Le commande électronique des moteurs pas à pas

Autor(en): **Carbon, C.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **73 (1982)**

Heft 11

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-904973

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

La commande électronique des moteurs pas à pas

C. Carbon

1. Caractéristiques d'un amplificateur

621.313.13–133.3;

On ne le soulignera jamais assez, ici comme dans bien d'autres domaines: Il ne faut jamais dissocier un moteur, ici pas à pas, de son électronique de commande. Le problème n'est pas toujours très simple, car dans la plupart des électroniques évoluées, on doit adapter les performances du système (moteur + amplificateur) à l'application:

– augmenter le couple maximum, si le facteur de marche est faible.

– diminuer le couple maximum, si les résonances sont gênantes.

– jouer sur le branchement du moteur parallèle ou série selon que l'on ait besoin de couple à grande vitesse ou à faible vitesse.

La figure 1 montre, pour un même système, 4 différents types d'utilisations du moteur en fonction des problèmes posés:

Courbe 1: montage série; fort couple demandé aux faibles vitesses. Facteur de marche assez faible (< 45 %).

Courbe 2: montage parallèle; fort couple demandé à grande vitesse. Facteur de marche assez faible (< 45 %).

Courbe 3: montage série; fort couple demandé à faible vitesse. Utilisation du moteur avec un facteur de marche voisin de 100 %; le courant est ajusté pour une élévation donnée de la température du moteur, par exemple $\Delta T = 80$ °C.

Courbe 4: montage série; utilisation à très faible courant lorsque les résonances sont gênantes.

La figure 2 montre, pour 4 moteurs différents, les courbes caractéristiques couple/vitesse. Ces courbes dépendent de nombreux facteurs dont les principaux peuvent se résumer ainsi:

– Le schéma de la commande: unipolaire, bipolaire ou autre [1].

– Le mode de commande des transistors de puissance est important lorsque l'on découpe à haute fréquence. Les pertes dans les semi-conducteurs peuvent alors limiter les performances du système.

– La tension d'alimentation: On est limité par l'induction maximum admissible dans le moteur. Il faut la choisir aussi haute que possible.

– La finesse de la commande (commande au N^{ième} de pas). Plus la commande se rapproche de la commande sinusoïdale, moins la courbe couple/vitesse a de trous de couple et plus la rotation est régulière.

– L'intensité dans le moteur: On est limité par l'échauffement des conducteurs ou par les phénomènes de résonance [2]. Ces phénomènes de résonance diminuent lorsque l'on baisse le courant dans le moteur. Lorsqu'ils ne sont pas très gênants et que le facteur de marche n'est pas trop élevé (< 45 %), on utilise le moteur au-delà de ses caractéristiques nominales. On profite de son temps d'arrêt pour le laisser refroidir. Quand le moteur tourne, on l'alimente sous I_m, lorsqu'il est à l'arrêt, on ne l'alimente plus que sous $I_m' = I_m/k$ (on choisit généralement k entre 2 et 4).

Caractériser un système moteur + amplificateur n'est pas toujours chose facile; une tentative a été faite au sein de la CGR en prenant comme hypothèses:

– que d'un moteur donné il faut tirer dans la plage de vitesses utilisée le maximum de couple;

– que le couple est à limiter lorsque les résonances deviennent gênantes;

– que la courbe de couple doit être aussi plate que possible: Si l'on a besoin d'un couple C à 600 tours, on ne veut pas dimensionner le réducteur à 2...3 C parce que, à basse vitesse, le moteur développe 2...3 C;

– que l'élévation de température pour un facteur de marche donné doit être inférieure à une certaine élévation de température (à 45 % , $\Delta T < 80$ °C).

Le tableau I donne un exemple de caractérisation pour le moteur M 093.

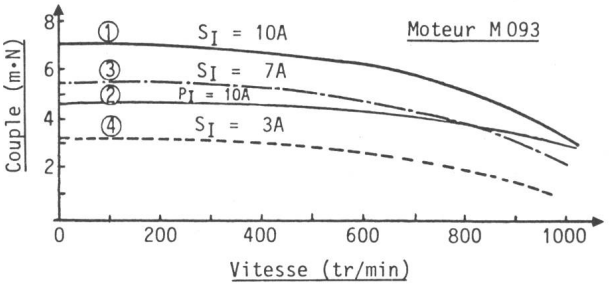

Fig. 1 Différentes caractéristiques d'un même moteur pas à pas selon le problème posé

S Montage série, P montage parallèle
Courbe 1...4 voir dans le texte

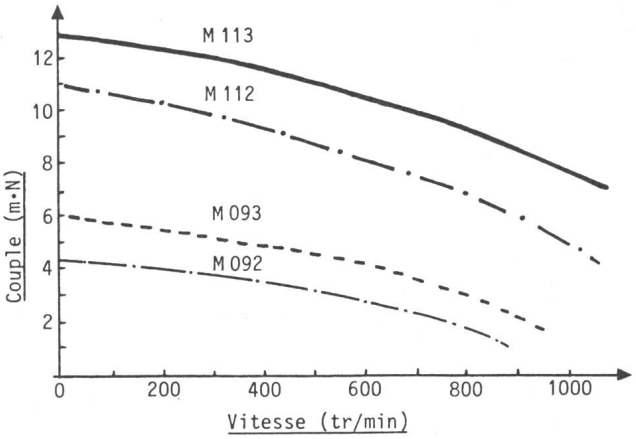

Fig. 2 Courbes caractéristiques de quatre moteurs différents

	V_{alim}	I_{max}	C_0	C_{600}
M 092	100 V	3 A	4,5 m · N	3 m · N
M 093	100 V	10 A	6 m · N	5 m · N
M 112	150 V	12,5 A	11 m · N	8 m · N
M 113	150 V	16 A	13 m · N	11 m · N

Ce texte a été présenté lors des 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.

2. Différents types de schémas de puissance

Il existe de très nombreux types de schémas. Mais pour des moteurs au-dessus de 2 m · N, il semble qu'aujourd'hui le montage en H (ou $^1/_2$ H) soit le plus utilisé.

2.1 Le pont en H (fig. 3)

Dans un moteur à 4 phases, les enroulements A et A′ sont alimentés par un premier pont, les enroulements B et B′ par un deuxième pont.

Avantages: une seule alimentation ($+V_{cc}$); les transistors sont bien utilisés: ils commutent sous V_{cc}.

Inconvénients: il y a deux ponts donc beaucoup de semi-conducteurs.

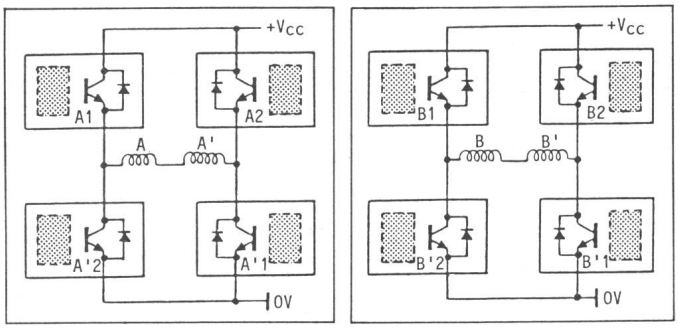

Fig. 3 Commande en H

2.2 Le demi-pont en H (fig. 4)

Les enroulements A et A′ sont alimentés par un premier demi-pont entre $\pm V_{cc}$ et les enroulements B et B′ par un deuxième demi-pont toujours entre $\pm V_{cc}$.

Avantages: il n'y a plus qu'un pont d'utilisé, c'est-à-dire 2 fois moins de semi-conducteurs.

Désavantages: Il faut deux alimentations ($\pm V_{cc}$); les transistors sont moins bien utilisés car ils commutent sous 2 V_{cc}. D'autre part il faut rajouter une carte de contrôle de la tension $\pm V_{cc}$. En effet, un pas sur deux, les 2 demi-ponts viennent solliciter la même alimentation. Comme on travaille en découpage à fréquence relativement haute (20 à 30 kHz) par les diodes de roues libres, on vient charger le condensateur de l'alimentation qui n'est pas sollicité. A basse fréquence, cette tension peut augmenter dangereusement au-delà de ce que les transistors peuvent supporter. Cette carte $\pm V_{cc}$ est, en fait, un autre demi-pont en H.

Par conséquent, le montage en $^1/_2$ H n'est intéressant que lorsque l'on a plus de deux moteurs qui fonctionnent sur une même alimentation. Il devient réellement intéressant à partir de trois moteurs.

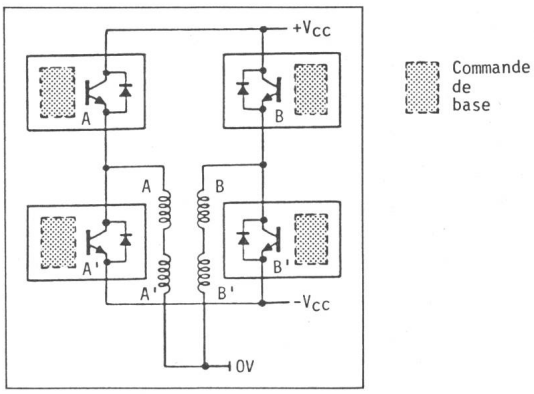

Fig. 4 Commande en $^1/_2$ H

2.3 La commande de base

Pour obtenir un courant moteur aussi près que possible de la consigne, on est amené à découper à des fréquences relativement élevées de l'ordre de 20 à 40 kHz. A ces fréquences, les pertes par commutation doivent être minimisées et pour cela une très bonne commande de base s'impose.

Les figures 5 et 6 montrent deux circuits de commande de base optimisés [3]. La première montre une commande avec montage Darlington: le transistor, ici un BUV 23, commute à 40 kHz 200 V, 16 A avec des T_{on} et T_f de l'ordre de 100 ns. On remarque un assez long T_s de l'ordre de 1,2 µs. La deuxième montre une commande avec un seul transistor, ici un BUX 13: ce transistor commute à 40 kHz, 200 V, 5 A avec des T_{on} et T_f voisins de 50 ns. On note un T_s de l'ordre 0,6 µs.

Généralement, on admet que le circuit est assez bien optimisé lorsque, pour la fréquence d'utilisation, les pertes par commutation sont inférieures aux pertes directes. Dans les cas présentés aux figures 5 et 6 pour un facteur de marche du moteur de 100 %, les pertes en V_{CE} et en commutation se répartissent comme suit en valeurs typiques:

	P_{VCE}	P_{COM}	P_{TOT}
Montage Darlington	12,0 W	4,3 W	16,3 W
Montage simple	2,5 W	1,3 W	3,8 W

Caractéristiques de l'association moteur + amplificateur Tableau I

Appareil	Caractéristiques	
Moteur Slosyn M 092 FO 301	Nb de pas par tour	200
	I_{max} par bobine (A)	11
	R par bobine (Ω)	0,14
	L par bobine (mH)	0,8
	Inertie rotor (m² · kg)	1,87 10^{-4}
	Nombre de fils	6
	Poids (kg)	3,5
	F_{cem} à 600 tr/min (V)	16,5 (crête)
Amplificateur CGR bipolaire cartes CLPP 16 2 cartes CP 216	U alimentation (V)	100
	I_{max}/bobine (A)	12,5
	I pas fort/bobine (A)	2,8
	I/I (f_0)	3
	f_0 (changement I) (Hz)	50
Caractéristiques combinées	C_{00} Couple à l'arrêt sans diminution d'intensité	6,6 m · N
	C_{600} Couple à 600 tr/min	5,8 m · N
	C_0 Couple à l'arrêt avec diminution d'intensité	3 m · N
	Puissance maxi: 420 W à 800 tr/min	
	Facteur de marche: 27 démarrages par min (40 %)	
	Facteur de couple $F_c = C_{600}/C_{00} = 0{,}87$	

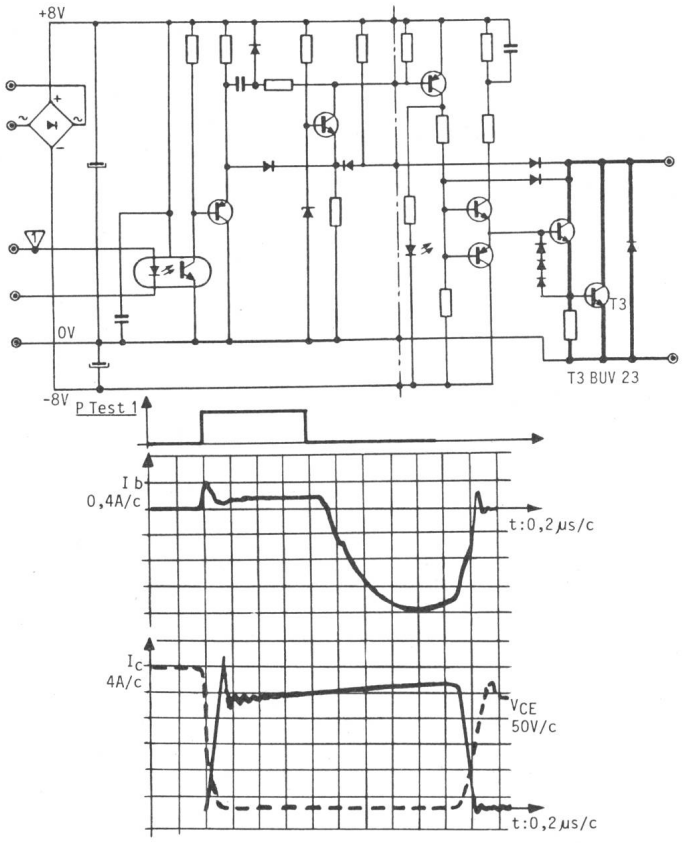

Fig. 5 Circuit de commande avec Darlington

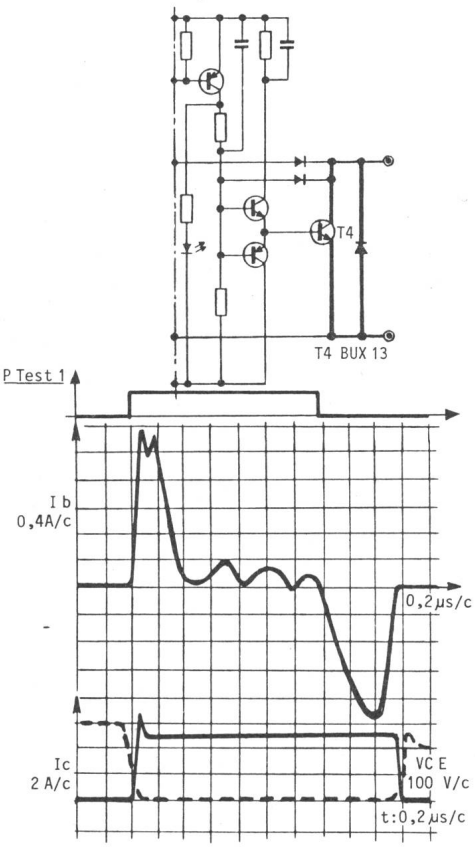

Fig. 6 Circuit de commande avec un transistor

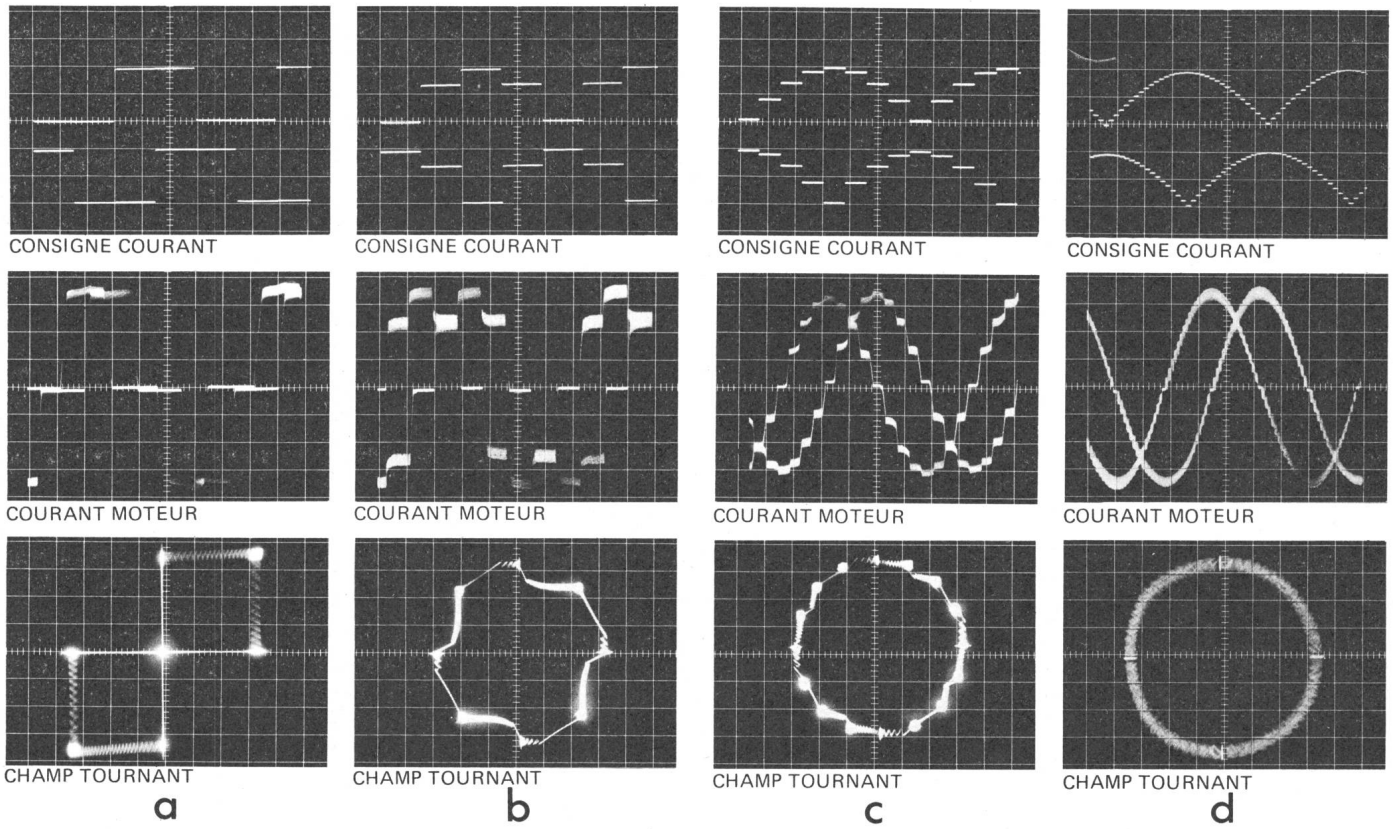

Fig. 7 Forme du champ tournant pour différentes commandes

a Commande au pas entier
b Commande au demi-pas
c Commande au quart de pas
d Commande au $^1/_{16}$ de pas

3. La commande sinusoïdale

Les systèmes commandés par des moteurs pas à pas ont eu quelques difficultés à s'imposer pour les causes suivantes:

- une électronique de commande relativement complexe;
- des phénomènes de résonances à faible vitesse;
- des trous de couple à faible vitesse dans la plage des résonances;

Les débuts ont été, on peut le dire, très difficiles, et beaucoup de projets initialement prévus avec des moteurs pas à pas se sont réalisés avec d'autres types de moteurs. Aujourd'hui, cette technique est assez bien maîtrisée et offre certains avantages par rapport aux autres solutions. Brièvement, on peut énumérer les avantages d'une solution moteur pas à pas par rapport à une solution plus classique par moteur à courant continu et codeur:

1. Moteur très robuste et, si nécessaire, étanche.
2. Puissance massique importante obtenue à faible vitesse; dans bien des cas on peut se passer de réducteur. Exemples:

Slow Syn M 093; Masse 3,5 kg; P à 800 tr/min = 420 W ($C_{600} \approx 5{,}0$ m · N)

Ragonot 80.03; Masse 3,6 kg; P à 3000 tr/min = 200 W à I_N ($C \approx 0{,}64$ m · N) resp. 400 W à 2 I_N.

3. Asservissement sans codeur.
4. Erreur de poursuite quasiment nulle.

Aujourd'hui le succès de ce type de moteur est en grande partie dû aux progrès réalisés dans la connaissance des phénomènes qui régissent le fonctionnement du moteur et dans les progrès qui ont été faits dans l'électronique (mémoires, microprocesseurs, semi-conducteurs de puissance).

Un moteur pas à pas est avant tout un moteur biphasé (dans la majeure partie des cas) que l'on commande en boucle ouverte (également dans la majeure partie des cas). Comme tout moteur, il a une certaine inertie et une fréquence propre, c'est-à-dire une fréquence à laquelle, avec ses harmoniques, il aura tendance à osciller [2]. Il existe différentes solutions non simples pour empêcher ces problèmes de vibrations, p.ex. des capteurs intégrés aux moteurs mais qui dans la plupart des applications industrielles pour de petits moteurs (puissance inférieure à 1 kW) ne sont pas applicables. Il faut donc limiter au maximum les à-coups et commander le moteur de la façon la plus douce.

Un moteur biphasé est un moteur alternatif qui, comme tou moteur alternatif, a un rotor qui suit le champ tournant imposé par le stator. Il s'agit de rendre ce champ tournant aussi régulier que possible. Pour celà, au fur et à mesure des années, on est passé de la commande au pas entier à la commande dite sinusoïdale: le pas entier est décomposé en un certain nombre de mini-pas 16, 32 etc. ...

En regardant la figure 7 qui montre, pour les différentes commandes, la forme des champs tournants, on comprend aisément pourquoi la commande au pas entier ne peut donner satisfaction que dans des applications très spéciales. La commande au demi-pas fournit déjà une très grande amélioration. A partir du quart de pas, on peut commencer à parler de champ tournant véritablement circulaire. Au fur et à mesure que la commande s'affine, le fonctionnement s'améliore. On

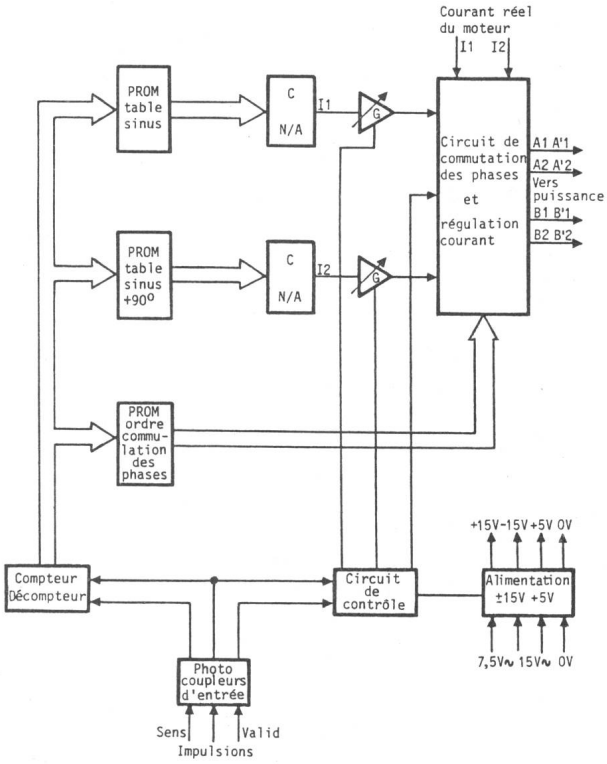

Fig. 9 Synoptique de commande $^1/_{16}$ de pas

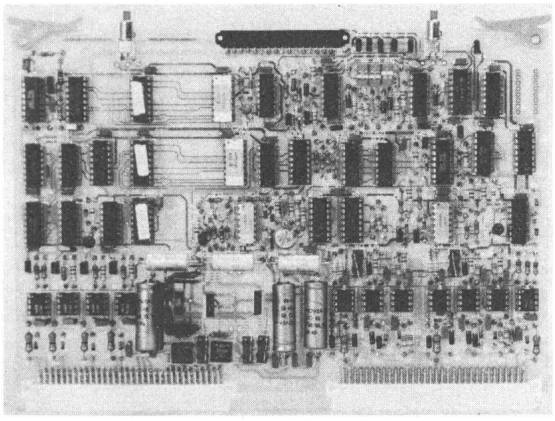

Fig. 8 Carte de logique au $^1/_{16}$ de pas CL PP 16

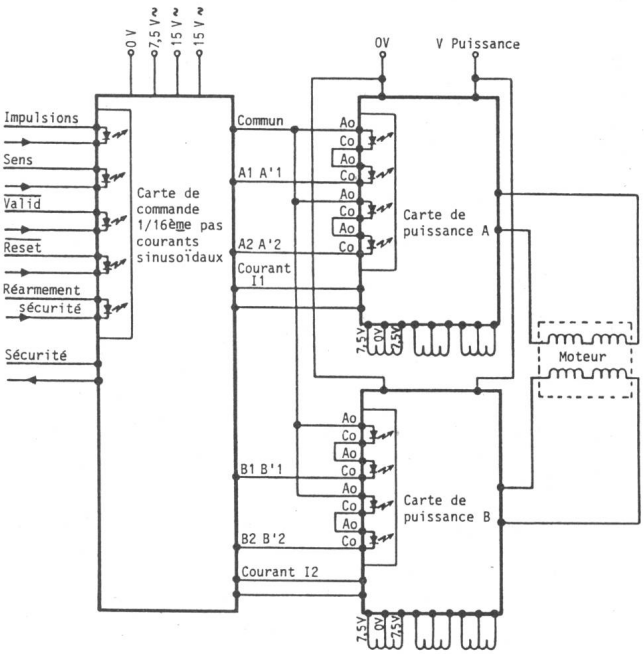

Fig. 10 Synoptique de l'ensemble de l'électronique de commande

Tableau II

Moteur	Carte logique	Carte puissance	Carte surtension	U_{alim}	I_{max}	C_0 m · N	C_{600} m · N
M 091	CL PP16	1 × CP 165	CST 165	± 75 V	1,5 A	3	2 *)
		2 × CP 165	NON	100 V	1,5 A	3	2 *)
M 092	CL PP16	1 × CP 165	CST 165	± 75 V	3 A	4,5	3
		2 × CP 165	NON	100 V	3 A	4,5	3
M 093	CL PP16	2 × CP 165	NON	100 V	5 A	4	3,5 *)
FD 301		1 × CP 216	CST 216	± 100 V	10 A	6	5
M 112	CL PP16	1 × CP 216	CST 216	± 100 V	12,5 A	11	6,5
FJ 25		2 × CP 216	NON	150 V	12,5 A	11	8
M 113	CL PP16	2 × CP 216	NON	150 V	16 A	13	11
		2 × CP 330	NON	250 V	20 A	15	13
M 172	CL PP16	2 × CP 330	NON	250 V	25 A	20 *)	17 *)

*) Chiffres calculés non vérifiés en laboratoire.

est, en fait, limité par la fréquence de découpage. On distingue ici assez clairement qu'à 40 kHz il n'y a plus rien à espérer d'une commande au-delà du $^1/_{16}$ de pas (fig. 7d).

La figure 8 montre la carte de logique et la figure 9 le synoptique d'une commande au $^1/_{16}$ de pas. Des PROM sont utilisées pour la programmation des courants; elles permettent une économie appréciable de logique. La figure 10 visualise les éléments (cartes) mis en jeu dans l'électronique de commande d'un moteur, ici une carte de logique et deux modules de puissance en H tels que définis précédemment (il pourrait s'agir d'un seul module de deux $^1/_2$ H).

La figure 11, enfin, montre un rack de commande pour moteurs M 091. Ce rack est composé de 3 cartes CL PP 16, 3 cartes CP 165 et d'une carte de contrôle de la tension d'alimentation. Outre les cartes, on distingue les condensateurs de découplage placés au plus près des cartes de puissance.

Les caractéristiques obtenues pour différentes associations moteurs et électronique sont représentées au tableau II.

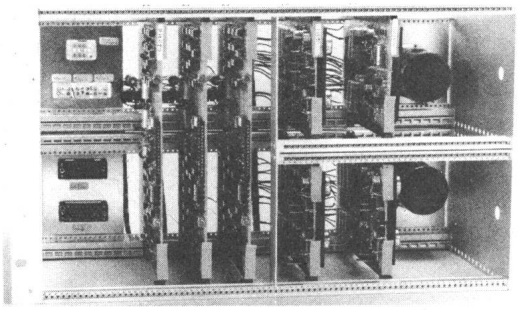

Fig. 11 Rack de commande à trois axes pour moteurs M 091

Bibliographie

[1] *C. Carbon:* Application des moteurs pas à pas à la robotique. Journées d'études «Les moteurs pas à pas et leurs applications», Nancy, 21 et 22 juin 1979. Nancy, Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique (ENSEM), 1979.

[2] *R. Wetter:* Amortissement des oscillations d'un moteur pas à pas. Bull. ASE/UCS 73(1982)11, p. 527...534.

[3] *J.P. Peter, J. Redoutey* et *K. Rischmüller:* Le transistor de puissance dans son environnement. Communication THOMSON-CST, 1978.

Adresse de l'auteur

M. Claude Carbon, CGR Industrie, 3, rue d'Amiens, F-93240 Stains