

## Conversion Électromécanique II

### Corrigé: **Moteur synchrone – Caractéristique de couple**

On définit:

- $p$  nombre de paire de pôles
- $\Omega$  vitesse mécanique
- $\omega = p\Omega$  fréquence électrique
- $R_s$  résistance
- $L_s$  inductance propre apparente
- $\underline{Z}_s = R_s + j\omega L_s$  impédance statorique
- $Z_s = \sqrt{R_s^2 + (\omega L_s)^2}$  module de l'impédance statorique
- $\varphi_s = \arctan(\omega L_s / R_s)$  angle de phase de l'impédance statorique
- $\hat{U}_i = k_e \Omega$  amplitude de la tension induite
- $\underline{U}_i = \hat{U}_i e^{j0}$  phaseur de la tension induite (angle de phase zéro choisi)
- $\hat{U}$  amplitude de la tension d'alimentation
- $\epsilon$  angle de phase de la tension d'alimentation
- $\underline{U} = \hat{U} e^{j\epsilon}$  phaseur de la tension d'alimentation
- $\hat{I}$  amplitude du courant
- $\psi$  angle de phase du courant
- $\underline{I} = \hat{I} e^{j\psi}$  phaseur du courant

Toutes les quantités sont définies pour *une phase* du moteur.

Les résultats numériques sont :

$n$ [rpm]	$\Omega$ [rad/s]	$Z_s$ [ $\Omega$ ]	$\varphi_s$ [deg]	$\hat{U}_i$ [V]
0	0	1.00	0	0
1000	104.7	3.50	73.38	2.09
3000	314.2	10.10	84.32	6.28

Le circuit équivalent et le diagramme de phaseurs sont illustrés à la Fig. 1.

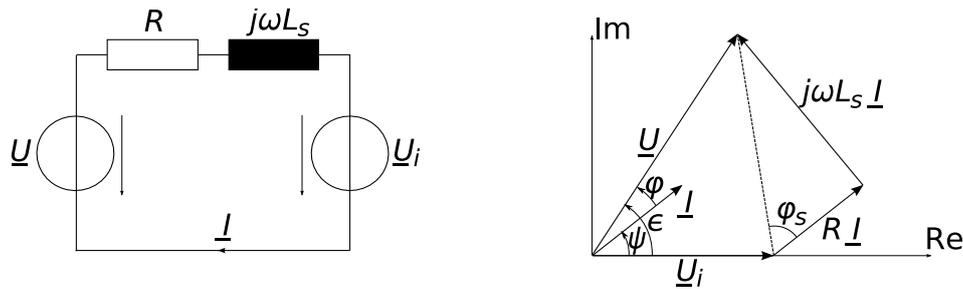


Figure 1: Circuit équivalent et diagramme de phaseurs du moteur synchrone

Le phaseur de courant est donné par :

$$\underline{I} = \frac{\underline{U} - \underline{U}_i}{\underline{Z}_s} = \frac{\hat{U} \cos \epsilon + j \hat{U} \sin \epsilon - \hat{U}_i}{\underline{Z}_s} \quad (1)$$

La formule générale pour l'amplitude du courant de phase est donnée par le module de (1) :

$$\hat{I} = \frac{\sqrt{(\hat{U} \cos \epsilon - \hat{U}_i)^2 + (\hat{U} \sin \epsilon)^2}}{Z_s} = \frac{\sqrt{\hat{U}^2 + \hat{U}_i^2 - 2\hat{U}\hat{U}_i \cos \epsilon}}{Z_s} \quad (2)$$

La formule générale pour le couple est :

$$M = \frac{3}{2} \frac{\hat{U}_i}{\Omega Z_s} [\hat{U} \cos(\varphi_s - \epsilon) - \hat{U}_i \cos \varphi_s] \quad (3)$$

Le rendement du moteur (en tenant compte uniquement des pertes Joule  $P_J$ ) est :

$$\eta = \frac{P_{mec}}{P_{mec} + P_J} = \frac{M\Omega}{M\Omega + \frac{3}{2} R_s \hat{I}^2} \quad (4)$$

En choisissant l'angle  $\epsilon$ , l'utilisateur peut choisir le mode du fonctionnement.

### 1. Mode "couple maximum"

En ce mode, le couple en régime moteur est maximal (indice "m"). Ce mode est atteint en choisissant :

$$\epsilon = \epsilon_m = \varphi_s \quad (5)$$

L'équation pour le couple (3) devient :

$$M = M_m = \frac{3}{2} \frac{\hat{U}_i}{\Omega Z_s} [\hat{U} - \hat{U}_i \cos \varphi_s] \quad (6)$$

Les résultats numériques sont :

$n$ [rpm]	$\epsilon_m$ [deg]	$M_m$ [mNm]	$\hat{I}_m$ [A]	$\eta_m$ [%]
0	0	240.00	8.00	0.00
1000	73.38	63.49	2.19	47.97
3000	84.32	21.91	0.96	83.35

## 2. Mode "rendement maximum"

En ce mode, le rendement est maximal (indice "i"). Ce mode est atteint en choisissant :

$$\epsilon = \epsilon_i = \arccos \frac{\hat{U}_i \omega L_s}{Z_s \hat{U}} - \arctan \frac{R_s}{\omega L_s} \quad (7)$$

En conséquence,  $\psi = 0$  ( $\underline{I}$  est en phase avec  $\underline{U}_i$ ).

Les résultats numériques sont :

$n$ [rpm]	$\epsilon_i$ [deg]	$M_i$ [mNm]	$\hat{I}_i$ [A]	$\eta_i$ [%]
0	0	240.00	8.00	0.00
1000	58.86	61.30	2.04	50.62
3000	32.92	12.97	0.43	93.56

## 3. Mode avec $\epsilon = 0$

En ce mode, on impose  $\underline{U}$  en phase avec  $\underline{U}_i$  (indice "o"). Ceci donne :

$$\epsilon = \epsilon_o = 0 \quad (8)$$

Les résultats numériques sont :

$n$ [rpm]	$\epsilon_o$ [deg]	$M_o$ [mNm]	$\hat{I}_o$ [A]	$\eta_o$ [%]
0	0	240.00	8.00	0.00
1000	0	14.49	1.69	26.18
3000	0	0.50	0.17	78.54

Les fonctions  $\epsilon - n$ ,  $M - n$ ,  $I - n$  et  $\eta - n$  sont présentées aux Figs. 2 et 3.

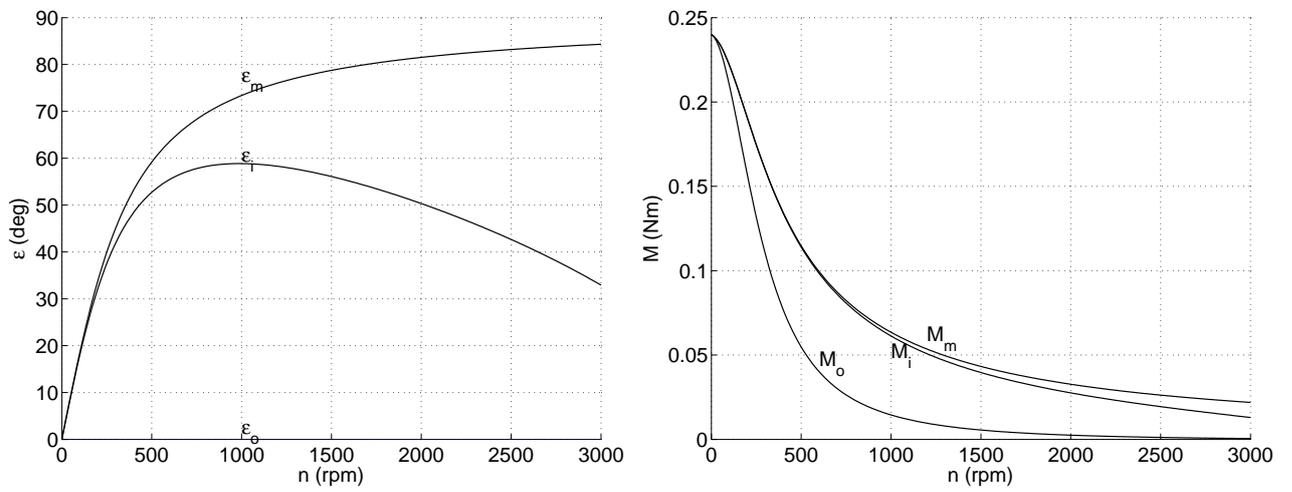


Figure 2: Fonctions  $\epsilon - n$  et  $M - n$  en trois modes

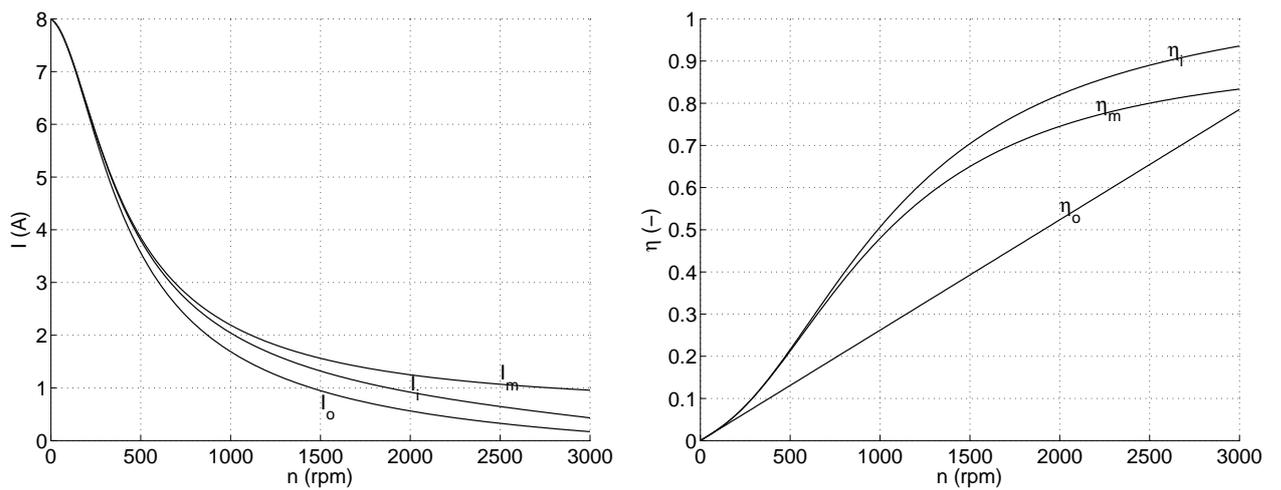


Figure 3: Fonctions  $I - n$  et  $\eta - n$  en trois modes