

LP 20 : Conversion de Puissance électromécanique

Niveau : CPGE

Prérequis : mécanique (couple de force, théorème de l'énergie cinétique, théorème du moment cinétique), milieux magnétiques, électromagnétisme (lois de l'induction), électricité (circuit électrique, lois des mailles)

Organisation d'une machine synchrone

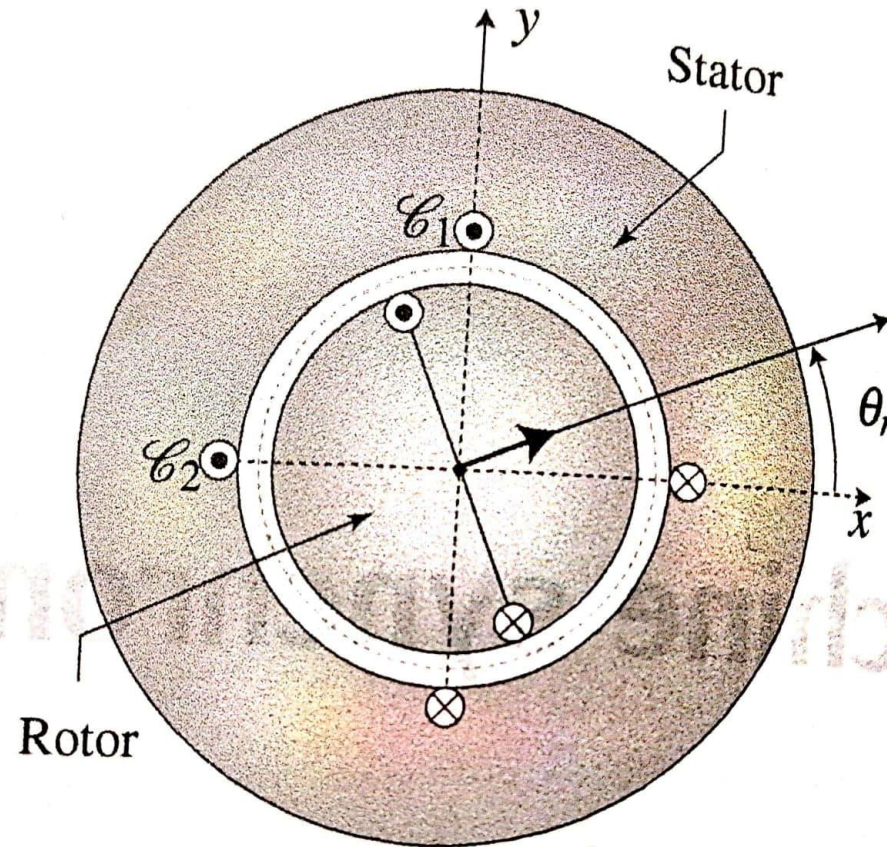


Figure 24.1 – Organisation schématique d'une machine synchrone

Etude d'une phase du circuit statorique

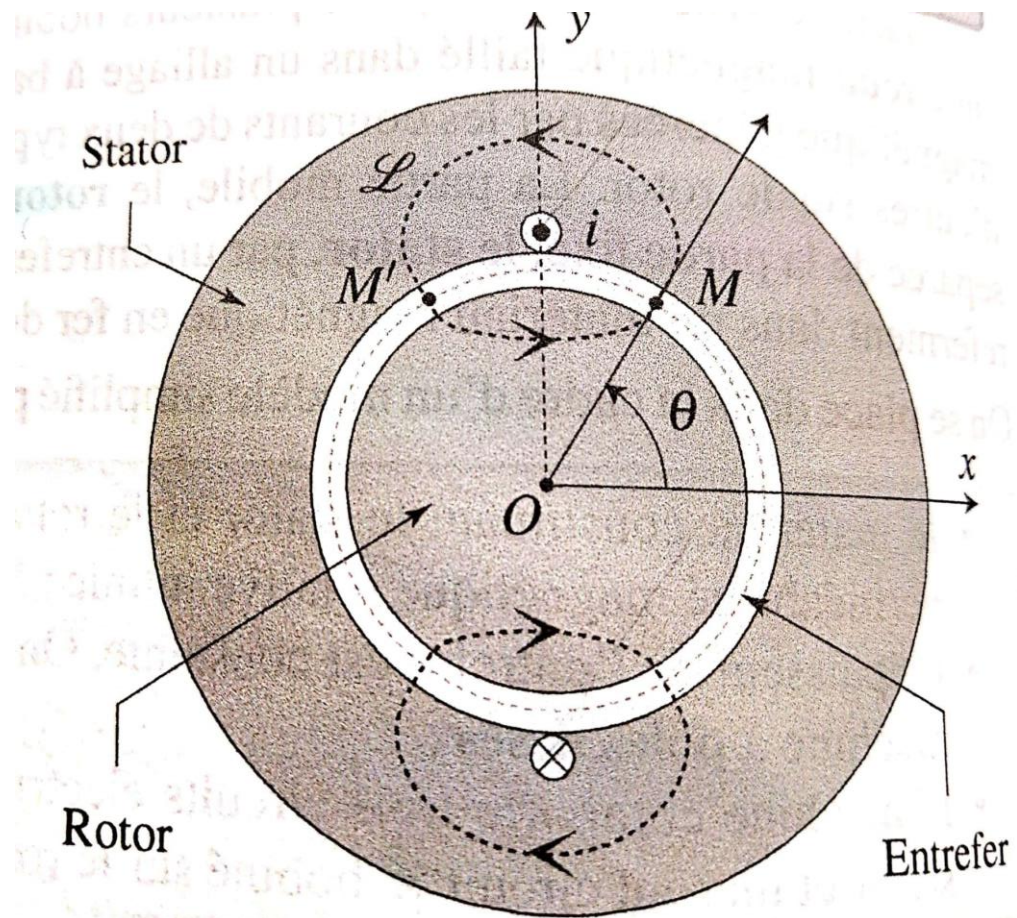


Figure 24.2 – Spire du stator

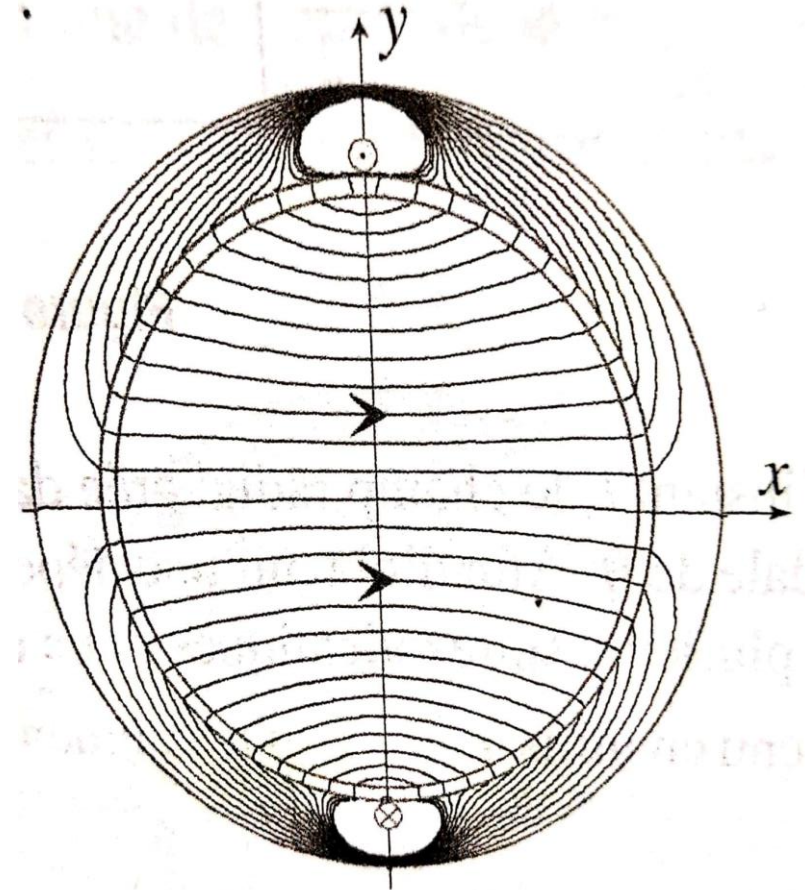


Figure 24.3 – Lignes de champ obtenues par résolution numérique.

Forme de champ d'une spire

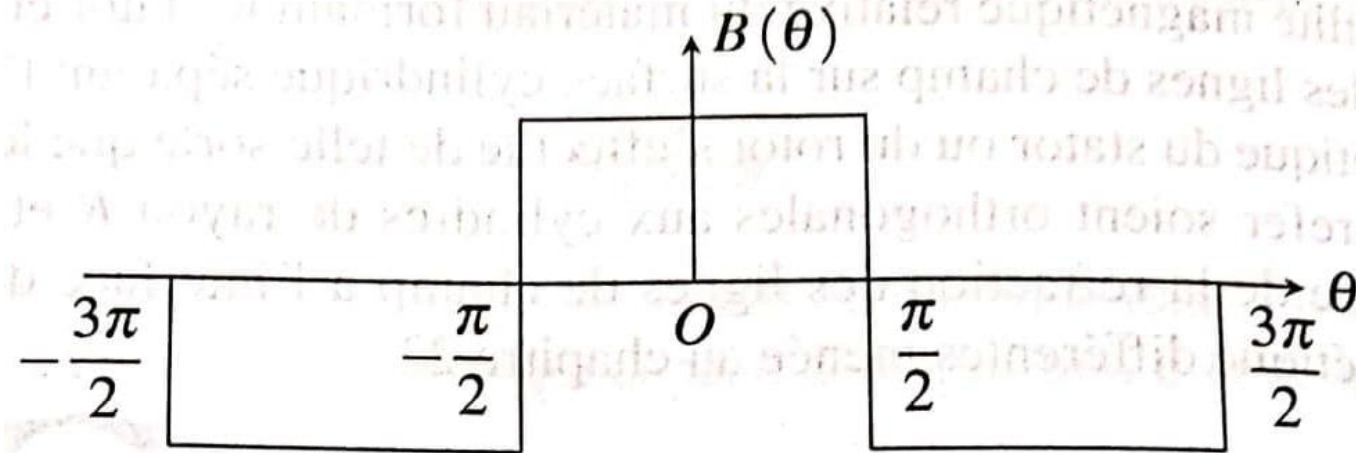


Figure 24.4 – Champ dans l'entrefer.

Création d'un champ sinusoïdal

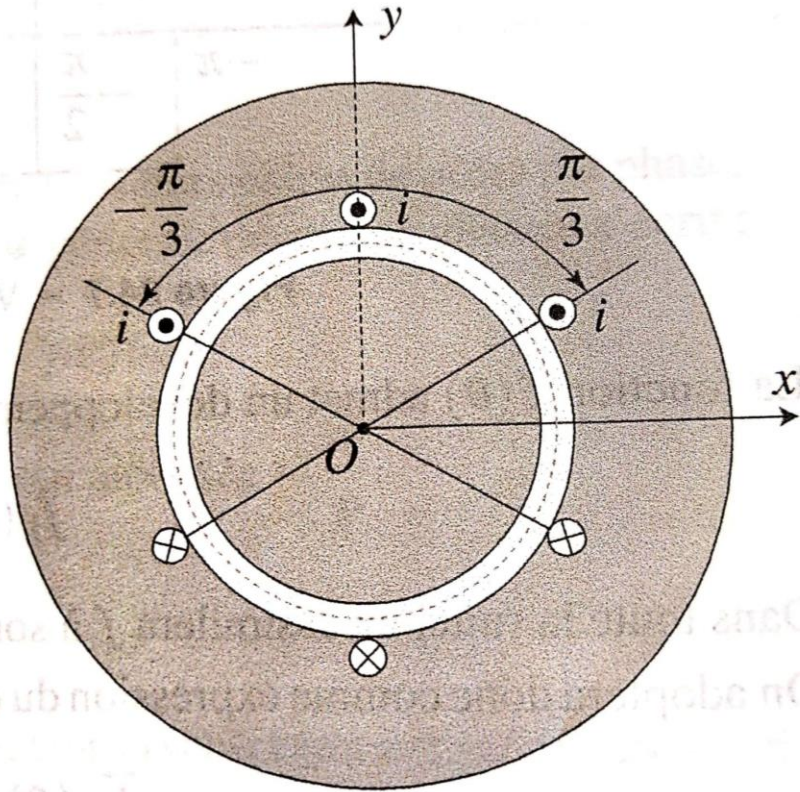


Figure 24.6 – Spires du stator

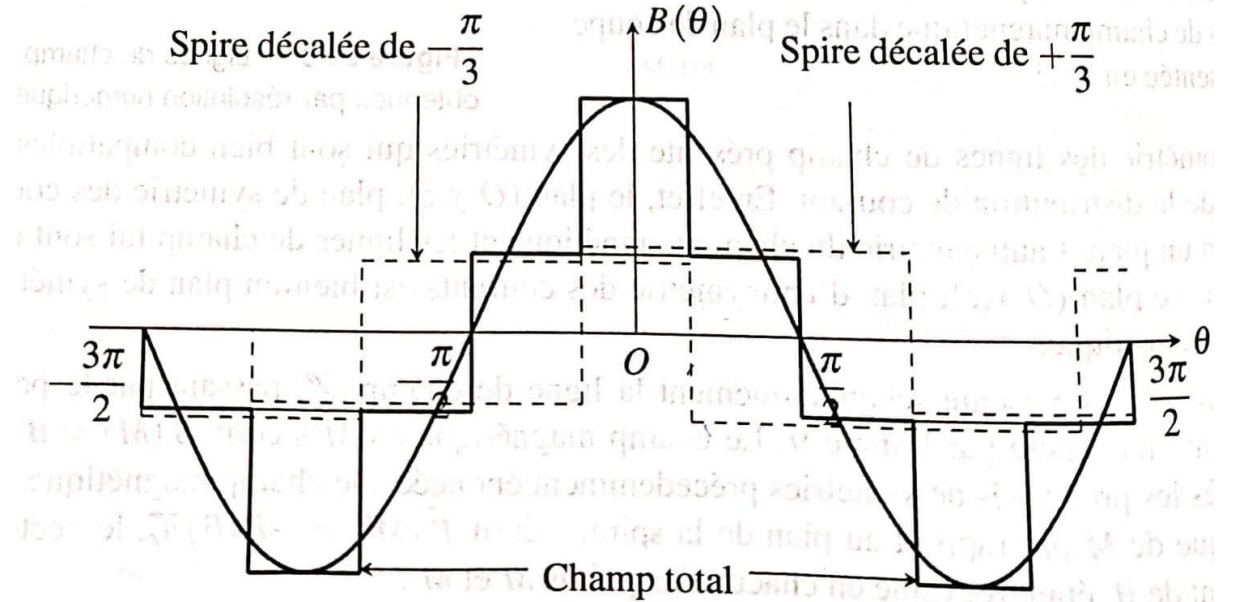
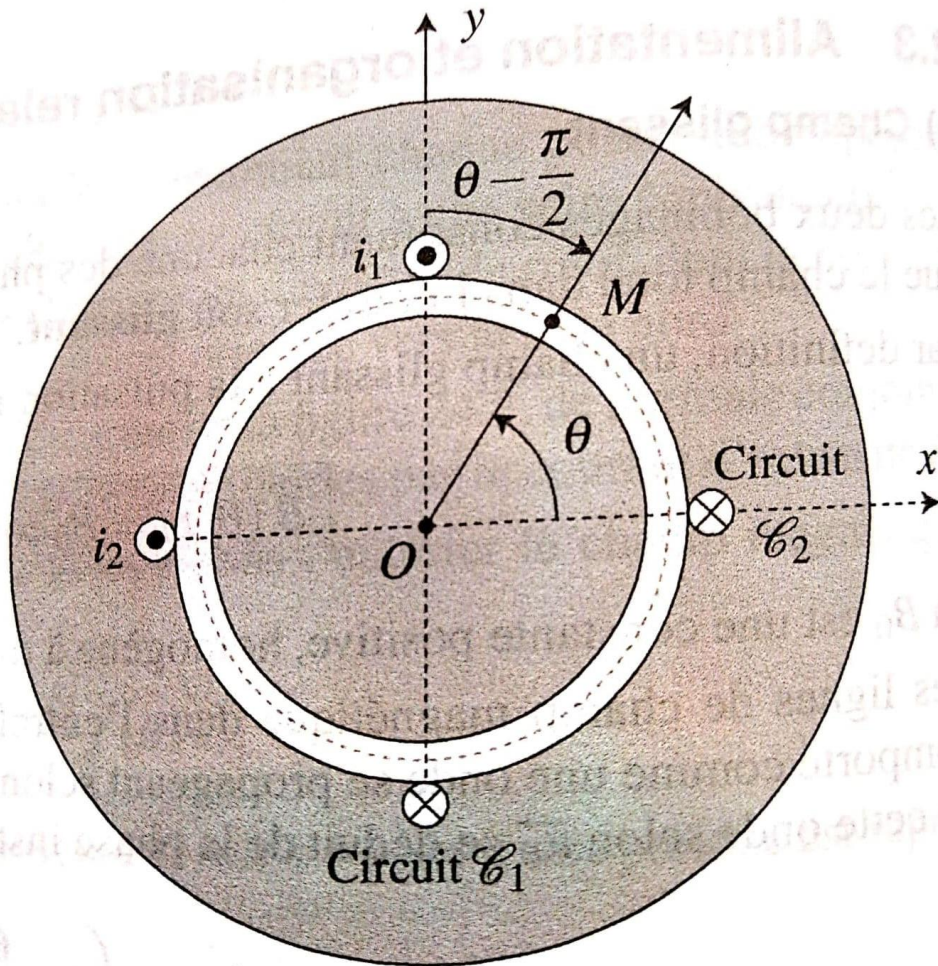


Figure 24.5 – Champ créé par trois spires décalées de $\frac{\pi}{3}$.

Etude relative des deux phases



$$\begin{cases} \vec{B}_{S,1} = ki_1(t)\cos(\theta)\vec{e}_r \\ \vec{B}_{S,2} = ki_2(t)\cos(\theta - \frac{\pi}{2})\vec{e}_r \end{cases}$$

Avec :

$$\begin{cases} i_1(t) = I \cos(\omega t) \\ i_2(t) = I \cos(\omega t - \frac{\pi}{2}) \end{cases}$$

Figure 24.8 – Positions relatives de \mathcal{C}_1 et \mathcal{C}_2 .

Etude du circuit Rotorique

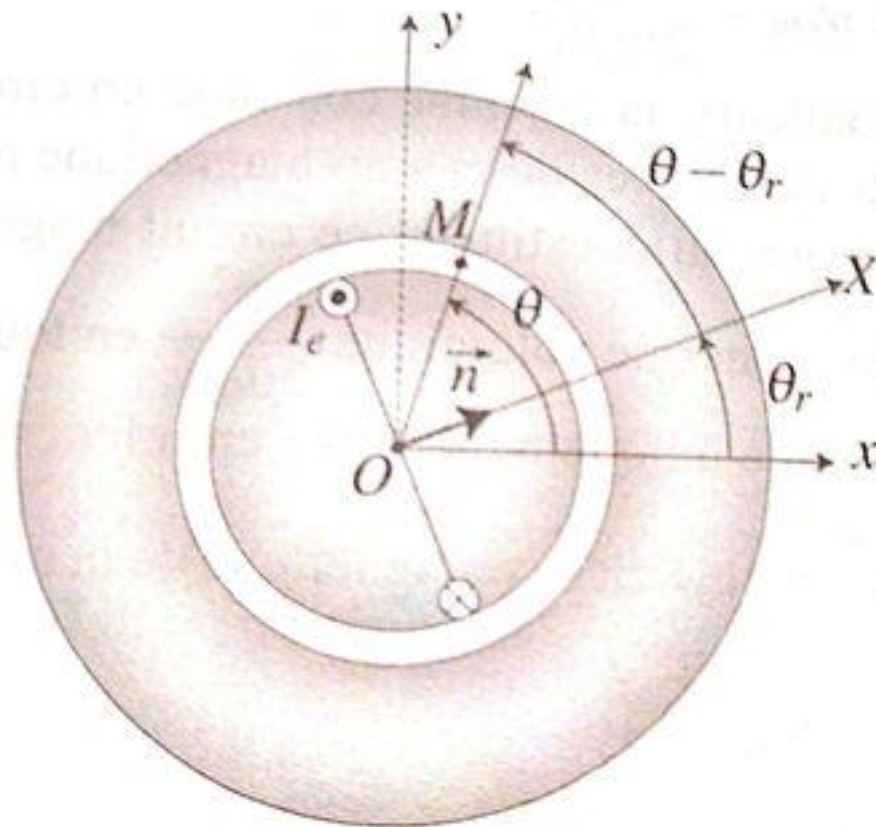


Figure 24.9 – Bobinage rotorique.

Energie magnétique

$$E_{mag} \simeq E_{mag,entrefer}$$

$$E_{mag,entrefer} = \int_{z=0}^L \int_{r=R}^{R+e} \int_{\theta=0}^{2\pi} \frac{\vec{B}^2}{2\mu_0} d\tau \quad \text{Avec} \quad \vec{B} = \vec{B}_s + \vec{B}_r$$

$$E_{mag} = E_{mag,stator} + E_{mag,rotor} + \frac{\pi L e R I k k' I_e}{\mu_0} \cos(\omega t - \theta_r)$$

Réversibilité

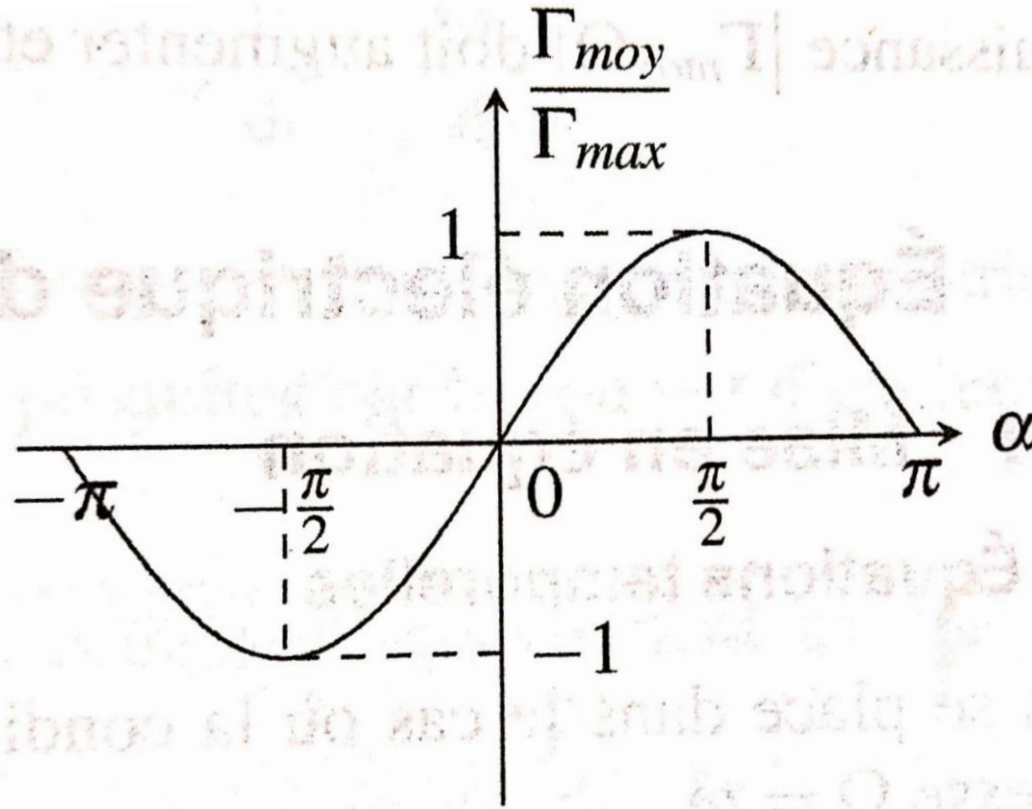


Figure 24.11 – Variations de $\frac{\Gamma_{moy}}{\Gamma_{max}}$.

Circuit électrique équivalent

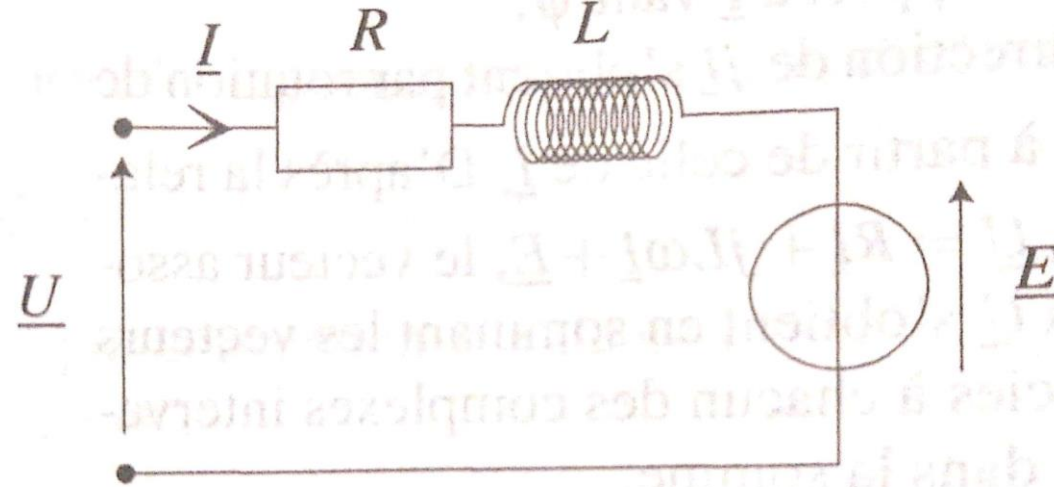


Figure 24.12 – Modèle électrique d'une phase.

Loi des mailles :

$$\begin{cases} u_1 = Ri_1 + L\frac{di_1}{dt} + E_1 \\ u_2 = Ri_2 + L\frac{di_2}{dt} + E_2 \end{cases}$$

Expression des forces contre-électromotrices

$$E_{1/2} = \frac{d\phi_{e1/2}}{dt}$$

$$\phi_{e,1} = N_s \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \vec{B}_r \cdot \vec{e}_r R h d\theta$$

$$\phi_{e,2} = N_s \int_0^{\pi} \vec{B}_r \cdot \vec{e}_r R h d\theta$$

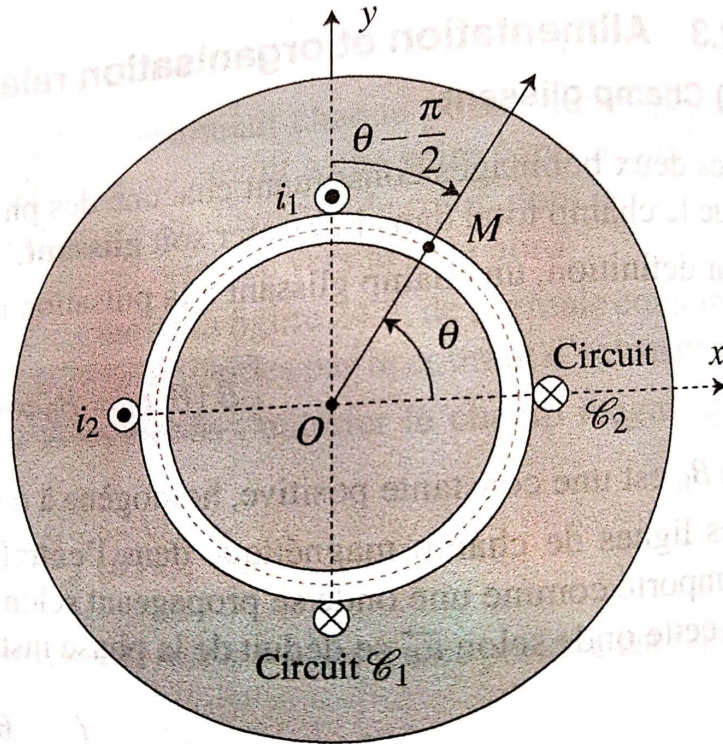


Figure 24.8 – Positions relatives de \mathcal{C}_1 et \mathcal{C}_2 .

Expression des forces contre-électromotrices

$$E_{1/2} = \frac{d\phi_{e1/2}}{dt}$$

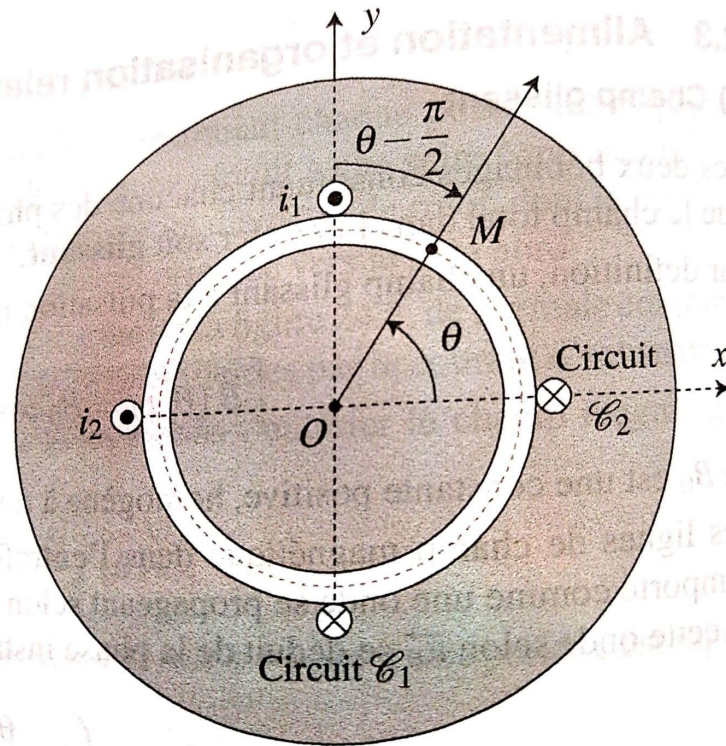


Figure 24.8 – Positions relatives de \mathcal{C}_1 et \mathcal{C}_2 .

$$\phi_{e,1} = N_s \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \vec{B}_r \cdot \vec{e}_r R h d\theta$$

$$\phi_{e,2} = N_s \int_0^{\pi} \vec{B}_r \cdot \vec{e}_r R h d\theta$$

$$\begin{cases} \phi_{e,1} = \phi_0 \sqrt{2} \cos(\omega t - \alpha) \\ \phi_{e,2} = \phi_0 \sqrt{2} \cos(\omega t - \alpha - \frac{\pi}{2}) \end{cases}$$

Avec :

$$\phi_0 = \frac{2k' N_s I_e R L}{\sqrt{2}}$$

Bilan de Puissance électrique

$$p_e(t) = u_1 i_1 + u_2 i_2 + U_e I_e$$

$$\Rightarrow p_e(t) = R i_1^2 + R i_2^2 + r I_e^2 + \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} L i_1^2 + \frac{1}{2} L i_2^2 \right) + E_1 i_1 + E_2 i_2$$

Bilan de Puissance électrique

$$p_e(t) = u_1 i_1 + u_2 i_2 + U_e I_e$$

$$\Rightarrow p_e(t) = Ri_1^2 + Ri_2^2 + rI_e^2 + \underbrace{\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}Li_1^2 + \frac{1}{2}Li_2^2\right)}_{=0} + E_1 i_1 + E_2 i_2$$

$$\mathfrak{P}_e = \mathfrak{P}_J + \mathfrak{P}_{em}$$

Bilan de puissance

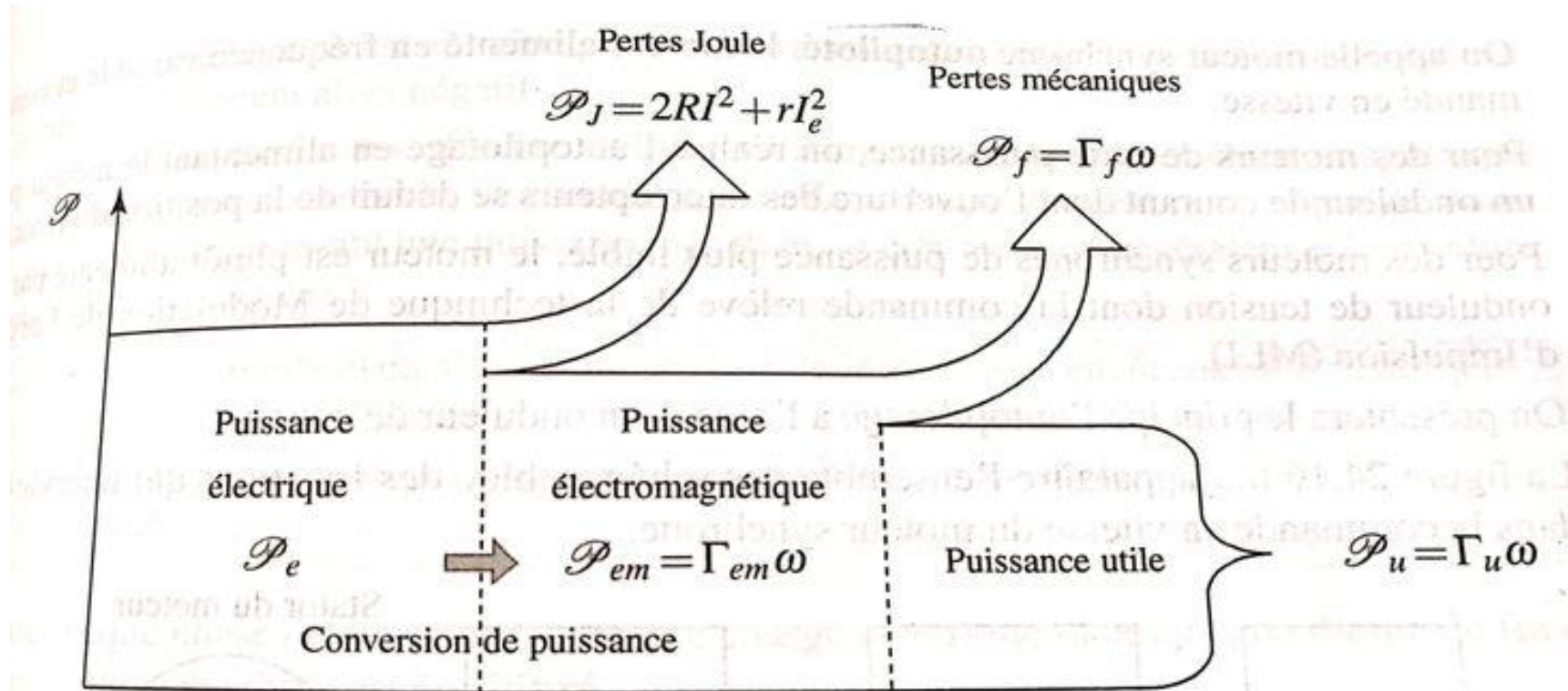


Figure 24.15 – Transformation des puissances dans un moteur synchrone.