

Fondamentaux d'électricité

Sebastien.Kramm@univ-rouen.fr

IUT de Rouen, dept. SRC

2012-2013

Sommaire

Généralités et régime continu

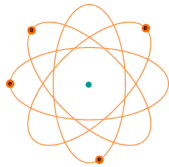
Dipôles passifs

Régime variable

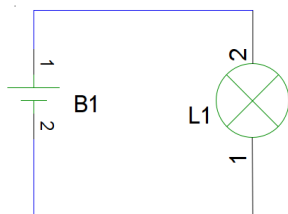
Puissance en régime variable

Introduction

- ▶ Le courant électrique est dû à un déplacement de porteurs de charges électriques dans la matière : les électrons.

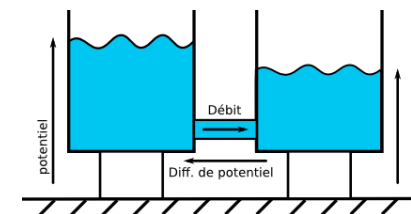


- ▶ Ce déplacement se fait au sein d'un **circuit électrique**, composé de
 - ▶ récepteurs,
 - ▶ générateurs,
 - ▶ conducteurs électriques.



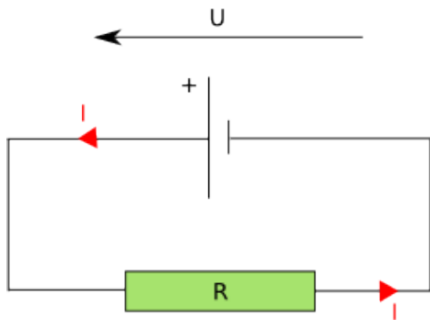
Grandeurs élémentaires

- ▶ Le potentiel électrique correspond à la quantité de charges présentes en un point du circuit.
- ▶ La **tension** électrique correspond à une différence de potentiel entre deux points, et se mesure en Volts (V).
En l'absence de tension, il ne **peut pas** y avoir de courant.
- ▶ Par convention, le courant électrique circule du point de plus haut potentiel (+) vers le point ayant le potentiel le plus bas (-).
- ▶ Le courant électrique correspond au débit des charges ($Q_{\text{té}}$ d'électrons/s.), on parle d'**intensité** du courant électrique. Il se mesure en Ampères (A).



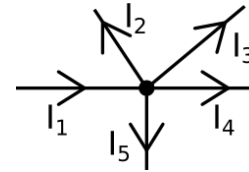
Générateurs et récepteurs

- ▶ Générateur : le courant est dans le même sens que la tension.
- ▶ Récepteur : courant et tension sont de sens opposé.
- ▶ Pour une source de tension parfaite, la tension du circuit est imposée par la source, tandis que le courant est déterminé par les caractéristiques du récepteur.



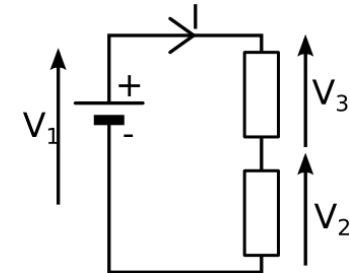
Lois de Kirchhoff

- ▶ Loi des nœuds : la somme des courants qui arrivent à un nœud est égale à la somme des courants qui en repartent.
- ▶ Ou : la somme algébrique des courants qui passent par un nœud est nulle.
- ▶ Loi des mailles : dans un circuit fermé, la somme algébrique des tensions est nulle.



$$I_1 - (I_2 + I_3 + I_4 + I_5) = 0$$

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4 + I_5$$

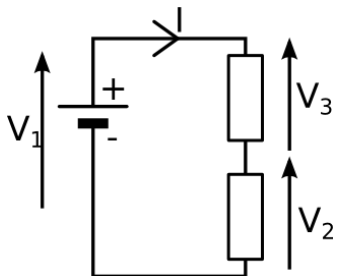


$$V_2 + V_3 = V_1$$

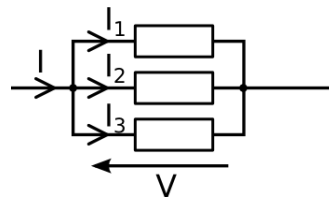
$$V_2 + V_3 - V_1 = 0$$

Application : association de dipôles

- ▶ En série :
 - ▶ l'intensité du courant est la même dans tous les dipôles,
 - ▶ la tension se partage entre les dipôles.
- ▶ En parallèle :
 - ▶ le courant se partage entre les dipôles,
 - ▶ la tension aux bornes des dipôles est la même.



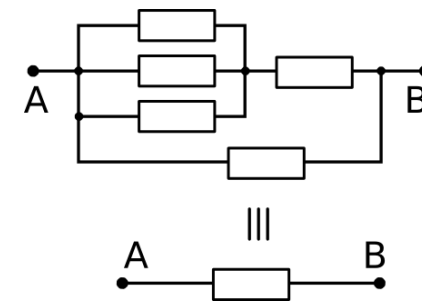
$$V_1 = V_2 + V_3$$



$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Association quelconque de dipôles

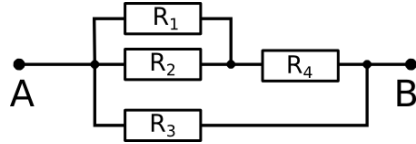
- ▶ Toute association de dipôles peut être représentée par un dipôle unique.



- ▶ Pour les résistances, on a
 - ▶ En série : $R = R_1 + R_2 + \dots$
 - ▶ En parallèle : $1/R = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots$

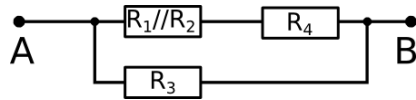
Association de résistances : exemple

- Soit le schéma suivant :



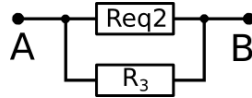
avec : $R_1=100\Omega$, $R_2=50\Omega$, $R_3=100\Omega$, $R_4=67\Omega$

- On calcule d'abord $R_1//R_2$: $1/Req=1/100+1/50$



$\Rightarrow Req=100/3=$ _____ Ω

- Puis, on calcule $Req2=Req+R4=$ _____



- Enfin, il ne reste qu'à faire l'association en parallèle $Req2//R3$:

$R =$ _____

Puissance

- Le courant électrique peut générer de la puissance, exprimée en Watt (W).
- Dans le cas du continu, la puissance dissipée dans un dipôle s'exprime par :

$$P = U \cdot I$$

- Dans une résistance pure, on aura :

$$P = \frac{U^2}{R} \quad \text{ou} \quad P = R \cdot I^2$$

Exemple

Un dipôle dissipant une puissance de 1000 W connecté sur une source de 50V va consommer un courant $I = \frac{1000}{50} =$ _____ A.

Sommaire

Généralités et régime continu

Dipôles passifs

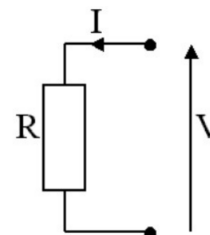
Régime variable

Puissance en régime variable

Résistance et loi d'Ohm

- Une résistance électrique va limiter le courant électrique qui la traverse, et va transformer une partie du courant en chaleur par **effet Joule**.
- Elle est caractérisée par sa valeur R en **Ohms** (Ω).
- Le courant I , la tension U et résistance R sont liées par la loi d'Ohm :

$$U = R \cdot I$$



- Une résistance est aussi caractérisée par sa **puissance maximale** qu'elle pourra dissiper, sous peine de destruction thermique.

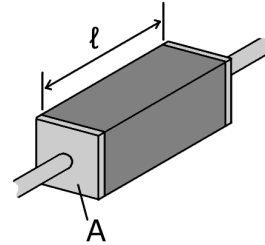
Résistivité

- ▶ Tout matériau présente une certaine "capacité" à permettre la circulation d'un courant électrique.
- ▶ Ceci est caractérisé par sa **résistivité** ρ ("rho"), exprimée en $\Omega \cdot m$.
Résistivité de quelques métaux à 20 °C, en $n\Omega \cdot m$ ($10^{-9}\Omega \cdot m$) :

Cuivre	Aluminium	Argent	Fer
17,2	28,2	16,3	99,8

- ▶ La résistance électrique d'un élément de longueur l et de section A est donnée par :

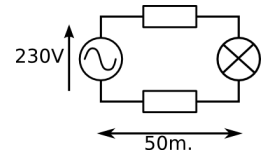
$$R = \rho \frac{l}{A}$$



Exemple de calcul

- ▶ Soit un fil de fer de diamètre 1mm. Calculer sa résistance pour une longueur de 1m.
- ▶ Solution : section : $A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (0,5 \cdot 10^{-3})^2 = \text{_____} m^2$
- ▶ $R_f = \rho_{Fe} \frac{l}{A} = \text{_____}$

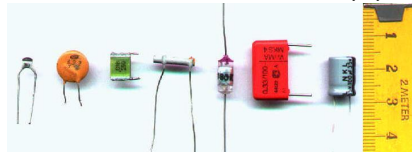
- ▶ On utilise ce fil (dédoublé) pour alimenter une lampe de 200W située à 50m d'une prise EDF. Calculer la perte de puissance en ligne.



- ▶ La lampe a une résistance $R_l = 230^2 / 200W = 264 \Omega$
- ▶ Le fil a une résistance $R_f = \text{_____} \Omega$
- ▶ Courant : $I = 230V / (R_f + R_l) = 230 / \text{_____}$
- ▶ Puissance dans la lampe sera $P_l = R_l \cdot I^2 = \text{_____} W$.
- ▶ Puissance perdue sera $P_{pertes} = R_f \cdot I^2 = \text{_____} W$.

Condensateur

- ▶ Constitué de 2 armatures métalliques, séparées par un isolant. Les électrons vont s'accumuler sur les armatures : on parle de **charge** du condensateur.
- ▶ Caractérisé par sa **capacité** C , exprimée en Farads (F).

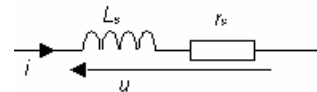
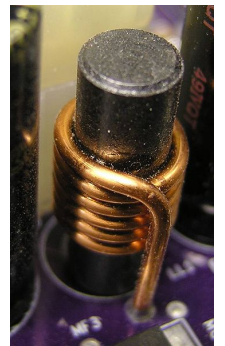


- ▶ En régime continu, et une fois le régime transitoire terminé (le condensateur chargé), un condensateur est équivalent à un circuit ouvert (**aucune** circulation de courant).
- ▶ En régime variable, l'intensité est proportionnelle à la dérivée de la tension :

$$i = C \frac{du}{dt} \quad \text{ou} \quad i(t) = C \cdot u'(t)$$

Inductance / bobines

- ▶ Constitué d'enroulements de fils (spires), soit autour de l'air ("bobine à air"), soit autour d'un noyau ferromagnétique.
- ▶ Caractérisé par son inductance L , en Henry (H).
- ▶ En régime continu, une bobine parfaite est équivalente à un fil.
- ▶ Mais une bobine réelle présentera toujours une **résistance série** non nulle.



- ▶ En régime variable, la tension est proportionnelle à la dérivée de l'intensité

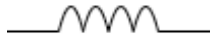
$$u = L \frac{di}{dt} \quad \text{ou} \quad u(t) = L \cdot i'(t)$$

Valeurs limites

- ▶ Un condensateur est limité par sa **tension de service**, au delà de laquelle il risque d'y avoir destruction par claquage.



- ▶ Une bobine est limitée par son **courant maxi**, au delà duquel il risque d'y avoir destruction thermique par effet Joule.



Sommaire

Généralités et régime continu

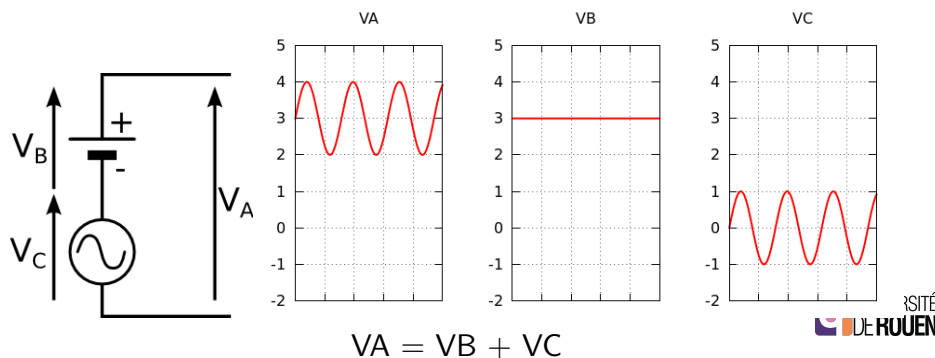
Dipôles passifs

Régime variable

Puissance en régime variable

Courant alternatif et continu

- ▶ Toutes les grandeurs électriques peuvent être continues ou variables.
- ▶ Dans le cas de grandeurs variables, la valeur moyenne correspond à la composante continue : toute source de tension variable pourra être modélisée par une source alternative en série avec une source continue.
- ▶ Principe de **superposition** : toute la puissance fournie sera la somme de la puissance fournie par la source variable et de la puissance fournie par la source continue.



Valeur efficace

- ▶ La **valeur efficace** d'une tension alternative périodique $f(t)$ correspond à la valeur qui donnerait la même dissipation de puissance si le signal était continu. Elle est définie par :

$$V_{eff}^2 = \frac{1}{T} \cdot \int_{t_0}^{t_0+T} [f(t)]^2 \cdot dt \quad \text{avec } t_0 \text{ quelconque.}$$

- ▶ Pour un signal sinusoïdal d'amplitude A , on a $V_{eff} = \frac{A}{\sqrt{2}}$
- ▶ Pour un signal rectangulaire alternatif d'amplitude A (valeur crête-crête $2x A$), on a $V_{eff} = A$

Exemple

EDF fournit aux particuliers une tension sinusoïdale ($f=50\text{Hz}$) d'amplitude 325 V et de valeur efficace 230 V ($325/230 = 1.414 = \sqrt{2}$)

Loi d'Ohm en régime variable

- ▶ En régime variable, on parle d'**impédance** Z en Ω à la place de résistance.

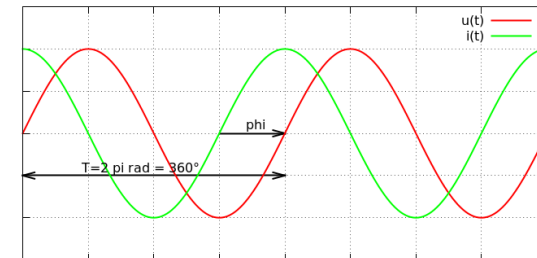
$$U = Z \cdot I$$

- ▶ Sauf pour une résistance pure ($Z = R$), l'impédance est fonction de la fréquence.
- ▶ On utilise la notion de **pulsation** ω en rad./s : $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$, avec f la fréquence.

- ▶ Condensateur : $Z_C = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$
- ▶ Bobine : $Z_L = L\omega = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$

Déphasage

- ▶ En alternatif, certains dipôles induisent un **déphasage** entre le courant et la tension appliquée.
- ▶ Ce déphasage s'exprime en unités d'angles (degrés ou radians).



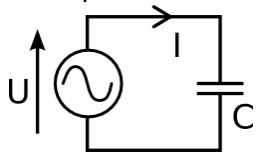
- ▶ En alternatif, l'expression de la puissance est fonction de ce déphasage ϕ :

$$P = U \cdot I \cdot \cos \phi$$

Avec U et I les valeurs efficaces.

Déphasage : condensateurs et inductances

- ▶ Inductances et condensateurs induisent un déphasage de 90° ($\pi/4$) entre le courant et la tension appliquée.
 - ▶ Inductance : courant en retard de 90° sur la tension.
 - ▶ Condensateur : tension en retard de 90° sur le courant.
- ▶ Conséquence : une source sinusoïdale débitant sur un condensateur ou une inductance **ne fournit aucune puissance** : ($\cos(90^\circ) = 0$), bien que du courant soit consommé par le récepteur.



- ▶ On parle alors de **puissance réactive** Q, qui s'exprime en VAR (Volt-Ampères Réactif).

Sommaire

Généralités et régime continu

Dipôles passifs

Régime variable

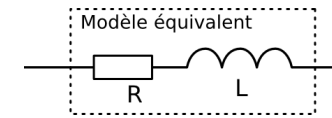
Puissance en régime variable

Puissance en régime variable

- ▶ Pour des dipôles complexes, il faut distinguer différentes puissances :
 - ▶ Puissance **active** : c'est celle qui génère un travail, au sens physique : $P = U \cdot I \cdot \cos \phi$
 - ▶ Puissance **réactive**, donnée par $Q = U \cdot I \cdot \sin \phi$
 - ▶ Puissance **apparente** S : correspond au produit des valeurs efficaces de U et I et s'exprime en VA (Volt-Ampère) ($S = U \cdot I$). Ce produit est apparemment une puissance mais ne fournit pas nécessairement un travail, d'où son nom.
On peut la déduire des deux autres par l'expression $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$
- ▶ Les appareils électriques (de fortes puissance) indiquent le **facteur de puissance**, qui vaut $\lambda = \frac{P}{S}$
En sinusoïdal : $\lambda = \cos \phi$

Importance du facteur de puissance

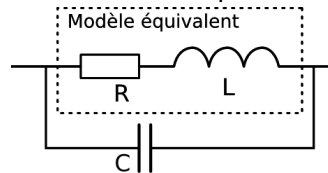
- ▶ Soit un installation d'éclairage composée de lampes ayant un $\cos \phi = 0.5$ (circuit **inductif**), et fournissant 10 kW sous 230 V.



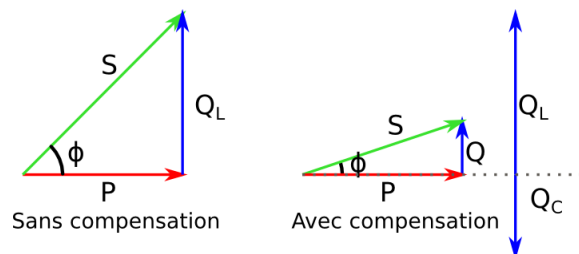
- ▶ Si la charge était purement résistive, on aurait $I = 10000/230 = 43,4A$
- ▶ Ici, le courant vaudra le double ! : $I = \frac{1000}{230 \cdot 0,5} = 87,8A$
 - ▶ On doit dimensionner l'installation (câbles, protections, ...) pour un courant qui ne produit aucun travail !
 - ▶ Ce courant inutile produit des pertes en lignes (résistance des câbles).
- ▶ On peut revenir à une situation correcte en effectuant une **compensation** pour corriger le facteur de puissance.

Correction du facteur de puissance

- ▶ Bobines et condensateurs vont amener un déphasage opposé en signe.
- ▶ On va compenser la puissance réactive consommée par les bobines par de la puissance réactive absorbée par des condensateurs.



- ▶ Triangle des puissances :



Correction du facteur de puissance : exemple

- ▶ Exemple : on souhaite ramener le $\cos \phi$ à une valeur de 0,9. Quelle valeur de C faut-il ?
- ▶ Situation **sans** correction ($\cos \phi = 0,5 \Rightarrow \phi = 60^\circ$, $\sin \phi = 0,866$)
 1. Puissance réactive consommée (sans correction) : $Q_L = U \cdot I \cdot \sin \phi = \underline{\hspace{2cm}}$
- ▶ Situation **avec** correction ($\cos \phi_2 = 0,9 \Rightarrow \phi_2 = 25,8^\circ$, $\sin \phi_2 = 0,436$)
 1. La puissance active reste constante, on en déduit la valeur du courant absorbé : $I = \frac{P}{U \cdot \cos \phi_2} = \underline{\hspace{2cm}}$
 2. Avec U et I on déduit la nouvelle valeur de Q : $Q = U \cdot I \cdot \sin \phi_2 = \underline{\hspace{2cm}}$
 3. Il faut donc que le condensateur absorbe une puissance réactive $Q_C = Q_L - Q = \underline{\hspace{2cm}}$
 4. $Q_C = U \cdot I_C$ et $I_C = U/Z_C$, d'où $Q_C = U^2/Z_C$
Dans un condensateur : $Z_C = \frac{1}{C \omega}$, d'où : $Q_C = U^2 C \omega$
On en déduit : $C = \frac{Q_C}{U^2 \omega} = \underline{\hspace{2cm}} F$