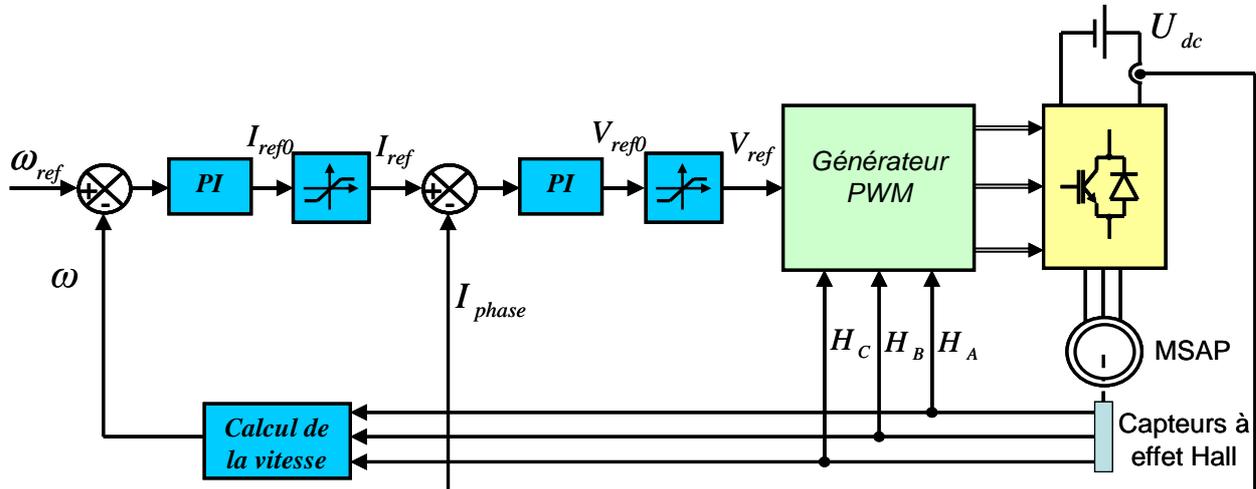


Examen TR57

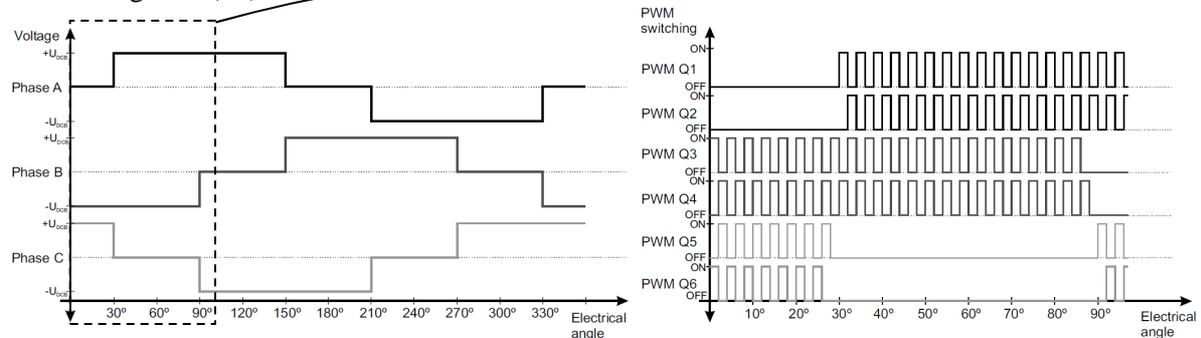
Asservissement en couple et en vitesse d'une BLDC

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 $II_{ref0}(n)$ et $VI_{ref0}(n)$ en fonction des autres variables virgule fixe.
4. Ecrire en langage C la partie de code de l'interruption déterminant II_{ref} en fonction de WI_{ref} et WI (prendre en compte une saturation du courant à $\pm I_{sat}$).
5. Ecrire en langage C la partie de code de l'interruption déterminant VI_{ref} en fonction de II_{ref} et II_{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

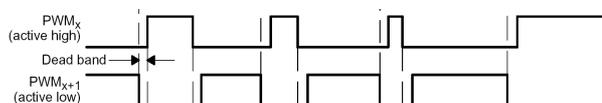
Registre ACTRA du DSP TMS320LF2407 :

- 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

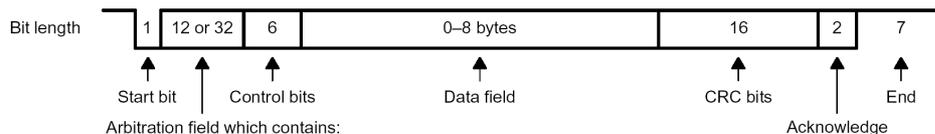
- Bits 1–0** **CMP1ACT1–0**. Action on compare output pin 1, **PWM1**.
 00 Forced low
 01 Active low
 10 Active high
 11 Forced high

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

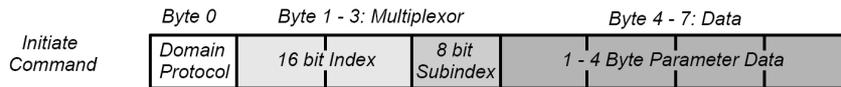
Assignment des COB-ID dans le protocole CANopen :

| 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) | | <i>state</i> | Meaning |
|----------------------------------|---------------|--------------|-----------------|
| COB-ID | Byte 0 | 0 | Boot-up |
| 0x700 + Node ID | <i>state</i> | 4 | Stopped |
| | | 5 | Operational |
| | | 127 | Pre-operational |