

Schlussbericht **Nov. 2002**

Energiesparender Schrittmotorantrieb „New Stepper“

ausgearbeitet von

Dr. S. Berchten

Lägernstrasse 4
8302 Kloten

im Auftrag der:

LEAG Antriebstechnik AG
8200 Schaffhausen

Unter der Mitarbeit von:

LEAG Antriebstechnik AG
8200 Schaffhausen

J. Berger, L. Egloff

Firma IEF Werner GmbH
D-78120 Furtwangen
Hr. E. Grieshaber

und

ZHW Winterthur
D. Gunsch

Diese Arbeit ist im Auftrag des Bundesamtes für Energie entstanden. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen ist ausschliesslich der Autor dieses Berichts verantwortlich.

Weitere Informationen über das Programm „Elektrizität“ des Bundesamts für Energie stehen auf folgender Web - Seite zur Verfügung:

www.electricity-research.ch



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	2
Résumé.....	3
Abstract	4
1. Ausgangslage, Potential	5
1.1 "New Stepper" Ansteuerung = Servo Ansteuerung	5
1.2 Wirtschaftlichkeit.....	5
2. Ziele des Projekts	6
2.1 Technische Voraussetzungen	6
2.1.1 Antrieb.....	6
2.1.2 Elektronik / Mechanik	6
2.2 Ausmessung	7
3. Lösung	7
3.1 Konventionelle Lösung	7
3.2 Konzept der neuen Lösung	7
3.2.1 Abgrenzung zu bestehenden Lösungen	8
3.3 Realisation "New Stepper" (NS)	8
3.3.1 Kommutationsregler	8
3.3.2 Encoder.....	10
3.3.3 Stromregler	11
4. Messungen	11
4.1 Messkonzept	11
4.1.1 Messgrößen.....	12
4.1.2 Abgeleitete Größen.....	13
4.2 Zyklusenergie	13
4.3 Temperaturen der Komponenten	14
4.4 Dynamik	15
5. Ausblick	15
6. Quellenverzeichnis.....	16



Zusammenfassung

Schrittmotoren sind starke und effiziente Energiewandler. Sie werden im Bereich von 0.01 Nm bis 100 Nm gebaut. Motoren mit einem Drehmoment von 1 Nm sind dabei am häufigsten vertreten. In der Schweiz werden jährlich ca. 600'000 Schrittmotoren verkauft, in Anlagen eingebaut und meist nur mit einer einfachen Ansteuerungselektronik betrieben. Für diese Elektronik werden auf dem Halbleitermarkt spezielle IC angeboten.

Zwecks Erhöhung der betrieblichen Sicherheit (Lageverlust) werden die Motoren in der Praxis bei einfachen Steuerungen mit 80 bis 100 % bestromt. Die Möglichkeit der Stromabsenkung wird dabei meist nicht berücksichtigt.

Beim „energiesparenden Schrittmotorantrieb“ wird der Motor, durch eine geeignete lageabhängige Bestromung in der Art angesteuert, dass er nur dann Strom aufnimmt wenn er eine Kraft erzeugen muss.

Mit Standard Servokomponenten der Fa. „LEAG Antriebstechnik AG“ liessen sich auf Antrieb 1'300 RPM erreichen. Um auf die vom Markt geforderten 3'000 RPM zu kommen, war der Einsatz einer neuen Kommutationssteuerung, bei der ein 75 MHz RISC - Prozessor sowie eine entsprechend optimierte Stromregelung zur Anwendung kommt, notwendig.

Die Ausmessung der Aufnahmeenergie des „New Steppers“ im direkten Vergleich mit einer Standardlösung ergab mindestens die Halbierung der Energiekosten.

Aufgrund der positiven Messwerte soll in einem Folgeprojekt versucht werden, Maschinenbauer, die im grösserem Umfang Schrittmotoren einsetzen, von den Vorteilen der gefundenen Lösung zu überzeugen und Feldtests durchzuführen.

Die Vorteile sind:

- Halbierung der Betriebskosten durch Energieeinsparung
- Erhöhung der Betriebssicherheit (Lage wird dauernd überwacht)
- Erhöhte dynamische Antriebsleistung
- Thermische Reserven, welche die Halbierung der Taktzeiten ermöglichen oder günstigere Komponenten erlaubt.

Die Amortisationsdauer der Zusatzkosten, allein durch die Energiekosteneinsparung, liegt dabei für einen Motor mit einer Aufnahmeleistung von 100 W im Bereich von 8 bis 12 Monaten.



Résumé

Les moteurs pas à pas sont des transformateurs énergétiques forts et efficaces. Ils sont manufacturés dans une marge de couple de 0,01 Nm jusqu'à 100 Nm. La gamme la plus populaire est 1 Nm. Chaque année environ 600'000 moteurs pas à pas sont vendus en Suisse. Ils sont installés dans les équipements et actionnés avec une servo de commutation très simple. Pour cette électronique, des circuits intégrés spéciaux sont offerts sur le marché.

Pour augmenter la sécurité de service (perturbation de la position), les bobines sont alimentées avec 80 à 100% de courant nominal. La possibilité de la réduction de courant généralement n'est pas prise en considération.

Le moteur pas à pas nouveau « new stepper » est commandé avec une commutation dépendant de la position. Le moteur utilise seulement le courant qu'il doit produire de force. Avec des composants standard de "LEAG Antriebstechnik SA" on est capable de atteindre 1'300 RPM du premier coup. Pour venir à 3'000 RPM exigé de marché, c'était nécessaire de développer un système de commutation nouveau avec un processeur RISC de 75 MHz ainsi qu'un réglage de courant optimisé.

Les mesures de l'énergie utilisée, entre le système « new stepper » et le « système standard », nous indiquent la moitié de coûts d'énergie d'électricité.

Sur la base de ces mesures positives, il y a recommandé de lancer un projet consécutif pour utiliser le nouveau amplificateur servo dans un « test de champs ». C'est aussi nécessaire d'informer et convaincre les utilisateurs de moteurs pas à pas des avantages de cette nouvelle solution.

Les avantages sont:

- Division des frais d'exploitation par une économie d'énergie
- Augmentation de la sécurité industrielle (surveillance de la position continuellement)
- Puissance d'entraînement dynamique accrue
- Réserves thermiques, qui permettent la division des durées d'un cycle de cadence ou des coûts d'équipement.

La durée d'amortissement des frais supplémentaires, seulement par l'économie de coût d'énergie, se trouve d'un moteur avec une performance d'admission de 100W dans une période de 8 à 12 mois.



Abstract

Stepper motors are powerful and efficient. They are manufactured within a torque range from 0.01 Nm up to 100 Nm. The most popular range is 1 Nm. Approximate 600'000 stepper drivers are sold in Switzerland every year. They are build in production facilities and equipped with simple drivers, using special IC's from dedicated manufacturers.

In order to increase operational safety, the motors are normally driven with 80 to 100 % of their nominal current. Current reduction possibilities often will not be taken into consideration.

The energy saving stepper drive is controlled this way, that current flows only if the motor really needs the torque.

With standard servo components of „LEAG Antriebstechnik AG“ the speed of 1'300 RPM were reached. A new commutation electronic had to be developed, using a 75 MHz risk microprocessor and an optimized current control, to reach the requested 3'000 RPM.

The power consumption measurements between the novel drive unit “New Stepper” and a conventional stepper amplifier showed a 50 % input energy reduction.

Due to these positive results, a second project should be launched to test the controller within field conditions and to convince stepper motor users about the advantages of the novel solution.

The advantages are:

- To halve the energy consumption
- To increase the operational safety
- To increase the motor dynamic
- To double the thermal reserve of the drive, or to reduce equipment costs.

The amortization of the additional costs, due to the energy saving of 100 W installed power, is possible within 8 to 12 month.



1. Ausgangslage, Potential

Schrittmotoren haben ein gutes Stromverlustleistung / Momenten – Verhältnis, sind einfach anzusteuern und werden daher in Automaten häufig eingesetzt. Aus Marktstudien geht hervor, dass alleine in der Schweiz pro Jahr rund 600'000 Schrittmotoren verkauft werden.

Die Aufnahmeleistungen der Antriebe liegen dabei im Bereich von 3 bis 300 Watt. Die meist verkauften Schrittmotoren sind im unteren Leistungssegment anzutreffen. Bei einer durchschnittlichen Leistung von 30 Watt, werden jährlich jedoch rund 18'000'000 „Schrittmotoren - Watt“ installiert. Bei einer in der Automation üblichen Betriebsdauer von 8'000 Stunden pro Jahr ergibt sich somit ein Verbrauchspotenzial von 144'000 MWh/Jahr.

Im Normalfall werden diese Motoren aus Sicherheitsgründen (Lageverlust) dauernd voll bestromt. Stromabsenkungsmöglichkeiten werden in der Praxis meist nicht berücksichtigt, da mit einfachen Ansteuerschaltungen genügend Maschinendynamik erreicht wird.

Unter der Berücksichtigung, dass bei Handlingsautomaten die typische Motor - Einschaltdauer 20% beträgt und bis heute meistens die Dauerbestromung angewendet wird, kann im Vergleich mit dem „energiesparenden Schrittmotorantrieb“ theoretisch bis zu 80% der Strom- Wärme- Verluste, in der Leistungselektronik und im Motor eingespart werden.

Damit liesse sich 8'000 x 0.8 x 1 W pro 1W installierter Leistung und Jahr, also 6.4 kWh pro installiertem „Schrittmotoren – Watt“ einsparen.

1.1 “New Stepper” Ansteuerung = Servo Ansteuerung

Der „energiesparende Schrittmotorantrieb“ soll daher durch eine geeignete, lageabhängigen Bestromung angesteuert werden. Somit nimmt der Motor nur dann Strom auf, wenn er eine Kraft erzeugen muss. Es ist deshalb erforderlich den Schrittmotor mit einer geeigneten Lagesensorik zu versehen. Die Lagesignale werden nun dahingehend ausgewertet, dass nur dann Strom fliesst, wenn die Lagevorgabe nicht erreicht wird.

1.2 Wirtschaftlichkeit

Bei einer ein- bis zweijährigen Amortisationsdauer, dürften nach obiger Rechnung die Zusatzkosten (Lagesensor + Servoregler) für eine installierte Motorleistung von 100 W im Bereich von CHF 120.- bis 200.- liegen. $(100 \times 6.4 \text{ kWh/Jahr} \times \text{CHF } 0.2/\text{kWh} = \text{CHF } 130.00/\text{Jahr})$

Dies ist ein enger, jedoch nicht hoffnungsloser Kostengürtel, insbesondere wenn dabei berücksichtigt wird, dass dem Kunden ein Zusatznutzen in Form einer höherer Motordynamik entsteht, der im Normalfall wiederum zu kürzeren Produktions- Zeiten und Kosten führt.



2. Ziele des Projekts

Es ging darum, zusammen mit einem interessierten Kunden (IEF Werner GmbH) /IEF/, mit bestehenden sowie neuen Hard- und Softwaremodulen einen Prototypen - Antrieb zu entwickeln. Er soll die technischen und wirtschaftlichen Voraussetzungen erfüllen und ist entsprechend zu analysieren und auszumessen.

2.1 Technische Voraussetzungen

2.1.1 Antrieb

Der Prototyp soll die in den Abb. 1 und 2 dargestellten Komponenten ansteuern und deren Daten berücksichtigen.

Abbildung 1:

Linearachse mit Schrittmotor



Abbildung 2:

Schrittmotor Daten



2.1.2 Elektronik / Mechanik

Bei den Antrieb - Komponenten sollen, soweit möglich, Standardkomponenten der LEAG Antriebstechnik

- Zwei- oder drei- phasige, stromgeregelte Servoverstärker
- Motorsensorik mit seriellem Übertragungsprotokoll

und IEF Werner

- Mehrachsenindexer
- Schrittmotor und Treiber

eingesetzt werden.



2.2 Ausmessung

Um aussagekräftige Resultate zu erhalten, sollen die „konventionelle -“ und die „neue -“ Lösung verglichen werden.

Die dazu notwendigen Messungen konnten in Zusammenarbeit mit der Zürcher Hochschule Winterthur realisiert werden.

3. Lösung

3.1 Konventionelle Lösung

Eine Schrittmotorensteuerung besteht aus den in Abb. 3 dargestellten Modulen.

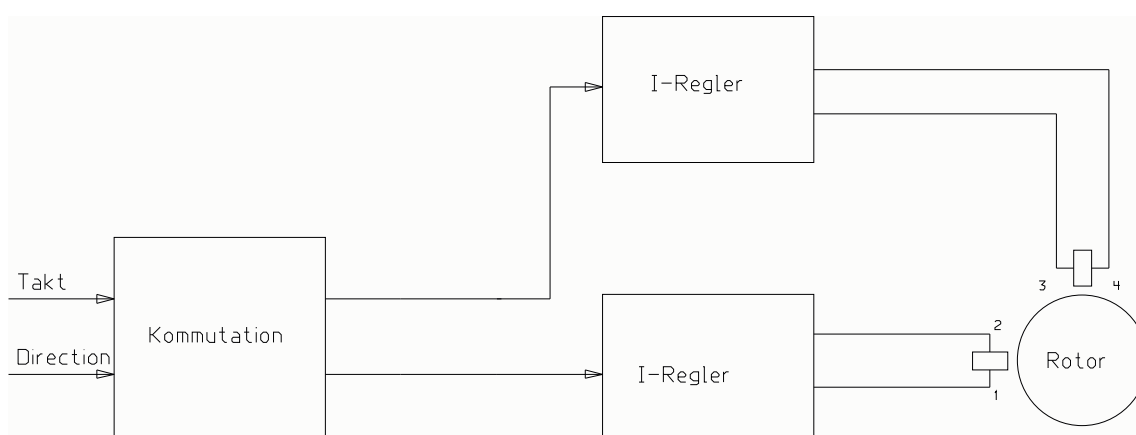


Abbildung 3

Ein - in der Abbildung nicht ersichtlicher - Indexer (Lagerechner) erzeugt Takt- und Richtungsimpulse. Diese werden durch die **Kommulation** in Stromvektor - Winkel und Amplitude für die zwei Motorspulen umgesetzt. Die zwei **Stromregler** ermöglichen, dass der Strombetrag und dessen Winkel auch bei höheren Drehzahlen den berechneten Vorgaben entsprechen. Der Rotor folgt nun, dem durch den Statorstrom erzeugten Statorfeld, wie eine Kompassnadel. Wird er zu stark gebremst, so kann er eine oder mehrere Polteilungen verlieren. Geschieht dies während dem Verfahren, bleibt die Maschine sofort stehen.

3.2 Konzept der neuen Lösung

Die in 3.1 erwähnten Fahrwegfehler können nicht mehr auftreten da ein **Kommutationsregler** (Abb. 4) dafür sorgt, dass das Statorfeld bezüglich der Rotorlage (ausgewertete **Encodersignale** A, B) einen definierten, konstanten Winkel einnimmt. Dieser wird im Normalfall so gewählt, dass die den Rotor bewegende Kraft proportional dem Strombetrag wird. Somit wird es möglich mit einem Strommultiplikator die Motorkraft einzustellen. Lässt man einen **Lageregler** (mit unterlagertem Geschwindigkeitsregelkreis) die Sollkraft des Motors berechnen wird ersichtlich, dass der Motor nur im Fall von Regelabweichungen bestromt wird.



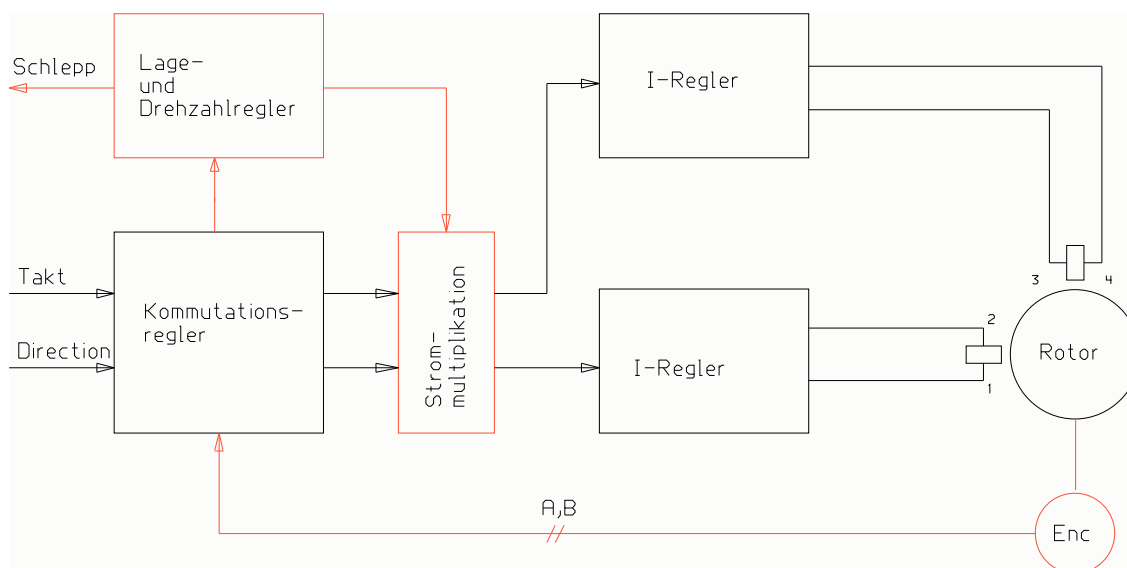


Abbildung 4

Ein Schlepp - Ausgang als Reglerstatus ist sinnvoll, da damit dem übergeordneten Indexer mitgeteilt werden kann wann die Maschine ihre Soll-Position erreicht hat.

Aufgrund der zu berücksichtigenden, wirtschaftlichen Ziele sollten die rot eingezeichneten Komponenten (als Kitt) höchstens Zusatzkosten von ca. CHF 150.- verursachen. Schrittmotoren mit einem zweiten (Dämpfer-) Wellenende sind zum Nachrüsten eines Inkrementalgebers bestens geeignet.

3.2.1 Abgrenzung zu bestehenden Lösungen

Es gibt schon heute Schrittmotor - Systeme die „closed loop“ Eigenschaften aufweisen. Dem Verfasser ist jedoch kein Prinzip bekannt welches auf der Basis der elektrischen Kommutationsregelung funktioniert. Bei einfacheren Systemen wird am Ende eines Verfahrzyklus ermittelt ob Schritte „verloren gingen“ und diese nachträglich entsprechend korrigiert „*Oriental Motors*“ nennt sein Verfahren „separat closed loop“ / Bembenek /. Die erwähnten Korrekturen sind der Kommutation (Abb. 3) vorgeschaltet.

3.3 Realisation “New Stepper” (NS)

3.3.1 Kommutationsregler

Erste Erfahrungen wurden mit einer Sensor - Decoderhardware (Abb. 5) gewonnen. Das Ziel 3'000 RPM zu erzielen wurden damit jedoch nicht erreicht.





Abbildung 5:
Sensor - Decoderhardware

Erst eine neu entwickelte Elektronik (Abb. 6) - als Optionsprint aufgebaut - führte zum angestrebten Ziel. Der Optionsprint kann auf einen AFM - Driver der Fa. LEAG Antriebstechnik AG aufgesteckt werden. Die D - sub Buchse bildet das Interface zum übergeordneten Indexer oder Lage-regler (z.B. CNC Mehrachsenregler). Um den schnellen Regelprozessen Rechnung tragen zu können, wurde die Software in Assembler geschrieben. Der heutige SW Umfang liegt bei ca. 1'500 Instruktionen.

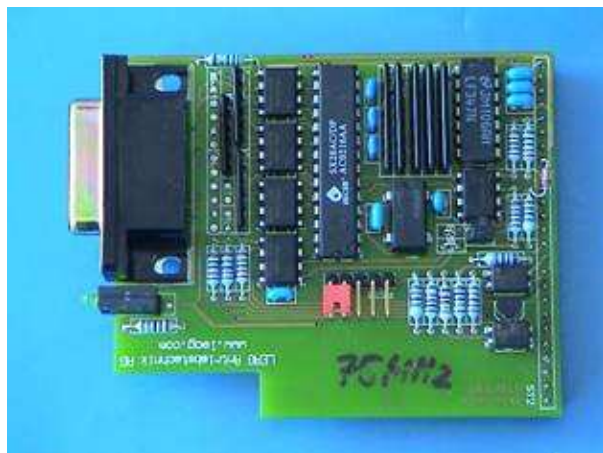


Abbildung 6:
Neu entwickelter Optionsprint für Leistungs-platine mit folgenden Komponenten:

- 5 RS-485 Schnittstellen für die Eingabe der Indexer- und Sensor - Signale und der Ausgabe der optionalen A, B Signale
- Galvanisch getrennte Schnittstellen für „Enable“ und „inPos“ Signal
- Treiber für die analogen Stromsollwert - Signale
- 75 MHz RISC Processor



3.3.1.2 Erreichte Eckpunkte

Der aktuelle Kommutations - Regler besitzt folgende Eigenschaften:

- 3'000 RPM
- 200'000 Positionen(Inkrement) / s
- Pulsvervielfachung (aktuell 5) für gleiche Lageauflösung wie konventionelle Schrittmotorsteuerung (800 Schritte / Umdrehung)
- Berücksichtigung der Motorinduktivität (im Motor - Encoder abgespeichert)
- Optionale, analoge Drehzahlvorgabe
- Zur Berücksichtigung der Regelstrecke benötigt es nur eine einstellbare Verstärkung

3.3.1.3 Grenzen des Kommutationsreglers

Durch den steten Regeleingriff ist der Antrieb, abhängig vom jeweiligen Rastmoment welches ausgeregelt werden muss, im Stillstand nicht ruhig. In einem weiteren Entwicklungsschritt soll das Stillstandsverhalten noch optimiert werden.

Der Schleppregler besitzt zwar eine entsprechende Vorsteuerung, je nach Verfahrrampe kann der Schlepp jedoch grösser als eine Polteilung werden und beim Einfahren in die Zielposition überschwingen.

Wird die Initialisierungsphase des Servoantriebs nicht störungsfrei durchlaufen, kann es zur Mitkopplung des Reglers kommen und der Antrieb beginnt somit zu schwingen (das Enable – Signal darf erst nach abgeschlossener power-up Sequenz betätigt werden).

3.3.2 Encoder

Es wurde der LEAG „4-Draht“ Encoder (serielle Datenkommunikation) verwendet /LEAG/. Damit können die wichtigsten Motorparameter (Induktivität und Maximalstrom) im Motor abgelegt werden. Diese ermöglichen es dem Kommutationsregler, sich automatisch auf den Motor einzustellen.



Abbildung 7:

LEAG 4-Draht Encoder mit:

- 1'000 Striche / Umdrehung
- Temperaturüberwachung
- Elektronischem Motordatenschild
- Serieller Datenübertragung



3.3.3 Stromregler

Auch hier kam eine Standard - Servo des Typs AFM zum Einsatz. Es handelt sich dabei um einen Dreiphasen-, Vierquadranten- Steller mit zwei Stromregler und einem analogen Drehzahl - Regelkreis. Die Lösung mit 3 Halbbrücken bietet den Vorteil, mit der gleichen Hardware auch dreiphasige Servomotoren betreiben zu können. Bei der Ansteuerung des zweiphasigen Schrittmotors liegt die verfügbare Motorspitzenspannung etwa bei 70 % der angelegten Zwischenkreisspannung. Damit muss diese Lösung, gegenüber einer Ansteuerung mit zwei Vollbrücken, mit einer Spannungsreserve betrieben werden.

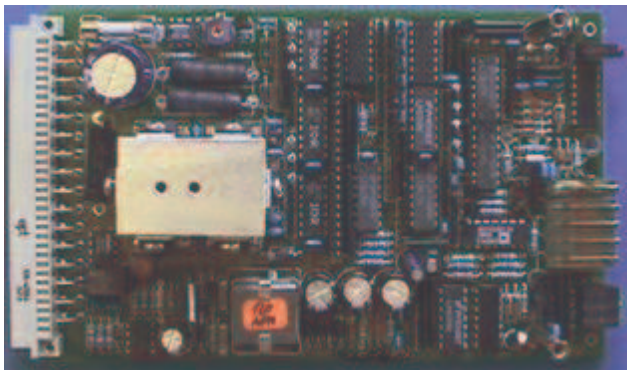


Abbildung 8:

LEAG Leistungstreiber

- 2 Stromregler (20 kHz PWM)
- 3 Halbbrücken
- Analoger Drehzahlregler mit Gain-Einstellmöglichkeit
- Einstellbarer Dauer- (8A) und Spitzen - Strom
- 80 bis 170 VDC Einspeisung

4. Messungen

Bei den Messung des Prototypen stand das Energieeinsparpotential im Vordergrund. Ein nicht unbedingt einfaches Vorhaben, welches zudem moderne Messmittel sowie kompetente Mitarbeiter voraussetzt. Die Zürcher Hochschule Winterthur /ZHW/ stellte uns diese Ressourcen zur Verfügung. Ein detaillierter Messbericht liegt vor /Mess/.

4.1 Messkonzept

Letztendlich interessiert es den Endbenutzer von Antrieben nur, wieviel Energie diese aus dem Netz beziehen.

Es wurden daher zwei mechanisch sowie motorisch identische Achsen miteinander verglichen (Abb. 9 und 10). Die Servoverstärker wurden parallel, an der gleichen Zwischenkreis – Spannung, betrieben und die Energieaufnahme simultan miteinander verglichen und gemessen. Beim einen Servoverstärker handelte es sich um einen konventionellen Standard - Schrittmortreiber („KSM“), beim Anderen um den geregelten Servotreiber (New Stepper, „NS“). Beide wurden synchron mit einen Standardverfahrprofil angesteuert.

Variiert wurde beim Verfahrprofil die **Einschaltdauer**. Diese errechnet sich aus der Zeit in der sich der Antrieb bewegt im Verhältnis zur gesamten Betriebsdauer.



4.1.1 Messgrößen

Gemessen und verglichen wurden:

- Momentanleistungsverlauf gerechnet aus Zwischenkreis -Strom und -Spannung
- Zyklusenergieaufnahme (gerechnet durch LeCroy)
- Drehzahlverlauf für einen Zyklus
- Betriebstemperaturen (Kühlkörper, Motorgehäuse)
- Kumulierte Zyklusenergie (Dauereinsatz während 2.78h)
- Zykluswirkungsgrad in Abhängigkeit der Einschaltdauer (ED)

Auf die Kalibrierung der Strom-Messsonden musste speziell geachtet werden.

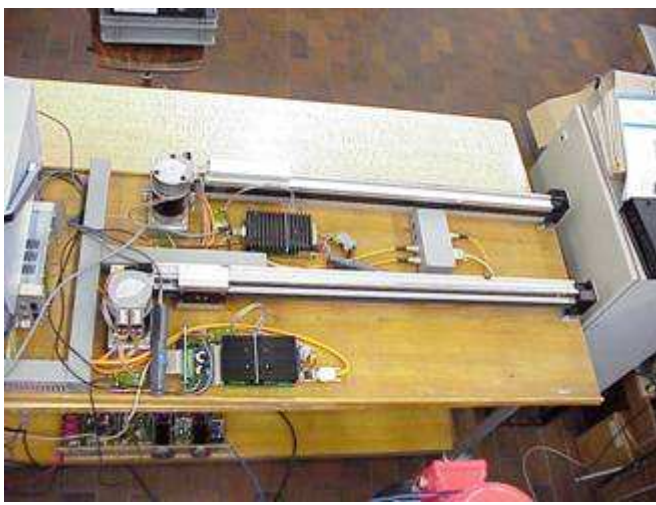


Abbildung 9:

Im Vergleich die konventionelle betriebene Linearachse (vorne) und die „New Stepper“ Linearachse (hinten), parallel aus dem gleichen DC Netzteil (gleiche Spannung) gespeisen.



Abbildung 10:

Versuchsaufbau mit dem „Rohwedder“ Indexer PA - Control (4-Achsen interpolierbar) und dem „LeCroy“ Recorder.

Beide Achsen werden über dieselben Signalleitungen, parallel angesteuert.



4.1.2 Abgeleitete Grössen

Berechnet wurden:

- Momentverlauf für einen Zyklus
- Einschaltdauer (ED) in %
- Mechanische Zyklusenergie
- Zykluswirkungsgrad

4.2 Zyklusenergie

Als typischer Verfahrzyklus wurde definiert:

- Auflösung: 800 Schritte / Umdrehung
- Verfahrgeschwindigkeit konstant: 25'000 Schritte / s (entspricht einer Motordrehzahl von 1875 RPM)
- Beschleunigung konstant: 250'000 Schritte / s²

Verfahrprogramm:

- 0 bis 5'000 Schritte (entspricht einem Fahrweg von 312.5 mm)
- Verweilzeit **t** warten
- 5'000 bis 10'000 Schritte
- Verweilzeit **t** warten
- 10'000 bis 0 Schritte
- Verweilzeit **t** warten

Mit einer Verweilzeit von **t** = 1 sec. ergibt sich eine Einschaltdauer ED = 27 %. Die Verweilzeit wurde zur Veränderung der Einschaltdauer variiert. Die Aufnahmeenergien wurden jeweils über eine längere Zeitdauer gemessen. Sie wurden in Abhängigkeit der Einschaltdauer ermittelt.

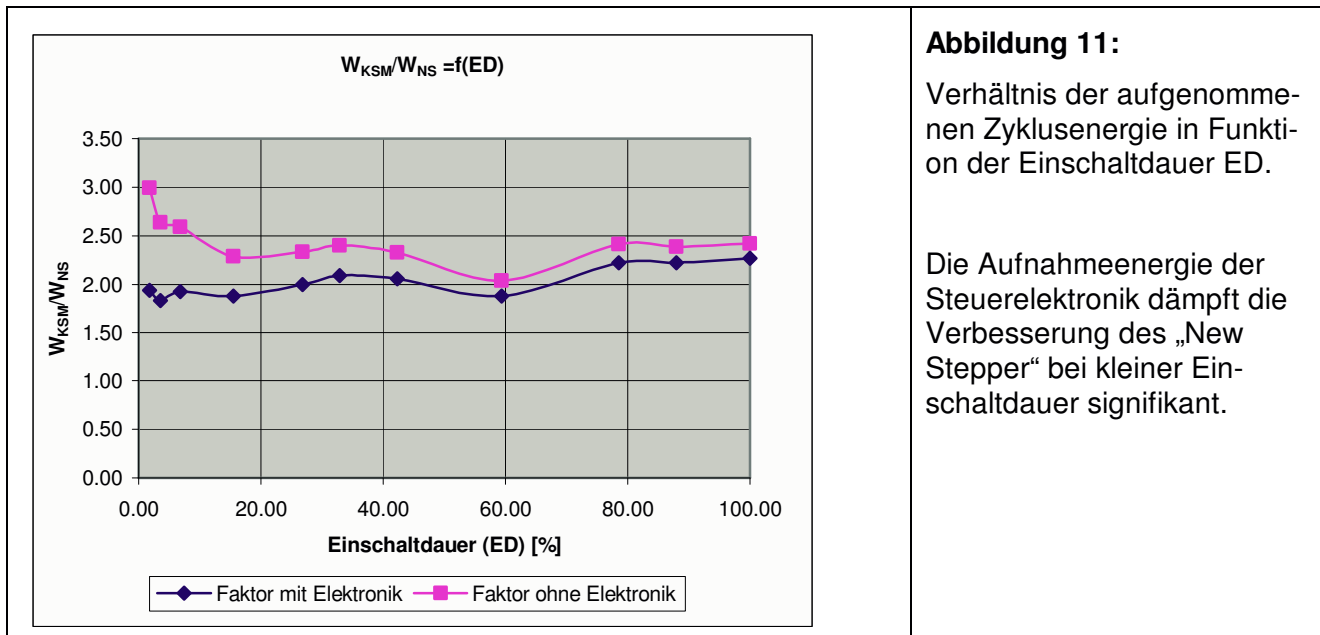
Das jeweilige Verhältnis

$$\frac{\text{Energieaufnahme (KSM)}}{\text{Energieaufnahme (NS)}} = f(\text{Einschaltdauer})$$

ist aus Abb.11 ersichtlich.

Beide Servoverstärker versorgen ihre Steuer - **Elektronik** aus dem Leistungszwischenkreis mit der notwendigen Energie. Um die Energiebilanz transparenter darzustellen, wurde bei der lila farbigen Kurve die Aufnahmeenergie der Steuer - Elektronik subtrahiert.

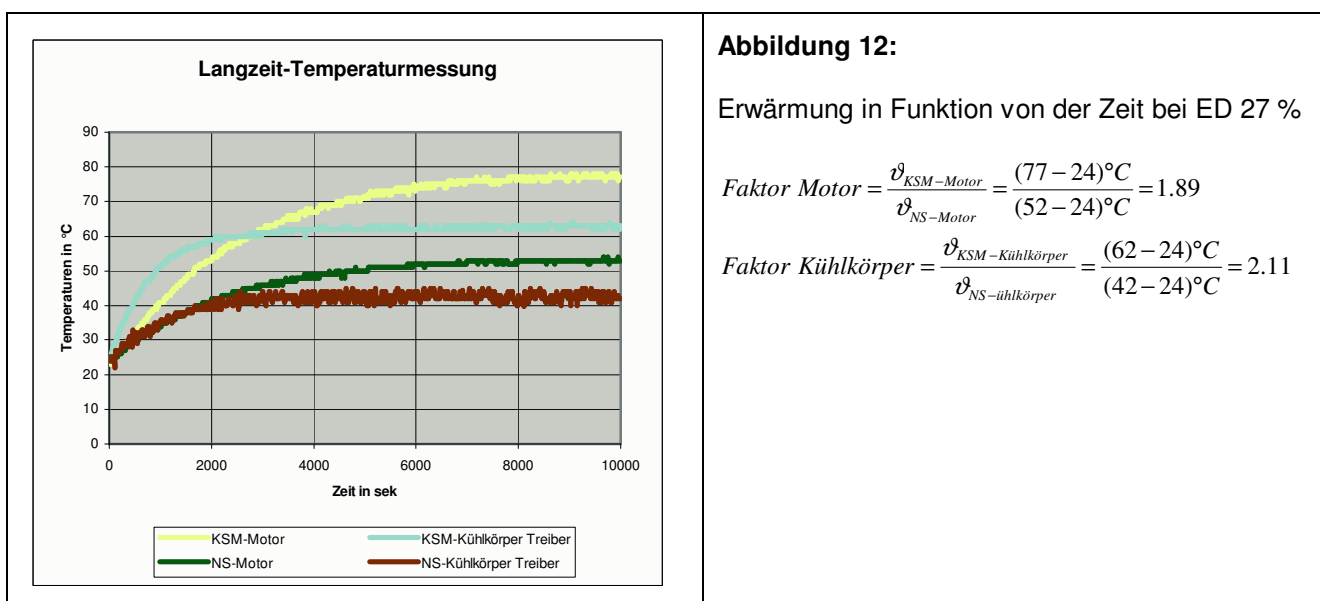




Aus den Messungen geht hervor, dass der „New Stepper“ bei gleicher Verfahraleistung im Schnitt nur die Hälfte an Energie einer konventionellen Schrittmotor - Ansteuerung aufnimmt. Damit können die **Energiekosten halbiert** werden.

4.3 Temperaturen der Komponenten

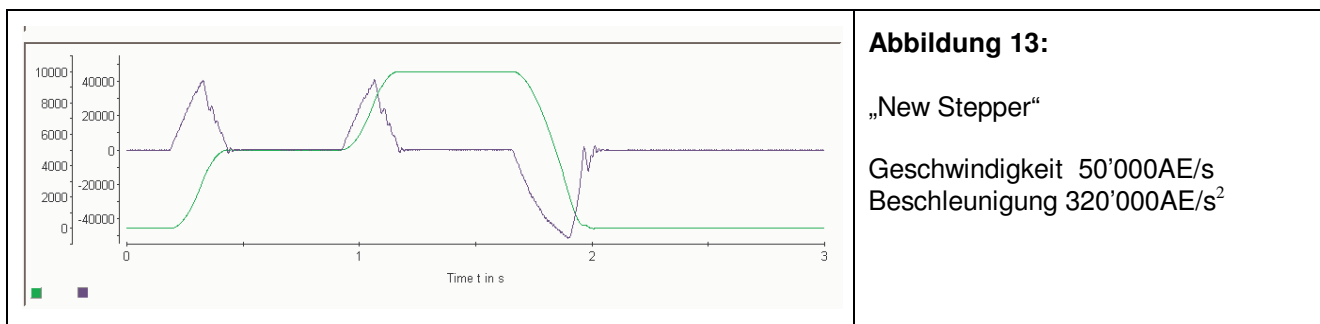
Mit der Halbierung der Energieaufnahme werden die Komponenten deutlich weniger heiss. Die folgenden Messungen zeigen dies auf.



Der Motor gewinnt durch die neue Art der Ansteuerung eine thermische Reserve, die rund eine Verdoppelung der Zyklusleistung ermöglichen würde. Die Leistungselektronik zeigt sogar noch mehr Potential. Während der Motor, bedingt durch die geforderten Kräfte, kaum verkleinert werden kann, ist es möglich bei der Leistungselektronik zu sparen, wenn die Taktzeiten nicht halbiert werden können.

4.4 Dynamik

Zur Untersuchung des Dynamikverhaltens wurde die Verfahrensgeschwindigkeit auf 50'000 Schritte / s (3'750 RPM) als auch die Beschleunigungswerte kontinuierlich gesteigert. Oberhalb der Beschleunigungswerte von 260'000 Schritte / s² kippte der konventionelle Schrittmotorantrieb und blieb stehen. Oberhalb von 280'000 Schritte / s² zeigt der „New Stepper“ ein zunehmendes Überschwingen, siehe Abb.13. Der konventionelle Schrittmotorantrieb kann nur bis zum Beschleunigungswert von 250'000 Schritte / s² sicher betrieben werden.



5. Ausblick

Das positive Echo aus der Fachwelt als auch von Schrittmotor Vertreibern, spricht für eine Weiterentwicklung. In einem nächsten Schritt soll das neue Antriebskonzept bei IEF – Werner auf seine Industrie- und Langzeit- Tauglichkeit geprüft werden. Die bei der Projektarbeit erhaltenen Erfahrungen motivieren zur Verfeinerung der Technologie. Interessenten können sich an die LEAG Antriebstechnik AG wenden.



6. Quellenverzeichnis

- /LEAG/ Produkteinformationen: www.leag.com
 Informationen: info@leag.com
- /Berchten/ Berichterstatter berchten@hotmail.com
- /IEF/ Produkteinformationen: www.ief-werner.de
 <http://www.rohwedder.de>
- /ZHW/ Zürcher Hochschule Winterthur: <http://www.zhwin.ch/>
- /Messungen/ Der Messbericht kann bei LEAG bezogen werden.
- /Bembenek/ Dipl.-Ing. Matthias Bembenek, Oriental Motor GmbH, Neuss
 iee 44. Jahrgang 1999, Nr. 11, S. 172 ff,
 <http://dbindustrie.svhfi.securitas.net/AI/resources/a912ad18377.pdf>

