

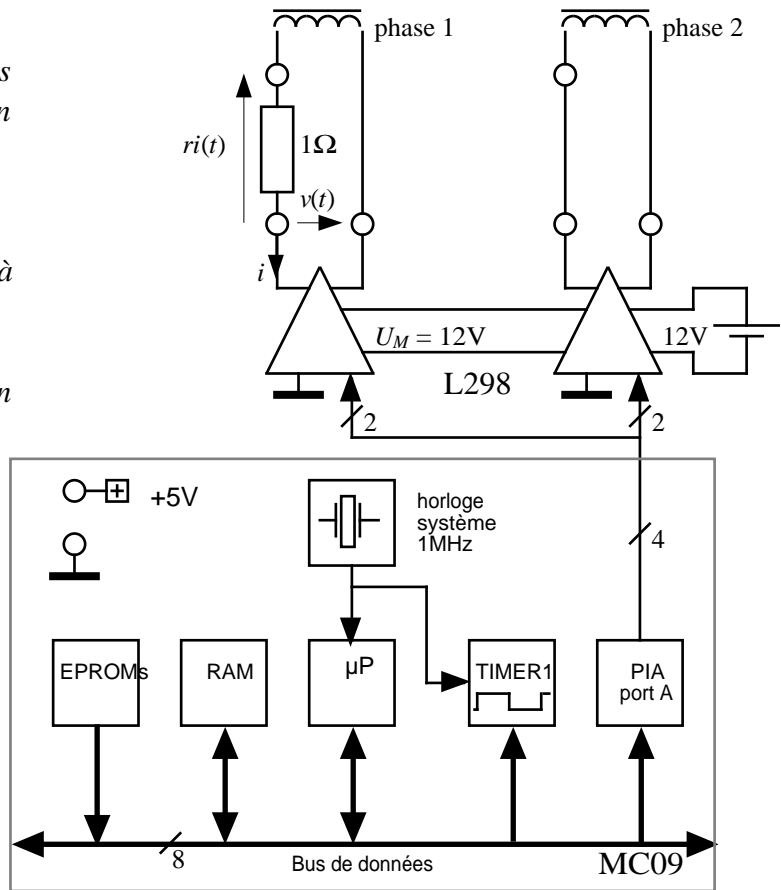
### C35 - Moteurs PaP

But : commander un moteur pas-à-pas ou un moteur synchrone TBT par un microprocesseur.

Matériel :

- carte MC09 avec sortie sur PIA
- carte amplificateur (CI L298) à double sortie

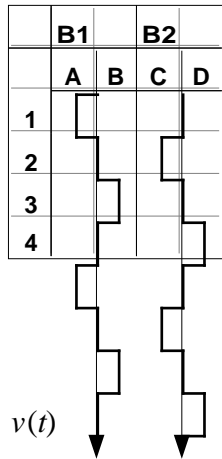
Sécurité : manipulation réalisée en TBTS



Rappel : commande d'un moteur PaP bipolaire, ref CROUZET 82 930 002, en mode "pas" :

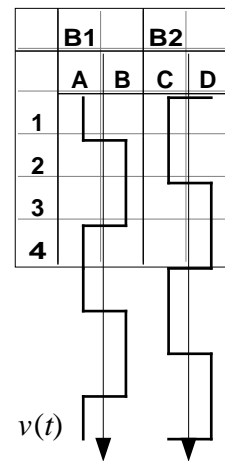
a) commande 1 phase à la fois :

	B1		B2	
	A	B	C	D
1	1	0	0	0
2	0	0	1	0
3	0	1	0	0
4	0	0	0	1
etc	1	0	0	0

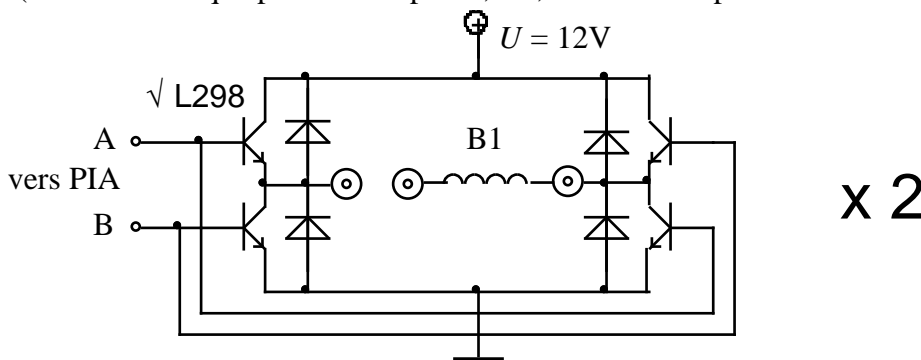


b) commande 2 phases à la fois :

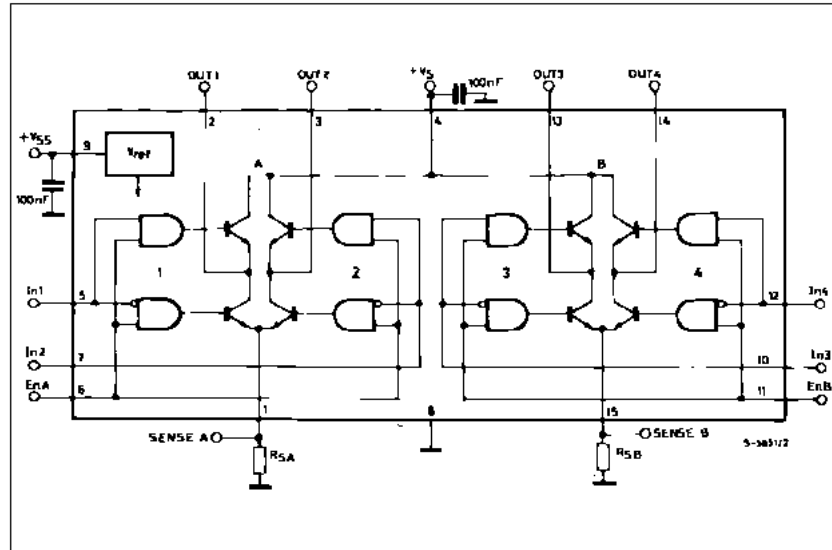
	B1		B2	
	A	B	C	D
1	1	0	1	0
2	0	1	1	0
3	0	1	0	1
4	1	0	0	1
etc	1	0	1	0



Circuit L298 (schéma identique pour l'autre phase, B2, commandée par les bits C et D) :



BLOCK DIAGRAM



1°) a) Relever sur la notice technique la valeur de l'inductance  $L$  d'un enroulement (encore appelé "phase") du moteur.

b) Mesurer la valeur de sa résistance  $R$  à l'ohmmètre. En déduire  $\tau$ , constante de temps électrique du moteur.

c) Quel est le nombre de pas de ce moteur ? En déduire la valeur de l'angle de pas (en degrés).

2°) *Fonctionnement "2 phases à la fois"*. Exécuter le programme \$AD49 permettant de faire tourner le moteur en mode pas. Ne pas oublier d'entrer préalablement la durée  $T_p$  d'un pas (adresses \$0F04:0F05) ainsi que la table de commande du moteur. Dans cette table, les quatre bits de poids fort de chaque octet sont égaux à zéro :

- étape 1 \$0F00 %0000ABCD Table de commande du moteur
- étape 2 \$0F01 %0000ABCD
- étape 3 \$0F02 %0000ABCD
- étape 4 \$0F03 %0000ABCD

```
* Commande moteur pas-à-pas
*   - entrée : mots de commande : $0x = %0000abcd
*           a,b : connexions 1 et 2 phase I
*           c,d : connexions 3 et 4 phase II
*           a,b,c ou d = 0 : 0 V
*           a,b,c ou d = 1 : +12 V
*   - sortie : PIA : connecteur 1
*
* $0F00->$0F03 : table de commande moteur PAP (4 octs)
* $0F04:0F05 : Tp : valeur hexa de la durée d'un pas (en ms)
*           comprise entre 1ms ($0001) et 65s ($FFFF)
*
```

```
AD49 10 8E 80 00    pap    LDY    #rapiau    init PIA port A
AD4D 86 FF         LDA    #$FF
AD4F BD A8 40      JSR    ipia
AD52 CE 0F 00      LDU    #$0F00    init table
AD55 BE 0F 04      LDX    $0F04    durée d'un pas
AD58 A6 C0         pploop LDA    ,U+      lecture table
AD5A B7 80 00      STA    rapiau    et commande moteur
AD5D BD AA 00      JSR    tempo
AD60 11 83 0F 04   CMPU   #$0F04    fin de table ?
AD64 26 F2        BNE    pploop    non : continuer
AD66 CE 0F 00      LDU    #$0F00    oui : raz pointeur
AD69 20 ED        BRA    pploop
AD6B 3F           SWI
```

3°) Relever, d'après le montage indiqué page 1, à basse fréquence (durée d'un pas  $\approx 20$  à  $30$  ms), la tension  $v$  aux bornes d'une phase et le courant  $i$ . Mesurer  $v_{\max}$  et  $i_{\max}$ . Vérifier que :  $i_{\max} = \frac{v_{\max}}{R+r}$ .

Préciser la valeur de la chute de tension  $\Delta U = U_M - v_{\max}$  due au circuit de commande L298.

4°) Donner une interprétation théorique précise de l'allure du courant. Pour cela :

- établir l'équation différentielle du courant à l'aide de la loi des mailles.
- en déduire  $i(t)$  pour chaque étape de fonctionnement, d'après la solution générale de

l'équation différentielle du 1er ordre :  $\tau \frac{dx}{dt} + x = c^{te} = x_{\infty} \Rightarrow x(t) = (x_0 - x_{\infty})e^{-t/\tau} + x_{\infty}$

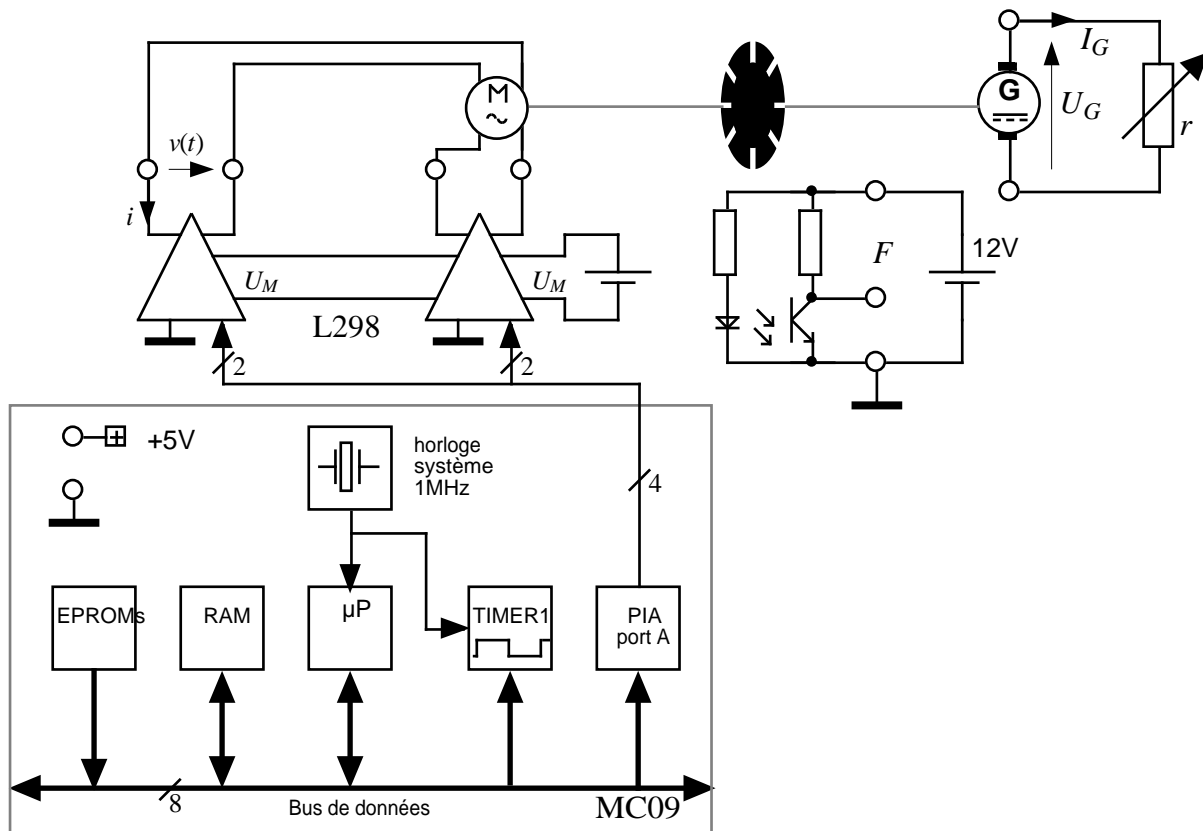
5°) Mesurer la vitesse maxi de rotation à vide. Donner le résultat en pas/s, tours/s, tours/mn, rad/s. Préciser la durée d'un pas.

6°) Relever  $v(t)$  et  $i(t)$  en mode "1 phase à la fois".

### C33 - Moteurs synchrone

On alimente un moteur synchrone CROUZET ref. 82 540 0 par un onduleur de tension constitué du circuit intégré L298 et de sa commande par le PIA de la carte à microprocesseur.

Le moteur synchrone est fixé sur un banc de test similaire au TP C32 (moteur CC) :



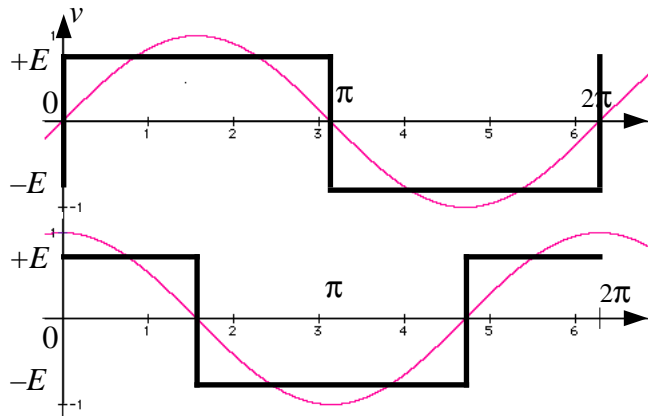
Le moteur comprend deux enroulements qui doivent être alimentés par deux tensions déphasées de  $90^\circ$ .

En fonctionnement nominal,  $V_{\text{eff}} = 24 \text{ V}$  ;  $f = 50 \text{ Hz}$ .

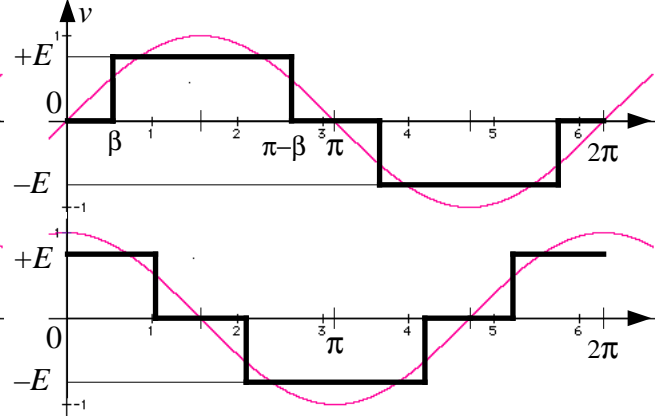
Pour faire varier la vitesse, on travaille à  $V/f$  constant. Par exemple, pour une vitesse de rotation moitié de la vitesse de rotation nominale, il faut  $V_{\text{eff}} = 12 \text{ V}$  et  $f = 25 \text{ Hz}$ .

Principe de la commande (le fondamental est dessiné en trait fin) :

a) commande symétrique :



b) commande décalée (onduleur en créneaux) :  
(angle de commande  $\beta = \pi/6$ )



1°) Comme pour le moteur PàP, construire les tableaux de commande correspondant à ces deux modes d'alimentation, une période étant ici partagée en 12 "pas" égaux.

2°) On veut une vitesse de rotation égale à la moitié de la vitesse nominale. Soit  $f = 27,8$  Hz. En déduire la durée d'un "pas" en ms.

3°) Sachant que  $V_{eff} = \frac{V_1}{\sqrt{2}}$  et que l'amplitude  $V_1$  du fondamental vaut respectivement  $V_1 = \frac{4E}{\pi}$  et

$V_1 = E \frac{4}{\pi} \cos\beta$  calculer dans chaque cas  $U_M$  en tenant compte des chutes de tension dans le circuit L298 ( $|U_M| = E + \Delta U$ , voir §1). A.N. :  $V_{eff} = 12$  V.

4°) Ecrire et exécuter le programme. Relever dans chaque cas la tension  $v$  aux bornes d'un enroulement et le courant  $i$ .

5°) Relever dans chaque cas le spectre de la tension. En déduire le THD :  $THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_{n,eff}^2}}{V_{1,eff}}$ .

### Procédure de test du moteur synchrone commandé en $V_{eff}/f = cte$

On reprend la procédure de test utilisée dans le TP C32 : le moteur synchrone muni de sa commande est vu comme un moteur CC *brushless* alimenté par son onduleur. On se limite au cas de la commande symétrique.

Pour déterminer les caractéristiques et les performances du moteur *brushless*, on choisit deux points de fonctionnement différents, par exemple le point correspondant au fonctionnement génératrice à vide (*indice o*) et le point correspondant au fonctionnement à vitesse nominale (*indice n*).

La procédure consiste à mesurer pour chaque point les grandeurs  $I_M$  et  $N$ . Remplir le tableau EXCEL du TP C32, après avoir mesuré  $I_o$ ,  $I_n$ ,  $N_o$  et  $N_n$ .

Conclusion : comparer les performances des deux moteurs, CC et *brushless*. Comment pourrait-on améliorer les performances du moteur *brushless* ?

**Commentaires**

**Moteur pas-à-pas**

1°) a)  $L = 57 \text{ mH}$

b)  $R = 22 \ \Omega \Rightarrow \tau = \frac{L}{R} \approx 2,6 \text{ ms}$

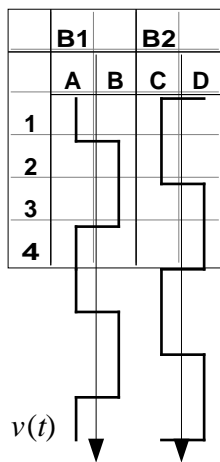
c) 48 pas  $\theta = \frac{360}{48} = 7,5^\circ$

2°) Exemple : durée d'un pas :  $T_p = 25 \text{ ms} \Rightarrow [\$0F04:0F05] = \$0000:0019$

Table de commande (principe) :

Bobine B1 : si  $v_{AB} > 0 \Rightarrow A = 1 ; B = 0$   
 si  $v_{AB} < 0 \Rightarrow A = 0 ; B = 1$

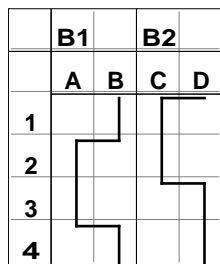
Bobine B2 : idem



		B1		B2			
		A B		C D			
	adresse	binaire	A	B	C	D	hexa
1	\$0F00	%0000	1	0	1	0	\$0A
2	\$0F01	%0000	0	1	1	0	\$06
3	\$0F02	%0000	0	1	0	1	\$05
4	\$0F03	%0000	1	0	0	1	\$09



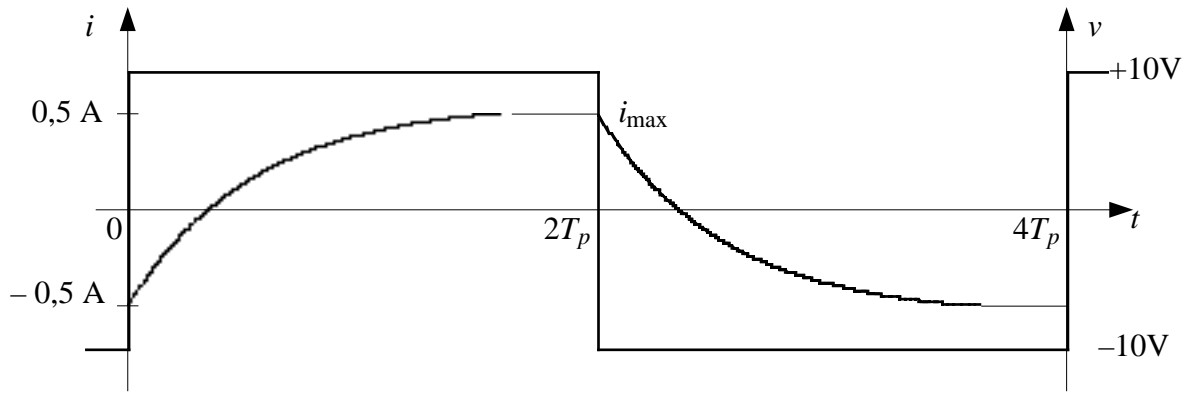
Le sens de rotation dépend de l'ordre d'alimentation des phases. Par exemple, en modifiant le tableau comme ci-dessous, on change le sens de rotation :



		B1		B2			
		A B		C D			
	adresse	binaire	A	B	C	D	hexa
1	\$0F00	%0000	0	1	1	0	\$06
2	\$0F01	%0000	1	0	1	0	\$0A
3	\$0F02	%0000	1	0	0	1	\$09
4	\$0F03	%0000	0	1	0	1	\$05

3°)  $v_{\max} \approx 10 \text{ V} \Rightarrow \Delta U \approx U_M - v_{\max} = 12 - 10 = 2 \text{ V}$  (chute de tension dans le circuit d'alimentation L298).

$$i_{\max} = \frac{v_{\max}}{R+r} \approx 0,5 \text{ A}$$



4°) •  $L \frac{di}{dt} + Ri = v(t) \Leftrightarrow \tau \frac{di}{dt} + i = \frac{\pm v_{\max}}{R+r} \approx \pm 0,5 \text{ A}$  avec  $\tau = \frac{L}{R+r}$

• pour i croissant :  $i(0) = -0,5 \text{ A}$  et  $i(\infty) = +0,5 \text{ A} \Rightarrow i(t) = 0,5 \left( 1 - 2e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$

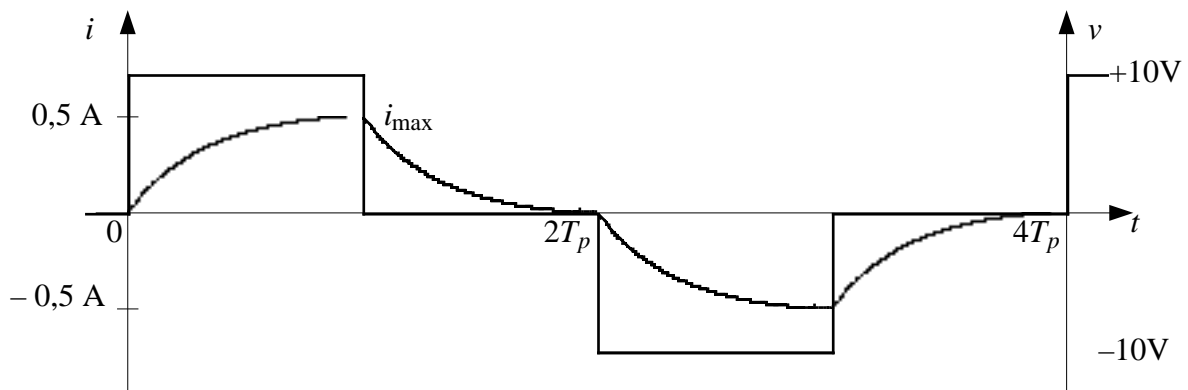
5°) Expérimentalement, on constate que le moteur ne tourne plus correctement en dessous de  $T_p \approx 4 \text{ ms}$  environ. Donc :

	essai à $T_p = 25 \text{ ms}$	essai à $T_p = 4 \text{ ms}$
$F = \frac{1}{T_p}$	$F = 40 \text{ pas/s}$	$F = 250 \text{ pas/s}$
$n = \frac{F}{48}$	$n = 0,833 \text{ tours/s}$	$n = 5,21 \text{ tours/s}$
$N = 60n$	$N = 50 \text{ tours/mn}$	$N = 312 \text{ tours/mn}$
$\Omega = 2\pi n$	$\Omega = 5,23 \text{ rad/s}$	$\Omega = 32,7 \text{ rad/s}$

Conclusion : on constate qu'un moteur pas-à-pas n'est pas prévu pour tourner rapidement !

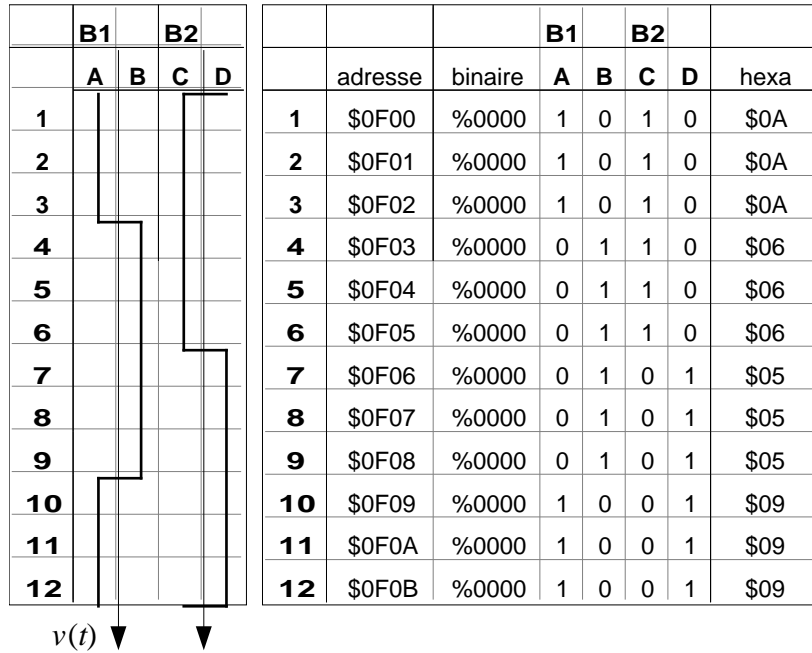
6°) Commande une phase à la fois :

			B1		B2		
	adresse	binaire	A	B	C	D	hexa
1	\$0F00	%0000	1	0	0	0	\$08
2	\$0F01	%0000	0	0	1	0	\$02
3	\$0F02	%0000	0	1	0	0	\$04
4	\$0F03	%0000	0	0	0	1	\$01

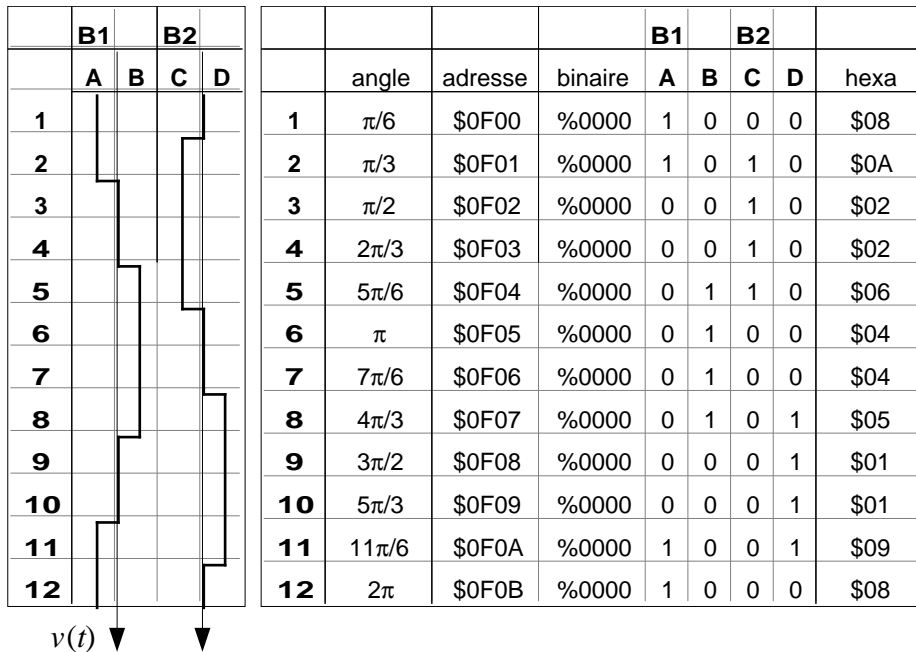


**Moteur synchrone**

1°) Commande symétrique : idem moteur PàP, fonctionnement en 2 phases à la fois :



Commande décalée :



2°) Période =  $1/27,8 = 0,036$  s  $\Rightarrow$  durée d'un pas =  $36/12 = 3$  ms

3°)  $\frac{V_{eff}}{f} = c^{te} \Rightarrow \frac{24}{50} = \frac{V_{eff}}{27,8} \Rightarrow V_{eff} = 13,33$  V  $\Rightarrow V_1 = V_{eff} \sqrt{2} = 18,8$  V

Commande symétrique :  $V_1 = \frac{4E}{\pi} \Rightarrow E = \frac{\pi}{4} V_1 = 14,8$  V  $\Rightarrow |U_M| = E + \Delta U \approx 17$  V

Commande décalée :  $V_1 = E \frac{4}{\pi} \cos\beta \Rightarrow E = \frac{\pi}{4} \frac{V_1}{\cos\frac{\pi}{6}} = 17,1$   $\Rightarrow |U_M| = E + \Delta U \approx 19$  V