

Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 99 (2008)
Heft: 17

Artikel: PM-Synchronmotor mit Energieübertragung ins Läufersystem
Autor: Huth, Gerhard / Reinhard, Markus
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-855882>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 12.05.2025

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

PM-Synchronmotor mit Energieübertragung ins Läufer-system

Eine zusätzliche Wicklung für die Energieübertragung

Permanentmagneterregte (PM) Synchronmotoren werden bei Werkzeug- und Produktionsmaschinen eingesetzt. Durch die zunehmende Integration des Antriebs in den Prozess wird bei einer zunehmenden Anzahl von Applikationen neben der Motorfunktion zur Speisung eines sekundären Prozesses zusätzlich elektrische Energie im Rotorsystem benötigt. Es wird ein Antriebskonzept vorgestellt, das den PM-Synchronmotor und die Energieübertragung in das Rotorsystem in einem gemeinsamen Aktivteil ermöglicht. Das vorgestellte Konzept hat den Vorteil, dass beide Teilfunktionen funktional unabhängig voneinander betrieben werden können.

PM-Synchronmotoren finden ihren Einsatz im weiten Gebiet der Werkzeug- und Produktionsmaschinen in der Funktion als Servomotor bei Stell- und Positionierantrieben sowie als Torque- oder Spindelmotor in

Gerhard Huth, Markus Reinhard

der Funktion als Hauptantrieb. Durch die zunehmende Integration des Motors in den angetriebenen Prozess wird bei einer wachsenden Anzahl von Applikationen neben der eigentlichen Motorfunktion zusätzlich elektrische Energie im Rotorsystem zur Speisung eines sekundären Prozesses benötigt. Sekundäre Prozesse im bewegten Rotorsystem können zum Beispiel Mess- und Überwachungsaufgaben oder die Betätigung von mechanischen Spannelementen sein.

Die zusätzliche Energieübertragung in das bewegte Rotorsystem kann über Schleifringe erfolgen. Die Schleifringübertragung benötigt allerdings einen entsprechenden zusätzlichen Bauraum und ist nicht wartungsarm. Eine weitere Möglichkeit besteht durch Verfahren der induktiven Übertragung. Der bei einigen Applikationen im Einsatz befindliche Ferritübertrager ermöglicht bei entsprechend hohen Übertragungsfrequenzen einen guten Wirkungsgrad, er benötigt aber ebenfalls einen zusätzlichen Bauraum.

Der im Weiteren betrachtete PM-Synchronmotor ermöglicht die Realisierung von

Motorfunktion und zusätzlicher Energieübertragung in einem gemeinsamen Aktivteil. Beide Teilfunktionen sind funktional nicht gekoppelt und können getrennt voneinander betrieben werden [1].

Das Realisierungskonzept

Für die Motorfunktion trägt das Ständerblechpaket (Bild 1) eine für die Motorpolpaarzahl p_M optimierte Drehstromwicklung,

und die Rotoroberfläche ist entsprechend der Motorpolpaarzahl p_M mit Seltenerd-magneten bestückt.

Für die Energiefunktion bietet sich das von den rotierenden Maschinenumformern her bekannte Prinzip des Frequenzumformers an. Hierbei wird ein im Ständer spannungseingepreßter betriebener Schleifringläufermotor mechanisch angetrieben und speist mit seiner Läuferwicklung einen sekundären Prozess. Diese Funktion gilt es nun in das Aktivteil des PM-Synchronmotors zu integrieren. In Analogie zum Schleifringläufermotor tragen so Ständer- und Rotorblechpaket zusätzlich je eine Drehstromwicklung für die Energiefunktion (Bild 1). Sie sind für die Polpaarzahl p_E ausgelegt. Die N_1 Ständernuten werden damit von zwei getrennten Drehstromwicklungen belegt, und der Rotor weist unterhalb der Luftspaltmagnete ein mit N_2 Rotornuten ausgeführtes Blechpaket auf, in das die Sekundärwicklung der Energiefunktion eingelegt ist.

Auch aus sicherheitstechnischen Gründen kann es von Vorteil sein, wenn Motorfunktion und Energiefunktion entsprechend Bild 2 funktional getrennt sind. Beide Teilfunktionen sind bezüglich ihrer technischen Wirkung entkoppelt, wenn die erzeugten

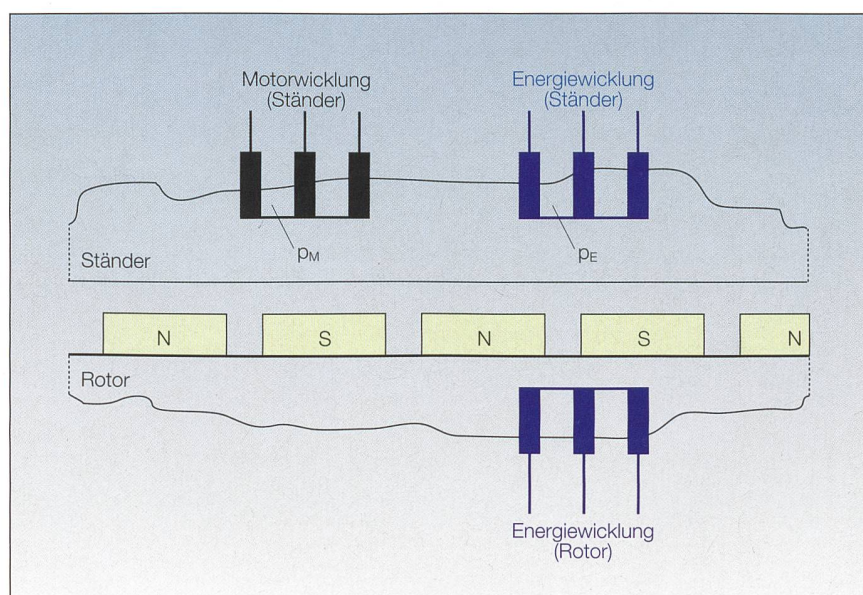


Bild 1 Realisierungsprinzip von Motor- und Energiefunktion.

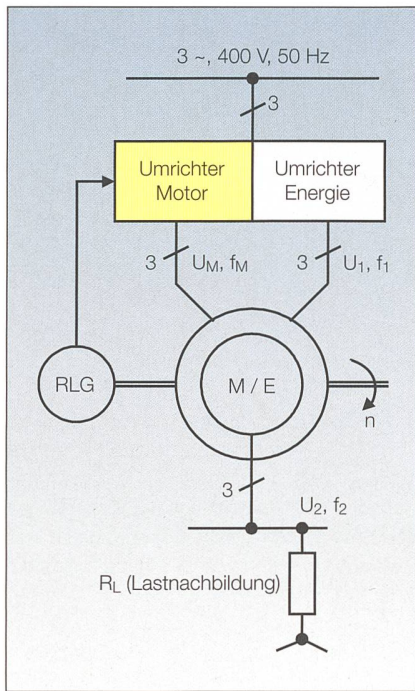


Bild 2 AC-Servomotor mit zusätzlicher Energiefunktion.

Luftspaltfeldspektren der beiden Teilfunktionen keine gemeinsamen Polpaarzahlen aufweisen.

Die Ständerwicklung der Motorfunktion wird allgemein als Zweischicht-Bruchlochwicklung ausgeführt, sodass ein Luftspaltfeldspektrum mit den Polpaarzahlen nach Gleichung (1) erzeugt wird. In Gleichung (1) steht n für den Nenner der Lochzahl $q_M = \frac{N_1}{6 \cdot p_M} = \frac{z}{n}$.

$$v_M = p_M + \frac{6 \cdot p_M}{n} \cdot g_1, \quad g_1 = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1)$$

Die an der Rotoroberfläche angeordneten Permanentmagnete der Motorfunktion erzeugen ein Luftspaltfeld mit den Polpaarzahlen:

$$\mu_M = p_M + 2 \cdot p_M \cdot g_2, \quad g_2 = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

Ständer- und Rotorwicklung der Energiefunktion werden als Ganzlochwicklungen ausgeführt. Die Ständerwicklung der Energiefunktion erzeugt somit ein Luftspaltfeldspektrum mit den Polpaarzahlen entsprechend

$$v_E = p_E + 6 \cdot p_E \cdot g'_1, \quad g'_1 = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (3)$$

und die Rotorwicklung reagiert hierauf, wenn der gespeiste sekundäre Prozess als symmetrische Last betrachtet wird, mit den jeweiligen Rotorpolpaarzahlen nach

$$\mu_E = v_E + 6 \cdot p_E \cdot g'_2, \quad g'_2 = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (4)$$

Eine Entkopplung von Motorfunktion und Energiefunktion bezüglich des Luftspaltfeldes ist gegeben, wenn die Ungleichung

$$\begin{aligned} |v_M| &\neq |v_E| \\ p_M \cdot \left| 1 + \frac{6}{n} g_1 \right| &\neq p_E \cdot |1 + 6g'_1| \\ \frac{p_M}{p_E} \cdot \left| 1 + \frac{6}{n} g_1 \right| &\neq |1 + 6g'_1| \end{aligned} \quad (5)$$

erfüllt ist. Eine Entkopplung bezüglich der Permanentmagneterregung ist gegeben, wenn ferner die Ungleichung entsprechend Gleichung (6) erfüllt ist.

$$\begin{aligned} |\mu_M| &\neq |v_E| \\ p_M \cdot |1 + 2g_2| &\neq p_E \cdot |1 + 6g'_1| \\ \frac{p_M}{p_E} \cdot |1 + 2g_2| &\neq |1 + 6g'_1| \end{aligned} \quad (6)$$

Beide Ungleichungen sind erfüllbar, wenn gilt:

$$\frac{p_M}{p_E} = \text{gerade Zahl} \quad (7)$$

Da für die Motor- und Energiefunktion dieselbe Ständernutenzahl N_1 gilt, muss beim Wicklungsentwurf ferner beachtet werden:

$$N_1 = 6 \cdot p_M \cdot q_M = 6 \cdot p_E \cdot q_{E1} \quad (8)$$

Trotz der betrachteten Entkopplung besteht allerdings eine thermische Abhängigkeit der beiden Teilfunktionen. Die Summe der Verluste beider Teilfunktionen darf die abführbaren Verluste unter Berücksichtigung der ausgeführten Wärmeklasse nicht überschreiten. Dieses Problem kann mit der Einführung eines Verlustmanagements gelöst werden. Im einfachsten Fall werden beide Teilfunktionen in ihren fest zugewiesenen Verlustgrenzen beschränkt.

Modellierung und stationäres Betriebsverhalten

AC-Servomotoren werden an Spannungszwischenkreis-Pulswechselrichtern stromeingepägt betrieben (Bild 2). Dabei wird ein rotorlageabhängiges sinusförmiges Drehstromsystem in die Ständerwicklung eingepägt. Um eine maximale Drehmomentausbeute zu erhalten, muss die Stromeinprägung in die q-Achse erfolgen. Da sich AC-Servomotoren seit bereits über 20 Jahren in der Anwendung befinden, soll ihr stationäres Betriebsverhalten als bekannt vorausgesetzt und im Schwerpunkt die Energiefunktion betrachtet werden.

Die Modellbildung der Energiefunktion soll unter folgenden vereinfachenden Randbedingungen erfolgen:

- Die Motorfunktion wird mit einem PM-Servomotor mit am Luftspalt angeordneten Magneten realisiert. Im durch die Motorfunktion geprägten magnetischen und thermischen Arbeitspunkt wird die Energiefunktion überlagert. Wegen der am Luftspalt angeordneten Magnete besteht ein grosser magnetisch wirksamer Luftspalt, sodass im typischen Betriebsbereich mit keinen hohen Sättigungseffekten zu rechnen ist und das Überlagerungsprinzip in guter Näherung zulässig ist.

- Die Ständerwicklung der Energiefunktion wird über einen Spannungszwischenkreis-Pulswechselrichter mit der Grundschwingungsspannung U_1 und der Grundschwingungsfrequenz f_1 gespeist. Bei entsprechend hoher Pulsfrequenz ist der Strangstrom aufgrund der Tiefpasswirkung praktisch sinusförmig.

- Ständer- und Rotorwicklung der Energiefunktion sollen nur über ihr Luftspaltgrundfeld der Polpaarzahl p_E gekoppelt sein.

- Der von der Rotorwicklung der Energiefunktion gespeiste Sekundärprozess im Rotorsystem soll durch eine symmetrische ohmsche Lastnachbildung modelliert werden.

In Anlehnung an die Drehstrom-Asynchronmaschine mit Schleifringläufer kann die Energiefunktion durch das einsträngige Ersatzschaltbild nach Bild 3 beschrieben werden. In Abhängigkeit von der durch die

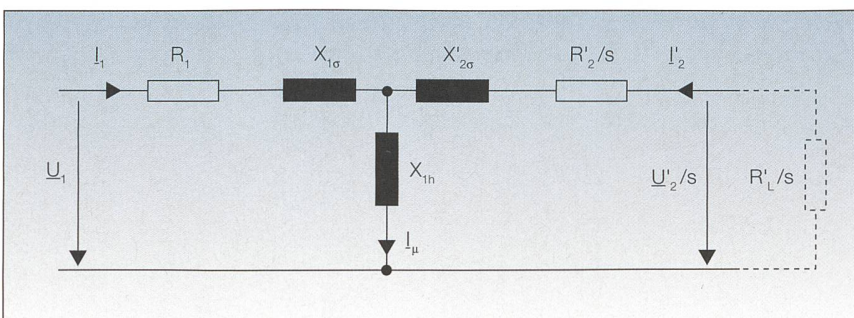


Bild 3 Einsträngiges Ersatzschaltbild der Energiefunktion.

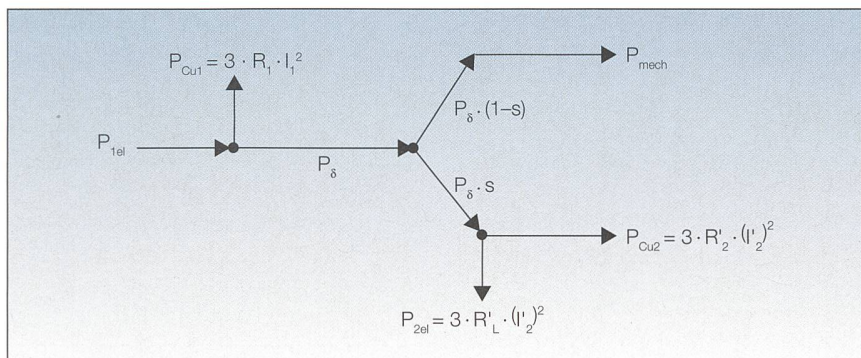


Bild 4 Leistungsfluss bei der Energiefunktion.

Motorfunktion vorgegebenen Drehzahl n bestimmt sich der Schlupf s der Energiefunktion zu

$$s = 1 - \frac{P_E \cdot n}{f_1} \quad (9)$$

Die Elemente des einsträngigen Ersatzschaltbildes bestimmen sich grundsätzlich in Analogie zur Drehstrom-Asynchronmaschine mit Schleifringläufer [3]. Ein Unterschied besteht allerdings bei der Berechnung der Hauptinduktivität sowie der doppelt verketteten Streuinduktivitäten von Ständer und Rotor, da aufgrund der Luftspaltmagnete ein im Vergleich zum Asynchronmotor deutlich grösserer Luftspalt vorliegt, bei dem die Bohrungskrümmung nicht mehr generell vernachlässigt werden kann [4].

Für den Sonderfall des Leerlaufbetriebs ($I_2 = 0$) berechnet sich der Strangwert der Rotorleerlaufspannung nach dem einsträngigen Ersatzschaltbild zu

$$U_{20} = s \cdot X_{1h} \cdot I_{10} \cdot \frac{w_2 \cdot \xi_2}{w_1 \cdot \xi_1} \approx s \cdot U_1 \cdot \frac{X_{1h}}{X_{1h} + X_{1\sigma}} \cdot \frac{w_2 \cdot \xi_2}{w_1 \cdot \xi_1} \quad (10)$$

Eine Erweiterung des einsträngigen Ersatzschaltbildes um die Eisenverluste der Energieübertragungsfunktion ist nicht unbedingt erforderlich, da aufgrund des grossen magnetisch wirksamen Luftspaltes im Vergleich zur Motorfunktion mit deutlich kleineren Induktionswerten gearbeitet werden muss. Unter dieser Voraussetzung ergibt sich ein Wirkleistungsfluss entsprechend Bild 4.

Neben der gewünschten Energieübertragung in das Rotorssystem und den nicht vermeidbaren Stromwärmeverlusten in der Ständer- und Rotorwicklung wird auch eine mechanische Leistung gebildet, die in Abhängigkeit des Schlupfes s an der Rotorwelle als zusätzliches Drehmoment M_E in Erscheinung tritt.

$$M_E = \frac{P_{\text{mech}}}{2 \cdot \pi \cdot n} \quad (11)$$

Diese zusätzliche geringe Drehmomentwirkung infolge der Energiefunktion wirkt als Störgrösse, die von der Drehzahlregelung der Motorfunktion aufgefangen werden muss.

Funktionsmuster

Das Funktionsmuster wurde auf der Basis eines standardmässigen Schleifringläufermotors der AH 112 durch Austausch von Ständer- und Läuferaktivteil gebaut, und die Schleifringe wurden zur messtechnischen Ausleitung der auf den Rotor übertragenen Energie genutzt. Die wichtigsten Aktivteildaten des Funktionsmusters sind in der Tabelle zusammengestellt. Bei der Wahl der Polpaarzahlen von Motor- und Energiefunktion ist darauf zu achten, dass der magnetisch wirksame Luftspalt möglichst klein gehalten wird, da die Energieübertragung von einem kleinen Luftspalt profitiert. Da der magnetisch wirksame Luftspalt aufgrund der Luftspaltmagnete um Faktoren grösser ist als bei klassischen Asynchronmaschinen, ist die Polpaarzahl der Energiefunktion möglichst klein zu wählen und die Motorfunktion hochpolig auszulegen, um eine möglichst kleine Magnethöhe ausfüh-

Ständernutzahl/Rotornutzahl	N_1/N_2	36/24
Polpaarzahlen	p_M/p_E	4/2
Magnethöhe (Vacodym 677 HR)	h_M	2 mm
Gesamter Luftspalt	δ_g	2,8 mm
Blechpaketlänge (M330-35A)	l_{fe}	140 mm
Ständeraussendurchmesser	D_A	170 mm
Ständerbohrungsdurchmesser	D_i	103 mm
Ständer-Strangwindungszahl der M-Funktion	W_{M1}	120

Tabelle Zusammenstellung der wichtigsten Aktivteil- und Wicklungsdaten des Funktionsmusters.

ren zu können. Unter Berücksichtigung dieser Bedingungen wurde die Motorfunktion 8-polig und die Energiefunktion 4-polig gewählt. Die Entkopplungsbedingung nach Gleichung (7) ist damit erfüllt. Eine grundsätzliche Alternative wäre eine 2-polige Ausführung der Energiefunktion, die jedoch aufgrund der deutlich grösseren Wickelköpfe konstruktiv ausgeschlossen werden musste.

Die Ständerwicklung der Motorfunktion wurde mit der Lochzahl $q_M = 3/2$ als Einschicht-Bruchlochwicklung am Nutgrund angeordnet und die Ständerwicklung der Energiefunktion mit der Lochzahl $q_{E1} = 3$ als Einschicht-Ganzlochwicklung ausgeführt. Das Nutvolumen wurde dabei zu 70% der Motorfunktion und zu 30% der Energiefunktion zugeordnet.

Der Rotor trägt nach Bild 5 unter den 8-polig ausgeführten Luftspaltmagneten eine 4-polige Einschicht-Ganzlochwicklung mit der Lochzahl $q_{E2} = 2$. Um das Nutrauten weitgehend zu unterdrücken, sind die Magnetschalen um eine halbe Ständernutteilung gestaffelt ausgeführt. Eine Glasfaserbandage dient der Aufnahme der Fliehkräfte und schützt die Magnete bei der Montage des Läufers.

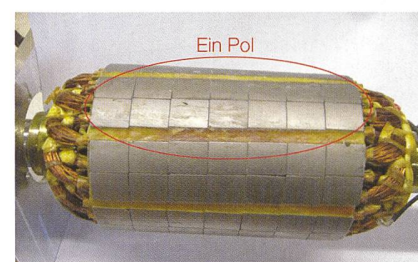


Bild 5 Bektelter Rotor des Funktionsmusters vor der Bandagierung.

Die Windungszahlfestlegung für die Energiefunktion sowie die Wahl von speisender Spannung U_1 und Frequenz f_1 über den Pulswechselrichter ergeben sich aus einer Optimierungsbetrachtung, bei der unter Einhaltung der zulässigen Verluste von 50 W im Stillstand die maximal übertragbare Sekundärleistung gesucht wird. In Bild 6 ist beispielhaft das Ergebnis einer Optimierungsrechnung dargestellt, bei der die speisende Grundschnwingungsfrequenz f_1 und die Leiterzahl pro Nut der Ständerwicklung z_{E1} variiert wurden.

Bei einer Verlustzuordnung von 50 W für die Energiefunktion können 350 W auf den Rotor übertragen werden. Für das Funktionsmuster wurde für die Energiefunktion eine Ständer-Strangwindungszahl W_{E1} von 150 gewählt. Für die Rotor-Strangwindungszahl W_{E2} wurden 140 Windungen gewählt, die Grundschnwingungsspeisung

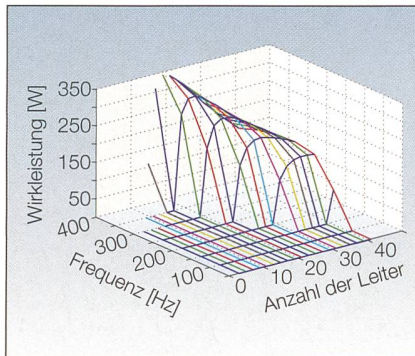


Bild 6 Übertragbare Leistung.

Übertragbare sekundäre Wirkleistung bei 50 W Verlustleistung der Energiefunktion in Abhängigkeit von Grundschriftungsfrequenz f_1 und Leiterzahl pro Nut der Ständerwicklung z_{E1} bei $U_1 = 100$ V und einem Leiterzahlverhältnis von $z_{E2}/z_{E1} = \sqrt{2}$ im Stillstand.

der Energiefunktion entspricht 100 V an 300 Hz (U_1, f_1).

Erprobung des Funktionsmusters im Vergleich zur Simulation

Der Versuchsaufbau wurde entsprechend Bild 2 realisiert. Die sekundäre Last wurde durch eine ohmsche Last nachgebildet. Wird zunächst die Motorfunktion ohne zusätzliche Energieübertragung untersucht, so ergeben sich nach Bild 7a und 7b die typischen $M(n)$ - und Wirkungsgradkennlinien von AC-Servomotoren in selbst-

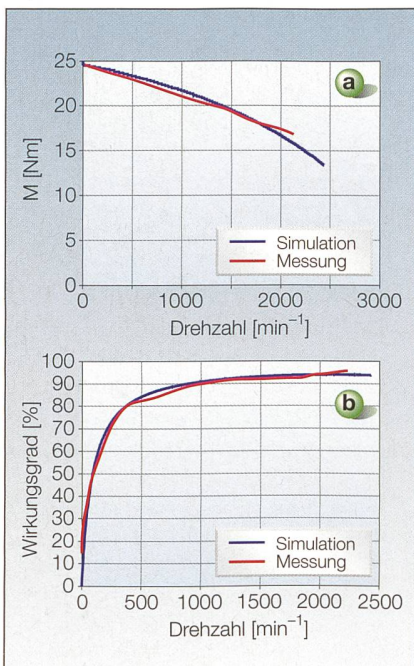


Bild 7 Kennlinie des Motors ohne zusätzliche Energieübertragung.

Bild 7a: $M(n)$ -Kennlinie (80 K) der Motorfunktion ohne zusätzliche Energieübertragung. Bild 7b: Wirkungsgrad entlang der $M(n)$ -Motorkennlinie (80 K) entsprechend Bild 7a ohne zusätzliche Energieübertragung.

gekühlter Ausführung. Bei einer 80-K-Ausnutzung der Ständerwicklung beträgt das thermisch zulässige Stillstandsmoment rund $M_0(80\text{ K}) = 24$ Nm. Für Hauptantriebsanwendungen ist auch der Wirkungsgrad von Interesse, er liegt in einem weiten Drehzahlbereich über 90%.

Im nächsten Fall wird die Motorfunktion untersucht, wenn zusätzlich eine Leistung von 100 W auf den Rotor übertragen wird. In Bild 8 ist für diesen Fall die $M(n)$ -Kennlinie wieder für eine 80-K-Ausnutzung dargestellt. Das thermisch zulässige Stillstandsmoment ist nun auf den Wert $M_0(80\text{ K}; 100\text{ W}) = 21$ Nm reduziert. Der Wirkungsgrad der Motorfunktion wird bei dieser Absenkung der $M(n)$ -Kennlinie nur unwesentlich beeinflusst.

Bei der Simulation der $M(n)$ -Kennlinie für den S1-Betrieb (80 K) ist ein thermisches Modell notwendig, in das die Verlustleistungen der Teilfunktionen Motorbetrieb und Energieübertragung eingehen. Ein in der Praxis bewährter Modellansatz besteht in dem Verfahren der erwärmungsäquivalenten Verluste. Der Modellansatz unterstellt, dass zur Ständerwicklungserwärmung die Stromwärmeverluste des Ständers sowie zu 50% die Stromwärmeverluste des Rotors und zu 70% die Eisenverluste beitragen.

Um die Leistungsfähigkeit der Energiefunktion darzustellen, soll die Energieübertragung bei diskreten Drehzahlen im Leerlaufbetrieb der Motorfunktion untersucht werden. In Bild 9 ist die Rotorspannung der Energiefunktion in Abhängigkeit des Laststroms bei ohmscher Lastnachbildung bei diskreten Drehzahlen dargestellt. Die mittlere Kennlinie gilt für den Stillstand des Antriebs. Der Schlupf der Energiefunktion beträgt im Stillstand $s = 1$, die Leerlaufspannung beträgt im Stillstand entsprechend Gleichung (10) rund 82 V. Die Lastabhängigkeit der Rotorspannung kann auf der Basis des einsträngigen Ersatzschaltbildes simuliert werden, entsprechend fällt die Rotorspannung mit zunehmendem Laststrom. Die untere Kennlinie gilt für den Drehzahlwert $n = 750$ U/min, der Rotor dreht somit in Drehrichtung des Luftspaltdrehfeldes der Energiefunktion, und der Schlupf beträgt nach Gleichung (9) $s = 0,9166$. Die Leerlaufspannung ist damit um rund 8% kleiner als im Stillstand des Antriebs. Die obere Kennlinie gilt für den Drehzahlwert $n = -750$ U/min, der Rotor dreht somit in Gegendrehrichtung des Luftspaltdrehfeldes der Energiefunktion, und der Schlupf beträgt hier nach Gleichung (9) $s = 1,0833$. Die Leerlaufspannung ist damit um rund 8% grösser als im Stillstand des Antriebs.

Für die vorstehende Betrachtung der Energiefunktion ist in Bild 10 die zugehörige

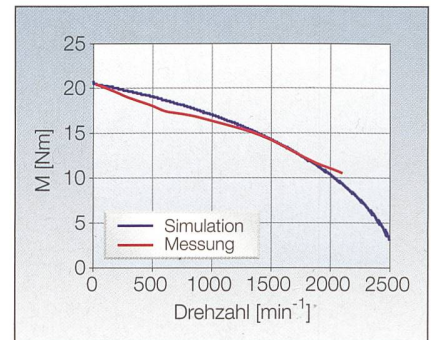


Bild 8 Kennlinie des Motors mit zusätzlicher Energieübertragung.

$M(n)$ -Kennlinie (80 K) der Motorfunktion mit einer zusätzlichen Energieübertragung von 100 W.

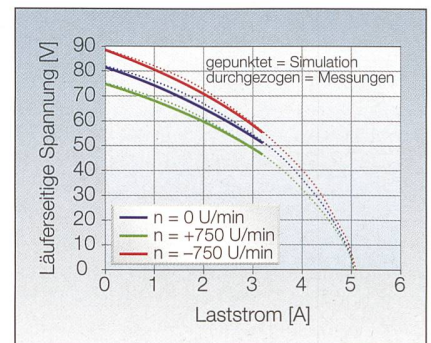


Bild 9 Rotorspannung der Energiefunktion.

Rotorspannung der Energiefunktion bei den diskreten Drehzahlen $n = 0$ U/min; 750 U/min; -750 U/min in Abhängigkeit des sekundären Laststroms bei Motorfunktion im Leerlauf.

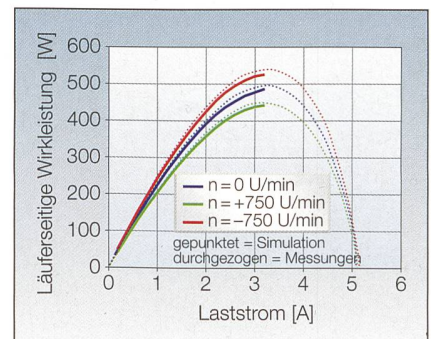


Bild 10 Sekundäre Wirkleistung.

Sekundäre Wirkleistung der Energiefunktion bei den diskreten Drehzahlen $n = 0$ U/min; 750 U/min; -750 U/min in Abhängigkeit des sekundären Laststroms bei Motorfunktion im Leerlauf.

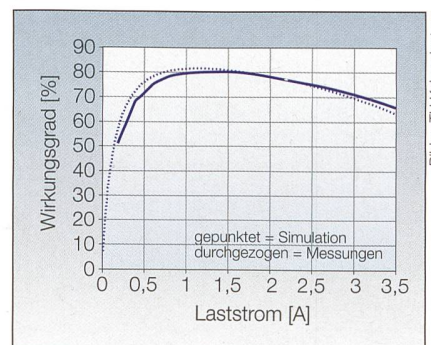


Bild 11 Wirkungsgrad der Energiefunktion.

Wirkungsgrad der Energiefunktion im Stillstand in Abhängigkeit des sekundären Laststroms.

sekundäre Wirkleistung in Abhängigkeit des Laststroms dargestellt. Im Stillstand des Antriebs kann kurzzeitig eine maximale Leistung von rund 500 W übertragen werden, rund 350 W sind nach Auslegung

dauernd möglich. Nach Bild 11 beträgt der zugehörige Wirkungsgrad der Energiefunktion rund 70%. Wie die Bilder auch zeigen, stimmen Mess- und Simulationsergebnisse gut überein.

Résumé

Moteur synchrone à aimant permanent et transmission d'énergie au rotor

Un enroulement supplémentaire pour la transmission d'énergie. Les moteurs synchrones à aimant permanent sont utilisés dans les machines-outils et machines de production. Du fait de l'intégration croissante de l'entraînement au processus, de plus en plus d'applications exigent en outre de l'énergie électrique pour le système rotor en vue de l'alimentation d'un processus secondaire à côté de la fonction moteur. Il est présenté ici un concept d'entraînement permettant de réaliser en un élément actif commun le moteur synchrone à aimant permanent et la transmission d'énergie au système rotor. Le concept présenté a l'avantage que les deux fonctions partielles peuvent fonctionner indépendamment l'une de l'autre.

Referenzen

- [1] Patentschrift DE 10 2005 024 203.
- [2] G. Huth: Optimierung des Wicklungssystems bei permanentmagnetern AC-Servomotoren. *Electrical Engineering* 81 (1999), S. 375–383.
- [3] K. Vogt: Elektrische Maschinen, Berechnung rotierender elektrischer Maschinen, 3. bearbeitete Auflage, Berlin, 1983, VEB Verlag Technik.
- [4] F. Taegen, M. Weis: Über die Streuung im Luftspalt von Turbogeneratoren. *ETZ-A Elektrotechn. Z.* 88 (1967) H.13, S. 313–316.

Angaben zu den Autoren

Prof. Dr.-Ing. **Gerhard Huth** hat seit 2001 den Lehrstuhl für Mechatronik und Elektrische Antriebssysteme an der Technischen Universität Kaiserslautern.
TU Kaiserslautern, D-67663 Kaiserslautern,
huth@eit.uni-kl.de

Dipl.-Ing. **Markus Reinhard** war Mitarbeiter am Lehrstuhl für Mechatronik und Elektrische Antriebssysteme der TU Kaiserslautern und ist seit 2008 Entwicklungsingenieur bei Siemens.
Siemens AG, D-90327 Nürnberg,
markus.reinhard@siemens.com



BETAsolution®

Mit uns stärken Sie Ihre Position

BETAsolution® – Die Lösung zur Industrialisierung ihrer Prozesse.
Möchten Sie mehr erfahren? Kontaktieren Sie uns.

The Quality Connection

LEONI Studer AG · Herrenmattstr. 20 · CH - 4658 Däniken · Tel. +41 (0)62 288 82 82 · Fax +41 (0)62 288 83 83 · www.leoni-power-utilities.com



LEONI



STUDER CABLES

Visitez nous à:

TeleNet fair
Telematik - Netzwerke - Gebäudeautomation
Integration - Akustik - Verkabelung
www.telenetfair.ch

du 28 au 30 octobre 2008.

Centre d'exposition de Lucerne,
halle 2

Foto Hochschule der Künste Bern



Systeme de câblage du futur

Egalement pour la Haute Ecole des Arts de Berne

Dätwyler Cables continue de manière active le développement des transmissions de données. Nos clients profitent directement de notre collaboration avec des organes de normes internationales. Notre savoir-faire nous permet de proposer des solutions globales de câbles, connecteurs et de répartiteurs spécifiquement adaptées aux besoins de nos clients depuis la consultation jusqu'aux services logistiques. Ce n'est pas un hasard si en Suisse environ 50% des données transitent à travers des câbles cuivre ou fibre optique de Dät-

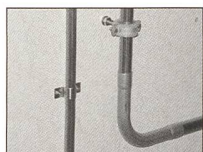
wyler Cables. Une structure performante et flexible de communication vient d'être installée dans les locaux de la Haute Ecole des Arts de Berne. Un réseau à fibres optiques de la société Dätwyler Cables permet de transmettre des signaux de la parole, d'images et de données à une vitesse extrême. Tous les étudiants et les employés de l'enseignement et de la recherche en profitent. Et c'est loin d'être tout...

Vous désirez en savoir plus?

**Nous sommes là comme
partenaire compétent pour vous!**

Dätwyler Cables
Unité de Dätwyler Suisse SA
Gotthardstrasse 31, 6460 Altdorf
T 041 875 12 68, F 041 875 19 86
info.ch@daetwyler-cables.com
www.daetwyler-cables.com

Dätwyler Cables



LANZ Chemins de câbles modernes en acier inoxydable A4

● Ménageant les câbles ● Résistant à la corrosion
● Coordinables ● E 30/E 90 ● Avantageux
Industrie alimentaire et chimique, épuration des
eaux, incinération des ordures, ouvrages souterrains,
tunnels sont des domaines pour les quels
LANZ a des solutions:

- Multichemins 6 m, standard et à longue portée 100-400 mm avec matériel de support MULTIFIX à denture
- Chemins à grille LANZ largeur 100 - 400 mm
- Canaux G LANZ 50 x 50 mm à 75 x 100 mm
- Tubes d'installations électriques ESTA Ø M16 - M63
- Colliers LANZ pour installations coordonnées
- Certificat de chocs ASC 3 bar et protection de base
- Testés pour résistance au feu E 30/E 90
- Acier A4 1.4571 et 1.4539 à résistance max. à la corrosion

☐ Je suis intéressé par _____

_____ Veuillez m'envoyer la documentation.

☐ Pourriez-vous nous rendre visite à une date à convenir par
téléphone? Nom / adresse / tél. _____

FK2



lanz oensingen sa

CH-4702 Oensingen Südringstrasse 2
Téléphone 062 388 21 21 Fax 062 388 24 24
www.lanz-oens.com info@lanz-oens.com

«Der Kontrollprofi» EurotestEASI MI 3100



Einfache, selbsterklärende und menügeführte
Bedienung

Installationsprüfungen nach EN 61 557 (NIV + NIN)
Automatische Testabläufe

ELKO
SYSTEME AG

Messgeräte • Systeme • Anlagen
Zur Kontrolle und Optimierung des Verbrauches elektrischer Energie
Brüelstrasse 47 CH-4312 Magden Telefon 061-845 91 45 Telefax 061-845 91 40
E-Mail: elko@elko.ch Internet: www.elko.ch