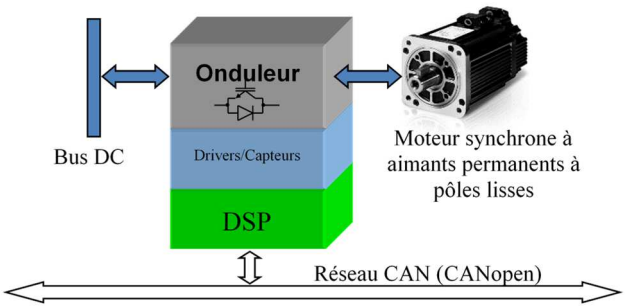
UTBM **Département Energie**

Automne 2017 **Durée : 2 heures. Sans document ni calculatrice.**

Examen TR57
Servomoteur contrôlé par réseau CANopen

Le 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. Le DSP possède un contrôleur CAN 2.0B utilisé pour recevoir des consignes de couple depuis une interface de contrôle et pour transmettre diverses informations de mesure issues des capteurs du système.



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
ω : pulsation électrique (ω=pΩ avec Ω la pulsation mécanique) en rad.s^{-1}
Φ_f : amplitude du flux créé par les aimants dans le repère (d,q) en Weber
R : résistance d'une phase du stator en Ohm
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

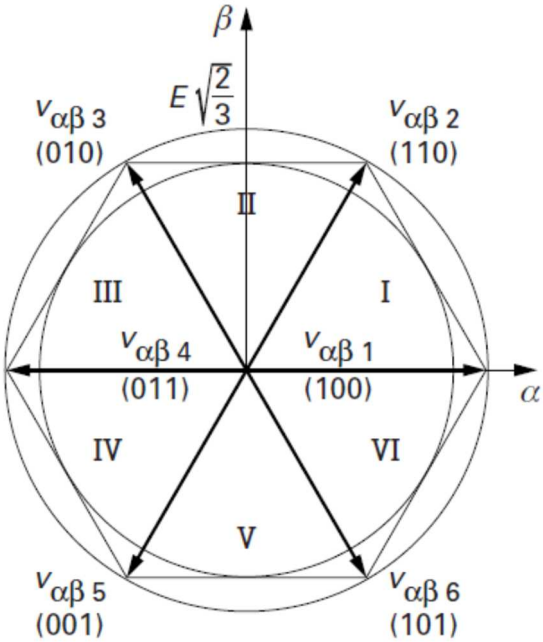
1. *(1 pt)* Montrer que dans le cas de la machine à pôles lisses, le couple peut être contrôlé par I_q.
2. *(1 pt)* Déterminer la valeur de I_d permettant de minimiser les pertes par effet joule au stator de la machine à pôles lisses lorsqu'on ne désire pas faire de compensation de flux.
3. *(1 pt)* 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 : $C_q(s) = K_{pq}\left(\dfrac{1 + \tau_{iq} \cdot s}{\tau_{iq} \cdot s}\right)$
6. *(2 pts)* Déterminer l'équation récurrente donnant la tension $V_d(n)$ en exprimant le correcteur $C_d(s)$

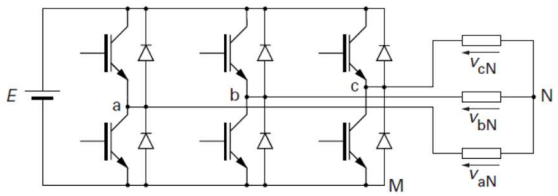
de la manière suivante : $C_d(s) = K_{pd}\left(\dfrac{1+\tau_{id}\cdot s}{\tau_{id}\cdot s}\right)$

7. *(1 pt)* Déterminer V_α et V_β dans le cas du pas de calcul donnant les valeurs suivantes :

   $\Theta=0$, $V_d = \dfrac{1}{2}\cdot E\sqrt{\dfrac{2}{3}}$ et $V_q = \dfrac{\sqrt{3}}{4}E\sqrt{\dfrac{2}{3}}$ où E représente la tension du bus DC en entrée de l'onduleur

8. *(1 pt)* Représenter le vecteur tension obtenu pour ce pas de calcul dans le plan (α,β) ci-dessous.

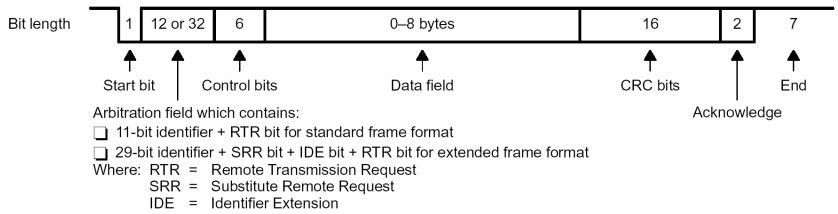




États des fonctions de modulation			Tension neutre	Tensions simples triphasées			Tensions diphasées	
f_{ma}	f_{mb}	f_{mc}	v_{NM}	v_{aN}	v_{bN}	v_{cN}	$\frac{\sqrt{3}\,v_\alpha}{E\sqrt{2}}$	$\frac{\sqrt{3}\,v_\beta}{E\sqrt{2}}$
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	$E/3$	$2E/3$	$-E/3$	$-E/3$	1	0
1	1	0	$2E/3$	$E/3$	$E/3$	$-2E/3$	1/2	$\sqrt{3}/2$
0	1	0	$E/3$	$-E/3$	$2E/3$	$-E/3$	−1/2	$\sqrt{3}/2$
0	1	1	$2E/3$	$-2E/3$	$E/3$	$E/3$	−1	0
0	0	1	$E/3$	$-E/3$	$-E/3$	$2E/3$	−1/2	$-\sqrt{3}/2$
1	0	1	$2E/3$	$E/3$	$-2E/3$	$E/3$	1/2	$-\sqrt{3}/2$
1	1	1	0	0	0	0	0	0

9. *(2 pts)* Déterminer les coefficients k_i et k_j tels que $V_{\alpha\beta} = k_iV_{\alpha\beta i} + k_jV_{\alpha\beta j}$ où $V_{\alpha\beta i}$ et $V_{\alpha\beta j}$ sont les vecteurs issus des fonctions de modulation et encadrant le vecteur tension $V_{\alpha\beta}$.
10. *(1 pt)* Représenter un motif MLI permettant de respecter le vecteur $V_{\alpha\beta}$ calculé, en précisant les valeurs des durées de conduction des IGBT.
11. *(1 pt)* Indiquer quel avantage principal présente l'utilisation d'un processeur à virgule flottante par rapport à un processeur à virgule fixe lors du codage en langage C de l'algorithme de contrôle.
12. *(1 pt)* Indiquer comment choisir la fréquence d'échantillonnage de la régulation de couple.
13. *(1 pt)* Les consignes de couple sont envoyées sur 32 bits au DSP à l'aide de trames PDO. Préciser quelles sont les trames PDO utilisables parmi celles listées ci-dessous :

Object	Function code (ID-bits 10-7)	COB-ID *
EMERGENCY	0001	081h - 0FFh
PDO 1 (transmit)	0011	181h - 1FFh
PDO 1 (receive)	0100	201h - 27Fh
PDO 2 (transmit)	0101	281h - 2FFh
PDO 2 (receive)	0110	301h - 37Fh
PDO 3 (transmit)	0111	381h - 3FFh
PDO 3 (receive)	1000	401h - 47Fh
PDO 4 (transmit)	1001	481h - 4FFh
PDO 4 (receive)	1010	501h - 57Fh

14. *(2 pts)* Le DSP ayant une adresse esclave ID=4, et la consigne de couple transmise étant Cref=0x00000012, donner le contenu de la trame PDO de priorité maximale correspondante (COB-ID, et données en précisant le numéro d'octet).
15. *(2 pts)* Déterminer le taux d'occupation du bus CAN en % lorsque cette trame PDO est transmise à 10kHz et pour une fréquence de transmission CAN de 1Mbaud. Conclure.

Format des trames CAN :