

Moteur pas à pas : *Modes de commande et couples limites*

par J.-L. ZUBER

en collaboration avec C. BERENGUE

Lycée La Fayette - 63000 Clermont-Ferrand

Un moteur pas à pas s'utilise chaque fois que l'on a besoin d'une grande précision dans la position du rotor sans faire de boucle de réaction. Encore faut-il pouvoir maintenir cette position ! Si dans une imprimante ce problème n'est peut-être pas crucial, il peut le devenir dans le cas de la robotique ou pour tout déplacement de charge.

Le but de ce montage est de montrer aux élèves l'importance du branchement d'un moteur pas à pas à aimant permanent sur ses couples limites et sur la puissance qu'il absorbe. Cette étude permet donc d'en optimiser l'utilisation.

1. MESURE DU MOMENT DES COUPLES LIMITES

1.1. Montage

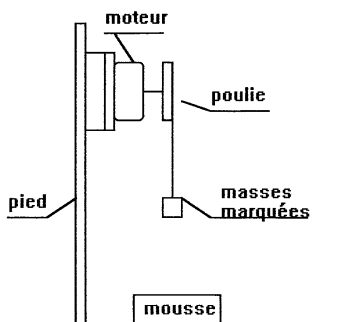


Figure 1

Le moteur utilisé est à aimant permanent et comprend 48 pas par tour. Une poulie de rayon r connu est fixée à l'axe du rotor. Un fil

entourant la poulie est muni d'un crochet auquel on pourra suspendre des masses marquées (m) servant de charge. En statique ou à vitesse constante le moment du couple moteur est égal en valeur absolue au moment du couple de la charge :

$$|T_m| = |T_c| = m \cdot g \cdot r$$

1.2. Couples limites

Couple de détente ou couple résiduel

Le moteur n'étant pas alimenté, on suspend des masses jusqu'à ce que le rotor soit entraîné. Le couple maximum laissant le rotor fixe correspond au couple de détente. Ce couple ne dépend évidemment pas du branchement du moteur. Pour le moteur que nous avons utilisé le constructeur donne une valeur du moment de 15 mN.m. Ce couple est nul pour les moteurs à réluctance variable.

Couple de maintien

On procède de la même manière, mais en alimentant le moteur sans le faire tourner. Là, le branchement est très important, puisque le couple du moteur dépend du courant circulant dans les bobines. La valeur donnée par le constructeur est de 85 mN.m (mais le mode de branchement n'est pas précisé).

Couple dynamique maximum

Ce couple correspond à la charge maximale pouvant être entraînée par le moteur. Cet essai se fait à vitesse faible ; on ajoute des masses jusqu'à ce que le moteur saute des pas et se laisse entraîner par les masses. La charge pouvant être entraînée est d'autant plus faible que la vitesse du moteur est élevée. Les courbes limites (moment du couple en fonction de la vitesse) de démarrage et avec entraînement sont confondues parce que, au cours des essais, la vitesse du moteur est faible.

2. MODES DE COMMANDE

Pour présenter ces modes nous utiliserons le modèle non réel, mais qui a le mérite d'être simple, d'un moteur à 4 pas :

Le stator comprend 4 bobines espacées d'un angle de 90° et le rotor bipolaire est représenté par une flèche Sud-Nord.

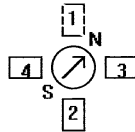


Figure 2

2.1. Mode unipolaire

Dans ce mode chaque bobine est alimentée séparément. Le courant ne pouvant aller que dans un sens, la bobine alimentée présentera toujours le même pôle vers le rotor.

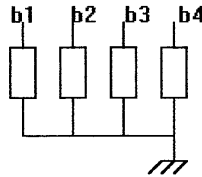


Figure 3

Si on alimente la bobine b1, puis b3, puis b2 et enfin b4, le rotor tournera dans le sens horaire.

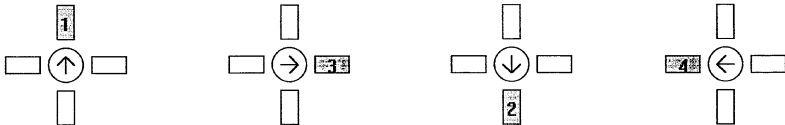


Figure 4

On peut aussi alimenter deux bobines à la fois pour avoir les positions intermédiaires.



Figure 5

De cette façon, on augmente le couple de maintien.

2.2. Mode bipolaire

Dans ce mode, on alimente les bobines deux à deux : pour cela, on met la bobine 1 en série avec la bobine 2 et la bobine 3 en série avec la bobine 4.

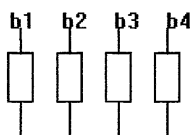


Figure 6

Dans ce cas, il y a deux sens possibles pour le courant dans chaque bobine : V+ en b1 et la masse en b2 ou au contraire V+ en b2 et la masse en b1.

D'où la séquence suivante, dans laquelle le pôle Nord des bobines alimentées est indiqué en blanc.



Figure 7

Si on compare cette séquence avec la précédente, on voit que le rotor prend les mêmes positions, mais dans ce cas toutes les bobines sont alimentées, donc on devrait obtenir un couple de maintien deux fois plus grand.

Remarque 1 : Le mode bipolaire n'est valable que pour des moteurs à aimant permanent et hybrides. On ne l'utilisera pas avec des moteurs à réluctance variable.

Remarque 2 : Il existe aussi le mode bipolaire dans lequel les bobines sont en parallèle deux à deux.

2.3. Cas du moteur à 48 pas

Le moteur utilisé a quatre bobines réunies deux à deux par un point commun. On peut les représenter par la figure 6. Il y a donc six fils qui vont au moteur. En réunissant les deux points communs à la masse, on alimente en mode unipolaire. En ne reliant pas les points communs on

peut alimenter les bobines en mode bipolaire en les mettant en série deux à deux. Par contre, on ne peut pas les mettre en parallèle car les courants dans les bobines ainsi couplées sont opposés et créent des champs qui s'annulent.

3. ÉTUDE STATIQUE

3.1. Montages

Pour cette étude, on alimente les bobines du moteur par l'intermédiaire d'un rhéostat R_h et on mesure le moment du couple de maintien pour différentes intensités I du courant passant dans une bobine.

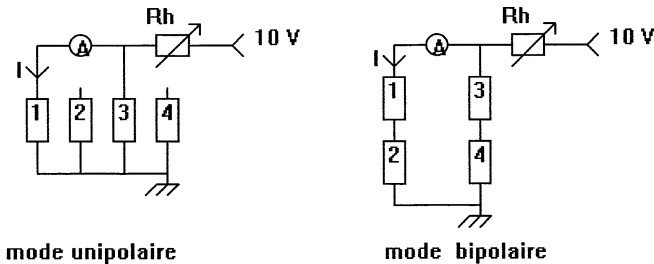


Figure 8

3.2. Courbes du moment du couple de maintien en fonction du courant dans une bobine

Voici l'allure des courbes obtenues :

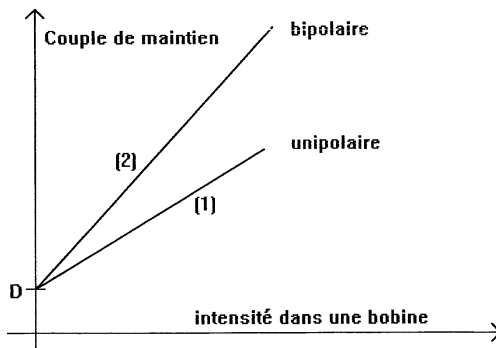


Figure 9

Nous avons obtenu des droites d'équation : (avec T_m en mN.m et i en mA) :

$$* T_m = 0,38 \cdot i + 17 \quad \text{pour le mode unipolaire (1),}$$

$$* T_m = 0,74 \cdot i + 19 \quad \text{pour le mode bipolaire (2)}$$

La pente de la courbe 2 est presque le double de celle de la courbe 1 : il y a deux fois plus de bobines qui sont alimentées.

Les droites ne passent pas par l'origine, mais par un point D dont l'ordonnée correspond au moment du couple de détente (en fait 17 mN.m pour la première et 19 mN.m pour la seconde, ce qui est un peu plus élevé que la valeur donnée par le constructeur).

Le couple de maintien est la somme du couple de détente et d'un couple de moment proportionnel à l'intensité du courant dans une bobine (tant qu'il n'y a pas de saturation).

4. ÉTUDE DYNAMIQUE

4.1. Maquette de la commande

Cette maquette est très simple, puisqu'elle n'utilise qu'un circuit intégré et quelques composants classiques.

Le circuit intégré (MC 3479P) comprend la commande et l'étage de puissance ; on peut donc brancher directement le moteur sur les sorties (L1, L2, L3 et L4).

Un Générateur B.F. sert d'horloge.

Pour visualiser simultanément les signaux correspondant aux quatre sorties et le signal d'horloge, nous utilisons un multiplexeur branché sur une voie de l'oscilloscope. Ce multiplexeur étant en technologie TTL et l'alimentation du circuit étant en 10 V, nous avons fait des étages diviseurs par deux pour visualiser les signaux.

De plus nous avons intégré un régulateur 5 V sur la maquette pour alimenter le multiplexeur.

Schéma de principe :

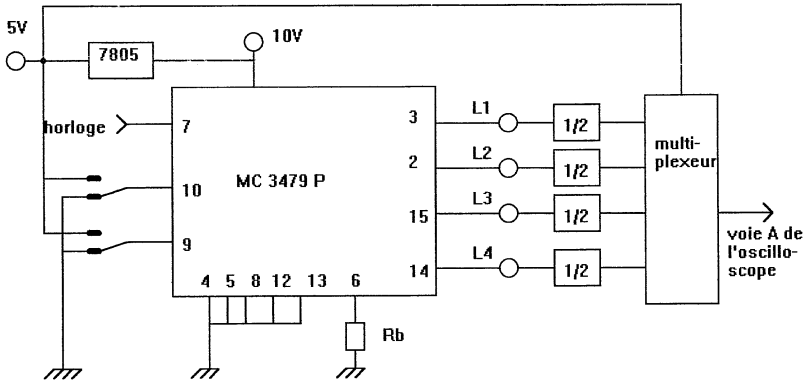


Figure 10

La borne 10 ($\overline{CW}/CCW$) permet d'inverser le sens de rotation du moteur.

La borne 9 ($\overline{Full}/Half$) permet un fonctionnement par pas entier ou par demi-pas.

$$R_b = 47 \text{ k}\Omega.$$

4.2. Résultats

Nous présentons les oscillogrammes des sorties du circuit de commande L1, L2, L3 et L4 et les positions du rotor de notre modèle simplifié de moteur à rotor bipolaire.

4.2.1. Commande unipolaire

On branche respectivement les sorties L1, L2, L3 et L4 aux bornes b1, b2, b3 et b4 des bobines, les autres bornes des bobines étant reliées à la masse.

Le couple de maintien mesuré dans ce mode est de 105 mN.m.

En arrêtant le GBF, on a mesuré une intensité de 230 mA dans une bobine et 495 mA pour le courant de l'alimentation soit une puissance absorbée de 4.95 W.

Pour une fréquence de 10 pas par seconde, on trouve un couple dynamique de moment égal à 62 mN.m

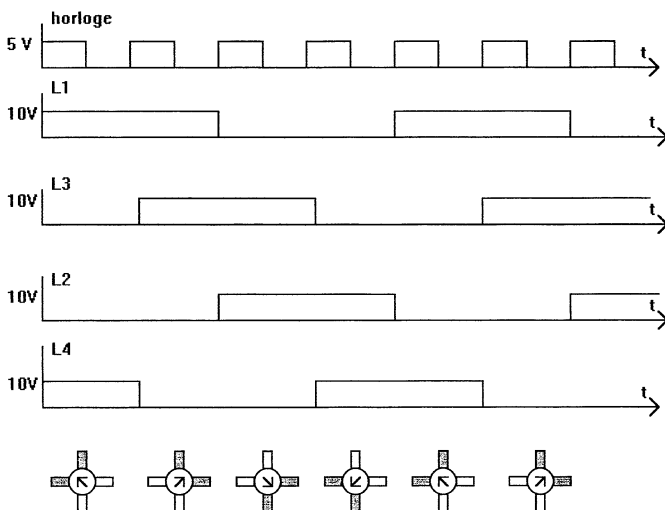


Figure 11

4.2.2. Commande bipolaire

Dans ce mode, les bobines 1 et 2 en série sont soumises à la tension $V_{L1} - V_{L2}$ et les bobines 3 et 4 à la tension $V_{L3} - V_{L4}$.

Nous avons trouvé 115 mA dans chaque bobine : pour une même tension d'alimentation, les bobines étant en série, le courant est deux fois plus faible qu'en mode unipolaire.

Mais le nombre de bobines étant le double, on trouve un couple de maintien identique.

L'intensité de l'alimentation est de 265 mA ce qui correspond à 2,65 W de puissance absorbée.

A 10 pas par seconde, le moment du couple dynamique maximum est de 60 mN.m.

Les moments des couples limites sont identiques à ceux du mode unipolaire, mais la puissance absorbée est environ deux fois plus petite.

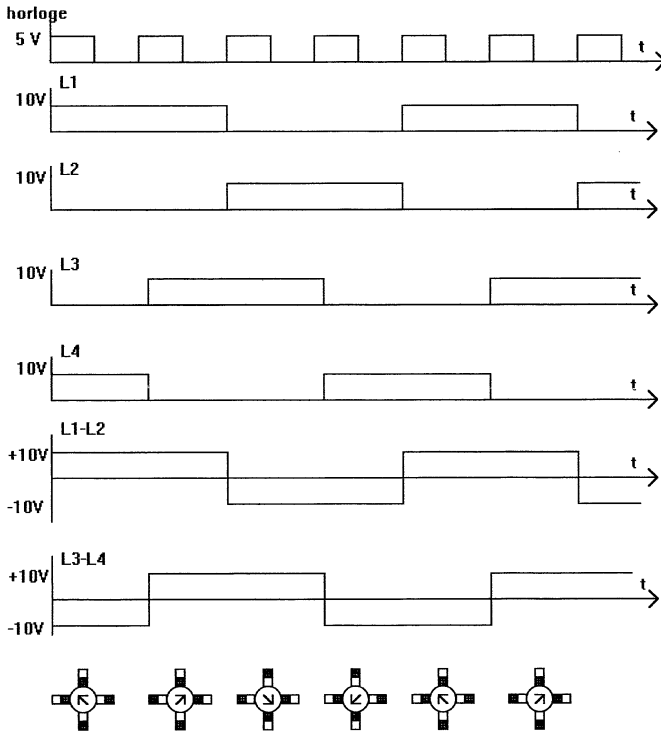


Figure 12

5. AUTRES POSSIBILITÉS

Nous n'avons présenté que les résultats pour deux modes de branchement, mais d'autres cas peuvent être étudiés : par exemple le mode bipolaire en mettant en parallèle les deux bobines (si on peut se procurer un moteur à huit fils) ; ce qui multipliera le couple de maintien et l'intensité totale par 4 par rapport au mode bipolaire série pour une même tension d'alimentation.

On peut faire aussi une étude en mode demi-pas, pour lequel le couple de maintien variera suivant qu'une ou deux bobines sont alimentées.

Dans tous les cas, il faut étudier les couples limites et la puissance absorbée et trouver ainsi la meilleure efficacité. Ne parlons pas de rendement pour un moteur pas à pas pour lequel l'essentiel de l'énergie absorbée est perdu par effet Joule.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier D. PLAGNE pour ses précieux conseils et pour une discussion qui fut à l'origine de cet article.

FOURNISSEURS

- Le moteur 48 pas (réf. : 519175, prix : 80 F.) a été acheté chez :
SELECTRONIC - 84-86, rue de Cambrai - B.P. 513 - 59022 LILLE Cedex.
- Le circuit MC 3479P (prix : 32 F.) nous a été fourni par :
ELECTRONIC 63 - 22, rue Saint Adjutor - 63000 CLERMONT-FERRAND.