Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 73 (1982)

Heft: 11

Artikel: Comparaison des moteurs pas à pas et à courant continu

Autor: Jufer, M.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904972

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 10.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Comparaison des moteurs pas à pas et à courant continu

M. Jufer

621.313.13–133.3;

Les applications industrielles impliquant un entraînement électrique de faible puissance (< 500 W) et imposant un positionnement conduisent fréquemment au choix entre un moteur à courant continu ou un moteur pas à pas. C'est souvent l'habitude qui dicte l'adoption d'une solution plutôt que de l'autre. Le choix porte également sur les éléments périphériques tels que l'alimentation, la commande ou un asservissement. Outre les critères mécaniques et électriques, des paramètres tels qu'entretien, complexité du système, fiabilité et coût entrent en ligne de compte dans une telle évaluation.

Le but de cette étude est de présenter une approche technique des critères de comparaison non seulement entre moteurs pas à pas et à courant continu, mais également entre diverses variantes de moteurs de même type. Deux cas sont considérés: celui d'un mouvement incrémental, avec un faible déplacement angulaire et celui d'un déplacement avec un grand nombre de pas pour lequel une vitesse proche de la vitesse maximale est atteinte. Les critères de comparaison sont résumés dans deux tableaux.

Industrieanwendungen von elektrischen Antrieben kleiner Leistung (< 500 W), die zur Positionierung verwendet werden, führen häufig zur Wahl zwischen Gleichstrom- und Schrittmotoren. Oft ist es dann die Gewohnheit, die die eine oder andere Lösung bestimmt. Auch die Peripheriegeräte, z.B. die Speisung, Steuerung und Regelung, müssen festgelegt werden. Dabei spielen neben den mechanischen und elektrischen Eigenschaften auch Parameter wie Unterhalt, Systemkomplexität, Zuverlässigkeit und Kosten eine Rolle.

Es wird ein technisches Vorgehen zur Festlegung von Vergleichskriterien beschrieben, sowohl für Gleichstrom- und Schrittmotoren als auch für verschiedene Varianten davon. Dabei werden zwei Fälle unterschieden: eine Schrittbewegung mit kleinem Bewegungswinkel sowie eine Bewegung mit grosser Schrittzahl, bei der die Maximalgeschwindigkeit annähernd erreicht wird. Die Vergleichskriterien sind in zwei Tabellen zusammengestellt.

1. Schémas d'alimentation et de commande

Pour des moteurs à courant continu, la solution généralement adoptée pour l'alimentation et la commande est celle de la figure 1. La possibilité de réaliser un mouvement incrémental et un positionnement est assurée en introduisant un capteur digital et un régulateur.

Dans le cas d'un moteur pas à pas, de nombreuses variantes sont possibles. On peut citer par exemple:

- l'alimentation en circuit ouvert (fig. 2);
- l'alimentation en circuit fermé par un capteur incrémental (fig. 3);
- l'alimentation en circuit fermé par auto-synchronisation avec une mesure indirecte de courant (fig. 4) [2].

Par ailleurs, l'alimentation de puissance peut être à un seul niveau de tension, à deux niveaux ou de type hacheur. La commande peut imposer l'alimentation d'une ou de plusieurs phases simultanément.

Du fait de la multiplicité des variantes d'alimentation, la comparaison entre ces deux types de moteurs est plus difficile. La caractéristique la plus significative est celle de couple-fréquence associée à une alimentation déterminée (fig. 5).

2. Caractéristique de couple

Pour un moteur à courant continu à excitation constante (à aimant permanent ou à excitation séparée), la caractéristique de couple en fonction de la vitesse est une droite (fig. 6) caractérisée par le couple à vitesse nulle M_0 et la vitesse à vide Ω_0.

Pour un moteur pas à pas, cette caractéristique n'est pas aussi simple. Elle peut cependant être approchée par une ou deux droites (fig. 7a et b). Le choix de l'approximation sera fonction du domaine de fonctionnement du moteur associé à une application.

En conséquence, la comparaison entre moteurs peut être basée directement sur les paramètres de la caractéristique de couple.

Cet article est une des conférences présentées aux Journées d'études sur les moteurs pas à pas du 15 et 16 avril 1982, organisées par l'EPFL sous le patronage de l'ASE.

[1]) Cf. la liste des symboles à la fin de l'article.

3. Equations dynamiques en régime quasi-statique

En régime quasi-statique, le couple moteur linéarisé peut s'écrire

$$M_m = M_0 (1 - \Omega_m/\Omega_0)^{1)}$$

L'équation de mouvement a la forme suivante:

$$J_m \, d\Omega_m/dt = M_0 (1 - \Omega_m/\Omega_0) - M_c - \xi \, \Omega_m$$

La solution de cette équation au démarrage devient

$$\Omega_m = \frac{M_0 - M_r}{M_0/\Omega_0 + \xi} \left[1 - \exp\left(-\frac{M_0/\Omega_0 + \xi}{J_m}\right) t\right]$$

Les mêmes équations peuvent être écrites dans le cas d'un engrenage placé entre le moteur et la charge. On obtient alors, en affectant de l'indice c les grandeurs relatives à la charge

$$J_{tot} = J_c + r^2 J_m; \; \Omega_c = \Omega_m/r; \; M_c = M_m \, r.$$

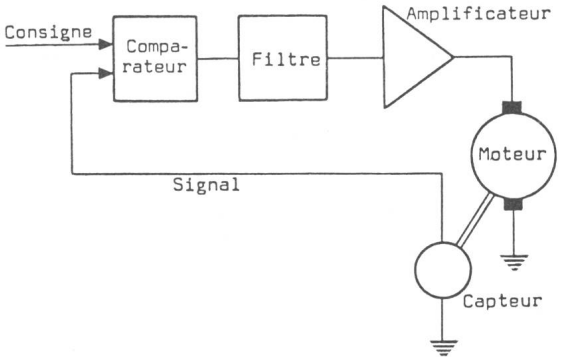

Fig. 1 Schéma d'alimentation du moteur à courant continu

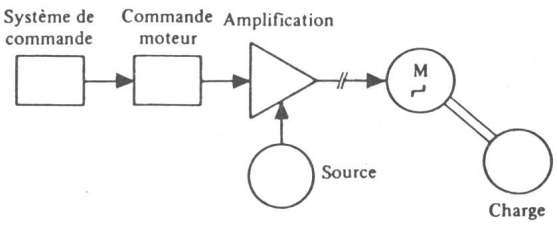

Fig. 2 Alimentation d'un moteur pas à pas en circuit ouvert

En se référant à la figure 8 présentant l'évolution de la vitesse, il est possible de définir les trois grandeurs caractéristiques du tableau I.

La constante de temps électrique est définie par le quotient $\tau_e = L/R$. Pour un moteur pas à pas réluctant, l'inductance est une fonction de la position du rotor. Une valeur moyenne doit être choisie.

4. Caractéristiques et dimensions

Les performances d'un moteur, couple ou puissance, peuvent être exprimées en termes d'induction, de densité de courant et de dimensions. L'induction est limitée par la saturation du fer et, dans une mesure moindre, par l'échauffement dû aux pertes dans le fer. La densité de courant est limitée par l'échauffement résultant des pertes Joule. En faisant appel à des ordres de grandeur moyens usuels, il est possible de définir le couple, l'inertie, l'accélération et la constante de temps mécanique de divers moteurs en fonction des dimensions. Une comparaison

Tableau I

	Sans réducteur	Avec réducteur
Vitesse stabilisée	$\Omega_{ms} = \dfrac{M_0 - M_r}{M_0/\Omega_0 + \xi}$	$\Omega_{cs} = \dfrac{r\,M_0 - M_r}{r^2\,M_0/\Omega_0 + \xi}$
Constante de temps méc.	$\tau_{mec} = \dfrac{J_m}{M_0/\Omega_0 + \xi}$	$\tau_{mec} = \dfrac{J_c + r^2\,J_m}{r^2\,M_0/\Omega_0 + \xi}$
Accélération au démarrage	$a_{dm} = \dfrac{M_0 - M_r}{J_m}$	$a_{dc} = \dfrac{r\,M_0 - M_r}{J_c + r^2\,J_m}$

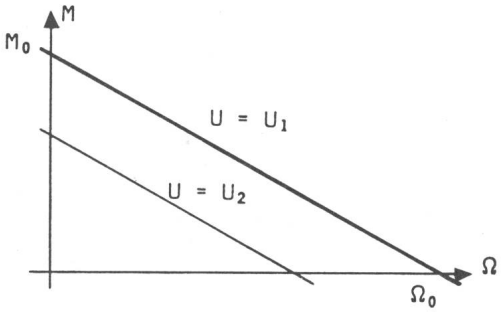

Fig. 6 Caractéristiques de couple du moteur à courant continu

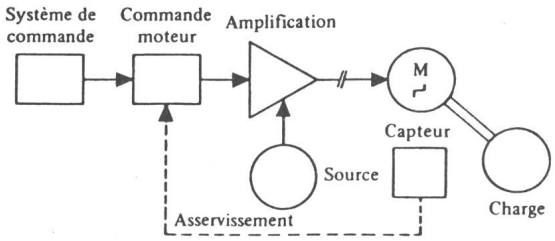

Fig. 3 Alimentation d'un moteur pas à pas en circuit fermé par capteur incrémental

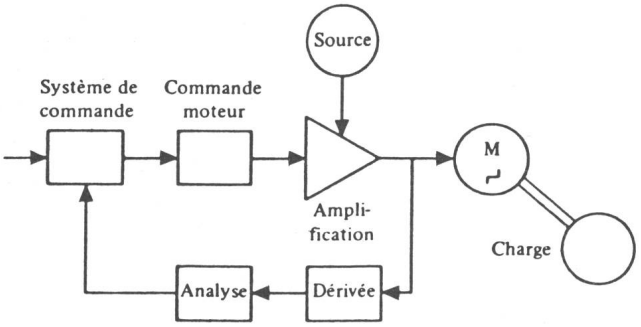

Fig. 4 Alimentation d'un moteur pas à pas en circuit fermé par auto-synchronisation avec mesure indirecte du courant

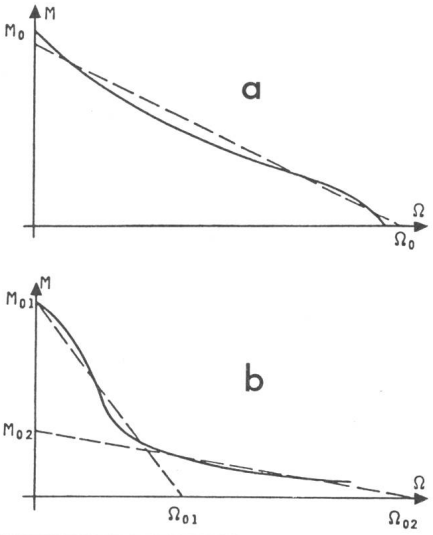

Fig. 7 Caractéristiques de couple du moteur pas à pas
a Approximation par une droite
b Approximation par deux droites

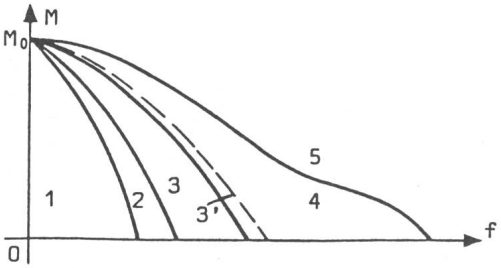

Fig. 5 Caractéristique couple-fréquence
Domaines
1 basse fréquence
2 instable
3 limite de démarrage
3' (freinage)
4 haute fréquence
5 impossible

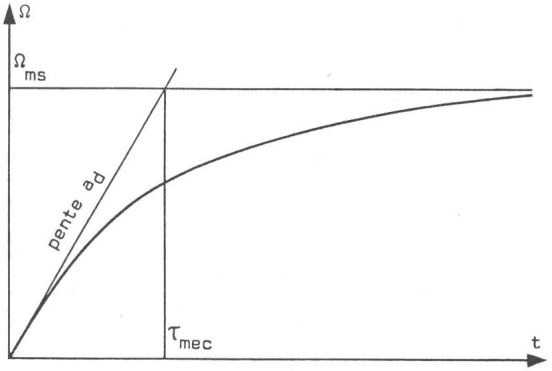

Fig. 8 Evolution de la vitesse

directe devient alors possible. Quatre moteurs seront ainsi comparés:

- le moteur à courant continu classique à aimant permanent (1);
- le moteur à courant continu à rotor sans fer (2);
- le moteur pas à pas réluctant ou réluctant polarisé (3);
- le moteur pas à pas rotor à disque (4).

4.1 Moteur à courant continu

Soit $\hat{B}_\delta$ l'induction de crête dans l'entrefer et J la valeur efficace de la densité de courant dans le cuivre rotorique. On admettra $h_N \approx 0{,}2\, d$ et $b_N \approx 0{,}5\, h_N$, d étant le diamètre rotorique. Par la loi de *Laplace,* la force moyenne résultante en surface du rotor peut s'écrire

$$\overline{F} = I_{tot} \cdot l \cdot \overline{B} = \frac{b_N}{h_N} k_{cu} J \cdot 0{,}2\, d\, \pi d \cdot l \cdot \frac{2\hat{B}}{\pi} = 0{,}2\, k_{cu} J \hat{B} d^2 l$$

avec $k_{cu} \approx 0{,}4$, le coefficient de remplissage du cuivre. D'où le couple nominal:

$$M_{N1} = \overline{F} d/2 \approx 4 \cdot 10^{-2} \cdot J \hat{B} d^3 l$$

Pour l'inertie, en admettant un rotor homogène de masse spécifique γ, on a

$$J_1 = m \frac{d^2}{8} = \frac{\pi}{32} d^4 l \gamma \approx 7{,}66 \cdot 10^2 d^4 l$$

4.2 Moteur à courant continu à rotor sans fer

Le rotor est placé dans l'entrefer entre l'aimant et la culasse statorique externe (fig. 9). L'entrefer rapporté au diamètre moyen du rotor dépendra du matériau de l'aimant.

En valeur usuelle, on admettra un entrefer égal à $\delta \approx 0{,}1\, d$ et une épaisseur du rotor $e \approx 0{,}06\, d \approx 0{,}054\, \overline{d}$, $\overline{d}$ étant le diamètre moyen d'entrefer.

La force tangentielle vaut ainsi, par la loi de *Laplace,*

$$\overline{F} = k_{cu}\, e\, J \pi \overline{d}\, k_i \cdot l \cdot \hat{B}_\delta\, 2/\pi = 3{,}06 \cdot 10^{-2} J \hat{B}_\delta \overline{d}^2 l$$

avec le coefficient de remplissage du cuivre $k_{cu} \approx 0{,}4$ et le coefficient d'inclinaison des conducteurs $k_i = 1/\sqrt{2}$. D'où, pour le couple:

$$M_{N2} = 1{,}53 \cdot 10^{-2} J \hat{B}_\delta \overline{d}^3 l$$

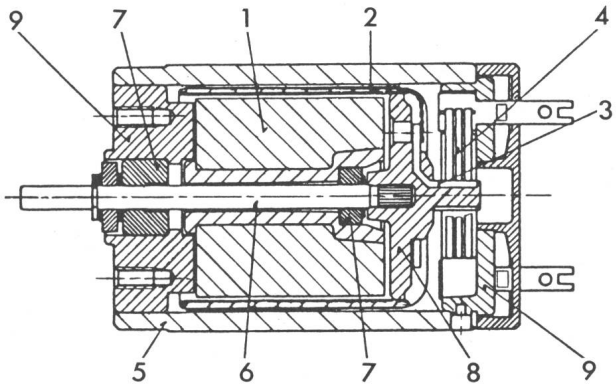

Fig. 9 Section d'un moteur à courant continu à rotor sans fer

1 aimant permanent
2 rotor
3 collecteur
4 barres collectrices
5 culasse statorique
6 arbre
7 paliers
8 support
9 flasques

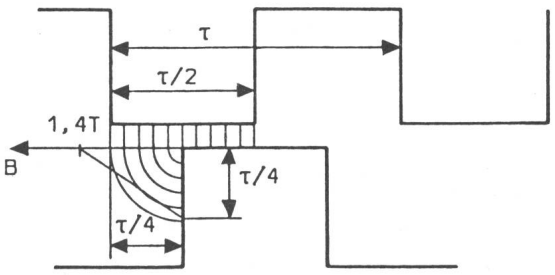

Fig. 10 Structure dentée d'un moteur pas à pas

L'inertie vaut dans ce cas

$$J_2 = \frac{m \overline{d}^2}{4} = \frac{e \pi \overline{d} l \gamma k_{cu} \overline{d}^2}{4} \approx 1{,}5 \cdot 10^2 \overline{d}^4 l$$

4.3 Moteur pas à pas

Pour un système réluctant, une limite basée sur la saturation de structures dentées peut être définie. Partant d'une largeur de dent égale à la largeur d'encoche, on peut admettre la distribution du champ définie à la figure 10. La position relative représentée correspond à un cas de couple maximum. La décroissance du champ est admise linéaire le long de la dent sur une hauteur égale à $\tau/4$. L'induction maximale admise sans saturation excessive est de 1,4 T. Par le tenseur de *Maxwell* [1], on peut écrire

$$dF = {}^1/_2\, \mu_0 H^2\, dx\, l = {}^1/_2 \frac{B^2}{\mu_0} l\, dx$$

Sur le flanc d'une dent, on obtient

$$\hat{F}_d = \int_0^{\tau/4} dF = \frac{\hat{B}^2}{24} \frac{\tau l}{\mu_0}$$

Pour une induction de 1,4 T, on a

$$\hat{F}_d' = 6{,}5 \cdot 10^4\ \mathrm{N/m^2}$$

Soit β le nombre relatif de dents excitées sur la périphérie du rotor. Cette grandeur dépend de la construction et du nombre de phases excitées simultanément. On a ainsi pour la force moyenne

$$\overline{F}_3 = \frac{\hat{B}^2 \pi d l}{24 \mu_0} \beta \frac{2}{\pi} = \frac{\hat{B}^2 d l}{12 \mu_0} \beta$$

$$\text{et } \overline{M}_3 = \frac{\hat{B}^2 d^2 l}{24 \mu_0} \beta_3$$

Pour une induction de 1,4 T et un coefficient $\beta_3 = 0{,}4$, on obtient

$$\overline{M}_3 = 2{,}6 \cdot 10^4 d^2 l$$

Compte tenu de la présence des dents, on peut poser pour l'inertie

$$J_3 \approx 0{,}9\, J_1 \approx 6{,}9 \cdot 10^2 d^4 l$$

4.4 Moteur pas à pas à rotor à disque

Afin de diminuer l'inertie d'un moteur pas à pas, il est possible de remplacer une structure cylindrique par un rotor à aimant permanent en forme de disque. C'est en particulier le cas du moteur de la référence [4].

L'expression du couple est semblable à celle d'un moteur à réluctance variable, avec un niveau d'induction plus faible et une double surface active.

$$\overline{M}_4 = \frac{\hat{B}^2 \bar{d}^2 l_a}{12 \mu_0} \beta_4$$

l_a est la largeur active de l'aimant qui est une fraction du diamètre moyen $\bar{d}$. On a approximativement $l_a \approx 0{,}2\,\bar{d}$, donc

$$\overline{M}_4 \simeq 1{,}33 \cdot 10^4 \hat{B}^2 \bar{d}^3 \beta_4$$

L'inertie correspondante vaut alors

$$J_4 = e\, l_a \pi \bar{d} \gamma \frac{\bar{d}^2}{4} \simeq 1{,}26 \cdot 10^3\, e\, \bar{d}^4$$

4.5 Comparaison

La comparaison entre moteurs pas à pas et moteurs à courant continu est délicate, car le rôle de l'alimentation est important pour les moteurs pas à pas. Par ailleurs, les expressions données ci-dessus n'ont pas toutes le même sens. Dans le cas du moteur pas à pas, il s'agit du couple maximum au démarrage M_0 (fig. 7). Pour le moteur à courant continu, il s'agit d'un couple en régime nominal nettement inférieur à M_0. Afin de comparer des grandeurs de même nature, on admettra un couple au démarrage M_0 égal à quatre fois le couple nominal M_N pour les moteurs à courant continu: $M_{01,2} \approx 4\, M_{N1,2}$.

5. Cas de faibles déplacements

5.1 Caractère spécifique

Un faible déplacement est caractérisé par une vitesse maximale égale à une fraction de Ω_{ms} ou Ω_{cs}. La marche correspondante sera de plus en triangle, sans palier à vitesse constante. Le déplacement angulaire correspondant sera donc faible.

Dans ces conditions, on peut admettre une accélération constante égale à a_d. On peut également définir une constante de temps mécanique au démarrage τ_d correspondant au double du temps nécessaire pour parcourir la moitié de l'angle considéré. C'est en fait un temps de transfert minimum.

$$\tau_d = 2\, t_d;\ \alpha_d/2 = {}^1/_2\, a_d\, t_d^2;\ \tau_d = 2\sqrt{\alpha_d/a_d}$$

Les grandeurs α_d et a_d caractérisent le comportement dynamique pour de faibles déplacements.

5.2 Engrenage

L'objectif étant une accélération la plus élevée possible, on peut poser $da_d/dr = 0$. On trouve alors

$$r_{opt} = \frac{M_r}{M_0} + \sqrt{\left(\frac{M_r}{M_0}\right)^2 + \frac{J_c}{J_m}}$$

Pour un couple résistent nul, on a donc

$$r_{opt} = \sqrt{J_c/J_m}$$

5.3 Comparaison

Une comparaison dans le cas d'un faible déplacement porte sur l'accélération au démarrage a_d et sur la constante de temps au démarrage τ_d. Le tableau II présente les grandeurs M_0, a_d et τ_d en fonction des dimensions et des caractéristiques électriques et mécaniques de moteurs à courant continu et pas à pas. On peut en déduire les constatations suivantes:

– Les variantes à rotor sans fer sont nettement supérieures aux autres;

– Le moteur pas à pas est théoriquement supérieur au moteur à courant continu jusqu'à un diamètre de 0,065 m;

– Le moteur pas à pas à rotor à disque est nettement supérieur aux autres solutions, sous réserve de sa faisabilité pour de plus grandes dimensions.

Ce bilan doit être tempéré par la prise en considération des facteurs suivants:

– La caractéristique du moteur à courant continu est obtenue en appliquant une tension constante alors que celle d'un moteur pas à pas implique un gradient de fréquence optimum, impossible à réaliser en circuit ouvert de façon industrielle. En conséquence, les caractéristiques des moteurs pas à pas sont optimistes;

– Les constantes de temps électriques ne figurent pas dans la comparaison. Elles sont généralement plus faibles pour le moteur à courant continu que pour le moteur pas à pas;

– Les phénomènes parasites [1] dont les moteurs pas à pas sont généralement le siège, tels qu'oscillations en fin de pas,

Tableau II

Caractéristiques / Moteur	$\overline{M}_0$	J [A/m²]	$\hat{B}$ T	$\overline{M}_0$	J	a_d	τ_d
Moteur cc (1)	$1{,}6 \cdot 10^{-1} J \hat{B} d^3 l$	$5 \cdot 10^6$	0,5	$4 \cdot 10^5 d^3 l$	$7{,}66 \cdot 10^2 d^4 l$	$5{,}22 \cdot 10^2/d$	$8{,}75 \cdot 10^{-2} \sqrt{\alpha_d d}$
Moteur cc sans fer (2)	$6{,}12 \cdot 10^{-2} J \hat{B} \bar{d}^3 l$	$5 \cdot 10^6$	0,5	$1{,}53 \cdot 10^5 \bar{d}^3 l$	$1{,}51 \cdot 10^2 \bar{d}^4 l$	$1{,}01 \cdot 10^3/\bar{d}$	$6{,}29 \cdot 10^{-2} \sqrt{\alpha_d d}$
Moteur pas à pas (3)	$1{,}33 \cdot 10^4 \hat{B}^2 d^2 l$	–	1,4	$2{,}6 \cdot 10^4 d^2 l$	$6{,}9 \cdot 10^2 d^4 l$	$3{,}77 \cdot 10^1/d^2$	$3{,}26 \cdot 10^{-1} d \sqrt{\alpha_d}$
Moteur pas à pas disque (4)	$5{,}32 \cdot 10^3 \hat{B}^2 \bar{d}^2 l$	–	0,9	$4{,}3 \cdot 10^3 \bar{d}^3 l$	$1{,}26 \cdot 10^3 e\bar{d}^4$	$3{,}41 / e\bar{d}$	$1{,}08 \sqrt{\alpha_d e d}$

Caractéristique / Moteur	d	$l(e)$	$\overline{M}_0$	a_d	τ_d	d	$l(e)$	$\overline{M}_0$	a_d	τ_d
Moteur cc (1)	0,02	0,03	$9{,}6 \cdot 10^{-2}$	$2{,}61 \cdot 10^4$	$1{,}24 \cdot 10^{-2} \sqrt{\alpha_d}$	0,04	0,06	1,54	$1{,}3 \cdot 10^4$	$1{,}75 \cdot 10^{-2} \sqrt{\alpha_d}$
Moteur cc (2)	0,02	0,03	$3{,}67 \cdot 10^{-2}$	$5{,}05 \cdot 10^4$	$8{,}9 \cdot 10^{-3} \sqrt{\alpha_d}$	0,04	0,06	0,588	$2{,}53 \cdot 10^4$	$1{,}26 \cdot 10^{-2} \sqrt{\alpha_d}$
Moteur pp (3)	0,02	0,03	$3{,}12 \cdot 10^{-1}$	$9{,}43 \cdot 10^4$	$6{,}5 \cdot 10^{-3} \sqrt{\alpha_d}$	0,04	0,06	2,50	$2{,}36 \cdot 10^4$	$1{,}30 \cdot 10^{-2} \sqrt{\alpha_d}$
Moteur pp (4)	0,02	0,001	$3{,}44 \cdot 10^{-2}$	$1{,}71 \cdot 10^5$	$4{,}8 \cdot 10^{-3} \sqrt{\alpha_d}$	0,04	0,001	0,275	$8{,}53 \cdot 10^4$	$6{,}8 \cdot 10^{-3} \sqrt{\alpha_d}$

Tableau III

Moteur \ Caractéristique	d	$l(e)$	J_m	J_{tot}	a_d	τ_d [ms]
Moteur cc (1)	0,02	0,03	$3{,}68 \cdot 10^{-6}$	$8{,}18 \cdot 10^{-6}$	$1{,}17 \cdot 10^{4}$	16,4
Moteur cc (2)	0,02	0,03	$7{,}3 \cdot 10^{-7}$	$5{,}23 \cdot 10^{-6}$	$7{,}02 \cdot 10^{3}$	21,2
Moteur pas à pas (3)	0,02	0,03	$3{,}31 \cdot 10^{-6}$	$7{,}81 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{4}$	8,86
Moteur pas à pas (4)	0,02	0,001	$2{,}0 \cdot 10^{-7}$	$4{,}7 \cdot 10^{-6}$	$7{,}3 \cdot 10^{3}$	20,8

altèrent la qualité d'un transfert de position ou nécessitent un contrôle plus coûteux;

– Pratiquement, les grandeurs a_d et τ_d font intervenir l'inertie du moteur et de la charge alors que toutes les valeurs données (tableau II) l'ont été pour l'inertie du moteur seul. Selon les paramètres de la charge, ces diverses valeurs seront totalement modifiées. Elles seront cependant façilement déterminées à partir du tableau II. Si la charge est parfaitement adaptée au moteur ($J_c = J_m$), les accélérations sont divisées par 2 et les constantes de temps τ_d multipliées par $\sqrt{2}$.

A titre d'illustration, l'entraînement d'une roue marguerite d'imprimante par un moteur de 20 mm de diamètre d'alésage a été choisi. L'inertie entraînée est alors de $4{,}5 \cdot 10^{-6}$ kgm². On obtient ainsi les valeurs du tableau III. C'est alors le moteur pas à pas classique qui, pour ces dimensions, présente le plus d'intérêt.

6. Cas de déplacements importants

6.1 Caractère spécifique

Un déplacement important est caractérisé par une vitesse maximale proche de la vitesse stabilisée Ω_{ms} ou Ω_{cs}. La marche correspondante sera généralement en trapèze. Le déplacement angulaire résultant sera donc grand. Le processus est alors principalement caractérisé par la vitesse stabilisée et la constante de temps mécanique τ_{mec}.

6.2 Engrenage

La constante de temps mécanique exprimée en fonction du rapport de réduction r ne présente pas de minimum. La figure 11 montre l'évolution de cette constante de temps en fonction du rapport r pour diverses valeurs de frottement.

Trois cas peuvent être distingués:

$\frac{J_m}{M_0/\Omega_0} > J_c/\xi$ le rapport de réduction est inférieur à 1 (augmentation de vitesse de la charge)

$\approx J_c/\xi$ l'engrenage n'a pas d'intérêt

$< J_c/\xi$ le rapport de réduction est supérieur à 1.

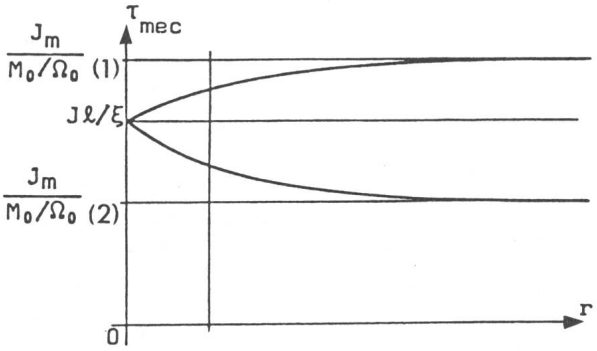

Fig. 11 Constante de temps mécanique en fonction du rapport de réduction pour plusieurs valeurs de frottement

6.3 Comparaison

La comparaison portera principalement sur la constante de temps mécanique qui, sans frottements, est inversement proportionnelle à l'accélération au démarrage:

$\tau_{mec} = J_m\, \Omega_0/M_0$

pour $\xi = 0$, $\tau_{mec} = \Omega_0/a_d$.

7. Conclusion

L'approche proposée en vue d'un choix entre moteur pas à pas et à courant continu permet de fixer rapidement des ordres de grandeurs associés à la taille et au principe du moteur. Vu le parti de simplicité et d'efficacité adopté, il y aura forcément des écarts entre ce calcul préalable et les valeurs obtenues sur la base de catalogues. Néanmoins, une telle approche fournit la plupart des renseignements d'ordre technique liés à un tel choix. Les résultats obtenus doivent être encore pondérés par d'autres critères tels que l'alimentation, la fiabilité, la durée de vie, l'entretien ou la simplicité.

Liste des symboles

a	accélération	m/s²	m	masse	kg
b	largeur	m	M	couple	Nm
B	induction	T	R	résistance	Ω
d	diamètre	m	r	rapport d'engrenage	
e	épaisseur	m	U	tension	V
F	force	N	α	angle	rad
h	hauteur	m	β	coefficient d'excitation	
I	courant	A	γ	masse spécifique	kg/m³
J	densité de courant	A/m²	δ	entrefer	m
J	inertie	kgm²	ξ	coefficient du frottement	kgm²/s
k	coefficient		τ	constante de temps	s
l	longueur	m	μ	perméabilité	Vs/Am
L	inductance	H	Ω	vitesse angulaire	rad/s

Indices

0	à l'origine	d	au démarrage
1	relatif au moteur à courant continu	e	électrique
2	relatif au moteur à courant continu sans fer	i	d'inclinaison
3	relatif au moteur pas à pas	m	moteur
4	relatif au moteur pas à pas sans fer	mec	mécanique
a	relatif à l'aimant	N	nominal
c	relatif à la charge	r	résistant
cu	relatif au cuivre	s	stabilisé

Bibliographie

[1] *M. Jufer:* Transducteurs électromécaniques. Traité d'électricité. Vol. IX. St. Saphorin, Editions Georgi, 1979.

[2] *M. Jufer:* Self-synchronization of stepping motors. Proceedings of the International Conference on Stepping Motors and Systems, University of Leeds, 1976, p. 38...43.

[3] *M. Jufer:* Selection criteria of drive by stepping and DC motors. Tenth Annual Symposium on Incremental Motion Control Systems and Devices, University of Illinois, 1981, p. 13...19.

[4] *C. Oudet:* A new family of multipolar P.M. stepper motors. Tenth Annual Symposium on Incremental Motion Control Systems and Devices, University of Illinois, 1981, p. 337...351.

Adresse de l'auteur

Prof. M. Jufer, Laboratoire d'éléctromécanique, Département d'Electricité EPFL, 16, chemin de Bellerive, 1007 Lausanne.