Université M'Hamed Bougera de Boumerdes
Faculté des Sciences de L'ingénieur
Département Maintenance Industrielle

جـــامعة أمــــحمد بــوقـــــــره بـــــومرداس
كليــــــــــة علـــــــــــوم المــــهنـــدس
قسم الصيـــــــــانة الصناعيـــة

Document non autorisé. **Enseignant : Dr. Rahmoune**
Durée: 1h 30 min امتحان في مادة : التحكم في الأنظمة الالكتروميكانيكية

EXAMEN EN COMMANDE DES ENTRAINEMENTS ELECTROMECANIQUES

Exercice 1 : (15 pts)

On veut contrôler la tension de la génératrice de la Fig.1. Le système de la Fig.1 est composé d'un moteur à courant continu, un réducteur de vitesse et une génératrice.

On donne : les Paramètres du moteur CC: $R=12\ \Omega$; $L=0.12$ H ; $J_{éq}= 4.\ 10^{-4}$Kg m; $K=1.2$ Nm/A

$E = K\Omega$ et $T_{em} = KI$. On néglige tous les couples résistants (frottements secs et visqueux).

$F(s) = \frac{U_2}{\Omega_2} = \frac{K_G}{(1+\tau_3 s)}$ avec $K_G= 12\ 10^{-3}$ et $\tau_3=0.001$. et $K_R = \frac{\Omega_2}{\Omega_1} = 0.1$

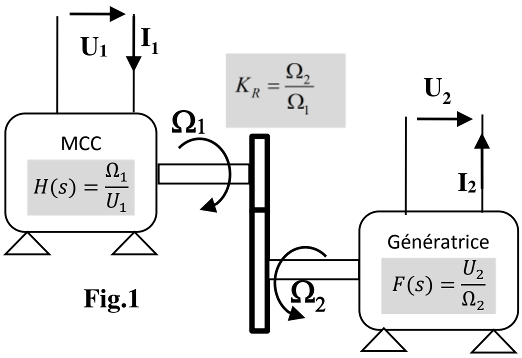


Fig.1

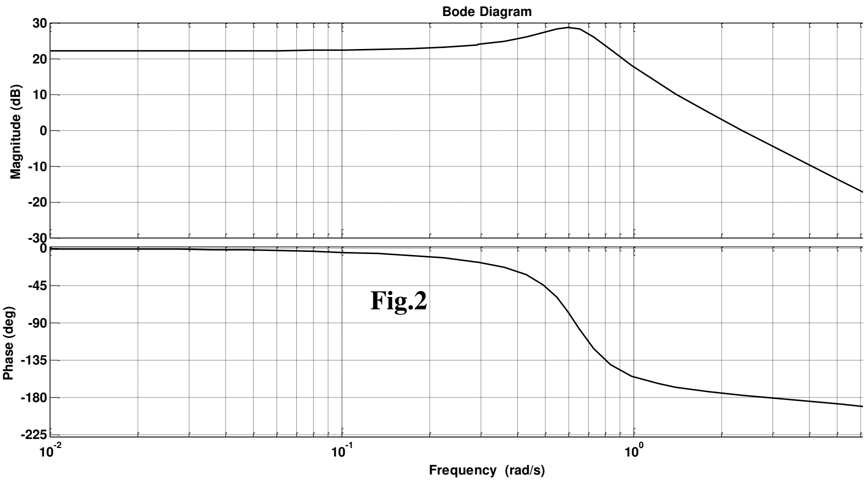


Fig.2

1. Modéliser le moteur à courant continu.
2. En utilisant la transformée de Laplace, démontrer que : $H_1(s) = \frac{I_1}{U_1} = \frac{J_{éq}s}{\left[LJ_{éq}\right]s^2 + \left[RJ_{éq}\right]s + \left[K^2\right]}$ et $H_2(s) = \frac{\Omega_1}{I_1} = \frac{K}{J_{éq}s}$
3. Déduire la fonction de transfert du moteur CC $H(s) = \frac{\Omega_1}{U_1}$.
4. Ecrire la fonction de transfert du moteur CC $H(s)$ sous la forme $\frac{A}{\tau_1\tau_2 s^2 + \tau_2 s + 1}$, calculer A, τ_1 et τ_2.

Par la suite on considère que : $\tau_1\tau_2 s^2 + \tau_2 s + 1 \simeq (\tau_1 s+1)(\tau_2 s+1)$

5. Représenter le schéma bloc du système électromécanique (moteur – réducteur – génératrice).
6. Déterminer la FTBO $= \frac{U_2}{U_1}$ du système électromécanique. En déduire les deux pôles dominants.

On veut contrôler la tension de la génératrice à partir du moteur, le régulateur utilisé est un régulateur PID.

7. Proposer un schéma de commande.
8. En utilisant la compensation des pôles, déterminer les paramètres du régulateur PID pour que le temps de réponse à 5% après une excitation échelon de tension soit le plus faible possible.
9. La Fig.2, représente La réponse fréquentielle de la FTBO. En utilisant la méthode de ZIEGLER – NICHOLS, déterminer les paramètres du régulateur PID.
10. Pour éviter des intensités élevées au niveau de l'induit du MCC, on utilise une régulation cascade en courant puis en tension. **Proposer un schéma de commande qui permet de contrôler le courant au niveau de l'induit.**

Questions de cours (5 pts)

On donne les équations de tensions et de flux régissant le comportement du moteur asynchrone triphasé dans le repère de Park.

$$\begin{cases} V_{ds} = R_s I_{ds} + \dfrac{d}{dt}\phi_{ds} - \omega_s \phi_{qs} \\ V_{qs} = R_s I_{qs} + \dfrac{d}{dt}\phi_{qs} + \omega_s \phi_{ds} \\ 0 = R_r I_{dr} + \dfrac{d}{dt}\phi_{dr} - \omega_r \phi_{qr} \\ 0 = R_r I_{qr} + \dfrac{d}{dt}\phi_{qr} + \omega_r \phi_{dr} \end{cases} \qquad \begin{cases} \phi_{ds} = L_s I_{ds} + M_{sr} I_{dr} \\ \phi_{qs} = L_s I_{qs} + M_{sr} I_{qr} \\ \phi_{dr} = L_r I_{dr} + M_{sr} I_{ds} \\ \phi_{qr} = L_r I_{qr} + M_{sr} I_{qs} \end{cases}$$

1. Donner l'objectif de la commande vectorielle à flux rotorique orienté.
2. Citer le principe de la commande vectorielle à flux rotorique orienté.
3. En utilisant l'orientation du flux rotorique, monter que : $\phi_{dr} = \dfrac{M_{sr}}{1 + \left(\dfrac{L_r}{R_r}\right)s} I_{ds}$

Université M'Hamed Bougera de Boumerdes
Faculté des Sciences de L'ingénieur
Département Maintenance Industrielle

جــامعة أمــــحمد بــوقـــــره بــــومرداس
كليـــــــة علـــــــــوم المـــهنــدس
قسم الصيـــــــانة الصناعية

Document non autorisé. **Enseignant : Dr. Rahmoune**

Durée: 1h 30 min

امتحان في مادة : التحكم في الأنظمة الالكتروميكانيكية

EXAMEN EN COMMANDE DES ENTRAINEMENTS ELECTROMECANIQUES

Exercice 1 : (15pts)

1. Modéliser le moteur à courant continu.

$$U(t)=RI(t)+L\frac{d}{dt}I(t)+E=RI(t)+L\frac{d}{dt}I(t)+K\Omega(t)\quad (0.25pts)\qquad J_{éq}\frac{d}{dt}\Omega(t)=T_{em}=J_{éq}\frac{d}{dt}\Omega(t)=KI(t)\quad (0.25pts)$$

2. En utilisant la transformée de Laplace, démontrer que: $H_1(s)=\frac{I_1}{U_1}=\frac{J_{éq}s}{[LJ_{éq}]s^2+[RJ_{éq}]s+[K^2]}$ $\qquad \mathrm{H}_2(s)=\frac{\Omega_1}{I_1}=\frac{K}{J_{éq}s}$

$$U_1(s)=(R+Ls)I_1(t)+K\Omega_1(s)\quad (0.5pts)\qquad J_{éq}s\Omega_1(s)=KI_1(s)\Rightarrow H_2(s)=\frac{K}{(J_{éq}s)}\quad (0.5pts)$$

$$U_1(s)=(R+Ls)I_1+\frac{K^2}{J_{éq}s}(s)=\left(\frac{(R+Ls)(J_{éq}s)+K^2}{J_{éq}s}\right)I_1(s)\Rightarrow H_1(s)=\frac{J_{éq}s}{[LJ_{éq}]s^2+[RJ_{éq}]s+[K^2]}\quad (0.5pts)$$

3. Déduire la fonction de transfert du moteur CC $H(s)=\frac{\Omega_1}{U_1}$.

$$H(s)=\frac{\Omega_1}{U_1}=H_1(s)\times\mathrm{H}_2(s)=\frac{K}{[LJ_{éq}]s^2+[RJ_{éq}]s+[K^2]}\qquad (0.5pts)$$

4. Ecrire la fonction de transfert du moteur CC $H(s)$ sous la forme $\frac{A}{\tau_1\tau_2 s^2+\tau_2 s+1}$,

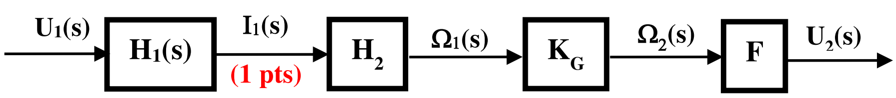
$$H(s)=\frac{\frac{1}{K}}{\left(\frac{LJ_{éq}}{K^2}\right)s^2+\left(\frac{RJ_{éq}}{K^2}\right)s+1}=\frac{A}{\tau_1\tau_2 s^2+\tau_2 s+1}(0.5pts)\Leftrightarrow\begin{cases}A=\frac{1}{K}\quad(0.5pts)\\ \tau_2=\frac{RJ_{éq}}{K^2}(0.5pts)\\ \tau_1\tau_2=\frac{LJ_{éq}}{K^2}\Rightarrow\tau_1=\frac{LJ_{éq}}{K^2}*\frac{1}{\tau_2}=\frac{L}{R}\ (0.5pts)\end{cases}\Rightarrow H(s)=\frac{\frac{1}{K}}{\left(\frac{L}{R}\right)\left(\frac{RJ_{éq}}{K^2}\right)s^2+\left(\frac{RJ_{éq}}{K^2}\right)s^2+1}(0.25pts)$$

Calculer A, τ_1 et τ_2.

$$\begin{cases}A=\frac{1}{1.2}=0.83\end{cases}\quad (0.25pts)\qquad \tau_1=\frac{0.12}{12}=0{,}01\quad (0.25pts)\qquad \tau_2=\frac{(12\times 4.10^{-4})}{(1.2)^2}=0{,}003\quad (0.25pts)$$

Par la suite on considère que $\tau_1\tau_2 s^2+\tau_2 s+1\simeq(\tau_1 s+1)(\tau_2 s+1)$

5. Représenter le schéma bloc du système électromécanique (moteur – réducteur – génératrice).

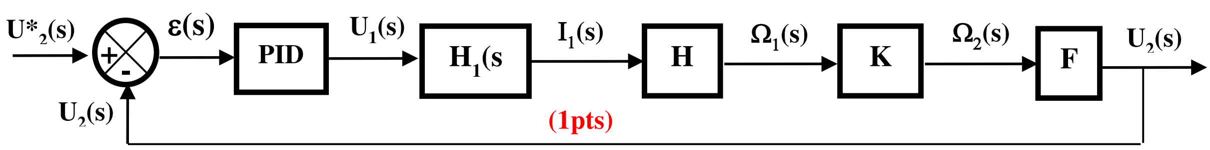


6. Déterminer la FTBO.

$$FTBO=H_1(s)\times H_2(s)\times K_R\times F(s)=\frac{AK_GK_R}{(\tau_1 s+1)(\tau_2 s+1)(\tau_3 s+1)}=\frac{10^{-3}}{(0.01s+1)(0.003s+1)(0.001s+1)}\qquad (0.5pts)$$

On a $\tau_1>\tau_2>\tau_3$ Les pôles dominant sont donc $\tau_1\ et\ \tau_2$

7. Proposer un schéma de commande.



8. En utilisant la compensation des pôles, déterminer les paramètres du régulateur PID pour que le temps de réponse à 5% après une excitation échelon de tension soit le plus faible possible.

La fonction de transfert du régulateur PID est $C(s) = K_C\left(\dfrac{1+T_i s + T_i T_d s^2}{T_i s}\right)$ $\quad(0.25pts)$

La compensation des pôles $1+T_i s + T_i T_d s^2 = \tau_1\tau_2 s^2 + \tau_2 s + 1 \Rightarrow \begin{cases} T_i = \tau_2 \\ T_d = \tau_1 \end{cases}$ $\quad(1pts)$

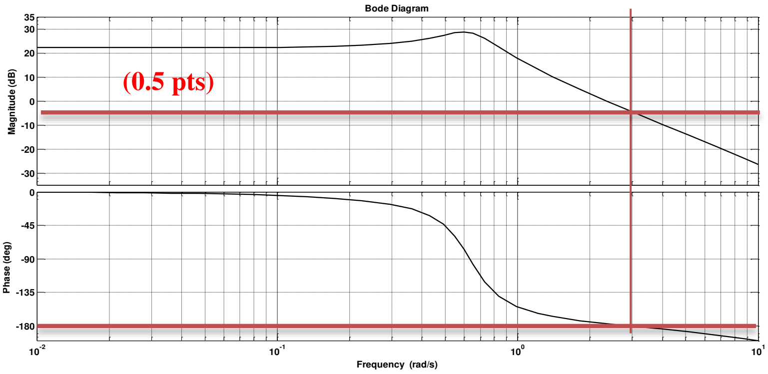
La nouvelle FTBO : $FTBO' = C(s)\times FTBO = K_C\left(\dfrac{1+T_i s + T_i T_d s^2}{T_i s}\right)\dfrac{AK_R K_G K_C}{(\tau_1\tau_2 s^2 + \tau_2 s + 1)(\tau_3 s + 1)} = \dfrac{AK_R K_G K_C}{\tau_2 s(\tau_3 s + 1)}$ $\quad(0.5pts)$

$$FTBF = \frac{1}{\dfrac{\tau_2\tau_3}{AK_R K_G K_C}s^2 + \dfrac{\tau_2}{AK_R K_G K_C}s + 1} = \frac{1}{\dfrac{0{,}003}{K_C}s^2 + \dfrac{3}{K_C}s + 1} \Rightarrow \left\{ \frac{1}{\omega_n^2} = \frac{0{,}003}{K_C} \quad (0.5pts) \quad et \quad \frac{2\xi}{\omega_n} = \frac{3}{K_C} \quad (0.5pts) \right.$$

$$\Rightarrow \frac{4\xi^2}{\omega_n^2} = \frac{9}{K_C^2} \Rightarrow \xi^2 = \frac{\omega_n^2 9}{4K_C^2} = \frac{9\dfrac{K_C}{0.003}}{4\times K_C^2} = \frac{750}{K_C} \Rightarrow \mathrm{K_c} = \frac{750}{\xi^2} \quad (0.5pts)$$

temps de réponse à 5% après une excitation échelon de tension soit le plus faible possible $\Rightarrow \xi = 0.7 (0.5pts) \Rightarrow \mathrm{K_c} = 1530{,}61 (0.25pts)$

La figure 2, représente La réponse fréquentielle de la FTBO. En utilisant la méthode de ZIEGLER – NICHOLS, déterminer les paramètres du régulateur PID.



$\omega_\pi = 3rd/\sec \Rightarrow T_{cr} = \dfrac{2\pi}{3} (0.25pts)$

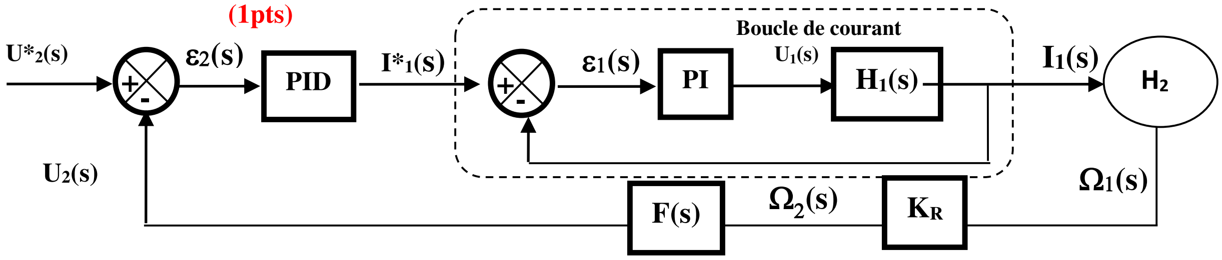
$20\log_{10}(G_\pi) = -5dB \Rightarrow G_\pi = 10^{-\frac{5}{20}} \Rightarrow K_{cr} = \dfrac{1}{G_\pi} = 10^{\frac{5}{20}} (0.5pts)$

Type	K_c	T_i	T_d
PID	0.6Kcr	0.5Tcr	0.125Tcr
	1.06	$\dfrac{\pi}{3}$	$\dfrac{\pi}{12}$

(0.75 pts)

9. Proposer un schéma de commande qui permet de contrôler le courant au niveau de l'induit.

(1pts)



Exercice 2 (5 pts)

1. ramener le commande de la MAS similaire à la commande du MCC **(1 pts)**
2. le principe de commande vectorielle à flux rotorique orienté est d'annuler Φ_{Rq}. La stratégie consistera donc à contrôler de façon indépendante le terme de flux et le terme de courant **(1 pts)**
3. En utilisant l'orientation du flux rotorique, monter que : $\phi_{dr} = \dfrac{M_{sr}}{1+\left(\dfrac{L_r}{R_r}\right)s} I_{ds}$

$\phi_{qr} = 0 \quad$ (1 pts)

$$\Rightarrow \begin{cases} \phi_{dr} = L_r I_{dr} + M_{sr} I_{ds} \\ 0 = R_r I_{dr} + \dfrac{d}{dt}\phi_{dr} \end{cases} \Rightarrow \phi_{dr} = -\frac{L_r}{R_r}\frac{d}{dt}\phi_{dr} + M_{sr} I_{ds} \Leftrightarrow \phi_{dr} + \frac{L_r}{R_r}\frac{d}{dt}\phi_{dr} = M_{sr} I_{ds} \text{ (1 pts)}$$

$$\left(1+\frac{L_r}{R_r}s\right)\phi_{dr} = M_{sr} I_{ds} \Rightarrow \phi_{dr} = \frac{M_{sr}}{\left(1+\dfrac{L_r}{R_r}s\right)} I_{ds} \text{ (1 pts)}$$