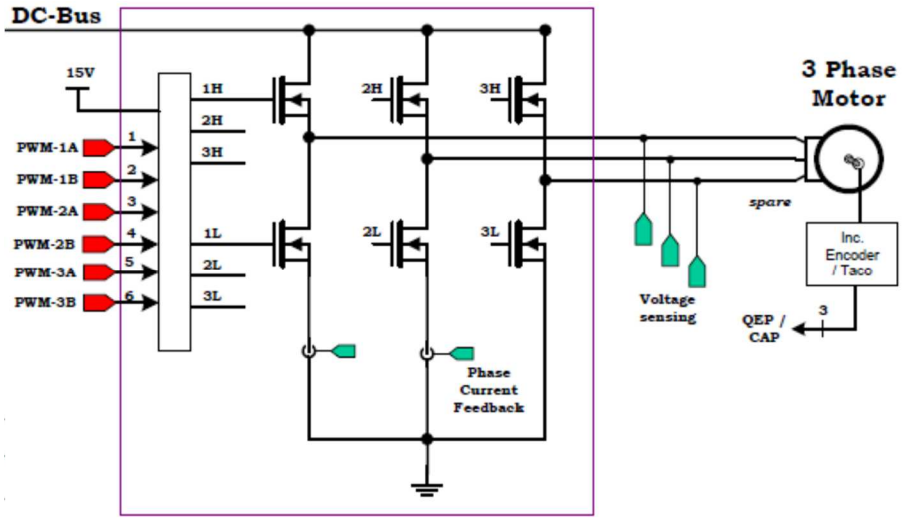
**UTBM** **Formation Energie**

**Automne 2019** **Durée : 2 heures. Sans document.**

# Examen TR57

Un moteur synchrone triphasé à aimants permanents est alimenté par un onduleur de tension à deux niveaux à IGBT piloté en MLI vectorielle de fréquence 10kHz. Le rotor du moteur est à pôles lisses et l'onduleur est piloté par une carte électronique dotée du microcontrôleur/DSP à virgule flottante TMS320F28335 cadencé à 150MHz et spécialisé pour le contrôle des convertisseurs de puissance.




On rappelle les équations générales suivantes (machines à pôles lisses ou saillants) :

Tensions appliquées au stator dans le repère de Park (d,q) : $\begin{cases} V_d = (R + L_d s) I_d - L_q \omega I_q \\ V_q = (R + L_q s) I_q + L_d \omega I_d + \omega \phi_f \end{cases}$

Tensions appliquées au stator dans le repère diphasé (α,β) : $\begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix}$

Flux dans le repère de Park (d,q) : $\begin{cases} \phi_d = L_d I_d + \phi_f \\ \phi_q = L_q I_q \end{cases}$

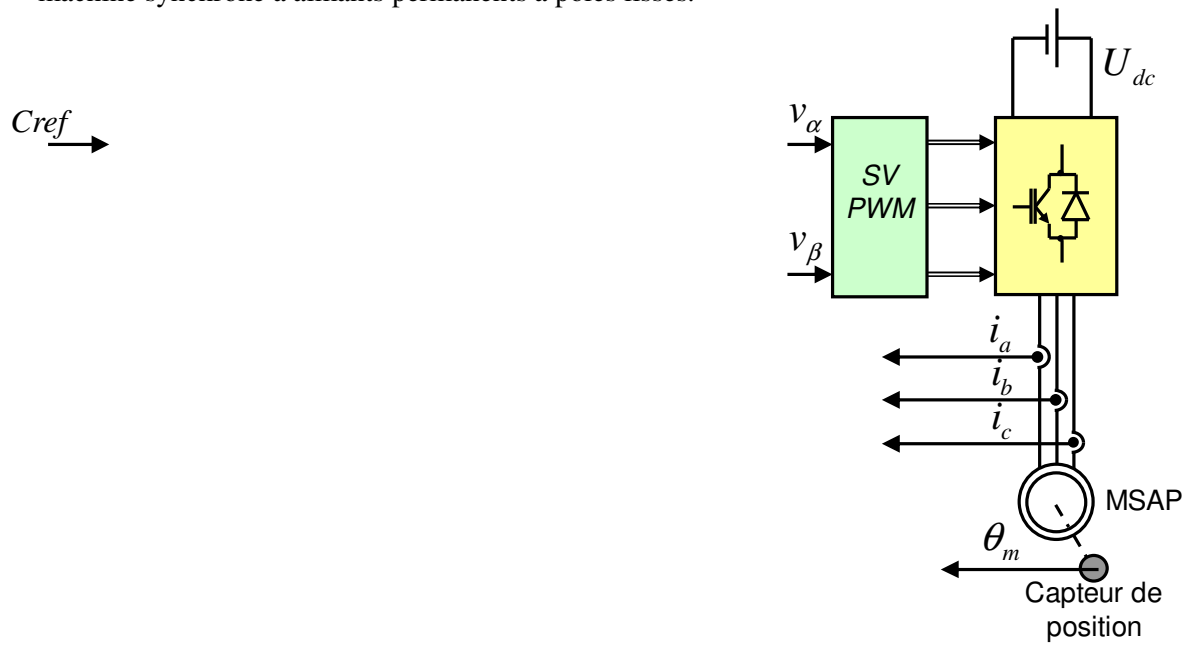
Couple électromagnétique : $C_e = p\left(\phi_f I_q + (L_d - L_q) I_d I_q\right)$

avec :

*$p$ : nombre de paires de pôles du rotor*
*$\theta_m$ : position angulaire mécanique en radians (donnée par le capteur de position)*
*$\theta$ : position angulaire électrique en radians ($\theta = p\theta_m$)*
*$\Omega$ : pulsation mécanique en rad.s$^{-1}$*
*$\omega$ : pulsation électrique en rad.s$^{-1}$ ($\omega = p\Omega$)*
*$\Phi_f$ : amplitude du flux créé par les aimants dans le repère (d,q) en Weber*
*$R$ : résistance d'une phase du stator en Ohms*
*$L_d$ : inductance d'une phase dans l'axe d du repère (d,q) en Henry*
*$L_q$ : inductance d'une phase dans l'axe q du repère (d,q) en Henry*
*$I_d$ et $I_q$ : composantes sur les axes respectifs d et q du courant dans les phases du stator en Ampères*
*$V_d$ et $V_q$ : composantes sur les axes respectifs d et q de la tension simple des phases du stator en Volts*
*$V_\alpha$ et $V_\beta$ : composantes sur les axes respectifs α et β de la tension simple des phases du stator en Volts*

1. *(1 pt)* Montrer que dans le cas de la machine à pôles lisses, le couple peut être contrôlé par $I_q$.
2. *(1 pt)* Déterminer la valeur de $I_d$ permettant de minimiser les pertes par effet joule au stator de la machine à pôles lisses lorsqu'on ne désire pas faire de compensation de flux.

3. *(1 pt)* Représenter la boucle de régulation du courant $I_q$ par le correcteur PI $C_q(s)$ permettant de déterminer la tension $V_q$ à appliquer à la machine.
4. *(1 pt)* Représenter la boucle de régulation du courant $I_d$ par le correcteur PI $C_d(s)$ permettant de déterminer la tension $V_d$ à appliquer à la machine.
5. *(2 pts)* Déterminer l'équation récurrente donnant la tension $V_q(n)$ en exprimant le correcteur $C_q(s)$ de la manière suivante : $C_q(s) = K_{pq}\left(\frac{1+\tau_{iq}\cdot s}{\tau_{iq}\cdot s}\right)$
6. *(2 pts)* Déterminer l'équation récurrente donnant la tension $V_d(n)$ en exprimant le correcteur $C_d(s)$ de la manière suivante : $C_d(s) = K_{pd}\left(\frac{1+\tau_{id}\cdot s}{\tau_{id}\cdot s}\right)$
7. *(2 pts)* Compléter le schéma ci-dessous de l'asservissement de couple par contrôle vectoriel de la machine synchrone à aimants permanents à pôles lisses.




8. *(1 pts)* Représenter le schéma électronique de puissance d'un onduleur triphasé à trois niveaux de tension (ou onduleur NPC).
9. *(1 pts)* Citer deux intérêts de l'onduleur NPC par rapport à l'onduleur à deux niveaux de tension
10. *(1 pts)* Donner la formule du taux de modulation d'un onduleur de tension.
11. *(1 pts)* Donner la formule de l'indice de modulation d'un onduleur de tension piloté en modulation sinusoïdale.
12. *(1 pts)* Décrire la différence entre une modulation synchrone et une modulation asynchrone.
13. *(1 pts)* Indiquer quelle est la précision de mesure de la position dans le cas des BLDC à capteurs à effet Hall.
14. *(1 pts)* Citer les trois principaux avantages que procure l'utilisation d'un contrôleur DMA.
15. *(1 pts)* Indiquer quels sont les différents modes de synchronisation possibles des transferts DMA.
16. *(1 pts)* Dans le protocole CANopen, expliquer comment sont réalisés les liens entre le dictionnaire d'objets et les informations transférées par les trames SDO et PDO respectivement.
17. *(1 pts)* Déterminer le nombre d'octets de données que contiendrait une trame SDO « receive » véhiculant 1 paramètre de 16 bits, en précisant leur rôle.