

Commande Vectorielle

Antoine Sfeir^{#1}, Louis Saad^{*2}, Lynn Tabet^{#3}

Département d'électricité et mécanique, USJ-ESIB

Mansourieh, Mar Roukoz - Lebanon

¹antoine.sfeir2@net.usj.edu.lb

²louis.saad@net.usj.edu.lb

³lynn.tabet@net.usj.edu.lb

I. INTRODUCTION

Dans ce projet on étudiera la machine synchrone à aimant permanent, en la commandant par la méthode vectorielle en imposant une vitesse de référence à l'entrée du correcteur. On va s'appuyer aussi sur la robustesse de la régulation de cette machine vis-à-vis du couple de charge. De plus on va investiguer différentes méthodes de compensation du couple résistant pour optimiser la performance du système.

II. MODELISATION DE LA MACHINE SYNCHRONE

Le modèle de la machine synchrone dans le repère de Park est basé sur ces équations :

$$\begin{aligned}v_d &= R_s i_d + L_d \frac{di_d}{dt} - \omega L_q i_q \\v_q &= R_s i_q + L_q \frac{di_q}{dt} + \omega L_d i_d + \omega \Phi_f \\C &= \frac{3}{2} p \times (\Phi_f i_q + i_d i_q (L_d - L_q)) \\J \frac{d\Omega}{dt} &= C_{em} - C_r - f_v \Omega\end{aligned}$$

Les termes $e_d = L_q i_q \omega$ et $e_q = -L_d i_d \omega - \omega \Phi_f$ sont considérés comme des perturbations.

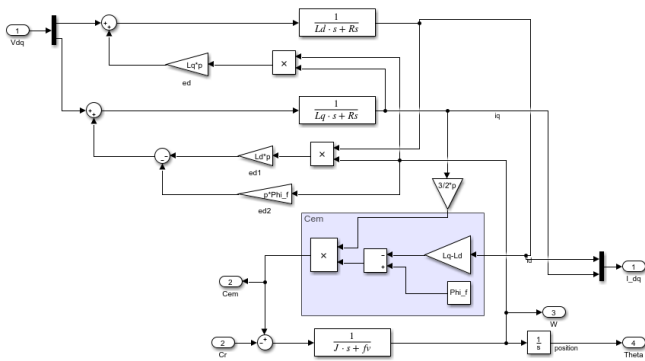


Fig. 1 Modèle SIMULINK de la machine synchrone

A. Commande vectorielle

La commande vectorielle est une commande faite avec les processeurs, donc on peut calculer i_d et i_q et faire la commande en les utilisant.

On impose comme référence $i_d = 0$ et on impose une valeur pour i_q . L'annulation de i_d se fait pour annuler le terme réactif dans l'expression de C et à i_f constant on

a un couple qui est proportionnel à i_q , ($C = \frac{3}{2} p \Phi_f i_q$). De plus, la boucle extérieure de Vitesse va imposer le i_{qref} . On considère que f_v , J , L_q , L_d et R sont parfaitement connus et donc la conception des PI sera faite par une compensation de pôles.

La vitesse est réglée 4 fois plus rapide pour que la tension ne dépasse pas l'amplitude maximale permisible.

Pour minimiser l'erreur on va compenser les perturbations dans le système en donnant un feedback de ses perturbations dans la boucle de correction.

On va compenser les f_{em} (e_d , e_q) et C_r dans la chaîne correspondante. On impose la vitesse de référence ω_n .

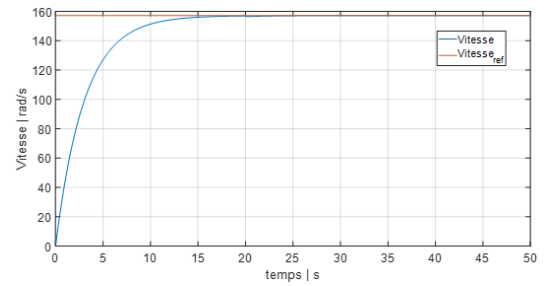


Fig. 2 La variation de la vitesse en fonction du temps

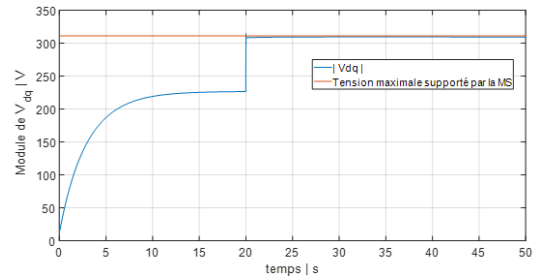


Fig. 3 La variation du module de v_{dq} en fonction du temps

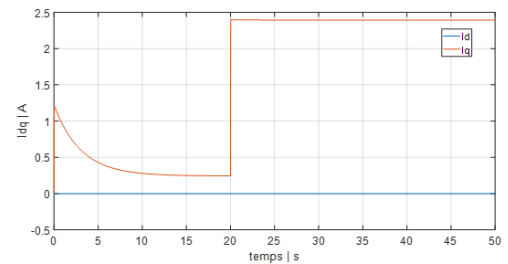


Fig. 4 La variation du module de I_d et I_q en fonction du temps

B. Méthodes de compensation

1. Robustesse du couple de charge

TABLE I
ERREUR STATIQUE D'UN PI DE CLASSE I

ε	1
ε_s – Erreur statique	0
ε_v – Erreur de vitesse	cte
ε_a – Erreur d'accélération	∞

TABLE III
PARAMETRES DE LA MACHINE

PMSM parameters			
Nn (trpm)	1500	J (kg.m ²)	0.05
Pn (W)	800	f_v (N.m)	0.0033
Vn (V)	220	Ld (H)	0.245
frequency (Hz)	50	Lq (H)	0.245
I_n (A)	1.52	R_s (Ohm)	10.5
η (%)	90	Φ_f (Weber)	0.711

1. Entrée de type échelon

Le correcteur PI annule l'erreur statique pour une entrée de type échelon.

Toutes les figures présentées ci-dessous ont été faites sans compensation du couple.

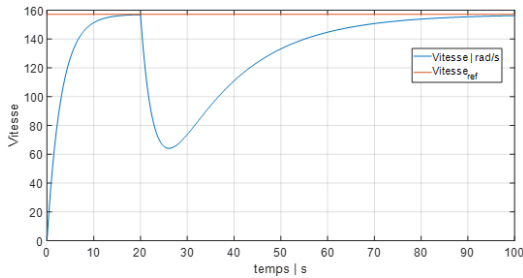


Fig. 5 La variation de la vitesse en fonction du temps

Dans la Fig.5, le couple est imposé à $t=20s$. Avant d'atteindre ce temps-là, la vitesse arrive à sa référence. Mais comme notre couple est de type échelon, alors le PI pourra annuler l'erreur statique de la vitesse après un temps non négligeable.

2. Entrée de type rampe

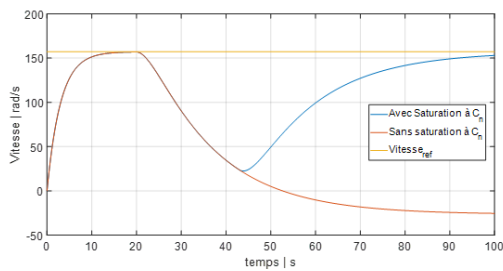


Fig. 6 La variation de la vitesse en fonction du temps dans 2 cas différents

Dans la Fig.6, la courbe en orange présente une erreur constante comme on le voit dans la table III puisque l'entrée est de type rampe.

La courbe en orange n'est pas saturée au couple nominal C_n . Cependant, la courbe en bleu qui suit la forme de la courbe en orange, est saturée en C_n , pour cette raison l'erreur tend vers 0 après un temps non négligeable parce que le couple de charge devient une constante, et en résulte l'annulation de l'erreur.

3. Entrée correspondante à l'erreur d'accélération

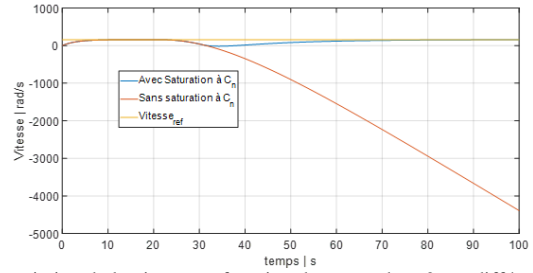


Fig. 7 La variation de la vitesse en fonction du temps dans 2 cas différents

Dans la Fig.7, la courbe en orange n'est pas saturée au couple nominal C_n , et présente une erreur qui tend vers l'infini comme on le voit dans la table IV puisque l'entrée est correspondante à l'erreur d'accélération.

Au début de l'expérience, la courbe en bleu suit la forme de la courbe en orange, et en C_n elle se sature, pour cette raison l'erreur tend vers 0 après un temps non négligeable parce que le couple de charge devient une constante, et en résulte l'annulation de l'erreur.

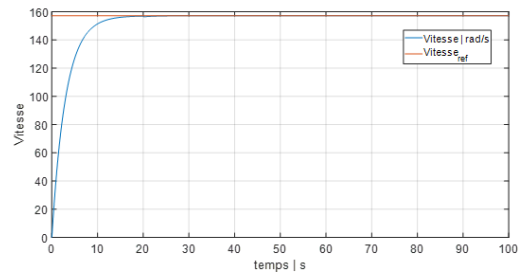
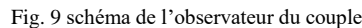


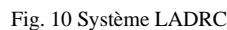
Fig. 8 La variation de la vitesse en fonction du temps avec compensation du couple

Avec la compensation dans la Fig.8, les problèmes déjà discutés dans les parties précédentes deviennent invalides.

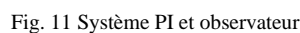
4. Observation du couple avec un PI

Dans cette méthode, on place un observateur pour estimer la vitesse Ω et le couple C_r , et cela en utilisant comme entrée de l'observateur le courant i_q et $\Omega_{réel}$ de la machine. Après l'estimation, on utilise le couple estimée pour le compenser dans la chaîne de contrôle de la vitesse. De plus, on régle le gain de cet observateur pour assurer que l'erreur $\Omega_{réel} - \Omega_{estimé}$ tend vers 0.

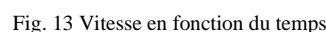

$$T_e = C_{em}, W_m = \Omega_{réel}, \widehat{W}_m = \Omega_{estimé}, T_L = C_{réestimé},$$

$$B_m = f_v, \frac{l_1}{l_2} : \text{Gain pour l'erreur d'estimation.}$$


Le LESO est utilisé pour estimer les états non mesurer et sa structure est indépendante du modèle du système. Le bloc TD est utilisé pour éliminer les bruits dans le signal d'entrée. Le K_r est un gain de ce système, on peut l'ajuster pour améliorer ses performances.



Dans l'exemple suivant, la vitesse de référence est W_n et le couple sera imposé à $t=15s$. La compensation des perturbations est toujours active.



III. CONCLUSION

Pour conclure, les systèmes de compensation du couple décrit dans ce rapport, se basent précisément sur un observateur pour l'estimation du couple, d'où la nécessité d'un algorithme d'observation précis. Les caractéristiques des systèmes décrits sont étudiées lors de leur implémentation sur des processeurs.

REFERENCES

- [1] Z. Kuang, B. Du, S. Cui and C. Chan, “*Speed Control of Load Torque Feedforward Compensation Based on Linear Active Disturbance Rejection for Five-Phase PMSM*”, Oct. 7, 2019.
- [2] B. Chang and T. Tesch, “*Torque feedforward technique control for permanent magnet synchronous motors*”, Mar. 22, 2010.