Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 68 (1977)

Heft: 24

Artikel: Journée d'information et de discussion sur les Moteurs Pas à Pas

Autor: Wavre, N.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915100

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Journée d'information et de discussion sur les Moteurs Pas à Pas

621.313.13-133.3;

Le compte rendu suivant se rapporte à la journée d'information et de discussion organisée par l'ASE le 5 octobre 1977 à l'EPFL et qui était présidée par le Prof. M. Jufer. Les conférences ont été publiées dans un recueil qui a été distribué à tous les participants et qui peut encore être obtenu à l'ASE, dept. VVW, au prix de fr. 45.–.

1. Introduction

Bien que le développement des premiers moteurs pas à pas remonte au début des années 1930, ce n'est que depuis le début des années 1960 que ce type de moteur s'est véritablement implanté. La cause principale de cette extension a été l'apparition des ordinateurs, puis des miniordinateurs et enfin des microprocesseurs. Le moteur pas à pas est devenu un des principaux éléments de communication entre les systèmes de traitement de l'information et le monde extérieur. Il permet de matérialiser des résultats sous forme écrite ou graphique ou d'assurer un réglage.

Le moteur pas à pas doit être de caractère synchrone afin de satisfaire les impératifs d'une conversion d'informations fiable. En d'autres termes, à toute impulsion d'alimentation doit correspondre une avance élémentaire (rotation ou translation) constante, dite pas. Un nombre déterminé d'impulsions entraîne un nombre identique de pas. De plus, la succession d'impulsions à une fréquence déterminée permet d'imposer une vitesse de rotation (ou de translation) constante.

C'est le contrôle de ces deux fonctions – *position* et *vitesse* – qui permet d'assurer une conversion d'information. Le moteur pas à pas assure ces deux conversions sans introduire d'erreurs cumulatives. Elles peuvent être réalisées sans asservissement.

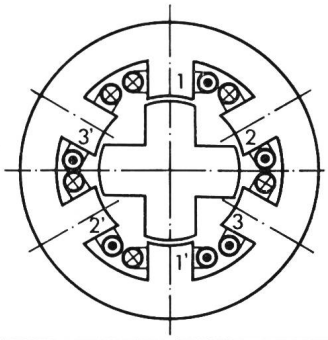
La structure des moteurs pas à pas peut se diviser en deux types principaux, les moteurs réluctants et les moteurs polarisés. Les *moteurs réluctants* sont caractérisés par l'interaction de deux structures ferromagnétiques dentées, l'une fixe liée au stator, l'autre mobile. La rotation est assurée par l'alimentation successive des phases, au nombre minimum de trois (fig. 1).

Les *moteurs polarisés* comprennent un ou plusieurs aimants permanents. Leur rôle peut être multiple, selon les applications: l'amélioration du rendement pour de faibles puissances, la création d'un couple de maintien sans courants, l'augmentation de la résolution, etc. On distinguera les moteurs électromagnétiques, caractérisés par un aimant tournant (fig. 2) et les moteurs réluctants polarisés, présentant les mêmes caractères de base que le moteur réluctant, avec un aimant assurant une excitation permanente. Les moteurs polarisés comprennent deux phases ou plus. Ils ont généralement une alimentation bipolaire, alternativement positive et négative.

Dans les circuits électroniques liés aux moteurs pas à pas, on distingue les circuits d'alimentation des circuits de commande. Des améliorations très importantes des performances du moteur peuvent être obtenues par le perfectionnement de l'un ou de l'autre de ces circuits, ou des deux simultanément.

Le rôle de l'alimentation est d'assurer une amplification de la commande de façon à appliquer la tension successivement aux différentes phases. Le couple étant proportionnel au courant ou au carré du courant, cette alimentation devra s'approcher le plus possible d'une source de courant. L'alimentation est constituée généralement de transistors fonctionnant alternativement en régime saturé ou bloqué. Pour éviter les surtensions de coupure, l'alimentation doit également assurer la décroissance progressive du courant au moyen d'un circuit auxiliaire d'extinction.

La commande assure la succession des ordres de commutation de phase à un rythme compatible avec les fonctions à réaliser. Compte tenu du caractère synchrone du moteur pas à pas, cette commande peut s'effectuer en circuit ouvert. Cependant, pour accroître la fiabilité ou les performances, cette commande peut s'effectuer en circuit fermé. Le rôle de la commande est déterminant en ce qui concerne les performances à hautes fréquences et en régime d'accélération ou de décélération. De nombreuses améliorations sont liées à l'interaction entre la commande et le moteur.



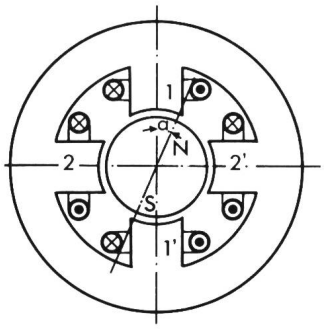


Fig. 1 (à gauche)
Moteur réluctant triphasé, 12 pas par tour

Fig. 2 (à droite)
Moteur électromagnétique biphasé, 4 pas par tour

2. Caractéristiques des moteurs pas à pas

Dans son exposé introductif, le Prof. *M. Jufer,* EPFL, met en évidence les limites et les domaines de fonctionnement des moteurs pas à pas et propose des solutions d'amélioration pour chaque cas.

Réponse indicielle: Lors de l'avance d'un pas ou de l'arrêt en fin de course, le rotor d'un moteur pas à pas est animé d'un mouvement oscillant amorti, qui est associé à l'excédent d'énergie cinétique. Cette oscillation est défavorable dans la mesure où un positionnement précis à l'arrêt est requis. Il est alors nécessaire d'attendre l'atténuation du mouvement avant de réaliser une opération associée à cette position.

Comportement à basse fréquence: Le moteur pas à pas aura toujours un domaine de fonctionnement instable pour une fréquence d'alimentation relativement basse. Cette zone de fréquence critique est fonction du couple du moteur et de l'inertie du rotor et de la charge. Le comportement à basse fréquence est associé au mouvement oscillant. Selon les conditions de position et de vitesse lors de la commutation de phase, il peut se produire un ralentissement provoquant une perte de synchronisme. Ceci peut apparaître lorsque la vitesse instantanée est négative.

Fréquence limite de démarrage: En accroissant progressivement la fréquence d'alimentation lors d'un démarrage, la commutation survient pour un angle parcouru toujours faible. Lorsque les conditions de couple deviennent défavorables (couple accélérateur négatif) après commutation, le moteur ne peut plus ni accélérer, ni maintenir sa vitesse. Il y a alors perte de synchronisme. Le moteur ne peut pas démarrer. On peut définir une fréquence limite de démarrage pour chaque valeur du couple résistant. Cette fréquence dépend également de l'inertie. La fig. 3 décrit le lieu des fréquences limites de démarrage en fonction de la charge.

Fréquence limite absolue: Lorsqu'un moteur démarre en-deçà de la fréquence limite de démarrage, il s'établit un équilibre entre le couple moteur moyen et le couple résistant. Une réserve d'accélération existe aussi longtemps que ce dernier est inférieur au couple moteur moyen maximum. Il est alors possible de franchir progressivement la limite de démarrage et d'accélérer au-delà. Cependant, avec l'accroissement de fréquence, il se produit une diminution de courant associée à la constante de temps des bobinages. Une nouvelle limite de fréquence absolue apparaît alors lorsqu'il y a égalité des couples moteur maximum et résistant. Cette frontière ne dépend pas de l'inertie.

Instabilités dynamiques: Pour des fréquences élevées, la plupart des moteurs peuvent présenter une instabilité dynamique.

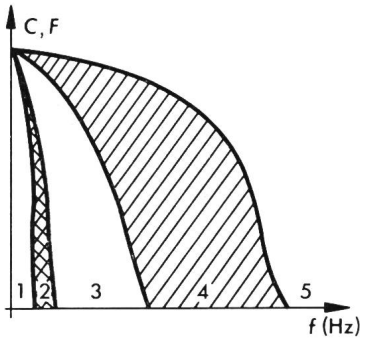


Fig. 3 Domaines de fonctionnement d'un moteur pas à pas

C, F couple ou force associée à la charge
f fréquence d'alimentation
1 domaine basse fréquence
2 domaine instable de résonance
3 domaine de démarrage
4 domaine haute fréquence, avec démarrage impossible
5 domaine interdit

Celle-ci se traduit par une oscillation à basse fréquence autour de la vitesse moyenne, correspondant à la fréquence d'alimentation. Cette oscillation présente une périodicité de quelques dizaines à plusieurs centaines de pas. Il peut résulter de ce phénomène un accroissement de l'amplitude provoquant un décrochement du moteur.

Possibilités d'amélioration des caractéristiques d'un moteur pas à pas

1. Conception du moteur: Les possibilités d'amélioration par la conception du moteur seul sont relativement limitées. On peut citer principalement:

– la disposition relative des composants. L'aimant permanent joue un rôle déterminant,

– la géométrie des zones à réluctance variable,

– l'intervention des zones saturables permettant d'accroître les variations de réluctance, donc le couple,

– le renforcement des mutuelles, permettant d'assurer le transfert de l'énergie magnétique d'une phase à l'autre,

– le recours à des amortisseurs électromagnétiques (spires en court-circuit) ou mécaniques (systèmes d'inertie à frottement visqueux).

Ces techniques ne peuvent être appliquées, pour la plupart, qu'à la conception du moteur. Elles peuvent difficilement être introduites de cas en cas en fonction d'une application. Il est cependant significatif de remarquer que certaines de celles-ci, peu coûteuses, sont loin d'être introduites systématiquement.

2. Alimentation: De façon classique, l'alimentation se compose d'une source de tension continue, d'un transistor assurant l'enclenchement et la coupure de la source et d'un circuit d'extinction comprenant une diode, intervenant lors de la coupure de courant. A partir de cette solution de base, les améliorations suivantes peuvent être apportées:

– introduction d'une résistance en série, de façon à diminuer la constante de temps d'établissement du courant. Il est ainsi possible d'accroître la fréquence limite absolue. Ceci s'effectue évidemment au détriment du rendement.

– survoltage durant le démarrage, de façon à accroître le courant et le couple. On augmente ainsi la fréquence de démarrage et d'arrêt;

– amélioration des qualités du circuit d'extinction, par l'introduction d'une résistance en série ou d'une diode Zéner. Cette technique permet de diminuer le temps d'extinction du courant et même d'assurer une récupération partielle de l'énergie magnétique;

– alimentation à deux niveaux de tension. On applique à l'enclenchement une tension nettement plus élevée que celle conduisant au courant nominal. Dès que cette dernière valeur est atteinte, il y a commutation sur une source de tension assurant le maintien de ce courant. La constante apparente d'établissement du courant est ainsi réduite dans un rapport égal à celui des tensions. Il en résulte un accroissement de la fréquence limite absolue;

– alimentation par un hacheur et une source de tension de haut niveau. On peut, de même que par la technique précédente, diminuer la constante de temps d'établissement du courant.

3. Commande: La commande assure la commutation des phases selon une séquence spécifique et un rythme adapté à la charge et au régime de fonctionnement. On peut distinguer quatre régimes de fonctionnement: le démarrage, le régime permanent, à fréquence contrôlée ou non, la décélération et l'arrêt. Ce dernier se distingue de la décélération, par suite des phénomènes oscillatoires qui lui sont associés.

Dans sa forme la plus simple, la commande comprend un générateur de rampe pour l'accélération et la décélération, un système de comptage-décomptage pour la détermination du nombre de pas et un aiguillage pour l'enclenchement des différentes phases. A partir de cette solution minimale, de nombreuses améliorations peuvent être apportées:

– l'asservissement de la commande par la position. Cette technique permet de générer automatiquement une rampe de démarrage, adaptée à la charge. Elle permet également un contrôle dynamique de la position et empêche pratiquement une perte de synchronisme. Cette technique est en revanche relativement coûteuse, par la présence d'un capteur de position digital et du système d'analyse qui lui est lié. En revanche, la fiabilité accrue fait fréquemment opter en faveur de cette solution;

– la technique d'avance à l'allumage. Elle consiste en une avance, progressive avec la fréquence, de l'enclenchement des phases relativement à la position optimale théorique. L'enclenchement pour une position constante relative au pas conduit à une baisse progressive de courant avec la fréquence. Ceci est dû à la constante d'établissement du courant. L'avance à l'allumage permet un maintien du courant moyen. On a ainsi un accroissement de la fréquence limite absolue. Cette technique doit être combinée avec la précédente;

– la suppression des oscillations à l'arrêt par commutation de phases. Cette technique consiste à imposer un freinage avant l'arrivée en position d'équilibre stable. Celui-ci est assuré par réenclenchement de la phase précédente. Si cette technique est très efficace, la durée des diverses opérations est une fonction de la charge et de l'inertie;

– la technique d'auto-asservissement qui consiste à assurer la commande de commutation de phase par l'analyse du courant. La grandeur d'entrée peut être le courant de phase, le courant résultant, le courant d'extinction ou la combinaison de plusieurs d'entre eux. Cette solution permet d'améliorer les performances dans une gamme importante. On peut mentionner la génération automatique et optimale de rampes d'accélération et de décélération, l'accroissement de la fréquence limite absolue ainsi que la suppression des instabilités dynamiques. En contre-partie, un contrôle de vitesse est plus difficile. De plus, la solution demande un développement spécifique pour chaque type de moteur. Elle présente également des difficultés d'adaptation à la gamme totale de fréquence.

3. Points de vue du constructeur et de l'utilisateur

Les cinq exposés qui suivent la présentation des principes de fonctionnement et des caractéristiques des moteurs pas à pas sont consacrés à des aspects pratiques.

P. Müller de Warner Electric à Lausanne donne le point de vue du fabricant et présente les caractéristiques géométriques des moteurs les plus courants. Le souci primordial du constructeur étant la recherche de solutions économiques, le conférencier cite des techniques relativement simples pour diminuer l'erreur résiduelle de positionnement d'une part, et les oscillations dynamiques du rotor en régime start-stop d'autre part. En fin d'exposé, il présente trois applications industrielles de moteurs pas à pas dans le domaine des périphériques d'ordinateurs. (Funktion und Anwendung von Reluktanz-Schrittmotoren)

E. Pfister, Société Industrielle de Sonceboz SA, présente également le point de vue du constructeur. Il met en évidence les différents paramètres à considérer pour une application et

compare les avantages et inconvénients respectifs des variantes de moteurs polarisés (avec aimant) ou à réluctance variable (sans aimant). Une comparaison est également effectuée en ce qui concerne les performances, la complexité de l'électronique et le prix. (Caractéristiques et utilisations des moteurs pas à pas polarisés)

A. Cassat de Hermes Precisa International donne le point de vue de l'utilisateur qui doit résoudre le problème de l'entraînement de la tête d'impression d'une imprimante. Après une analyse comparative entre une variante à moteur à courant continu et une variante à moteur pas à pas qui justifiera le choix de la deuxième solution, l'auteur présente les problèmes principaux qu'exige sa mise en œuvre. Il aborde en particulier le problème de l'utilisation optimale d'un microprocesseur et les contraintes que celui-ci impose au système. (Entraînement d'une tête d'impression par un moteur pas à pas)

G. Skudelny de IBM Deutschland à Böblingen présente le point de vue de l'utilisateur de moteurs pas à pas pour des imprimantes d'ordinateurs. Il cite en détail le problème particulier de l'avance du papier qui doit se faire dans un temps minimum quelle que soit la charge (une ou plusieurs feuilles superposées) et l'avance exigée (avance d'une ou plusieurs lignes, saut de page, etc.). Pour maîtriser efficacement ce problème, il a fallu résoudre complètement les équations différentielles électriques d'un moteur pas à pas. Il est alors possible de calculer l'évolution des couples du moteur (positifs et négatifs) en fonction de l'angle de phase du rotor et en fonction de la vitesse de rotation. Ces fonctions liant les différents paramètres du moteur sont alors mémorisées dans le logiciel du microprocesseur. Partant des indications données par le capteur de position/vitesse, le microprocesseur calculera la valeur idéale du courant pour que le couple du moteur soit en tout temps pratiquement égal à celui de la charge, quels que soient les inerties et les frottements. On supprime ainsi radicalement les oscillations dynamiques du rotor. Les avantages de cette technique de régulation sont la réduction importante des temps de transfert et la fiabilité de la précision du positionnement final, quelle que soit la charge. (Probleme von Schrittmotoren in Ein-/Ausgabegeräten der elektronischen Datenverarbeitungsanlagen)

A. Pittet de l'EPFL présente un exposé sur le micro-moteur pas à pas monophasé qui est caractérisé par une puissance mécanique faible, généralement comprise entre 1 μW et 10 W. La taille réduite de tels moteurs implique une miniaturisation poussée. Malgré les faibles puissances consommées par de tels moteurs, des rendements relativement élevés sont souhaités. Il s'agit d'accroître le plus possible la durée de vie d'une batterie, de réduire les coûts de l'électronique de commande ou de limiter les échauffements. Pour des moteurs de petites tailles, un rendement élevé ne peut être obtenu qu'avec l'aide d'un aimant permanent. A travers deux exemples, l'auteur expose quelques problèmes liés au caractère monophasé de ces moteurs; pour pouvoir fonctionner correctement, ils doivent avoir des géométries spéciales, obtenues à l'aide de pôles ou de dents asymétriques ou à l'aide d'un rotor auxiliaire calé sur le même axe que le rotor principal, éventuellement à l'aide de spires en court-circuit. L'auteur présente les caractéristiques de fonctionnement des moteurs monophasés en régime start–stop, à fréquence élevée et en fonctionnement en moteur synchrone lorsqu'ils sont alimentés par le réseau. (Micro-moteurs pas à pas monophasés – Caractéristiques et applications) *N. Wavre,* ETEL S.A., 1025 Saint-Sulpice

Commission Electrotechnique Internationale (CEI)

Réunion du CE 3, Symboles graphiques, et du SC 3A, Symboles graphiques pour schémas, du 26 au 29 septembre 1977 à Berne

CE 3, Symboles graphiques

Le CE 3 a siégé le 28 septembre 1977. M. Georgii, dont le mandat de président était arrivé à terme, a été prié par le Bureau Central de la CEI de bien vouloir encore présider cette séance, la décision sur l'élection du nouveau président, M. Ducommun, Suisse, n'étant intervenue que peu de jours avant la réunion. M. Walser, vice-président du CES a souhaité la bienvenue aux délégués.

Le Comité a pris connaissance du résultat du vote relatif au document *3(Bureau Central)550,* Modification de la publication 416, principes généraux pour l'établissement des symboles graphiques d'information.

Le nombre de votes favorables étant suffisant, il a encore été procédé à quelques retouches d'ordre rédactionnel et le document pourra être publié sous forme d'un supplément à la Publication 416.

Tant le président que le secrétaire du SC 3C avaient demandé à se retirer. Le Comité National Français ayant pu accepter le secrétariat, il a été possible au CE 3 de ratifier les nominations de MM. Robert Mauduech, France, comme secrétaire et Hans Höpp, Allemagne Fédérale, comme président. Les deux intéressés ont accepté leur nomination.

Les Sous-Comités 3A et 3B ainsi que le Groupe de Travail Mixte CCI/CEI (GTM) ont présenté leurs rapports qui ont été acceptés. M. Nordelöf, Suède, a demandé à être relevé de ses fonctions de secrétaire au SC 3B et au GTM. La France a accepté le secrétariat du GTM et proposé M. Dubray comme secrétaire. Le Comité National Suédois a annoncé qu'il serait en mesure, par l'intermédiaire de son secrétariat, d'assurer la continuité du secrétariat du SC 3B, mais n'a pas désigné nommément un successeur à M. Nordelöf.

M. Ducommun, Suisse, a été présenté comme nouveau président du CE 3. Il prendra ses fonctions immédiatement après la réunion. *M. Ducommun*

SC 3A, Symboles graphiques pour schémas

Le Sous-Comité 3A s'est réuni les 26, 27 et 29 septembre 1977 sous la présidence de M. Georgii, Suisse. M. Jud, vice-président du Comité Electrotechnique Suisse a salué les délégués. Les Comités Nationaux suivants étaient représentés: Allemagne Fédérale, Canada, Finlande, France, Japon, Norvège, Pays-Bas, Royaume Uni, Suède, Suisse, U.S.A. Assistaient également à la réunion en tant qu'observateurs: MM. D. J. Dormer, Conseiller du CCITT et A. Truffert, du Bureau Central de la CEI.

Le Sous-Comité à pris connaissance des résultats des votes sous la Règle des Six Mois des documents *3A(Bureau Central)74, 3A(Bureau Central)76* et *3A(Bureau Central)77.*

Les documents *3A(Bureau Central)75* et *3A(Bureau Central)80* avaient été diffusés sous la Procédure des Deux Mois.

Les résultats des votes étant favorables, la publication de ces documents se fera de la manière suivante: Le document, 3A(Bureau Central)74 sera publié dans la prochaine édition de la Publication 117-3. Les 3 documents 3A(Bureau Central)75, 76 et 77 feront l'objet d'une nouvelle partie de la Publication 117. Le document 3A(Bureau Central)80 sera publié sous forme d'un supplément à la Publication 117-15C.