

Les moteurs pas-à-pas



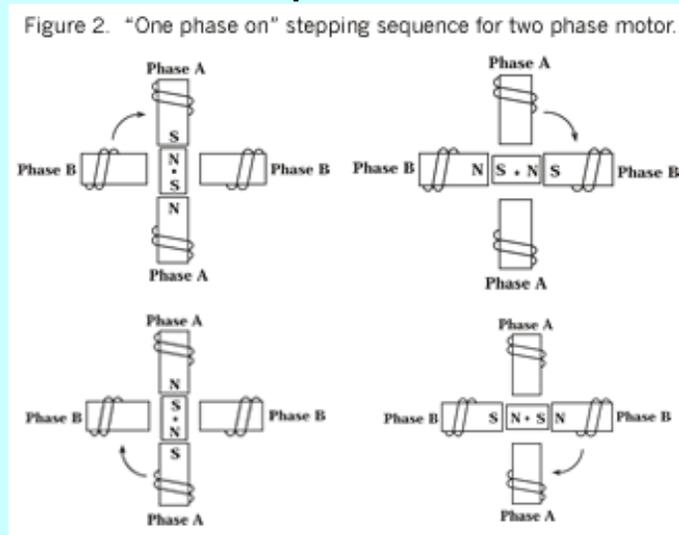
Principe de fonctionnement

- Moteur qui sous l'action d'une impulsion électrique de commande effectue une fraction de tour (ou "pas").
- La valeur du pas est définit:
 - par un angle par pas (ex.: 1.8° par pas);
 - en nombre de pas par tour (ex.: 200 pas par tour).

Principe de fonctionnement

- L'excitation du moteur se fait via les bobines du stator.
- Le nombre de pas dépend:
 - du nombre de phases (groupe de bobine);
 - du nombre de pôles du rotor et du stator;
 - de la séquence des commutations des phases du moteur.

Principe de base

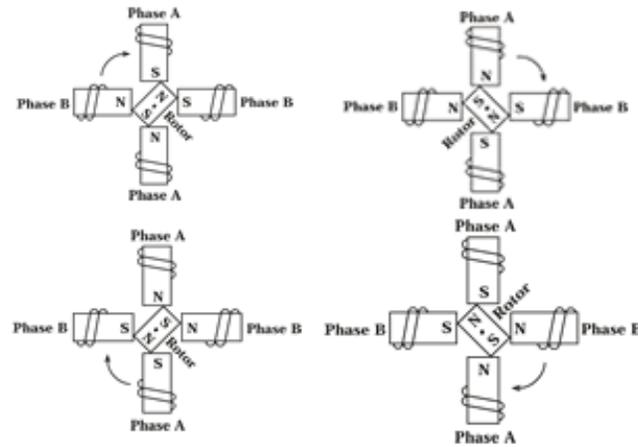


http://www.nanotec.de/page_static_schrittmotor_animation_en.html

<http://www.stielec.ac-aix-marseille.fr/cours/abati/flash/pas.swf>

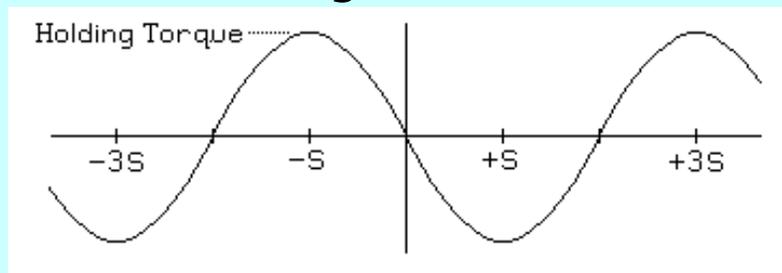
Principe de base

Figure 3. "Two phase on" stepping sequence for two phase motor.



Source:
http://www.hsl-inc.com/stepper_motor_theory.php

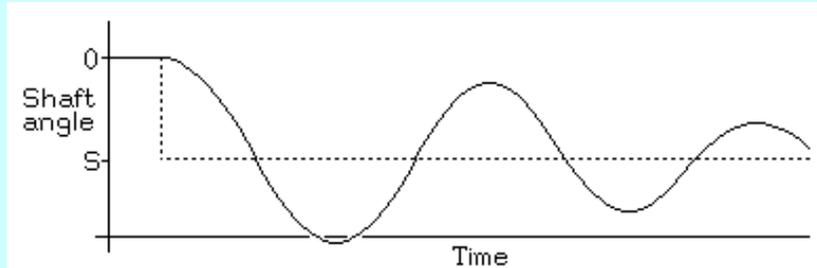
Le couple du moteur en fonction de l'angle du rotor.



- Le couple est fonction de l'angle mécanique du rotor (θ):

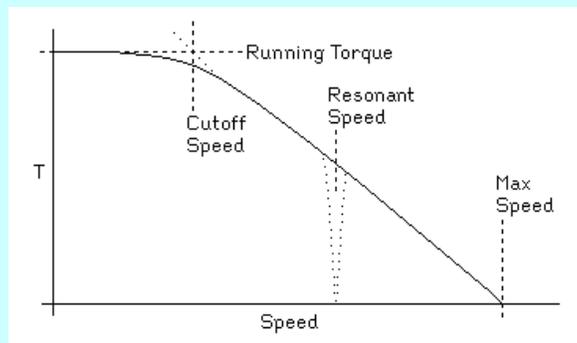
$$T = -T_{holding} \sin \left[\frac{\pi}{2S} \right] \theta$$

La réponse à un pas



- Lorsque le moteur avance d'un pas, la réponse du rotor est celle que le système aurait à un échelon.
- Cette réponse oscillatoire peut entraîner des phénomènes de résonance.

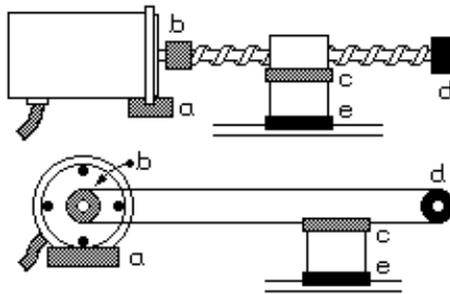
La résonance du moteur



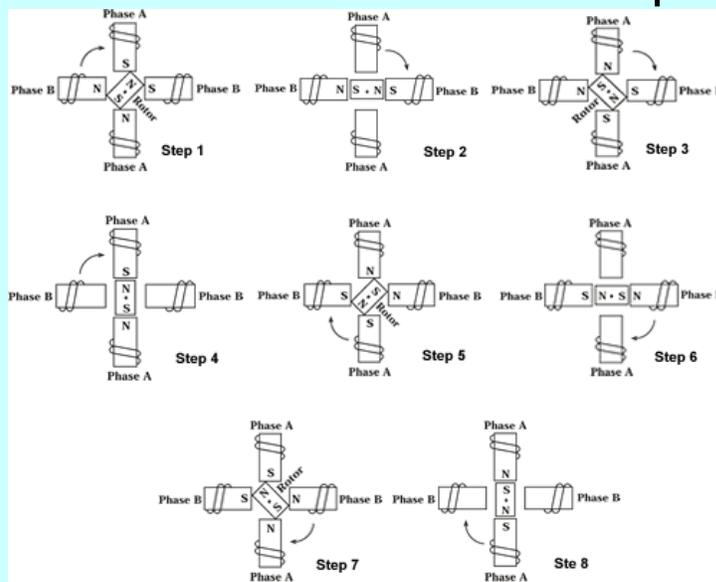
- Pour certaines vitesses la résonance fait que le moteur perd des pas.
- La vitesse de résonance dépend de la charge et du moteur.

Pour amortir la résonance

- L'utilisation d'élément de couplage présentant une certaine élasticité introduit un amortissement permettant de réduire la résonance.



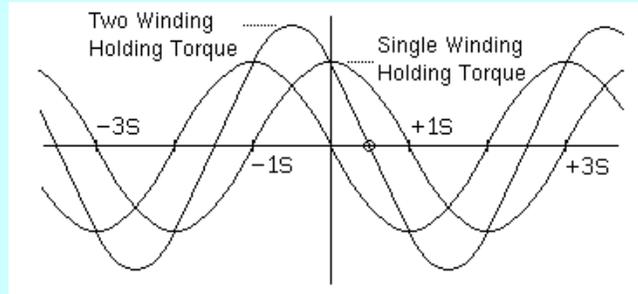
Fonctionnement en demi-pas



Source:
http://www.hsl-inc.com/stepper_motor_theory.php

Figure 4. Half-stepping – 90° step angle is reduced to 45° with half-stepping.

Le couple du moteur en demi-pas



- Le couple de maintien (Holding torque) résultant est:

$$T_{holding2} = \sqrt{2} \cdot T_{holding1}$$

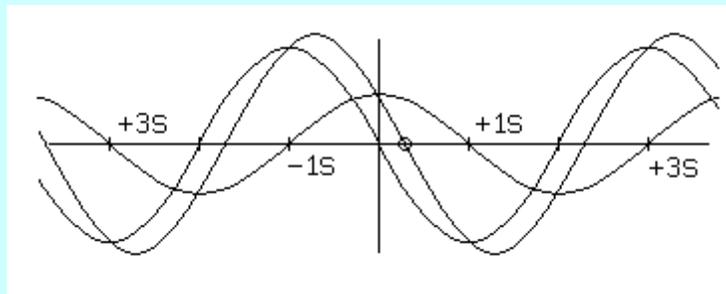
Fonctionnement en micro-pas

- Le fonctionnement en demi-pas implique que les courants traversant les deux pôles sont de même intensité. Le rotor prend donc une position intermédiaire.
- Si les courants ne sont pas de même intensité, l'angle du rotor sera fonction du rapport entre ces deux courants.

Fonctionnement en micro-pas

- Inconvénient:
 - Le couple disponible est diminué, car les courants sont inférieurs aux courants nominaux.
- Avantage:
 - Gain en résolution.

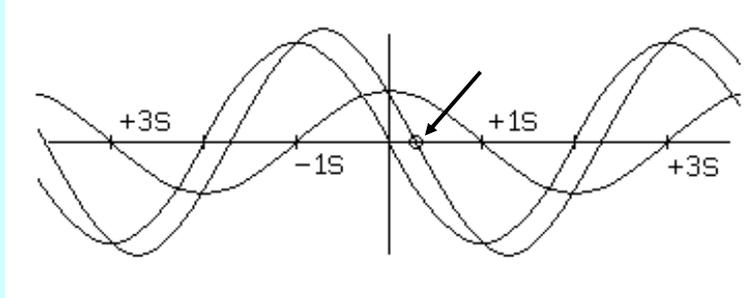
Le couple du moteur en micro-pas



- Le couple de maintien (Holding torque) résultant est:

$$T_{holdindTotal} = \sqrt{T_{holdingA}^2 + T_{holdingB}^2}$$

La position d'équilibre du moteur en micro-pas



- Se calcule comme suit:

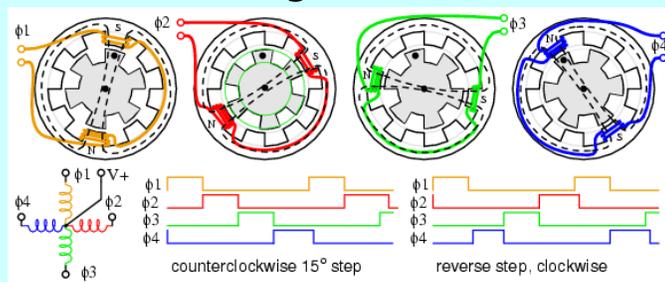
$$\theta_{\text{équilibre}} = (S/(\pi/2)) \cdot \arctan(T_{\text{holdingB}}/T_{\text{holdingA}})$$

Types de moteurs pas-à-pas

- Diverses technologies de moteur pas-à-pas sont disponibles:
 - Moteur à réluctance variable;
 - Moteur à aimant permanent;
 - Moteur hybrides.

Moteur à réluctance variable.

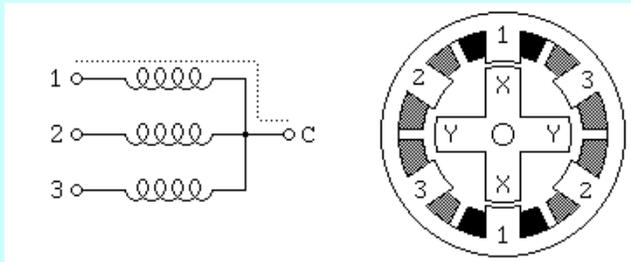
- Le stator présente un certain nombre de dents ayant un bobinage.
- Le rotor (en matériau magnétique) possède un nombre différent de dents, mais sans bobinage.



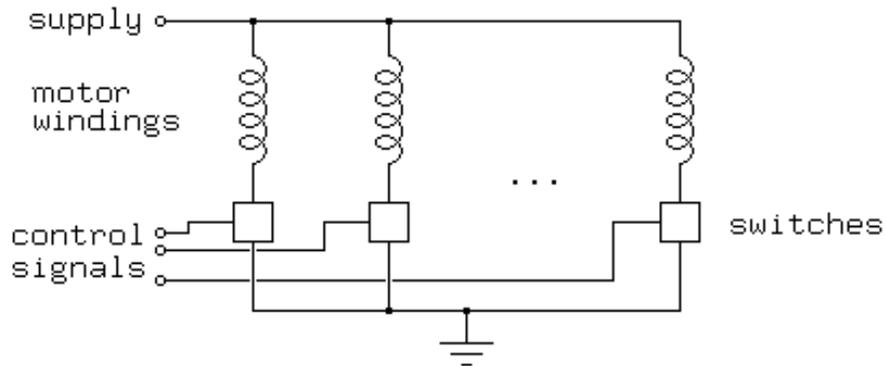
Source:
<http://www.electrical-engineering.com/electrical-engineering-articles/AC/AC-13.html#stc=311388>

Moteur à réluctance variable.

- Le rotor se positionne pour que la réluctance du circuit magnétique soit minimum.
- Séquence pour un tour 1-2-3-1-2-3-1-2-3-1-2-3-1.
 – 12 pas par tour ou 30° par pas.



Contrôle du moteur à réluctance variable.

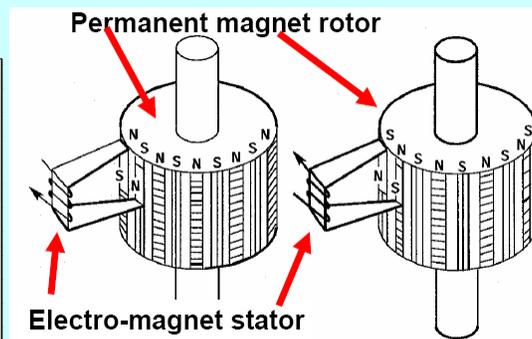
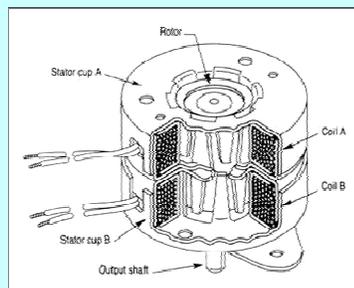


Bilan

- ▲ Rapport couple-inertie intéressant;
- ▲ Possibilité d'utilisation à haute fréquence;
- ▲ Grande résolution;
- ▼ Pas de couple résiduel en l'absence d'alimentation;
- ▼ Moteur affecté par des phénomènes de résonance.

Moteur à aimant permanent

- Le stator présente un certain nombre de dents ayant un bobinage.
- Le rotor est un aimant qui s'alignera avec les pôles du stator qui sont alimentés.

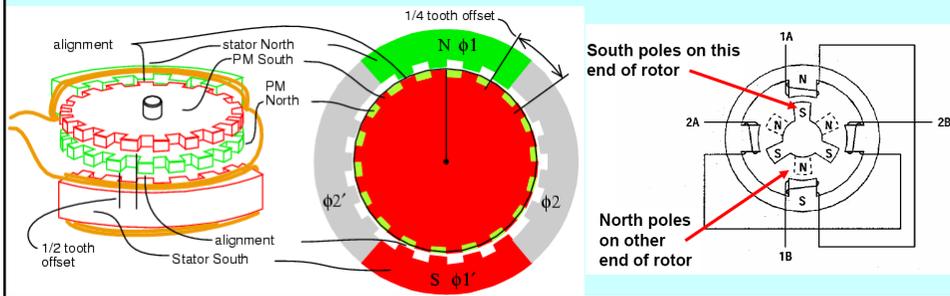


Bilan

- ▲ Couple résiduel en l'absence d'alimentation;
- ▲ Bon amortissement;
- ▼ Inertie élevée du moteur;
- ▼ Performances affectées par la variation des caractéristiques des aimants.

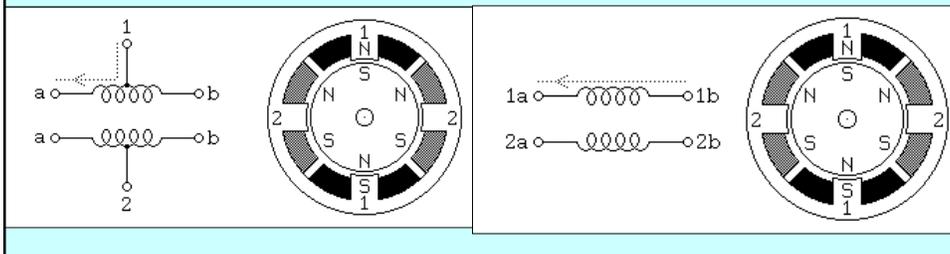
Moteur hybrides

- Combinaison du moteur à réluctance variable et du moteur à aimant permanent.
- Existe en deux modèles:
 - unipolaire et bipolaire.



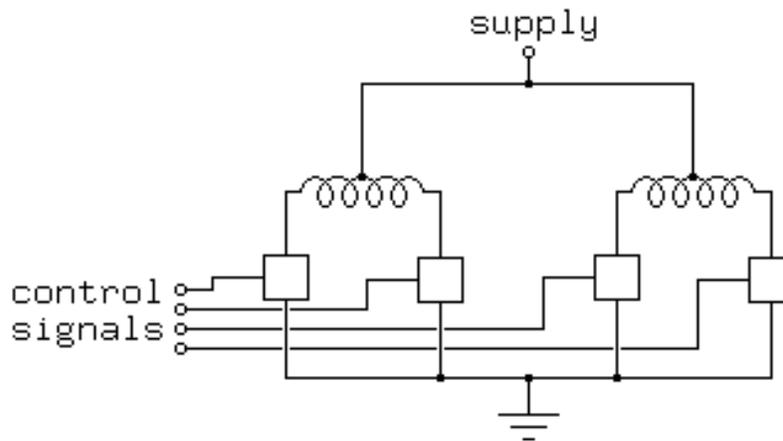
Moteur hybrides

- Séquence en unipolaire: 1a - 2a - 1b - 2b - 1a (120°);
- Séquence en bipolaire: 1 \uparrow -2 \uparrow -1 \downarrow - 2 \downarrow -1 \uparrow (120°)



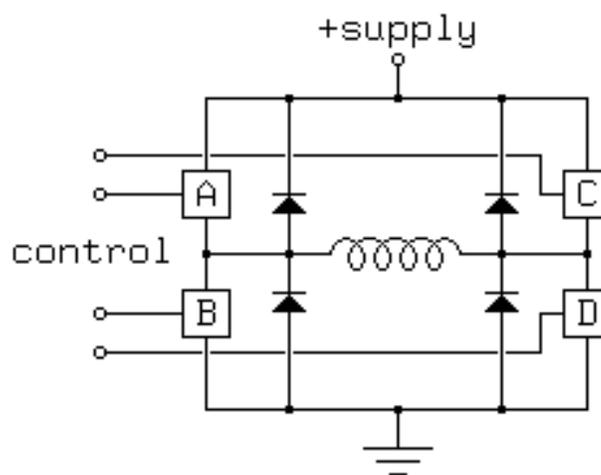
Contrôle du moteur hybride (aimant permanent).

- Unipolaire



Contrôle du moteur hybride (aimant permanent).

- Bipolaire



Bilan

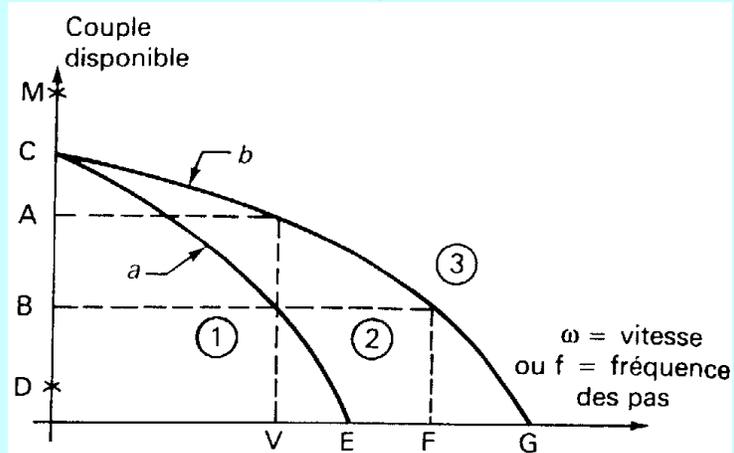
- ▲ Couple résiduel en l'absence d'alimentation;
- ▲ Possibilité de fonctionnement à fréquence élevée;
- ▲ Grande résolution (jusqu'à 0.72° par pas);
- ▼ Inertie élevée du moteur;
- ▼ Risque de résonance à certaines vitesses.

Caractéristiques

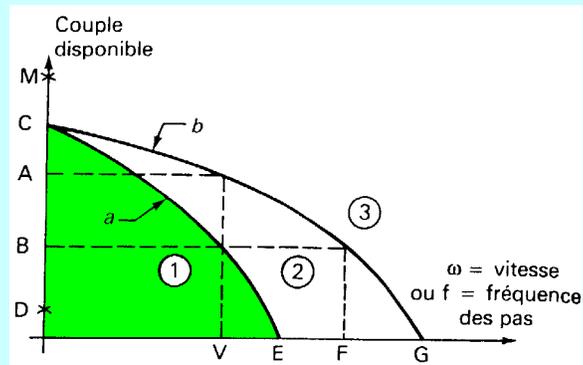
- Nombre de phases:
 - généralement 4, mais peut être 2, 3 ou 5.
- Nombre de pas par tours:
 - moteur à aimant permanent: 30° , 15° , 7.5°
 - moteur à réluctance variable: 30° , 15° , 7.5° , 1.8°
 - moteur hybride: 2.25° , 1.8° , 0.9° , 0.72°

Caractéristiques

- Comportement du couple en fonction de la vitesse des impulsions:

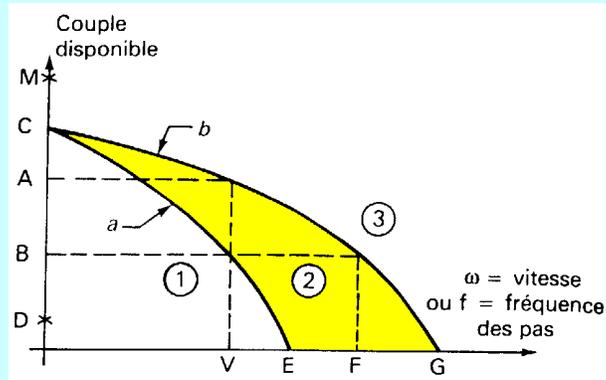


Zone de démarrage-arrêt



- B: Couple maximal au démarrage à la vitesse V;
- E: Vitesse maximale de démarrage à vide;
- M: Couple de maintien (holding torque) (alimenté);
- D: Couple de détente (non-alimenté).

Zone d'entraînement



- A: Couple maximal à l'entraînement à la vitesse V;
- F: Vitesse maximale à l'entraînement au couple B;
- G: Vitesse maximale à l'entraînement à vide;
- C: Couple dynamique maximal.

Caractéristiques

- Taille:
 - Diamètre extérieur du moteur en 1/10 de pouces.
 - Donne une idée de la puissance du moteur.
- Puissance:
 - Puissance apparente: produit couple*vitesse.
 - Peut atteindre 4 à 5 kW.

Utilisation des moteurs pas-à-pas

- Positionnement:
 - Commande X-Y de tables machine, à dessiner et à électro-érosion;
 - Entraînement en rotation de tables circulaires de machines-outils;
 - Positionnement de tête de meulage sur rectifieuse;

Utilisation des moteurs pas-à-pas

- Positionnement:
 - Petits systèmes à commande numérique (EMCO);
 - Lecteur de bande, de disquette, ...;
 - Imprimantes.

Utilisation des moteurs pas-à-pas

- Régulation:
 - Commande de position d'ouverture de vannes;
 - Etc...
- Note: Utilisés en boucle ouverte.