

Le principe du moteur pas-à-pas est connu de longue date, mais son développement a commencé dans les années 1960 grâce à l'avènement de l'électronique numérique.

Un moteur pas-à-pas est une machine tournante dont le rotor se déplace d'un angle élémentaire α_p appelé pas chaque fois que son circuit de commande effectue une commutation de courant dans un ou plusieurs de ses enroulements. Il s'agit donc avant tout d'un actionneur de positionnement. Toutefois, une succession rapprochée de commutations permet d'obtenir une rotation continue. Compte tenu de son principe, la commande de la position ou de la vitesse d'un moteur pas-à-pas peut se faire sans asservissement : il n'est pas nécessaire de contrôler le résultat qui correspond exactement aux ordres donnés à condition de respecter certaines limites de fonctionnement. Ce mouvement par pas est appelé incrémental. Pour avoir une bonne résolution dans le positionnement, la machine doit avoir un pas assez faible. C'est un paramètre essentiel de la machine. On peut également caractériser cette résolution par le nombre de pas par tour, qui lui, doit évidemment être élevé :

$$N_p = \frac{2 \cdot \Pi}{\alpha_p}$$

En dehors de ces caractéristiques générales, on ne peut pas parler du moteur pas-à-pas, mais plutôt des moteurs pas-à-pas car il existe plusieurs types de machines réalisées suivant des principes différents. Néanmoins, on utilise dans les schémas électriques un symbole unique.



Avantages :

Le moteur pas-à-pas constitue une solution simple et bon marché pour les commandes en position. Il est parfaitement adapté à une commande par un signal numérique. Par rapport aux moteurs à courant continu avec ou sans balais, l'avantage déterminant est que l'asservissement de la position n'est pas nécessaire.

Inconvénients

Le rendement du moteur pas-à-pas est en général déplorable. Dans certaines conditions, il y a un risque de perte de pas. Pour les modes de commande élémentaires, les vibrations et les bruits acoustiques sont importants. Pour s'approcher d'une qualité de fonctionnement comparable à celle obtenue par un moteur à courant continu avec ou sans balais, il faut utiliser une commande plus complexe ou un asservissement, mais les avantages de la simplicité et du faible coût disparaissent alors.

Applications

Le moteur pas-à-pas est utilisé de longue date en horlogerie (montres et pendules). Les structures monophasées utilisées dans ce domaine sont un peu particulières. De façon générale, les moteurs pas-à-pas sont particulièrement indiqués pour obtenir un positionnement précis : antenne satellite, télescope, table XY... L'informatique fait largement appel aux moteurs pas-à-pas : imprimantes, scanner, Imprimantes 3D ,.... etc.

Les distributeurs automatiques, les lecteurs de cartes, les photocopieurs, emploient également cette technologie. Quelques accessoires automobiles utilisent aussi des moteurs pas-à-pas.

Différents types

Tous les moteurs pas-à-pas comprennent un stator portant des bobines dans lesquelles le courant est commuté par l'électronique de commande. Par contre, des différences apparaissent au niveau du rotor

Fonctionnement en pas

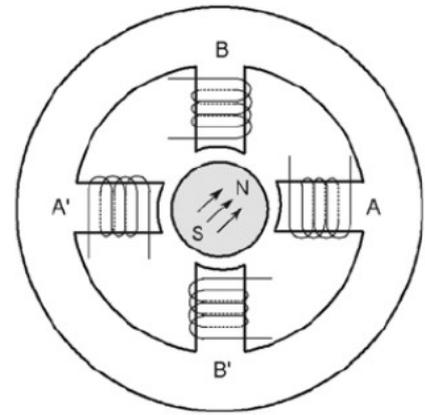
Le rotor porte des aimants permanents. Considérons par exemple un moteur pas-à-pas dont le stator comporte quatre bobines et dont le rotor est un aimant bipolaire.

Il s'agit d'une structure élémentaire qui permettra une explication du fonctionnement, mais qui aurait en pratique une résolution insuffisante. En l'absence de courant dans les enroulements, le rotor se place dans une position d'équilibre stable, sa paire de pôles étant en face d'une paire de plots du stator.

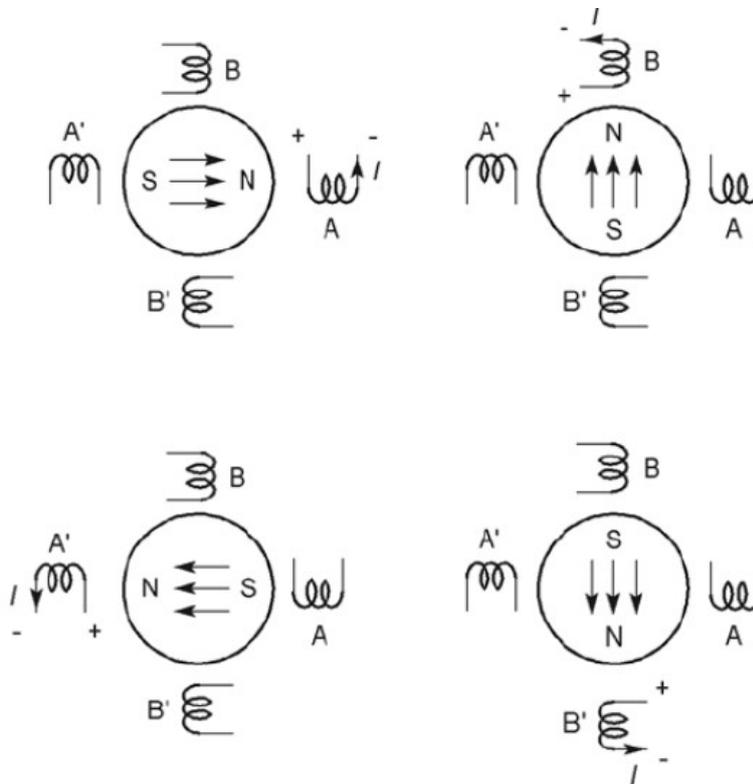
Ce phénomène est dû à la structure à pôles saillants de la machine. Pour écarter le rotor de sa position de repos, il faut exercer un couple appelé couple de détente.

On peut alimenter les quatre bobines de diverses manières. La plus simple est d'imposer un courant, toujours de même sens, dans une seule bobine à la fois. On a ainsi un moteur à quatre phases à alimentation unidirectionnelle.

Considérons par exemple que le sens de bobinage et l'alimentation sont tels qu'un pôle sud soit créé par une phase alimentée. Celui-ci attire alors le pôle nord du rotor. Les positions d'équilibre stable correspondent donc à l'axe magnétique du rotor en face de l'axe des bobines, pôle nord associé à pôle sud. Il y a ainsi quatre positions d'équilibre. Pour obtenir une rotation d'un tour, il faut effectuer quatre commutations comme ci-dessous :



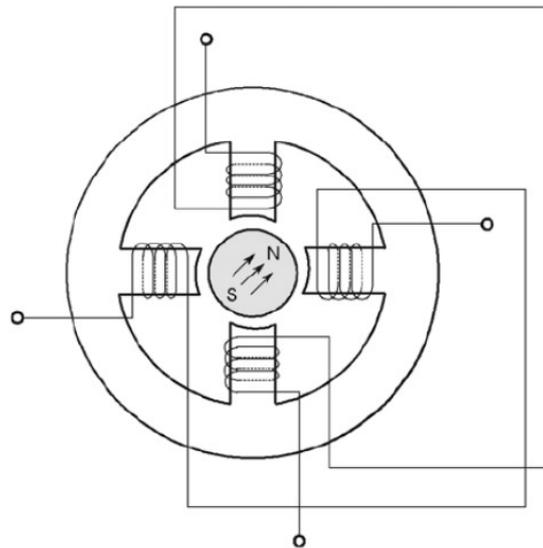
Position du rotor	Courants dans les phases			
	A	B	A'	B'
1	I	0	0	0
2	0	I	0	0
3	0	0	I	0
4	0	0	0	I



On arrive ainsi à un pas de 90° , soit quatre pas par tour. Le sens de rotation dépend de l'ordre dans lequel on effectue les commutations : de 1 à 4 pour le sens trigonométrique et de 4 à 1 pour le sens horaire.

Dans ce mode de fonctionnement, la machine est mal utilisée car seul un quart du cuivre est parcouru par un courant à un instant donné. Par contre, l'alimentation est simple puisqu'on n'a pas besoin d'inverser le courant dans les bobines.

Pour mieux utiliser le cuivre, on préfère employer deux bobines par phase

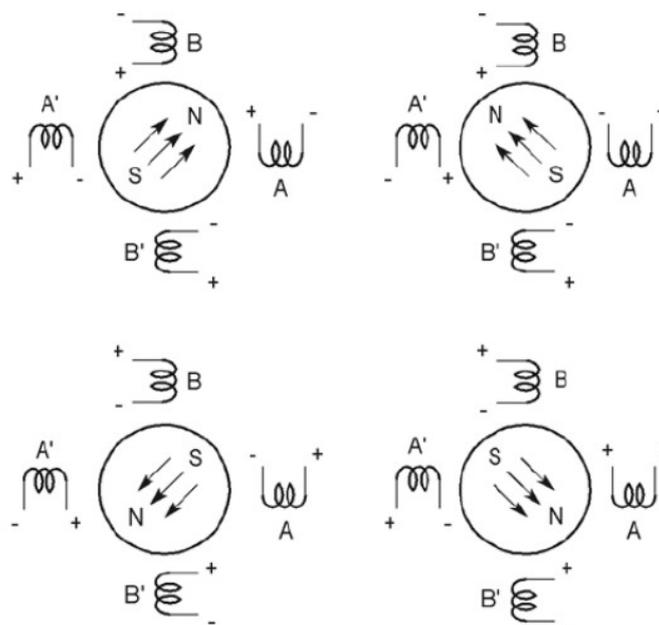


Pour obtenir un tour complet, il faut maintenant pouvoir inverser le courant dans les enroulements : l'alimentation doit être bidirectionnelle. Il faut toujours quatre commutations pour obtenir une rotation d'un tour complet

Position du rotor	Courants dans les phases	
	AA'	BB'
1	I	0
2	0	I
3	$-I$	0
4	0	$-I$

Le pas est toujours de 90° . Le cuivre est mieux utilisé puisque la force magnétomotrice a doublé, mais l'alimentation est plus complexe puisqu'elle doit permettre l'inversion des polarités.

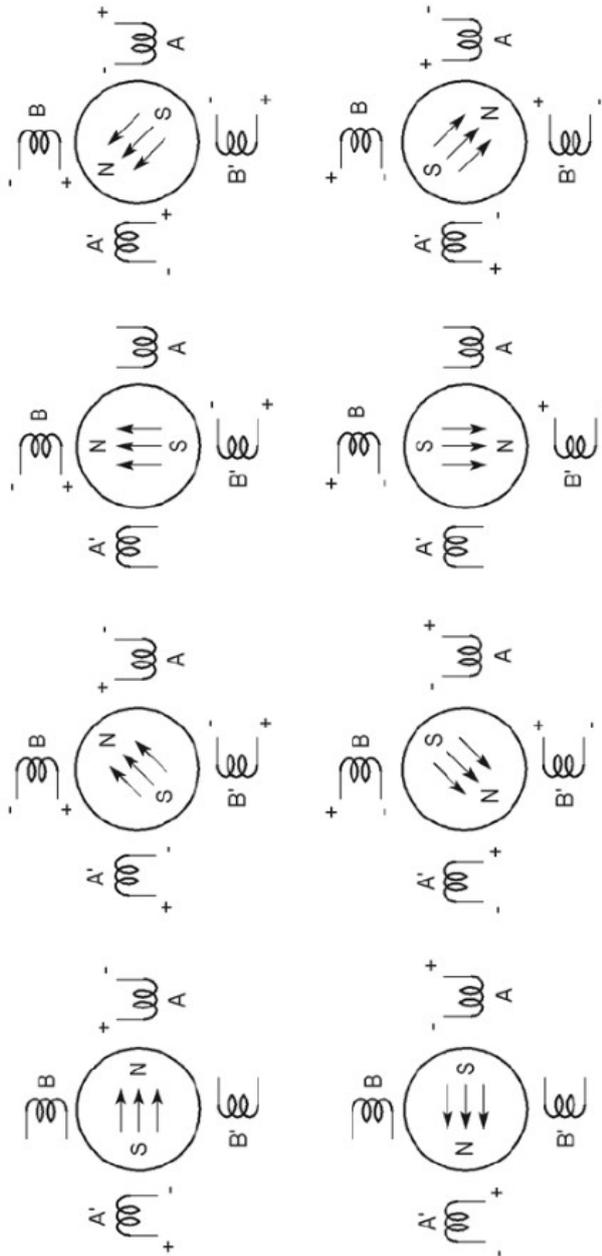
Il est possible d'améliorer encore l'utilisation du cuivre en alimentant deux phases à la fois. Les positions d'équilibre se situent cette fois suivant les bissectrices des angles formés par les axes des deux phases



Le nombre de pas par tour est inchangé, mais le couple moteur est plus important. En effet, en considérant que le système est linéaire, les champs magnétiques créés par chacune des phases s'ajoutent vectoriellement. Le champ résultant a une norme $\sqrt{2}$ fois plus grande que celle du champ d'une bobine seule.

Fonctionnement en demi-pas

Il est possible de se servir des deux types de positions d'équilibre, celles dans l'axe des plots et celles sur les bissectrices, en alimentant alternativement une phase puis deux : on parle alors de fonctionnement en demi-pas.



Position du rotor	Courants dans les phases	
	AA'	BB'
1	I	0
2	I	I
3	0	I
4	$-I$	I
5	$-I$	0
6	$-I$	$-I$
7	0	$-I$
8	I	$-I$

L'angle élémentaire est cette fois de 45° , soit la moitié du pas du moteur. Cependant, le fonctionnement n'est pas idéal car le couple n'est pas le même dans toutes les positions puisque le champ magnétique est alternativement B et $B\sqrt{2}$ pour les commutations successives.

