

TP n°1

Modélisation de la MAS et de son alimentation

Le but de ce TP est de préparer un modèle de simulation de la machine asynchrone, qu'on doit l'utiliser par la suite, dans la commande de la machine.

Rappel théorique :

Les équations électriques du stator et du rotor de la machine asynchrone sont données par :

$$[V_{abcs}] = r_s [I_{abcs}] + \frac{d}{dt} [\phi_{abcs}] \quad ; \quad [0] = r_r [I_{abcr}] + \frac{d}{dt} [\phi_{abcr}] \quad (1)$$

L'application de la transformation de Park sur ces équations permet d'obtenir un système de 2 équations statoriques et deux équations rotoriques :

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \phi_{qs} &= v_{qs} - r_s i_{qs} - \omega \phi_{ds} \\ \frac{d}{dt} \phi_{ds} &= v_{ds} - r_s i_{ds} + \omega \phi_{qs} \\ \frac{d}{dt} \phi_{qr} &= -r_r i_{qr} - (\omega - \omega_r) \phi_{dr} \\ \frac{d}{dt} \phi_{dr} &= -r_r i_{dr} + (\omega - \omega_r) \phi_{qr} \end{aligned} \quad (2)$$

avec :

$v_{ds}, v_{qs}, i_{ds}, i_{dr}, i_{qr}, \Phi_{ds}, \Phi_{qs}, \Phi_{dr}, \Phi_{qr}$: les composantes de Park des tensions, courants et flux ;
 ω : pulsation de la transformation triphasé-biphasé;
 $\omega_r = \Omega \cdot p$: Ω c'est la vitesse rotorique et p le nombre des paires de pôles.

La partie mécanique de la machine est modélisée par l'équation suivante :

$$\frac{d}{dt} \Omega = (c_{em} - c_r) / J \quad (4)$$

Avec :

J : moment d'inertie ; C_r : couple résistant de la machine ;
 C_{em} : Couple moteur :

$$c_{em} = \frac{p L_m}{L_r} (\phi_{dr} i_{qs} - \phi_{qr} i_{ds}) \quad (5)$$

Simulation numérique :

1. Machine alimentée par tensions sinusoïdales

On simule le fonctionnement de la machine alimentée directement par un système triphasé des tensions sinusoïdales.

- Réaliser un bloc Simulink représentant la machine asynchrone. Utiliser le bloc « Asynchronous Machine SI Unites » de la bibliothèque « Simpowersystems\Machines ». Double cliquer sur le bloc. Dans l'onglet « Configuration » Choisir un rotor à cage d'écureuil « Squirrel Cage » dans « Rotor type ».
- Dans l'onglet « Parameters », introduire les paramètres suivantes de la machine :
 $R_s=4.58\Omega$; $R_r=3.805\Omega$; $L_s=0.016$ H; $L_r=0.016$ H; $L_m=0.274$ H; $J=0.031$ kg.m², $f=0$ N.m.S,
 $P=2$, $P_n=2000$ W, $V_n=380$ V ; $f_n=50$ Hz.
- A l'aide d'un bloc 'bus selector », faire sortie les variables suivantes de la machine : i_{ds} , i_{qs} , i_{dr} , i_{qr} , i_{sa} , ϕ_{qr} , ϕ_{dr} , T_e et ω_m .
- A l'entrée de la machine, placer trois tensions d'alimentation sinusoïdales de la forme suivante :

$$v_a = V_{\max} \sin(\omega_s t); \quad v_b = V_{\max} \sin(\omega_s t - 2\pi / 3); \quad v_c = V_{\max} \sin(\omega_s t + 2\pi / 3)$$
avec : $V_{\max} = 200\sqrt{2}$; $\omega_s = 2\pi f$; $f = 50$ Hz
- Appliquer un couple de charge nul (0 N.m) sur l'entrée T_m de la machine.

a. Repère biphasé lié au stator. Le repère lié au stator correspond à $\omega = 0$

- ❖ Simuler le modèle réalisé entre 0 et 2 secondes.
- ❖ Visualiser les composantes des courants i_{ds} , i_{qs} , i_{dr} et i_{qr} , les composantes des flux Φ_{ds} , Φ_{qs} , Φ_{dr} et Φ_{qr} , le courant de la phase a statorique (i_{as}), le couple électromagnétique C_{em} et la vitesse mécanique Ω . Quelles sont vos remarques et conclusions ?
- ❖ Effectuer l'analyse harmonique de i_{as} . Indique le THD et l'amplitude du fondamentale.
- ❖ Indiquer la valeur de la vitesse et du couple en régime permanent.
- ❖ Indiquer la valeur maximale du couple
- ❖ Indiquer le temps nécessaire pour que la vitesse atteigne sa valeur en régime permanent.

b. Repère biphasé lié au champs magnétique tournant : Ce repère correspond à $\omega = \omega_s$

- ❖ Simuler le modèle réalisé entre 0 et 2 secondes.
- ❖ Visualiser les composantes des courants i_{ds} , i_{qs} , i_{dr} et i_{qr} , les composantes des flux Φ_{ds} , Φ_{qs} , Φ_{dr} et Φ_{qr} , le courant de la phase a statorique (i_{as}), le couple électromagnétique C_{em} et la vitesse mécanique Ω . Comparer les formes obtenues avec celle de la partie 1.a.

c. Application d'un couple de charge :

- ❖ On impose un couple de charge de la forme suivante :

$$c_r = \begin{cases} 0 & \text{si } t \leq 1 \text{ seconde} \\ 10 \text{ N.m} & \text{si } t > 1 \text{ seconde} \end{cases}$$

- ❖ Simuler le modèle réalisé entre 0 et 2 secondes.
- ❖ Quelles sont vos remarques et conclusions concernant la forme de i_{as} , c_{em} et Ω ?

2. Machine alimentée à travers un onduleur MLI

On simule le fonctionnement de la machine alimentée à travers un onduleur commandé en MLI

- A l'entrée de la machine, placer un bloc d'un onduleur triphasé de tension, ainsi qu'un bloc de la commande en MLI triangulo-sinusoïdale de cet onduleur (figure 1). La tension continue à l'entrée de l'onduleur est $v_{dc}=600$ v.

- Générer les signaux de commande des interrupteurs en comparant trois tensions de référence sinusoïdale et un signal de porteuse triangulaire.
- Appliquer un couple de charge nul (0 N.m) sur l'entrée T_m de la machine.

d. Repère biphasé lié au stator. Le repère lié au stator correspond à $\omega = 0$

- ❖ Simuler le modèle réalisé entre 0 et 2 secondes.
- ❖ Visualiser les composantes des courants i_{ds} , i_{qs} , i_{dr} et i_{qr} , les composantes des flux Φ_{ds} , Φ_{qs} , Φ_{dr} et Φ_{qr} , le courant de la phase a statorique (i_{as}), le couple électromagnétique C_{em} et la vitesse mécanique Ω . Comparer les formes obtenues avec celle de la partie 1.a.
- ❖ Effectuer l'analyse harmonique de i_{as} . Indique le THD et l'amplitude du fondamentale. Comparer avec l'analyse harmonique du courant dans la partie 1.a
- ❖ Indiquer la valeur de la vitesse et du couple en régime permanent.
- ❖ Indiquer la valeur maximale du couple
- ❖ Indiquer le temps nécessaire pour que la vitesse atteigne sa valeur en régime permanent.

e. Repère biphasé lié au champs magnétique tournant : Ce repère correspond à $\omega = \omega_s$

- ❖ Simuler le modèle réalisé entre 0 et 2 secondes.
- ❖ Visualiser les composantes des courants i_{ds} , i_{qs} , i_{dr} et i_{qr} , les composantes des flux Φ_{ds} , Φ_{qs} , Φ_{dr} et Φ_{qr} , le courant de la phase a statorique (i_{as}), le couple électromagnétique C_{em} et la vitesse mécanique Ω . Comparer les formes obtenues avec celle de la partie 2.a.

f. Application d'un couple de charge :

- ❖ On impose un couple de charge de la forme suivante :

$$c_r = \begin{cases} 0 & \text{si } t \leq 1 \text{ seconde} \\ 10 \text{ N.m} & \text{si } t > 1 \text{ seconde} \end{cases}$$

- ❖ Simuler le modèle réalisé entre 0 et 2 secondes.
- ❖ Quelles sont vos remarques et conclusions concernant la forme de i_{as} , c_{em} et Ω ?

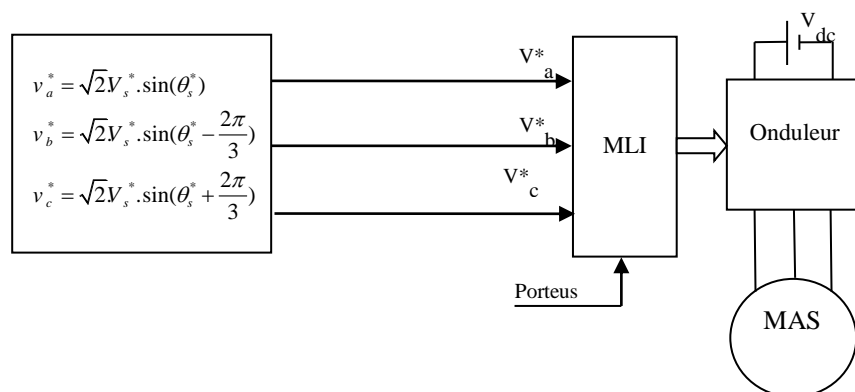


Figure 1

TP n°2

Commande scalaire de la MAS

La commande scalaire est basée sur le contrôle de la machine asynchrone en tenant compte du module de son flux, et non pas de sa position angulaire. Son principe est de maintenir constant le rapport V/f (tension d'alimentation/fréquence d'alimentation), ce qui signifie garder le flux constant. De cette manière, le contrôle du couple se fait par l'action sur le glissement. Il existe plusieurs variantes de la commande scalaire selon le type d'alimentation de la machine (en tension ou en courant) et selon la boucle de réglage (ouverte ou fermée).

Le but de ce TP et de simuler la commande scalaire à v/f constant -en boucle ouverte puis en boucle fermée- de la machine asynchrone alimentée par un onduleur triphasé de tension commandé en MLI.

a. Commande scalaire en boucle ouverte :

Le schéma de la commande en boucle ouverte de la machine asynchrone est indiqué à la fig.1. La pulsation synchrone ω_s^* est la grandeur de référence. Elle est approximativement égale à la vitesse électrique du rotor. L'amplitude de la tension de phase $V_s^*_{\max}$ se déduit en multipliant ω_s^* par un facteur G , pour garder le flux constant. Une tension faible V_0 est ajoutée à V_s^* pour compenser la chute de tension dans la résistance du stator. On obtient ainsi V_s^* . A partir de V_s^* et ω_s^* on déduit les expressions des tensions triphasées de référence.

1. Réaliser un bloc Simulink représentant la machine asynchrone. Utiliser le bloc « Asynchronous Machine SI Unites » de la bibliothèque « Simpowersystems\Machines ». Double cliquer sur le bloc. Dans l'onglet « Configuration » Choisir un rotor à cage d'écureuil « Squirrel Cage » dans « Rotor type ». Dans l'onglet « Parameters », introduire les paramètres suivantes de la machine : $R_s=4.58\Omega$; $R_r=3.805\Omega$; $L_s=0.016$ H ; $L_r=0.016$ H ; $L_m=0.274$ H ; $J=0.031$ kg.m², $f=0$ N.m.S, $P=2$, $P_n=2000$ W, $V_n=380$ V ; $f_n=50$ Hz.

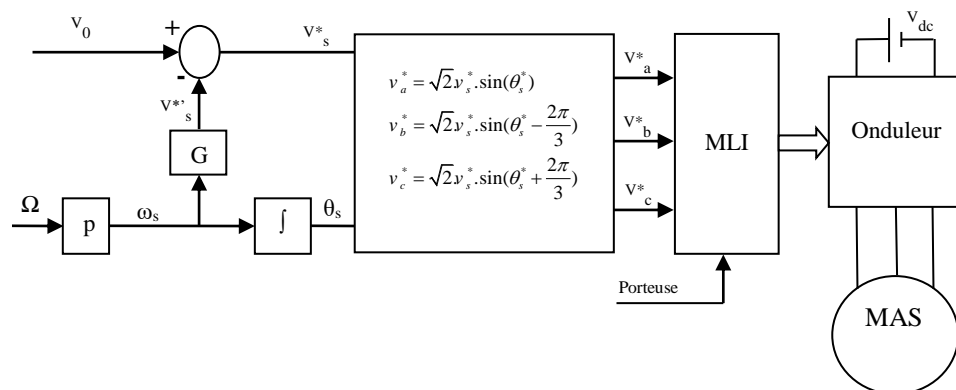


Fig.1. Commande scalaire en boucle ouverte.

A l'aide d'un bloc 'bus selector', faire sortir les variables suivantes de la machine : i_{sa} , ϕ_{qr} , ϕ_{dr} , T_e et ω_m .

Appliquer un couple de charge nul (0 N.m) sur l'entrée T_m de la machine.

2. A l'entrée de la machine, Placer un bloc d'un onduleur triphasé de tension, ainsi qu'un bloc de la commande en MLI triangulo sinusoïdale de cet onduleur. La tension continue à l'entrée de l'onduleur est $v_{dc}=600$ v.

3. Réaliser un bloc de la commande scalaire en boucle ouverte, en se basant sur le schéma de la fig.1. Prendre un gain $G=1/300$, et $V_0= 0.01$ V.
4. Réaliser le bloc de la vitesse de référence par un bloc Step de la bibliothèque Sink. Prendre une vitesse de référence constante : $\Omega_s^* = 80$ tr/mn.
5. Simuler le modèle réalisé de 0 à 2 secondes. Donner vos remarques et conclusions concernant :
 - La forme du courant i_{sa}
 - La forme des composantes ϕ_{dr} et ϕ_{qr}
 - La forme de la vitesse
 - La forme du couple électromagnétique
6. Remplacer la vitesse de référence par la forme suivante
 - $\Omega_s^* = 80$ tr/mn si $t \leq 1$ seconde
 - $\Omega_s^* = 100$ tr/mn si $t > 1$ seconde.
7. Simuler le modèle réalisé de 0 à 2 secondes. Donner vos remarques et conclusions concernant les variables indiquées à la question N° 5:
8. Remplacer la vitesse de référence par la valeur constante $\Omega_s^* = 100$ tr/mn, puis remplacer le couple résistant T_m par la forme suivante :
 - $T_m = 0$ si $t \leq 1$ seconde
 - $T_m = 10$ N.m si $t > 1$ seconde
9. Simuler le modèle réalisé de 0 à 2 secondes. Donner vos remarques et conclusions concernant les variables indiquées à la question N° 5:

b. Commande scalaire en boucle fermée :

Dans la commande scalaire en boucle fermée la référence ω_s^* se calcule selon le schéma indiqué à la figure 2. La boucle de réglage de la vitesse produit la vitesse de glissement de référence ω_{sl}^* , à travers un régulateur PI et un limiteur. Cette vitesse de glissement est ajoutée à la vitesse électrique du rotor pour obtenir la vitesse synchrone de référence ω_s^* . L'amplitude de la tension de phase V_{s^*max} et les tensions triphasées de référence se déduisent de la même manière que celle de la commande scalaire en boucle ouverte. (Voir la figure 1 de la partie a de ce TP).

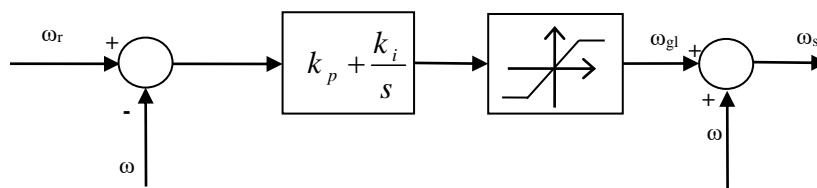


Fig.2. Commande scalaire en boucle fermée.

1. Le modèle Simulink de la commande scalaire en boucle fermée peut être réalisé à partir du modèle Simulink de la commande scalaire en boucle ouverte. Prendre la modèle réalisé à la partie a. Supprimer le bloc Step qui sert à la génération de la vitesse synchrone de référence.
2. Introduire un bloc Step pour la génération de vitesse de référence ω_r^* .
3. Réaliser un bloc représentant le régulateur PI, pour pouvoir générer la vitesse de glissement de référence. Prendre comme paramètres de ce régulateur : $K_p=120$, $K_i=3$.
4. Introduire un bloc « Saturation » pour limiter la vitesse de glissement de référence (limitation entre 30 et -30 rd/s).
5. Effectuer la somme de la vitesse de glissement de référence et la vitesse électrique du rotor pour avoir la vitesse synchrone de référence. Le reste du modèle est identique à celui réalisé dans la partie a. Les valeurs du gain G et du boost V_0 sont $1/300$ et 0.01 V.
6. Refaire les mêmes simulations que celles indiquées dans les questions 4, 5, 6, 7, 8 et 9 de la partie a de ce TP, et indiquer à chaque fois vos remarques et conclusions.