Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 106 (2015)
Heft: 7

Artikel: Les "memory motors"
Autor: Besson, Christophe / Savary, Alain / Jaccard, Matthieu
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-856676

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

Les « memory motors »

Un nouveau type de moteurs synchrones particulièrement flexibles et efficients

Une nouvelle technologie a été récemment développée afin de combiner les avantages des moteurs synchrones à aimants permanents et à rotor bobiné. Basée sur la magnétisation et la démagnétisation des aimants en cours de fonctionnement par le biais de brèves impulsions de courant, elle permet d'élargir la plage de fonctionnement et d'améliorer l'efficacité énergétique à haute vitesse d'un nouveau type de moteurs synchrones : les « memory motors ». Un prototype a été réalisé pour évaluation à la HEIG-VD.

Christophe Besson, Alain Savary, Matthieu Jaccard

Le développement des premiers « memory motors » est relativement récent [1-3]. Les publications mentionnent en effet souvent le concept proposé et publié par Vlado Ostovic en 2001. Toutefois, certaines idées et certains prototypes apparaissent dans de rares articles plus anciens.

Le côté innovant de ce nouveau type de moteurs synchrones repose sur le contrôle du niveau de magnétisation des aimants à l'aide de courtes impulsions de courant, et ce, en cours de fonctionnement. Ces moteurs présentent plusieurs propriétés intéressantes par rapport aux autres moteurs synchrones. Ils permettent en effet d'envisager une amélioration de l'efficacité énergétique, ainsi qu'un élargissement de la plage de fonctionnement couple-vitesse.

Cet article présente, d'une part, de manière succincte, les avantages, le principe de fonctionnement et les propriétés des memory motors, puis, d'autre part, les principaux résultats de mesures obtenus avec un prototype développé, simulé et testé pour illustrer et évaluer ce nouveau concept [4].

Motivation

Les memory motors ont été développés en vue de combiner les avantages du moteur synchrone à aimants permanents avec ceux du moteur synchrone à rotor bobiné.

Le moteur synchrone à aimants permanents

Le moteur synchrone à aimants permanents (figure 1a), appelé aussi moteur brushless, est de plus en plus souvent utilisé dans de nombreux domaines : machine-outil, robotique, automobile, équipements informatiques, etc. Il est en effet capable de fournir un couple volumique élevé avec un bon rendement. Le couple nominal est applicable jusqu'à la vitesse nominale, ce qui correspond à l'équilibre thermique acceptable du moteur. Le flux d'excitation, créé par les aimants, n'est pas réglable.

Dans de nombreuses applications, pour dépasser la vitesse nominale, une commande par affaiblissement du champ appelée défluxage est utilisée. Cette méthode permet d'augmenter la vitesse de l'ordre de 1,5 à 4 fois la vitesse nominale selon les cas. En fait, un flux qui s'oppose à celui des aimants est produit avec un système de contrôle du courant. Cette opération génère toutefois des pertes par effet Joule dans le bobinage statorique et un échauffement durant l'ensemble de la phase de défluxage.

Le moteur synchrone à rotor bobiné

Le moteur synchrone à rotor bobiné (figure 1b) permet quant à lui de contrôler de manière simple le flux d'excitation, et donc la tension induite, avec un courant rotorique réglable. Ceci génère cependant des pertes Joule dans l'enroulement rotorique. De plus, le système de bagues et de balais généralement utilisé engendre des frottements et limite les performances.

Les memory motors

Les memory motors permettent pour leur part de contrôler le flux d'excitation produit par les aimants à l'aide d'une

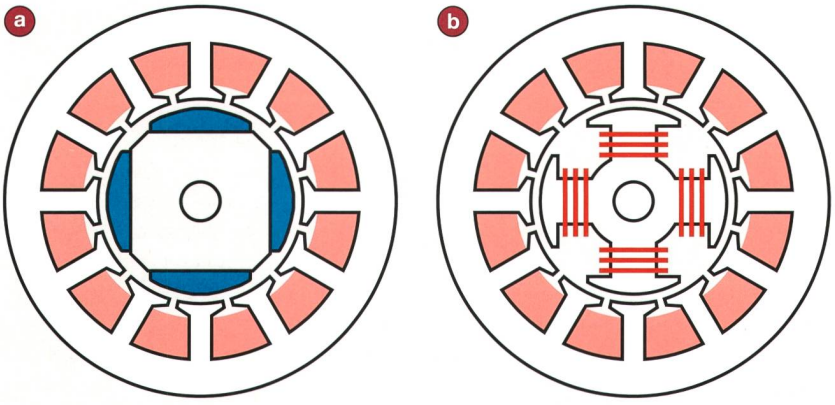

Figure 1 Moteurs synchrones (a) à aimants permanents et (b) à rotor bobiné.

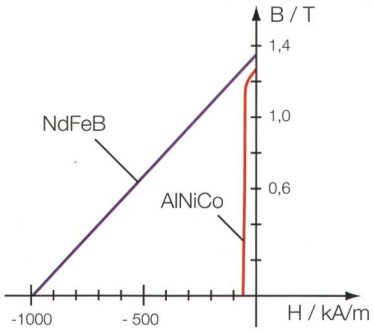

Figure 2 Caractéristiques typiques des aimants AlNiCo et NdFeB.

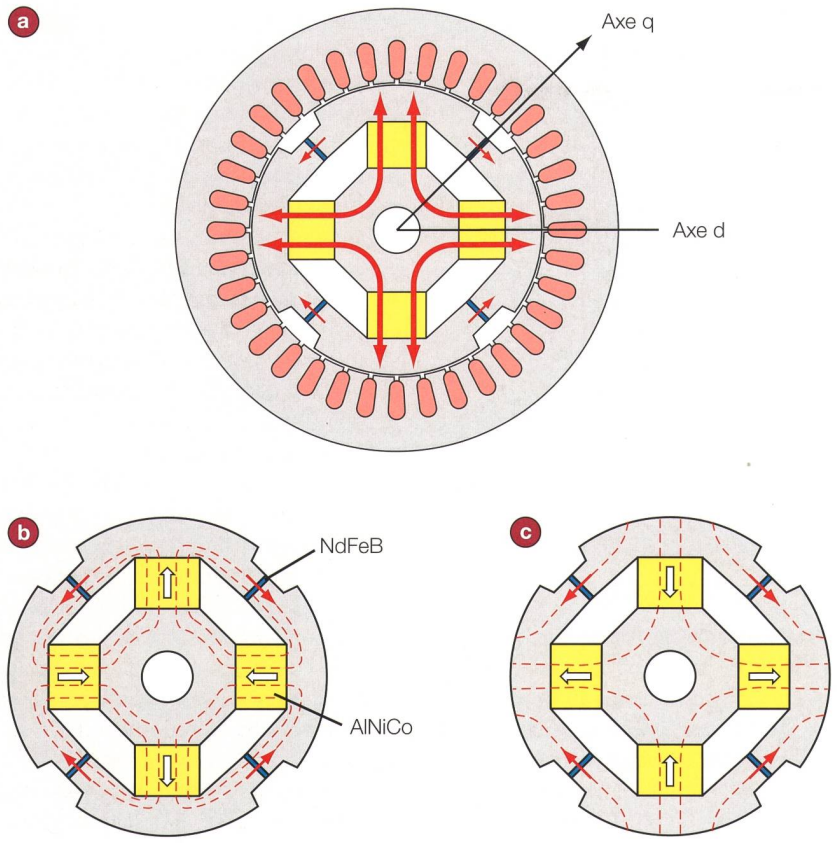

Figure 3 Principe de fonctionnement : (a) Flux magnétisant ou démagnétisant les aimants AlNiCo (axe d) ; (b) Rotor avec flux minimal généré dans le stator ; (c) Rotor avec flux maximal généré dans le stator.

brève impulsion de courant. Cette impulsion, dont l'amplitude représente généralement plusieurs fois celle du courant nominal (typiquement 3 à 10 fois), permet en cours de fonctionnement d'inverser, de magnétiser ou de démagnétiser, partiellement ou totalement, les aimants permanents. Cette impulsion est si courte, de quelques millisecondes à quelques centaines de millisecondes, que les pertes engendrées par cette opération sont négligeables par rapport aux pertes du moteur. Le flux d'excitation reste ensuite inchangé aussi longtemps que la magnétisation des aimants n'est pas modifiée par une autre impulsion de courant, d'où la dénomination anglo-saxonne de memory motors.

La démagnétisation partielle ou totale des aimants lors du fonctionnement permet de réaliser l'affaiblissement du champ nécessaire à l'augmentation de la vitesse, et ce, sans maintenir en permanence un courant statorique (et donc des pertes Joule) pour produire un flux s'opposant à celui des aimants. Cette propriété est bénéfique en vue de l'augmentation du rendement et de l'extension de la plage des vitesses de fonctionnement. De façon similaire au moteur à rotor bobiné, il est possible de modifier en fonctionnement le flux d'excitation et par conséquent la tension induite, grâce au contrôle de la magnétisation des aimants, mais sans engendrer des pertes Joule au niveau du rotor. Les nouvelles topologies de memory motors combinent ainsi les avantages du moteur synchrone à rotor bobiné (réglage du flux d'excitation) et du moteur synchrone à aimants permanents (pas de pertes Joule au niveau du rotor pour créer le flux d'excitation).

Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement des memory motors consiste à utiliser pour la réalisation du rotor des aimants de type AlNiCo dont on peut changer le niveau de magnétisation en cours d'utilisation du moteur.

Caractéristiques des aimants AlNiCo

Les aimants AlNiCo présentent une induction rémanente B_r relativement élevée, voisine de 1,25 T (figure 2), ce qui est souhaitable pour obtenir un couple important. Ils ont un coude dans la caractéristique *B(H)* relativement haut et un faible champ coercitif H_c, de l'ordre de 50 à 100 kA/m, ce qui permet de modifier le niveau de magnétisation au sein du moteur sans avoir à appliquer une impulsion de courant d'amplitude élevée. Les aimants AlNiCo présentent en outre un coefficient de température relativement faible (-0,02 %/°C) et un coût nettement inférieur à celui des aimants NdFeB. À noter que d'autres types d'aimants avec des propriétés semblables aux AlNiCo, comme les aimants de type FeCrCo, peuvent aussi être employés.

Le champ coercitif H_c des aimants de type NdFeB est quant à lui nettement supérieur à celui des aimants AlNiCo. En fait, le champ nécessaire pour la démagnétisation d'un aimant AlNiCo est environ 10 à 20 fois plus faible que celui d'un aimant NdFeB. La nouvelle technologie employée dans les memory motors utilise donc une propriété qui était considérée, ces dernières années, comme un point faible des aimants AlNiCo.

Construction

La figure 3 présente schématiquement le rotor à 4 pôles du prototype développé dans le cadre de l'étude. Celui-ci comporte 4 aimants à « magnétisation

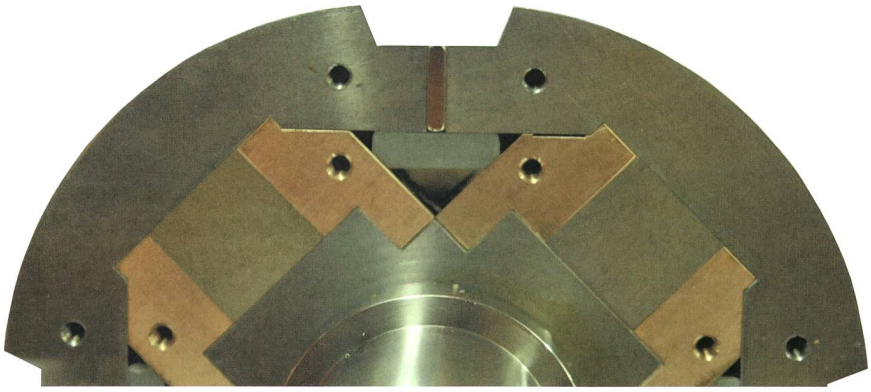

Figure 4 Rotor du prototype réalisé : vue de face.

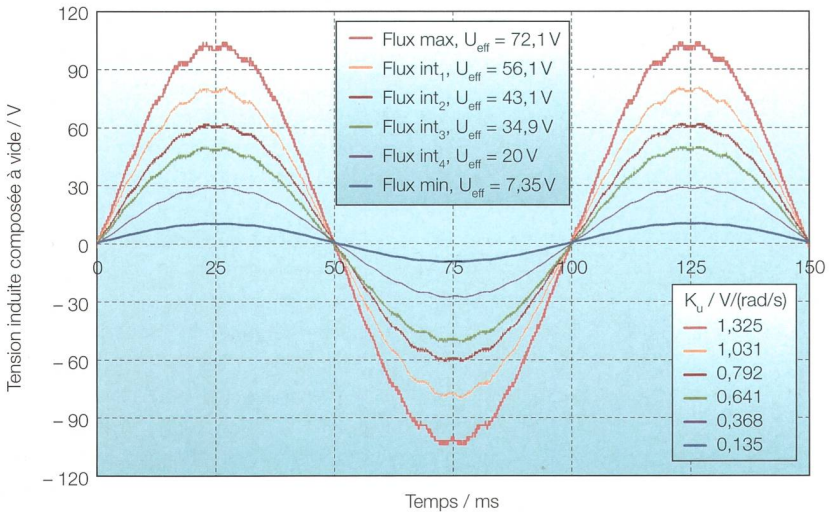

Figure 5 Tension induite de mouvement mesurée à 300 tr/min pour différents niveaux de magnétisation.

constante » en NdFeB et 4 aimants à « magnétisation variable » en AlNiCo. Les aimants de type NdFeB employés ont une caractéristique *B(H)* linéaire dans une large plage de température afin qu'ils ne puissent pas être démagnétisés (figure 2).

Principe

Les aimants en NdFeB du rotor, dont la magnétisation reste inchangée au cours du fonctionnement, apportent un certain niveau de flux traversant l'entrefer. Les aimants AlNiCo vont permettre, selon leur magnétisation, d'augmenter ou de diminuer ce flux. Comme pour les moteurs synchrones à aimants classiques, le contrôle du couple est réalisé par la composante transverse i_q du courant statorique. Le flux créé par i_q n'intervient pas sur la magnétisation des AlNiCo.

La composante directe i_d crée pour sa part un flux qui s'ajoute au flux des aimants AlNiCo ou qui s'y oppose. En réglant l'amplitude et le signe du courant i_d, il est possible de créer un flux magnétisant ou démagnétisant les AlNiCo (figure 3a). Un convertisseur électronique classique peut alors être utilisé pour alimenter le moteur. Il faut toutefois adapter les algorithmes de commande pour gérer de manière adéquate les impulsions de courant i_d (amplitude, durée et cycles).

Dans le cas de la figure 3b, les aimants AlNiCo créent un champ magnétique qui circule à l'intérieur du rotor dans le même sens que celui des aimants NdFeB. Le champ de tous les aimants circule alors essentiellement au sein du rotor et ne traverse que relativement peu l'entrefer. Dans ce cas, le flux créé par les aimants dans les bobines statoriques est minimal. La constante de tension induite est faible. Le moteur se prête ainsi bien à un travail à haute vitesse et faible couple.

En appliquant des impulsions dans l'axe direct du courant statorique, il est possible d'inverser la polarisation des aimants AlNiCo. Dans ce cas, au niveau du rotor, les aimants AlNiCo s'opposent aux aimants NdFeB (figure 3c). Le flux des aimants AlNiCo et celui des aimants NdFeB traversent l'entrefer et le flux créé par les aimants dans les bobines statoriques est maximal. La constante de couple est élevée. Le moteur se prête alors bien à un travail à basse vitesse et fort couple.

Utilisation

Selon le principe décrit à la figure 3, il est possible de proposer un moteur avec deux modes de fonctionnement : basse vitesse et fort couple (figure 3c) ou haute vitesse et bas couple (figure 3b). Dans le cas d'une machine-outil, par exemple, on peut imaginer que le moteur soit utilisé pour une opération de fraisage (petite vitesse et fort couple). Il suffit ensuite de stopper le moteur durant un court instant afin d'appliquer les impulsions de courant nécessaires pour inverser la polarisation des AlNiCo. Le même moteur pourra alors tourner à grande vitesse, à faible couple, pour une opération de perçage. Dans ce cas, le niveau de magnétisation ne doit pas être réglé. Il suffit d'appliquer une ou plusieurs impulsions de courant d'amplitude suffisante pour inverser la polarisation des AlNiCo. Notons que les impulsions de courant, pour passer d'un mode de fonctionnement à l'autre peuvent aussi être appliquées lorsque le moteur tourne.

En agissant sur l'amplitude, sur la durée et sur le nombre d'impulsions de courant appliqués, il est possible de régler le flux d'excitation produit par les aimants rotoriques sur toute la plage entre les deux cas de fonctionnement extrêmes de la figure 3. Des niveaux de flux d'excitation intermédiaires peuvent alors être imposés, ce qui permet d'élargir la plage de fonctionnement dans le plan couple-vitesse et d'optimiser le rendement.

L'alimentation avec un réglage découplé des composantes de courant, dans l'axe q et dans l'axe d, permet de contrôler respectivement le couple et le niveau

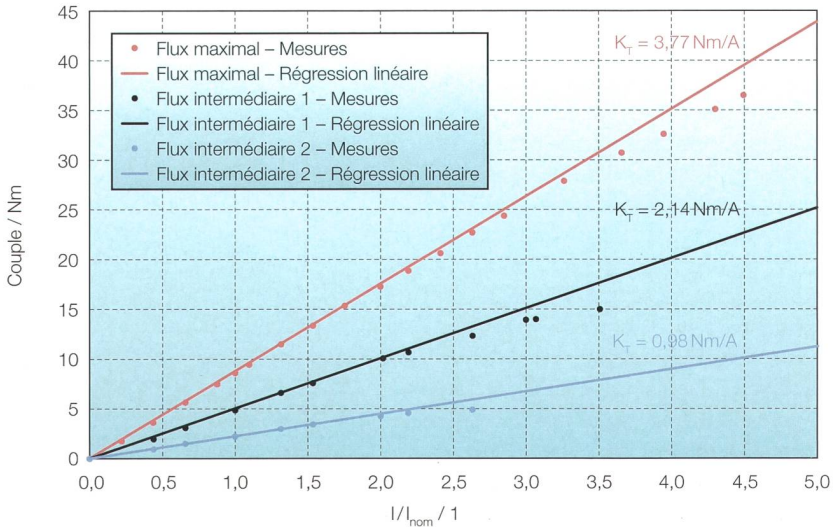

Figure 6 Couple mesuré en fonction du courant pour différents niveaux de magnétisation.

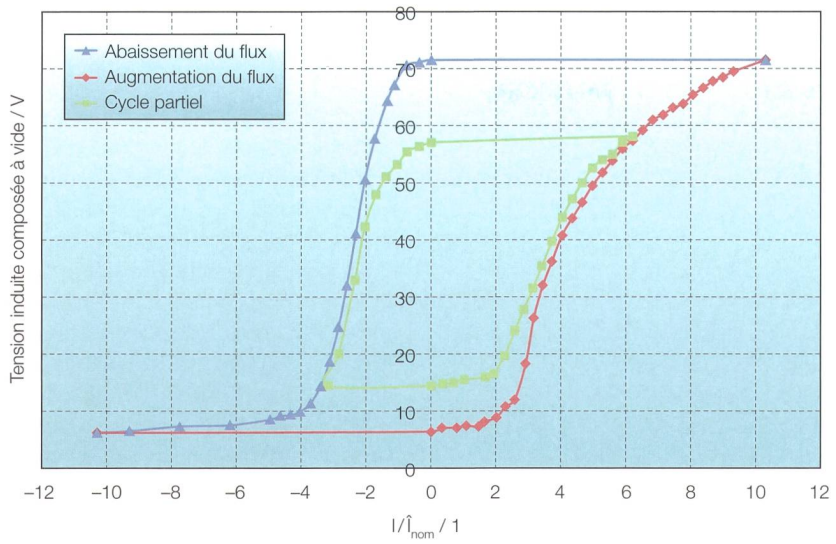

Figure 7 Abaissement et augmentation du flux, cycle complet et cycle partiel. Tension induite de mouvement mesurée à 300 tr/min.

de magnétisation des aimants de manière indépendante.

Mesures du prototype

Un prototype de memory motor a été réalisé à la Haute école d'ingénierie et de gestion du canton de Vaud (HEIG-VD) afin d'effectuer des mesures permettant d'évaluer ce nouveau type de moteurs. La **figure 4** présente une vue en coupe du rotor développé avant son introduction dans la machine.

Constantes caractéristiques du moteur

La variation du flux dans la phase, créée par la rotation des aimants, engendre une tension induite U_{im} proportionnelle à la vitesse Ω, appelée tension induite de mouvement. En pratique, la constante de tension induite K_u est définie telle que :

$$U_{im} = K_u \cdot \Omega$$

La **figure 5** montre, pour différents niveaux de magnétisation, les mesures des tensions induites générées par le flux des aimants lors d'un essai en génératrice à vide. Le contrôle de la magnétisation des aimants par les impulsions de courant permet de régler la grandeur K_u qui reste constante hors impulsions. Le prototype permet de faire varier cette constante d'un facteur proche de 10.

Hors saturation magnétique, le couple électromagnétique T est proportionnel au courant I, ce qui permet de définir la constante de couple K_T:

$$T = K_T \cdot I$$

Le graphique de la **figure 6** montre la caractéristique du couple en fonction du courant pour différents niveaux du flux d'excitation. Pour le prototype réalisé, en dehors des impulsions dans l'axe d, un courant dans l'axe q de près de 5 fois le courant nominal permet de créer un couple important sans modifier le niveau de magnétisation des aimants AlNiCo. Il est donc possible d'appliquer un couple impulsionnel élevé pendant les phases d'accélération ou de décélération sans perturber le niveau de magnétisation des aimants AlNiCo.

Contrôle du flux d'excitation

La **figure 7** présente la caractéristique de réglage du flux créé par les aimants dans le stator, à l'image de la tension induite de mouvement. I est l'amplitude de l'impulsion de courant à appliquer dans l'axe direct pour modifier le niveau de magnétisation des aimants AlNiCo. Pour cette mesure, l'impulsion de courant dans l'axe d a été appliquée à l'arrêt pendant une durée suffisante, de l'ordre d'une seconde, afin que le courant soit bien établi. La tension induite a ensuite été mesurée lors d'un essai en génératrice à vide à 300 tr/min.

La courbe bleue, avec les marqueurs triangulaires, montre l'amplitude de l'impulsion de courant à appliquer pour réduire le flux d'excitation en partant du cas à flux maximal **(figure 3c)**. La courbe rouge, avec les marqueurs en losange, montre l'amplitude de l'impulsion de courant à appliquer pour augmenter le flux d'excitation en partant du cas à flux minimal **(figure 3b)**. La courbe verte présente un cycle partiel.

La caractéristique non linéaire avec des variations brutales de la courbe dans la zone d'abaissement ou d'augmentation du flux complique le réglage. Le dimensionnement du moteur permet d'adapter, dans une certaine mesure, cette caractéristique. La stratégie de commande avec le contrôle du niveau de magnétisation afin d'optimiser les performances est un vaste sujet d'étude qui est encore ouvert.

Régimes transitoires

La **figure 8** montre un exemple de régime transitoire relevé sur les courants lors d'une démagnétisation partielle en fonctionnement à 200 tr/min avec couple de charge constant. Dans cet

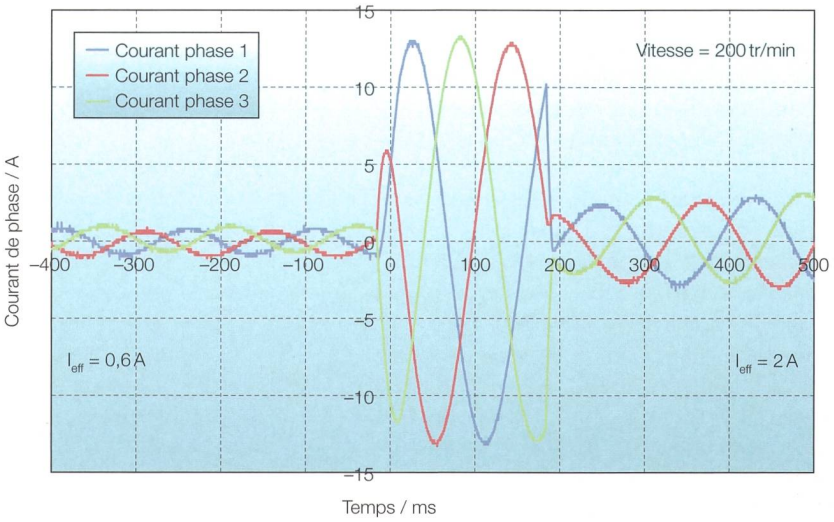

Figure 8 Régime transitoire des courants de phase mesuré lors d'une impulsion de courant abaissant le flux d'excitation.

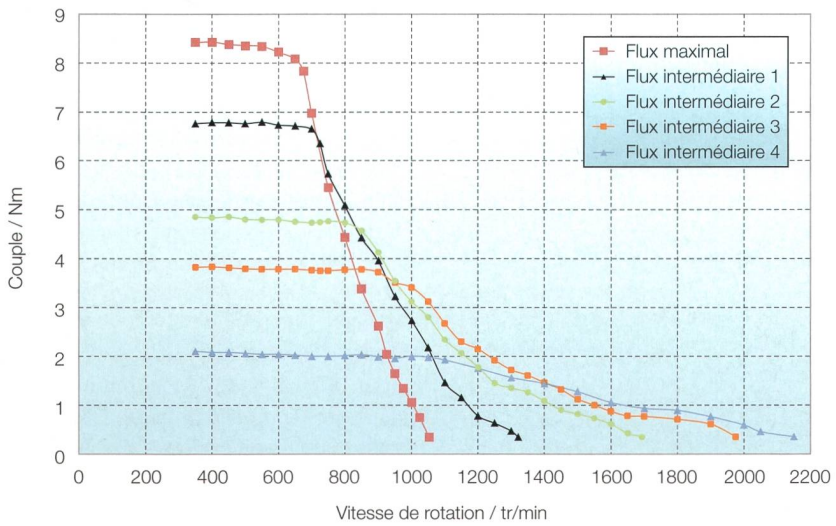

Figure 9 Caractéristiques « couple-vitesse » mesurées pour différents niveaux de magnétisation.

exemple, une impulsion de courant a été appliquée dans l'axe direct pendant 200 ms afin d'abaisser le flux d'excitation généré par les aimants dans le stator. L'amplitude de l'impulsion de courant représente ici environ 4 fois celle du courant nominal. Avant l'impulsion, la valeur efficace mesurée du courant s'élève à 0,6 A pour produire le couple. Après l'impulsion, la régulation de vitesse augmente le courant pour maintenir le couple demandé afin d'assurer une vitesse constante. Le courant se stabilise à environ 2 A de manière durable. Cet essai montre que le flux d'excitation a été réduit et qu'il est maintenu en dehors des impulsions.

Dans de nombreuses applications, on applique des courants transitoires dans l'axe q, de l'ordre de 3 à 8 fois le courant nominal, pour générer le couple d'accélération. Dans de tels cas, les impulsions de courant nécessaires dans l'axe d afin de régler le niveau de magnétisation ne conduisent pas à un surdimensionnement onéreux de l'alimentation électronique.

Caractéristiques couple-vitesse à différentes magnétisations

La **figure 9** présente la caractéristique couple-vitesse mesurée avec différents niveaux de magnétisation. Tous les points de fonctionnement sont relevés avec le courant nominal appliqué dans l'axe transversal (hors impulsions, $i_d = 0$). La vitesse maximale est ici doublée grâce à l'affaiblissement du flux d'excitation produit par la modification de magnétisation des aimants AlNiCo.

La **figure 10** montre une comparaison de la caractéristique couple-vitesse pour trois types de fonctionnement. Tous les points de mesure sont relevés à courant statorique nominal.

- Cas 1 (courbe rouge) : le rotor est magnétisé préalablement de manière à produire un flux d'excitation maximal, selon la **figure 3c**. Le moteur est alimenté en maintenant les courants en phase avec les tensions induites de mouvement ($i_d = 0$, $i_q = I$). Il s'agit de la commande à couple optimal.
- Cas 2 (courbe verte) : le rotor est également magnétisé préalablement de manière à produire un flux d'excitation maximal, selon la **figure 3c**. Pour les hautes vitesses, un défluxage standard est appliqué. Une partie du courant est alors générée dans l'axe direct, afin de produire un flux s'opposant à celui des aimants, pour élargir la plage de vitesse. L'amplitude du courant appliqué dans l'axe d, inférieure à environ 50 % du courant nominal, ne modifie pas la magnétisation des aimants AlNiCo. La zone de défluxage impose la présence d'un courant en permanence dans l'axe direct.
- Dans le cas 3 (courbe bleue), pour les basses vitesses seulement, le rotor est magnétisé de manière à produire un flux d'excitation maximal. Afin d'augmenter la vitesse, le niveau de magnétisation des aimants est modifié par de courtes impulsions de courant dans le but de réduire le flux d'excitation. Hors impulsion, les courants sont en phase avec les tensions induites de mouvement ($i_d = 0$, $i_q = I$). La courbe correspond à l'enveloppe externe des courbes présentées sur le graphique de la **figure 9**.

La **figure 10** montre que le contrôle du niveau de magnétisation des aimants permet d'atteindre une vitesse supérieure à celle obtenue avec la méthode de défluxage standard appliquée à ce rotor. La vitesse maximale est augmentée ici d'environ 20 %. De plus, il est possible d'obtenir un couple supérieur dans toute la zone avec affaiblissement du flux. Ceci est dû au fait qu'il n'est pas nécessaire d'appliquer une composante de courant i_d en permanence durant le défluxage et que la totalité du courant, hors impulsions, peut être appliquée dans l'axe q.

Rendements

La **figure 11** présente les rendements mesurés correspondants aux points de fonctionnement de la **figure 10**. Le

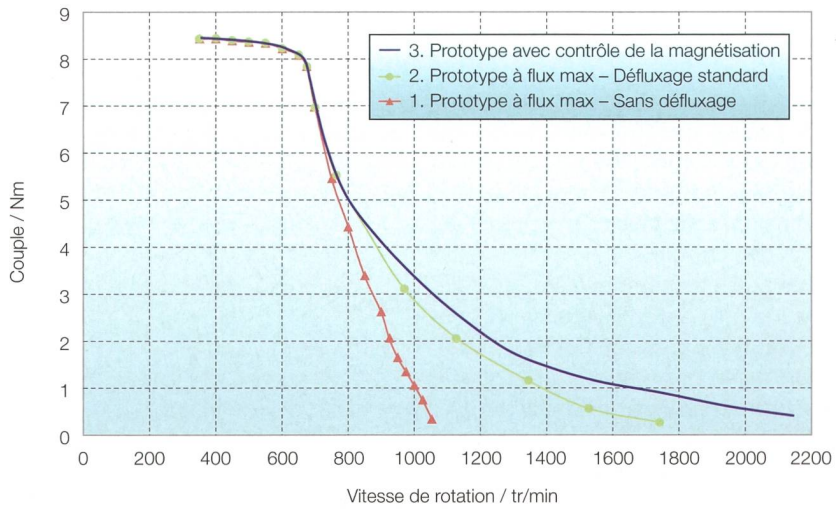

Figure 10 Comparaison des graphiques « couple-vitesse » dans le cas d'un défluxage standard et dans le cas d'un contrôle de la magnétisation des aimants AlNiCo (U_{DC} = 450 V).

Figures: HEIG-VD

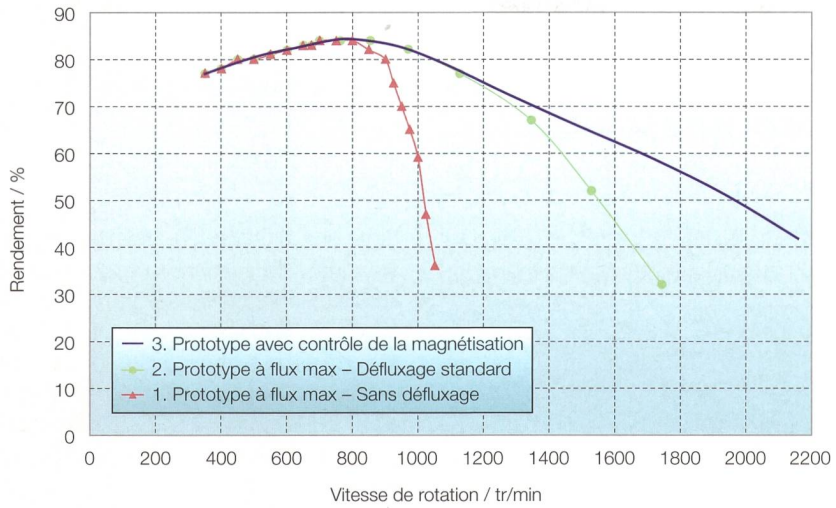

Figure 11 Rendement pour les points de fonctionnement mesurés dans le cas d'un défluxage standard et dans le cas d'une modification de la magnétisation des aimants AlNiCo (U_{DC} = 450 V).

contrôle de la magnétisation des aimants permet d'élargir la plage couple-vitesse disponible et conduit à de meilleurs rendements dans la zone à haute vitesse. Pour des raisons pratiques, les essais ont été réalisés à une puissance relativement limitée, ce qui justifie les niveaux de rendement mesurés qui atteignent une valeur maximale voisine de 84 %.

Les mesures réalisées avec le prototype montrent que pour le fonctionnement avec un défluxage standard, le rendement chute au dessous de 50 % au-delà de 1550 tr/min. Avec le contrôle de la magnétisation des aimants, le rendement reste supérieur à 50 % jusqu'à environ 1950 tr/min.

Fiabilité

Au niveau de la fiabilité, on peut noter que dans le cas d'un moteur synchrone à aimants traditionnel, en cas de défaillance du convertisseur à haute vitesse lors du défluxage, le moteur génère une surtension potentiellement dommageable car le flux des aimants n'est pas réduit. Ce risque disparaît avec le memory motor puisque le flux généré par les aimants dans le stator est préalablement abaissé pour augmenter la vitesse.

Conclusions

Le prototype développé et les différents essais réalisés montrent l'intérêt de cette nouvelle technologie. La structure proposée, avec un stator conventionnel, est relativement facile à industrialiser. Elle n'utilise que des matériaux disponibles sur le marché. De plus, une alimentation électronique standard avec contrôle vectoriel peut être employée.

Les stratégies de commandes peuvent être adaptées et optimisées afin d'exploiter au mieux le potentiel de ce concept et de prendre en compte la caractéristique non linéaire de la magnétisation. Les propriétés particulières de ces machines avec contrôle de la magnétisation des aimants en fonctionnement apportent des perspectives intéressantes pour différentes topologies de moteurs et de générateurs.

Références

[1] V. Ostovic: Memory motors - a new class of controllable flux PM machines for a true wide speed operation. Conference Record of the 2001 IEEE Industry Applications Conference, Thirty-Sixth IAS Annual Meeting, pp. 2577-2584, 30 Sept. - 4 Oct. 2001.

[2] K. Sakai, K. Yuki, Y. Hashiba, N. Takahashi, K. Yasui: Principle of the variable-magnetic-force memory motor. International Conference on Electrical Machines and Systems, ICEMS 2009, Tokyo, Japan, 15-18 Nov. 2009.

[3] C. Yiguang, P. Wei, W. Ying, T. Renyuan, W. Jing: Interior composite-rotor controllable-flux PMSM-memory motor. Proceedings of the Eighth International Conference on Electrical Machines and Systems, ICEMS 2005, Vol. 1, pp. 446-449, 25-27 Sept. 2005.

[4] C. Besson, A. Savary, M. Jaccard: Moteur synchrone avec contrôle de la magnétisation des aimants en fonctionnement. Symposium de Génie Electrique SGE 2014, Cachan, Paris, France, 8-10 juillet 2014.

Auteurs

Christophe Besson enseigne les machines électriques et les simulations électromagnétiques à la HEIG-VD depuis 2002. Il développe des activités de Ra&D et des mandats industriels au sein de l'Institut d'énergie et systèmes électriques (IESE) dans le domaine des moteurs et des générateurs électriques.
HEIG-VD, 1401 Yverdon-les-Bains, christophe.besson@heig-vd.ch

Alain Savary a obtenu un diplôme Bachelor en génie électrique, orientation systèmes énergétiques. Il est collaborateur scientifique à la HEIG-VD pour des activités de Ra&D et pour la réalisation de mandats industriels dans le domaine des moteurs électriques.
alain.savary@heig-vd.ch

Matthieu Jaccard a obtenu un diplôme Master of Science in Engineering (MSE), orientation technologies industrielles, à la Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO). Il est collaborateur scientifique à la HEIG-VD pour des activités de Ra&D et pour la réalisation de mandats industriels dans le domaine des moteurs électriques.
matthieu.jaccard@heig-vd.ch

Ce projet a été financé par le réseau de compétences lié aux techniques énergétiques de la HES-SO.

Zusammenfassung **«Memory Motors»**

Eine neue Art von Synchronmotoren, die besonders flexibel und effizient sind

Permanentmagnet-Synchronmotoren werden immer häufiger in diversen Bereichen eingesetzt. Da der von den Magneten erzeugte Erregungsfluss nicht regulierbar ist, wird zur Erhöhung der Nenndrehzahl eine Feldschwächesteuerung eingesetzt, die sogenannte Feldschwächung. Dabei wird ein Fluss erzeugt, der über ein Stromüberwachungssystem dem Magnetfluss entgegenwirkt. Dieser Vorgang führt jedoch zu Stromwärmeverlusten in der Statorwicklung und zur Erwärmung während der gesamten Feldabschwächungsphase.
Die Synchronmaschine mit Schleifringläufer ermöglicht ihrerseits die einfache Kontrolle des Erregungsflusses mit einem steuerbaren Rotorstrom. Dies führt jedoch zu Stromwärmeverlusten in der Rotorwicklung.
Ein relativ neuer Synchronmotortyp, der Memory Motor, verbindet die Vorzüge von PM-Synchronmotoren (keine Stromwärmeverluste im Rotor beim Erzeugen des Erregungsflusses) mit denen von Schleifringläufern (Regulierung des Erregungsflusses). AlNiCo-Magneten im Rotor machen dies möglich, bei denen sich der Magnetisierungsgrad mit einem kurzen Stromimpuls verändern lässt. Dieser ist so kurz, dass die Verluste vernachlässigt werden können. Der Erregungsfluss bleibt dann unverändert, solange die Magnetisierung der AlNiCo-Magnete nicht durch einen weiteren Stromimpuls verändert wird, daher auch die Bezeichnung «Memory Motors». Wie Messungen der HEIG-VD an ihrem Prototypen zeigten, verfügen diese Motoren über einen erweiterten Drehzahl-Drehmoment-Bereich sowie über eine höhere Energieeffizienz bei hohen Geschwindigkeiten. CHe