

## Les bases des moteurs pas à pas

### Qu'est-ce qu'un moteur pas à pas?

Un moteur pas à pas est un système électromécanique qui traduit un signal électrique en un signal mécanique. Il est conçu pour accomplir un mouvement discret (notion de pas) et atteindre une position précise.

Le mouvement est effectué par l'excitation d'un champ magnétique par des bobines et son interaction avec des aimants. En effet, lorsque l'une des bobines est alimentée, un champ magnétique est créé et si l'énergie est fournie de façon cyclique (séquence d'impulsions entrantes), alors le champ magnétique va varier. Lorsque un aimant est placé dans ce champ magnétique variable, il se positionnera dans l'état énergétique le plus faible (équilibre), générant un mouvement. Ce principe est utilisé dans le moteur pas à pas, composé d'une partie fixe (le stator) fait de bobines alimentées cycliquement et d'une partie rotative (le rotor) fait de matériaux ferromagnétiques ou d'aimants.



**Figure 1:** Moteur pas à pas FAULHABER

### Pourquoi utiliser un moteur pas à pas?

Les moteurs pas à pas n'opèrent pas comme des moteurs DC ou les moteurs sans balai (« brushless »). Ils n'ont pas d'électronique intégrée, pas de balais, et peuvent être contrôlés en circuit ouvert. Pour donner une idée rapide, les moteurs pas à pas sont souvent considérés comme des moteurs qui peuvent être contrôlés sans feedback en boucle ouverte. Même si les moteurs pas à pas sont plus difficiles à comprendre d'un point de vue technique, ils ont l'avantage d'être simples à contrôler et ne nécessitent pas de codeur, ou de contrôleur spécial pour diriger la position du rotor.

Le tableau 1 résume les différences entre ces 3 sortes de moteurs.

**Tableau 1 :** Comparaison entre différents moteurs. C'est une estimation qui peut être discutée selon les cas.

	Moteurs pas à pas	Moteurs DC	Moteurs sans balais
<b>Position avec feedback</b>	Normalement pas utilisé	Résolution élevée en fonction du codeur	Résolution élevée en fonction du codeur
<b>positionnement sans feedback</b>	Bonne 24 pas/rev et couple élevé	Non	Oui, 6 pas/rev et couple modéré
<b>Coût (composants)</b>	Moteur, 100 % Codeur 40% Driver chip, 5 % Codeur. Interface. 20 % Contrôleur 40 %  Total 145% (sans codeur) Total 205 % (avec codeur)	Moteur, 60 % Codeur 40 % Driver, 10 % Codeur. Interface. 20 % Contrôleur 40 %  Total 170 %	Moteur, 150 % Codeur 40 % Driver, 20 % Codeur. Interface 20 % Control 60 %  Total 290 % (210% for BX4)
<b>Accélération</b>	Bonne Limitée au max. du couple dynamique du moteur en mode boost	Très élevé L'opération en mode boost réduit la vie des balais	Très élevée
<b>Vitesse max</b>	<15'000 tours/min	<15'000 tours/min	> 15'000 tours/min
<b>Durée de vie</b>	Très bon	Limitée par l'usure des balais	Très bon
<b>Stabilité</b>	Très haute, inhérent	f(résolution codeur; contrôleur)	f(résolution codeur; contrôleur)
<b>fiabilité</b>	Haute (pas de balais /pas de capteur de Hall)	Faible (balais)	élevée (pas de balais)

## Quand utiliser un moteur pas à pas?

---

Les moteurs pas à pas conviennent aux applications qui demandent des solutions compactes et robustes. Ils développent leur couple maximal à l'arrêt, ce qui les rend naturellement aptes à maintenir une position. Grâce à la commutation externe, la vitesse est parfaitement constante, même si la charge varie. Grâce à l'absence de tout composant électronique, les moteurs pas à pas fonctionnent là où les capteurs Hall ou les codeurs, des autres types de moteurs trouvent leur limite : températures élevées/basses, perturbations externes, etc. Par rapport à un moteur DC, un moteur pas à pas est également beaucoup plus facile à utiliser pour des applications de positionnement car la notion de pas permet à l'utilisateur de connaître la position ou le déplacement précis du rotor sans besoin d'avoir un retour d'information : il fonctionne en boucle ouverte.

Les moteurs pas à pas sont fréquemment utilisés lorsque les exigences de l'application sont les suivantes :

- Positionnement répétitif des tâches avec des accélérations élevées (axes XYZ de machine à outils).
- Le temps de stabilisation doit être court et avec une position discrète répétable.
- Quand le contrôle boucle ouverte (électronique simple) est requis.
- Pour des mouvements de va et vient.
- Opérations démarrages/arrêt fréquentes.
- Quand le rapport cyclique est relativement petit. (Time ON << Time OFF)
- Lorsque la position actuelle doit être retenue avec un couple élevé.
- Lorsque la position actuelle doit être retenue quand le courant n'est pas appliqué (grâce au couple résiduel).
- Lorsque une longue durée de vie est demandée (i.e. utilisation du design sans balais).
- Lorsque la variation de vitesse sous le couple de charge n'est pas permise (pompes péristaltiques, axes XYZ de machine à outils).
- Pour les plus petits appareils électroniques, comme disques dur, imprimantes, caméras.

En prenant cela en compte, FAULHABER PRECISTEP se concentre sur les segments du marché suivants:

- Systèmes optiques (ex : zoom, focus, axe rotatif, positionnement de filtre, étages de microscope)
- Photonique (ex: laser accordable, laser de scanner)
- Télécommunications (ex : amplificateurs optique variable (VOA))
- Médical (ex : pompes, analyseurs d'ADN)
- Instrumentation (ex: analyseur de gaz)
- Aérospatial & Aéronautique (ex : Contrôle des panneaux solaires de satellites)

## Les catégories et les opérations des moteurs pas à pas

---

Il y a initialement 3 différents types de design de moteurs pas à pas sur le marché:

- Le design à aimant permanent (PM)
- Le design à réluctance variable
- Le design hybride

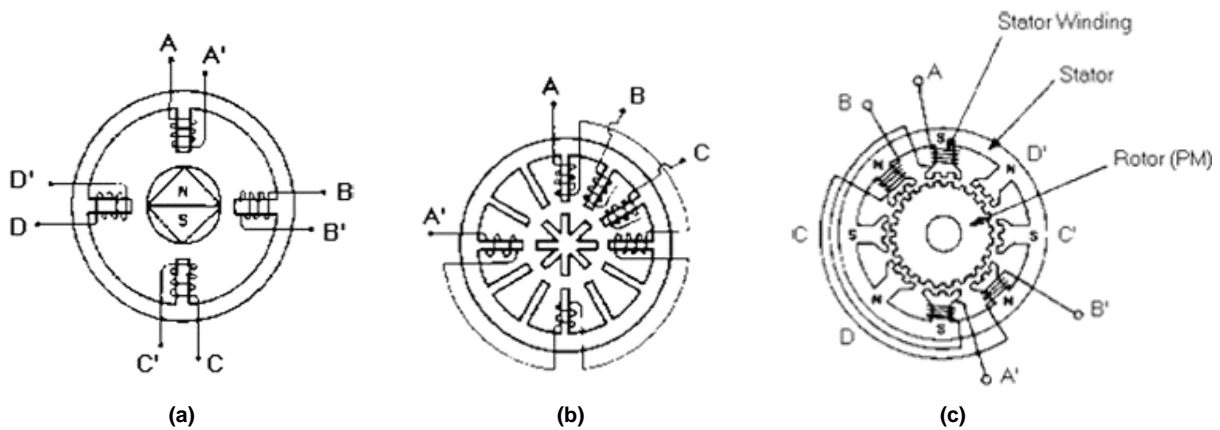


Image 2 : (a) Aimant permanent, (b) Reluctance variable et (c) moteurs pas à pas hybride. [5]

### **Le design à aimants permanents (PM) (Image 2a)**

Le rotor inclut des aimants permanents positionnés de manière à obtenir alternativement des pôles Sud et Nord, qui peuvent interagir avec le champ magnétique variable du stator.

La rotation est obtenue en alimentant alternativement les bobines A-B-C-D du stator et en attirant le pôle Nord (ou Sud) du rotor vers le pôle magnétisé du stator. Lorsqu'il n'y a pas de courant, un petit couple est nécessaire pour déplacer le rotor de sa position d'équilibre en raison de l'interaction entre les aimants permanents et le stator. Ce couple est appelé couple résiduel ou couple de détente dans la littérature technique ou dans les brochures des fabricants.

Ce design est le plus populaire pour les petits moteurs pas à pas, notamment ceux de moins de 20 mm de diamètre, et fournit un couple élevé. La résolution est généralement limitée à 20 ou 24 pas par tour. La technologie des moteurs pas à pas FAULHABER entre exclusivement dans cette catégorie.

### **Le design réluctance variable (Image 2b)**

Les moteurs pas à pas à réluctance variable sont de conception plus complexe et nécessitent une fabrication précise du stator et du rotor. Le rotor, fait d'un matériau ferromagnétique (par exemple, du fer), possède plusieurs dents qui peuvent être attirées par les pôles du stator. Lorsque les bobines du stator sont alimentées de manière cyclique, les dents du rotor sont attirées et ont tendance à s'aligner sur les pôles magnétisés du stator, ce qui entraîne un mouvement de rotation. Bien que l'on obtienne des résolutions plus élevées (en raison du nombre plus important de pas par révolution), les moteurs pas à pas à réluctance variable fournissent un couple dynamique plutôt faible. Par conséquent, ce design n'est pas utilisé pour les moteurs les plus petits. Comme le rotor n'inclut pas d'aimants permanents, il n'y a aucun risque à utiliser ce type de moteur pas à pas dans un champ magnétique externe puissant (par exemple, dans les appareils IRM). L'un des principaux inconvénients de cette conception, outre le faible couple, est qu'elle ne conserve pas sa position lorsqu'aucun courant n'est appliqué (c'est-à-dire qu'il n'y a pas de couple résiduel).

### **Le design hybride (image c)**

Le concept est d'avoir un rotor à magnétisation permanente avec des dents multiples et un stator avec des pôles à dents multiples, afin de combiner un mouvement de rotation par alignement des pôles du stator et attraction des dents du stator.

La design hybride combine donc le couple élevé des moteurs pas à pas PM avec la résolution plus élevée de la conception à réluctance variable. Une résolution très courante des moteurs pas à pas hybrides est de 200 pas par tour. La fabrication des moteurs pas à pas hybrides est techniquement limitée à une taille minimale de  $\varnothing 19\text{mm}$ .

## Bases de Physique

Pour comprendre les principaux paramètres qui influencent les performances du moteur, il est important d'avoir un aperçu des principes physiques qui se cachent derrière un moteur pas à pas.

L'image 3 représente le schéma d'un moteur pas à pas représenté par un facteur couple-vitesse ( $k_T\omega$ ), une résistance électrique (R, bobines) et une inductance (L, bobines). U est la tension appliquée et I le courant dans les bobines.

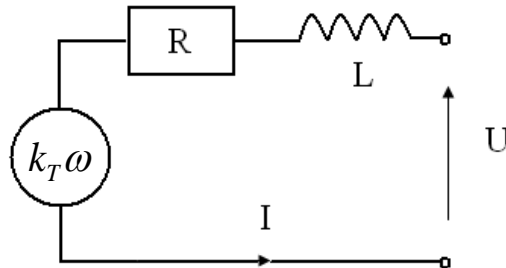


Image 3 : schéma d'un moteur pas à pas

La formule principale exprimant le comportement du moteur est donnée par l'équation 1.

$$U = RI + k_T\omega(t) + L \frac{dI}{dt} \quad (1)$$

Où

- $RI$  = Tension pour établir le courant (résistance x courant).
- $k_T\omega(t)$  = Tension pour compenser la back-EMF<sup>1</sup> ( $k_T$  est la constante de couple et  $\omega$  la vitesse).
- $LdI/dt$  = Tension pour établir/modifier le niveau du courant.

Le couple est directement proportionnel au courant et peut être exprimé par l'équation 2.

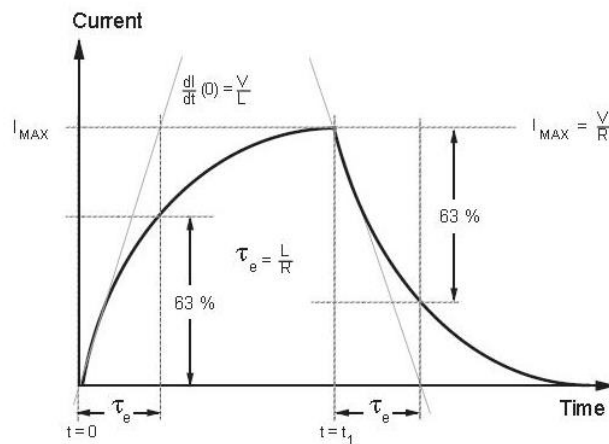
$$M = k_T \cdot I \quad (2)$$

En conséquence, le courant peut être déduit de l'équations précédente comme montré dans l'équation 3.

$$I = \frac{U - k_T\omega(t) - L \frac{dI}{dt}}{R} \Rightarrow I = \frac{U}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right) - \frac{k_T\omega(t)}{R} \quad (3)$$

L'image 4 montre le courant dans les bobines en fonction du temps (dans le cas idéal, la back EMF est nulle). À cause de l'inductance du moteur, il faut quelque temps au courant pour atteindre sa valeur maximale.

<sup>1</sup> Le back EMF est l'abréviation de back Electromotive Force (ou force contre-électromotrice). Elle correspond à la tension détectée lorsque le rotor se déplace dans un champ magnétique changeant.



**Image 4 :** Le courant en fonction du temps. Courant changé à ON à  $t=0$  et changé à OFF à  $t=t_1$ . Notez que dans ce cas la back EMF est définie à 0. À une vitesse de rotation élevée, le back EMF peut de façon significative modifier ce comportement.

De cela nous pouvons immédiatement conclure que les facteurs qui influencent le courant et donc le couple sont :

- L'inductance ( $L$   $di/dt$ ,  $L$  = inductance bobine)  
L'inductance empêche l'établissement rapide du courant dans les phases.
- La résistance ( $R$  = résistance bobine)  
La résistance influence le courant maximal dans les phases.
- La back EMF  
Quand la vitesse  $\omega$  augmente, la back-EMF proportionnelle à  $kT\omega$  augmente et le courant diminue, donc le couple diminue. Cela explique pourquoi nous observons sur les courbes couple/vitesse des fiches techniques que le couple diminue lorsque la vitesse augmente, peu importe le mode d'opération du moteur.

## Comment le moteur pas à pas tourne-t-il ?

À partir de maintenant, nous allons nous concentrer sur les moteurs pas à pas à aimants permanents, qui sont ceux conçus et fabriqués par FAULHABER.

L'image 5 montre un schéma simplifié du fonctionnement d'un moteur pas à pas biphasé à aimants permanents et l'image 6 la séquence d'alimentation correspondante des bobines (rotation dans le sens horaire). Pour une rotation dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, la séquence doit être inversée.

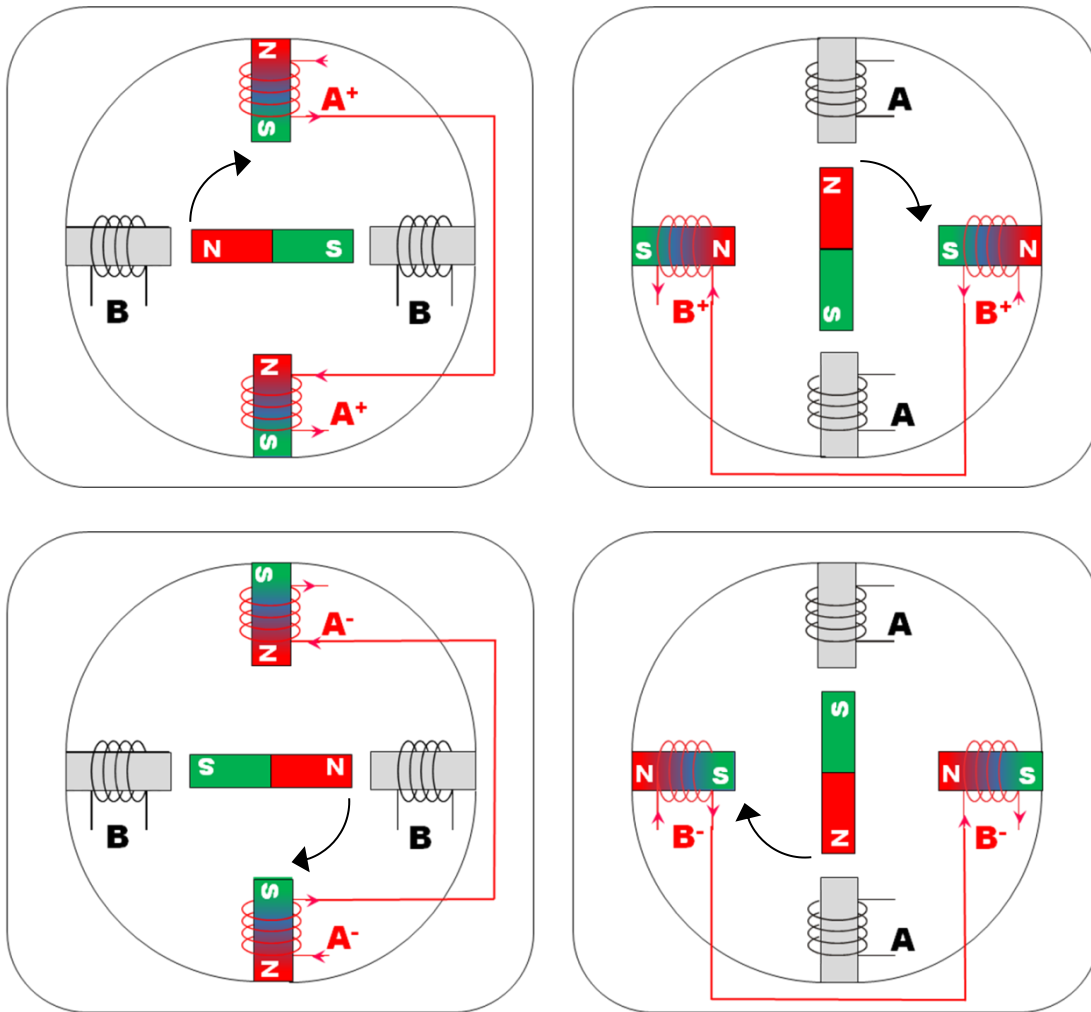


Image 5 : Opération d'un moteur pas à pas à aimant permanent (configuration "une phase-on").

Pas	Phase A		Phase B	
	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Pin 4
1	+	-		
2			+	-
3	-	+		
4			-	+

Image 6 : Séquence d'alimentation d'un moteur pas à pas à aimant permanent (configuration "une phase-on").

Lorsqu'une bobine est alimentée, un champ magnétique est créé et attire le pôle nord ou le pôle sud de l'aimant, en fonction de la polarité de la bobine alimentée. En alimentant les différentes bobines de façon alternée (en créant donc une séquence), il est alors possible de faire tourner l'aimant.

## Phase, pôles et angle de pas

Généralement, les moteurs pas à pas ont 2 phases mais certains peuvent aussi avoir 3 ou 5 phases. Les moteurs pas à pas bipolaire utilisent généralement une bobine par phase car le courant dans les bobines peut circuler dans les deux directions. Les moteurs pas à pas unipolaire utilisent une bobine par phase. Donc la moitié de la bobine est utilisée pour un flux de courant positif et la moitié pour flux de courant négatif (correspondant au deux bobines séparées). FAULHABER conçoit et fabrique uniquement des moteurs pas à pas bipolaires. Un pôle est défini comme une région où la densité de flux magnétique est contrasté. Cela correspond au pôle nord ou sud d'un aimant. Les moteurs pas à pas fonctionnent avec 10 à 100 pôles (correspondant à 5 à 50 paires de pôles) combinés avec 2 phases, qui engendrent 20 à 200 pas par tour. L'angle de pas est déterminé par le nombre de pas, par exemple, pour un moteur pas à pas avec 20 pas définira un angle de pas de  $18^\circ$  ( $360^\circ/20$ ).

$$\text{Angle de pas} = \frac{360}{N_{Ph} \cdot Ph} = \frac{360}{N} \quad (4)$$

Où

- $N_{Ph}$  = nombre équivalent de pôles par phase = nombre de pôles au rotor.
- $Ph$  = nombre de phases.
- $N$  = nombre total de pôles pour toutes les phases ensemble.

## Une phase ON et deux phases ON

Il y a deux principaux modes pour alimenter un moteur pas à pas (lorsque l'opération est en mode pas complet). Soit une seule phase est alimentée à chaque instant (configuration « 1 phase-ON ») soit les 2 phases sont alimentées en même temps (configuration « 2 phases ON »). Pour la configuration 1 phase-ON, la séquence de commutation est  $A+ \Rightarrow B+ \Rightarrow A- \Rightarrow B-$  pour une direction et  $A+ \Rightarrow B- \Rightarrow A- \Rightarrow B+$  pour un sens de rotation opposée. Pour la configuration 2 phases-ON, la séquence est  $A+B+ \Rightarrow A-B+ \Rightarrow A-B- \Rightarrow A+B-$  pour un sens de rotation et  $A+B+ \Rightarrow A+B- \Rightarrow A-B- \Rightarrow A-B+$  pour un autre sens de rotation.

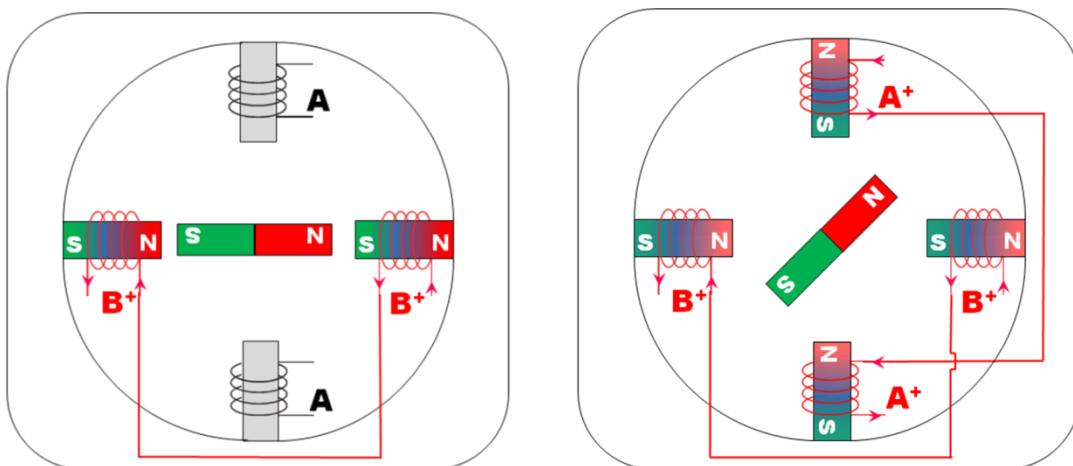
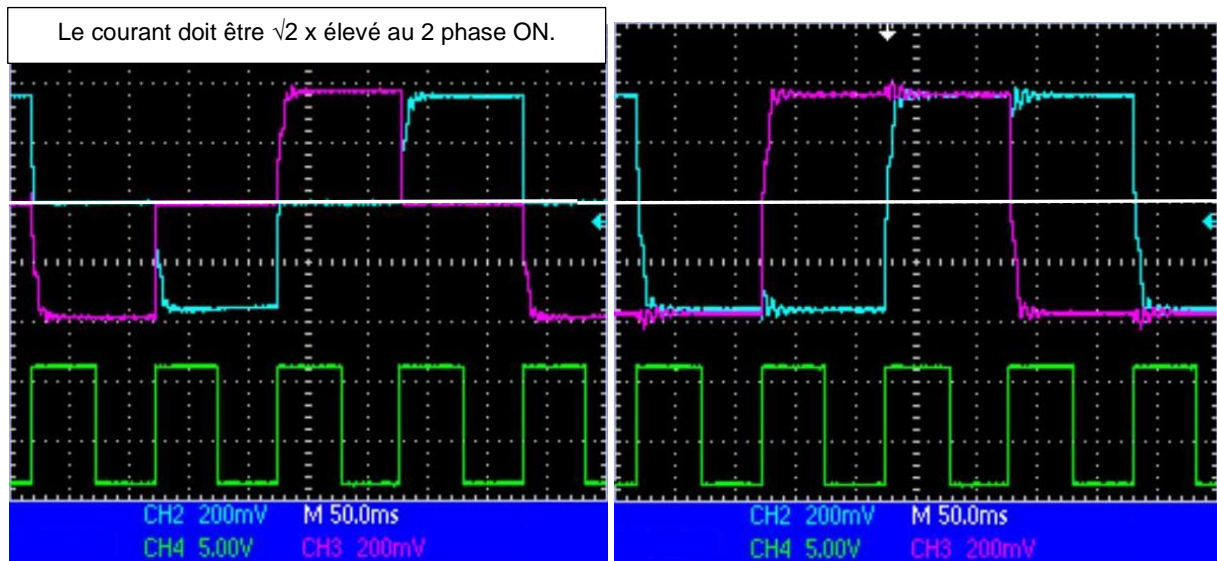


Image 7 : Position du rotor lors des opérations « 1 phase-ON » (à droite) et « 2 phase-ON » (à gauche).

L'évolution temporelle des signaux du courant des deux phases est différente pour chaque type de configuration, comme l'illustre l'image 8. Le signal de cadencement (en vert) correspondant à la vitesse de commutation, détermine la vitesse de rotation du rotor. Si le même couple est demandé dans les deux configurations « 1 phase-ON » et « 2 phase-ON », le courant appliqué dans la configuration de « 1 phase-ON » doit être  $\sqrt{2}$

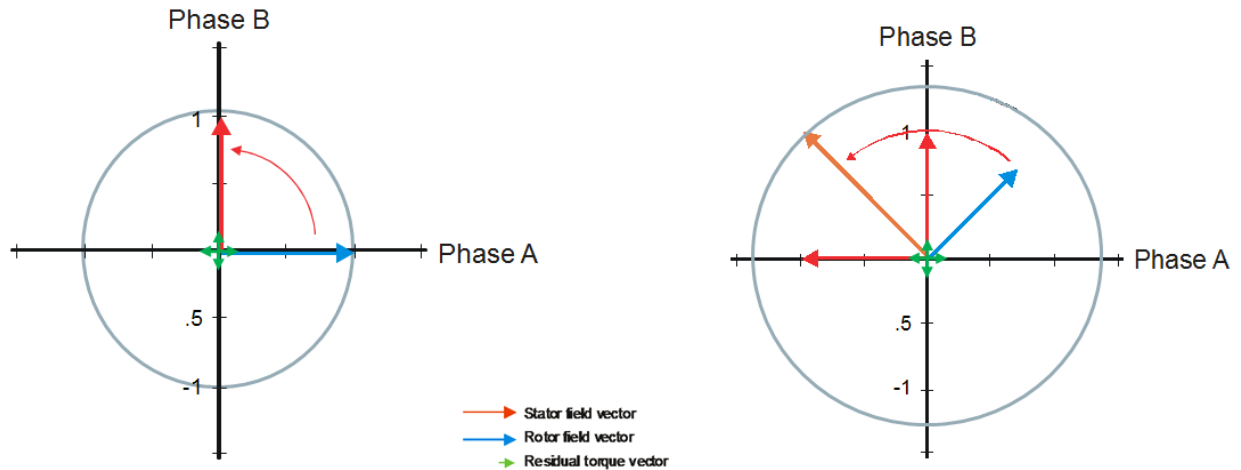


fois plus élevé que le courant appliqué dans la configuration "2 phase-ON" (pour la même consommation d'énergie).



**Image 8 :** Évolution des signaux de courant de phase (lilas pour la phase A ; bleu clair pour la phase B) pour (gauche) la configuration "1 phase ON" et (droite) le fonctionnement en configuration "2 phases ON". L'impulsion d'horloge (signal vert) détermine la vitesse de rotation.

Pour comprendre pourquoi le courant doit être  $\sqrt{2}$  fois plus élevé dans l'opération 1 phase-ON pour obtenir le même couple que dans l'opération 2 phase-ON, L'image 9 ci-dessous peut aider :



**Image 9 :** (à gauche) représentation vectorielle d'1 phase-ON et (à droite) représentation vectorielle de 2 phase-ON.

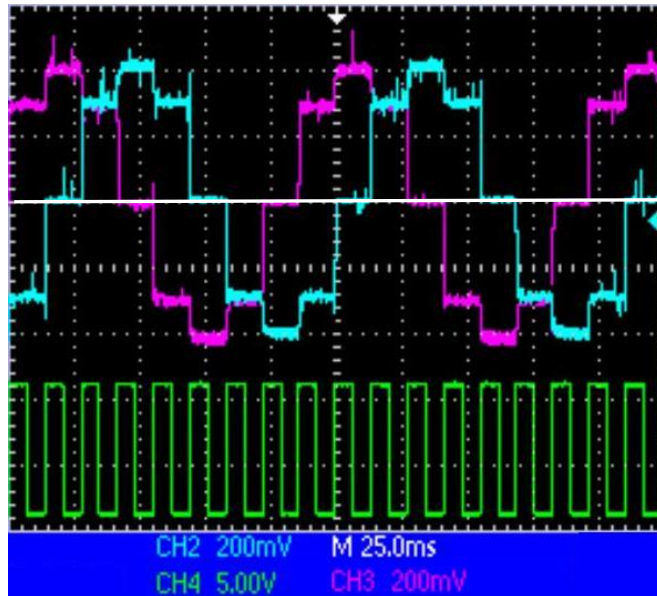
Lorsque 2 phases sont alimentées en même temps, la somme du vecteur est égale à  $\sqrt{2}$  fois la valeur séparée d'une phase, ce qui explique que le courant dans 1 phase-ON doit être plus élevé pour obtenir le même couple à la sortie.

## Pas complet et demi-pas

En alternant les opérations "1 phase-ON" et "2 phases-ON", le rotor peut effectuer des demi-pas. La séquence de commutation est donc donnée par  $A+ \Rightarrow A+B+ \Rightarrow B+ \Rightarrow B+A- \Rightarrow A- \Rightarrow A-B- \Rightarrow B- \Rightarrow B+A+$ , soit le double du nombre de pas obtenus avec un fonctionnement en pas entier, l'angle de pas étant également divisé par deux. Pour une rotation dans le sens anti-horaire, la séquence est simplement inversée. Si le même couple



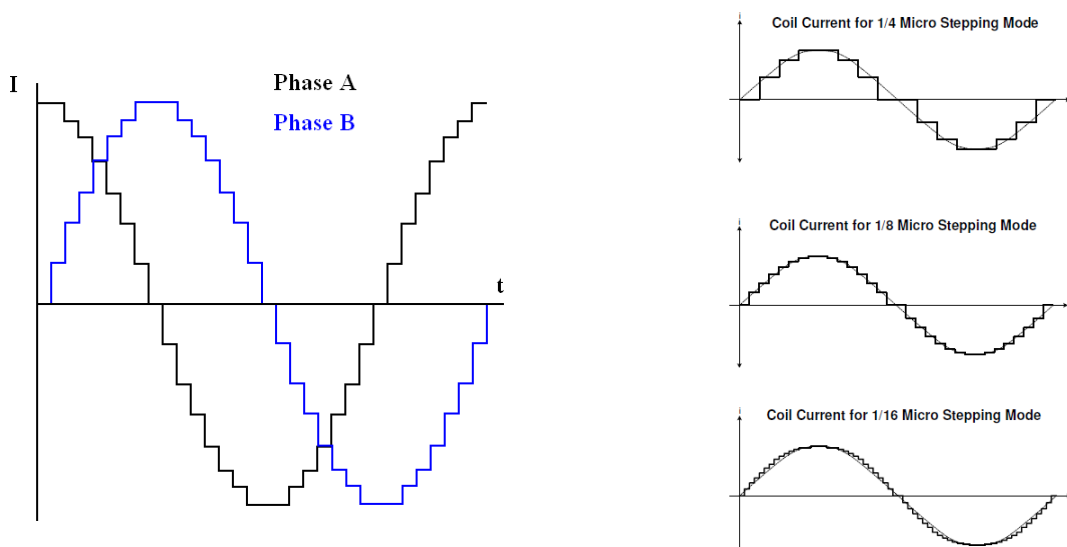
entre chaque demi-pas est demandé, le courant appliqué dans la configuration "1 phase-ON" doit être  $\sqrt{2}$  fois plus élevé que le courant appliqué dans la configuration "2 phases-ON" (voir paragraphe 1.8).



**Image 10** : Évolution des signaux de phases de courant (violet pour la phase A ; bleu clair pour la phase B) pour l'opération demi pas avec une phase de compensation de courant.

## Micro-pas

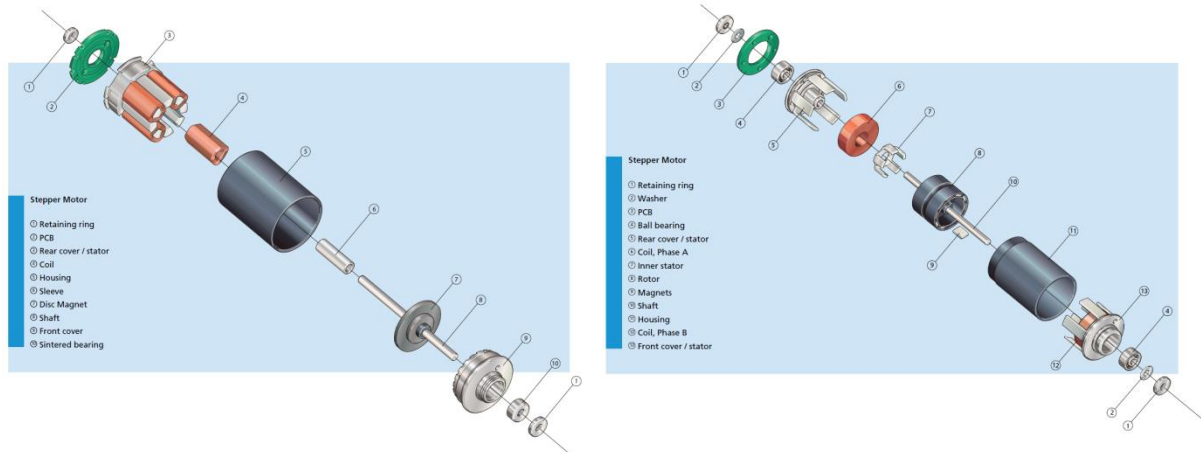
Pour une opération à faible vitesse (typiquement en dessous de 600 tours/min) ou si une résolution de moins d'un demi pas est demandé, le micro-pas est la solution ultime. En alimentant correctement les bobines, il est possible de bouger le rotor de moins d'un degré. La plupart des drivers peuvent supporter un tel mode d'opération. L'idée est d'alimenter deux bobines de manière à ce que le rotor se positionne avec un plus petit angle de pas. Par extension, générer une onde sinusoïdale sur chaque phase permettrait au moteur pas à pas d'atteindre une résolution angulaire vraiment élevée. Un tel mode d'opération est expliqué avec plus de détails dans la note d'application sur les micro-pas (AN015).



**Image 11** : (à gauche) Courant de phase pour un fonctionnement en micro-pas (8 micro-pas/pas dans ce cas). (à droite) Forme du signal pour une phase à différents modes de micro-pas. Le signal du courant tend à être sinusoïdal. [6]

## Technologie FAULHABER

La technologie FAULHABER comprend deux concepts de moteurs pas à pas basiques, qui peuvent être facilement identifiés par les désignations de type « AM » et « DM ». Les deux sont des moteurs pas à pas biphasés utilisant des aimants permanents. La gamme de moteur pas à pas AM contient 2 bobines (une pour chaque phase) et la gamme DM contient 4 bobines (2 pour chaque phase). Le design AM utilise un champ magnétique radial (AM pour « AiMant rapporté ») alors que les DM conçus utilisent un champ magnétique axial avec disque aimanté (DM pour « Disc Magnet »).



**Image 12 :** Conception des moteurs pas à pas FAULHABER DM (à gauche) et AM (à droite).

Bénéfices du design avec disque aimanté « DM » :

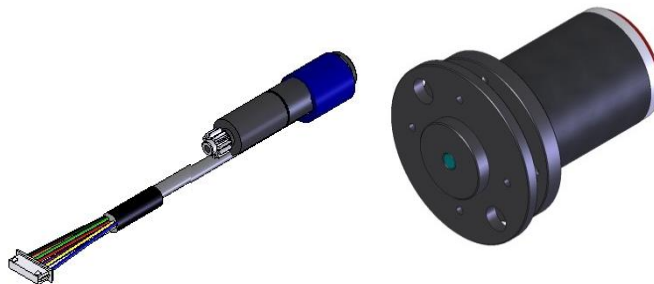
- Faible inertie
- Haute précision angulaire
- Accélération élevée
- Couple résiduel faible

Bénéfices du moteur pas à pas à aimants rapportés « AM » :

- Ratio couple/volume élevé
- Construction robuste et simple

## Solutions personnalisées

Grâce à son département recherche et développement, FAULHABER PRECISTEP est en mesure de proposer des solutions personnalisées. Ces modifications peuvent aller de l'étiquetage spécial sur le moteur à un moteur complet personnalisé avec une roue à filtre sur son arbre.



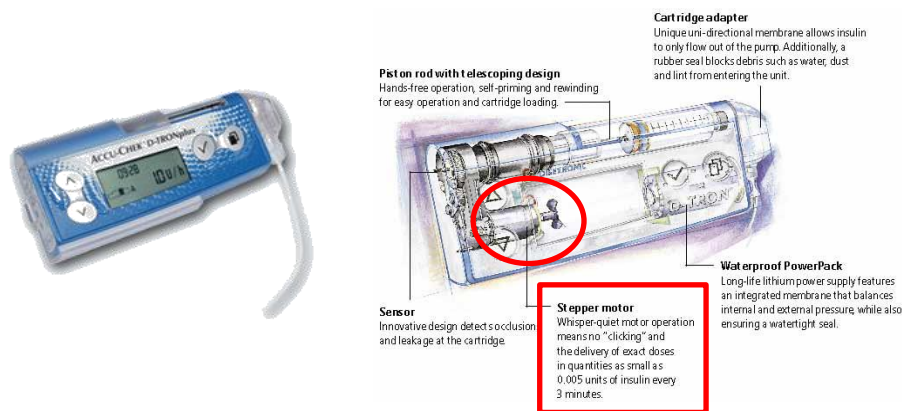
**Image 13 :** Deux solutions personnalisées réalisées à FAULHABER PRECISTEP.

## Succès des applications des moteurs pas à pas FAULHABER

Les moteurs pas à pas FAULHABER sont vendus majoritairement pour des applications médicales et optiques, mais ils ne sont pas uniquement dédiés à ces deux segments du marché. Le but de cette section est de présenter plusieurs succès d'application réalisés avec les moteurs pas à pas FAULHABER .

### Pompe de distribution de médicament (Application médicale)

L' intérêt pour le champ d'application des pompes alimentées par batteries (ex : les pompes d'insuline utilisées contre le diabète ou les pompes de traitement anti-douleur) ne cesse d'augmenter. Donc, beaucoup d'usines médicales essaient de concevoir et de développer leur propre pompes. Dans de tels appareils, un moteur est généralement utilisé pour tourner ou positionner un piston qui contrôle l'injection de médicament. Le moteur opère rarement (temps ON << temps OFF), doit maintenir une position sans alimentation et bouger le piston à une vitesse très stable. En plus d'une exigence pour une électronique simple et compacte, le moteur pas à pas est idéal dans ce cas.



**Image 14 :** Pompe à insuline avec un schéma représentant la conception intérieure de l'utilisation du moteur pas à pas.

### Analyseur à rayons-x portable (Application d'instrumentation)

L'analyseur à rayons-x portable permet de scanner un objet en métal et d'en déterminer sa composition. Le rôle du moteur pas à pas est de positionner une roue à filtres en métal afin de calibrer l'appareil. La petite taille d'un moteur pas à pas et son électronique de contrôle facilement intégrable, sont appréciés par les fabricants de ces appareils.



**Image 15 :** Analyseur à rayons-x portable (à gauche) et un exemple de roue filtrée intégrée au moteur pas à pas (à droite).

### Etage X-Y du microscope (application optique)

Les moteurs pas à pas sont aussi largement utilisés dans des éléments optiques, qui sont souvent intégrés à d'autres applications (médical, instrumentation, etc...). Dans cet exemple, le moteur pas à pas est utilisé pour bouger l'étage d'un microscope. Le moteur pas à pas a du sens car c'est un entraînement compact et le contrôle du circuit ouvert ne peut pas être un problème car l'opérateur du microscope contrôle effectivement la position visuellement.

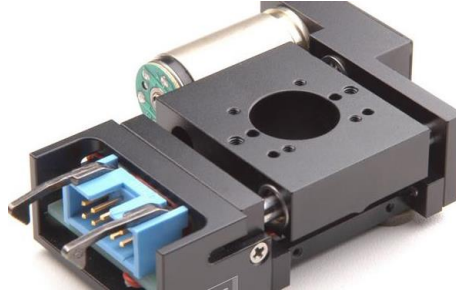


Image 16 : Photo d'un étage de microscope.

### **Caméra gyroskopique (Application Aéronautique)**

Un avion télécommandé, aussi connu comme un drone, a besoin de caméras avec une haute stabilité et une haute précision d'image. Donc l'intégration des moteurs pas à pas dans de tels systèmes permet de contrôler soit le zoom/focus de l'image, soit l'inclinaison de la caméra.



Image 17 : un drone (à gauche), et un système de caméra (à droite).

## **Référence du produit**

---

La référence exact pour commander un moteur pas à pas FAULHABER pour un moteur AM1524 est illustrée ci-dessous :

AM15242R025007	Désignation complète du moteur
AM15242R025007	Type de design
AM15242R025007	Diamètre en mm
AM15242R025007	Nombre de pas par révolution
AM15242R025007	Type de palier/lubrifiant
AM15242R025007	Type de bobine
AM15242R025007	Exécution (arbre, pignon, PCB, etc.)

FAULHABER PRECISTEP propose aussi des contrôleurs, des vis filetés avec écrous et paliers, des lubrifiants spéciaux, des solutions de réducteurs et des câbles.

## Références

- [1] S. Motor, D. Considerations, and C. Problems, "APPLICATION NOTE STEPPER MOTOR DRIVER CONSIDERATIONS," no. December 2003, pp. 1–11.
- [2] "Lead Screw Efficiency." [Online]. Available: [http://www.askltd.co.jp/eng/technical\\_info/feed\\_screw](http://www.askltd.co.jp/eng/technical_info/feed_screw). [Accessed: 19-Jun-2013].
- [3] "Better Soldering." [Online]. Available: [http://www.elexp.com/t\\_solder.htm](http://www.elexp.com/t_solder.htm). [Accessed: 20-Jun-2013].
- [4] "Eddy Currents." [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Eddy\\_current](http://en.wikipedia.org/wiki/Eddy_current). [Accessed: 20-Jun-2013].
- [5] "Stepper motor types." [Online]. Available: [www.anaheimautomation.com](http://www.anaheimautomation.com). [Accessed: 18-Jun-2013].
- [6] Trinamic, "TMC223 Datasheet." [Online]. Available: [http://www.trinamic.com/trmctechlibcd/integrated\\_circuits/TMC223/TMC223\\_datasheet.pdf](http://www.trinamic.com/trmctechlibcd/integrated_circuits/TMC223/TMC223_datasheet.pdf). [Accessed: 18-Jun-2013].
- [7] "The right and wrong of soldering." [Online]. Available: [http://karma-laboratory.com/petridish/2005/01/the\\_right\\_and\\_w.html](http://karma-laboratory.com/petridish/2005/01/the_right_and_w.html). [Accessed: 20-Jun-2013].

---

## Mentions légales

**Les droits d'auteur** : Tous droits réservés. Aucune partie de cette note d'application ne peut être copiée, reproduite, sauvegardée dans un système d'information, modifiée ou traitée de quelque manière que ce soit sans l'autorisation préalable écrite de la société Dr. Fritz Faulhaber & Co. KG.

**Les droits de propriété industrielle** : En publiant cette note d'application, l'entreprise Dr. Fritz Faulhaber & Co. KG n'accorde pas, expressément ou implicitement, de droits de propriété industrielle sur lesquels les applications et les fonctions de la note d'application décrites sont directement ou indirectement basées, ne transfère pas non plus de droits d'utilisation sur de tels droits de propriété industrielle.

**Des données non contractuelles** ; cette note d'application n'a pas de caractères engageants. Sauf indication contraire, la note d'application ne fait pas partie des contrats conclus par la firme Dr. Fritz Faulhaber & Co. KG. La note d'application est une description non engageante d'une application possible. En particulier, l'entreprise Dr. Fritz Faulhaber & Co. KG ne garantit pas que les processus et fonctions illustrés dans la note d'application peuvent toujours être exécutés et mis en œuvre comme décrit et qu'ils peuvent être utilisés dans d'autres contextes et environnements avec le même résultat sans tests ou modifications supplémentaires.

**Aucune responsabilité** : En raison du caractère non engageant de la note d'application, la société Dr. Fritz Faulhaber & Co. KG ne prend aucune responsabilité pour les pertes liées à cette note.

**Les modifications de la note d'application** : la firm Fritz Faulhaber & Co. KG se réserve le droit de modifier les notes d'application. La version actuelle de cette note d'application peut être obtenue auprès de l'entreprise Dr. Fritz Faulhaber & Co. KG en appelant le +49 7031 638 385 ou en envoyant un e-mail à [mcsupport@faulhaber.de](mailto:mcsupport@faulhaber.de).