

4 mars 2021



Travail Contrôlé

ENTRAINEMENT A VITESSE VARIABLE

MACHINE A COURANT CONTINU

Présenté à M. Ragi Ghosn

Préparé par :

Louis SAAD

Antoine SFEIR

Tout au long de ce document le terme MCC désigne la Machine à courant continu.

Les paramètres de la MCC no 5 dans ce tableau ci-dessous :

MCC no 5	P _n (KW)	U _n (V)	I _n (A)	η (%)	C _n (N.m)	N _n (tr/mn)	L (mH)	R (Ω)	J (Kg.m ²)
	41.4	600	69	89	104	3390	6.3	0.64	0.12
	On peut déduire de ces données								
	φ ₀ (V/(rad.s))	C _{emn} (N.m)	f'	f	k' _{fer}	Ω _n (rad/s)			
	1.5657	108	0.0114	0.0072	0.0042	355			

- N.B :
- La variable f est le coefficient des pertes mécaniques le coefficient k'_{fer} celui des pertes fer. Avec, $f' = k'_{fer} + f$ pour représenter les deux types de pertes dans l'équation mécanique de la MCC : $\frac{Jd\omega}{dt} = \phi_0 i(t) - f'w(t) - C_r(t)$.
 - Les coefficients sont déduits des données du constructeur au point nominal et au régime permanent.

Construction du modèle de la MCC en boucle ouverte

La construction du modèle de la MCC en boucle ouverte se fait en utilisant ces 2 équations :

$$u(t) = \phi_0 * \omega(t) + R * i(t) + \frac{Ldi(t)}{dt}$$

$$\frac{Jd\omega}{dt} = \phi_0 i(t) - f'w(t) - C_r(t).$$

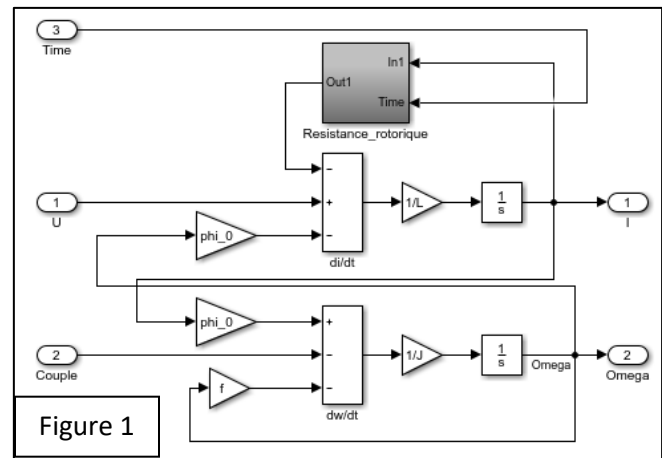


Figure 1

Conception des régulateurs

On aura recours à ce schéma Simulink à la figure 2 pour expliquer ceci

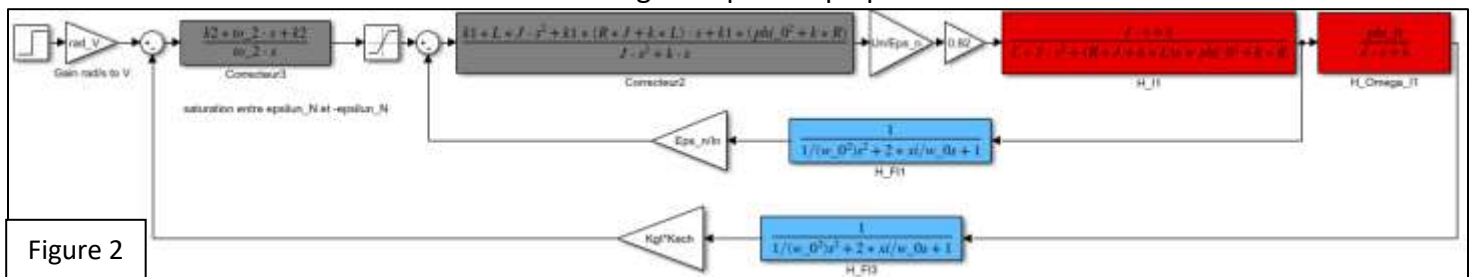


Figure 2

Conception du régulateur de courant

La fonction de transfert du régulateur de courant

Pour le régulateur de courant on a que la constante de temps électrique de la MCC étudiée est

$\tau_e = \frac{L}{R} = 9,8 \text{ ms}$ $C_I(p) = k_1 \frac{L * J * p^2 + (R * J + k * L) * p + \varphi_0 + k * R}{J * p^2 + k * p}$ pour faire une compensation de pôles et des zéros. Sachant que $k_1 = \frac{R}{L} * \frac{I_n}{U_n}$ avec le gain en BO: $G_{Bo} = \frac{U_n}{\varepsilon_n} * \frac{\varepsilon_n}{I_n} \Rightarrow \frac{1}{G_{Bo}} = \frac{I_n}{U_n}$ et $\tau_e = \frac{L}{R}$

Conception du régulateur de vitesse

La fonction de transfert du régulateur de vitesse est un PI (proportionnel intégral)

$C_\omega(p) = k_2 * \frac{\tau_2 * p + 1}{\tau_2 * p}$ avec $\tau_2 = \frac{J}{k}$ et $k = k_c + f$. A noter que $k_c = \frac{C_n}{\Omega_n}$ et que $H_\omega(p) = \frac{\varphi_0}{\frac{J}{k} * p + 1}$. Tandis

que $k_2 = \frac{5 * k * \Omega_n}{\varphi_0 * I_n}$. La fonction de transfert de notre système après avoir placé le correcteur sera un

système du premier ordre de la forme : $C_\omega(p) * H_\omega(p) = \frac{1}{\frac{\tau_2 * k}{\varphi_0 * k_2} * p + 1} = \frac{1}{X * p + 1}$ avec $X = \frac{\tau_m}{5}$. La

constante de temps mécanique en charge, avec un couple proportionnel à la vitesse ($C_r = k_c \omega(t)$),

est $\tau_m = \frac{J}{f + k_c} = 0,3943$. La multiplication par le terme $\frac{\Omega_n}{I_n}$ provient des gains des convertisseurs,

capteurs et échelle : $\frac{1}{k_{ech} * k_{gt} * k_{conv}} = \frac{\Omega_n}{I_n}$

N.B : Dans le cas du changement de la nature du couple par exemple si on voudrait mettre un couple constant il faut faire fonctionner la machine à vide tout d'abord pour atteindre la vitesse de référence et puis appliquer le couple demandé.

Vérification des résultats

Pour vérifier les résultats on utilisera les régulateurs de courant et de vitesse et la MCC de la figure 1. On demandera la vitesse nominale « Nn » (3390 tr/min) et on travaillera avec une résistance d'induit constante. On obtient alors le graphe de vitesse à droite :

La figure 3 permet de justifier le choix du correcteur de vitesse. En effet, on peut remarquer qu'à $3 * \tau_m$ on atteint 95% N_{ref} , ce qui est logique et prédit.

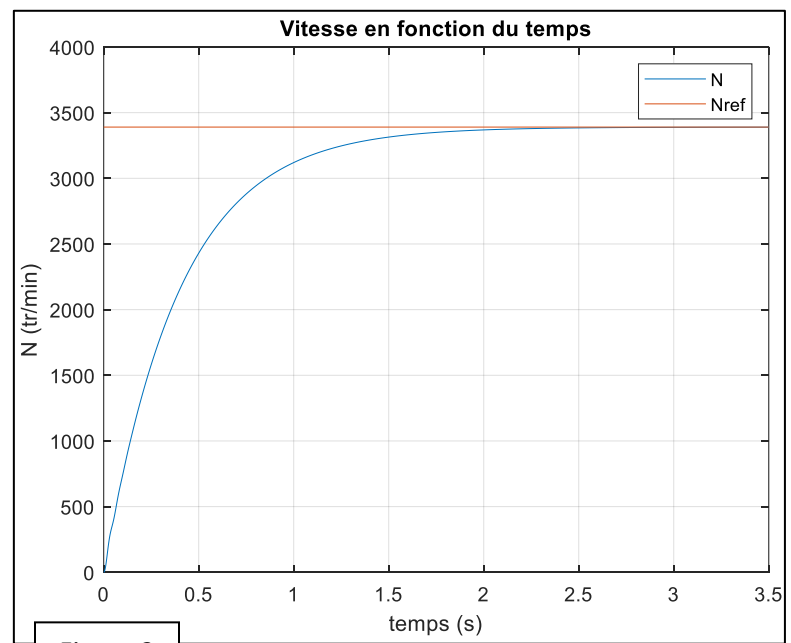


Figure 3

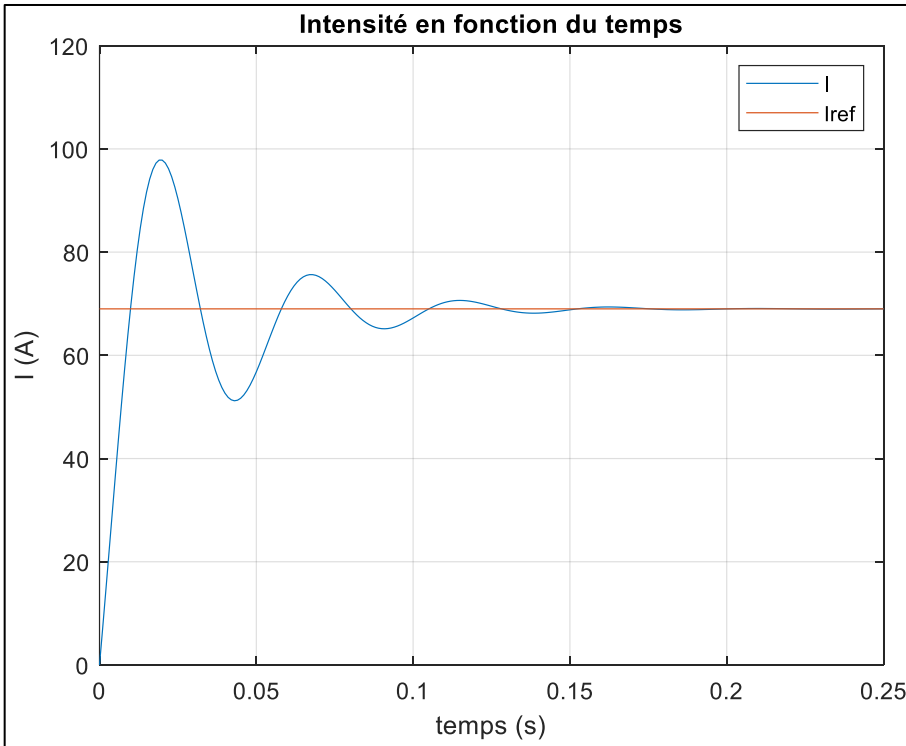


Figure 4

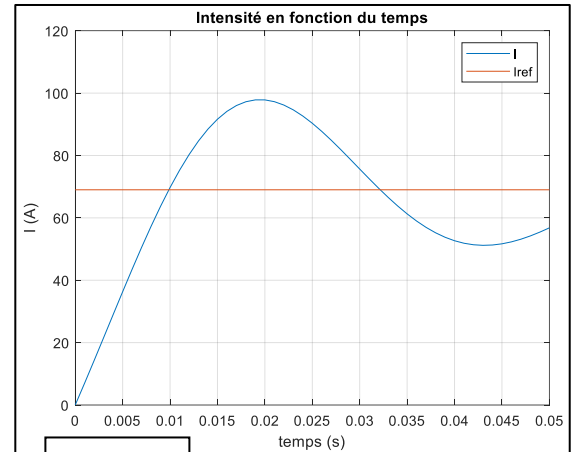


Figure 5

Les figures 4 et 5 permettent de justifier le choix du correcteur de courant. En effet, on peut remarquer que le temps de montée $\approx 10 \text{ ms}$ avec un dépassement de 37% ce qui est acceptable.

Imperfection du capteur

Pour simuler l'imperfection du capteur, on choisit de mettre un bloc « Band limited white noise » multiplié par un bloc sinus une pulsation $2\pi 50 \text{ rad/s}$. Ensuite, ce sous-système est additionné à la branche de retour du courant et de la vitesse. Pour l'amplitude du bloc sinus c'est $\frac{I_n}{100}$ pour le courant et $\frac{\Omega_n}{100}$ pour la vitesse. Et donc, les sorties de vitesse et courants seront peu affecter par ce phénomène, on atteindra les références mais avec des petits bruits. (Figure 7)

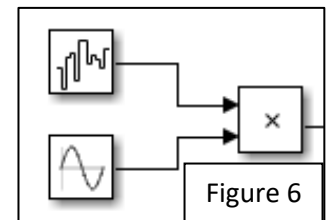


Figure 6

La figures 6 représente les signaux avant et après le filtre. On remarque clairement que le filtre diminue l'amplitude de ces bruits causés.

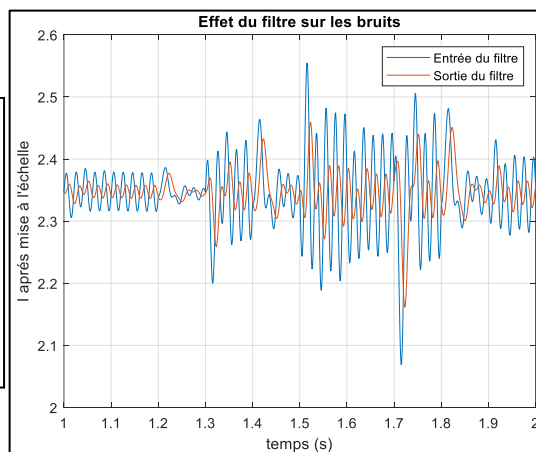


Figure 6

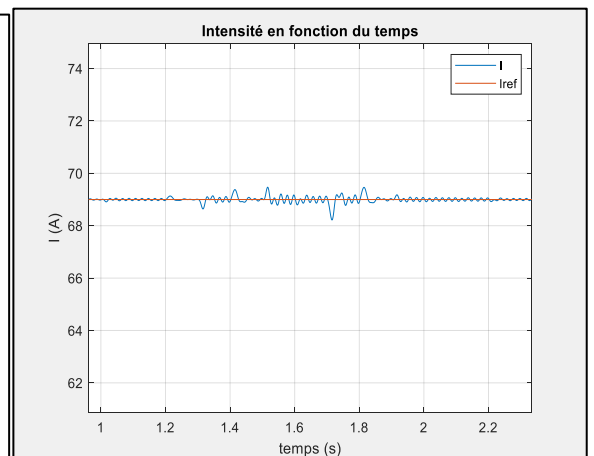


Figure 7

Simscape

En recherchant dans le catalogue Leroy-Somer constructeur de notre MCC on trouve que cette MCC est du type LSK 1324 S – LSK 1324C S, on obtient alors les paramètres mentionnés dans le tableau ci-dessous. A noter que pour la tension d'excitation U_f , le constructeur donne une marge entre 180 et 360V.

P_{exc} (W)	U_f (V)	L_f (H)	R_f (Ω)	Laf (H)
700	310	102.96	137.3	0.69

- Pour appliquer ce qu'on a fait sur Simscape, le régulateur de courant on a placé un PI au lieu du correcteur qu'on avait utilisé dans notre modèle Simulink. Ainsi notre correcteur est :

$C_{I2}(p) = 15 \frac{\frac{L}{R}p+1}{\frac{L}{R}p}$. D'ailleurs ce choix est justifié, en effet le PI est le correcteur le plus utilisé en industrie à cause de sa simplicité et de sa meilleure performance avec les perturbations et les bruits. Le régulateur de vitesse est semblable à celui utilisé dans le modèle Simulink.

$$C_{\omega}(p) = 8 \frac{\frac{J}{f}p+1}{\frac{J}{f}p}.$$

- Le temps d'échantillonnage n'a pas été modifié avec $T_s = 5 \mu s$. Les options de couple sont les mêmes que ceux présent dans le modèle Simulink. La tension d'alimentation a été ajustée à 800V pour atteindre une valeur moyenne de 600V DC.
- Sachant que le concept est vrai, le modèle Simscape contient quelques erreurs demandant plus de travail. Notre courant au début atteint des valeurs assez élevées ($>3In$) et il y a des oscillations de vitesses à vide.
- Les courbes rouges sont les références de vitesse et courant. On n'a pas de référence de vitesse jusqu'à 4s, ensuite on donne une référence à vide avec une pente de Nn/s et on attache un couple C_n à la MCC au bout de 6s.
- N.B : Pour simuler Simscape, il faut initialiser le .m file et ensuite ouvrir le modèle.

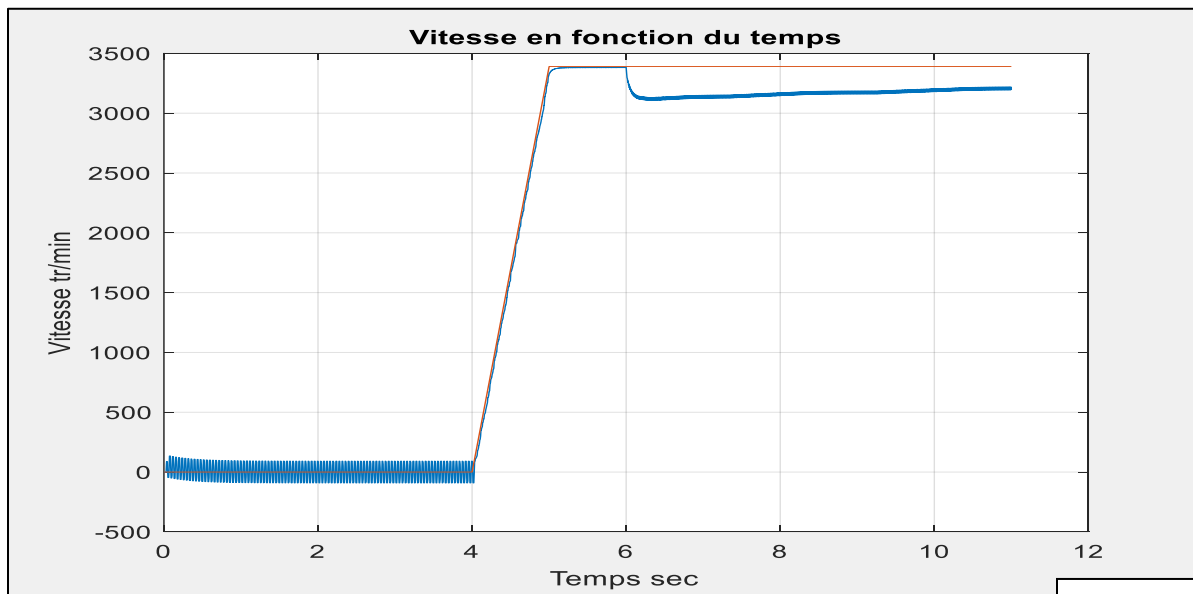


Figure 8

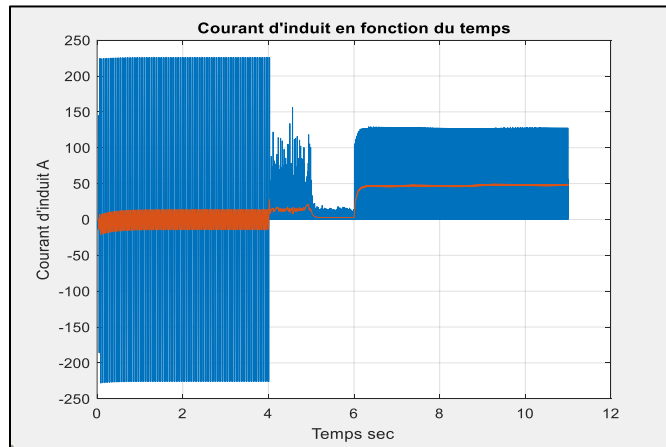


Figure 9

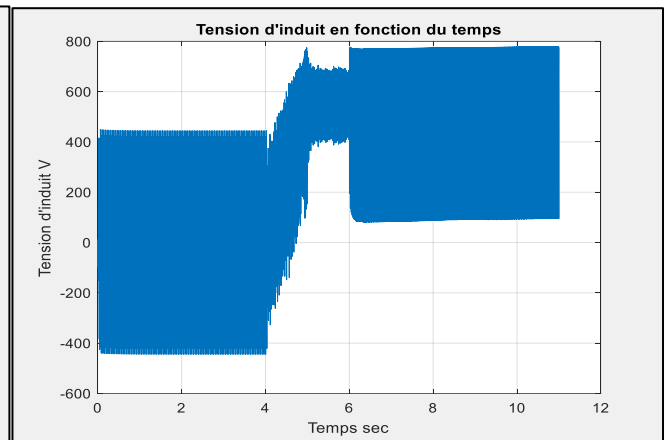


Figure 10

Références

- Document intitulé « Commande d'une machine à courant continu à vitesse variable » rédigé par Madame Mayssa Rjaiba effectué à l'université libanaise faculté de génie II en 2009 publié le 29 décembre 2014 sur le lien suivant : [17281795 commande-d-une-machine-a-courant-continu-a-vitesse-variable \(slideshare.net\)](https://www.slideshare.net/17281795-commande-d-une-machine-a-courant-continu-a-vitesse-variable)
- Document intitulé « asservissement de vitesse du MCC » écrit par M. Korchi Abdelilah en 2011. Le lien suivant conduit à ce document : [\(PDF\) asservissement de vitesse du MCC | KORCHI Abdelilah - Academia.edu](https://www.academia.edu/17281795/asservissement_de_vitesse_du_MCC)