République algérienne démocratique et populaire

Université hamma lakhdar el-oued

1[er] Année master : réseaux électrique -2020/2021

Série de TD n°1 Commande des systèmes électro-énergétiques

Exercice1 :

Les équations de stator dans la répare (abc) donné par : $[V_{abcs}]=[Rs]\cdot[I_{abcs}]+\frac{d}{dt}[\phi_{abcs}]$

Trouver les équations statorique de la MAS dans les axes x-y :

$$\begin{bmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 \\ 0 & R_s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt}\begin{bmatrix} \phi_{ds} \\ \phi_{qs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega_s \\ \omega_s & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \phi_{ds} \\ \phi_{qs} \end{bmatrix}$$

Exercice 2 :

1-écrit sous la forme d'une équation d'état le modèle mathématique de la MAS, dans le repère (d-q)

$\dot{X} = AX + BU$ avec : X=[isd ,isq ,ird ,irq]^T : Vecteur d'état

Exercice 3 : Compléter le vide dans la table suivant

les expressions	**Schéma de simulation**
Transformation de PARK (modifier) $$\begin{bmatrix} V_{ds} \\ V_{qs} \\ V_o \end{bmatrix} = c\begin{bmatrix} \cos(\theta_s) & \cos(\theta_s+\frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta_s+\frac{4\pi}{3}) \\ -\sin(\theta_s) & -\sin(\theta_s+\frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_s+\frac{4\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{bmatrix}$$ la transformée de PARK modifier conserve la puissance et l'amplitude)	
Transformation de PARK **(modifier)** inverse	
Transformation de **Concordia** (PARK **modifier** w_{coor}=0) $$\begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \\ x_o \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}}\begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix}$$ Transformation de **Clarke** (PARK w_{coor}=0)	
Matrice de rotation dq….alph beta $$\begin{bmatrix} x_d \\ x_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \end{bmatrix}$$ alph beta …. dq $$\begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_d \\ x_q \end{bmatrix}$$	
Modélisation d'un onduleur de tension triphasé à deux niveaux $$\begin{bmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{bmatrix} = \frac{E}{3}\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix}$$	
Commande de l'onduleur par modulation sinus – triangle(MLI)	
Commande de l'onduleur par hystérésis	

Solution de TD 1

Exercice1 :

$$[V_{abcs}] = [Rs]\cdot[I_{abcs}] + \frac{d}{dt}[\phi_{abcs}]$$

$$[Vdq] = [p]^{-1}([Rs]\cdot[I_{abc}] + \frac{d}{dt}[\phi_{abcs}]) = [p]^{-1}[Rs][p]\,[Idq] + [p]^{-1}\frac{d}{dt}([p][\phi_{dq}]) = [Rs][Id]\,[Idq] + [p]^{-1}\frac{d}{dt}[p][\phi_{dq}] + [Id]\frac{d}{dt}[\phi_{dq}]$$

$$[Vdq] = [Rs][Id]\,[Idq] + [Id]\frac{d}{dt}[\phi_{dq}] + \begin{bmatrix} 0 & -ws \\ ws & 0 \end{bmatrix}[\phi_{dq}]$$

$$\begin{bmatrix} v_{ds} \\ v_{qs} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s & 0 \\ 0 & R_s \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \end{bmatrix} + \frac{d}{dt}\begin{bmatrix} \phi_{ds} \\ \phi_{qs} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -\omega_s \\ \omega_s & 0 \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix} \phi_{ds} \\ \phi_{qs} \end{bmatrix}$$

Exercice 2 :

Les équations électriques :

$$\begin{cases} U_{sd} = i_{sd}.rs + \dfrac{d\Phi sd}{dt} - \Phi rq.\omega_r \\ U_{sq} = i_{sq}.rs + \dfrac{d\Phi sq}{dt} + \Phi rd.\omega_r \\ 0 = i_{sd}.rr + \dfrac{d\Phi rd}{dt} \\ 0 = i_{sq}.rr + \dfrac{d\Phi rq}{dt} \end{cases} \qquad 1$$

Vdr=vqr=0 : Le rotor étant en court-circuit,

Les équations des flux

$$\begin{cases} \Phi_{ds} = L_s i_{ds} + M\ i_{dr} \\ \Phi_{qs} = L_s i_{qs} + M\ i_{qr} \\ \Phi_{dr} = L_r i_{dr} + M\ i_{ds} \\ \Phi_{qr} = L_r i_{qr} + M\ i_{qs} \end{cases} \qquad 2$$

L'équation de couple électromagnétique:

$$Ce = \frac{3}{2}PM(i_{rd}i_{sq} - i_{sd}i_{rq})$$

les équations (2) dans (2) nous aurons :

$$\begin{cases} U_{sd} = i_{sd}.rs + \dfrac{d}{dt}(L_s i_{sd} + M i_{rd}) - (L_s i_{sq} + M i_{rq}).\omega r \\ U_{sq} = i_{sq}.rs + \dfrac{d}{dt}(L_s i_{sq} + M i_{rq}) + (L_s i_{sd} + M i_{rd}).\omega_{rr} \\ 0 = i_{rd}.rr + \dfrac{d(L_r i_{rd} + M i_{sd})}{dt} \\ 0 = i_{ra}.rr + \dfrac{d(L_r i_{rq} + M i_{sq})}{dt} \end{cases}$$

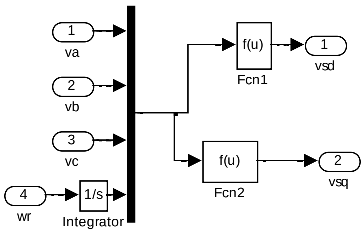
$$\begin{bmatrix} L_s & 0 & M & 0 \\ 0 & L_s & 0 & M \\ M & 0 & Lr & 0 \\ 0 & M & 0 & Lr \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_s & \omega_r Ls & 0 & \omega_r M \\ -\omega_r Ls & r_s & -\omega_r M & 0 \\ 0 & 0 & -r_r & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -r_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ i_{rd} \\ i_{rq} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{sd} \\ v_{sq} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

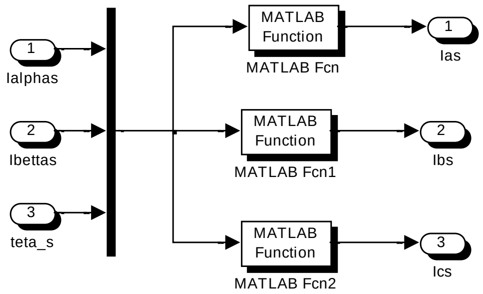
Donc l'équation d'état du système donne par :

$$[L]\frac{d}{dt}[I] = [Ar][I] + [V]$$

$$\frac{d}{dt}[I] = [L^{-1}]([Ar][I] + [V])$$ donc $A = [L^{-1}][Ar]$,B= $[L^{-1}]$

Exercice3 :

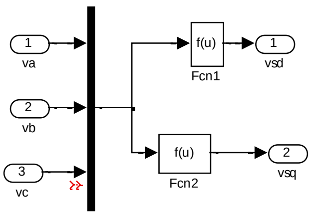
les expressions	**Schéma de simulation**
Transformation de PARK (modifier) $\begin{bmatrix} V_{ds} \\ V_{qs} \\ V_o \end{bmatrix} = c$ $\begin{bmatrix} \cos(\theta_s) & \cos(\theta_s + \frac{2\pi}{3}) & \cos(\theta_s + \frac{4\pi}{3}) \\ -\sin(\theta_s) & -\sin(\theta_s + \frac{2\pi}{3}) & -\sin(\theta_s + \frac{4\pi}{3}) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{bmatrix}$ la transformée de PARK modifier conserve la puissance et l'amplitude)	**Transformation de PARK (modifier)**  Vds=(u[1]*cos(u[4])+u[2]*cos(u[4]+2*pi/3)+u[3]*cos(u[4]+4*pi/3))*sqrt(2/3) Vqs=-(u[1]*sin(u[4])+u[2]*sin(u[4]+2*pi/3)+u[3]*sin(u[4]+4*pi/3))*sqrt(2/3)
Transformation de PARK **(modifier)** inverse	**Transformation de PARK inverse (modifier)**

<table>
<tr>
<td></td>
<td>


Vas= sqrt(2/3)*(u(1)*cos(u(3))-u(2)*sin(u(3)))
Vbs= sqrt(2/3)*(u(1)*cos(u(3)+2*pi/3)-u(2)*sin(u(3)+2*pi/3))
Vcs= sqrt(2/3)*(u(1)*cos(u(3)+4*pi/3)-u(2)*sin(u(3)+4*pi/3))
</td>
</tr>
<tr>
<td>
Transformation de Concordia (PARK modifier w_{coor}=0)

$$\begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \\ x_o \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_a \\ x_b \\ x_c \end{bmatrix}$$

Transformation de Clarke (PARK w_{coor}=0)
</td>
<td>
Transformation de Concordia
V α s=(u[1]*cos(0)+u[2]*cos(2*pi/3)+u[3]*cos(4*pi/3))*sqrt(2/3)
V β s=-(u[1]*sin(0)+u[2]*sin(2*pi/3)+u[3]*sin(4*pi/3))*sqrt(2/3)

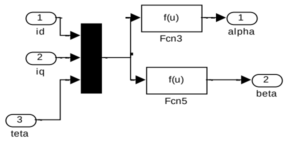


Transformation de Clarke
V α s=(u[1]*cos(0)+u[2]*cos(2*pi/3)+u[3]*cos(4*pi/3))* (2/3)
V β s=-(u[1]*sin(0)+u[2]*sin(2*pi/3)+u[3]*sin(4*pi/3))* (2/3)
</td>
</tr>
<tr>
<td>
Matrice de rotation dq….alph beta $\begin{bmatrix} x_d \\ x_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \end{bmatrix}$

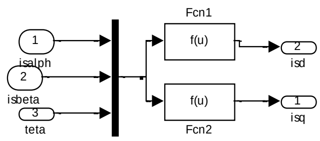
alph beta …. dq

$$\begin{bmatrix} x_\alpha \\ x_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_d \\ x_q \end{bmatrix}$$
</td>
<td>
Matrice de rotation

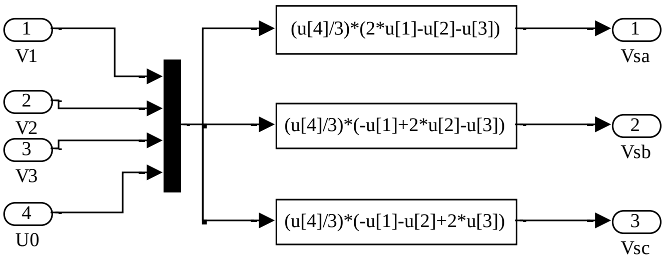
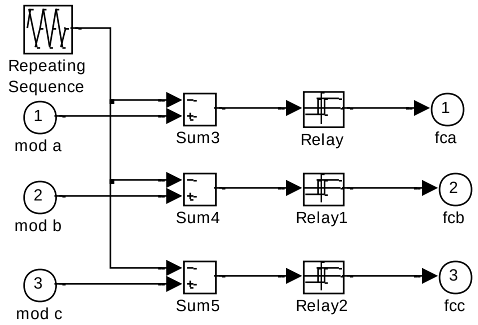
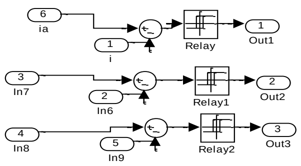
d q-alph beta
Fcn3 : u[1]*cos(u[3])-u[2]*sin(u[3])
Fcn5 : u[1]*sin(u[3])+u[2]*cos(u[3])



alph beta –d q
Fcn1 : cos(u(3))*u(1)+sin(u(3))*u(2)
Fcn2 : cos(u(3))*u(2)-sin(u(3))*u(1)



</td>
</tr>
<tr>
<td>
Modélisation d'un onduleur de tension triphasé à deux niveaux $\begin{bmatrix} V_{as} \\ V_{bs} \\ V_{cs} \end{bmatrix} = \frac{E}{3} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix}$
</td>
<td>
Onduleur de tension triphasé à deux niveaux
</td>
</tr>
</table>

<table>
<tr>
<td></td>
<td>
</td>
</tr>
<tr>
<td>Commande de l’onduleur par modulation sinus – triangle(MLI)</td>
<td>Commande de l’onduleur par modulation sinus – triangle(MLI)

</td>
</tr>
<tr>
<td>Commande de l’onduleur par hystérésis</td>
<td>Commande de l’onduleur par hystérésis

</td>
</tr>
</table>

République algérienne démocratique et populaire Université hamma lakhdar el-oued Faculté des Sciences et de la Technologie Département de génie électrique	1er Année master : réseaux électrique -2020/2021 **Série de TD n°2** Commande des systèmes électro-énergétiques

Exercice 1 :

1-écrit sous la forme d'une équation d'état $\dot{X} = AX + BU$ .le modèle mathématique de la MAS, dans système lié au champ tournant.

. On considérant comme variable d'état les courants statoriques et les flux rotoriques $X=[isd ,isq ,phrd ,phrq]^T$: Vecteur d'état

On donne le coefficient de dispersion et la constante de tempe rotorique

$$\sigma = 1 - \frac{M^2}{Lr\,Ls} \qquad Tr = \frac{Lr}{Rr}$$

2-Donne la nouvelle expression du couple en fonction des variables d'état

Exercice 2 :

1-donner les principes de la commande scalaire

2- écrivez le relation entre le flux rotorique et le module du courant statorique (la commande scalaire en courant) .

3-Quel est l'intérêt d'utiliser l'autopilotage dans la commande d'une machine asynchrone

Exercice3 :

-Les paramètres de la MAS sont :
rs=0.63; rr=0.4; Ls=0.097; Lr=0.091;F=0.001; J=0.22; p=2; M=0.091;
Dans la commande vectorielle <u>indirecte</u> à orientation de flux rotorique- IRFO
1-Ce contrôle vectoriel implique $\phi dr=\phi r$ et $\phi qr=0$. Montrez que l'on obtient le système d'équations :

$$V_{ds} = Rs\,isd + \sigma ls\frac{disd}{dt} - \omega_s\,\sigma L_s\,isq \qquad , \qquad Vsq = Rs\,isd + \sigma ls\frac{disq}{dt} + \omega_s\,\sigma L_s\,isd + \omega_s\frac{M}{Lr}\phi r$$

$$\phi r = \frac{M\,isd}{1+Tr.s} \qquad Ce = \frac{P\,M\,\phi r\,isd}{Lr} \qquad \varpi gl = \frac{M\,\,isq}{Tr\,\phi r}$$

2-Déterminé les paramètres de régulateur de courant (kp,ki) avec tropi=0.01
3-calculer les valeurs de régulateur de vitesse, ,Trepw=0.01 , wn trpw=4.75 , $\xi = 1$

Ex(1) :

1)- $\begin{cases} \dot{X} = AX + BU \\ \omega_{conv} = \omega_s \end{cases}$, $X = \begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ \varphi_{rd} \\ \varphi_{rq} \end{bmatrix}$

$$\begin{cases} V_{sd} = R_s i_{sd} + \frac{d\varphi_{sd}}{dt} - \omega_s \varphi_{sq} \\ V_{sq} = R_s i_{sq} + \frac{d\varphi_{sq}}{dt} + \omega_s \varphi_{sd} \\ 0 = R_r i_{rd} + \frac{d\varphi_{rd}}{dt} - (\omega_s - \omega_r)\varphi_{rq} \\ 0 = R_r i_{rq} + \frac{d\varphi_{rq}}{dt} + (\omega_s - \omega_r)\varphi_{rd} \end{cases} \quad \text{--- (1)}$$

$\omega_s - \omega_r = \omega_{gl}$

$$\begin{cases} \varphi_{rd} = L_r i_{rd} + M i_{sd} \\ \varphi_{rq} = L_r i_{rq} + M i_{sd} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} i_{rd} = \frac{1}{L_r}(\varphi_{rd} - M i_{sd}) \\ i_{rq} = \frac{1}{L_r}(\varphi_{rq} - M i_{sq}) \end{cases} \quad \text{--- (2)}$$

$$\begin{cases} \varphi_{sd} = L_s i_{sd} + M i_{rd} \\ \varphi_{sq} = L_s i_{sq} + M i_{rq} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \varphi_{sd} = L_s i_{sd} + \frac{M}{L_r}(\varphi_{rd} - M i_{sd}) \\ \varphi_{sq} = L_s i_{sq} + \frac{M}{L_r}(\varphi_{rq} - M i_{sq}) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \varphi_{sd} = \left(L_s - \frac{M^2}{L_r}\right) i_{sd} + \frac{M}{L_r}\varphi_{rd} \\ \varphi_{sq} = \left(L_s - \frac{M^2}{L_r}\right) i_{sq} + \frac{M}{L_r}\varphi_{rq} \end{cases} \quad \text{--- (3)} \qquad \sigma = 1 - \frac{M^2}{L_s L_r}$$

$$\begin{cases} \varphi_{sd} = \sigma L_s i_{sd} + \frac{M}{L_r}\varphi_{rd} \\ \varphi_{sq} = \sigma L_s i_{sq} + \frac{M}{L_r}\varphi_{rq} \end{cases} \quad \text{--- (3)}$$

(2) et (3) dans (1).

$$\begin{cases} V_{sd} = R_s i_{sd} + \sigma L_s \frac{di_{sd}}{dt} + \frac{M}{L_r}\frac{d}{dt}\varphi_{rd} - \omega_s L_s \sigma i_{sq} - \omega_s \frac{M}{L_r}\varphi_{rq} \\ V_{sq} = R_s i_{sq} + \sigma L_s \frac{di_{sq}}{dt} + \frac{M}{L_r}\frac{d}{dt}\varphi_{rq} + \omega_s \sigma L_s i_{sd} + \omega_s \frac{M}{L_r}\varphi_{rd} \\ 0 = \frac{R_r}{L_r}(\varphi_{rd} - M i_{sd}) + \frac{d\varphi_{rd}}{dt} - \omega_{gl}\varphi_{rq} \\ 0 = \frac{R_r}{L_r}(\varphi_{rq} - M i_{sq}) + \frac{d}{dt}\varphi_{rq} + \omega_{gl}\varphi_{rd} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \sigma L_s \dfrac{d i_{sd}}{dt} + \dfrac{M}{L_r}\dfrac{d}{dt}\varphi_{rd} = -R_s i_{sd} + \omega_s \sigma L_s i_{sq} + \omega_s \dfrac{M}{L_r}\varphi_{rq} - V_{sd} \\ \sigma L_s \dfrac{d i_{sq}}{dt} + \dfrac{M}{L_r}\dfrac{d}{dt}\varphi_{rq} = -R_s i_{sq} - \omega_s \sigma L_s i_{sd} - \omega_s \dfrac{M}{L_r}\varphi_{rd} - V_{sq} \\ \dfrac{d\varphi_{rd}}{dt} = \dfrac{-1}{\tau_r}\varphi_{rd} + \dfrac{M}{\tau_r} i_{sd} + \omega_{gl}\varphi_{rq} \\ \dfrac{d\varphi_{rq}}{dt} = -\dfrac{1}{\tau_r}\varphi_{rq} + \dfrac{M}{\tau_r} i_{sq} - \omega_{gl}\varphi_{rd} \end{cases} \qquad \left(\tau_r = \frac{L_r}{R_r}\right)$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \sigma L_s & 0 & \frac{M}{L_r} & 0 \\ 0 & \sigma L_s & 0 & \frac{M}{L_r} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}}_{[L]} \frac{d}{dt}\underbrace{\begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ \varphi_{rd} \\ \varphi_{rq} \end{bmatrix}}_{[I]} = \underbrace{\begin{bmatrix} -R_s & \omega_s \sigma L_s & 0 & \omega_s \frac{M}{L_r} \\ -\omega_s \sigma L_s & -R_s & -\omega_s \frac{M}{L_r} & 0 \\ \frac{M}{\tau_r} & 0 & \frac{-1}{\tau_r} & \omega_{gl} \\ 0 & \frac{M}{\tau_r} & -\omega_{gl} & -\frac{1}{\tau_r} \end{bmatrix}}_{[R]} \underbrace{\begin{bmatrix} i_{sd} \\ i_{sq} \\ \varphi_{rd} \\ \varphi_{rq} \end{bmatrix}}_{[I]}$$

$$+ \underbrace{\begin{bmatrix} V_{sd} \\ V_{sq} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}}_{[V]} \quad , \quad [L]\cdot\frac{d}{dt}[I] = [R]\cdot[I] + [V]$$

$$\frac{d}{dt}[I] = [L]^{-1}\cdot[R]\cdot[I] + [L]^{-1}\cdot[V].$$

$$A = [L]^{-1}\cdot[R] \text{ et } , B = [L]^{-1}.$$

$$\dot{X} = AX + B.U$$

2) , $C_e = PM(I_{sd} I_{rq} - I_{sq} I_{rq}) = PM.\left(I_{sd} . \frac{1}{L_r}(\varphi_{rq} - M I_{sq})\right.$

$\left. - I_{sq}\frac{1}{L_r}(\varphi_{rd} - M I_{sd})\right) = \frac{PM}{L_r}\left(I_{sd}.\varphi_{rq} - M \cancel{I_{sd} I_{sq}}\right.$

$\left. - I_{sq}\varphi_{rd} + M\cancel{I_{sq} I_{sd}}\right) = \frac{PM}{L_r}\left(I_{sd}\varphi_{rq} - I_{sq}\varphi_{rd}\right)$

EX(2) :

1)

Le principe de la commande scalaire.

on utilisant le modèle de la MAS en régimme permanent et son principe est maintenir $\left(\frac{V}{F}\right)$ constant, ce qui signifie garde le flux (Ψ_s) constant, $\bar{V}_s = R_s \cancel{I_s} + \cancel{\frac{d\bar{\Psi}_s}{dt}} + j\omega_s \bar{\Psi}_s$

$\bar{V}_s = j\omega_s \bar{\Psi}_s$, $|\Psi_s| = \left|\frac{V_s}{\omega_s}\right| = \frac{1}{2\pi}\left|\frac{V_s}{f_s}\right|$

si $\left|\frac{V}{f}\right|$ constant $\Rightarrow$ Ψ_s constant

(2) $I_s = f(\Psi_r, \omega_{gl})$

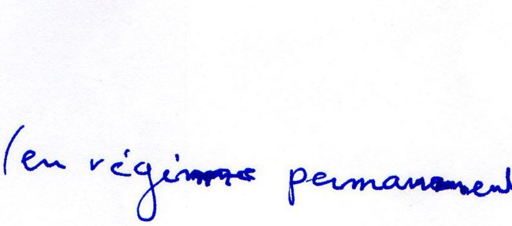
$$\begin{cases} 0 = R_r I_r + \frac{d}{dt}\bar{\Phi}_r + j\omega_g \bar{\Phi}_r \\ \bar{\Phi}_r = L_r \bar{I}_r + M\bar{I}_s \end{cases}$$ (en régime permanent $\frac{d}{dt}\Phi_r = 0$

$\Rightarrow I_r = \frac{\Phi_r}{L_r} - \frac{M}{L_r} I_s$

$0 = R_r I_r + j\omega_g \bar{\Phi}_r = R_r \frac{\Phi_r}{L_r} - \frac{R_r M}{L_r}\bar{I}_s + j\omega_g \bar{\Phi}_r$

$\bar{I}_s = \frac{L_r}{R_r M}\left(\frac{R_r}{L_r} + j\omega_g\right)\bar{\Phi}_r = \frac{\bar{\Phi}_r}{M}\left(1 + j\tau_r \omega_g\right)$

$|I_s| = \frac{\Phi_r}{M}\sqrt{1 + (\tau_r \omega_g)^2}$



<u>Corrigé type du l'exercice3:</u>

<u>Nous allons démontrer les équations de ce type de contrôle vectoriel.</u>

<u>A partir de</u>

<u>Les équations électriques :</u>

$$\begin{cases} U_{sd} = i_{sd}.rs + \dfrac{d\Phi sd}{dt} - ws\,\Phi sq \\ U_{sq} = i_{sq}.rs + \dfrac{d\Phi sq}{dt} + ws\,\Phi sd \\ 0 = i_{rd}.rr + \dfrac{d\Phi rd}{dt} - \Phi rq.\omega gl \\ 0 = i_{rq}.rr + \dfrac{d\Phi rq}{dt} + \Phi rd.\omega gl \end{cases}$$

<u>Les équations des flux</u>

$$\begin{cases} \Phi_{ds} = L_s i_{ds} + M\, i_{dr} \\ \Phi_{qs} = L_s i_{qs} + M\, i_{qr} \\ \Phi_{dr} = L_r i_{dr} + M\, i_{ds} \\ \Phi_{qr} = L_r i_{qr} + M\, i_{qs} \end{cases} \qquad \begin{cases} i_{dr} = \dfrac{1}{L_r}(\Phi_{dr} - M\, i_{ds}) \\ i_{qr} = \dfrac{1}{L_r}(\Phi_{qr} - M\, i_{qs}) \end{cases} \quad 1 \qquad \begin{cases} \Phi_{ds} = \sigma L_s i_{ds} + \dfrac{M}{Lr}\Phi_{dr} \\ \Phi_{qs} = \sigma L_s i_{qs} + \dfrac{M}{Lr}\Phi_{qr} \end{cases} \quad 2$$

$\phi dr = \phi r$ et $\phi qr = 0$

$$V_{ds} = Rs\, isd + \sigma ls \frac{disd}{dt} - \omega_s\, \sigma L_s\, isq$$

,

$$Vsq = Rs\, isd + \sigma ls \frac{disq}{dt} + \omega_s\, \sigma L_s\, isd + \omega_s \frac{M}{Lr}\phi r$$

$$\begin{matrix} 0 = \dfrac{rr}{L_r}(\Phi_{dr} - M\, i_{ds}) + \dfrac{d\Phi rd}{dt} \\ 0 = \dfrac{rr}{L_r}(-M\, i_{qs}) + \Phi rd.\omega gl \end{matrix} \qquad \begin{cases} 0 = \dfrac{1}{\tau_r}\Phi_{dr} + \dfrac{d\Phi rd}{dt} - \dfrac{M}{\tau_r}\, i_{ds} \\ 0 = \dfrac{-M}{\tau_r} i_{qs} + \Phi rd.\omega gl \end{cases}$$

donc $\phi r = \dfrac{M\, isd}{1 + Tr.s}$ $\qquad \varpi gl = \dfrac{M\, isq}{Tr\, \phi r}$

$$- Ce = \frac{P\, M}{Lr}(\phi dr\; isd - \phi qr\; isq) \quad \text{donc} \qquad Ce = \frac{P\, M\, \phi r\, isd}{Lr}$$

<u>-2</u> Régulation de courant statorique i_s

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s}$$

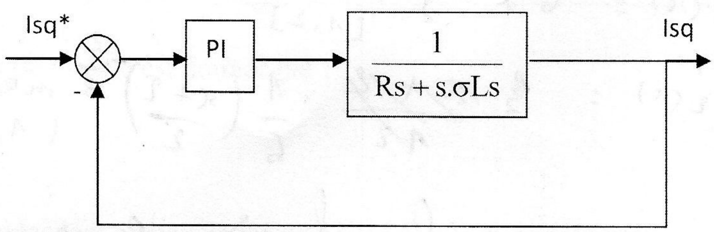


schéma bloc de la régulation du courant statorique isq (même chose pour ids).

En boucle ouverte :

FTBO : $$Kp\left(s+\frac{Ki}{Kp}\right)\frac{1}{s}\frac{\frac{1}{\sigma Ls}}{\frac{Rs}{\sigma Ls}+s}$$

Par compensation :

$$\frac{Ki}{Kp}=\frac{Rs}{\sigma Ls}$$

FTBO : $$\frac{Kp}{s}\frac{1}{\sigma Ls}$$

Donc en boucle fermé :

FTBF : $$\frac{\frac{Kp}{\sigma Ls}\frac{1}{s}}{1+\frac{Kp}{s.\sigma Ls}}=\frac{1}{s\frac{\sigma Ls}{Kp}+1}=\frac{1}{\tau s+1}$$

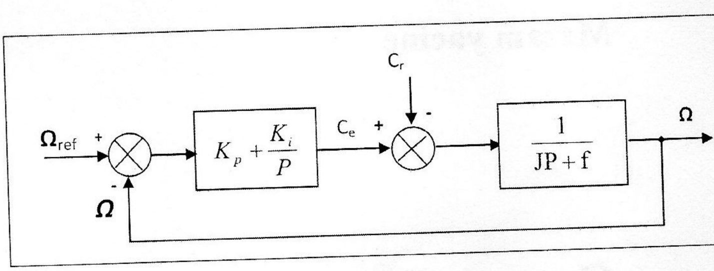
Avec :

$$\tau=\frac{\sigma Ls}{Kp}$$

on a choisi le temps de réponse (τ)

On a trouvé : $Ki=\frac{\sigma Ls}{\tau}$ $\qquad Kp=\frac{\sigma Ls}{Rs}.Ki$

-3régulateur régulateur de vitesse



Boucle de régulation de vitesse

La fonction de transfert du régulateur de vitesse est donnée par :

$$K_p+\frac{K_i}{P}=\frac{K_p}{P}(P+\frac{K_i}{K_p})$$

La fonction de transfert du système précédent en boucle ouverte pour C_r=0 est donnée par:

$$FTBO_{\Omega}=\frac{K_p}{P}(P+\frac{K_i}{K_p})\frac{1}{JP+f}$$

la fonction de transfert de la vitesse en boucle fermée est donnée par:

$$FTBF_{\Omega} = \frac{\Omega}{\Omega_{ref}} = \frac{K_p(P + \frac{K_i}{K_p})}{JP^2 + (f + K_p)P + K_i}$$

La $FTBF_{\Omega}$ possède une dynamique de $2^{ème}$ ordre, par identification à la forme canonique du

$2^{ème}$ ordre, l'équation caractéristique est représentée comme suit :

$$\frac{1}{{\omega_n}^2}P^2 + (\frac{2\zeta}{\omega_n})P + 1$$

Alors: $\frac{J}{K_i} = \frac{1}{{\omega_n}^2}$, $\frac{K_p + f_r}{K_i} = \frac{2\zeta}{\omega_n}$

Avec:

On choisit alors le coefficient d'amortissement ζ et ω_n

$$\mathbf{K_i = J{\omega_n}^2} \quad , \quad K_p = \frac{2\ \zeta\ K_i}{\omega_n} - f$$

Pour un coefficient d'amortissement $\xi = 1$ nous avons $\omega_n.trepw = 4.75$ Trepw=0.01

$$\begin{cases} K_i = J(\frac{4.75}{trepw})^2 = 451.25 \\ K_p = 2J(\frac{4.75}{trepw}) - f = 1.899 \end{cases}$$

Exercice 1

Les paramètres de la machine asynchrone sont :
rs=0.63 Ω ; rr=0.4 Ω ; Ls=0.097 H; Lr=0.091 H; M=0.091 H;F=0.001 N.m.s/rad ; J=0.22 kg m^2; p=2;
Dans la commande vectorielle directe en tension à flux rotorique orienté on obtient les équations suivant :

$$V_{ds} = Rs\, isd + \sigma ls \frac{disd}{dt} - \omega_s\, \sigma L_s\, isq \qquad , \qquad Vsq = Rs\, isd + \sigma ls \frac{disq}{dt} + \omega_s\, \sigma L_s\, isd + \omega_s \frac{M}{Lr}\phi r$$

$$\phi r = \frac{M\ isd}{1 + Tr.s} \qquad Ce = \frac{P\ M\ \phi r\ isd}{Lr} \qquad \varpi gl = \frac{M\ isq}{Tr\ \phi r} \qquad ce - cr = J\frac{d\Omega}{dt} + f\ \Omega$$

- déterminer les paramètres de régulateur de flux (kp,ki) avec t_{rp}=0.01s ,wn* t_{rp}=4.75 , $\xi = 1$ (t_{rp} :temps de réponse)
- utiliser les équations de tension rotorque et de flux rotorique dans le repère (α, β) pour construire l' estimateur de flux rotorique

Exercice 2

Les paramètres de la MASP sont : J=0.002 kg m^2 ; f=0.001 N.m.s/rad ;Ld=0.007 ;Lq=0.005 ;Rs=2 Ω ;fluxm=0.2 web ;P=3

Et le diagramme de la commande vectorielle de la MSAP donné par la figure suivant

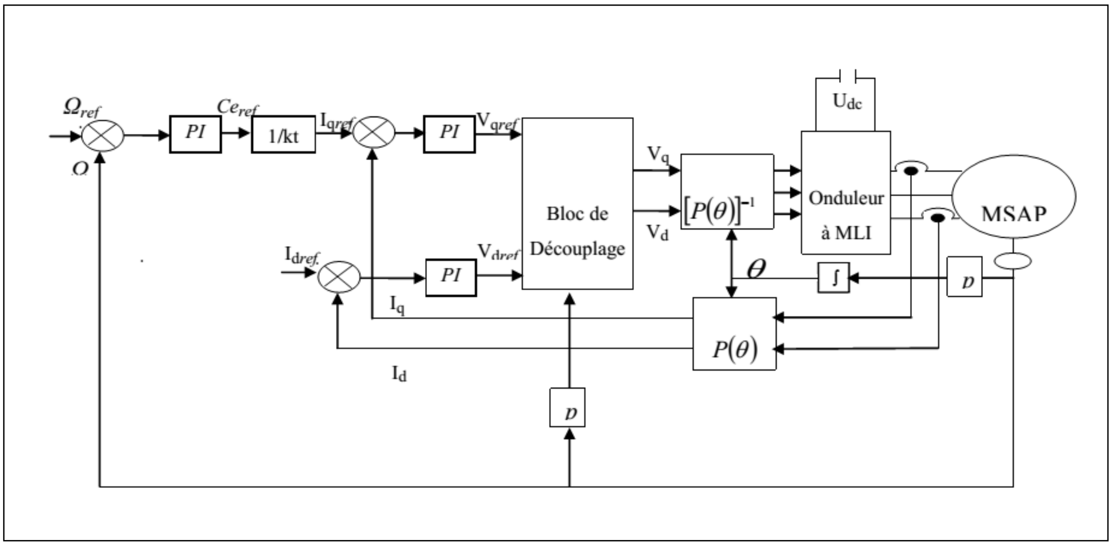


Figure (1): Diagramme de la commande vectorielle de la MSAP

1- calculer les valeurs du régulateur de la vitesse(kp,ki) avec Trepw=0.01 s , pour C_r=0 ,
wn* Trepw =4.75 , $\xi = 1$ (Trepw: temps de réponse de la vitesse)

2- calculer les valeurs des régulateur des courants-Pour : Trepi=0.02 s , (Trepi :temps de réponse des courants)

Corrigé type du l'exercice 1:

1 les paramètres de régulateur de flux (kp,ki) avec trop=0.01

A partir de : $\Phi_{rd} = \dfrac{M\ i_{sd}}{1+\tau_r s_r}$ et de : $isd = \dfrac{vsd1/R_s}{(1+\sigma\tau_S s)}$ on tire : $\Phi_{rd} = \dfrac{(M/Rs)vsd1}{(1+\tau_r s)(1+\sigma\tau_S s)}$

Le schéma de bloc de la régulation de flux rotorique est donné par la figure suivant

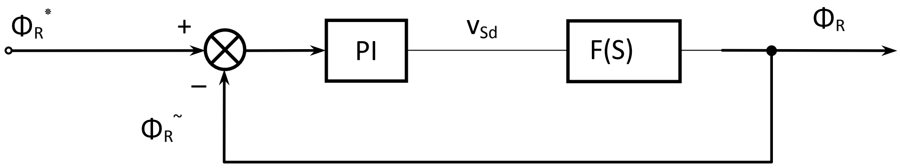


Schéma fonctionnel de régulation de flux rotorique

$$\Phi_{rd} = \frac{(M/Rs) * \frac{1}{\tau_r} * \frac{1}{\sigma\tau_S} vsd1}{(\frac{1}{\tau_r}+s)\left(\frac{1}{\sigma\tau_S}+s\right)} = \frac{k\phi * vsd1}{(\frac{1}{\tau_r}+s)\left(\frac{1}{\sigma\tau_S}+s\right)}$$

$$PI = \frac{kp(s+\frac{ki}{kp})}{s} = \frac{kp(s+\tau\Phi)}{s}$$

En compensons le pôle le plus lent par le numérateur de la fonction de transfert du régulateur ($\frac{ki}{kp} = \tau\Phi = \frac{1}{\tau r}$)

Après compensation, la fonction de transfert en boucle ouverte s'écrira alors :

$$FTBO(S) = \frac{k\phi * kp}{s\left(\frac{1}{\sigma\tau_S}+s\right)}$$

Donc : $FTBf(S) = \dfrac{k\phi * kp}{k\phi * kp + \frac{s}{\sigma\tau_S} + s^2} = \dfrac{1}{1+\frac{s}{k\phi * kp\sigma\tau_S} + \frac{1}{k\phi * kp}s^2}$

par identification à la forme canonique du 2ème ordre , $\dfrac{1}{1+\frac{2\xi}{\omega n}s+\frac{1}{\omega n^2}s^2}$

$$\frac{1}{k\phi * kp\sigma\tau_S} = \frac{2\xi}{\omega n}$$

$$k_p = \frac{\omega n}{2\xi\sigma\tau_s k\phi}$$

$$k_i = \frac{kp}{\tau_r}$$

$$\sigma = 1 - \frac{LsLr}{M^2} = 0.09$$

$$\tau_r = \frac{Lr}{rr} = 0.2225$$

$$\tau_s = \frac{Ls}{rs} = 0.1587$$

$$k\phi = (M/Rs) * \frac{1}{\tau_r} * \frac{1}{\sigma\tau_S} = 44.4444$$

kp = 374.0625

ki = 195.3602

2 -les équations de l'estimateur de flux rotorique .

$$\begin{cases} 0 = i_{s\alpha}.rr + \dfrac{d\Phi r\alpha}{dt} + \Phi r\beta.\omega_r \\ 0 = i_{s\beta}.rr + \dfrac{d\Phi r\beta}{dt} - \Phi r\alpha.\omega_r \end{cases} \quad \text{et} \quad \begin{cases} \Phi_{\alpha r} = L_r i_{\alpha r} + M\ i_{\alpha s} \\ \Phi_{\beta r} = L_r i_{\beta r} + M i_{\beta s} \end{cases}$$

Donc :

2

$$\begin{cases} \dfrac{d\Phi_{R\alpha}}{dt} = \dfrac{M}{\tau_r} i_{S\alpha} - \dfrac{1}{\tau_r}\Phi_{R\alpha} - \omega r\,\Phi_{R\beta} \\ \dfrac{d\Phi_{R\beta}}{dt} = \dfrac{M}{\tau_r} i_{S\beta} - \dfrac{1}{\tau_r}\Phi_{R\beta} - \omega r\,\Phi_{R\alpha} \end{cases} \quad \text{avec} \quad \tau_r = \frac{Lr}{rr}$$

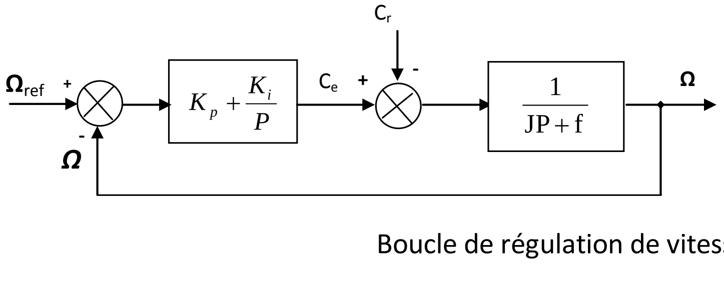
le modèle du flux est donné par:

$$\|\Phi_R\| = \sqrt{\Phi_{R\alpha}^2 + \Phi_{R\beta}^2}$$

et la position du flux donne par ; $\theta_S = arctg\left(\dfrac{\Phi_{R\beta}}{\Phi_{R\alpha}}\right)$

<u>**Corrigé type du l'exercice2:**</u>

1- régulateur de vitesse de la MSAP



Boucle de régulation de vitesse

La fonction de transfert du régulateur de vitesse est donnée par :

$$K_p + \frac{K_i}{P} = \frac{K_p}{P}(P + \frac{K_i}{K_p})$$

La fonction de transfert du système précédent en boucle ouverte pour $C_r=0$ est donnée par:

$$\mathrm{FTBO}_{\Omega} = \frac{K_p}{P}(P + \frac{K_i}{K_p})\frac{1}{JP+f}$$

la fonction de transfert de la vitesse en boucle fermée est donnée par:

$$\mathrm{FTBF}_{\Omega} = \frac{\Omega}{\Omega_{ref}} = \frac{K_p(P + \frac{K_i}{K_p})}{JP^2 + (f \;\; + K_p)P + K_i}$$

La $FTBF_{\Omega}$ possède une dynamique de $2^{ème}$ ordre, par identification à la forme canonique du $2^{ème}$ ordre, l'équation caractéristique est représentée comme suit :

$$\frac{1}{{\omega_n}^2}P^2 + (\frac{2\zeta}{\omega_n})P + 1$$

Alors: $\frac{J}{K_i} = \frac{1}{{\omega_n}^2}$, $\frac{K_p + f_r}{K_i} = \frac{2\zeta}{\omega_n}$

Avec:

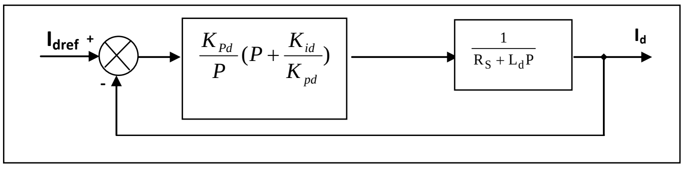
On choisit alors le coefficient d'amortissement ζ et ω_n

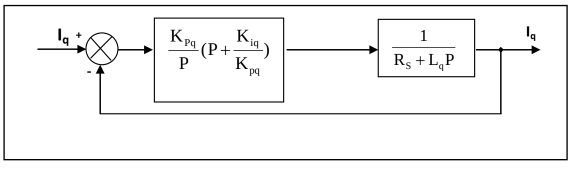
$$\mathbf{K_i = J{\omega_n}^2} \quad , \quad K_p = \frac{2\ \zeta\ K_i}{\omega_n} - f$$

Pour un coefficient d'amortissement $\xi = 1$ et $\omega_n.\mathrm{trepw} = 4.75$, Trepw=0.01

$$\begin{cases} K_i = J(\dfrac{4.75}{trepw})^2 = 451.25 \\ K_p = 2J(\dfrac{4.75}{trepw}) - f = 1.899 \end{cases}$$

2-Régulateur des courants-Pour : Trpi=0.02





Boucle de régulation du courant Id

Boucle de régulation du courant Iq.

En boucle ouverte :

FTBO : $$Ki(1+\frac{Kp}{Ki}s)\frac{1}{s}\frac{\frac{1}{Rs}}{1+\frac{Ld}{Rs}s}$$

Par compensation :

$$\frac{Kp}{Ki}=\frac{Ld}{Rs} \qquad \ldots\ldots\ldots.(1)$$

FTBO : $$\frac{Ki}{s}\frac{1}{Rs}$$

Donc en boucle fermé :

FTBF : $$\frac{\frac{Ki}{Rs}\frac{1}{s}}{1+\frac{Ki}{s.Rs}}=\frac{1}{s\frac{Rs}{Ki}+1}=\frac{1}{\tau s+1}$$

Avec :

$$\tau=\frac{Rs}{Ki} \quad \ldots\ldots.(2)$$

Le temps de réponse du courant **tropi =0.02=** τ

on considère le équation $\frac{Kp}{Ki}=\frac{Ld}{Rs}=Td$

donc

$T_d=\frac{L_d}{R_s}$ = 0.0035

$K_{iq}=\frac{R_s}{t_{rpi}}$ = **100**

$K_{pq} = K_{iq}.T_q$ = **0.3500**

$T_q=\frac{L_q}{R_s}$ = 0.0025

$K_{iq}=\frac{R_s}{t_{rpi}}$ = **100**

$K_{pq} = K_{iq}.T_q$ = **0.2500**