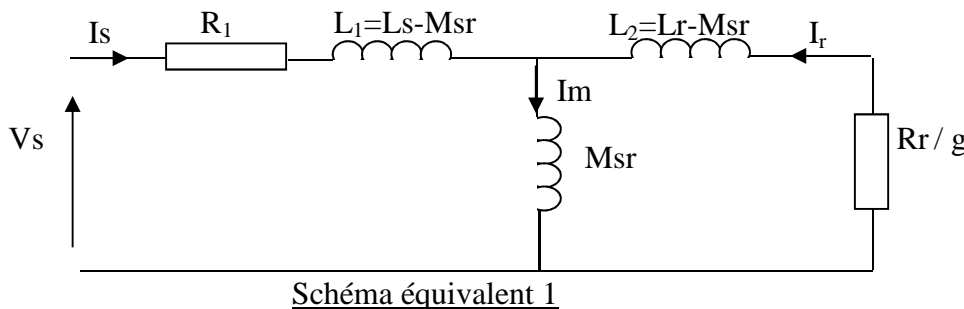


Exercice 1 : Commande Scalaire de la Machine Asynchrone

On considère une machine asynchrone à rotor à cage dont le schéma équivalent à branche magnétisante commune est le suivant:



I/ Modélisation MAS

I-1/ Donner le schéma équivalent aux fuites totalisées au rotor. Quelle condition faut-il remplir pour négliger la résistance stator R1 ?

I-2/ Montrer que $I_r = -\frac{1}{R_r} \frac{M_{sr}}{L_s} \frac{V_s}{\omega_s} \frac{\omega_r}{1 + j \cdot \sigma \cdot T_r \cdot \omega_r}$ en supposant la résistance stator R1 négligeable. Que signifie Tr ?

I-3/ En partant de la puissance transmise au rotor est $P_{TR} = C_{em} \cdot \Omega_s$

Montrer que le couple électromagnétique peut s'exprimer sous la forme :

$$C_{em} = K \cdot \phi_s^2 \cdot \frac{\omega_r}{1 + (\sigma \cdot T_r \cdot \omega_r)^2}$$

Exprimer K, ϕ_s : le flux stator.

I-4/ En déduire l'expression du couple électromagnétique maximal de la machine Cmax. Quel type de régulation il est important de faire afin de maintenir Cmax disponible quel que soit la fréquence.

II/ Commande Scalaire

II-1/ Montrer que la tension stator peut s'écrire sous la forme :

$$\overline{V_s} = (R_s + jL_s\omega_s)\overline{I_m}$$

II-2/ En déduire la loi de commande scalaire et tracer son schéma de principe en boucle ouverte.

II-3/ Afin d'introduire la notion du flux en pu, exprimer la loi de commande scalaire sous la forme :

$$V_s = \phi_{s_{pu}} \cdot V_{sn} \sqrt{V_{on_{pu}}^2 + \omega_{spu}^2 (1 - V_{on_{pu}}^2)}$$

Avec

- V_{0n} : tension stator à fréquence nulle et au courant magnétisant nominal
- $V_{on_{pu}}$: $V_{on_{pu}} = \frac{V_{0n}}{V_{sn}}$
- $\phi_{s_{pu}}$: Flux stator en pu $\phi_{s_{pu}} = \frac{\phi_s}{\phi_{sn}}$
- X_{pu} : variable X en pu s'écrit $X_{pu} = \frac{X}{X_n}$ de façon générale

II-4/ En déduire l'expression simplifiée de la tension stator Vs lorsque la vitesse de rotation est assez élevée (ω_{spu} supérieure à 10% environ).

II-5/ On considère un régulateur PI pour réguler la vitesse de rotation. L'inertie du moteur et de la mécanique entraînée est J et les frottements à la rotation de la machine sont notés f.

Déterminer la fonction de transfert du système mécanique $\Omega/(C_{em}-Cr)$.

En déduire les expressions des gains Kp et Ki du régulateur afin d'obtenir un temps de réponse à un échelon Tr (pour un système 1^{er} ordre, $T_r=3 \cdot$ constante de temps en BF)

II-6/ Tracer le schéma de principe de la commande scalaire en Boucle fermée avec :

- régulation de la vitesse de rotation à l'aide d'un PI gérant la saturation en couple
- et gestion d'une possible variation du flux stator Φ_s .

Exercice 2 : Contrôle Vectoriel de la Machine Asynchrone

On considère une machine asynchrone dont les paramètres sont :

$L_s=8.213\text{mH}$; $L_r=8.133\text{mH}$; $M_{sr}=7.98\text{mH}$; $R_1=2.68\text{m}\Omega$; $R_r=2.8\text{m}\Omega$

La plaque signalétique de la machine donne les caractéristiques nominales :

$U_n=3150\text{V}$; $f_{sn}=37.5\text{Hz}$; $N_{pp}=4$ (paires de pôles) ; $N_n=560\text{tr/min}$; $I_{sn}= 3360\text{A}$

Notations : ω_s = pulsation courants stator, ω_r =pulsation courants rotor, g =glissement= ω_r/ω_s

1/ Montrer que la puissance obtenue avec la transformation de concordia $P_{conc}=V\alpha\beta^t \cdot I\alpha\beta$ est égale à la puissance obtenue avec le système triphasé $P_{tri}=V_{abc}^t \cdot I_{abc}$.

On considère le système d'état de la machine asynchrone :

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \\ \Phi_{rd} \\ \Phi_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{a}{\sigma \cdot L_s} & \omega_s & \frac{M_{sr}}{L_r \cdot \sigma \cdot L_s \cdot T_r} & \frac{M_{sr} \cdot \omega}{L_r \cdot \sigma \cdot L_s} \\ -\omega_s & -\frac{a}{\sigma L_s} & -\frac{M_{sr} \cdot \omega}{L_r \cdot \sigma \cdot L_s} & \frac{M_{sr}}{L_r \cdot \sigma \cdot L_s \cdot T_r} \\ \frac{M_{sr}}{T_r} & 0 & -\frac{1}{T_r} & \omega_r \\ 0 & \frac{M_{sr}}{T_r} & -\omega_r & -\frac{1}{T_r} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{sd} \\ I_{sq} \\ \Phi_{rd} \\ \Phi_{rq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma \cdot L_s} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma \cdot L_s} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \end{bmatrix}$$

La modélisation de cette machine est donnée au document réponse DR1

2/ Compléter le document réponse DR1 afin d'établir le contrôle vectoriel de la machine

3/ Quelles sont les conditions obligatoires à respecter pour que ce schéma de régulation en cascade soit stable ?

3/ Identifier la boucle de régulation en courant sur l'axe Id. On veut un temps de réponse du courant Id de Trd. Exprimer les paramètres du régulateur de courant Id : K_{pId} et K_{iId} . On donne $Trd=20\text{ms}$.

4/ En déduire les paramètres du régulateur de courant Iq : K_{pIq} et K_{iIq}

5/ Identifier la boucle de régulation du flux rotor et exprimer les paramètres du régulateur de flux Φ_r : $K_{p\Phi_r}$ et $K_{i\Phi_r}$

6/ En partant des équations du flux sur les axes d et q :

$$\begin{cases} \Phi_{sd} = \sigma \cdot L_s \cdot I_{sd} + \frac{M_{sr}}{L_r} \Phi_{rd} \\ \Phi_{sq} = \sigma \cdot L_s \cdot I_{sq} + \frac{M_{sr}}{L_r} \Phi_{rq} \end{cases}$$

Montrer que le flux rotor s'obtient :

$$\Phi_r = \frac{M_{sr}}{L_s} \sqrt{\Phi_s^2 - (\sigma L_s I_{sq})^2}$$

7/ Calculer le flux stator nominal de la machine.

8/ Calculer le courant magnétisant nominal de la machine. En déduire la valeur du courant Isq et la valeur de la référence de flux rotor Φ_r lorsque la machine fournit le couple nominal.

9/ Proposer une méthode de gestion de la limitation du courant stator suivant les axes d et q.

10/ Calculer les aides en tensions E_{sd} et E_{sq} sur les axes d et q lorsque le moteur fonctionne à son point nominal. En déduire que les régulateurs de courant Isd et Isq travaillent peu si l'estimation du modèle de la machine est correcte.