

## 10/3.4

# Commande de moteurs pas à pas

---

Lorsqu'il faut faire commander un mouvement mécanique par un micro-ordinateur ou un microprocesseur, on songe immédiatement à utiliser des moteurs « pas à pas ».

Ces composants électromécaniques modernes se commandent en effet par « tout ou rien », et permettent d'obtenir très facilement une excellente précision de positionnement ou de vitesse. Si vous désirez faire de la « robotique » avec votre Amstrad, il vous faut absolument apprendre à utiliser ces moteurs, que l'on commence à trouver dans le commerce à des prix raisonnables.

### Fonctionnement des moteurs pas à pas

Le principe du moteur pas à pas est complètement différent de celui des petits moteurs à courant continu couramment utilisés en modélisme ou dans toutes sortes d'applications. Le moteur pas à pas ressemble beaucoup plus aux micromoteurs synchrones à courant alternatif équipant les programmateurs de machines à laver !

Contrairement à ce que l'on pense fréquemment, un moteur pas à pas est un mécanisme très simple ne comportant qu'une seule pièce mobile, le rotor à aimant permanent. Il n'y a pas de balais ou de charbons frottant sur un collecteur ou sur des bagues, ce qui fait que le moteur pas à pas est extrêmement fiable et robuste.

Son principal intérêt est toutefois son aptitude à être commandé en « pas à pas » : une manœuvre électrique simple permet de faire tourner l'arbre du moteur dans un sens ou dans un autre, mais toujours d'un angle fixe, généralement très petit. Cet angle est le « pas » du moteur : dans le cas d'un moteur construit sur la base de 48 pas par tour, le pas vaut  $7^{\circ}30'$ , par exemple. Il suffit donc de faire avancer ou reculer le moteur d'un nombre connu de pas pour positionner son arbre de façon très précise, surtout si un réducteur à engrenages ou courroie crantée est monté entre le moteur et la pièce à mouvoir.

Par ailleurs, il suffit de faire avancer le moteur d'un pas à intervalles réguliers pour le faire tourner à vitesse constante, même très lente : com-

mandé à raison de 24 pas par seconde, notre moteur à 48 pas par tour tournera à un demi-tour par seconde !

Pour obtenir les mêmes possibilités avec des moteurs à courant continu, il faut faire appel à des servosystèmes complexes et coûteux, bien que pas nécessairement aussi performants.

La figure 1 explique le principe électromagnétique selon lequel les moteurs pas à pas fonctionnent. Pour la clarté du schéma, nous raisonnerons sur un moteur simplifié muni de deux paires de pôles, seulement, ce qui mène à quatre pas par tour. Les moteurs réels possèdent davantage de paires de pôles (24 pour notre 48 pas par tour), mais toujours deux bobinages.

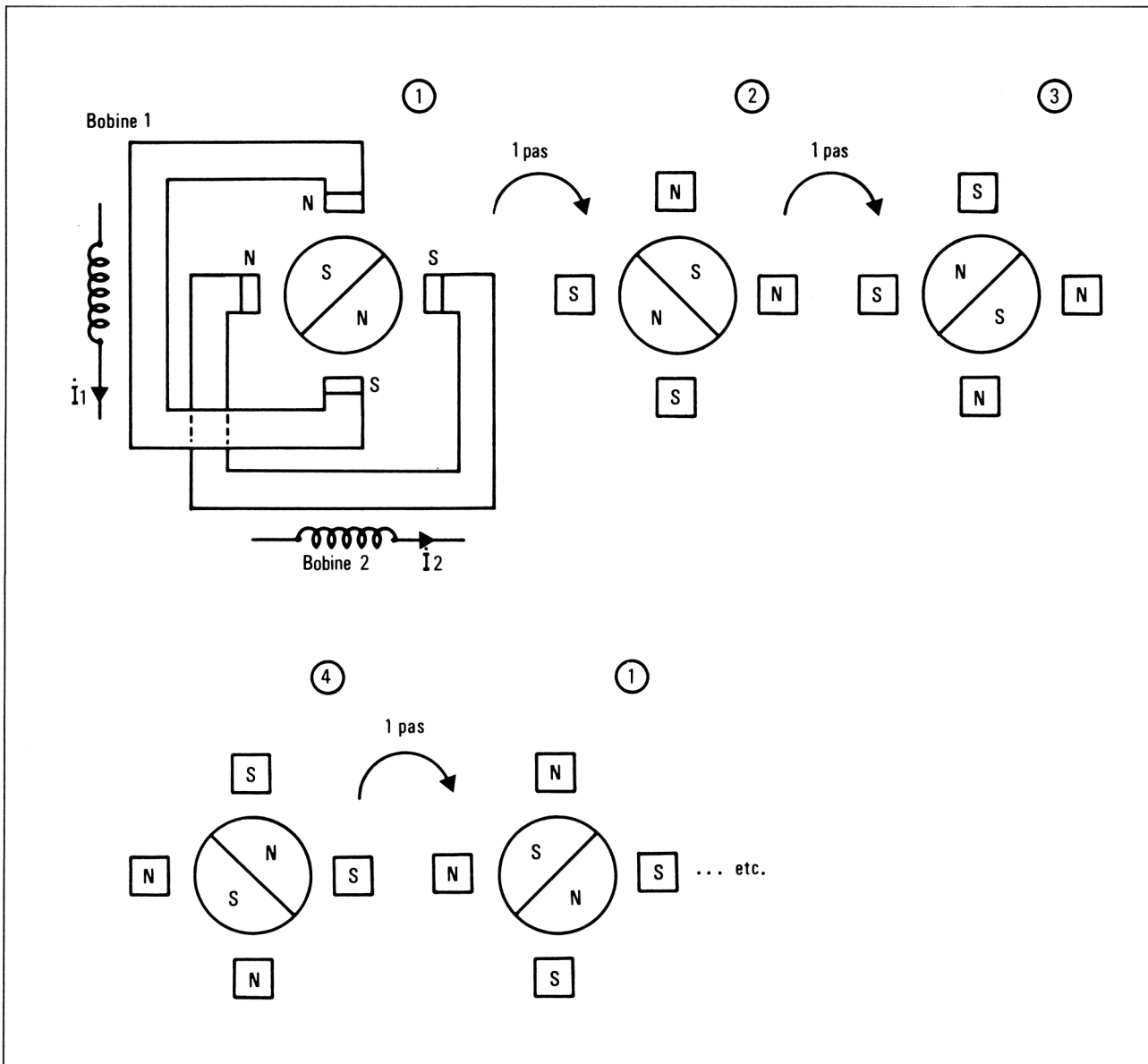


Fig. 1 : Principe de fonctionnement d'un moteur pas à pas.

Pour faire avancer ou reculer le moteur d'un pas, il suffit d'inverser le courant circulant dans l'une des bobines : il y a alors déplacement des pôles Nord et Sud dans le stator, et le rotor suit fidèlement en vertu du principe selon lequel les pôles de noms contraires s'attirent et les pôles de mêmes noms se repoussent.

Notre exemple montre comment un enchaînement logique des inversions de courant permet de faire tourner le moteur dans un sens bien déterminé.

Ce principe appelle cependant deux remarques :

— la position du rotor n'est maintenue que tant que les bobinages sont alimentés : le rotor d'un moteur pas à pas non alimenté est libre, celui d'un moteur pas à pas alimenté est bloqué ;

— l'entraînement du rotor est uniquement dû à des forces magnétiques proportionnelles au courant passant dans les bobinages. Si le moteur rencontre une résistance mécanique supérieure à ces forces, il refusera de tourner : un point dur ou une résistance passagère peut donc causer une perte de pas. On évitera donc de faire commander un moteur pas à pas « en aveugle » par un ordinateur : celui-ci devra être capable de vérifier de temps à autre la position de l'organe entraîné.

### **MOTEURS PAS A PAS A QUATRE OU CINQ FILS ?**

Il existe deux grandes catégories de moteurs pas à pas : les « unipolaires » à cinq fils (parfois six) et les « bipolaires » à quatre fils.

Grâce à un point milieu sur chacun des enroulements, le moteur unipolaire de la figure 2 est plus facile à commander que le moteur bipolaire de la figure 3 : le point milieu étant relié par exemple au + 5 V, il suffit de mettre à la masse l'une ou l'autre des extrémités de l'enroulement pour obtenir les deux polarités magnétiques « + » et « - ».

Avec un moteur bipolaire, il faut un circuit de commutation relativement complexe pour inverser le courant dans le bobinage.

L'inconvénient de la configuration unipolaire est qu'à un instant donné, seule la moitié de chaque bobinage est utilisée : on perd donc en efficacité, et à encombrement égal, un moteur unipolaire sera moins puissant qu'un bipolaire.

On utilise en général des moteurs bipolaires pour les applications industrielles, tandis que les amateurs préfèrent plutôt les unipolaires.

Pour notre part, nous recommandons vivement les moteurs unipolaires (c'est-à-dire à cinq ou six fils) pour les applications bâties autour d'un ordinateur Amstrad.

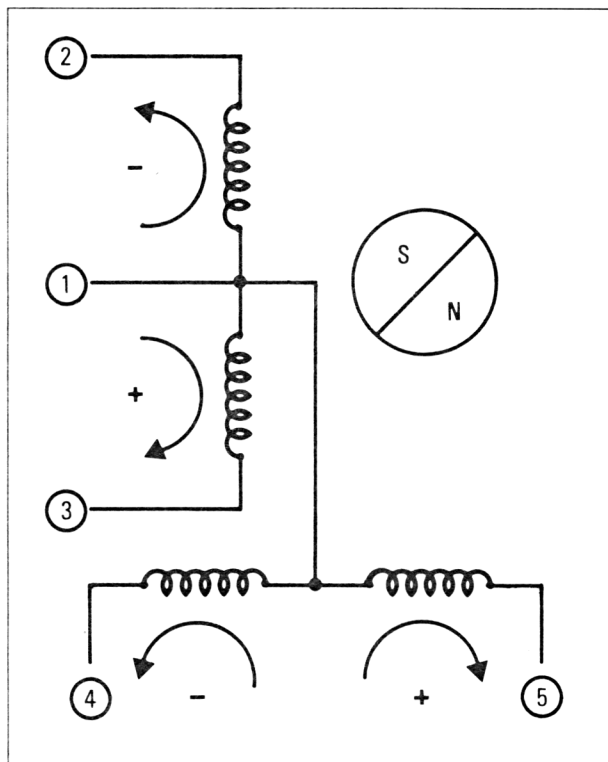


Fig. 2 : Moteur « unipolaire » (5 fils).

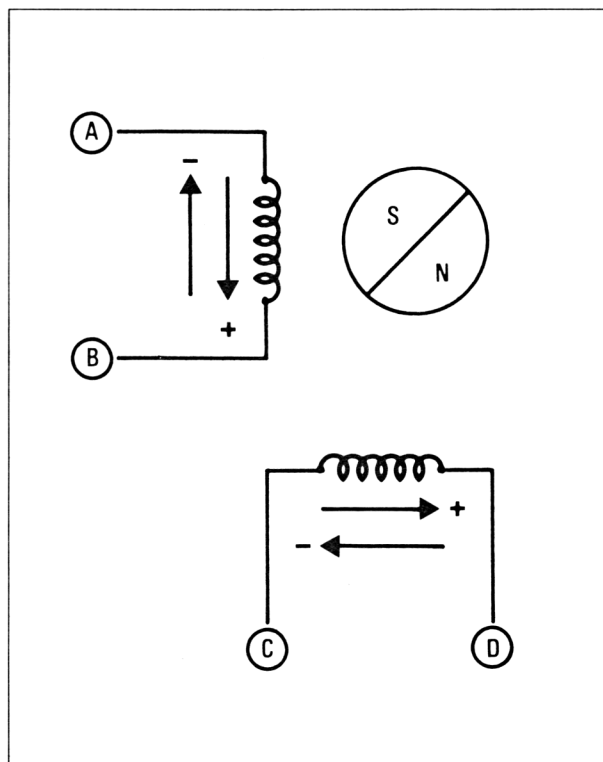
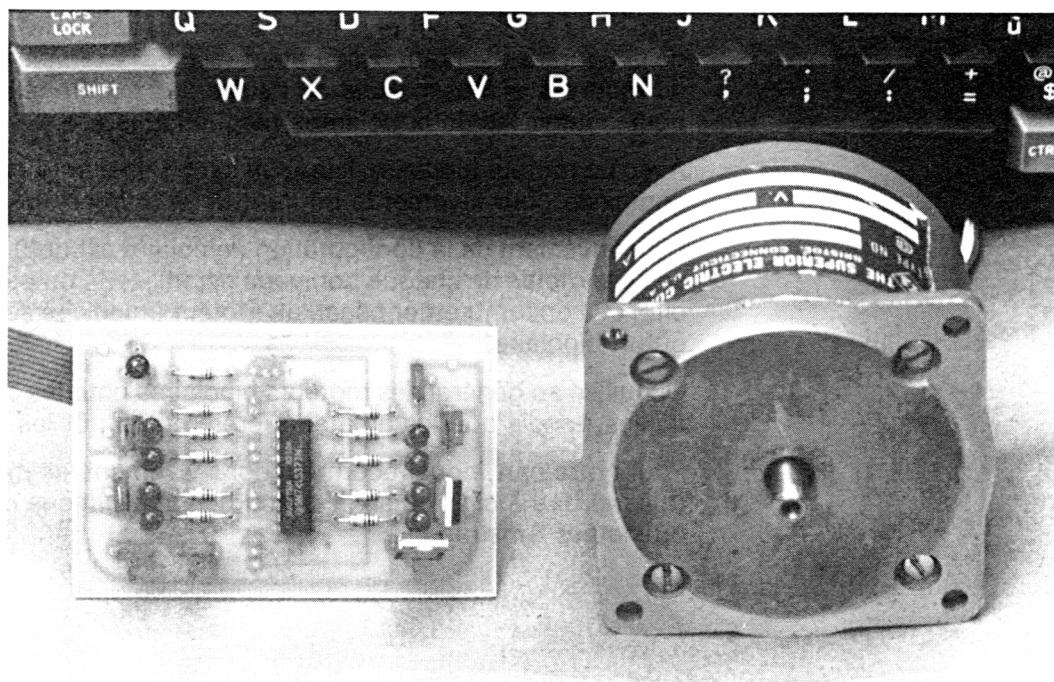


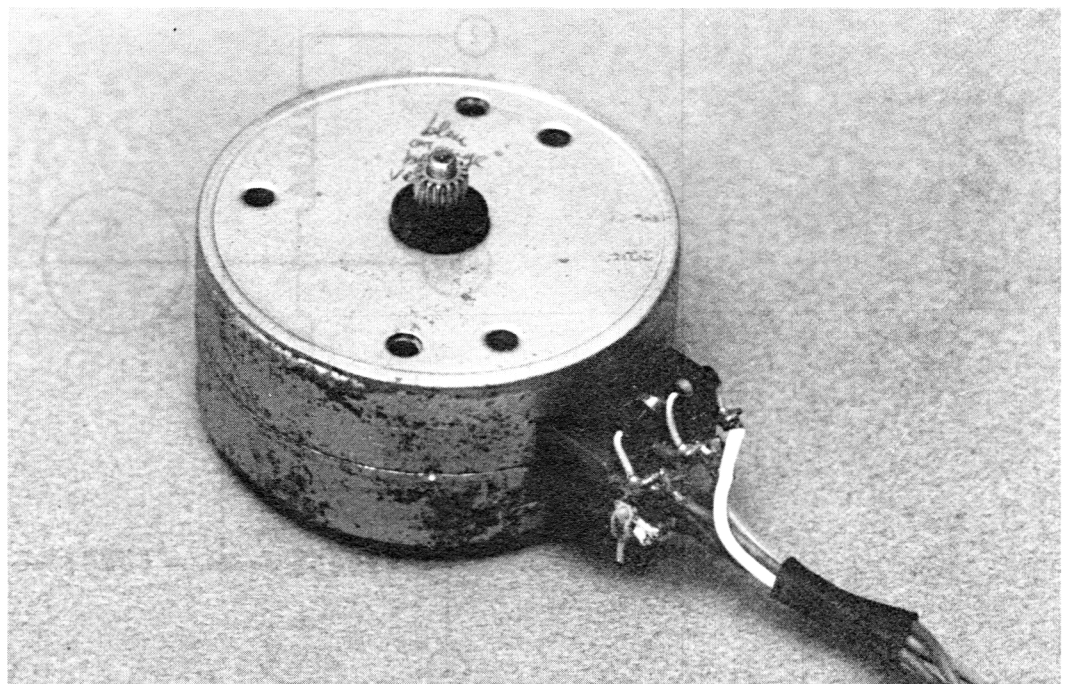
Fig. 3 Moteur « bipolaire » (4 fils).



Le circuit de pilotage associé au moteur pas à pas.



Moteur pas à pas unipolaire.



Moteur pas à pas bipolaire.

## Les trois types de commande

Le principe de la figure 1 admet trois variantes pratiques pour le pilotage du moteur pas à pas. Nous allons les étudier successivement en adoptant la notation de la figure 4 : le point milieu (borne 1) des enroulements est supposé relié au + 5 V, et les extrémités 2, 3, 4, 5 seront mises tour à tour à la masse selon des « séquences » propres à chaque mode de fonctionnement. Nous chercherons d'abord à faire tourner le moteur dans un sens, sachant que pour inverser celui-ci, il suffira de décrire la séquence à l'envers.

La commande représentée à la figure 5 est la plus simple possible : on l'appelle « monophasée » car un seul enroulement est alimenté à la fois.

A la figure 6, les deux enroulements sont toujours alimentés ensemble : la puissance du moteur (ou plutôt son « couple ») s'en trouve donc augmentée, mais sa consommation aussi.

On remarquera que les positions d'équilibre du rotor sont décalées d'un demi-pas par rapport aux précédentes.

Cette remarque amène naturellement à la séquence de la figure 7 qui correspond à la commande dite « demi-pas » : elle est obtenue par imbrication des séquences des figures 5 et 6. Son avantage majeur est que le nombre de pas d'origine du moteur est doublé, ce qui améliore la précision de positionnement et la douceur de fonctionnement. Le couple moteur n'est cependant pas le même d'un demi-pas au suivant : on ne pourra pas compter sur une puissance aussi forte qu'à la figure 6, mais on fera au moins aussi bien qu'à la figure 5.

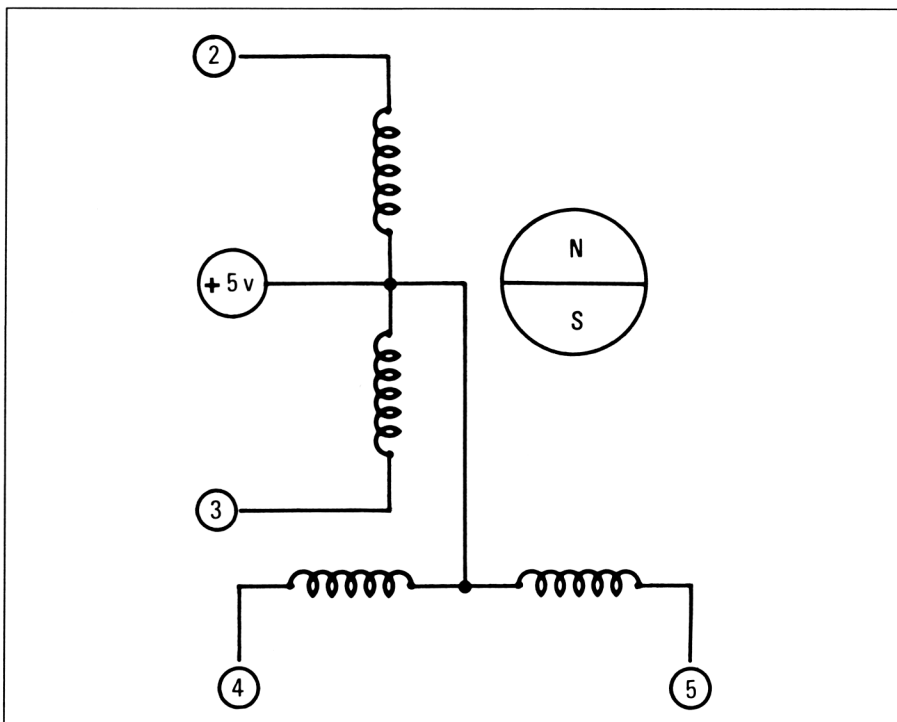


Fig. 4 : Définition du brochage du moteur.

Partie 10 : Fabrication de circuits additionnels pour AMSTRAD

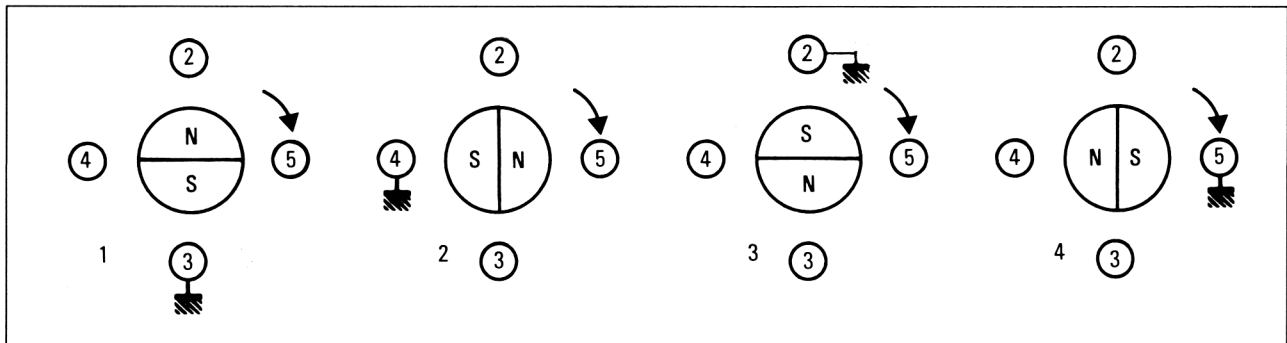


Fig. 5 : Commande « monophasée ».

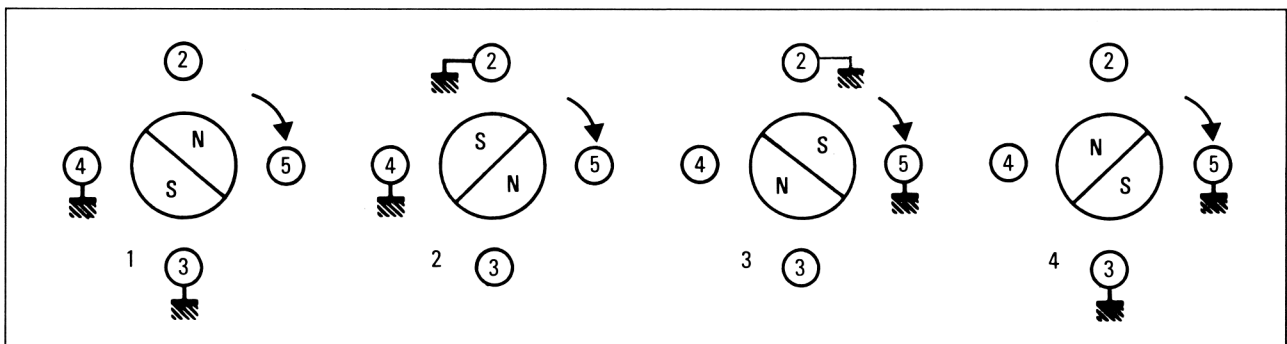


Fig. 6 : Commande « diphasée ».

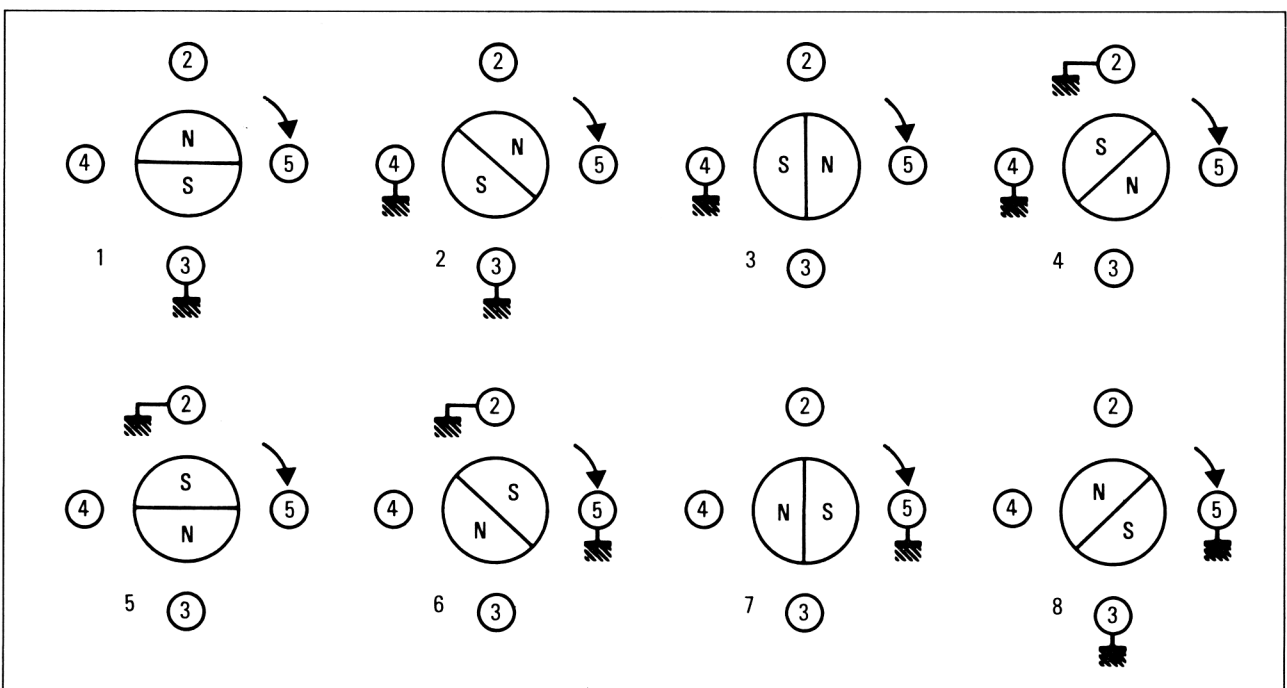


Fig. 7 : Commande « demi-pas ».

## Commande par l'Amstrad

Bien évidemment, de telles séquences « tout ou rien » se prêtent à merveille à une génération par voie informatique. La figure 8 montre comment la carte de sortie décrite en Partie 19, chap. 3.1 peut être utilisée pour commander un moteur unipolaire de puissance raisonnable, à condition de l'équiper de transistors « darlington » genre BD 675, protégés par des diodes de « roue libre » genre 1N 4004.

Dans toute la mesure du possible, on utilisera pour le moteur une alimentation distincte de celle de l'Amstrad, dont le moins devra être relié à la masse de l'Amstrad.

Pratiquement tous les moteurs que peut se procurer l'amateur sont prévus pour fonctionner en 5 V, mais il peut exister des exceptions.

Quatre des sorties de la carte sont utilisées pour piloter les deux extrémités de chacun des deux enroulements : il est commode de faire appel aux sorties S0 à S3, qui correspondent aux lignes de poids faible de la prise d'imprimante.

Grâce à une série de OUT 61439, on pourra diriger sur la carte des valeurs obtenues par addition des poids 1, 2, 4, 8 selon les « phases » du moteur qu'il s'agit d'alimenter.

Pour ce faire, les tableaux suivants donnent les séries de valeurs correspondant aux divers modes de fonctionnement définis aux figures 5, 6 et 7.

	phases alimentées	poids binaire
A V A N T	2	1
	4	2
	3	4
	5	8
A R R I E R E	5	8
	3	4
	4	2
	2	1

Commande monophasée

	phases alimentées	poids binaire
A V A N T	2 et 4	3
	3 et 4	6
	3 et 5	12
	2 et 5	9
A R R I E R E	2 et 5	9
	3 et 5	12
	3 et 4	6
	2 et 4	3

Commande diphasée (fort couple)



Partie 10 : Fabrication de circuits additionnels pour AMSTRAD

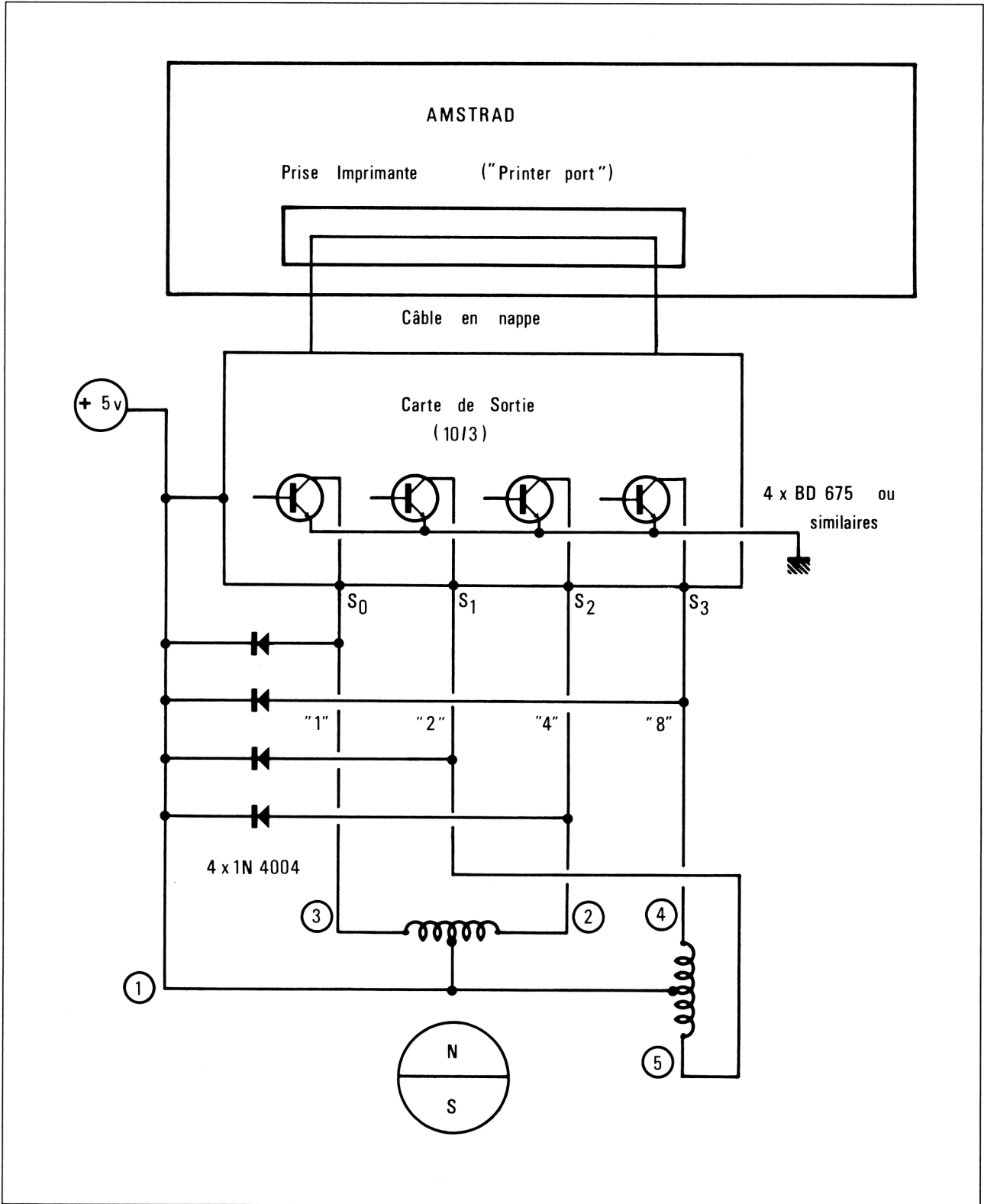


Fig. 8

	phases alimentées	poids binaire
A V A N T	2	1
	2 et 4	3
	4	2
	3 et 4	6
	3	4
	3 et 5	12
	5	8
	2 et 5	9
A R R I E R E	2 et 5	9
	5	8
	3 et 5	12
	3	4
	3 et 4	6
	4	2
	2 et 4	3
	2	1

Commande en « demi-pas » (précision double)

Ces suites de valeurs sont reprises dans les lignes DATA du petit programme suivant.

```

5 REM DEMO MOTEUR PAS A PAS
10 FOR f=1 TO 8
20 READ n
30 OUT 61439,n+128
35 FOR t=1 TO 10 :NEXT t
40 NEXT f
50 RESTORE
60 GOTO 10
100 DATA 1,2,4,8,1,2,4,8
110 DATA 8,4,2,1,8,4,2,1
120 DATA 1,2,4,8,8,4,2,1
130 DATA 3,6,12,9,3,6,12,9
140 DATA 9,12,6,3,9,12,6,,3
150 DATA 1,3,2,6,4,12,8,9
160 DATA 9,8,12,4,6,2,3,1
200 REM (c)1988 Patrick GUEVILLE

```

Nous vous conseillons de le frapper au clavier en entier, après avoir réalisé les branchements de la figure 8. Lancé par RUN, il exécutera la séquence de la ligne 100, c'est-à-dire une commande monophasée.

L'arrêter par un BREAK, supprimer la ligne 100, et voir comment la ligne 110 mène à une rotation de sens inverse.

Modifier éventuellement la ligne 35 pour régler la vitesse du moteur par changement de la fréquence de succession des pas. Avec la ligne 120, obtenue par suppression de la ligne 110, vous découvrirez comment on peut facilement faire alterner marche avant et marche arrière relativement vite.

Les lignes 130 et 140 conduisent à une commande diphasée : vous devez nettement sentir l'augmentation de couple par rapport à la commande monophasée, en tentant de freiner manuellement le moteur. Il n'y a pas d'inconvénient à aller jusqu'au « calage » pur et simple : un moteur à courant continu ne le supporterait pas longtemps, le courant consommé étant fonction du couple fourni, mais dans le moteur pas à pas c'est le courant qui fixe le couple maximum !

Enfin, les lignes 150 et 160 permettent d'expérimenter la commande « demi-pas » dans les deux sens, et de juger de l'augmentation de « résolution » qu'elle permet d'obtenir : en fait, la vitesse se trouve divisée par deux !

Vous aurez immédiatement remarqué, précisément, que la vitesse de rotation permise par ce programme est faible. Il est facile de la diminuer encore grâce à des pauses logicielles analogues à celle de la ligne 35.

Beaucoup d'applications réclament des vitesses aussi faibles : motorisation de seringues pour création de microdébits très précis, horloges à aiguilles, commande de vannes, orientation d'antennes ou de caméras vidéo, poursuite d'astres avec un télescope ou du soleil avec un panneau de photopiles, etc. Même en « robotique », les mouvements d'orientation et de préhension n'ont pas à être extrêmement rapides.

Dans bien des cas, cependant, une vitesse relativement élevée sera nécessaire, notamment lorsqu'un réducteur mécanique devra suivre le moteur : une démultiplication augmente le couple disponible et la précision de positionnement.

Le Basic ne permet pas d'accroître sensiblement la vitesse par rapport à ce qui vient d'être obtenu. Pour tourner vite, le langage machine s'impose : songez que pour tourner à 3 000 t/mn, ce qui n'a rien d'extraordinaire, un moteur de 48 pas par tour doit décrire 2 400 pas par seconde !

Monter en régime n'est cependant pas si simple : aucun moteur pas à pas n'acceptera des accélérations trop brutales. Pour changer de vitesse, il faut décrire une « rampe » de régime, c'est-à-dire accélérer progressivement. Le non-respect de cette précaution se traduirait par des pertes de pas, ou carrément par le « décrochage » du moteur.

Il est donc facile de déduire que la commande directe de moteurs pas à pas par un micro-ordinateur ne concerne que le domaine des basses vitesses, déjà riche d'applications. Pour tourner plus vite, on utilise en général un « contrôleur de moteurs pas à pas », circuit électronique relativement complexe auquel l'ordinateur communique ses ordres avant de le laisser faire : exactement ce qui se passe avec le synthétiseur de sons de l'Amstrad !

L'avantage est que l'ordinateur peut se consacrer à une autre tâche pendant que ce « périphérique » exécute celle qui lui a été assignée.

## Résolution de cas particuliers

Vous savez maintenant comment faire tourner un moteur pas à pas dans un sens ou dans l'autre, comment le bloquer, comment le libérer, et comment faire varier la vitesse.

C'est suffisant pour résoudre un grand nombre de problèmes particuliers, toute la « personnalisation » ou presque pouvant se faire au niveau du logiciel.

La plupart du temps, il sera fondamental que l'ordinateur sache toujours exactement où il en est : il devra donc mémoriser d'une façon ou d'une autre le nombre de pas décrits dans un sens ou dans l'autre, par exemple en incrémentant ou décrémentant une variable à chaque pas.

Des valeurs particulières de cette variable repèreront donc les positions importantes de l'organe commandé, et il sera même possible d'établir une relation simple entre cette variable et l'angle décrit par l'arbre (à partir du nombre de pas pas tour).

Cependant, il sera prudent de prévoir un « recalage » de temps à autre : nous avons vu que les « pertes de pas » ne sont pas exceptionnelles, et des décalages mécaniques peuvent aussi de produire.

Il est en général facile de disposer un capteur (simple contact, cellule photo, etc.) sur le parcours de la pièce commandée : en fin de course, ou en des points remarquables de celle-ci, on vérifiera que la variable liée à la position a bien la valeur voulue. Dans la négative, ou bien on corrigera d'office, ou bien on déclenchera une alarme appropriée.

La synchronisation étant ainsi à peu près garantie entre la variable et la position de l'organe commandé, de simples boucles d'incrémentation ou de décrémentation munies d'un IF ou d'un WHILE suffiront pour rejoindre telle ou telle position souhaitée.

Bien entendu, la vitesse de déplacement vers cette position pourra être choisie tout à fait librement par simple ralentissement artificiel de cette boucle.

La commande d'un moteur pas à pas à faible vitesse relève donc de la programmation Basic la plus élémentaire, dès lors que les adaptations décrites ont été effectuées sur le plan électrique.

C'est sur le plan mécanique que les choses se compliquent parfois, mais n'exagérons rien !