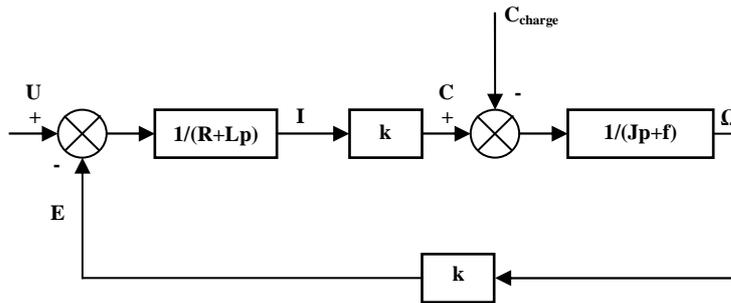


Examen TR57 et MC71

I Asservissement d'une machine à courant continu (11 pts)

On réalise la mise en œuvre de la commande en boucle fermée de la machine à courant continu à aimants permanents pilotée par hacheur 4 quadrants ainsi que son implantation sur DSP contrôleur. On étudie la réalisation de deux boucles de régulation cascades : les boucles de courant et de vitesse. La forme schématique du modèle simplifié de la machine à courant continu à aimants permanents est donnée ci-dessous.



Caractéristiques MCC :

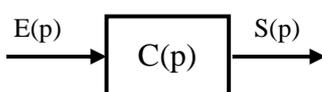
R = résistance de l'induit
L = inductance de l'induit
k = constante de couple
J = inertie du moteur
f = coef. de frottement fluide
U = tension d'induit
I = courant d'induit
 C_{charge} = couple de charge
E = F.E.M.
 Ω = vitesse de rotation

Le courant est mesuré à l'aide d'un capteur de courant à effet Hall LTS15NP et la position est mesurée à l'aide d'un codeur incrémental GI355. On donne les caractéristiques suivantes :

- I.1 (1 pt) Rappeler les équations électriques et mécaniques correspondant au modèle de la machine à courant continu présenté ci-dessus.
- I.2 (1.5 pts) Déterminer la fonction de transfert en courant en boucle ouverte $M(p) = I(p)/U(p)$ de la machine à courant continu à vide ($C_{charge} = 0$). On donnera ω_1 et ω_2 les pulsations propres respectivement du numérateur et du dénominateur, et K_0 le gain statique.
- I.3 (0.5 pt) Représenter la boucle d'asservissement du courant en assimilant le hacheur à un gain statique G_0 et le correcteur à un correcteur proportionnel de gain K_p (la consigne de courant est nommée I_{ref}).
- I.4 (1.5 pts) Démontrer que la fonction de transfert en boucle fermée $H(p) = I(p)/I_{ref}(p)$ de la boucle de courant est assimilable à la fonction de transfert du premier ordre ci-dessous, si le gain statique global en boucle ouverte noté K est grand :

$$H(p) = \frac{1}{1 + \frac{p\omega_1}{K \cdot \omega_2^2}}$$

- I.5 (1 pt) Déterminer les limites de la fréquence d'échantillonnage $f_e = 1/T_e$ permettant d'assurer un contrôle précis par microcontrôleur (on donne $\omega_1 = 0.1$ rd/s et $\omega_2 = 16$ rd/s $K = \pi/10$)
- I.6 (1 pt) Les régulations de courant et de vitesse seront assurées respectivement par les correcteurs $C_i(p)$ et $C_v(p)$. Représenter le schéma complet de régulation de la vitesse de la machine à courant continu (le hacheur sera ici associé à son gain statique).
- I.7 (1 pt) Donner l'inconvénient d'une régulation de vitesse utilisant un seul régulateur par rapport à la structure de régulation étudiée ici (boucle de courant et de vitesse).
- I.8 (1 pt) On utilisera des correcteurs PI pour les boucles de courant et de vitesse, dont l'expression générale $C(p)$ est rappelée ci-dessous. Déterminer la fonction de transfert en z de ce correcteur échantillonné précédé d'un bloqueur d'ordre 0, en appliquant la méthode du rectangle inférieur.



$$C(p) = K_p \left(\frac{1 + \tau_i \cdot p}{\tau_i \cdot p} \right)$$

- I.9 (1 pt) Déterminer l'équation récurrente de ce correcteur en exprimant $S(n)$.
- I.10 (1 pt) Ecrire les équations récurrentes correspondant aux boucles de courant et de vitesse en utilisant respectivement les indices i et v pour exprimer les paramètres des correcteurs.
- I.11 (0.5 pt) Indiquer dans quel cas les équations des correcteurs doivent être converties pour ne faire apparaître que des coefficients entiers lors de leur implantation sur microcontrôleur, et quel en est l'intérêt.

II Configuration et communication CANopen avec le nœud SP27T (9 pts)

Le variateur pour machines alternatives Unidrive SP27T est équipé du module SM-CANopen lui permettant de communiquer par bus CAN suivant le protocole CANopen en mode standard CAN2.0A. Lors de la phase d'initialisation, les paramètres de configuration du variateur sont transmis par le contrôleur distant (Maître CANopen) par l'intermédiaire du réseau CAN.

Lors du fonctionnement normal, le variateur SP27T effectue des cycles de fonctionnement fixes programmés en interne et transmet au maître CANopen les mesures suivantes de son dictionnaire d'objets :

- Position de l'arbre (Index=0x2003 ; sous-index=0x1D ; taille=32 bits ; unité : pas codeur)
- Courant efficace (Index=0x2004 ; sous-index=0x01 ; taille=32 bits ; unité : ampères/10)

Ces deux paramètres sont transmis dans une seule trame PDO à la fréquence de 1 kHz. On utilise le TXPDO2.

Les identifiants des nœuds sont les suivants :

- Maître CANopen : Node-ID = 1
- Unidrive SP27T : Node-ID = 5

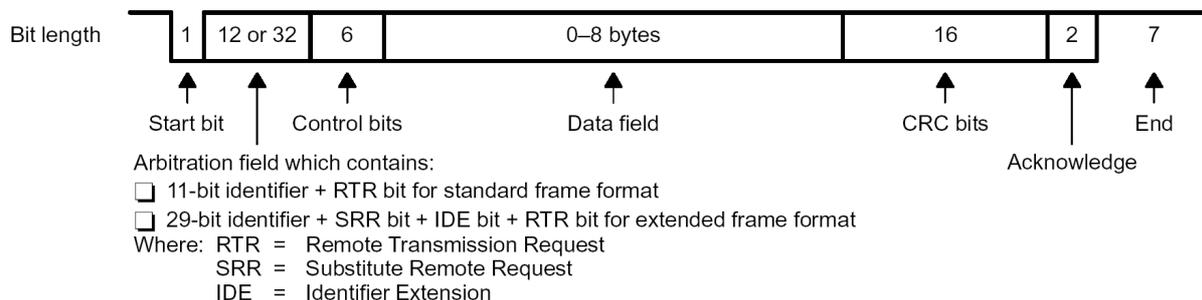
- II.1 (1 pt) Rappeler ce qu'est un dictionnaire d'objet dans le protocole CANopen.
- II.2 (1 pt) Rappeler la signification des acronymes SDO et PDO.
- II.3 (1.5 pts) Indiquer quelles sont les données à écrire dans le dictionnaire d'objets du SP27T pour configurer **les paramètres de « mapping » du TXPDO2**, en précisant les index et sous-index de destination.
- II.4 (1 pt) Indiquer quelles sont les données à écrire dans le dictionnaire d'objets du SP27T pour configurer **les paramètres de communication du TXPDO2** aux valeurs ci-dessous, en précisant les index et sous-index de destination :
- Transmission type = 255
 - Event timer = 1
- II.5 (1.5 pts) Conformément à l'exemple ci-dessous illustrant le contenu de trames SDO permettant l'écriture de la valeur 0x02 à l'index 0x1A00 et sous-index 0x00, donner le contenu des trames SDO correspondant à la configuration des paramètres de « mapping » du TXPDO2 du SP27T.

Client → Serveur (Node-ID=2)								
COB-ID	Octets de données							
	0	1	2	3	4	5	6	7
602	2F	00	1A	00	02	-	-	-
Client ← Serveur (Node-ID=2)								
582	60	00	1A	00	-	-	-	-

- II.6 (1 pt) Même question pour le contenu des trames SDO correspondant à la configuration des paramètres de communication du TXPDO2 du SP27T.
- II.7 (1 pt) Donner le contenu de la trame TXPDO2 dans le cas où les paramètres transmis ont les valeurs suivantes : Position = 0x00041237 et Courant efficace = 0x00000643.
- II.8 (1 pt) Déterminer le taux d'occupation du bus CAN lorsque le débit binaire est de 1Mbaud et que seul le TXPDO2 est transmis à la fréquence de 1kHz.

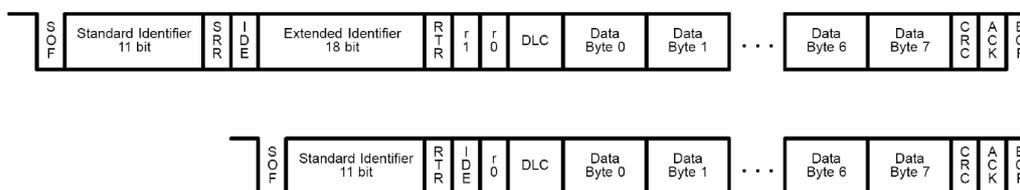
Annexes

Format des trames CAN



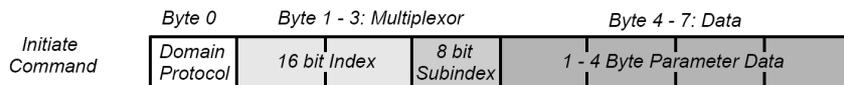
Note: Unless otherwise noted, numbers are amount of bits in field.

Illustration des formats de trame étendu et standard.



Format des données des trames CANopen SDO

CAL Multiplexed Domain Protocol



described in Byte 0:

- Upload
- Download
- No. of valid data bytes
- expedited transfer
- segmented transmission (> 4 data bytes)
- abort transmission
- toggle bit

16 bit Index	Subind.	Description	Value
1000H	00H	Device Type	00 00 00 03H
...
1008H	00H	Device Name	DIOC 711
...
1A00H	00H	Mapping TPDO?	08H
...	01H	1st mapped Obj	60 00 01 08H
...	02H	2nd mapped Obj	60 00 02 08H
...
6006H	01H	Interrupt Mask	FFH
...

Object Dictionary (extract)

Initiate Domain Download							
Bit	7	6	5	4	3	2	1 0
Client⇒	0	0	1	-	n	e	s
←Server	0	1	1	-	-	-	-

n : valid if e=1 and s=1, otherwise 0; indicates the number of bytes that do not contain data (bytes 8-n to 7 do not contain data).
e : 0 = normal transfer, 1 = expedited transfer.
s : size indicator, 0 = data set size not indicated, 1 = data set size indicated.
e=0, s=0 : data bytes reserved for further use by CiA
e=0, s=1 : data bytes contain byte-counter, byte 4: LSB, byte 7: MSB
e=1 : data bytes contain data to be downloaded.

Download Domain Segment							
Bit	7	6	5	4	3	2	1 0
Client⇒	0	0	0	t	n	c	
←Server	0	0	1	t	-	-	-

n : indicates the number of bytes that do not contain data (bytes 8-n to 7 do not contain data); zero if no segment size is indicated.
c : 0 = more segments to be downloaded, 1 = last segment.
t : toggle bit, must alternate for each subsequent segment (first time = 0; equal for request / response).

Initiate Domain Upload								
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Client⇒	0	1	0	-	-	-	-	-
←Server	0	1	0	-	n	e	s	

n, e, s: as for *Initiate Domain Download*.

Upload Domain Segment								
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
Client⇒	0	1	1	t	-	-	-	-
←Server	0	0	0	t	n			c

n, c, t: as for *Download Domain Segment*.

Abort Domain Transfer								
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
C⇒/←S	1	0	0	-	-	-	-	-

COB-ID des trames CANopen

Broadcast objects of the CANopen Predefined Master/Slave Connection Set			
Object	Function code (ID-bits 10-7)	COB-ID	Communication parameters at OD index
NMT Module Control	0000	000h	-
SYNC	0001	080h	1005h, 1006h, 1007h
TIME STAMP	0010	100h	1012h, 1013h

Peer-to-Peer objects of the CANopen Predefined Master/Slave Connection Set			
Object	Function code (ID-bits 10-7)	COB-ID *	Communication parameters at OD index
EMERGENCY	0001	081h - 0FFh	1024h, 1015h
PDO 1 (transmit)	0011	181h - 1FFh	1800h
PDO 1 (receive)	0100	201h - 27Fh	1400h
PDO 2 (transmit)	0101	281h - 2FFh	1801h
PDO 2 (receive)	0110	301h - 37Fh	1401h
PDO 3 (transmit)	0111	381h - 3FFh	1802h
PDO 3 (receive)	1000	401h - 47Fh	1402h
PDO 4 (transmit)	1001	481h - 4FFh	1803h
PDO 4 (receive)	1010	501h - 57Fh	1403h
SDO (transmit/server)	1011	581h - 5FFh	1200h
SDO (receive/client)	1100	601h - 67Fh	1200h
NMT Error Control	1110	701h - 77Fh	1016h, 1017h

Paramètres de communication du TXPDO2

Index	Sub-Index	Description	Data Type
1801h	0h	Largest sub-index supported	Unsigned8
	1h	COBID used by PDO	Unsigned32
	2h	Transmission type	Unsigned8
	3h	Inhibit time	Unsigned16
	4h	Reserved	Unsigned8
	5h	Event timer	Unsigned16

Paramètres de « mapping » du TXPDO2

Index	Sub-Index	Description	Data Type
1A01h	0h	Number of mapped objects	Unsigned8
	1h	1st object (16 bit Index+8 bit Sub-Index+8 bit length)	Unsigned32
	2h	2nd object (16 bit Index+8 bit Sub-Index+8 bit length)	Unsigned32

	40h	64th object (16 bit Index+8 bit Sub-Index+8 bit length)	Unsigned32