

Moteurs pas à pas Définitions et généralités

La partie mobile d'un moteur pas à pas se déplace d'une quantité élémentaire, appelée "*pas*", chaque fois qu'une impulsion de courant convenable parcourt l'un des bobinages de sa partie fixe.

Il se caractérise donc par son *nombre de pas par tour, N_p* ou par son *pas angulaire*

$$\alpha_p = \frac{360}{N_p}$$

Quelques exemples des valeurs les plus courantes

N_p	12	24	36	48	60	100	200	400
α_p (°)	30	15	10	7,5	6	3,6	1,8	0,9

- **Couple résiduel ou "de détente"** : Couple maximal applicable sur l'arbre du moteur, non alimenté, sans provoquer de rotation. Uniquement pour les moteurs à aimant permanent.
- **Couple de maintien** : Couple maximal applicable sur l'arbre du moteur, excité de façon statique (à fréquence nulle) sans provoquer de rotation.
- **Couple d'entraînement, ou dynamique, ou "de travail"** : Couple maximal disponible sur l'arbre du moteur, excité à une fréquence donnée, sans perte de pas.

Moteurs pas à pas Définitions et généralités

Principe de fonctionnement

Une succession de n impulsions provoque le déplacement de n pas (ou de $2n$ demi-pas).

Un moteur pas à pas et sa commande permettent donc de contrôler un déplacement en vitesse et position et cela sans asservissement, c'est-à-dire en boucle ouverte et surtout sans capteurs de vitesse et/ou position.

Le rotor comme le stator présentent des dents dont les écarts angulaires, notés α_R et α_S , fixent α_p par l'expression :

$$\alpha_p = |\alpha_M - k \alpha_m|$$

*où $\alpha_M = \text{Max}(\alpha_S, \alpha_R)$ et $\alpha_m = \text{min}(\alpha_S, \alpha_R)$ et k est un nombre entier tel que α_p soit minimum.
(Cette formule peut ne pas s'appliquer à certaines constructions particulières).*

Selon la technologie utilisée pour le rotor, on distingue :

- *Moteurs à réluctance variable*
- *Moteurs à aimants permanents*
- *Moteurs hybrides*

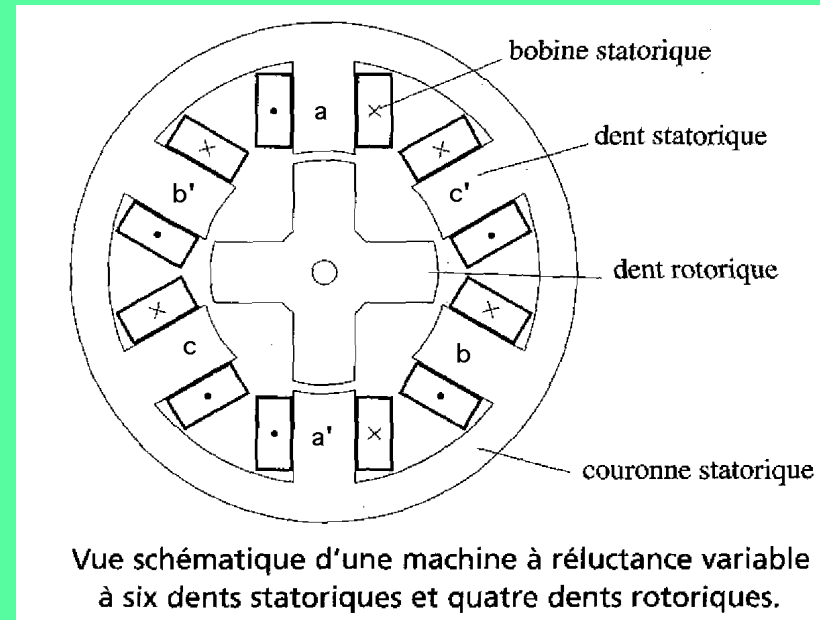
Moteurs pas à pas

Moteur à réluctance variable

Principe de fonctionnement : Lorsqu'une bobine est alimentée, le rotor se place de sorte que le flux soit maximal (donc la réluctance minimale soit pour un **entrefer de surface maximale**).
Le couple résiduel est nul.

Propriétés

- **Simplicité** donc faible coût de réalisation;
- **Bonne résolution** : N_p élevé
- **Vitesse élevée** car faible inertie propre;
- **commande** des bobines **simplifiée** : Le sens de rotation ne dépend pas du sens du courant, il ne dépend que de l'ordre d'alimentation des bobines qui sont donc obligatoirement au nombre de trois;
- **couple assez faible** proportionnel au carré du courant; pas de couple de détente;
- Sensible au variation d'**inertie de la charge**.



Moteurs pas à pas

Moteur à aimants permanents

Principe de fonctionnement : Le stator comporte, en général, deux bobines alimentées *alternativement dans chaque sens* ce qui crée quatre configurations possibles quant aux polarités magnétiques des dents stator. A chaque changement, un jeu d'attraction-répulsion entre les pôles stator et rotor provoque la rotation dans un sens ou dans l'autre.

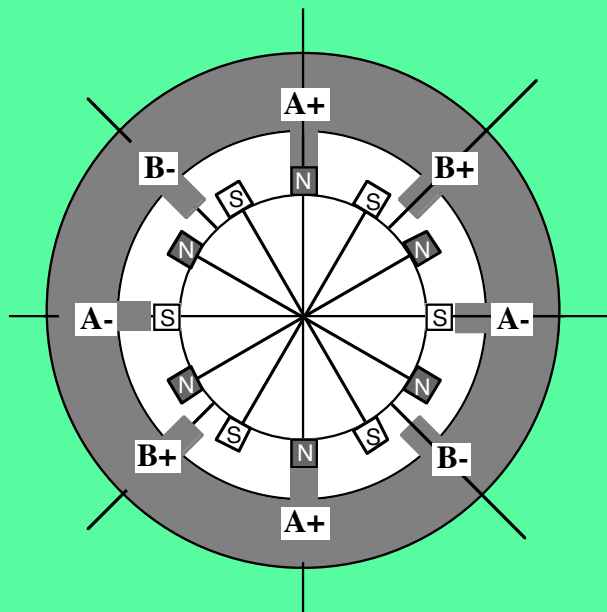
En ajoutant la possibilité d'alimenter les *deux bobines en même temps*, on ajoute quatre autres situations possibles dans la configuration des polarités stator, chacune venant s'insérer entre deux des précédentes. En regroupant dans un cycle d'alimentation ces *huit possibilités*, on obtient une rotation dite en "*demi-pas*".

Propriétés

- **résolution moyenne** : Difficulté à loger les aimants en périphérie du rotor; amélioration sensible, toutefois, dans les *rotors en forme de disque* équipés d'aimants dont l'axe des pôles est parallèle à l'axe de rotation.
- **couple élevé** proportionnel au courant; présence d'un couple de détente.
- **bon rendement**
- **alimentation plus complexe** gérant les deux sens de courant.

Moteurs pas à pas Moteur à aimants permanents

Etude d'un exemple



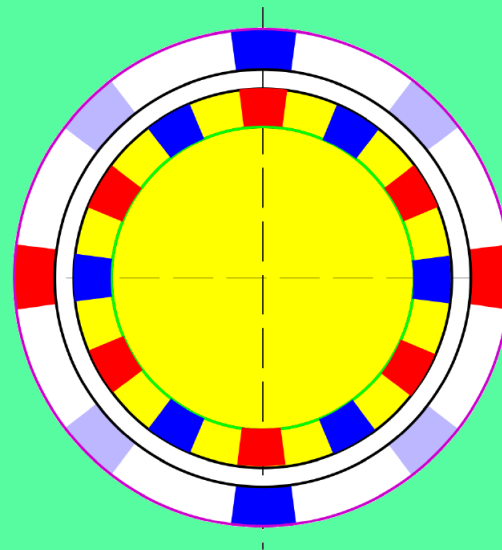
Les deux bobines du stator sont repérées A et B et les signes + et - précisent le sens de bobinage, une dent A+ et une dent A- présentent des polarités opposées.




$$\begin{cases} \alpha_R = 30^\circ \\ \alpha_S = 45^\circ \end{cases} \Rightarrow \alpha_p = 15^\circ$$

Moteurs pas à pas
Moteur à aimants permanents

*Ensemble d'un cycle, avec commande en demi-pas
(rotation de 4 pas soit 60 °)*

*Si = une seule bobine alimentée
Di = deux bobines alimentées*



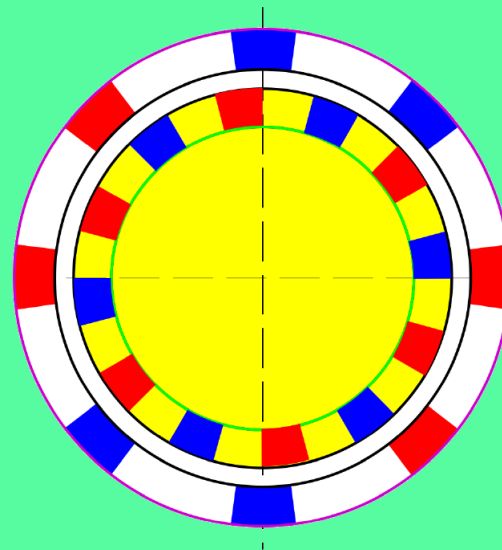
 Pôle Nord
 Pôle Sud
 non alimenté




SI

Moteurs pas à pas
Moteur à aimants permanents

*Ensemble d'un cycle, avec commande en demi-pas
(rotation de 4 pas soit 60 °)*

*Si = une seule bobine alimentée
Di = deux bobines alimentées*



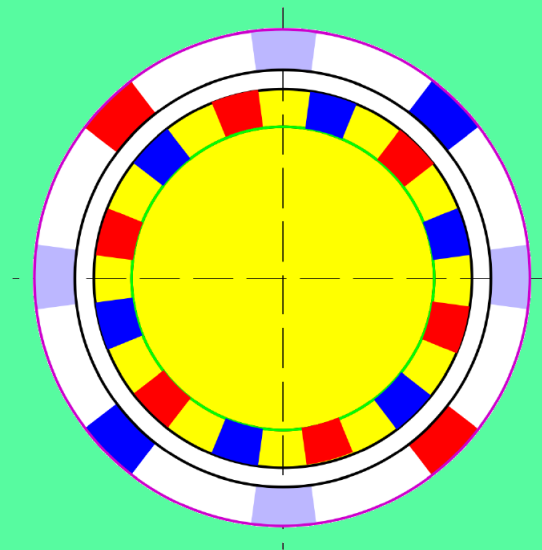
 Pôle Nord
 Pôle Sud
 non alimenté

DI

Moteurs pas à pas
Moteur à aimants permanents

*Ensemble d'un cycle, avec commande en demi-pas
(rotation de 4 pas soit 60 °)*

*Si = une seule bobine alimentée
Di = deux bobines alimentées*

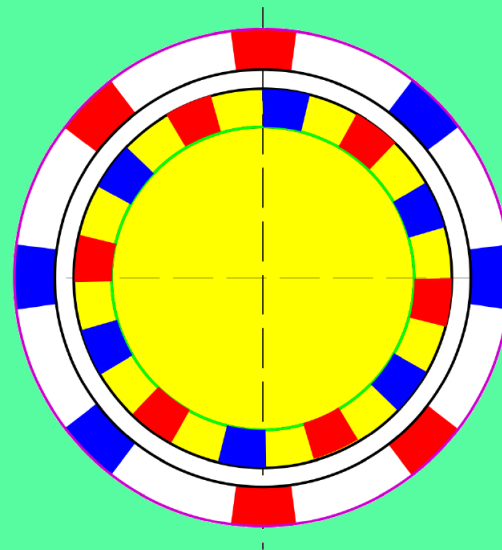


S 2

Moteurs pas à pas
Moteur à aimants permanents

*Ensemble d'un cycle, avec commande en demi-pas
(rotation de 4 pas soit 60 °)*

*Si = une seule bobine alimentée
Di = deux bobines alimentées*

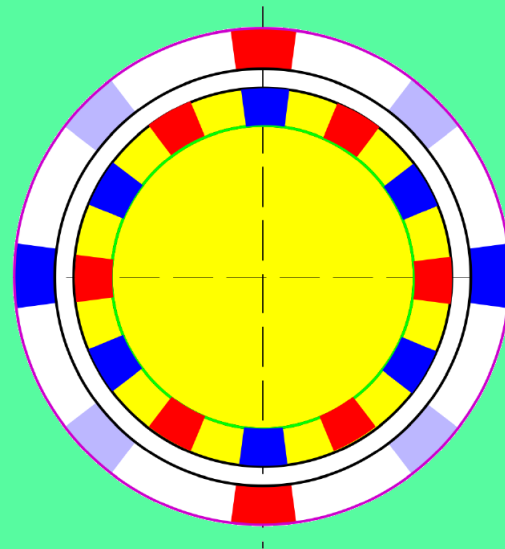





D 2

Moteurs pas à pas
Moteur à aimants permanents

*Ensemble d'un cycle, avec commande en demi-pas
(rotation de 4 pas soit 60 °)*

*Si = une seule bobine alimentée
Di = deux bobines alimentées*



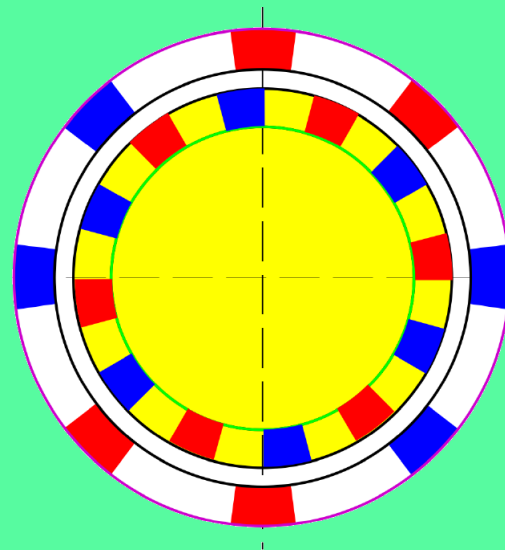
-  Pôle Nord
-  Pôle Sud
-  non alimenté




S 3

Moteurs pas à pas
Moteur à aimants permanents

*Ensemble d'un cycle, avec commande en demi-pas
(rotation de 4 pas soit 60 °)*

*Si = une seule bobine alimentée
Di = deux bobines alimentées*



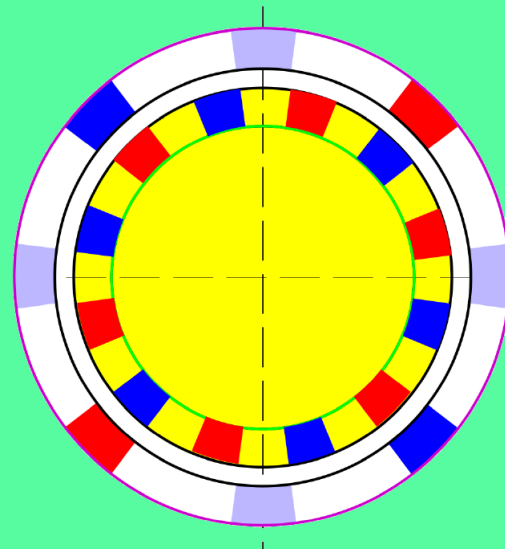
 Pôle Nord
 Pôle Sud
 non alimenté




D3

Moteurs pas à pas
Moteur à aimants permanents

*Ensemble d'un cycle, avec commande en demi-pas
(rotation de 4 pas soit 60 °)*

*Si = une seule bobine alimentée
Di = deux bobines alimentées*



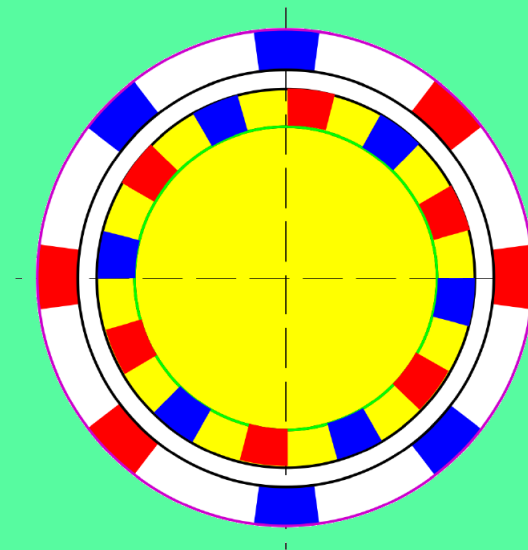
-  Pôle Nord
-  Pôle Sud
-  non alimenté

S 4

Moteurs pas à pas
Moteur à aimants permanents

*Ensemble d'un cycle, avec commande en demi-pas
(rotation de 4 pas soit 60 °)*

*Si = une seule bobine alimentée
Di = deux bobines alimentées*

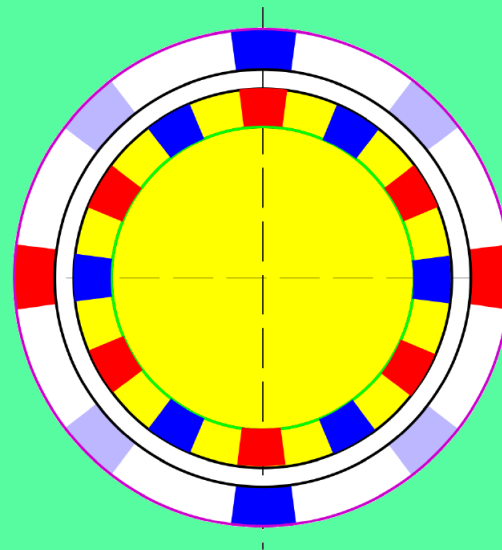





D4

Moteurs pas à pas
Moteur à aimants permanents

*Ensemble d'un cycle, avec commande en demi-pas
(rotation de 4 pas soit 60 °)*

*Si = une seule bobine alimentée
Di = deux bobines alimentées*



 Pôle Nord
 Pôle Sud
 non alimenté

SI

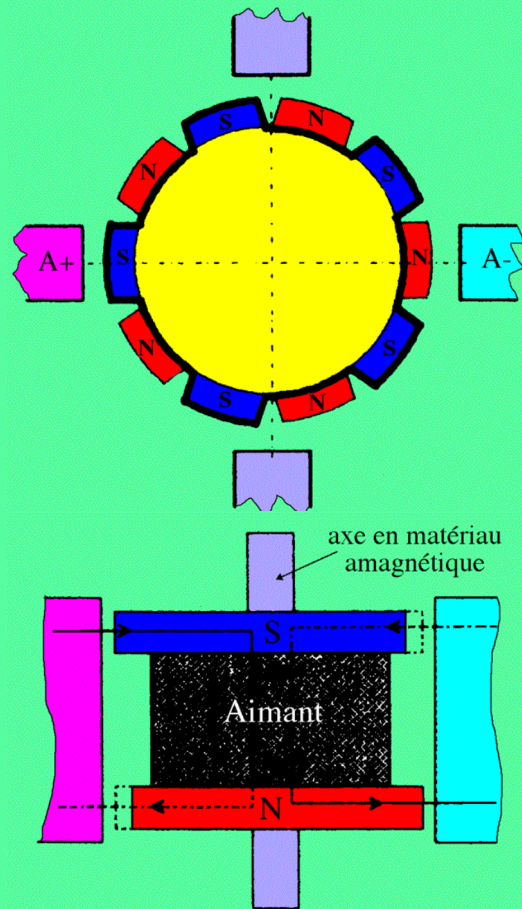
Moteurs pas à pas Moteur hybride

Principe de fonctionnement : C'est une combinaison des deux premiers. On a donc présence d'un aimant permanent au rotor dont le flux est aiguillé par des dents en fer doux amagnétique. Le fonctionnement est identique à celui des machines à aimants permanents. Un seul gros aimant axial permet d'augmenter le flux.

Propriétés

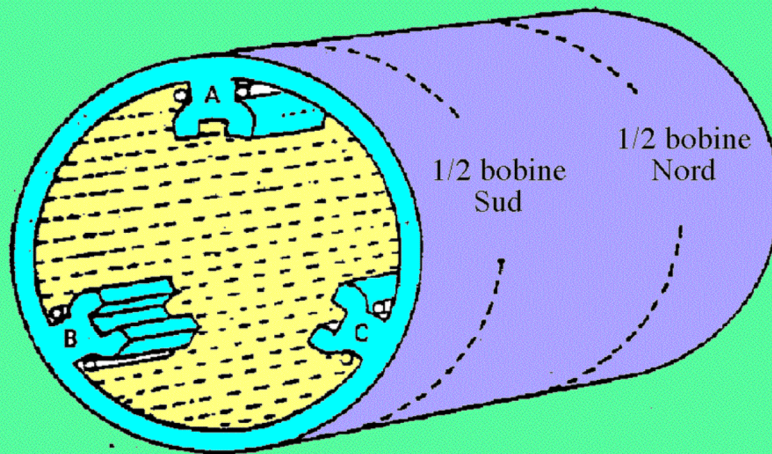
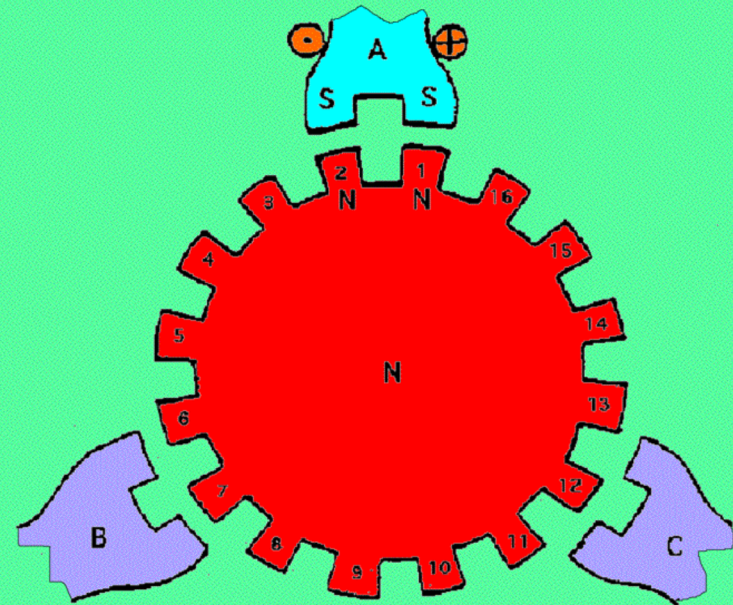
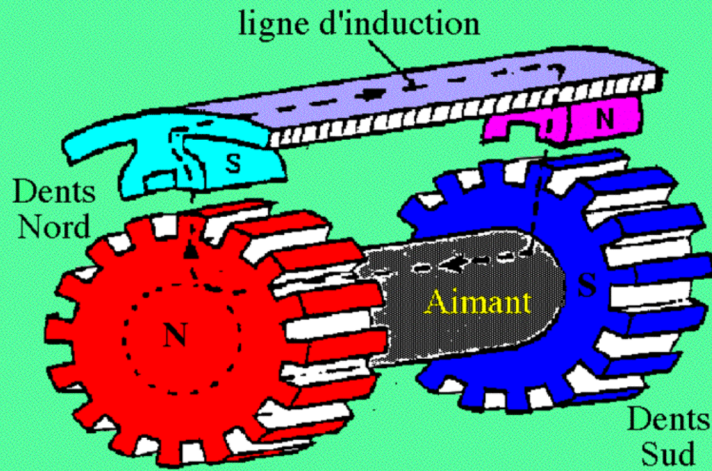
- **Résolution** élevée jusqu'à 400 pas par tour.
- **Couple élevé** et proportionnel au courant; existence d'un couple de détente
- **Plus complexe** à réaliser donc plus onéreux qu'un dispositif à réluctance variable, il prend tout de même le meilleur sur les moteurs à aimants permanents.

Moteurs pas à pas Moteur hybride



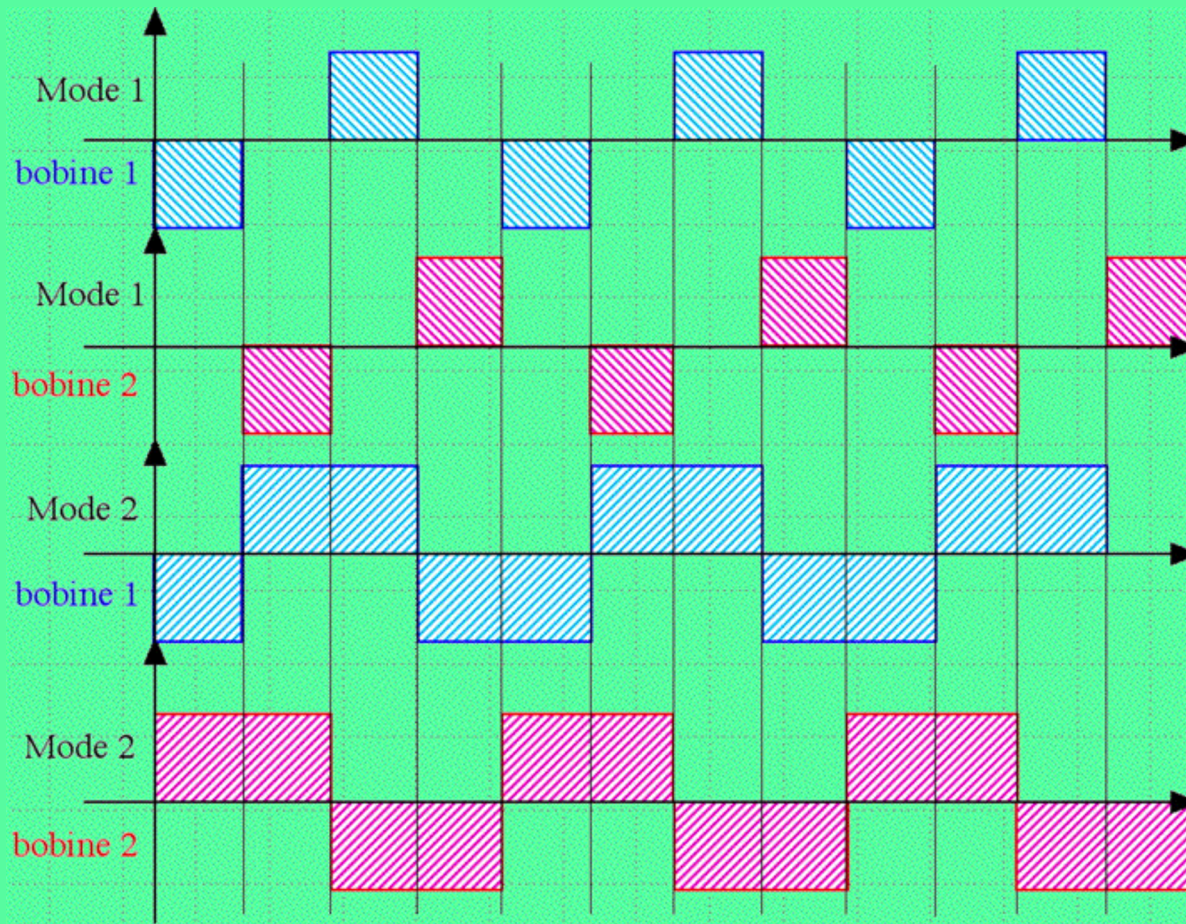
exemple 1 : 2 roues polaires de 5 dents
décalées donnent un rotor à 10 dents;
stator à 4 dents d'où $\alpha_p = 18^\circ$

Moteurs pas à pas Moteur hybride



exemple 2 : Machine triphasée avec
16 dents au rotor $\alpha_R = 22,5^\circ$
 $\alpha_S = 120^\circ$ d'où $\alpha_P = 7,5^\circ$

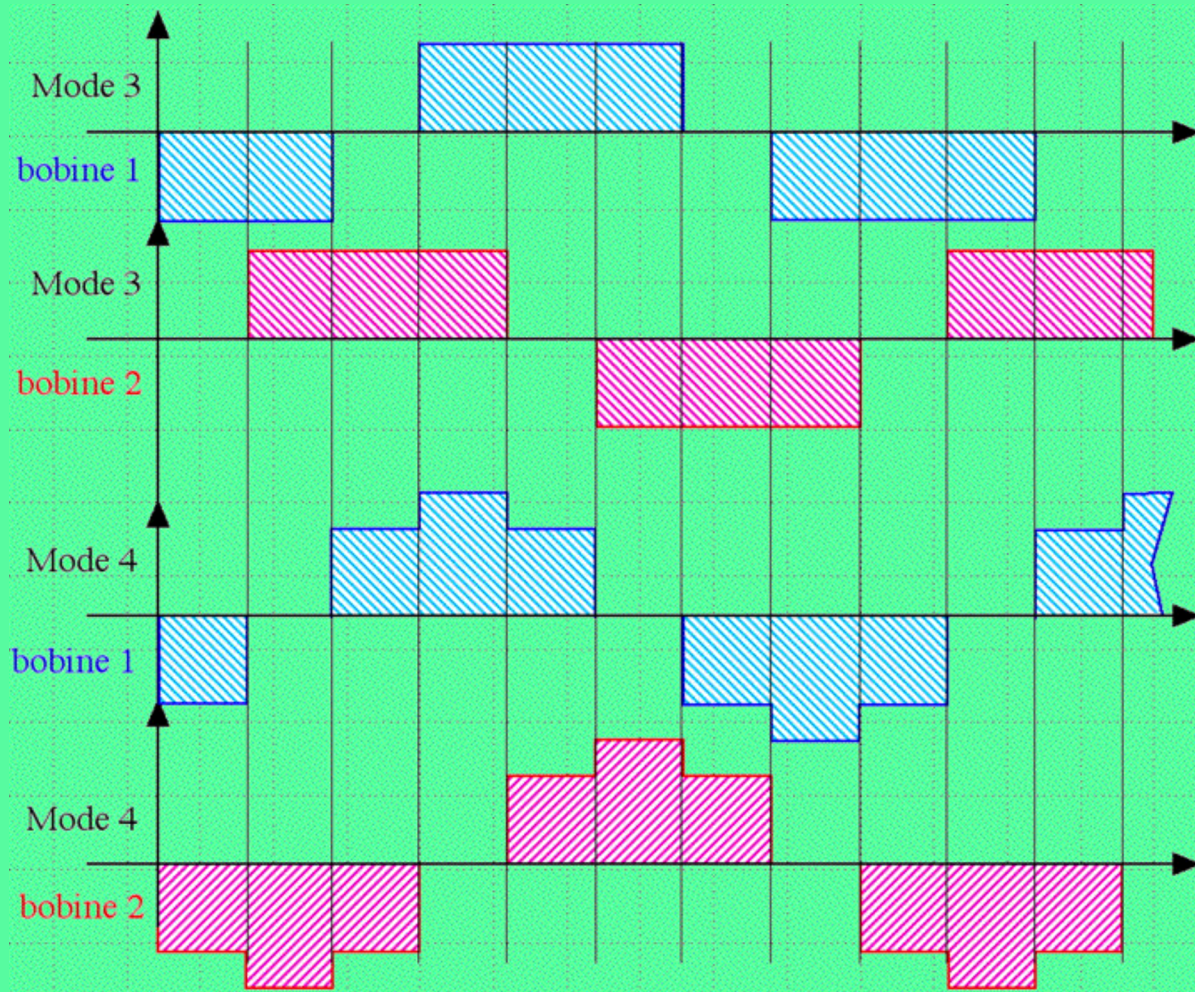
Moteurs pas à pas Différents modes d'alimentation



Pas entier
Une seule bobine à la fois

Pas entier
Deux bobines à la fois

Moteurs pas à pas Différents modes d'alimentation



1/2 Pas
1 puis 2 bobines
successivement

1/2 Pas
1 puis 2 bobines
avec suralimentation
de la bobine seule

Moteurs pas à pas Zones de fonctionnement : Couple-fréquence

On distingue dans le plan (couple ; fréquence), deux zones de fonctionnement :

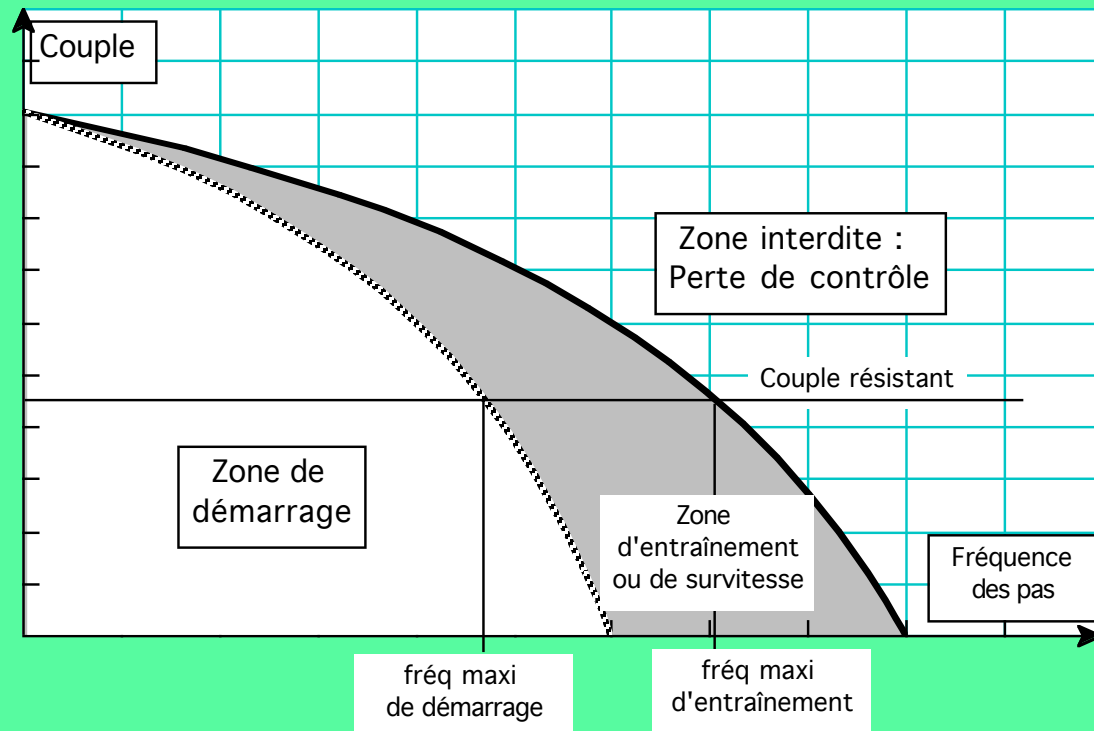
- La zone de **fonctionnement normal** où le moteur peut démarrer et s'arrêter sans perdre de pas;
- La zone dite "**de survitesse**" ou "**d'entraînement**" dans laquelle le moteur ne peut pas s'arrêter ou démarrer sans perdre de pas. Il faut revenir dans la zone précédente avant de s'arrêter;
- Au delà de cette deuxième zone, on perd le contrôle du moteur, on ne connaît plus sa position.

C'est donc une **zone interdite**.

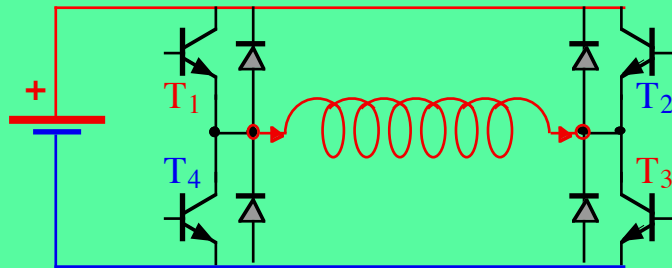
La limite entre les deux zones de fonctionnement, démarrage et survitesse fluctue avec l'inertie de la charge. La fréquence limite est :

$$f_{ch} = f_0 \sqrt{\frac{J_m}{J_m + J_{ch}}}$$

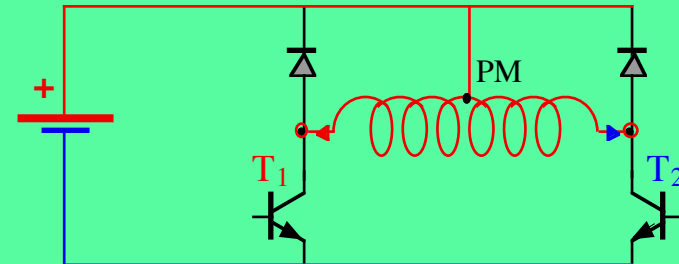
où J_m et J_{ch} sont les inerties du moteur et de la charge et f_0 la fréquence limite du moteur seul.



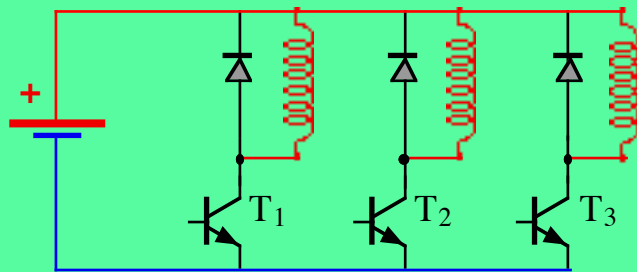
Moteurs pas à pas Alimentation et commande



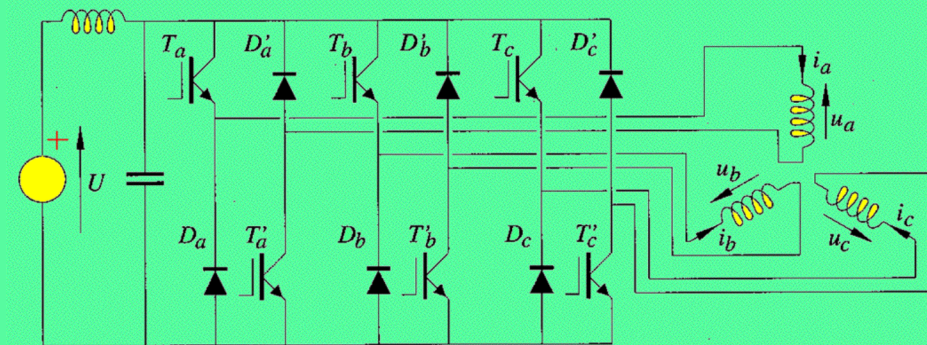
Alimentation bipolaire



Alimentation unipolaire



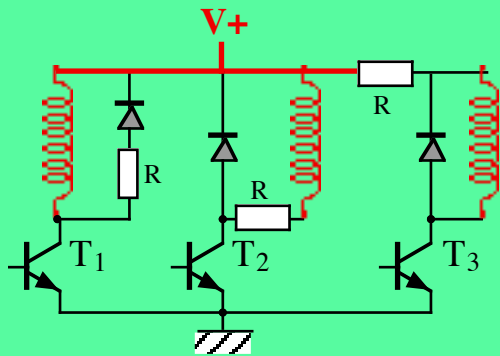
Moteur à réluctance variable



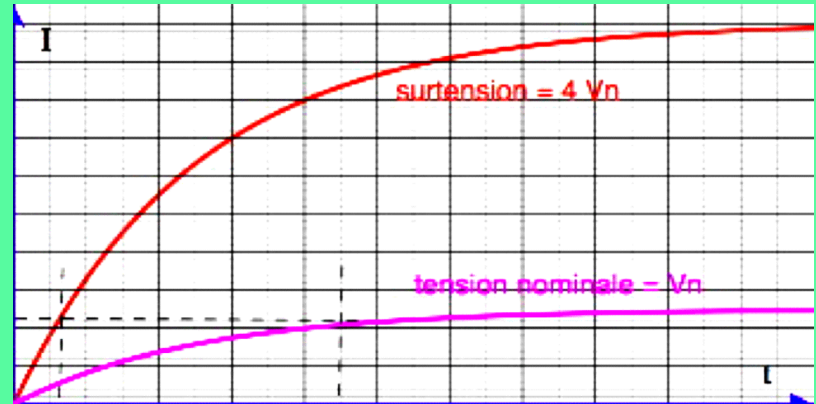
Alimentation par 3 demi-ponts pour une décroissance plus rapide du courant.

Moteurs pas à pas Alimentation et commande

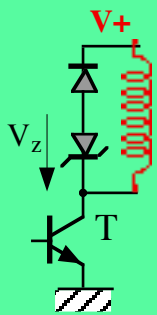
Amélioration de la dynamique du courant



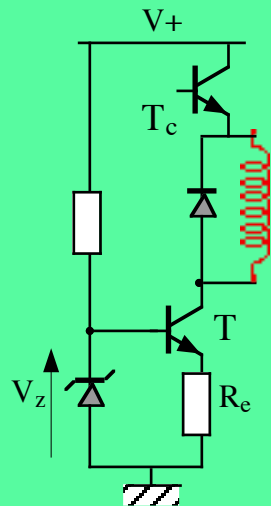
Action sur la constante de temps



Suralimentation transitoire



Utilisation d'une diode zener



Source à courant constant

