

# Moteur pas à pas

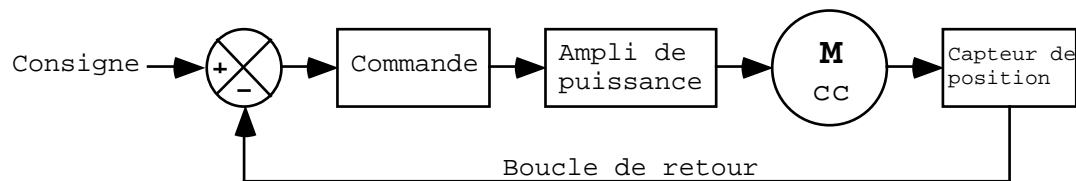
**Source :** Guide du technicien en électrotechnique, éd. Hachette Technique.

Remarque : un certain nombre d'illustrations de ce cours sont issues de la référence ci-dessus.

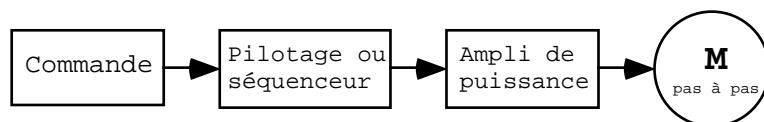
## 1. Introduction

Les moteurs pas à pas permettent en particulier un positionnement précis sans asservissement.

### Principe de commande en position d'un moteur à courant continu



### Principe de commande d'un moteur pas à pas.



On constate que le système est beaucoup plus simple.

A chaque impulsion du signal de commande correspond au niveau du rotor un déplacement angulaire défini appelé « pas » ou « *incrément mécanique* ».

La vitesse de rotation est fonction de la fréquence des impulsions.

On distingue 3 groupes de moteur pas à pas :

- les moteurs à aimant permanent
- les moteurs à reluctance variable
- les moteurs hybrides

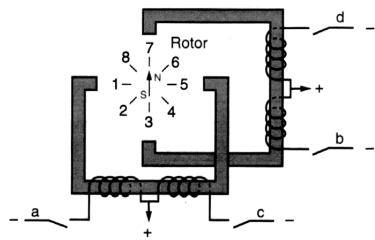
## 2. Moteur à aimant permanents

Il utilise le principe de l'action d'un champ magnétique sur un moment magnétique (aimant)

### 2.1 Moteur unipolaire

Le rotor est constitué par un aimant permanent (en ferrite par exemple) comportant une paire de pôles. Le stator, comprend deux circuits magnétiques décalés de 90°. Les enroulements à point milieu sont alimentés avec une polarité toujours du même signe, d'où le nom d'unipolaire.

MOTEUR UNIPOLAIRE (À AIMANT PERMANENT)



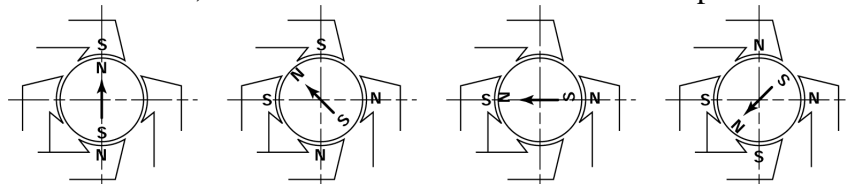
Moteur unipolaire à deux enroulements (4 phases).

MODES D'ALIMENTATION DU MOTEUR UNIPOLAIRE											
Mode 1 : on alimente successivement chaque demi-enroulement.					Mode 2 : on alimente successivement 2 demi-enroulements.						
Séquence de commutation	a	b	c	d	Position du rotor	Séquence de commutation	a	b	c	d	Position du rotor
①	1	0	0	0	1	①	1	1	0	0	2
②	0	1	0	0	3	②	0	1	1	0	4
③	0	0	1	0	5	③	0	0	1	1	6
④	0	0	0	1	7	④	1	0	0	1	8

Les sens des bobinages a, b, c et d imposent les pôles Nord et Sud au stator

Pour inverser le sens de rotation il suffit d'inverser les séquences de commutation.

En associant les modes 1 et 2, on obtient un fonctionnement en demi-pas.



### 2.2 Moteur bipolaire

MOTEUR BIPOLAIRE											
Les enroulements au stator n'ont pas de point milieu.					Moteur 2 phases, 2 pôles au rotor, alimentation bipolaire.						
Chaque borne de chaque enroulement est alimentée successivement par une polarité positive puis négative (d'où le terme bipolaire).											
En inversant les polarités des enroulements statoriques, on inverse les pôles nord et sud au stator. Le nombre de phases est égal au nombre d'enroulements.											
Mode 1 : on alimente un enroulement					Mode 2 : on alimente deux enroulements						
Séquence de commutation	$i_1 > 0$	$i_1 < 0$	$i_2 > 0$	$i_2 < 0$	Position du rotor	Séquence de commutation	$i_1 > 0$	$i_1 < 0$	$i_2 > 0$	$i_2 < 0$	Position du rotor
①	1	0	0	0	1	①	1	0	1	0	2
②	0	0	1	0	3	②	0	1	1	0	4
③	0	1	0	0	5	③	0	1	0	1	6
④	0	0	0	1	7	④	1	0	0	1	8
REMARQUES											
■ Le principe de fonctionnement est identique à celui du moteur unipolaire.						■ Le sens de rotation dépend du sens du courant et de l'ordre d'alimentation des bobinages.					
■ $N_p$ = nombre de phases au stator x nombre de pôles au rotor											

### 2.3 Caractéristiques principales

- Faible résolution : nombre de pas / tour peu important ;
- couple d'utilisation plus élevé par rapport au moteur à reluctance variable ;
- présence d'un couple résiduel lorsque le moteur est hors tension.

### 3. Moteur à reluctance variable

Il utilise le principe physique du flux maximum. Le stator constitué de fer doux, va se placer de telle sorte que le flux magnétique qui le traverse soit maximum.

#### 3.1 Introduction : circuit magnétique

Un circuit magnétique est une suite de substances toujours ferromagnétiques de faible hystérésis, destinées à canaliser le flux magnétique créé par un courant électrique parcourant des conducteurs qui entourent le circuit magnétique.

Le circuit magnétique est **fermé** s'il ne comprend que des ferromagnétiques. S'il est interrompu par des intervalles d'air, ou **entrefers**, il est dit **ouvert**.

Le circuit est exempt de **fuites magnétiques** si le flux  $\Phi$  de l'induction  $B$  à travers une de ses

section  $S$  est partout le même.  $\Phi$  est alors de la forme : 
$$\Phi = \frac{I}{\mu S} = \frac{I}{\mu S}$$

Le nombre d'ampères-tours inducteurs  $I \cdot F$  est la **force magnétomotrice** du circuit et l'intégrale est la **réluctance**  $\mathcal{R}$ , où  $\mu$  est la perméabilité d'un élément du circuit de longueur  $dl$ .

Si des pièces du circuit magnétique sont mobiles, elle vont se placer de telle sorte que la reluctance soit minimum et donc le flux maximum ce qui revient en fait à réduire les entrefers.

Le circuit magnétique d'un moteur est constitué du stator et du rotor.

#### 3.2 Constitution

Rotor : cylindre en fer doux dans lequel sont taillées des dents (pôles du rotor)

Stator : empilage de tôles découpées, encochées.

Les enroulements en série sont diamétralement opposés afin que les attractions simultanées n'engendrent pas une usure prématurée des paliers du rotor.

$n_s$  = nombre de dents du stator

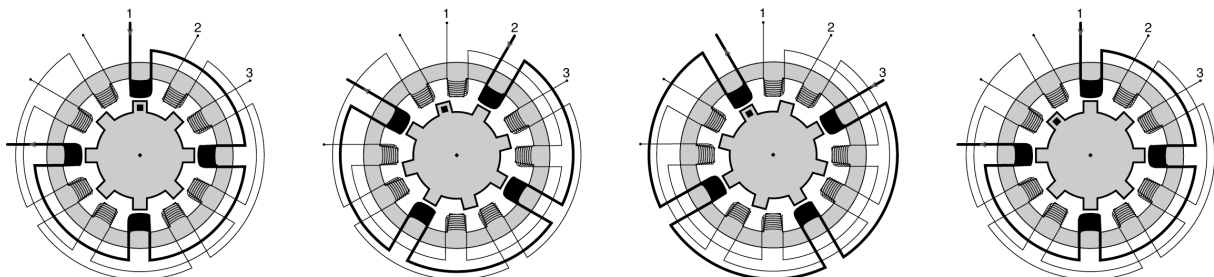
$n_r$  = nombre de dents du rotor

$n_p$  = nombre de pas par tours 
$$n_p = \frac{n_s \cdot n_r}{n_s + n_r}$$
 **Exemple** :  $n_s = 12$  ;  $n_r = 8$  ;  $n_p = 24$

#### 3.3 Fonctionnement

A chaque impulsion de la commande, la phase suivante du stator est alimentée.

On constate que les pôles les plus proches des bobines alimentées se positionnent en face de ces dernières. Suivant l'ordre d'alimentation des phases du stator, on peut choisir le sens de rotation.



#### 3.4 Caractéristiques

- Bonne résolution ;
- construction simple mais délicate ;
- couple développé faible ;
- absence de couple résiduel avec le moteur hors tension.

## 4. Moteur hybride

C'est un moteur reluctant polarisé. Il superpose le principe de fonctionnement des moteurs à aimant permanent et à reluctance variable et combine leurs avantages.

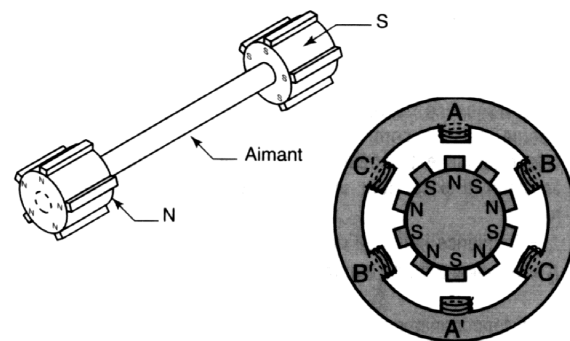
Le rotor est constitué de 2 disques dentés décalés mécaniquement. Entre ces 2 disques, est inséré un aimant permanent.

### Principe de fonctionnement

Le nombre de dents au rotor est différent de celui du stator.

Quand on alimente une paire de bobines, le rotor place les dents Nord et Sud de telle façon que le flux traversant le rotor soit maximal.

EXEMPLE : ROTOR À 2 PÔLES, 5 DENTS PAR PÔLE



## 5. Etude dynamique du moteur

MODES DE FONCTIONNEMENT	
<p>Chaque phase au stator reçoit des impulsions de courant d'une durée <math>T</math>.</p> <p>La fréquence de travail est <math>f = 1/T</math>.</p> <p>Deux modes de fonctionnement peuvent être envisagés selon la valeur de <math>T</math>.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Fonctionnement par à-coups</i> : Après une commutation, le rotor avance d'un pas et s'arrête avant la commutation suivante.</li> <li>• <i>Fonctionnement en continu</i> : Le moteur ne s'arrête pas entre deux commutations. On risque d'observer des phénomènes de résonance mécanique.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Fonctionnement par à-coups</b></p> <p>Enchaînement des pas</p> <p>– Le rotor recherche sa position d'équilibre. – Compte tenu de l'inertie et de l'accélération des masses en mouvement, il apparaît une série d'oscillations amorties.</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Fonctionnement en continu</b></p> <p>Enchaînement des pas</p> <p><math>T_2 &lt; T_1</math></p>

**Fonctionnement par à-coups** : le positionnement du rotor s'amortit entre chaque pas, ce qui ne pose aucun problème de fonctionnement.

**Fonctionnement en continu** : si on élève assez la fréquence de commutation, on arrive à un régime de vitesse quasi constant. C'est le **régime synchrone**. C'est la **vitesse limite** de bon fonctionnement du moteur.

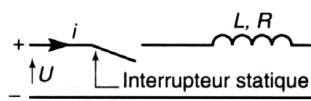

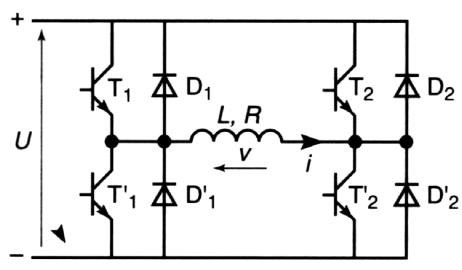
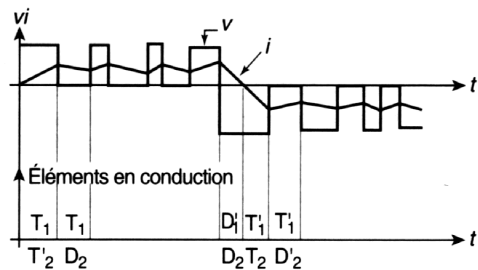
**Fonctionnement en survitesse** : si l'enchaînement des pas se produit en des intervalles de temps trop court, nous sommes en régime de « survitesse ». Le moteur peut subir des dommages irréparables.

## 6. Comparaison des trois moteurs

COMPARAISON DES PERFORMANCES DES 3 TYPES DE MOTEURS PAS À PAS			
Type de moteur	Moteur à aimant permanent	Moteur à reluctance variable	Moteur hybride
Résolution (nombre de pas/tour)	Moyenne	Bonne	Elevée
Couple moteur	Elevé	Faible	Elevé
Sens de rotation	Il dépend : - du sens du courant pour le moteur bipolaire - de l'ordre d'alimentation des bobines	Il dépend uniquement de l'ordre d'alimentation des bobines	Il dépend : - du sens du courant - de l'ordre d'alimentation des bobines
Fréquence de travail	Faible	Grande	Grande

## 7. Alimentation et circuits intégrés pour la commande et l'étage de puissance

### 7.1 Alimentation

ALIMENTATION DES MOTEURS PAS À PAS	
<p>Elle doit permettre d'établir, de maintenir et de couper le plus rapidement possible le courant imposé dans chaque bobine.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Pour que le courant atteigne rapidement sa valeur nominale, il faut :           <ul style="list-style-type: none"> <li>- diminuer la constante de temps <math>L/R</math> en augmentant <math>R</math>.</li> <li>- augmenter la tension d'alimentation.</li> </ul> </li> <li>■ Pour que le courant s'annule rapidement, il faut dissiper l'énergie emmagasinée par la bobine en un temps très bref.</li> </ul> <p>Le type de moteur impose la structure de l'alimentation (unipolaire ou bipolaire).</p>	<p>■ Moteur à reluctance ou moteur unipolaire à aimant permanent <math>\Rightarrow</math> alimentation unipolaire.</p>  <p>Schéma par phase</p> <p>• Moteur à aimant permanent bipolaire ou moteur hybride <math>\Rightarrow</math> alimentation bipolaire.</p>  <p>Schéma par phase</p> <p>Ce montage nécessite 4 interrupteurs statiques.</p>
CIRCUIT D'ALIMENTATION BIPOLAIRE	
<p>Le pont complet est le plus utilisé.</p> <p><b>Schéma pour une phase du moteur.</b></p> 	<p><b>Exemple :</b> Voir moteur bipolaire (mode ②) : séquences de commutation ① et ② : <math>i_1 &gt; 0</math> puis <math>&lt; 0</math>.</p>  <p>Éléments en conduction</p> <p>① : <math>T_1, T_1</math> ; <math>T_2, D_2</math></p> <p>② : <math>D_1, T_1</math> ; <math>D_2, T_2</math></p>

## 7.2 Circuits intégrés

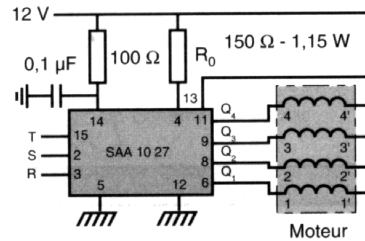
La plupart des circuits intégrés regroupent :

- une logique de commande dont la fréquence détermine la fréquence de commutation des pas ;
- un étage de puissance (transistors et diodes de roue libre).

Ils nécessitent très peu de composants extérieurs.

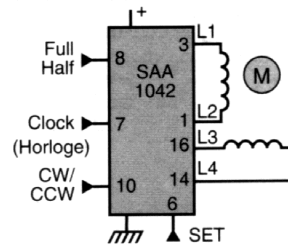
Commande d'un moteur pas à pas à aimant permanent (moteur 4 phases unipolaire).

Circuit SAA 10 27 de R.T.C.



Commande d'un moteur pas à pas bipolaire 2 phases.

Circuit SAA 10 24 de R.T.C.



Documents extraits de : Guide du technicien en électrotechnique, J.-C. Mauclerc, Y. Aubert, A. Domenach, édition Hachette Technique, 1995.