

Konstruktion, Entwicklung und Anwendung von Antrieben und Steuerungen
Organ der Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V.

Titel:

Grenzen der Miniaturisierung

Servoantriebe:

Hochdynamisches Antriebs-
system aus Glockenanker-
motor und Linearverstärker

Drehgeber und Sensoren:

Auswahlhilfe zu den
verschiedenen
Drehgebersystemen

Riemen- und Kettengetriebe:

Neue Erkenntnisse aus
dem Gebiet der
Zahnriemengetriebe

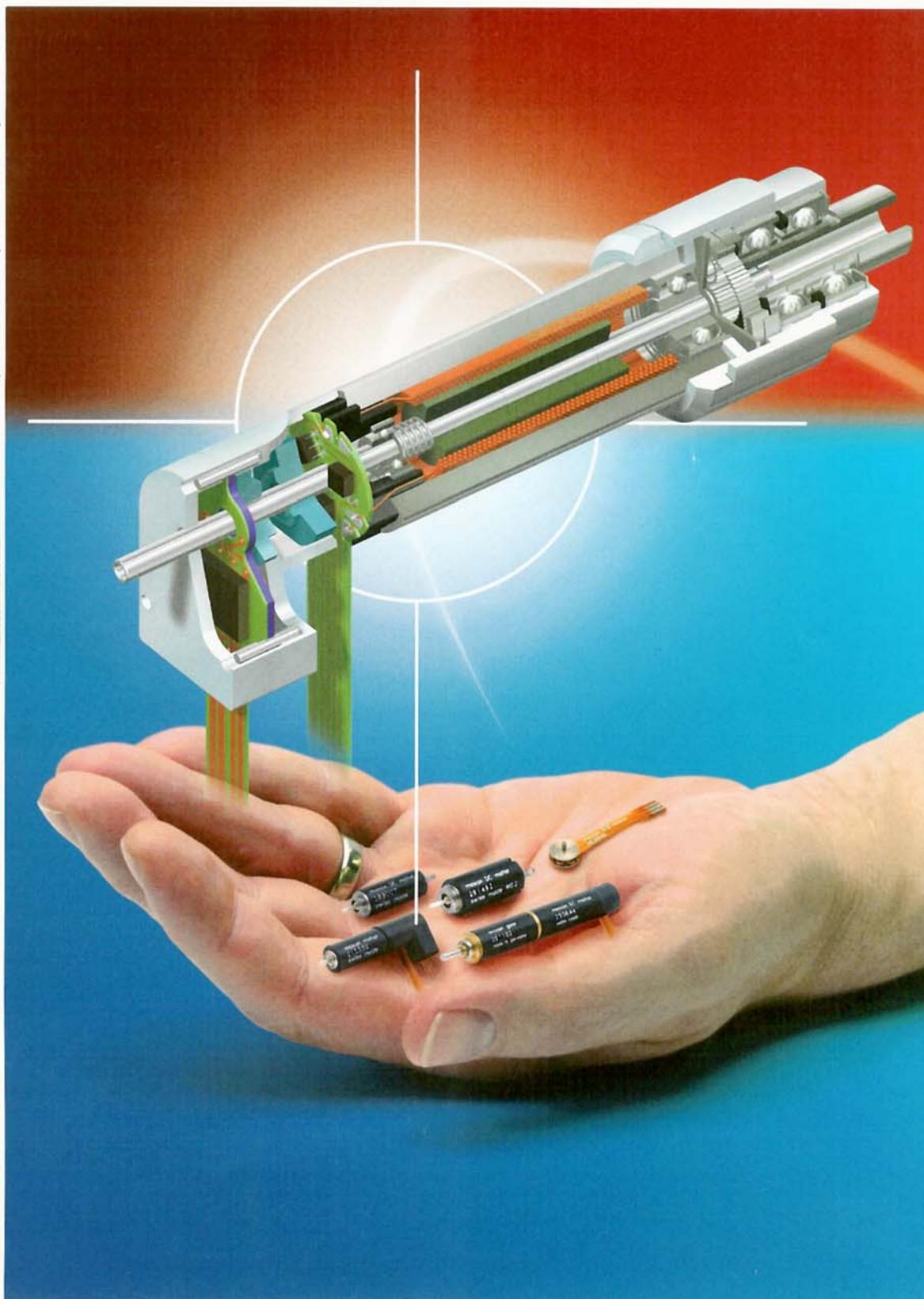


Werkstoffe:

Leichte Verbundzahnräder
aus Metall und Kunststoff

Antriebstechnik im Detail:

Der lange Weg zur
Gewindenorm



In einer Millisekunde auf 1000 min^{-1}

Hochdynamisches Antriebssystem aus Glockenankermotor und Linearverstärker



1: Servoverstärker mit Linearendstufe des Typs DCP520/60B mit Glockenankermotor vom Typ 55NM81-120-1

Carlos Renz

Das Ergebnis der hier vorgestellten Kombination aus Glockenankermotor und Linearverstärker ist ein Antriebssystem mit hoher Dynamik. Der Motor kann seine Drehzahl innerhalb einer Millisekunde von 0 auf $1\,000 \text{ min}^{-1}$ verändern. Der Antrieb bietet sich überall dort an, wo kurze Taktzeiten sowie hohe Bearbeitungsgeschwindigkeit und Präzision gefordert sind.

Das Antriebssystem von Servowatt (**Bild 1**) eignet sich somit für CNC-Maschinen, Spezial-Roboter und -Automaten, Hochgeschwindigkeitsanwendungen usw. Der eisenlose Glockenanker bietet ein minimales Trägheitsmoment und eine minimale Induktivität.

Der Linearverstärker

Der Leistungsoperationsverstärker vom Typ DCP520/60B enthält eine lineare Endstufe mit einem Dauerausgangsstrom von 12 A bei 50 V. Zum Beschleunigen und Bremsen liefert er einen Impulsausgangsstrom von 40 A über eine Zeit von 100 ms, entsprechend einem Impulsdrehmoment von 6,4 Nm. Die 500 W-Endstufe für Vierquadranten-Betrieb ist dauerkurzschlussicher ausgelegt. Sie enthält Hochleistungstransistoren im Verlustleistungsgesamtwert von 3 000 W. Diese Technik ist industrieprobirt und arbeitet zuverlässig.

Die Hauptvorteile beim Einsatz solcher Linear-Endstufen sind:

- Sie erzeugen keinerlei elektromagnetischen Störungen. Der Antrieb kann somit in Präzisionsmaschinen und in besonderen Robotern eingesetzt werden, die empfindliche Messungen, z. B. im Ultraschallbereich, durchführen.
- Sie benötigen keine Drosseln am Ausgang. Die Ausgangsimpedanz ist nahezu Null und ist daher besonders geeignet, den Rotor optimal zu dämpfen. Die sehr kleine Induktivität von 0,24 mH erlaubt hohe Stromanstiegsgeschwindigkeiten für schnellste Momentänderungen. Dies

ist eine wichtige Voraussetzung für hochdynamische Präzisionsantriebe mit großer Wellensteifigkeit.

- Sie arbeiten ohne Totzeit und sind nahezu beliebig schnell. Der Servoverstärker besitzt eine Leistungsbandbreite von mehr als 20 kHz, eine weitere Voraussetzung für einen hochdynamischen Positionierregler. Der typische Frequenzgang des Motors kann durch den Linearverstärker so gut kompensiert werden, dass ein schnelles und gleichzeitig aperiodisches Einschwingen (ohne Über- und Ausschwingen) möglich wird.

Der Glockenankermotor

Der 6-polige Glockenankermotor vom Typ 55NM81 mit starken Alnico-V5 Magneten besitzt ein geringes Massenträgheitsmoment von $71 \times 10^{-6} \text{ kgm}^2$. Bei einer maximalen Drehzahl von $2\,500 \text{ min}^{-1}$ wurde für Anwendungen als Direktantrieb die Nenn-drehzahl auf $1\,500 \text{ min}^{-1}$ definiert. Das Nennmoment ohne Kühlung beträgt 1,8 Nm bei 12 A, mit Luftkühlung bewältigt dieser Motor ein Dauermoment bis zu 3 Nm bei 20 A. Als Impulsdrehmoment erreicht

Die selbsttragende Rotorspule besteht nur aus Kupferdraht, Glasfaser und Epoxydharz

dieser Motor 10 Nm mit einem Strom von 60 A. Die maximale Winkelbeschleunigung ohne Last liegt bei $143\,000 \text{ rad/s}^2$.

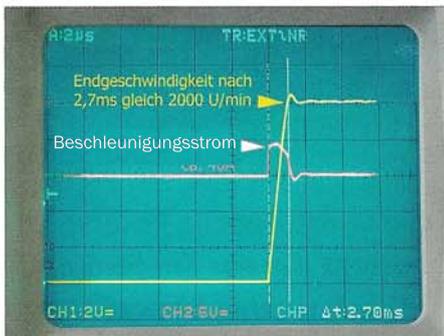
Die Hauptgründe für den Einsatz dieser Motoren mit Glockenanker sind:

- Der Rotor ist als selbsttragende Kupferspule gewickelt (**Bild 2**). Kein Eisen im Rotor bedeutet natürlich ein geringes Trägheitsmoment und gleichzeitig eine kleine Induktivität sowie absolute Freiheit von Rastmoment und keinerlei Bremsmomente bedingt durch Ummagnetisierungsverluste. Eine weitere wichtige Eigenschaft besteht darin, dass die Drehmomentkonstante eine sehr kleine Welligkeit aufweist. Das abgegebene Drehmoment ist somit sowohl unabhängig von der Lage als auch von der jeweili-

Autor: Carlos Renz ist Geschäftsführer der Servowatt Leistungselektronik GmbH in 70839 Gerlingen

gen Geschwindigkeit. Diese Eigenschaft wird unter anderem zur Untersuchung der statischen und dynamischen Eigenschaften anderer Motoren in Prüfständen verwendet.

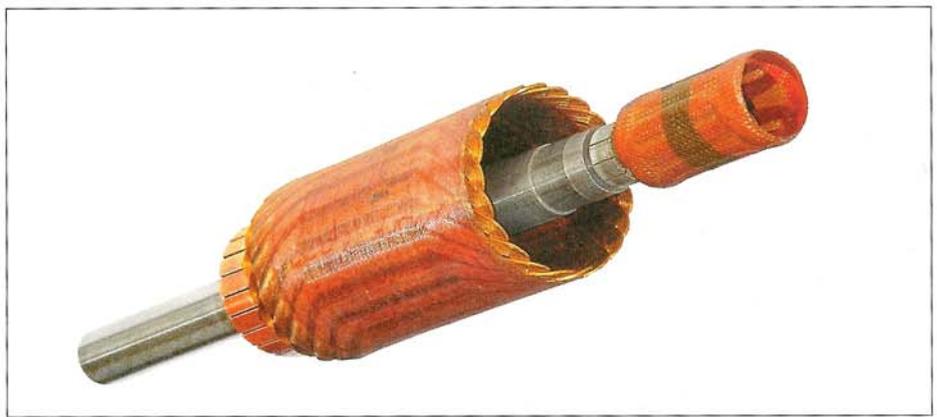
- Die angekoppelte Tachometerspule mit einem Trägheitsmoment von nur $30 \times 10^{-6} \text{ kgm}^2$ liefert einen absolut verzögerungsfreien Geschwindigkeitswert. Die Tachomotor-Torsionsresonanzfrequenz wurde durch konstruktive Maßnahmen auf über 6 kHz angehoben. Der unverzögerte Messwert der Ausgangsspannung wird regelungstechnisch für eine möglichst hohe interne Regelverstärkung verwendet, die wiederum in einer hohen Steifigkeit und Leistungsbandbreite resultiert.
- Da im Tachometer kein Eisen ummagnetisiert wird, arbeitet dieser frei von unerwünschten Effekten wie beispielsweise das Vorhandensein einer Hysterese. Die Bürsten sind doppelt und mit einem Winkelversatz ausgeführt, das heißt für beide Drehrichtungen optimiert. Der Motor kann daher „sauber“ arbeiten, auch bei schlechenden Drehzahlen. Genau diese Details aber ermöglichen erst ein Arbeiten mit sehr hoher Proportionalverstärkung, wodurch die Welle des Antriebs besonders steif bzw. unempfindlich gegen Störmomente wird. Der praktisch nutzbare Drehzahlregelbereich liegt bei über 10000:1. Alle Eigenschaften zusammen ergeben aufeinander abgestimmt einen Antrieb für hohe Anforderungen an Präzision und Dynamik.



3: Beschleunigungsdiagramm des Motors 55NM81-120-1: Von Null auf 2 000 min^{-1} in zirka 2,7 ms, fast überschwingungsfrei



4: Linear-Aktuator: Das Steuerungsverfahren von Servowatt liefert hochgenaue Positionierung bis in den Nanometer-Bereich, mit optimaler Dämpfung und Steifigkeit



2: Herzstück des Glockenanker-Motors ist die selbsttragende Rotorspule mit einem Durchmesser von 37 mm und einer Länge von 73 mm: Sie besteht nur aus Kupferdraht, Glasfaser und Epoxydharz. Der Luftspalt zwischen Rotor und Stator beträgt nur 0,25 mm

Bild 3 zeigt die Sprungantwort der Drehzahl für Drehzahländerungen um 2000 min^{-1} . Dieses aperiodische Einschwingen zeigt im Vergleich mit dem Einschwingverhalten anderer Antriebe, warum dieses Antriebssystem auch neben bürstenlosen Systemen immer eine Daseinsberechtigung haben wird: Es ist bezüglich Dynamik und Dämpfung aufgrund seiner physikalischen Parameter anderen Systemen überlegen.

Das System der selbsttragenden Kupferspule im statischen Magnetfeld ist erstens in der Dynamik unübertroffen und zweitens umschließt diese Spule kein Eisen und ist somit extrem induktivitätsarm. Das „mustergültige“ Einschwingverhalten beweist die gute Leistungsbandbreite dieses Systems. Die rotierende Spule im statischen Magnetfeld wird physikalisch bezüglich Verluste, Rastmomentfreiheit und kleiner Induktivität immer einem System mit rotierenden Magneten im Spalt überlegen sein.

Die richtige Ansteuerung

Bei der Frage nach der richtigen Ansteuerung für diesen Antrieb stellt man fest, dass die Abtastzeit einer üblichen Achssteuerung von etwa 1 bis 4 ms sicher viel zu langsam ist, um seine Dynamik voll zu nutzen. Schon brauchbarer wäre eine Abtastzeit von kleiner 0,5 ms. Heute arbeiten moderne Positioniersteuerungen mit 50 bis 500 Mikrosekunden.

Nicht vergessen sollte man analoge Positionierungen. Wenn diese richtig ausgelegt werden, kann nicht nur schnell, sondern vor allem stufenlos positioniert werden. Mit modernen Potentiometern und induktiven Gebern, auch kontaktlos, lassen sich in der Praxis für kleine Wege bis weit über 500 Positionierungen pro Sekunde realisieren. Nicht wenige der schnellsten und präzisesten Anwendungen funktionieren auf diesem Prinzip.

Anwendungen

Der Antrieb eignet sich insbesondere als Zustellachse in Hochleistungspräzisionsmaschinen, die im μ - oder Sub- μ -Bereich

arbeiten: Schleifmaschinen für Präzisionsteile, Verzahnungen und Schrägverzahnungen, Präzisionsdrehmaschinen, Drehmaschinen für unrunde Teile usw. Auch für sehr schnelle Fertigungseinrichtungen und spezielle Roboter ist der Antrieb geeignet, wie z.B. xy-Koordinatentische, Bestückungs- und Montageautomaten für Kleinteile, Sortierautomaten für Halbleiter, Folien- und Papierverarbeitungsmaschinen, Schnelldrucker bis zu 2500 Zeilen pro Minute, Hochgeschwindigkeitswickelautomaten und mit kleineren Motoren auch Laser-Trimmautomaten für Schichtwiderstände.

Aufgrund der kleinen Drehmomentwelligkeit des Motors eignet er sich auch als trägheitsarmer Drehmomenterzeuger in Prüfeinrichtungen (Linearität besser als 3 %). Somit kann der Antrieb auch sehr gut auch in Motorprüfständen eingesetzt werden, wobei das Drehmoment positiv oder negativ über den Strom stetig verändert wird. Auch zur Erzeugung von Impuls-Störmomenten können verschiedene Kurvenformen wie z. B. rechteckig, dreieckig, sinusförmig, frei programmierbar usw. fast trägheitslos erzeugt werden. Für diesen Fall arbeitet der 4-Quadranten-Regler als bipolare Stromquelle.

In Hightech-Anwendungen wird der Verstärker DCP 520/60 eingesetzt, um moderne bürstenlose Linearmotoren und Aktuatoren anzutreiben. Hiermit lässt sich z. B. der Antrieb eines Linear-Aktuators (**Bild 4**) mit 200 N und mehr für viele neue hochdynamische Applikationen realisieren. Hierbei ist wieder hervorzuheben, dass mit einer hohen Beschleunigung und aperiodischer Dämpfung eine hohe Genauigkeit bis in den Nano-Bereich erreicht wird.

SERVOWATT

319

English Summaries: Our readers will find an English summary of this report under www.vfmz.de/summaries

Weitere Informationen 150 ►