

2. Energie électrique

1. Formes d'énergie :

Energie potentielle : Fonction de *la position* du corps indépendamment de son mouvement. Définie seulement lorsque le travail ne dépend pas du chemin suivi. Elle fait intervenir le déplacement d'un objet dans un champ de forces : énergie d'une charge électrique dans un champ électrique, énergie d'une masse dans un champ de gravitation, énergie d'un aimant dans un champ magnétique.

Energie cinétique: Définie pour un corps *en mouvement*.

En translation : $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ En rotation : $E_c = \frac{1}{2}J\omega^2$

J moment d'inertie.

Une force crée un mouvement de translation et modifie la vitesse du corps : $\vec{F}dt = m\vec{d}v$ (3^{ème} la loi de Newton) ou $m\vec{v}d\vec{v} = \vec{F}d\vec{l}$ (théorème de l'énergie cinétique) Force nulle : vitesse linéaire constante

Un couple crée une rotation et modifie la vitesse de rotation du corps : $Cdt = Jd\omega$ ou $Cd\theta = J\omega d\omega$ pour la rotation.

Couple nul : vitesse de rotation constante

Unité du couple : N.m ou Joules

Conservation de l'énergie : Energie mécanique $E_m = E_c + E_p$ se conserve pour un corps isolé (système fermé).

Situation impossible. Il y a toujours des pertes (frottement, rayonnement, freinage...)

Il y a une perpétuelle transformation des énergies : "rien ne se crée, ri ne se perd, tout se transforme"

Unité de l'énergie : le Joule. 1J=1N.m

Ordres de grandeur :

Energie libérée comparée

Combustible	Energie libérée (kJ/kg)
Bois de pin sec	18 000
Charbon	31 400
Mazout	44 000
Propane, kérosène	50 000
Huile légère, essence	50 000
Gaz naturel	49 000

Energie associée à quelques sources

Source d'énergie	Energie débitée	Durée du débit
Bombe atomique d 1 kilotonne	4 200 GJ	100 μ s
Génératrice électrique de 1500 mégawatts	5 400 GJ	1 heure
Eclair de forte intensité	10 GJ	150 μ s
Energie électrique moyenne consommé par une ville moderne de 1 million d'habitants	4 000 GJ	1 heure

Source, livre d'électrotechnique, T. Wildi, 3^{ème} édition, 2000

1 TEP (Tonne équivalent pétrole, soit 7.3 barils) : 43.2 GJ

Prix moyen du baril brut (fév.2014) ~ 900DH, (voir oil-price.net)

2. Energie électrique :

a) Statique : Une charge q placée dans un champ électrique $\vec{E}(M) = -\vec{\nabla}V(M)$ possède une énergie potentielle qui dépend de sa position : $dE_p(M) = qV(M)$ Lorsque la charge d'un conducteur de capacité $C (= \frac{Q}{V})$ porté au potentiel

V augmente de dq , son énergie augmente de Vdq . L'énergie nécessaire pour porter la charge du conducteur de 0 à Q

vaut donc : $\int_0^Q \frac{q}{C} dq = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$. Un conducteur de potentiel V et de charge Q possède donc l'énergie $\frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} CV^2$

Un condensateur est un ensemble de 2 conducteurs en influence totale, de capacité mutuelle C . L'énergie stockée dans un condensateur soumis à la ddp V est $\frac{1}{2} CV^2$. C dépend de la géométrie des plaques (conducteurs) et de la constante

diélectrique de l'isolant qui les sépare ($C = \epsilon \frac{S}{e}$)

b) Dynamique (modèle de Lorentz): Des électrons (dans la matière) soumis à un champ électrique sont accélérés dans la direction du champ. L'accroissement de leur vitesse pendant la durée dt , est (loi de Newton) : $d\vec{v} = \frac{edt}{m_e} \vec{E}$. Si τ est la

durée d'établissement du champ, en régime permanent (E et v constants), la vitesse des électrons est : $\vec{v} = \frac{e\tau}{m_e} \vec{E} = \gamma \vec{E}$

(γ = mobilité). Le courant électrique est défini par le flux de la densité de courant $\vec{J} = ne\vec{v}$ (n densité électronique supposée uniforme) à travers la section du conducteur : $I = \int \vec{J}d\vec{S}$. De ces relations, on tire : $\vec{J} = \sigma\vec{E}$ avec :

$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m_e}$, conductivité, inverse de la résistivité ρ . En intégrant sur un tronçon du conducteur filiforme (longueur l et

section S) : $\int \vec{J}d\vec{S} = I = \sigma \int \vec{E}d\vec{S} = \sigma ES = \sigma \frac{V}{l}S$ où V est la ddp appliquée aux extrémités du tronçon. Ce qui traduit la

loi d'Ohm : $I = \frac{V}{R} = YV$ avec $R = \frac{l}{\sigma S} = \rho \frac{l}{S}$ (résistance du tronçon) et $Y = \frac{1}{R}$ (conductance ou admittance). On voit

que $R \propto \frac{1}{\tau}$: où τ représente aussi la durée entre deux collisions successives entre électrons (si $\tau = \infty$, pas de

collisions, pas de résistance, le conducteur laisse passer le courant dans les conditions idéales, comme s'il n'y avait pas de matière. Supraconducteurs).

Dans les conducteurs ordinaires, le passage du courant s'accompagne d'une perte d'énergie thermique (dégagement de chaleur) due à ces collisions $dW = Vdq = Ri \cdot dt = Ri^2 dt$ C'est l'**effet Joule**.

3. Energie magnétique :

Manifestations du magnétisme : forces des aimants, interaction entre courants électriques, action d'un courant sur un aimant, boussole. Tout **mouvement de charges électriques** s'accompagne de l'apparition d'un champ de forces dites magnétiques qui agissent à distance même dans le vide. Le champ magnétique est donc de nature électrique.

Voir : Champ magnétique créé par un courant, par une boucle de courant, par une couche électronique, aimantation.

Une bobine plate (n spires, courant I , section S) crée son propre champ magnétique qui vaut au centre de la bobine : $B = \mu_0 nI$

donc un flux $\phi = B \cdot S = \mu_0 nS \cdot I = LI$, L inductance de la bobine.

En général, en présence de plusieurs bobines de courants I_i , il y a un phénomène d'influence magnétique et le flux traversant la bobine i est $\Phi_i = \sum_{ij} L_{ij} I_j$ les L_{ij} sont les coefficients d'inductance mutuelle. La matrice L_{ij} est symétrique et L_{ii} est le coefficient d'auto inductance de la bobine i .

Tout circuit traversé par un flux ϕ variable (produit par une source de champ magnétique externe) est le siège d'une

tension (fém induite e) à ses bornes s'il est ouvert (loi de Lenz) $e = \frac{d\phi}{dt}$ ou de courants induits $i = \frac{1}{R} \frac{d\phi}{dt}$ s'il est

fermé, R étant la résistance du circuit. La loi d'Ohm aux bornes d'une bobine soumise à la ddp V s'écrit à l'instant t :

$V = RI + L \frac{dI}{dt}$. En multipliant par la charge Idt , on obtient le bilan énergétique: $VIdt = RI^2 dt + LI dI$.

Traduire : énergie délivrée par la source = énergie dissipée par effet Joule (thermique) + énergie magnétique dans la bobine. Le dernier terme n'existe que pendant la variation du courant.

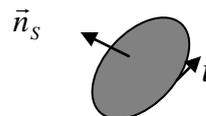
Une bobine dans un circuit s'oppose à toute variation de courant : en montée (application de V) le courant met un temps avant de s'établir, de même en descente (coupure), le courant met un temps avant de s'annuler. L'énergie $\frac{1}{2} LI^2$

emmagasinée dans la bobine lors de la montée (charge) est libérée par effet Joule (dans la résistance de la bobine) et s'accompagne d'un arc à ses bornes ($dt \sim 0$ donc $e \sim \text{infini}$). Ces propriétés ont donné lieu à de nombreuses applications techniques et sont à la base de bon nombre de mécanismes électriques et électroniques. Voir : rôle et applications de la bobine dans un circuit alternatif ([Wikipédia](#))

Un moment magnétique placé dans un champ magnétique possède l'énergie potentielle magnétique :

$E_p(\vec{M}, \vec{B}) = -\vec{M} \cdot \vec{B}$ (vérifier l'homogénéité de la formule). Le moment a donc tendance à s'orienter dans la direction du champ (pour minimiser son énergie)

Rappel : $\vec{m} = iS\vec{n}_s$



4. Puissance :

Définition générale : $p(t) = u(t)i(t)$ puissance électrique instantané consommée (énergie consommée par unité de temps) par un (récepteur) soumis à la tension $u(t)$ et parcouru par un courant $i(t)$.

La notion de puissance indique la manière dont l'énergie est consommée : en combien de temps. Elle répond à un besoin précis. Le producteur d'énergie met à la disposition de l'utilisateur juste la puissance qu'il lui faut : la puissance installée. Elle ne doit pas dépasser de 10% la puissance appelée. La puissance suit au fur et à mesure la consommation et tout excédent, s'il n'est pas utilisé par le consommateur, est « aiguillé » vers un autre consommateur qui en a besoin car toute l'énergie produite doit être consommée, elle ne peut être n'est pas stockée. C'est pour cela que la distribution de l'énergie électrique est réglementée, surveillée et gérée à l'échelle nationale.

Revoir : puissance en régime alternatif, puissance active (W), réactive (VAR), apparente (VA), facteur de puissance.