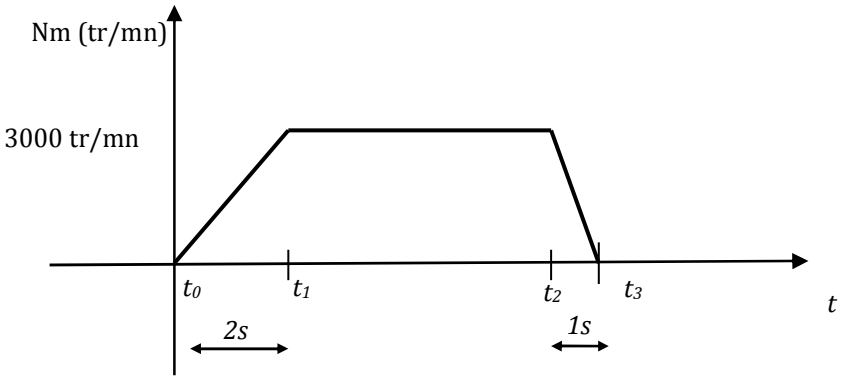
Entrainement électrique à vitesse variable

TD N°1

Exercice 01 :

L'association du convertisseur et de la motorisation doit permettre le fonctionnement de la machine à courant continu (MCC) dans les 4 quadrants mécaniques, c'est-à-dire la circulation dans les deux sens de marche et le freinage électrique.

La machine considérée est à excitation indépendante constante. On néglige la réaction d'induit, le couple de pertes est également constant. Cette machine est couplée à une charge imposant un couple résistant indépendant de la vitesse, elle doit dans l'utilisation qui en est fait avoir une évolution de vitesse N(t) satisfaisante au cycle ci-dessous. Lorsque la vitesse est nulle, un système mécanique maintient l'ensemble à l'arrêt.



On a effectué quatre essais :

- Essai 1 : le moteur est désaccouplé de sa charge a une fréquence de rotation de 3000 tr/mn lorsque le circuit d'induit (inductance de lissage et induit) est alimenté sous 278 V en absorbant 1.05 A.
- Essai 2 : Un essai de mise en vitesse de l'ensemble est effectué à un courant constant d'intensité 25 A. Au bout d'une seconde, la fréquence de rotation atteint 1140 tr/mn.
- Essai 3 : Une mesure volt-ampèremétrique de la résistance totale du circuit d'induit (inductance de lissage comprise) a donné 3Ω.
- Essai 4 : A vitesse stable N= 3000 tr/mn, la machine absorbe 16 A.

1) Rappeler les équations de la machine à courant continu à excitation constante.

2) En utilisant les données de l'essai à vide, calculer la constante de proportionnalité K_f ($V/rad.s^{-1}$).

3) Déterminer le couple électromagnétique C_{em} lorsque l'ensemble machine-charge a atteint un fonctionnement stable. En déduire la valeur du moment du couple résistant total C_r.

4) Déterminer le moment d'inertie J_t de l'ensemble en utilisant l'essai de mise en vitesse (N.B : le couple résistant C_r inclue le couple des pertes C_p).

5) Dans l'intervalle ou la vitesse est constante, déterminer la puissance utile Pu et le moment du couple Cu sur l'arbre de la machine.

6) Déterminer les valeurs des couples d'accélérations, à vitesse constante et de freinage. En déduire I_a. On prendra Cr= 13.08 N.m, C_p= 0.92 N.m, J_t= 0.066 kg.m^2 et K_f= 0.875 (V/rad.s^{-1}).

7) Tracer le graphe de la fonction $C_{em}(t)$.

Exercice 02 :

La commande scalaire de la MAS est basée sur le modèle de la machine asynchrone (MAS) en régime permanent dans le repère (d, q) est donné par : $\left(\overline{V}_s = V_{ds} + jV_{qs},\ \overline{I}_r = I_{dr} + jI_{qr} \ \ et \ \ \overline{I}_s = I_{ds} + jI_{qs}\right)$

$$\begin{cases} \overline{V}_s = R_s \overline{I}_s + j\omega_s L_s\left(\overline{I}_s + \overline{I}_r^{'}\right) \\ 0 = \dfrac{R_r^{'}}{g}\overline{I}_r^{'} + j\omega_s N_r^{'}\overline{I}_r^{'} + j\omega_s L_s\left(\overline{I}_s + \overline{I}_r^{'}\right) \end{cases} \quad avec \quad \begin{cases} N_r^{'} = \left(L_r - \dfrac{L_m^2}{L_s}\right)\left(\dfrac{L_s}{L_m}\right)^2 \\ R_r^{'} = R_r\left(\dfrac{L_s}{L_m}\right)^2 \end{cases} \quad et \quad \overline{I}_r^{'} = \overline{I}_r\left(\frac{L_m}{L_s}\right)$$

Le couple électromagnétique est donné par : $C_e = \dfrac{P_e}{\Omega_s}$ avec P_e est la puissance électromagnétique et Ω_s est la vitesse de synchronisme.

a) Donner le schéma électrique équivalent du modèle ci-dessus de la MAS en régime permanent

b) Calculer le couple maximum (Cemax) si l'on néglige la résistance statorique (Rs→0)

Solution du TD °1

Solution de l'exercice 01

1) Equation de la machine à courant continu à excitation constante :

- $U_a = E_a + R_a.I_a$ (1) ;
- $E_a = k_f + R_a\phi_f\Omega_m. = K_f\Omega_m$ (2), car le flux est constant ;
- $C_{em} = K_f I_a$ (3)

2) La détermination des pertes de la machine par un essai à vide est la méthode la plus directe. En injectant l'équation (2) dans (1), on obtient :

- $\Omega_m = 2\pi N = 2\pi\frac{3000}{60} = 314$ rad/s ;
- $K_f = \dfrac{U_a - R_a I_a}{\Omega_m} = \dfrac{278 - 3\times 1.05}{314} = 0{,}875$ V/rad/s

3) Equation fondamentale de la dynamique :

- $C_{em} - C_r = J_t \dfrac{d\Omega}{dt} = 0$ car régime permanent ; $\Rightarrow C_{em} - C_r = K_f I_a = 16 \times 0{,}875 = 14$ N.m.

4) Moment d'inertie J_t :

- On a : $C_{em} - C_r = J_t \dfrac{d\Omega}{dt} \Rightarrow J_t = J_t \dfrac{C_{em} - C_r}{\dfrac{d\Omega}{dt}} = \dfrac{C_{em} - C_r}{\dfrac{\Delta\Omega}{\Delta t}}$;

- $t_0 \le t \le t_1$: I_a=25A $\Rightarrow C_{em} = K_f I_a = 25 \times 0.875 = 21{,}875$ N.m ;

- $J_t = \dfrac{C_{em} - C_r}{\dfrac{\Delta\Omega}{\Delta t}} = \dfrac{21{,}875 - 14}{\dfrac{119{,}38}{1}} = 0{,}066$ kg.m² avec : $\Omega_m = 2\pi.N = 2\pi \dfrac{1140}{60} = 119{,}38$ rad/s

5) D'après le bilan de puissance, on a:

$P_u = C_{em}.\Omega_m = C_p.\Omega_m + C_m.\Omega_m$

Or $C_{em} = K_f I_a = 14$ N.m et $C_{em} = K_f I_{a0} = 1.05 \times 0.87514 = 0.92$ N.m

Soit $C_m = C_{em} - C_p = 14 - 0.92 = 13.08 \cong 13$ N.m (couple utile)

D'où $P_m = C_{em}.\Omega_m = 13.08 \times 314 \cong 4.11$ Kw

6)

Couple d'accélération : $t_0 \le t \le t_1$

- $(C_{em})_{acc} = C_r + C_p + J_t \dfrac{d\Omega}{dt} = 13{,}08 + 0{,}92 + 0{,}066 \dfrac{314}{2} = 24{,}36$ N.m ;

- $C_{em} = K_f I_a \Rightarrow I_a = \dfrac{C_{em}}{K_f} = 27{,}84 \cong 28$ A.

Régime permanent : $t_1 \le t \le t_2$

- $C_{em} - C_r - C_p = J_t \dfrac{d\Omega}{dt} = 0$;

- $C_{em} = C_r + C_p = 14$ N.m ;

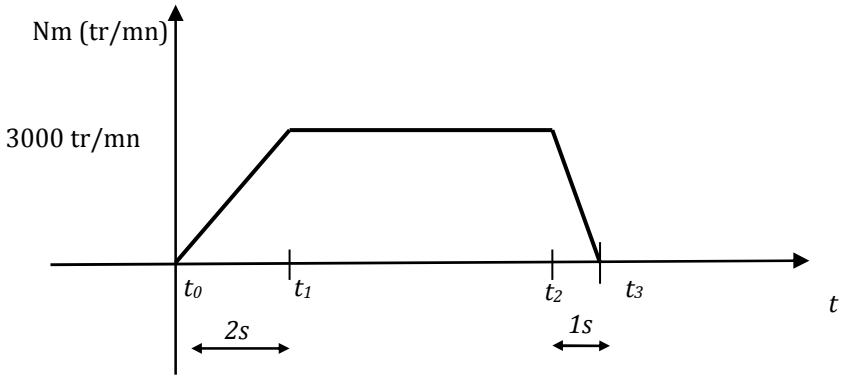
- $I_a = \dfrac{C_{em}}{K_f} = 16$ A.

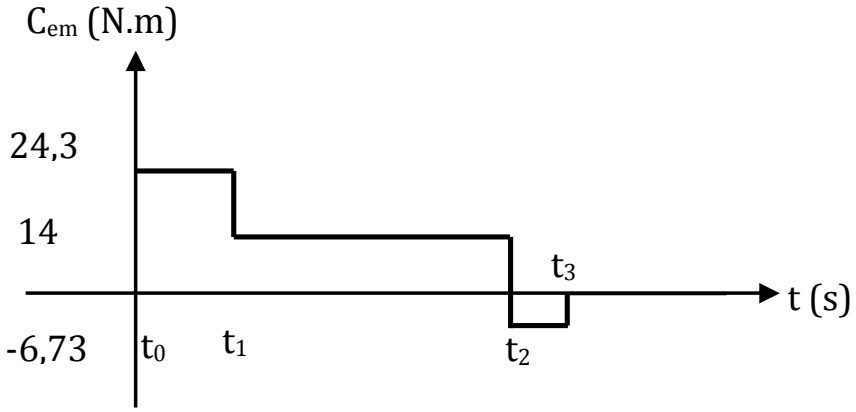
Couple de freinage : $t_2 \le t \le t_3$

- $(C_{em})_{déc} = C_r + C_p + J_t \dfrac{d\Omega}{dt} = 13{,}08 + 0{,}92 - 0{,}066 \dfrac{314}{2} = -6{,}73$ N.m ;

- $I_a = \dfrac{C_{em}}{K_f} = -7{,}69 \cong -8$ A.

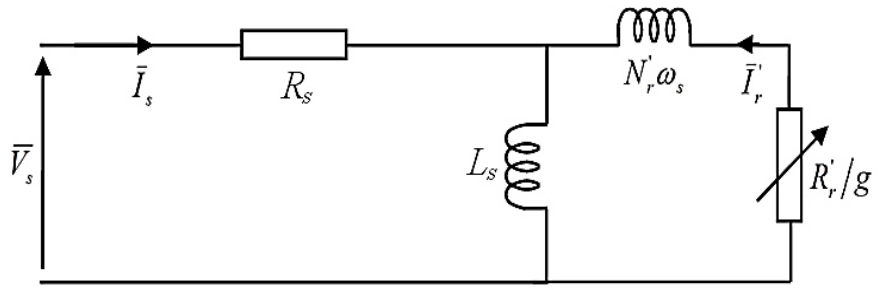
7) Tracé de la fonction $C_{em}(t)$ et $\Omega(t)$





Solution de l'exercice 02 :

a) Le schéma électrique équivalent du modèle ci-dessus de la MAS en régime permanent est illustré par la figure suivante :



b) Si l'on écrit le couple en régime permanent de la machine asynchrone, on a :

$$C_e = \frac{P_e}{\Omega_s} = 3\frac{p}{\omega_s}\frac{R_r^{'}}{g} I_r^{'2} \quad \text{Avec :} \quad \bar{I}_r^{'} = \frac{V_s - R_s \bar{I}_s}{\frac{R_r^{'}}{g} + jN_r^{'}\omega_s}$$

Si on néglige la résistance statorique (Rs⟶0), on trouve :

$$I_r^2 = \frac{V_s^2}{\left(\frac{R_r^{'}}{g}\right)^2 + \left(N_r^{'}\omega_s\right)^2} \qquad \text{Alors :} \quad C_e = \frac{3p}{\omega_s} V_s^2 \frac{\frac{R_r^{'}}{g}}{\left(\frac{R_r^{'}}{g}\right)^2 + \left(N_r^{'}\omega_s\right)^2}$$

Pour avoir un couple maximum (Cemax), il faut que $\frac{dC_e}{dg} = 0$.

Donc : $\frac{dC_e}{dg} = 0 \Rightarrow R_r^{'}\left(R_r^{'2} + g^2 N_r^{'2}\omega_s^2\right) - 2R_r^{'} g^2 N_r^{'2}\omega_s^2 = 0 \Rightarrow g = g_{\max} = \frac{R_r^{'}}{N_r^{'}\omega_s}$

Enfin : $C_e = C_e\left(g_{\max}\right) = \frac{3p}{\omega_s} V_s^2 \frac{\frac{R_r^{'2}}{N_r^{'}\omega_s}}{R_r^{'2} + \frac{R_r^{'2}}{\left(N_r^{'}\omega_s\right)^2}\left(N_r^{'}\omega_s\right)^2} = \frac{3p}{2N_r^{'}}\left(\frac{V_s}{\omega_s}\right)^2$