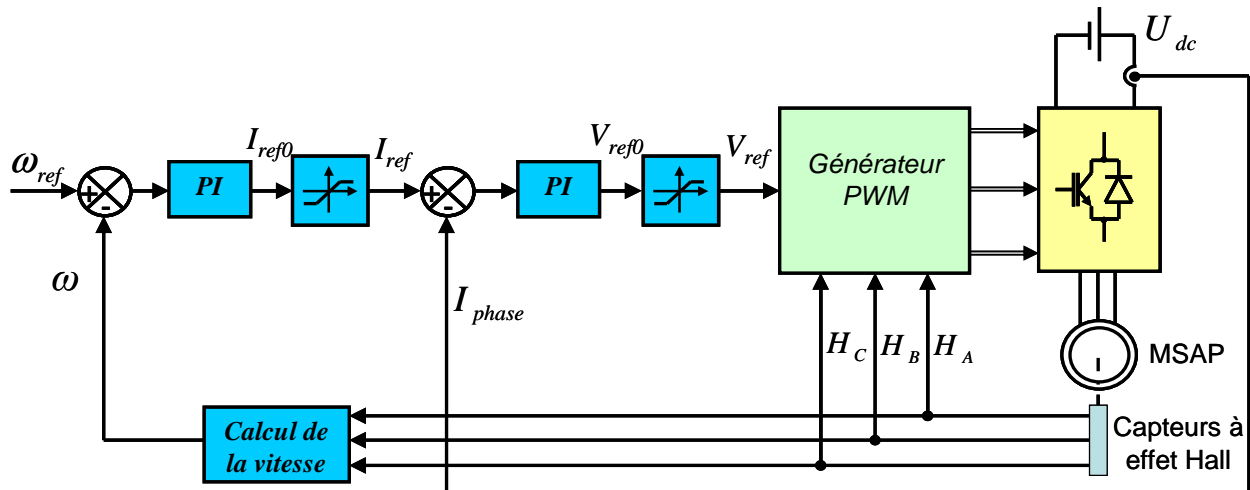


Examen TR57

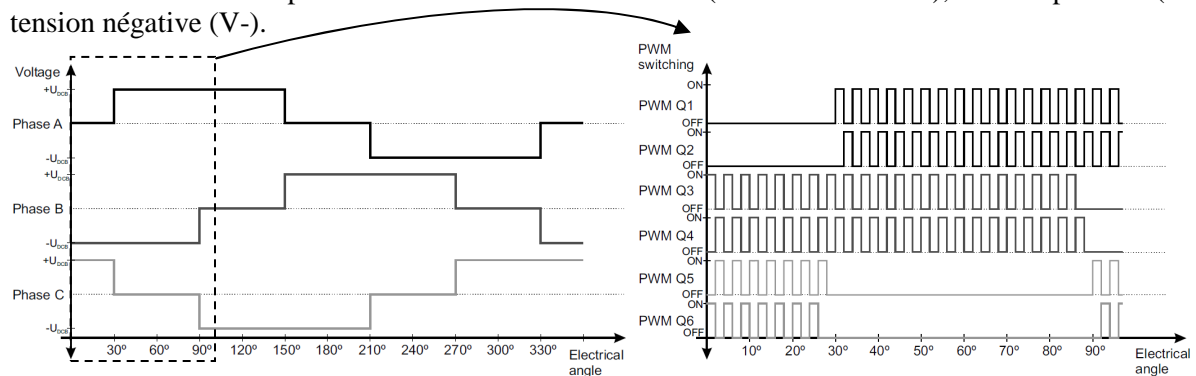
Asservissement en couple et en vitesse d'une BLDC

Le schéma de principe du contrôle en couple et en vitesse de la BLDC est représenté ci-dessous. Les asservissements ainsi que la génération de la PWM sont réalisés par le DSP contrôleur TMS320LF2407A cadencé à 40 MHz.



I. Configuration de la PWM

Les signaux H_A , H_B et H_C issus des capteurs à effet Hall intégrés à la machine permettent de définir les ordres d'activation des commandes PWM de chaque cellule de commutation ainsi que la polarité de la tension. Les trois états possibles sont alors : tension nulle (transistors ouverts), tension positive ($V+$), tension négative ($V-$).



1. Compléter le tableau suivant donnant le type de PWM à appliquer (inactif, $V+$ ou $V-$) pour les trois phases de l'onduleur selon les zones de position données par les capteurs.

Zone angulaire	Phase A	Phase B	Phase C
$0^\circ - 30^\circ$			
$30^\circ - 90^\circ$			
$90^\circ - 150^\circ$			
$150^\circ - 210^\circ$			
$210^\circ - 270^\circ$			
$270^\circ - 330^\circ$			
$330^\circ - 360^\circ$			

2. Indiquer les valeurs à écrire dans le registre ACTRA décrit en annexe, permettant d'obtenir les trois configurations « inactif », « V+ » et « V- » et respectant une création des temps morts conforme au schéma donné en annexe.
3. Dans le cas d'un générateur PWM conventionnel configuré pour la MLI centrée, déterminer TxPR la valeur de la période de comptage du « Timer » associé, pour une fréquence d'horloge de 40MHz et une fréquence PWM de 10kHz.
4. V_{ref} étant l'amplitude des créneaux de tension appliqués sur les phases de la BLDC (V+ et V-), exprimer les deux rapports cycliques $\alpha+$ et $\alpha-$ permettant d'appliquer respectivement les tensions $V+=V_{ref}$ et $V--=V_{ref}$, en fonction de Udc, et V_{ref} .
5. Déterminer l'expression des registres comparateurs CMPRx des trois phases en fonction du rapport cyclique α (Une seule et même expression pour les trois registres).

II. Implantation de la fonction d'asservissement dans le DSP

Les correcteurs de vitesse C_v et de courant C_i sont des correcteurs PI exprimés sous la forme suivante :

$$C_v(s) = K_{pv} \left(\frac{1 + \tau_{iv} \cdot s}{\tau_{iv} \cdot s} \right) \quad C_i(s) = K_{pi} \left(\frac{1 + \tau_{ii} \cdot s}{\tau_{ii} \cdot s} \right)$$

1. Déterminer les fonctions de transfert en z $C_v(z)$ et $C_i(z)$ en utilisant la méthode d'approximation du rectangle inférieur.
2. Déterminer les deux équations récurrentes donnant $I_{ref0}(n)$ et $V_{ref0}(n)$.

Les variables virgules fixes du programme en langage C sont exprimées de la manière suivante en fonction des variables réelles :

- les courants : $I1 = K_i.I$
- les tensions : $V1 = K_v.V$
- les vitesses : $W1 = K_w.W$

3. Déterminer les deux équations récurrentes donnant $I_{ref0}(n)$ et $V_{ref0}(n)$ en fonction des autres variables virgule fixe.
4. Ecrire en langage C la partie de code de l'interruption déterminant I_{ref} en fonction de W_{ref} et $W1$ (prendre en compte une saturation du courant à $\pm I_{sat}$).
5. Ecrire en langage C la partie de code de l'interruption déterminant V_{ref} en fonction de I_{ref} et I_{phase} (prendre en compte une saturation de tension à $\pm U_{dc}$).

III. Communication au protocole CANopen

Le DSP contrôlant la BLDC est relié à un réseau CAN afin d'échanger des données au protocole CANopen. Il doit envoyer un Heartbeat régulier à la fréquence de 10Hz (période de 100ms) afin de tenir informé le maître CANopen de son état. Les numéros de nœud sont affectés de la manière suivante : ID du nœud maître : 1 ; ID du nœud contrôleur : 5

1. Déterminer le COB-ID des trames SDO envoyées par le maître au nœud d'ID=5.
2. Déterminer le contenu de la trame SDO complète que le maître doit envoyer pour configurer la période de Heartbeat du nœud d'ID=5.
3. Déterminer le contenu de la trame de Heartbeat envoyée périodiquement par le nœud d'ID=5 lorsqu'il est en mode opérationnel.
4. Déterminer en % le taux d'occupation maximum du bus CAN lorsque la fréquence de transmission est configurée à 1Mbaud et que seule la trame périodique de Heartbeat provenant du nœud d'ID=5 est transmise.

ANNEXES

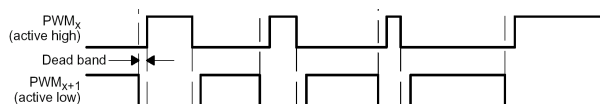
Registre ACTRA du DSP TMS320LF2407 :

- Bit 15** **SVRDIR**. Space vector PWM rotation direction. Used only in space vector PWM output generation.
 0 Positive (CCW)
 1 Negative (CW)
- Bits 14–12** **D2–D0**. Basic space vector bits. Used only in space vector PWM output generation.
- Bits 11–10** **CMP6ACT1–0**. Action on compare output pin 6, **PWM6**.
 00 Forced low
 01 Active low
 10 Active high
 11 Forced high
- Bits 9–8** **CMP5ACT1–0**. Action on compare output pin 5, **PWM5**.
 00 Forced low
 01 Active low
 10 Active high
 11 Forced high
- Bits 7–6** **CMP4ACT1–0**. Action on compare output pin 4, **PWM4**.
 00 Forced low
 01 Active low
 10 Active high
 11 Forced high
- Bits 5–4** **CMP3ACT1–0**. Action on compare output pin 3, **PWM3**.
 00 Forced low
 01 Active low
 10 Active high
 11 Forced high
- Bits 3–2** **CMP2ACT1–0**. Action on compare output pin 2, **PWM2**.
 00 Forced low
 01 Active low
 10 Active high
 11 Forced high

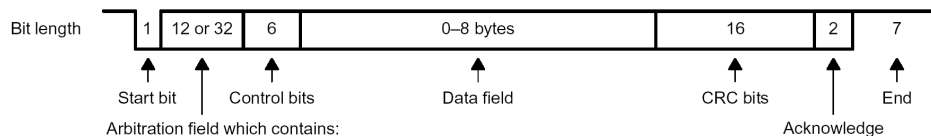
- Bits 1–0** **CMP1ACT1–0**. Action on compare output pin 1, **PWM1**.
 00 Forced low
 01 Active low
 10 Active high
 11 Forced high

15	14	13	12	11	10	9	8
SVRDIR	D2	D1	D0	CMP6ACT1	CMP6ACT0	CMP5ACT1	CMP5ACT0
RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0
7	6	5	4	3	2	1	0
CMP4ACT1	CMP4ACT0	CMP3ACT1	CMP3ACT0	CMP2ACT1	CMP2ACT0	CMP1ACT1	CMP1ACT0
RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0	RW-0

Note: R = Read access, W = Write access, -0 = value after reset



Détail des trames CAN :



- Arbitration field which contains:
- 11-bit identifier + RTR bit for standard frame format
 - 29-bit identifier + SRR bit + IDE bit + RTR bit for extended frame format
- Where: RTR = Remote Transmission Request
 SRR = Substitute Remote Request
 IDE = Identifier Extension

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

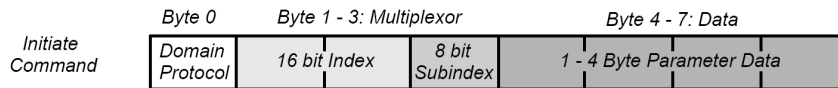
Assignment des COB-ID dans le protocole CANopen :

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

Format des trames SDO :

CAL Multiplexed Domain Protocol



Description des Domain Protocols Download et Upload

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

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

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.

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

Index et sous-index du paramètre de période du Heartbeat :

Index	0x1017	Sub-index	0	Access	RW
Default	0	Data type	UNSIGNED16	Object code	VAR

Trame de Heartbeat :

HEARTBEAT Producer ⇒ Consumer(s)		state	Meaning
COB-ID	Byte 0	0	Boot-up
0x700 + Node ID	state	4	Stopped
		5	Operational
		127	Pre-operational