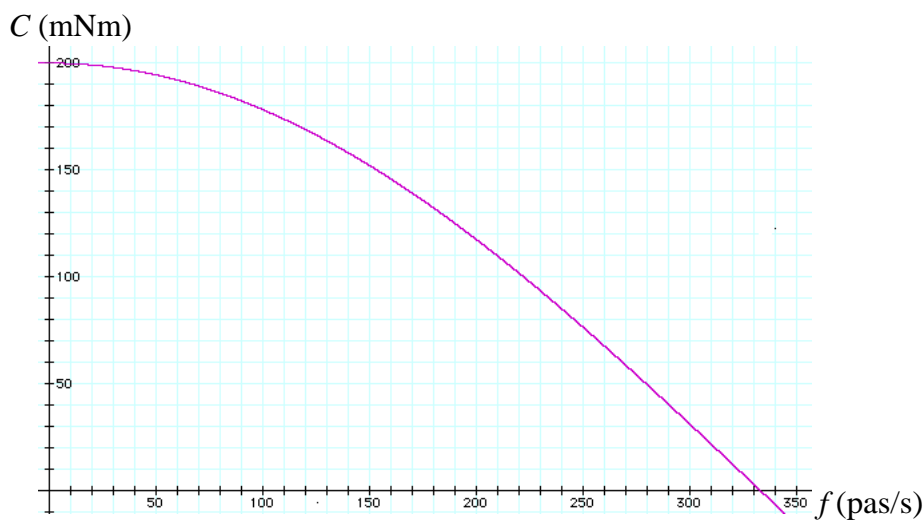


C35-1- Moteur pas-à-pas et son électronique de commande

A) Caractéristiques du moteur

Un moteur pas à pas à 2 phases (c'est-à-dire à 2 enroulements), à aimant permanent, possède les caractéristiques suivantes :

- nombre de pas : 48
- intensité nominale dans une phase : $I_n = 0,48 \text{ A}$
- tension d'alimentation d'une phase : 10 V
- résistance d'une phase : $r = 20,8 \ \Omega$
- inductance d'une phase : $L = 52,4 \text{ mH}$
- fréquence maximale de fonctionnement à vide : $f_{mv} = 333 \text{ pas/s}$.
- caractéristique mécanique dynamique :

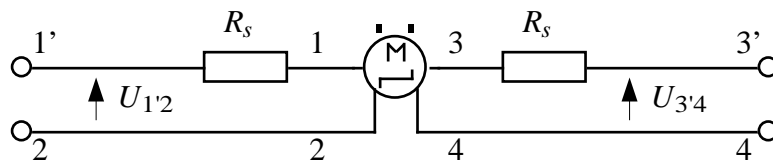


On note f le nombre de pas par seconde. On note Ω la vitesse de rotation. Préciser la valeur maximale de cette vitesse pour $f = f_{mv}$:

- 1) n_{mv} en tours/s et N_{mv} en tours/mn
- 2) Ω_{mv} en rad/s

B) Étude du moteur à l'arrêt

On numérote : 1 et 2 les connexions d'une phase ; 3 et 4 les connexions de l'autre phase. Chaque phase est alimentée par l'intermédiaire d'une résistance série de valeur $R_s = 2r$, selon le schéma :



A l'arrêt, le moteur est alimenté de telle façon qu'une seule phase est connectée, et parcourue par son intensité nominale.

- 3) quelle doit être la tension d'alimentation du montage (tension $U_{1'2}$ ou $U_{3'4}$) ?
- 4) quelle est la puissance absorbée par le moteur à l'arrêt ?

C) Étude du moteur en marche

Le moteur entraîne une charge caractérisée par un couple résistant $C_r = C_0 + k.\Omega$, avec $C_0 = 2.10^{-2}$ Nm et $k = 3,3.10^{-5}$ Nm.s/rad (Ω exprimée en rad/s).

5) Déterminer graphiquement la fréquence maximale f_{mc} (en pas/s) que le moteur peut atteindre avec cette charge.

6) Que vaut le couple à cette vitesse ?

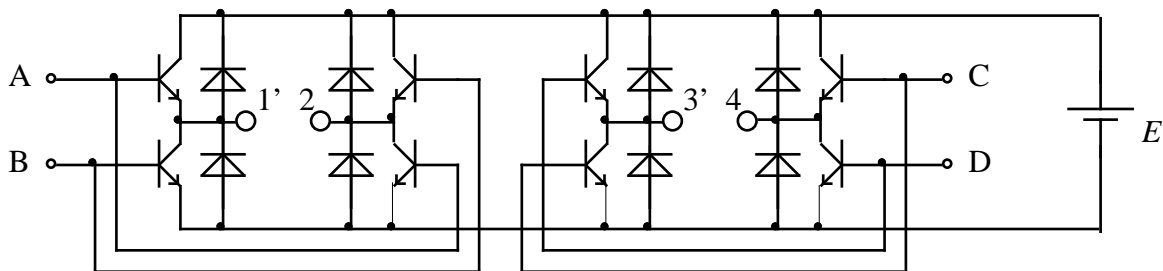
7) Quelle est la puissance fournie par le moteur dans ces conditions ?

D) Étude du circuit de commande :

Le moteur est commandé en "mode pas", "2 phases à la fois" :

		connexions			
		1	2	3	4
1er pas	a	+	-	+	-
2ème pas	b	+	-	-	+
3ème pas	c	-	+	-	+
4ème pas	d	-	+	+	-
etc...					

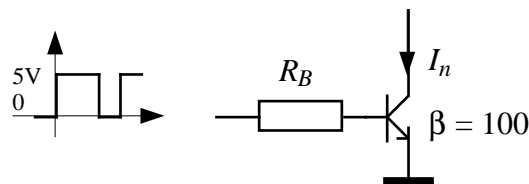
Le circuit de commande est formé d'un double "pont en H" à transistors (supposés parfaits) alimenté par une source de tension continue $E = 30$ V :



8) Tracer le graphe des tensions de commande $U_{1'2}$ et $U_{3'4}$ en fonction du temps pour une fréquence de fonctionnement $f = 125$ pas/s.

On note : T = durée d'un pas ; $T_{1'2} = T_{3'4}$ = période des tensions d'alimentation $U_{1'2}$ et $U_{3'4}$.

9) Calculer la résistance de base R_B nécessaire pour assurer la saturation de chaque transistor, lorsque celui-ci est commandé par un signal logique au format 0 - 5V et traversé par un courant de égal au courant nominal I_n . On donne : $V_{CE} \approx 0,7$ V



E) Étude du courant dans une phase

10) Ecrire l'équation différentielle du courant $i(t)$ dans une phase (circuits 1'-2 ou 3'-4) en fonction de r , R_s , L , E . On appellera τ la constante de temps.

La fréquence de fonctionnement du moteur est fixée à 125 pas/s. A cette fréquence, on admet que la charge ou la décharge du circuit inductif est complète au bout d'une demi-période du signal de commande.

11) Établir l'expression littérale $i(t)$ du courant à la charge.

12) Établir l'expression littérale $i(t)$ du courant à la décharge.

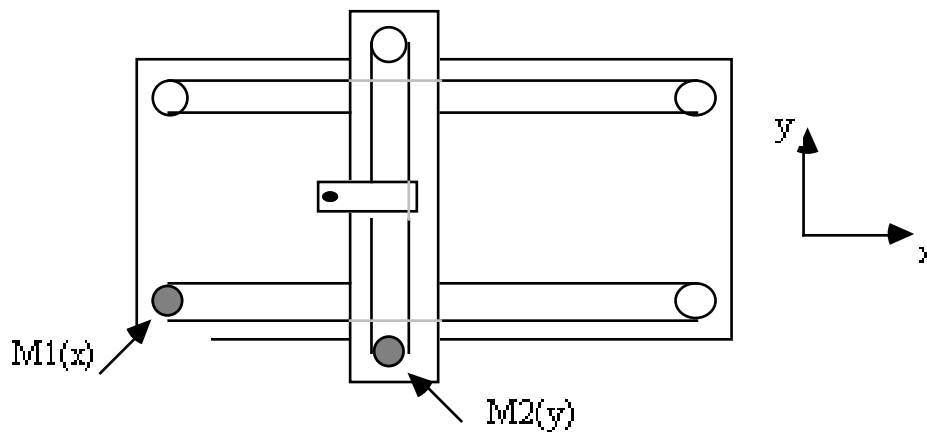
13) Application numérique : remplir le tableau :

t (ms)	0	1	2	4	8
i (A)					

14) On considère que le circuit inductif est complètement chargé ou déchargé lorsque le courant atteint 99 % de sa valeur nominale. En déduire la fréquence maximale de fonctionnement (en pas/s) réalisant cette condition. Conclusion ?

F) Réalisation d'une table traçante :

Une plume solidaire d'un chariot peut se déplacer dans deux directions perpendiculaires. La table traçante est au format A3 (297 X 420mm). Le moteur M1 règle le déplacement dans la direction x, le moteur M2 dans la direction y. Les deux moteurs sont identiques et fonctionnent **en mode demi-pas**. L'axe de chacun d'eux porte une poulie de diamètre D sur laquelle passe une courroie dont est solidaire le chariot.



15) Rappeler le tableau de commande du moteur en mode demi-pas.

16) On souhaite une définition du mouvement (déplacement minimum possible) de la plume de $\Delta l = 0,25\text{mm}$ (pour un demi-pas). Dans l'hypothèse d'une commande numérique, quel est le nombre minimal de bits nécessaire pour coder les positions x et y de la plume ?

17) On veut que la plume se déplace suivant l'axe x ou suivant l'axe y à une vitesse égale à $v = 100\text{ mm/s}$. Quelle devra être la fréquence de rotation F du moteur en demi-pas/seconde ?

18) Comment faudra-t-il choisir le diamètre D de la poulie ?

19) Si M1 tourne à la vitesse $F_1 = 400$ demi-pas/s, quelle doit être la fréquence F_2 de M2 pour tracer une droite qui fasse un angle de 30° avec l'axe x (dans un repère orthonormé) ?

20) Quelles tensions $v_1(t)$ et $v_2(t)$ faudrait-il envoyer à l'entrée de chacun des moteurs M1 et M2 pour tracer un cercle sur la table ? Une réponse succincte est demandée.

REPONSES

C35-1- Moteur pas-à-pas et son électronique de commande

A) Caractéristiques du moteur

$$1) n_{mv} = \frac{f}{48} = \frac{333}{48} \approx 6,94 \text{ tr/s} ; N_{mv} = 60n_{mv} = 416 \text{ tr/mn}$$

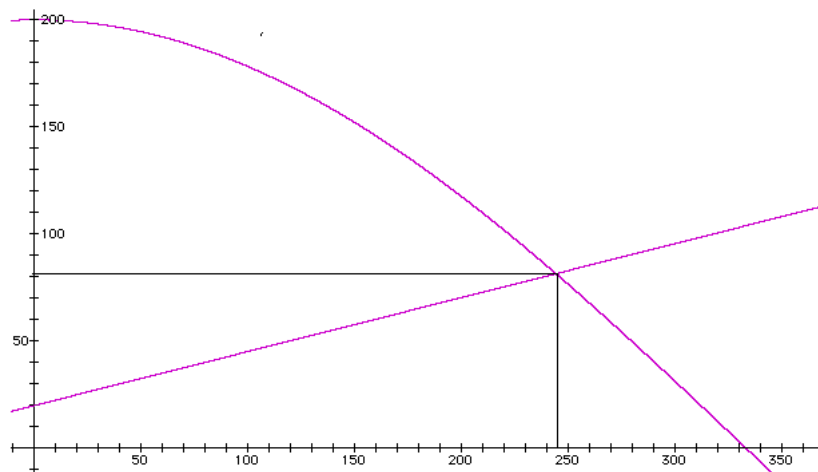
$$2) \Omega_{mv} = 2\pi n_{mv} = 2\pi \frac{f}{48} = 2\pi \cdot 6,94 \approx 43,6 \text{ rad/s}$$

B) Étude du moteur à l'arrêt

$$3) U_{1'2} = U_{3'4} = 3rI_n \approx 30 \text{ V}$$

$$4) P = rI_n^2 = 20,8 * 0,48^2 = 4,8 \text{ W}$$

C) Étude du moteur en marche



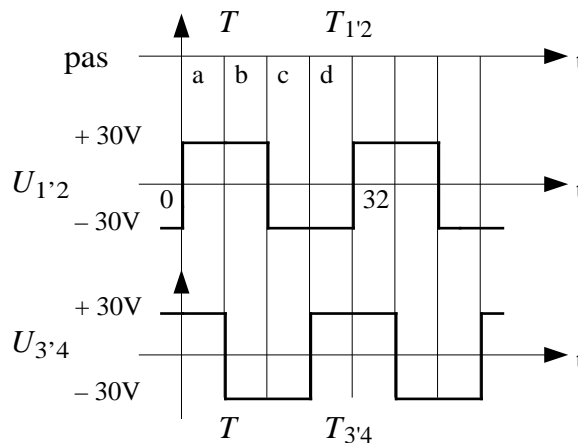
$$5) C_r \text{ (en mNm)} = 20 + 3,3 \cdot 10^{-2} * (48/2\pi) * f = 20 + 0,252f \Rightarrow f = 244 \text{ pas/s}$$

$$6) C = 81,5 \text{ mNm}$$

$$7) P = C \cdot \Omega = 0,0815 * 244 * 2\pi / 48 = 2,6 \text{ W}$$

D) Étude du circuit de commande :

$$8) f = 125 \text{ pas/s} \Rightarrow T = 8 \text{ ms} \Rightarrow T_{1'2} = 32 \text{ ms.}$$



$$9) R_B = \frac{5 - V_{CE}}{\beta I_n} = \frac{5 - 0,7}{100 \cdot 0,48} \approx 900 \Omega$$

E) Étude du courant dans une phase

$$10) \tau \frac{di}{dt} + i = \pm \frac{E}{r + R_s} = \pm I_n \quad \text{avec} \quad \tau = \frac{L}{r + R_s} = \frac{0,0524}{62,4} \approx 0,84 \text{ ms}$$

$$11) i(t) = I_n (1 - 2 e^{-t/\tau})$$

$$12) i(t) = -I_n (1 - 2 e^{-t/\tau})$$

13)

$t [ms]$	0	1	2	4	8
$i [A]$	-0,48	0,19	0,39	0,47	0,48

$$14) 99\% \Leftrightarrow t = -\ln(0,01) = 4,6 \tau. \text{ Il faut : } \frac{T_{1/2}}{2} \geq 4,6 \tau \Rightarrow T = \frac{T_{1/2}}{4} \approx 1,93 \text{ ms} \Rightarrow f = 517 \text{ pas/s}$$

Conclusion : grâce à l'adjonction de résistances en série R_s qui diminuent la constante de temps électrique le moteur peut fonctionner plus rapidement, avec un courant de l'ordre de I_n , jusqu'à une fréquence de l'ordre de 500 pas/s (donc supérieure à $f_{mv} = 333 \text{ pas/s}$).

F) Réalisation d'une table traçante

15)

	1	2	3	4
a	+	-	+	-
a'	+	-	-	-
b	+	-	-	+
b'	-	-	-	+
c	-	+	-	+
c'	-	+	-	-
d	-	+	+	-
d'	-	-	+	-

16) En x il faut $420/0,25 = 1680$ demi-pas ; En y il faut $297/0,25 = 1188 \Rightarrow$ il faut au moins 11 bits

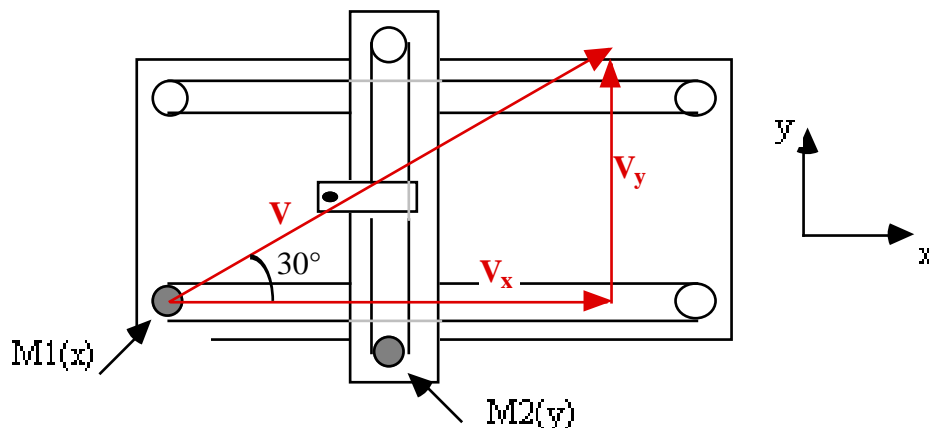
(rappel : $2^{10} = 1024$ et $2^{11} = 2048$) pour chaque axe.

17) $100 \text{ mm/s} \Rightarrow F = 100/0,25 = 400$ demi-pas/s

18) Il y a 48 pas donc 96 demi-pas. Soit R le rayon de la poulie donc $D = 2R$. Il vient :

$$V = R\Omega \Rightarrow D = \frac{2V}{\Omega} = \frac{2V}{2\pi \frac{f}{96}} = \frac{2 \cdot 100}{2\pi \frac{400}{96}} \approx 7,64 \text{ mm}$$

19) Les composantes x et y du vecteur vitesse sont elles que : $V_y = V_x \text{ tg}30^\circ$:



Donc les fréquences des tensions x et y, proportionnelles aux vitesses V_x et V_y , sont dans le même rapport : $F_2 = F_1 \operatorname{tg}30^\circ = 0,577 F_1 \Rightarrow F_2 \approx 231$ demi-pas/s

20) Il faut utiliser la définition paramétrique du cercle, donc : $v_1 = V_0 \cos \omega t$ et $v_2 = V_0 \sin \omega t$, où V_0 dépend du diamètre du cercle désiré.