

PRÉVENTION DE LA RÉSONANCE AVEC DES MOTEURS PAS À PAS



Technologie de moteurs pas à pas Portescap

Les moteurs pas à pas sont des moteurs électriques sans balais, qui comportent généralement un grand nombre de pôles. Ils sont généralement utilisés comme solution de positionnement simple et économique, car ils peuvent être pilotés pas par pas sans qu'un système d'asservissement (tel qu'un codeur ou un capteur à effet Hall intégré) ne soit nécessaire. Cette manière de piloter un moteur sans réaction est également appelée commande en « boucle ouverte ». La conception de ces moteurs et leur mode de pilotage peuvent toutefois être propices à l'apparition de phénomènes de résonance dans certaines circonstances. Dans ce document, nous allons examiner différentes manières d'éviter ces désagréments et d'assurer un mouvement adéquat.

GÉNÉRALITÉS À PROPOS DES MOTEURS PAS À PAS

Sur un moteur pas à pas, les phases sont commutées successivement par un circuit de commande externe qui va déplacer le rotor (souvent équipé d'un aimant permanent) d'une position stable à la suivante. Le moteur choisi doit produire un couple suffisant pour déplacer le rotor et la charge au pas suivant après chaque commutation. Si le couple n'est pas suffisant ou si la vitesse est trop élevée, il existe un risque de perte de synchronisme entre le circuit de commande et la position réelle du rotor. Cela peut entraîner une perte de pas, un changement éventuel du sens de rotation et un mouvement globalement imprévisible.

Le concept d'un moteur pas à pas biphasé très simple, à une paire de pôles, est illustré à la figure 1. La séquence de commutation commandée électroniquement (A, B, -A, -B) va créer une rotation complète du rotor sur quatre pas (90° par pas).

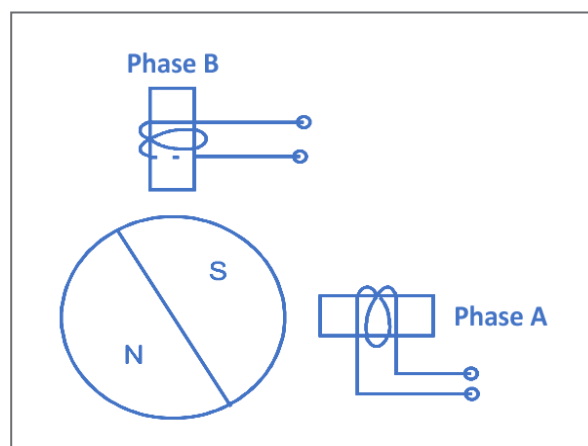


Figure 1 - Concept de base d'un moteur pas à pas biphasé avec 1 paire de pôles

OSCILLATION AUTOUR D'UNE POSITION STABLE

À chaque pas, le rotor cherche naturellement à aligner ses pôles avec ceux du stator. Tant qu'une phase est excitée en continu (sans commuter vers la phase suivante), le rotor conserve une position stable.

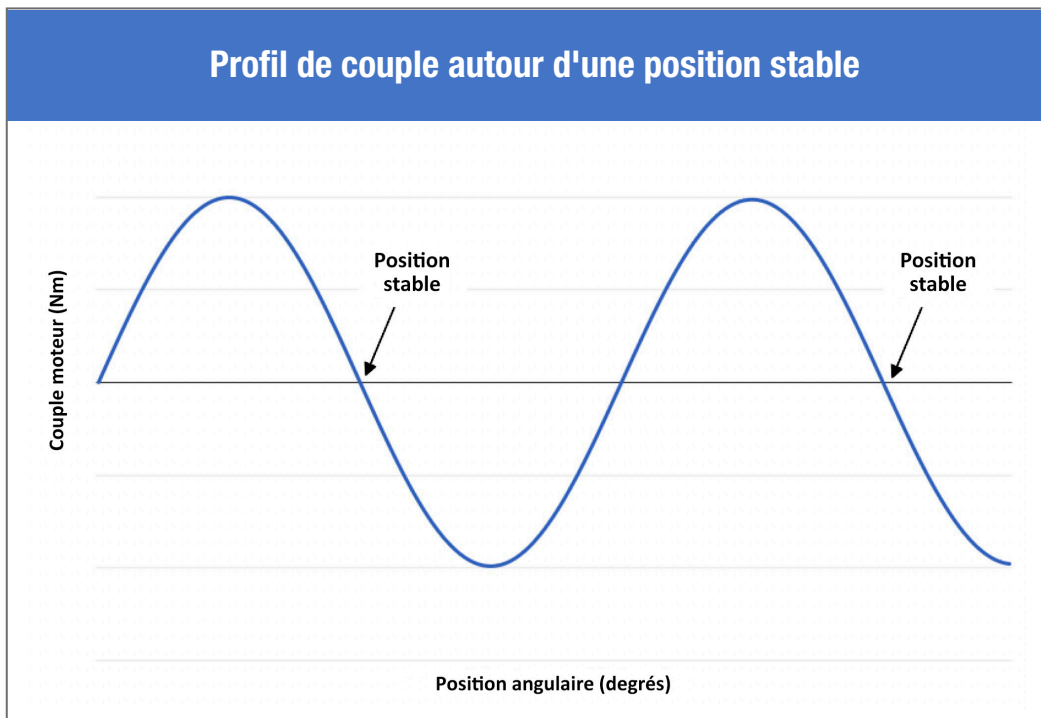


Figure 2 - Profil de couple d'un moteur pas à pas avec excitation de 1 phase

Le graphique ci-dessus montre que si le rotor va au-delà de la position cible, le moteur développe un couple négatif qui aura tendance à faire reculer le rotor jusqu'à la position cible. À l'inverse, lorsque le rotor se trouve avant la position cible (côté gauche), un couple positif va pousser le rotor en avant, en direction de la position cible. Dans ces conditions, il apparaît qu'un phénomène d'oscillation peut facilement se produire, car l'inertie du rotor (y compris l'inertie de la charge, le cas échéant) empêchera le rotor de s'arrêter exactement sur la position stable. Chaque fois que le rotor se déplace d'une position stable à la suivante (un pas plus loin), la position angulaire va généralement dépasser la position cible du rotor en raison de son énergie cinétique lorsqu'elle approche de la cible. Elle se mettra alors à osciller autour de la position dès que le couple négatif rappellera le rotor vers la position cible. La fréquence naturelle de cette oscillation périodique peut être calculée de la manière suivante :

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{T_{\text{maintien}} * N}{J_{\text{total}}}}$$

T_{maintien} : couple de maintien (Nm)

N : nombre de paires de pôles

J_{total} : moment d'inertie total ($J_{\text{rotor}} + J_{\text{charge}}$)

Toutefois, l'ampleur de cette oscillation va diminuer au fil du temps, en raison des pertes du système. Cette réduction de l'amplitude, généralement appelée « amortissement », dépend de plusieurs facteurs. L'amortissement va en définitive toujours immobiliser le rotor si une phase seulement est excitée. Dans certains cas, il est toutefois intéressant d'optimiser l'amortissement lorsque les phases sont alimentées successivement (commutation).

À vitesse élevée, la période de commutation est plus courte et si l'oscillation n'est pas terminée avant le déclenchement du pas suivant, il existe un risque de résonance (la tendance qu'a le système mécanique à réagir à une plus grande amplitude). Il est probable que cela survienne si la fréquence de commutation est proche de la fréquence naturelle du système, comme mentionné plus haut.

La résonance peut engendrer un fonctionnement irrégulier du moteur, une perte de pas et un changement aléatoire du sens de rotation. Il est donc important de prendre des mesures préventives pour éviter l'apparition de toute résonance afin de garantir un synchronisme adéquat entre la commande et la position réelle du rotor.

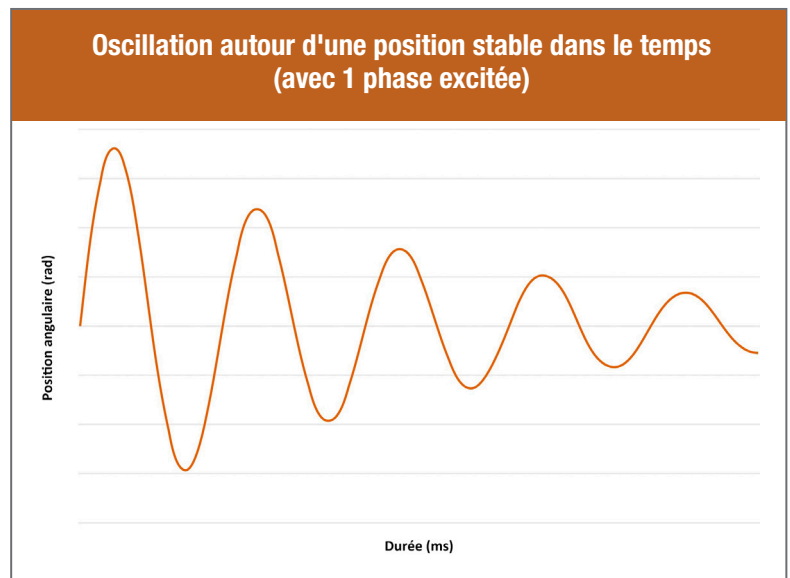


Figure 3 - Oscillation du rotor amortie dans le temps

MÉTHODES DE PRÉVENTION DE LA RÉSONANCE

Éviter la fréquence naturelle

La résonance se produit habituellement lorsque la fréquence de commutation est proche de la fréquence naturelle de vibration du système mécanique. Par conséquent, la manière la plus simple d'empêcher l'apparition de la résonance est de maintenir la fréquence de commutation éloignée de la fréquence naturelle du système à l'aide des paramètres décrits. Toutefois, une modification de la fréquence de commutation n'est pas toujours possible, car cela nécessite parfois d'autres modifications pour compenser le changement de vitesse.

Décaler la fréquence naturelle

Au lieu de modifier la fréquence de commutation, il est aussi possible d'augmenter ou de réduire la fréquence naturelle afin d'éviter que la fréquence de commutation n'avoisine celle-ci. Pour ce faire, on agit généralement sur les deux paramètres qui influencent la fréquence naturelle : le couple de maintien et l'inertie totale du système.

- **Couple de maintien**

Généralement, un moteur est dimensionné pour une utilisation à son courant nominal, qui définit le couple de maintien. Il n'est pas possible d'utiliser un courant plus élevé (pour augmenter le couple de maintien) pour un fonctionnement continu, car l'augmentation des pertes Joule se traduirait par une température excessive de la bobine. Il est toutefois possible d'utiliser un courant moins élevé (pour obtenir un couple de maintien inférieur et ainsi abaisser la fréquence naturelle) si le couple réduit suffit pour les besoins de l'application.

- **Inertie**

Le moment d'inertie du système mécanique correspond à la somme de l'inertie du rotor du moteur et de l'inertie de la charge. Le concepteur du moteur peut modifier l'inertie du rotor en modifiant la conception. La fréquence de résonance naturelle d'un moteur sans charge est généralement indiquée dans les spécifications du moteur. L'utilisateur peut également agir sur l'inertie de la charge (qui est totalement indépendante du moteur). L'augmentation de l'inertie va décaler la fréquence naturelle du système dans son ensemble vers le bas et vice-versa. La modification de l'inertie du système peut également influencer les performances du moteur dans l'application. Ce changement doit ainsi être vérifié auprès du fournisseur du moteur pour garantir un fonctionnement adéquat.

Pilotage en micro-pas

Plus l'énergie générée dans le système mécanique est grande, plus le risque de déclencher un phénomène de résonance est élevé. Pour éviter cela, le pilotage en micro-pas peut être une solution mieux adaptée que le pilotage en pas entiers. Chaque micro-pas (demi-pas, quart de pas, etc.) présente un angle de pas plus petit et nécessite moins d'énergie pour passer d'une position stable à la suivante. Le dépassement de la position cible est moindre, de même que l'ampleur de l'oscillation, ce qui constitue souvent un moyen efficace d'éviter la résonance.

En outre, le micro-pas s'accompagne généralement d'une réduction du bruit et des vibrations ainsi que d'un fonctionnement plus régulier. Les moteurs pas à pas sont souvent pilotés en micro-pas.

Amortissement

Il existe divers facteurs d'atténuation :

- **Frottement de la charge et frottement des paliers du moteur**

Le frottement fournit un couple de freinage (opposé au sens de rotation instantané) constant, quel que soit la vitesse du moteur. S'il permet d'amortir l'oscillation et défavorise la résonance, il (faut garder à l'esprit) que le frottement représente un couple de charge supplémentaire exercé sur le moteur, quel que soit la vitesse. Il est donc important de s'assurer que la capacité de couple du moteur est suffisante lors de l'ajout de frottement pour éviter la résonance.

- **Frottement visqueux**

Le frottement visqueux crée également un couple de freinage, mais son ampleur dépend de la vitesse. Plus la vitesse est élevée, plus l'atténuation visqueuse est forte. Il s'agit généralement du moyen de prédilection pour amortir un mouvement oscillatoire. Il apporte un freinage marqué lorsque l'amplitude de l'oscillation est importante (vitesse plus élevée au début) et un freinage très faible une fois que l'oscillation est moindre (à la différence du frottement sec, qui fournit le même couple de freinage même à très bas régime). Le frottement visqueux est donc un moyen efficace pour amortir l'oscillation en un très court laps de temps, et sans ajouter trop de charge sur le moteur.

Différents phénomènes peuvent apporter un frottement visqueux à un système :

- » Un courant de Foucault généré dans le fer du stator (pertes fer), qui agit comme un couple de freinage. Ces pertes sont d'autant plus importantes que la vitesse est élevée et sont inexistantes en l'absence de mouvement. On peut donc parler de frottement visqueux. Selon la conception et la technologie du moteur, les pertes dans le fer peuvent varier d'un moteur à l'autre. Les pertes fer des moteurs à aimant disque sont généralement limitées, ce qui leur permet d'atteindre des vitesses relativement élevées. Il ne faut par conséquent pas compter sur les pertes fer pour amortir l'oscillation d'un moteur à aimant disque, mais plutôt envisager un autre moyen d'empêcher la résonance pour un tel moteur.
- » La force contre-électromotrice (ou FCEM) induite dans la bobine, entraînant un courant et un couple de freinage qui va amortir l'oscillation. Ce courant apparaît généralement lorsque la phase non alimentée est court-circuitée. Celui-ci étant proportionnel à la vitesse moteur (plus la vitesse est élevée, plus le couple de freinage est important), on peut également parler de frottement visqueux. Les contrôleurs à découpage (courant constant) ne permettent généralement pas ce type d'amortissement, car le courant y reste constant, malgré les variations de la FCEM.
- » Des solutions d'amortissement électroniques peuvent être mises en place en pilotant le moteur d'une façon particulière, sans modifier aucun paramètre mécanique du système.
- » Un amortisseur mécanique externe peut également être ajouté dans l'application ou sur le moteur pour absorber une partie de l'énergie vibratoire par frottement visqueux pour empêcher la résonance.

CONCLUSION

Le fonctionnement séquentiel, des moteurs pas à pas peut engendrer des problèmes de résonance lorsque des conditions favorables à celle-ci sont réunies en même temps. Il arrive qu'agir sur une de ces conditions seulement suffise pour éliminer la résonance. Il ne faut par ailleurs pas oublier qu'en fonction de la technologie et de la conception du moteur, d'autres plages de fréquences sont susceptibles de déclencher une résonance, outre la fréquence d'oscillation naturelle. La résonance de moyenne fréquence est l'une d'entre elles. Les fournisseurs de moteurs peuvent vous aider à déterminer quelles plages de fréquence sont susceptibles de déclencher une résonance et comment empêcher son apparition. **P**

INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES :

Rue Jardinière 157
CH 2300 La Chaux-de-Fonds
Switzerland
T : +41 32 925 62 40
sales.europe@portescap.com
www.portescap.com

CONTACTER UN INGÉNIEUR :

www.portescap.com/fr-fr/contacter-portescap

Daniel Muller
Ingénieur d'application
Daniel.Muller@portescap.com

Portescap