

Moteurs à courant continu sans collecteurs et entraînements électriques

Autor(en): **Jufer, M.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **78 (1987)**

Heft 19

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-903925>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Moteurs à courant continu sans collecteurs et entraînements électriques

M. Jufer

L'évolution des entraînements électriques fait apparaître une percée du moteur à courant continu sans collecteur au détriment du moteur à courant continu classique. L'article présente une structuration des moteurs d'entraînements électriques permettant d'en déduire les caractéristiques et les équations essentielles. Les spécificités des moteurs à courant continu sans collecteur et synchrone autocommuté sont abordées au travers de leur structure, de leur alimentation et de leur commande. A titre d'exemple d'application à contraintes de fiabilité élevées, l'entraînement d'une pompe cardiaque destinée à un cœur artificiel implantable est présenté.

Die Entwicklung zeigt, dass der kollektorlose Gleichstrommotor den klassischen Gleichstrommotor bei elektrischen Antrieben mehr und mehr verdrängt. Ausgehend von der Gliederung der Antriebsmotoren, werden deren Eigenschaften und die wichtigsten Gleichungen dargestellt. Anschliessend werden die Besonderheiten des kollektorlosen Gleichstrommotors und des selbstkommutierten Synchronmotors in bezug auf Aufbau, Speisung und Steuerung erläutert. Den Abschluss bildet das Anwendungsbeispiel eines Herzpumpenantriebes, an den besonders hohe Anforderungen gestellt werden.

Adresse de l'auteur

Marcel Jufer, Professeur EPFL, Laboratoire d'Electromécanique et de Machines électriques, ch. de Bellerive 16, 1007 Lausanne.

1. Introduction

Trois éléments influencent fondamentalement l'évolution dans le domaine des entraînements électriques, aussi bien en tant que système qu'en ce qui concerne le composant moteur:

- les possibilités de la technologie électronique industrielle, permettant l'intégration de composants de puissance (actuellement jusqu'à quelques centaines de W) et la réalisation de transistors MOS ou FET de puissance;
- les possibilités de commande et de réglage des microprocesseurs, permettant la génération de fonctions de contrôle très élaborées;
- la pression de la demande, principalement en matière de positionnement, de fiabilité, de durée de vie et d'accélération.

L'ensemble de ces facteurs a d'abord conduit au développement et à l'utilisation du moteur pas à pas dans le domaine des périphériques d'ordinateur, puis dans la plupart des processus de commande électromécanique.

Depuis quelques années, la même évolution, à plus large échelle, touche

le moteur à courant continu qui est progressivement remplacé par le moteur à courant continu sans collecteur dans des domaines très variés. On peut citer, outre les périphériques d'ordinateur, la robotique, les commandes d'axe, les filatures, mais également les applications grand public - enregistreurs, magnétoscopes, électroménager, etc. - Les puissances s'accroissent également et s'étagent de quelques W à quelques kW.

Dans les sections qui suivent, les aspects tels que classification, structures, alimentation, commande et quelques exemples d'application sont présentés.

2. Classification des moteurs d'entraînements électriques

2.1 Composants d'un entraînement

Un système d'entraînements électriques est caractérisé par la chaîne de composants suivants (fig. 1):

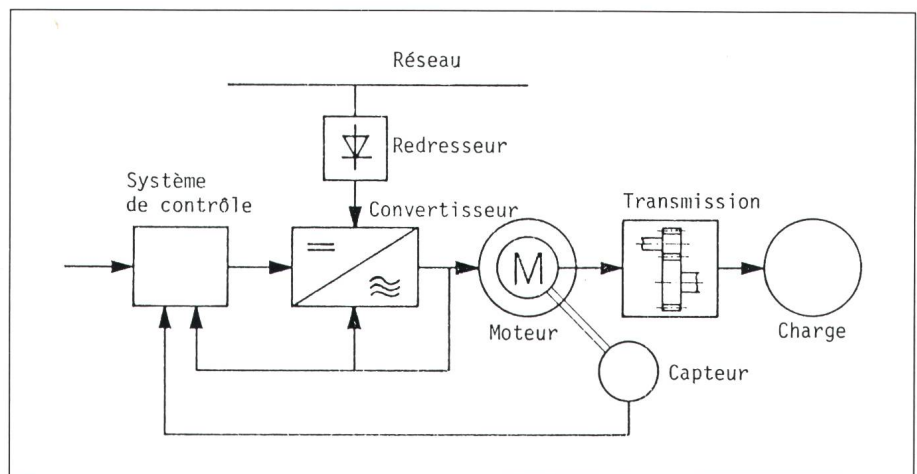


Figure 1 Système d'entraînement électrique

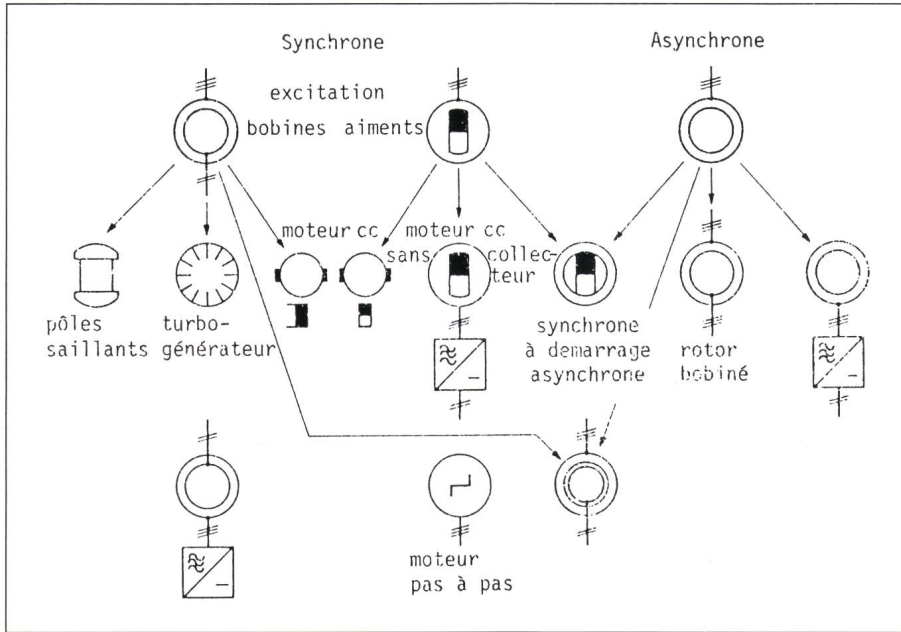


Figure 2 Structuration des principaux moteurs électriques

- l'organe entraîné
- la transmission
- le moteur
- l'alimentation
- le système de réglage et de commande
- les capteurs.

Le choix optimum d'une solution dépend de l'adéquation technico-économique des composants et du système aux performances requises par l'organe entraîné. L'évolution de la demande conditionne principalement l'évolution de la technologie du moteur. Depuis une vingtaine d'années, les besoins structurants en la matière ont été les suivants:

- la nécessité d'une conversion simultanée d'énergie et d'information, qui a débouché sur la réalisation de transducteurs électromécaniques tels que le moteur pas à pas;
- une fiabilité et une durée de vie élevées, qui tendent à exclure le collecteur;
- des performances d'accélération élevées en vue de réduire les temps de transfert, ce qui implique des performances couple/inertie conduisant à des exécutions rotoriques spéciales;
- l'extension de la souplesse d'utilisation telle que vitesse élevée, haute résolution à basse vitesse, accélération élevée, etc.

Peu à peu, le moteur à courant continu sans collecteur, à même de réunir toutes les qualités ci-dessus, supprime d'autres solutions dans la mesure où son principal handicap, le coût de l'alimentation, se résorbe. La structure

et les caractéristiques de ce moteur et de ses périphériques sont décrits dans les paragraphes suivants.

2.2 Caractérisation des principaux moteurs

La figure 2 présente une structuration des divers types de moteurs basée sur les caractères synchrones et asynchrones.

Les moteurs synchrones peuvent d'abord être distingués selon le mode d'excitation, par un bobinage ou des aimants permanents. Dans la version à

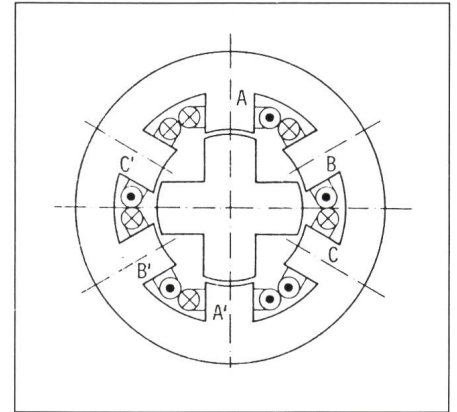


Figure 3 Moteur pas à pas réluctant

aimants permanents, trois modes de fonctionnement de base peuvent être envisagés:

- en circuit ouvert, avec une alimentation à fréquence variable ou à fréquence constante, avec démarrage asynchrone;
- en auto-commutation mécanique relativement à la position, par le biais d'un collecteur et de charbons. On obtient ainsi un moteur à courant continu qui est néanmoins synchrone, par le caractère fixe des champs statorique et rotorique, ce dernier tournant par rapport au rotor;
- en auto-commutation électronique relativement à la position, par le biais de capteurs et d'un pont d'alimentation électronique. On obtient ainsi un moteur à courant continu sans collecteur.

Le moteur pas à pas représente une catégorie particulière de moteur synchrone. Il est caractérisé par une vitesse différente du «champ tournant» statorique et du rotor. Il se produit un

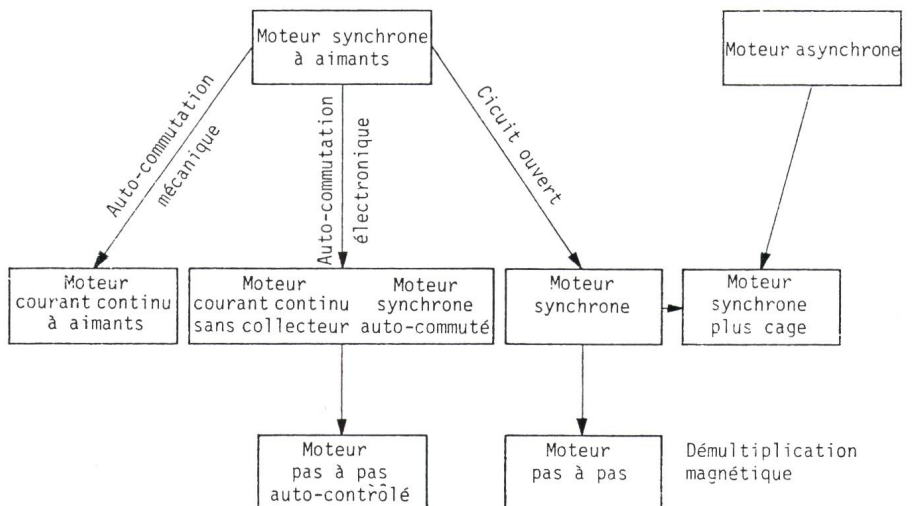


Figure 4 Organigramme des moteurs de positionnement

phénomène de démultiplication de la vitesse. Le moteur pas à pas peut être considéré comme un moteur synchrone, avec un «engrenage magnétique» permettant une réduction de la vitesse et un accroissement de la résolution. A titre d'exemple, le moteur pas à pas réductant de la figure 3 présente un rapport de réduction de $-1/2$. Le moteur pas à pas peut également fonctionner en régime autocommuté.

L'organigramme de la figure 4 met en évidence cette structuration des moteurs à aimants permanents, qui est au centre de l'évolution dans le domaine des entraînements électriques.

2.3 Propriétés des moteurs synchrones

A l'exception du moteur asynchrone, tous les moteurs décrits sont basés directement ou indirectement sur le principe du moteur synchrone. Pour une variante à aimants permanents, on trouvera en annexe I un rappel des principales équations. Celles-ci correspondent au cas d'une alimentation et d'une distribution de l'induction dans l'entrefer sinusoïdales.

En fonction du décalage entre la tension d'alimentation et le rotor, défini par l'angle δ , le couple T évolue sinusoïdalement. La partie renforcée du

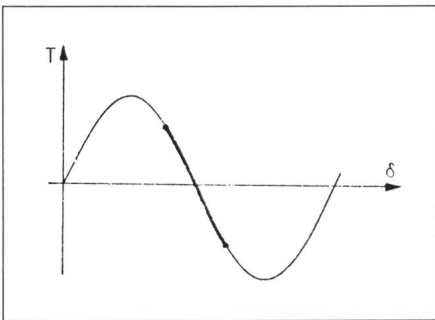


Figure 5 Couple synchrone

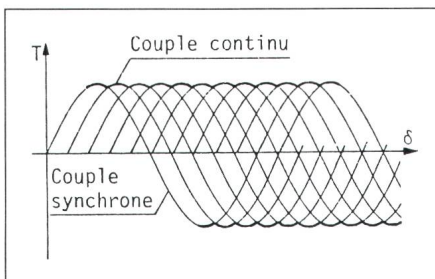


Figure 6 Couple du moteur à courant continu

couple correspond au domaine de fonctionnement usuel en circuit ouvert (fig. 5).

Pour un moteur à courant continu, le couple résultant correspond au maximum de la sinusoïde de couple synchrone (annexe II). Le rôle du collecteur est d'assurer une commutation qui crée un maximum de couple, quelle que soit la position (fig. 6).

3. Moteurs à courant continu sans collecteur et synchrones autocommutés

3.1 Structure du rotor

Le moteur synchrone à aimants permanents comprend un stator classique, généralement triphasé, générant un champ à $2p$ pôles, tournant à une vitesse $\Omega = \omega/p$. Le rotor comprend également $2p$ pôles magnétiques, créés par des aimants permanents. Trois structures principales sont adoptées:

- aimantation radiale, recourant à des aimants à haute énergie magnétique tels que Sm-Co ou Ne-Fe (fig. 7a);
- aimantation tangentielle, recourant à des aimants à énergie faible (ferrite) ou moyenne. Cette disposition permet un renforcement de l'induction dans l'entrefer (fig. 7b);
- rotor constitué d'un aimant isotrope (ferrite) dont les pôles sont obtenus par magnétisation orientée (fig. 7c).

Ces diverses structures peuvent être adoptées aussi bien pour un moteur à courant continu sans collecteur que pour un moteur synchrone autocommuté.

3.2 Moteur à courant continu sans collecteur

Le moteur à courant continu sans collecteur est un moteur synchrone à aimants permanents, commuté en tout ou rien au moyen d'un pont de transistors.

Ce moteur sera généralement triphasé, plus rarement biphasé. L'alimentation est alors effectuée par un pont comprenant 6 transistors et commuté avec 6 états logiques, selon la figure 8, en fonction de la position. Il en résulte une tension d'alimentation périodique en créneaux (fig. 8). Afin d'obtenir un couple résultant relativement constant, il est souhaitable d'a-

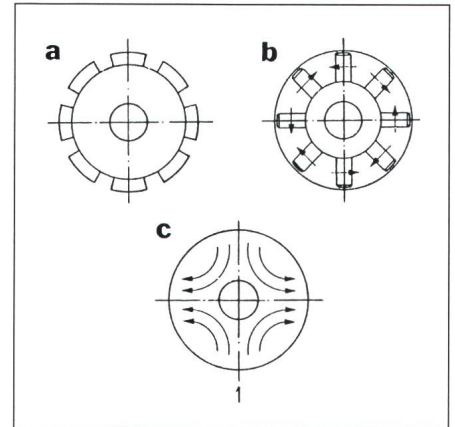


Figure 7 Structure du rotor synchrone

- a à aimants permanents à magnétisation radiale
- b à aimants permanents à magnétisation tangentielle
- c isotrope

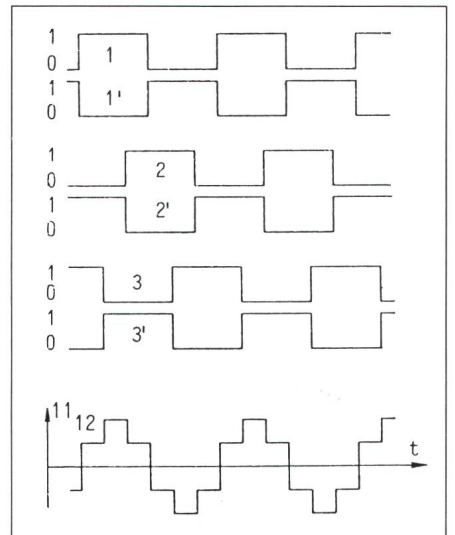


Figure 8 États logiques d'un pont à 6 transistors et tension résultante

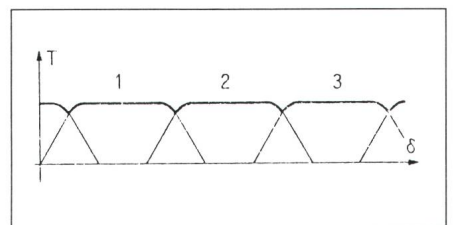


Figure 9 Couple résultant d'un moteur à courant continu sans collecteur

voir un couple par phase, donc une distribution de l'induction d'entrefer, de forme trapézoïdale (fig. 9). La commutation en fonction de la position est réalisée par un capteur de position définissant les six états logiques. Il s'agit fréquemment d'un dispositif formé de trois sondes de Hall, détectant le

champ magnétique créé par les aimants rotatifs.

Ce moteur peut être contrôlé en courant par un hacheur indépendant ou par trois des transistors du pont.

3.3. Moteur synchrone autocommuté

La structure du moteur synchrone autocommuté est la même que celle du moteur à courant continu sans collecteur. Il se distingue principalement par la caractéristique de couple et l'alimentation.

Le couple d'un tel moteur, pour une phase alimentée, est le plus proche possible de la sinusoïde (fig. 10). L'alimentation, commandée en courant en fonction de la position, génère un système polyphasé symétrique de courants sinusoïdaux. Ceux-ci sont réalisés par le biais d'un capteur analogique de type «resolver» ou par un capteur digital à résolution élevée. Il est souvent plus économique de recourir à une technique biphasée, la plupart de ces capteurs étant à deux voies. La combinaison de la caractéristique de couple et du mode d'alimentation permet d'obtenir un couple constant. Il en résulte les avantages suivants:

- vitesse à très faible taux d'oscillation;
- possibilité de positionnement à haute résolution;
- réduction du bruit.

Compte tenu de ce qui précède, un moteur synchrone auto-commuté peut fonctionner en mode courant continu sans collecteur.

3.4 Exécutions spéciales

Pour les deux types de moteurs décrits ci-dessus, des exécutions spéciales à hautes performances d'accélération peuvent être envisagées. Deux variantes principales sont généralement adoptées:

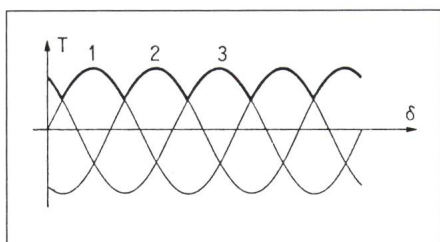


Figure 10 Couple résultant d'un moteur synchrone auto-commuté

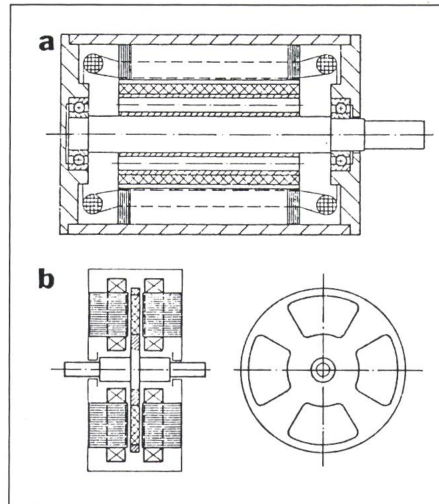


Figure 11 Moteur à courant continu sans collecteur

- a à rotor long
b de type disque

- un rotor long à faible diamètre avec allègement de la culasse rotorique (fig. 11a);
- un rotor disque de faible épaisseur sans fer (fig. 11b). Dans ce cas, le stator sera généralement double.

3.5 Adaptation des caractéristiques de couple

L'allure du couple en fonction de la position à courant constant, qui dépend directement de la distribution de l'induction dans l'entrefer et de celle du bobinage dans les encoches, doit pouvoir être déterminée lors de la conception du moteur selon son type et l'application envisagée.

Partant d'une technique de modulation du potentiel magnétique et d'une méthode de transformation conforme [4, 5], il est possible d'itérer sur les principaux paramètres constructifs de façon à obtenir la caractéristique de couple souhaitée. Par ailleurs, le couple réductant (interaction aimants-fer) joue également un rôle important dans la stabilité de vitesse. Dans une variante auto-commutée, ce couple doit être le plus faible possible. L'analyse de la structure du moteur et particulièrement de sa zone d'entrefer aura donc pour but de créer un couple d'interaction aimants-bobines de forme donnée tout en réduisant le couple dû à l'aimant seul.

A titre d'exemple, le moteur à magnétisation radiale et aimants jointifs décrit à l'annexe III présente les caractéristiques de couple en fonction de la

position de la figure 12a. On y trouve le couple dû aux aimants seuls (couple de détente), le couple mutuel entre 1 phase et les aimants et le couple résultant pour 3 phases excitées (montage en pont à 6 transistors).

La figure 12b présente les mêmes caractéristiques de couple pour une inclinaison des aimants permanents d'un demi-pas dentaire. La réduction du couple réductant est très importante. La forme des couples avec courant est fortement modifiée.

Une autre solution, recourant à une distribution irrégulière des encoches (pas minimum/pas maximum = 0,6), permet également de réduire le couple réductant, avec une forme différente des couples avec courants (fig. 12c).

D'autres paramètres peuvent être pris en considération, tels que la largeur relative des aimants, un entrefer variable, des zones saturables, etc.

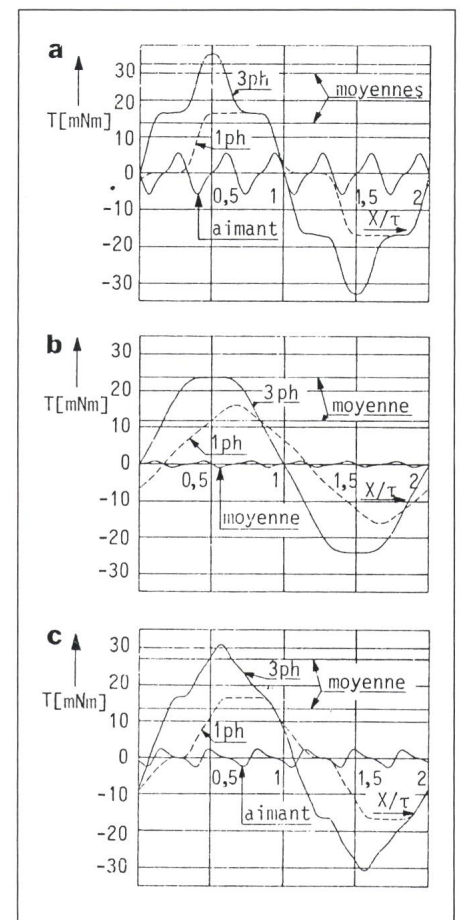


Figure 12 Caractéristique de couple d'un moteur à courant continu sans collecteur

- a Couple aimant seul, 1 phase excitée et 3 phases excitées
b Couple avec aimants permanents inclinés
c Couple avec dents irrégulières

4. Exemple d'application

4.1 Cœur artificiel

L'Institut de recherches cardio-vasculaires (Sion) et le Laboratoire d'électromécanique de l'EPF-Lausanne développent conjointement un cœur artificiel complet [6, 7, 10]. Le système comprend une pompe cardiaque, son alimentation et sa commande implantés dans une même enveloppe. La figure 13 présente le principe de ces divers éléments. La pompe comprend deux ventricules en polyuréthane, comprimés alternativement par deux plateaux. Ceux-ci sont actionnés au moyen d'une vis à rouleaux, dont l'écrou constitue également le rotor d'un moteur à courant continu sans collecteur.

Outre le cœur proprement dit, le système comprend une batterie externe avec une autonomie de 24 heures, un générateur haute fréquence (externe également), un transformateur sans fer, dont la bobine primaire est appliquée contre la peau et une bobine secondaire implantée.

Un redresseur assure la conversion d'énergie interne et une batterie-tampon (implantée) permet une autonomie d'une heure, avec l'ensemble des éléments externes enlevés. Cette solution devrait permettre une qualité de vie acceptable, pour autant que la durée de vie et la fiabilité soient suffisantes.

4.2 Moteur

Pour l'entraînement de l'écrou, le choix s'est porté sur un moteur à courant continu sans collecteur de 8 pôles et 12 encoches. Le rotor est composé de l'enveloppe de l'écrou comme culasse et d'aimants permanents à magnétisation radiale montés à la périphérie. Le stator présente un diamètre externe de 42 mm et une épaisseur de 8 mm. Le couple maximum est de 48 mNm pour une vitesse maximale de

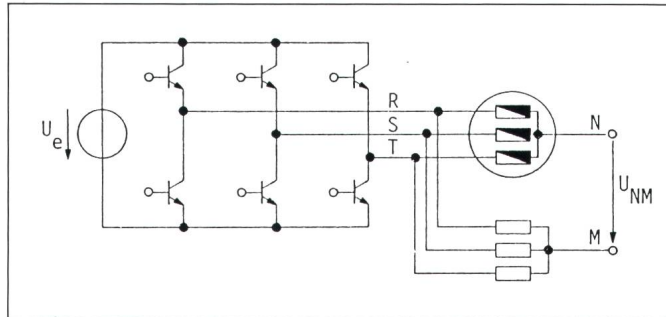


Figure 14
Dispositif de détection de l'harmonique 3
 U_{NM} = tension de mesure

3600 t/min. La puissance efficace maximale sur une période est d'environ 12 W.

La commutation entre deux états logiques du pont entraîne une rotation de $1/24$ tour. Celle-ci correspond à une avance du plateau de 0,083 mm qui, rapportée à la course totale de 23 mm, représente une résolution suffisante pour le contrôle du volume d'éjection des ventricules.

4.3 Alimentation et commande

L'alimentation du moteur est assurée par un pont à 6 transistors, contrôlé en courant par le fonctionnement en hacheur de ceux-ci.

Afin d'accroître la fiabilité du système ainsi que de réduire au minimum le volume du moteur, il n'a pas été fait recours à un capteur de position à sondes de Hall. La mesure de la position et de la vitesse est réalisée de façon indirecte en détectant l'harmonique 3 de tension induite par la rotation des aimants. Ceci s'effectue au moyen du montage de la figure 14. L'harmonique 3 est détecté par la différence de potentiel entre les points neutres respectifs du moteur et d'une résistance triphasée montée en parallèle. Le signal ainsi obtenu doit être filtré (effet de hachage et de commutation), puis mis en forme. La figure 15 est un enregistrement de

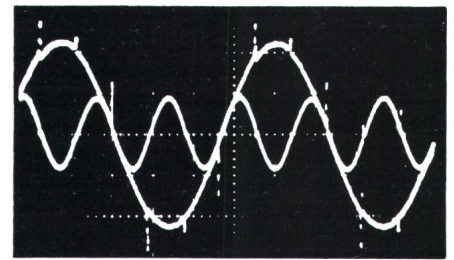


Figure 15 Harmonique 3 après mise en forme et tension induite de mouvement

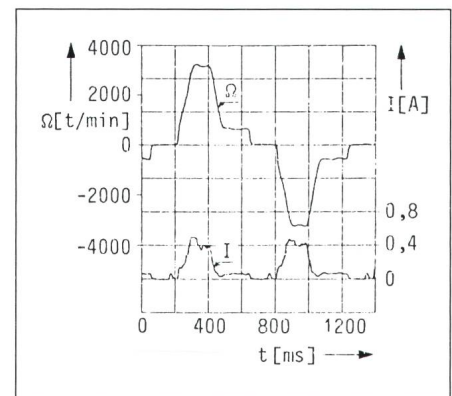


Figure 16 Vitesse et courant du moteur du cœur artificiel

Vitesse, position et commutation sont contrôlées par l'harmonique 3

cet harmonique 3 et de la tension induite de mouvement.

Ce phénomène harmonique présente 6 passages par zéro sur une période. Ils sont directement liés à la position. Ils peuvent donc être utilisés comme informations de commutation liées à la position, ainsi que pour la mesure de la vitesse. La figure 16 décrit la vitesse et le courant total du moteur du cœur artificiel sur un cycle avec trois fonctions réalisées par le biais de cette détection de l'harmonique 3:

- commutation du pont en fonction de la position;
- contrôle de la position sur un cycle à $7,5^\circ$ (0,083 mm) près;
- asservissement de la vitesse et de l'accélération.

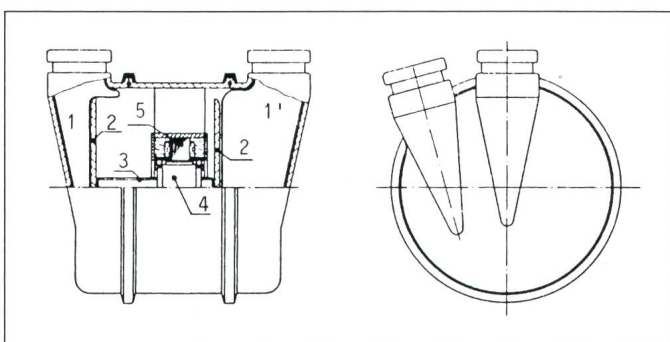


Figure 13
Cœur artificiel
1, 1' ventricules
2 plateaux circulaires
3 vis
4 écrou-rotor
5 stator

Annexe I: Equations du moteur synchrone à aimants permanents

Pour un moteur synchrone triphasé à aimants permanents, sans effet réactif, l'équation de tension pour la phase 1 s'écrit:

$$u_1 = R_s i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} + L_{12} \frac{di_2}{dt} + L_{13} \frac{di_3}{dt} + \frac{\partial L_{a1}}{\partial \alpha} \Theta_a \Omega$$

$$L_{12}, L_{13} = -\frac{1}{2} L_{h1}$$

$$L_1 = L_{h1} + L_{\sigma 1}$$

Comme la somme des courants de phase vaut zéro, il vient:

$$u_1 = R_s i_1 + L_s \frac{di_1}{dt} + u_{a1}$$

avec:

$$L_s = L_{\sigma 1} + \frac{3}{2} L_{h1}$$

$$u_{a1} = \frac{\partial L_{a1}}{\partial \alpha} \Theta_a \Omega$$

$$L_{a1} = -L_{as} \cos p\alpha$$

$$u_{a1} = p L_{as} \Theta_a \Omega \sin p\alpha = \hat{U}_{as} \sin \omega t = k_a \Omega \sin \omega t$$

Pour une alimentation sinusoïdale de tension, il est possible de passer au calcul complexe:

$$\underline{u}_1 = \hat{U} \sin(\omega t + \delta)$$

$$\underline{u}_1 = (R_s + j\omega L_s) \underline{i}_1 + u_{a1}$$

$$R_s + j\omega L_s = \underline{Z}_s = Z_s e^{j\varphi}$$

$$\underline{i}_1 = (\underline{U} - u_{a1}) / Z_s \cdot e^{-j\varphi}$$

Le couple vaut:

$$T = \frac{\partial L_{a1}}{\partial \alpha} \Theta_a i_1 + \frac{\partial L_{a2}}{\partial \alpha} \Theta_a i_2 + \frac{\partial L_{a3}}{\partial \alpha} \Theta_a i_3 = \frac{U_{a1}}{\Omega} i_1 + \frac{U_{a2}}{\Omega} i_2 + \frac{U_{a3}}{\Omega} i_3$$

Liste des symboles

i, I	courant
k	coefficient
L	inductance
N	nombre de spires
P	nombre de paires de pôles
R	résistance
T	couple
u, U	tension
Z	impédance
α	position angulaire
δ	angle de déphasage entre tension et rotor
Φ	flux d'induction
φ	angle de phase de l'impédance
Λ	perméance
Θ	potentiel magnétique
Ω	vitesse angulaire
ω	pulsation

Indices

a	aimant
s	stator
u	tension
1, 2, 3	phases
h	de champ principal
σ	de fuite

Par substitution, on obtient:

$$T = \frac{3}{2} \frac{\hat{U}_a}{\Omega Z} [\hat{U} \cos(\varphi - \delta) - \hat{U}_a \cos \varphi]$$

Le couple présente un maximum pour $\delta = \varphi$

$$T = \frac{3}{2} \frac{\hat{U}_a}{\Omega Z} [\hat{U} - U_a \cos \varphi]$$

Annexe II: Equations du moteur à courant continu à aimants permanents

Ces équations, bien connues, peuvent être déduites de celles du moteur synchrone comme suit:

$$u = Ri + L \frac{di}{dt} + \frac{\partial L_{as}}{\partial \alpha} \Theta_a \Omega$$

$L_{as} = -\hat{L}_{as} \cos p\alpha$ inductance mutuelle entre aimant et bobinage stator entre deux rangées de charbons

$$\begin{aligned} \hat{L}_{as} &= k_W N_s \hat{\Lambda}_{as} \\ k_W &= \text{facteur de bobinage} \approx 2/\pi \\ \hat{\Lambda}_{as} &= \text{valeur de crête de la perméance mutuelle} \\ L_{as} \Theta_a &= \frac{2}{\pi} N_s \hat{\Phi}_a \\ \hat{\Phi}_a &= \text{flux généré par les aimants permanents} \end{aligned}$$

Par substitution:

$$u = Ri + L \frac{di}{dt} + \hat{U}_a \sin p\alpha$$

$$\hat{U}_a = \frac{2}{\pi} p N_s \Phi_a = k_u \hat{\Phi}_a \cdot \Omega$$

Le rôle du collecteur est de maintenir maximum la tension induite de mouvement: $u_a = \hat{U}_a$. D'où l'équation de tension:

$$u = Ri + L \frac{di}{dt} + k_u \Phi_a \Omega$$

Le couple s'écrit:

$$T = \frac{\partial L_{as}}{\partial \alpha} \Theta_a i = \hat{T} = \frac{\hat{U}_a}{\Omega} i = k_u \Phi_a i$$

Ces deux équations sont tout à fait classiques, mais montrent, par la démarche utilisée, la parenté entre les machines synchrone et à courant continu.

Annexe III: Exemple d'un moteur à courant continu sans collecteur. Caractéristiques:

Nombre de pôles	8
Largeur relative des aimants	100%
Diamètre d'entrefer	28,205 mm
Pas dentaire	7,384 mm
Largeur de préencoche	1,55 mm
Entrefer	0,3255 mm
Longueur active	11,91 mm
Potentiel magnétique de l'aimant (externe)	85 A
Nombre de spires par bobine	25
Courant statorique	1,5A

Cet exemple met en évidence quelques possibilités d'utilisation de tels moteurs dans un cas limite.

5. Conclusions

L'évolution de la demande en matière d'entraînements électriques ainsi

que les possibilités offertes par l'électronique industrielle, la micro-informatique et les matériaux (aimants permanents, structures composites) impliquent une utilisation croissante des moteurs de type courant continu sans collecteur. Ceci se fait principalement au détriment des moteurs à courant continu classiques. Cette tendance est

apparue d'abord dans le domaine des faibles puissances (<100 W), puis peu à peu jusqu'à des puissances de quelques kW.

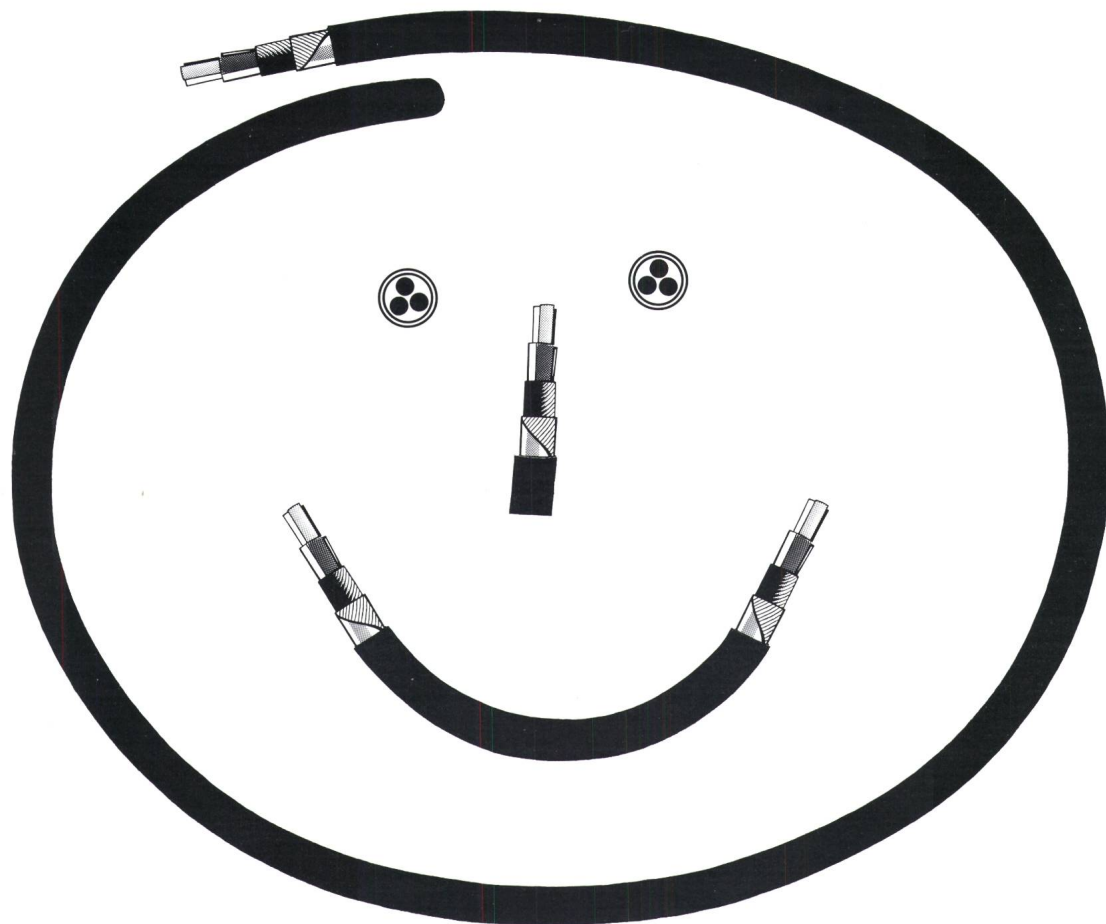
Les utilisations touchent aussi bien les applications à large échelle bon marché - ventilateurs, disques durs, lecteurs de cassettes, etc. - que les entraînements à hautes performances -

robotique, commandes d'axe, manutention.

L'abaissement des coûts de l'alimentation par les améliorations technologiques et l'accroissement des quantités devraient encore accélérer cette tendance.

Bibliographie

- [1] *M. Jufer*: Entraînements électriques pour transfert de position. Evolution et comparaison. Compte rendu des 4es journées d'études sur les moteurs pas à pas, Lausanne, Ecole Polytechnique Fédérale, 25 et 26 juin 1986; p. 1...10.
- [2] *N. Wavre*: Evolution de la conception et des applications du moteur synchrone auto-commuté et du moteur à courant continu sans collecteur. Bull. ASE/UCS 76(1985)9, p. 498...502.
- [3] *N. Wavre*: Etude de la commutation des moteurs synchrones autocommutés. Compte rendu des 4es journées d'études sur les moteurs pas à pas, Lausanne, Ecole Polytechnique Fédérale, 25 et 26 juin 1986; p. 75...86.
- [4] *M. Jufer*: Brushless DC motors. Gap permeance and PM-MMF distribution analysis. Proceedings of the sixteenth Annual Symposium on Incremental Motion Control Systems and Devices, Champaign/Illinois, June 1987; p. 21...25.
- [5] *A. Cassat*: Brushless DC motors. Torque and inductance determination. Proceedings of the sixteenth Annual Symposium on Incremental Motion Control Systems and Devices, Champaign/Illinois, June 1987; p. 27...37.
- [6] *M. Jufer*: A totally implantable electrical heart. Journal of Heart Transplantation 4(1985)5, p. 496...498.
- [7] *M. Jufer*: Brushless DC motor for an electrical artificial heart. Proceedings of the fifteenth Annual Symposium on Incremental Motion Control Systems and Devices, Urbana-Champaign/Illinois, June 1986; p. 69...76.
- [8] *M. Jufer*: Self-commutation of brushless DC motors without encoders. European Conference on Power Electronics, Bruxelles, October 16...18, 1985; volume 2, p. 3-275...280.
- [9] *R. Osseni*: Méthode d'asservissement des moteurs synchrones. 4es journées d'études sur les moteurs pas à pas, Lausanne, Ecole Polytechnique Fédérale, 25 et 26 juin 1986; p. 261...273.
- [10] *M. Jufer, R. Osseni and G. Füllemann*: Electrical drive control of an artificial heart. Proceedings of the sixteenth Annual Symposium on Incremental Motion Control Systems and Devices, Champaign/Illinois, June 1987; p. 65...70.
- [11] *M. Jufer*: Comparaison des moteurs pas à pas et à courant continu. Bull. ASE/UCS 73 (1982)11, p. 517...521.
- [12] *C. Carbon*: La commande électronique des moteurs pas à pas. Bull. ASE/UCS 73 (1982)11, p. 522...526.
- [13] *M. Abdelaziz and M. Jufer*: Modèle magnétique et électrique des machines synchrones à aimants permanents. Bull. ASE/UCS 74 (1983)23, p. 1339...1343.
- [14] *R. Hanitsch*: Bürstenlose Gleichstrom-Kleinstmotoren. Bull. SEV/VSE 74(1983) 23, S. 1344...1348.
- [15] *N. Wavre*: Evolution des moteurs électriques pour la robotique moderne. Bull. ASE/UCS 75(1984)12, p. 673...675.
- [16] *B. Schwager*: Ein IC als Verbindungsglied zwischen Mikroprozessor und Schrittmotor. Bull. SEV/VSE 77(1986)19, S. 1232...1237.
- [17] *M. Jufer*: Entraînement des véhicules électriques routiers - développements actuels et perspectives. Bull. ASE/UCS 76(1985) 13, p. 766...768.



Montagefreundlich

Das neue gummiartige Ceander-Kabel XKT-RADOX verbindet die Eigenschaften eines GKT mit den Vorteilen eines elektronenvernetzten RADOX (hohe Alterungsbeständigkeit, höhere Strombelastbarkeit).

Verglichen mit einem herkömmlichen TT-Kabel gleichen Querschnittes weist das XKT-RADOX einen rund 10% kleineren Aussendurchmesser auf – verbunden mit entsprechend höherer Biegsamkeit, auch bei tiefen Temperaturen.

Eine weichere Isolation gewährleistet die gute Verarbeitbarkeit, ohne dass Weiterreisswiderstand und Schlitzfestigkeit abnehmen. Die Verträglichkeit mit Vergussmassen sowie die Haftung von Schrumpfteilen ist vorzüglich. (Übrigens: HUBER + SUHNER bietet Ihnen ein vollständiges Sortiment von SUCOFIT-Schrumpfschläuchen, -muffen, -endkappen und -endverschlüssen an.)

Diese Vorteile verdanken Sie der langjährigen Erfahrung von

HUBER + SUHNER im Bereich der elektronischen Vernetzung. Verlangen Sie unsere Dokumentation oder den Besuch unseres technischen Beraters.



HUBER+SUHNER AG

Geschäftsbereich Kabel

CH-8330 Pfäffikon CH-9100 Herisau

☎ 01 952 22 11 071 53 41 11

☎ 827 600 77 426

FAXI 01 952 24 24 071 53 44 44

Das neue, gummiartige XKT/GKT-RADOX von HUBER + SUHNER

Elektronische Objekterfassung

mit Näherungsschalter und Fotosignalgeber von Telemecanique

Die reichhaltige und preisgünstige Palette gewährt eine optimale, berührungslose Erfassung von Objekten irgendwelcher Grösse und Schaltfrequenz, auch in schwieriger Umgebung.



Fotosignalgeber

3 Grundsysteme für eine Reichweite von 2 mm bis 30 Metern: Einweg-, Reflexions- und Tastersystem. Zylinder- und Quaderform, Kompakt- und Miniaturabmessungen.
10 bis 30 V DC und 20 bis 250 V AC.
Ausgang kontaktlos oder Relais.

Näherungsschalter

2 Grundsysteme für eine Reichweite von 0,8 bis 60 mm: induktiv und kapazitiv.
Apparate geschützt gegen Anschlussfehler und Überlast.
LED-Zeichen auf den meisten Apparaten.
Zylinder- (\varnothing 4 bis 30 mm) und Quaderform.
Kabel- oder Steckerausgang. CENELEC konform.

Verlangen Sie unsere Dokumentation

