

TD N° 04

Exercice N° 01 :

Soit le modèle vectoriel d'une MAS dans un repère tournant « T » avec une vitesse angulaire ω_{obs} constante.

$$\begin{cases} \bar{V}_s = R_s \bar{I}_s + \frac{d\bar{\Phi}_s}{dt} + j\omega_{obs} \bar{\Phi}_s \\ 0 = R_r \bar{I}_r + \frac{d\bar{\Phi}_r}{dt} + j(\omega_{obs} - \omega) \bar{\Phi}_r \end{cases} \quad (\text{éq. aux tensions stator + rotor})$$

$$\begin{cases} \bar{\Phi}_s = L_s \bar{I}_s + M \bar{I}_r \\ \bar{\Phi}_r = L_r \bar{I}_r + M \bar{I}_s \end{cases} \quad (\text{éq. aux flux stator + rotor})$$

1. Donner la condition sur ω_{obs} pour que le repère « T » se coïncide avec le repère du :
 - a- stator (α, β)
 - b. rotor (u,v).
 - c. synchronisme (d,q).
 2. Projeter ces équations sur le repère (d,q).
 3. Donner les conditions sur les composantes du flux Φ_r (Φ_{dr}, Φ_{qr}), pour avoir une orientation du flux rotorique selon l'axe d.
 4. Donner les nouvelles équations aux tensions de la commande $V_{ds}=f(I_{ds}, I_{qs}, \Phi_r)$ et $V_{qs}=f(I_{qs}, I_{ds}, \Phi_r)$
 5. Donner l'équation de la variation du flux issue de I_{ds} dans les deux régimes transitoires et permanent, quel est le paramètre essentiel dans cette équation, déterminer sa formule.
 6. Donner l'équation de l'autopilotage, celle reformulant la vitesse angulaire $\omega_s = \omega + \omega_r$, où son angle θ_s utilisé par la transformation Park.
 7. En déduire l'équation du couple électromagnétique issue de I_{qs} .
 8. Sur Simulink, établir le schéma bloc de la commande vectorielle indirect, avec une régulation IP de la vitesse, à partir de :
 - * **Boucle de couple Ce** : la sortie du régulateur de vitesse détermine le couple de référence qui est comparée au couple déterminé par (7), sert d'entrée au régulateur de couple et a comme sortie la tension de référence V_{qs-ref} , celle-ci est l'entrée de la transformée de Park(θ_s)=2/3, qui sollicite la machine.
 - * **Boucle de flux** Φ_r : un consigne de flux est donnée Φ_{r-ref} qui est comparée au flux obtenu par (5) et sert d'entrée pour le régulateur de flux et aura comme sortie la tension de référence V_{ds-ref} , celle-ci est l'entrée de la transformée de Park(θ_s)=2/3, qui sollicite la machine.
 - * **l'angle θ_s est calculé à partir de (6)**, $\omega_s = \omega + \omega_r$.
- ω_s : pulsations des tensions statoriques.
 ω_r : pulsation des courants rotoriques.
 ω : pulsation mécanique.

- Donner les allures de la tension (V_{sa}), vitesse (ω), couple (C_e), les courants I_{ds} et I_{qs} .

N.B : Le Modèle de la MAS avec les transformations biphasées et triphasées directes et inverses est utilisé au premier TP (S1), ce modèle servira comme enterrée au TP 3 (CVIOR).

Solution TD N° 04

Exercice N° 01

1. a- stator (α, β) $\Rightarrow \omega_{obs}=0$, b. rotor (u,v) $\Rightarrow \omega_{obs}=\omega$, c. synchronisme (d,q) $\Rightarrow \omega_{obs}=\omega_s$

2. projection sur l'axe (d,q) :

Equations aux tensions :

Equations aux flux :

$$V_{ds} = R_s I_{ds} + \frac{d\Phi_{ds}}{dt} - \omega_s \Phi_{qs} \quad (1)$$

$$V_{qs} = R_s I_{qs} + \frac{d\Phi_{qs}}{dt} + \omega_s \Phi_{ds} \quad (2)$$

$$0 = R_r I_{dr} + \frac{d\Phi_{dr}}{dt} - (\omega_s - \omega) \Phi_{qr} \quad (3)$$

$$0 = R_r I_{qr} + \frac{d\Phi_{qr}}{dt} + (\omega_s - \omega) \Phi_{dr} \quad (4)$$

$$\Phi_{ds} = L_s I_{ds} + M I_{dr} \quad (1')$$

$$\Phi_{qs} = L_s I_{qs} + M I_{qr} \quad (2')$$

$$\Phi_{dr} = L_r I_{dr} + M I_{ds} \quad (3')$$

$$\Phi_{qr} = L_r I_{qr} + M I_{qs} \quad (4')$$

3. La condition pour la (CVOFR) est : Φ_r ($\Phi_{dr} = \Phi_r = cte$, $\Phi_{qr} = 0$).

4. les nouvelles équations aux tensions de la commande sont, pour V_{ds} $V_{ds}=f(I_{ds}, I_{qs}, \Phi_r)$, en remplaçant (1') et (2') dans (1) :

$$V_{ds} = R_s I_{ds} + \frac{d\Phi_{ds}}{dt} - \omega_s \Phi_{qs} = R_s I_{ds} + \frac{d(L_s I_{ds} + M I_{dr})}{dt} - \omega_s (L_s I_{qs} + M I_{qr}) \quad (5)$$

En remplaçant I_{dr} et I_{qr} par leurs expressions, de (3') $I_{dr} = (\Phi_{dr} - M I_{ds}) / L_r$

$$\text{de (4')} \quad I_{qr} = (\Phi_{qr} - M I_{qs}) / L_r = -M I_{qs} / L_r$$

dans (5) et après arrangement :

$$V_{ds} = R_s I_{ds} + \sigma L_s \frac{dI_{ds}}{dt} + \frac{M}{L_r} \frac{d\Phi_r}{dt} - \omega_s \sigma L_s I_{qs} \quad (6)$$

Avec $\sigma = 1 - \frac{M^2}{L_r L_s}$: coefficient de dispersion de la machine (coefficient de Blondel).

De même pour la deuxième équation du stator (2), on cherche $V_{qs}=f(I_{qs}, I_{ds}, \Phi_r)$, on remplace (1') et (2') dans (2) :

$$V_{qs} = R_s I_{qs} + \frac{d\Phi_{qs}}{dt} + \omega_s \Phi_{ds} = R_s I_{qs} + \frac{d(L_s I_{qs} + M I_{qr})}{dt} + \omega_s (L_s I_{ds} + M I_{dr}) \quad (7)$$

En remplaçant I_{dr} et I_{qr} par leurs expressions dans (7) et après arrangement on trouve :

$$V_{qs} = R_s I_{qs} + \sigma L_s \frac{dI_{qs}}{dt} + \omega_s \frac{M}{L_r} \Phi_r + \omega_s \sigma L_s I_{ds} \quad (8)$$

5. le flux : Pour le rotor, éq (3) $V_{dr}=0$, On remplace les flux (Φ_r ($\Phi_{dr} = \Phi_r$, $\Phi_{qr} = 0$), dans (3) :

$$V_{dr} = 0 = R_r I_{dr} + \frac{d\Phi_{dr}}{dt} - (\omega_s - \omega) \Phi_{qr} = R_r I_{dr} + \frac{d\Phi_{dr}}{dt} \Rightarrow I_{dr} = -\frac{1}{R_r} \frac{d\Phi_{dr}}{dt}$$

en remplaçant dans l'équation du flux (3') : $\Phi_{dr} = L_r I_{dr} + M I_{ds} = L_r \left(-\frac{1}{R_r} \frac{d\Phi_{dr}}{dt} \right) + M I_{ds} \Rightarrow$

$$T_r \frac{d\Phi_{dr}}{dt} + \Phi_{dr} = M I_{ds} \Rightarrow \Phi_{dr} = \frac{M I_{ds}}{1 + T_r \cdot S} \quad (9)$$

Eq. Diff. 1^{er} ordre donnant le flux. Pour le régime permanent $\Phi_{dr}^* = \Phi_{dr} = M I_{ds}$

Le paramètre essentiel dans (9) est $T_r = L_r / R_r$. il détermine la rapidité de la réponse du flux.

6. l'autopilotage : De même pour la deuxième équation du rotor (4), $V_{qr} = 0$, $\Phi_{qr} = 0$:

$$0 = R_r I_{qr} + \frac{d\Phi_{qr}}{dt} + (\omega_s - \omega) \Phi_{dr} \Rightarrow R_r I_{qr} + \omega_r \Phi_{dr} = 0 \quad (10)$$

de l'équation du flux : $\Phi_{qr} = 0 = L_r I_{qr} + M I_{qs} \Rightarrow I_{qr} = -\frac{M}{L_r} I_{qs}$ en remplaçant dans (10) on aura :

$$R_r \left(-\frac{M}{L_r} I_{qs} \right) + \omega_r \Phi_{dr} = 0 \Rightarrow \omega_r = R_r \left(\frac{M}{L_r \cdot \Phi_{dr}} \right) I_{qs} \Rightarrow$$

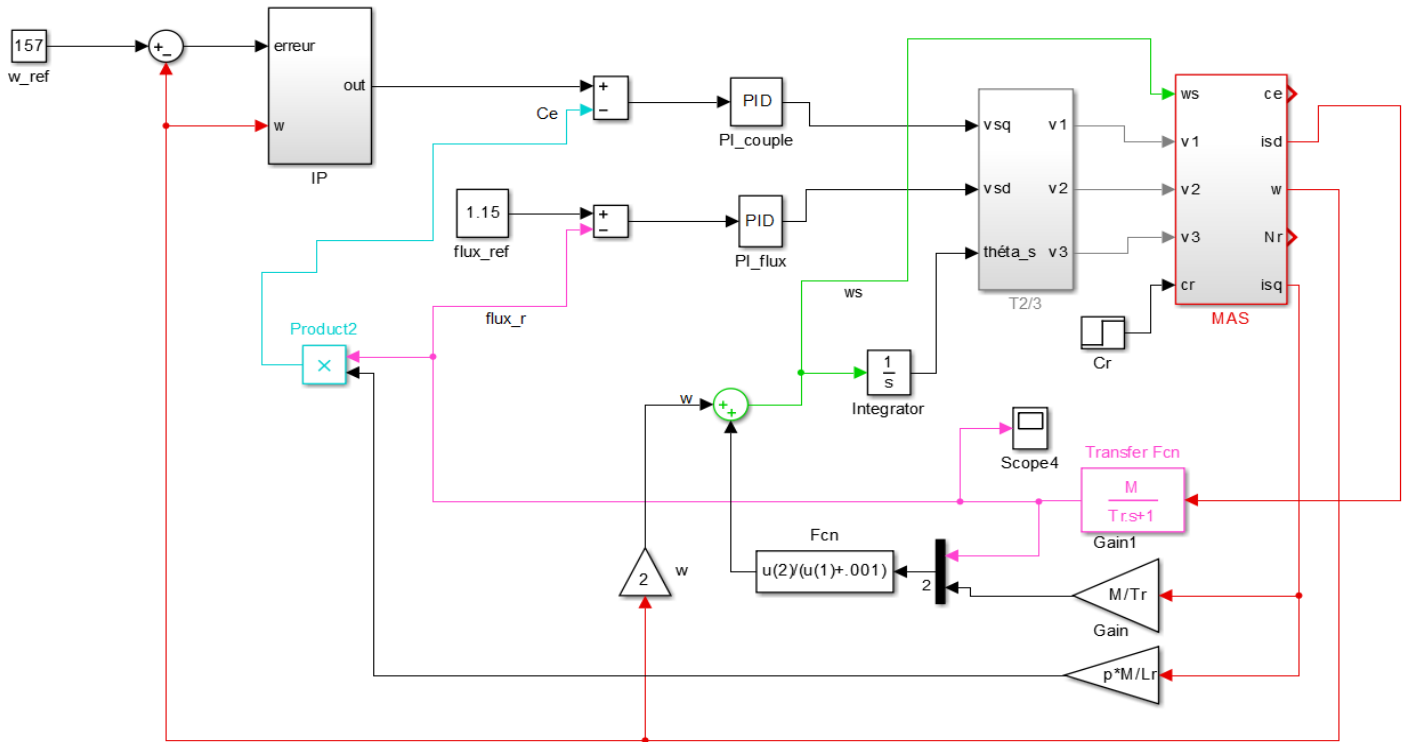
$$\omega_r = \omega_s - \omega = \frac{M}{T_r} \frac{I_{qs}}{\Phi_r} \Rightarrow \omega_s = \omega_r + \omega = \omega + \frac{M}{T_r} \frac{I_{qs}}{\Phi_r} \quad (11)$$

D'où l'angle θ_s est : $\frac{d\theta_s}{dt} = \omega_s = \omega_r + \omega = \omega + \frac{M}{T_r} \frac{I_{qs}}{\Phi_r} \Rightarrow \theta_s = \int \left(\omega + \frac{M}{T_r} \frac{I_{qs}}{\Phi_r} \right) dt$

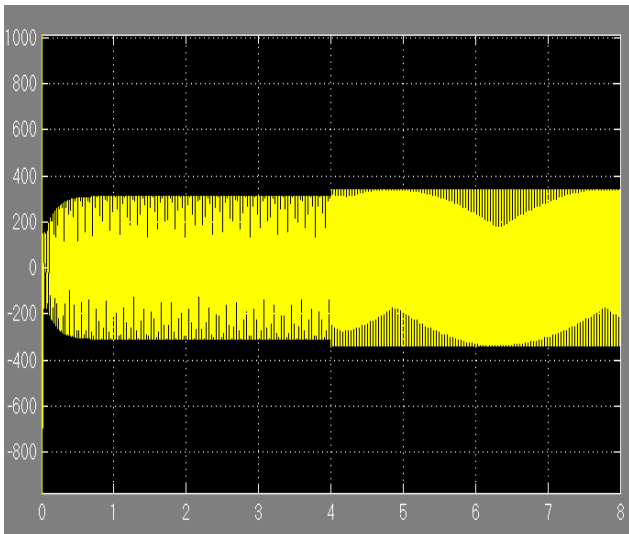
7. Sachant que le couple électromagnétique est :

$$C_e = \frac{pM}{L_r} (\Phi_{dr} I_{qs} - \Phi_{qr} I_{ds}) \quad \text{se réduira à :} \quad C_e = p \frac{M}{L_r} \Phi_r I_{qs} \quad (12)$$

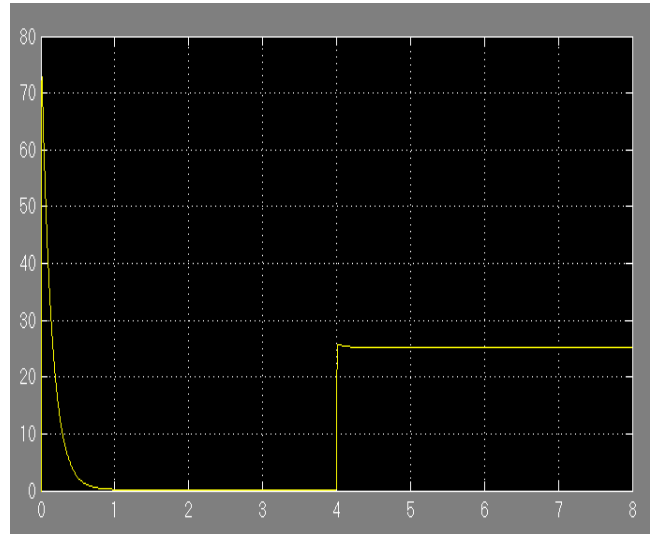
9. Schéma bloc de la régulation



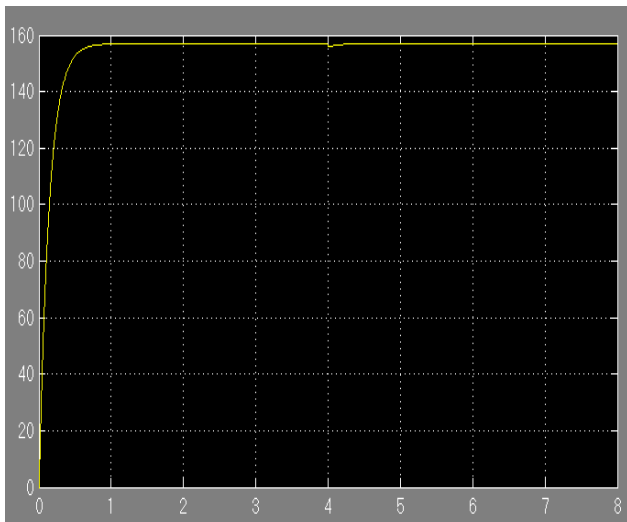
Les courbes issues de la simulation :



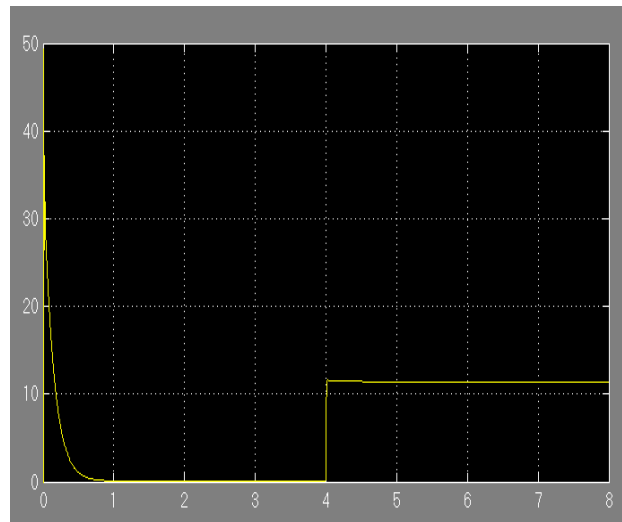
La tansion Vsa



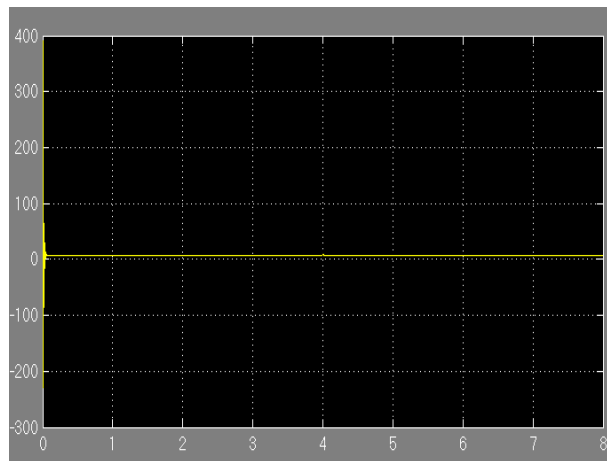
Le couple



La vitesse



Le courant Iqs



Le courant Ids

```
%Data
```

```
Rs=1.2;Rr=1.8;Ls=0.1568;Lr=Ls;M=0.15;p=2;J=0.07;f=0.001;z=1;fl=.6;
```

```
D=Ls*Lr-M^2;
```

```
ass=Lr/D;arr=Ls/D;asr=-M/D;
```

```
ass=Lr/D;arr=Ls/D;asr=-M/D;
```

```
sig=1-M^2/(Ls*Lr);
```

```
Tr=Lr/Rr
```

```
kf=M/(sig*Ls*Tr);
```

```
w0=Rs/(2*z*sig*Ls);
```

```
kpf=w0^2/kf;
```

```
kpf=w0^2/kf;
```

```
kif=kpf/Tr;
```

```
kc=p*M*fl/(Lr*sig*Ls);
```

```
kpc=10/kc
```

```
kic=kpc*Rs/(Ls*sig)
```

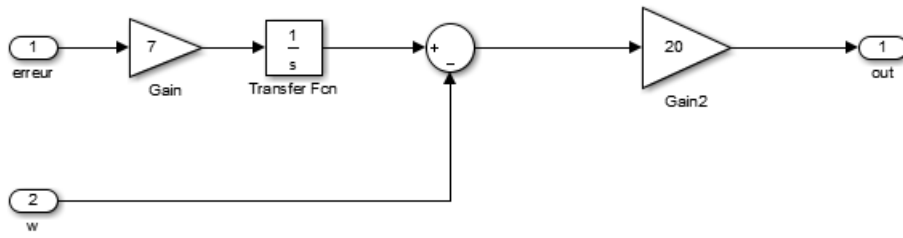
```
kiv=J
```

```
kpv=2*J-f
```

```
.....
```

```
Paramètres PI_Ce : 290*kpc et kic
```

```
Paramètres PI_flux : 250*kpf et 250*kif
```



Régulateur de vitesse à structure IP