis du passage du courant. Cette variation est représentée par le *coefficient de température*, noté α . La résistivité d'un matériau à la température $T_0 + \theta$ est donnée par la relation :

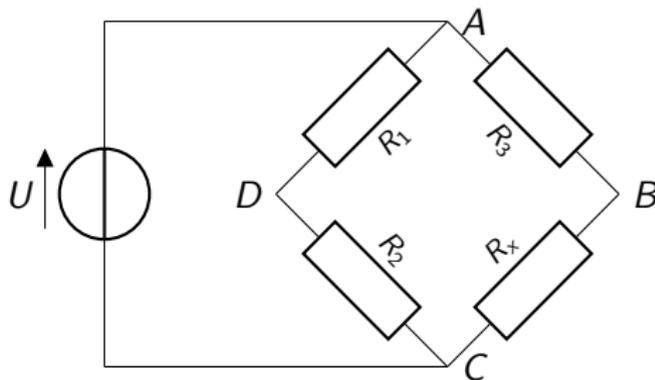
$$\rho = \rho_0(1 + \alpha\theta)$$

En particulier, pour les métaux à température ambiante, ρ croît linéairement avec la température. Certaines sondes (Pt 100) utilisent cet effet pour la mesure de T.

α s'exprime en K^{-1} . Pour des métaux, α est typiquement de l'ordre de quelques $10^{-3}K^{-1}$.

Pont de Wheatstone

Le pont de WHEATSTONE est un *instrument de mesure de résistance*. Il permet de déterminer la valeur d'une résistance inconnue grâce à trois autres résistances connues.



Circuit électrique

Composants

Graphes du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Pont de Wheatstone

Circuit électrique

Composants

Graphes du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

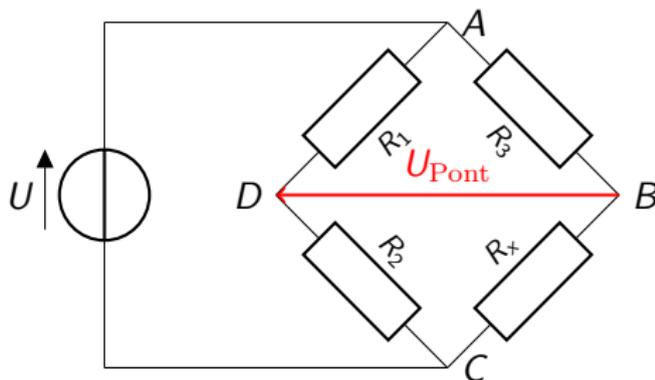
Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Le pont de WHEATSTONE est un *instrument de mesure de résistance*. Il permet de déterminer la valeur d'une résistance inconnue grâce à trois autres résistances connues.



Lorsque U_{Pont} vaut 0, alors le pont est dit à *l'équilibre*. On peut alors déterminer R_x :

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

Remarque : le même principe est utilisé pour mesurer des capacités (pont de SAUFY) ou des inductances (pont de MAXWELL)

Théorème de Kennelly ou transformation triangle-étoile

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

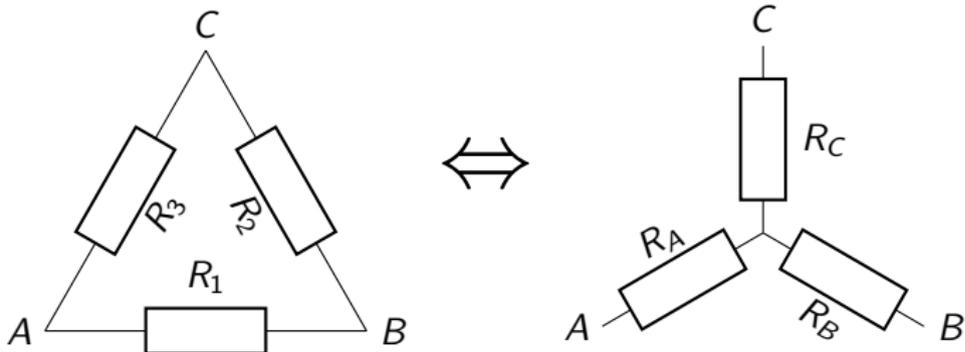
Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

Le théorème de KENNELLY permet d'établir une équivalence entre des résistances placées en triangle et des résistances placées en étoiles.





Conversion triangle-étoile

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

La résistance d'une branche de l'étoile équivalente est égale au produit des résistances adjacentes divisé par la somme totale des résistances.

$$R_A = \frac{R_3 R_1}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_B = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_C = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Conversion étoile-triangle

Circuit électrique

Composants

Graphe du circuit

Lois de Kirchhoff

Loi des nœuds

Théorème de Millman

Loi des mailles

Théorèmes

Théorème de superposition

Théorème de Thévenin

Théorème de Norton

Compléments sur les résistances

Nomenclature

Résistance d'un fil

Coefficient de température

Associations de résistances

Pont de Wheatstone

Théorème de Kennelly

La résistance d'une branche du triangle équivalent est égale à la somme des produits des résistances, divisée par la résistance de la branche opposée :

$$R_1 = \frac{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A}{R_C}$$

$$R_2 = \frac{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A}{R_A}$$

$$R_3 = \frac{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A}{R_B}$$