

Production et transport d'énergie électrique

Niveau : CPGE/L2

Prérequis : lois de la mécanique, milieux magnétiques, induction, électrocinétique

Introduction

L'énergie que l'on utilise au quotidien est exclusivement transportée sous forme électrique. Cependant elle est produite par un travail mécanique comme une turbine et elle est souvent utilisée sous forme de travail mécanique (TGV, aspirateur...).

I Sources d'énergie exploitables

1) Différentes formes d'énergie



Il existe différents « types » d'énergie :

- Chimique, ex : biomasse
 - Rayonnée, ex : Soleil
 - Thermique, ex : océan...
 - Mécanique, ex : éolienne
 - Nucléaire
- ➔ Production d'énergie électrique

2) Production d'énergie électrique

Centrales : l'énergie chimique (combustion), rayonnée ou nucléaire (fission) est transformée en énergie thermique, puis convertie en énergie mécanique grâce à un moteur, puis convertie en énergie électrique. L'énergie chimique peut également être convertie directement en énergie mécanique grâce au phénomène d'osmose.

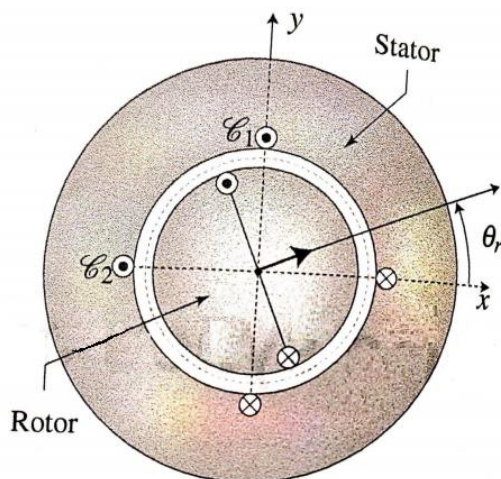
Pour convertir l'énergie mécanique en énergie électrique, on peut avoir recours à un générateur électrostatique, un générateur à courant continu ou une machine synchrone (plus utilisée), ou encore une machine asynchrone.

II Un convertisseur : l'alternateur synchrone

1) Structure de la machine

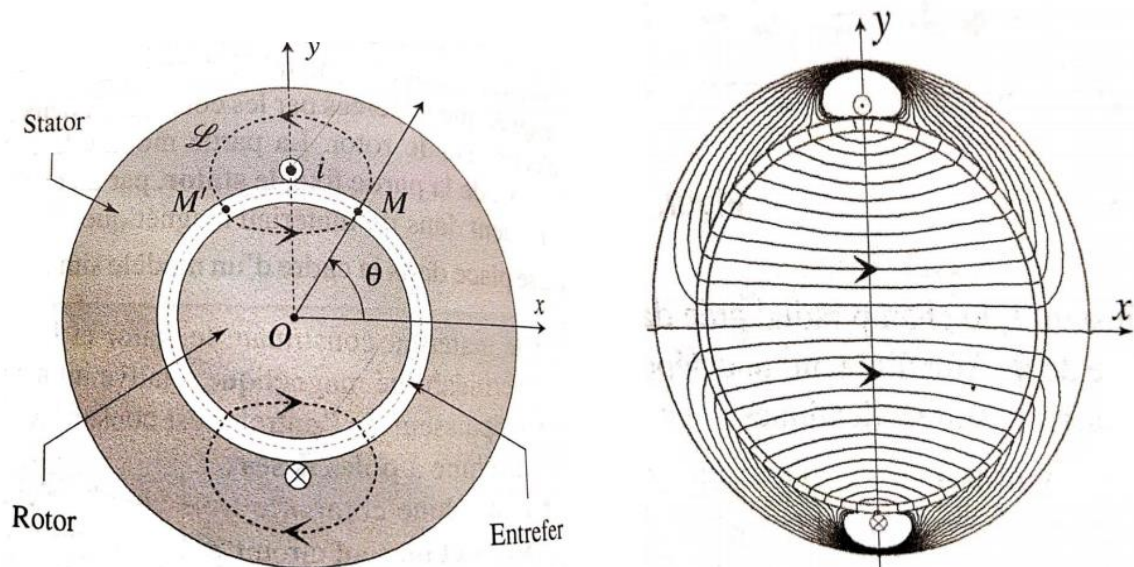
La machine synchrone est composée de deux parties en matériau magnétique (stator et rotor) : on fait l'hypothèse que ce matériau est idéal ($\mu_r \rightarrow \infty$). Le stator est fixe alors que le rotor va pouvoir tourner. Entre les deux il y a un espace vide appelé entrefer.

Le stator comprend des bobinages parcourus par des courants imposés par des sources extérieures, ce qui crée dans l'entrefer un champ magnétique radial tournant. S'il y a 2 sources on parlera de machine diphasée, s'il y a 3 sources on parlera de machine triphasée. Le bobinage du rotor est parcouru par un courant constant qui crée un champ magnétique radial dans l'entrefer. On dit qu'un champ est glissant s'il est de la forme : $\vec{B} = B_0 \cos(\omega t - p\theta)$, p est le nombre de paires de pôles.



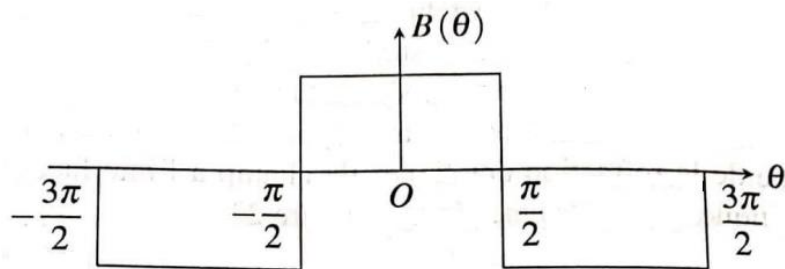
2) Champ statorique

On considère une spire du stator et on cherche la forme des lignes de champ qu'elle crée.

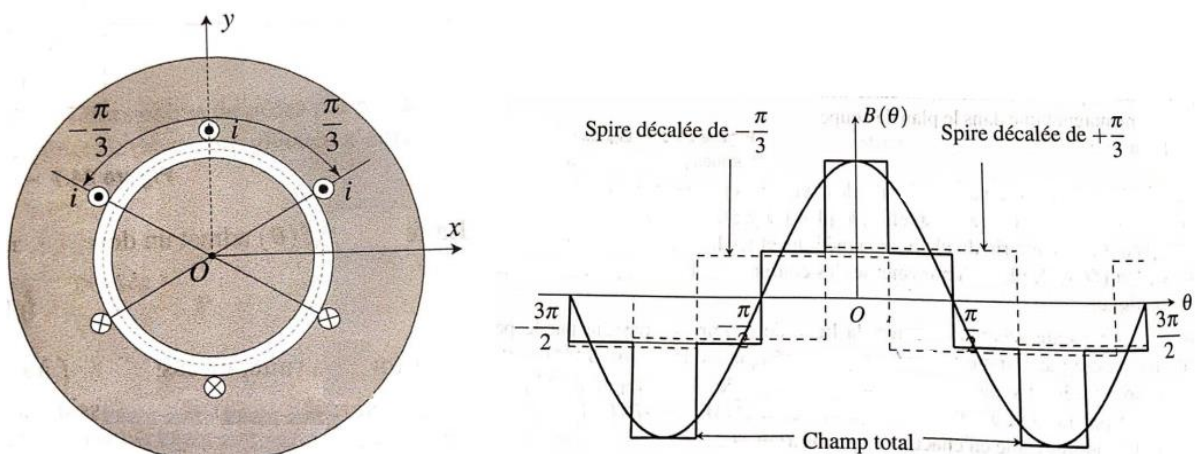


On applique le théorème d'Ampère à la ligne de courant. H est nul sur les portions de la ligne de champ dans le matériau magnétique, car il est considéré idéal. Avec la symétrie du système, on a pour $\theta \in]-\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2}[$, $B(\theta) = \frac{\mu_0 i}{2e}$, avec e l'entrefer.

Par symétrie, pour $\theta \in]\frac{\pi}{2}; \frac{3\pi}{2}[$, $B(\theta) = -\frac{\mu_0 i}{2e}$

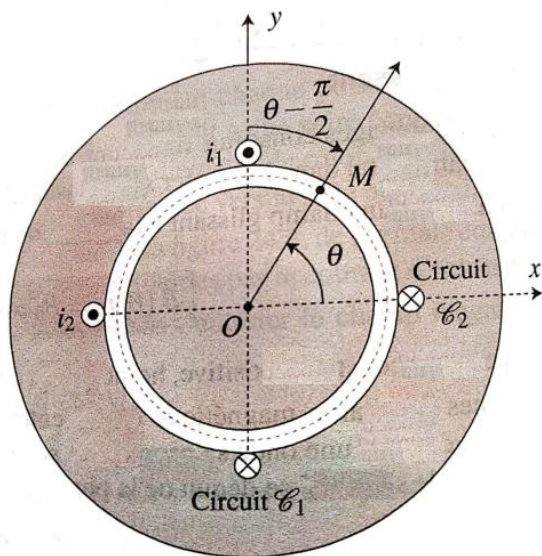


Si on ajoute 2 spires déphasées de $\frac{\pi}{3}$ et $-\frac{\pi}{3}$ par rapport à la première spire, on obtient :



On peut en conclure que si on ajoute un grand nombre de spires, le champ est : $B(\theta) = ki(t)\cos(\theta)$, k dépend du matériau du stator, de la géométrie des spires et de leur nombre. L'ensemble de ces spires forment un bobinage qui est parcouru par un seul et même courant.

Mais pour faire un champ tournant, on ajoute un circuit au stator.



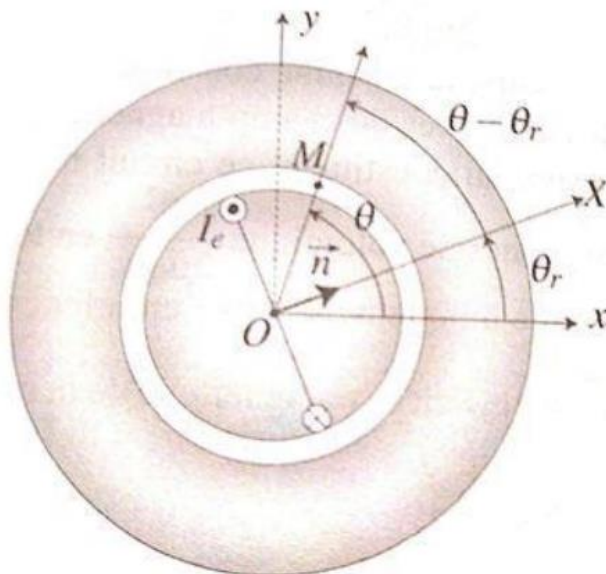
Le premier circuit crée un champ : $\vec{B}_{S1} = k i_1(t) \cos(\theta) \vec{e}_r$

Le deuxième circuit crée un champ : $\vec{B}_{S2} = k i_2(t) \cos(\theta - \frac{\pi}{2}) \vec{e}_r$

Les intensités sont également déphasées : $i_1(t) = I \cos(\Omega t)$ et $i_2(t) = I \cos(\Omega t - \frac{\pi}{2})$

Le champ créé par le stator est la somme des deux champs : $\vec{B}_S = k I \cos(\Omega t - \theta) \vec{e}_r$

3) Champ rotorique



Les bobinages dans le rotor sont parcourus par un courant I_r constant qui crée un champ :

$$\vec{B}_r = k' I_r \cos(\theta - \theta_r) \vec{e}_r = k' I_r \cos(\theta - \omega t - \theta_0) \vec{e}_r$$

4) Énergie électromagnétique

L'énergie emmagasinée dans l'entrefer s'écrit :

$$E_{mag} = \int_R^{R+e} \int_0^{2\pi} \int_0^L \frac{B^2}{2\mu_0} d\tau$$

$$E_{mag} = E_{mag,s} + E_{mag,r} + E_{mag,couplage}$$

$$E_{mag} = \frac{\pi L R e k^2 I_s^2}{2\mu_0} + \frac{\pi L R e k'^2 I_r^2}{2\mu_0} + \frac{\pi L R e k k' I_s I_r}{\mu_0} \cos(\Omega t - \omega t - \theta_0)$$

$$E_{mag} = \frac{\pi L R e}{\mu_0} \left(\frac{k^2 I_s^2}{2} + \frac{k'^2 I_r^2}{2} + k k' I_s I_r \cos(\Omega t - \theta_r) \right)$$

Pour une machine synchrone, le couple électromécanique s'écrit :

$$C = \frac{\partial E_{mag}}{\partial \theta_r} = \frac{\pi L R e k k' I_s I_r}{\mu_0} \sin(\Omega t - \theta_r)$$

On cherche à avoir un couple moyen non nul. Or $\theta_r = \omega t + \theta_0$, donc la condition précédente est réalisée si $\Omega = \omega$ (condition de synchronisme).

Si $\Omega \neq \omega$, alors $\langle C \rangle = 0$.

$$\langle C \rangle = \frac{\pi L R e k k' I_s I_r}{\mu_0} \sin(\theta_0)$$

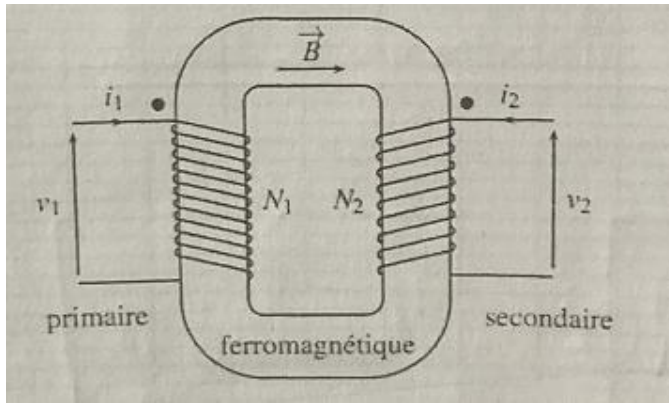
III Transport électrique : transformateurs

L'électricité, avant d'arriver chez nous, passe par plusieurs étapes de transformation. Le transport de l'électricité se fait grâce à un réseau de grand transport et d'interconnexion, et à un réseau de distribution.

Le réseau de grand transport achemine l'électricité produite à la sortie des centrales sur de longues distances grâce à des lignes très haute tension (entre 225 et 400 kV). L'électricité est ensuite dirigée vers un poste de transformation dit « poste source », qui transforme la très haute tension en haute tension (environ 90 kV) et en moyenne tension (20 kV). L'électricité transformée à moyenne tension est ensuite acheminée sur le réseau de distribution et peut être à son tour transformée en basse tension (entre 230 et 400 V) grâce à des postes de transformation dits « postes de distribution ». La transformation de la tension se fait grâce à des transformateurs.

1) Transformateur de tension

Un transformateur est un appareil qui modifie l'amplitude de la tension. Il se compose d'une carcasse ferromagnétique qui canalise les lignes de champ magnétique. Cela signifie qu'il n'existe pas de champ magnétique à l'extérieur de la carcasse. Un premier enroulement, appelé primaire, constitué de N_1 spires autour de la carcasse, reçoit l'énergie électrique. Un second enroulement, appelé secondaire, constitué de N_2 spires, est traversé par le champ magnétique canalisé par la carcasse.



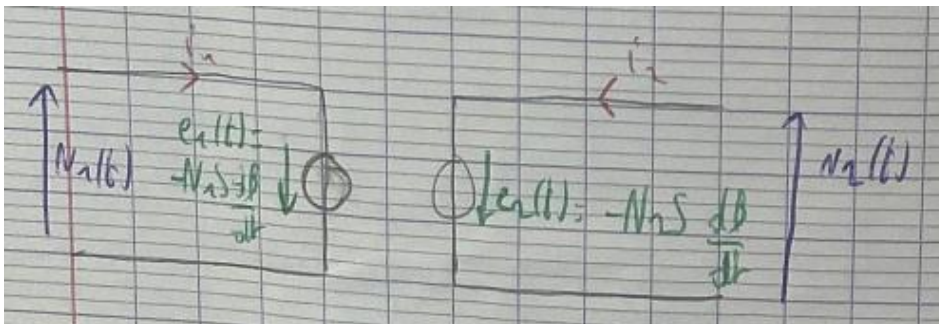
2) Rapport de transformation

Le primaire, alimenté par une tension $v_1(t)$, est parcouru par un courant $i_1(t)$ qui crée un champ magnétique variable $B(t)$. Grâce au matériau ferromagnétique, le champ $B(t)$ traverse le secondaire en créant une force électromotrice induite. En notant S la section des enroulements, le flux s'écrit :

$$\phi_1 = N_1 B(t) S \text{ et } \phi_2(t) = N_2 B(t) S$$

On en déduit la fem induite grâce à la loi de Faraday : $e_1(t) = -N_1 S \frac{dB}{dt}$ et $e_2(t) = -N_2 S \frac{dB}{dt}$

Le schéma électrique équivalent est le suivant :



D'après la loi des mailles : $v_1 + e_1 = 0$ et $v_2 + e_2 = 0$

Donc $v_1(t) = N_1 S \frac{dB}{dt}$ et $v_2(t) = N_2 S \frac{dB}{dt}$

Ainsi, $\frac{v_2}{v_1} = \frac{N_2}{N_1} = m$, m est appelé rapport de transformation

Le schéma normalisé du transformateur est le suivant :

