

MECHATRONIK **FM**

Das Magazin für interdisziplinäre Produktentwicklung

4 | 2005

Ausgabe APRIL 2005

113. Jahrgang

www.mechatronik-magazin.de

EC-powermax

Sonderdruck

SPECIAL

ANTRIEBSTECHNIK

DC-Motoren:
Präzision und extreme
Dynamik für Werk-
zeugmaschinen und
Spezialroboter

42

Blitz-Starter

Dynamische Antriebe für Hochleistungs-Präzisionsmaschinen.

Extrem hohe Dynamik ist das Kennzeichen der Kombination aus Glockenankermotor und Linearverstärker: Der Motor beschleunigt innerhalb einer Millisekunde von 0 auf 1000 min^{-1} . Damit ist ein solcher Antrieb kaum zu übertreffen, wenn kürzeste Taktzeiten bei zugleich sehr hoher Präzision gefordert sind.

CARLOS RENZ

■ Für hochdynamische CNC-Maschinen, Spezialroboter und schnelle Automaten oder andere Hochgeschwindigkeits-Anwendungen eignen sich Linearverstärker mit Glockenankermotoren. Der eisenlose Glockenanker bedeutet minimales Trägheitsmoment und minimale Induktivität. Zusammen mit der Ausgangsimpedanz null am Ausgang des Verstärkers sind das gute Voraussetzungen für eine sehr präzise Führung des Motors und eine extrem hohe Reaktionsgeschwindigkeit.

Der Leistungs-Operationsverstärker »DCP520/60B« von Servowatt (Bild 1) ar-

beitet mit einer bipolaren Linearendstufe gegen Masse, die einen Dauerausgangsstrom von 12 A bei 50 V liefert. Zum Beschleunigen und Bremsen liefert er einen Impuls Ausgangsstrom von 40 A über eine Zeit von 100 ms, entsprechend einem Impulsdrehmoment von 6,4 Nm. Die 500-W-Endstufe für 4Q-Betrieb ist dauerkurzschlussicher ausgelegt. Sie enthält Hochleistungstransistoren im Verlustleistungsgesamtwert von 3000 W. Diese Technik ist industriereif und arbeitet sehr zuverlässig.

Es gibt mehrere Gründe, solche Linear-Endstufen einzusetzen. Ein Vorteil ist, dass sie keinerlei EM-Störungen erzeugen. Der Antrieb lässt sich somit auch in Prä-

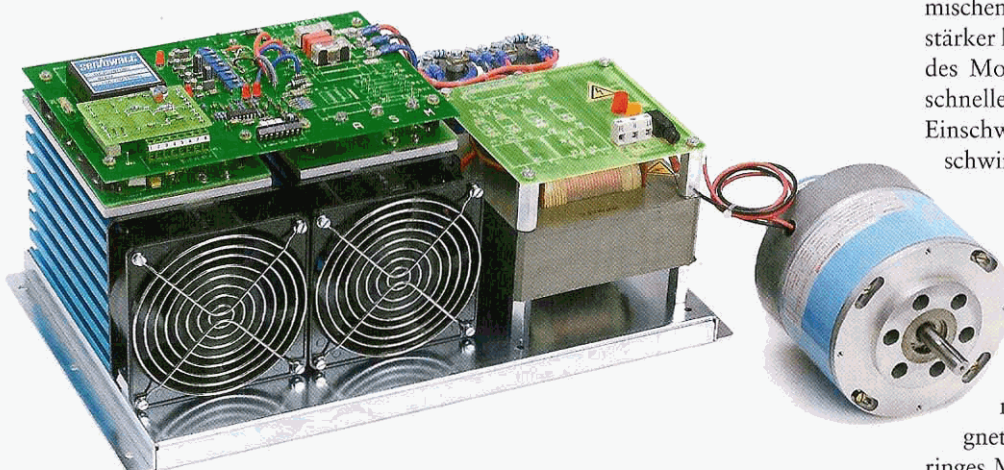
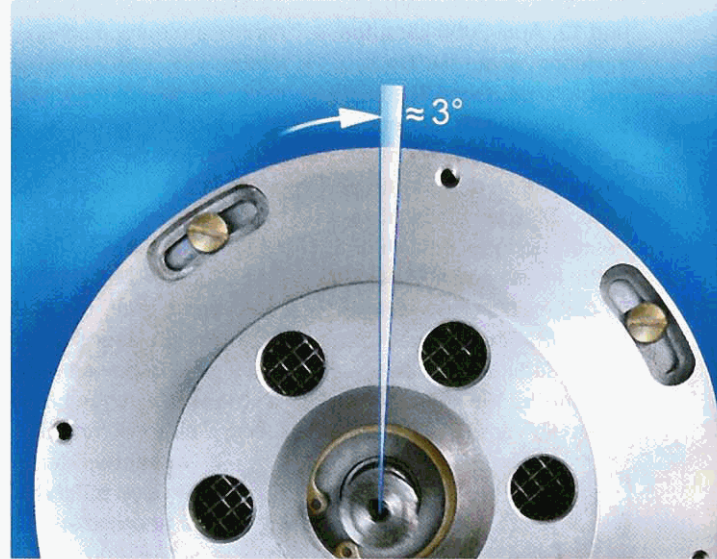
zisionsmaschinen und in Robotern verwenden, die empfindliche Messungen durchführen, zum Beispiel im Ultraschallbereich. Die Linear-Endstufen benötigen keine Drosseln am Ausgang. Die Ausgangsimpedanz ist nahezu null, was eine sehr gute Dämpfung des Rotors ermöglicht. Die extrem geringe Induktivität von 0,24 mH erlaubt hohe Stromanstiegs-geschwindigkeiten für schnellste Momentänderungen, was Voraussetzung ist für hochdynamische Präzisionsantriebe mit großer Wellensteifigkeit.

Außerdem arbeiten sie ohne Totzeit und sind nahezu beliebig schnell. Der Servoverstärker weist eine Leistungsbandbreite von mehr als 20 kHz auf, eine weitere Voraussetzung für einen hochdynamischen Positionierregler. Der Linearverstärker kann den typischen Frequenzgang des Motors so gut kompensieren, dass schnelles und gleichzeitig aperiodisches Einschwingen (ohne Über- und Ausschwingen) möglich wird.

Schneller Glockenankermotor

Als Motor wird in diesem Antriebssystem der sechspolige Glockenankermotor »55NM81« mit extrem starken Alnico-V5-Magneten verwendet, der ein extrem geringes Massenträgheitsmoment von $71 \times 10^{-6} \text{ kgm}^2$ aufweist. Die maximale Drehzahl wurde für Anwendungen als Direkt-

Winkelbeschleunigung von 0 auf $1000 \text{ U/min} = 3 \text{ Grad}$



1 Die Kombination aus 500-W-Servoverstärker und Linearendstufe mit dem Glockenankermotor steht für höchste Dynamik

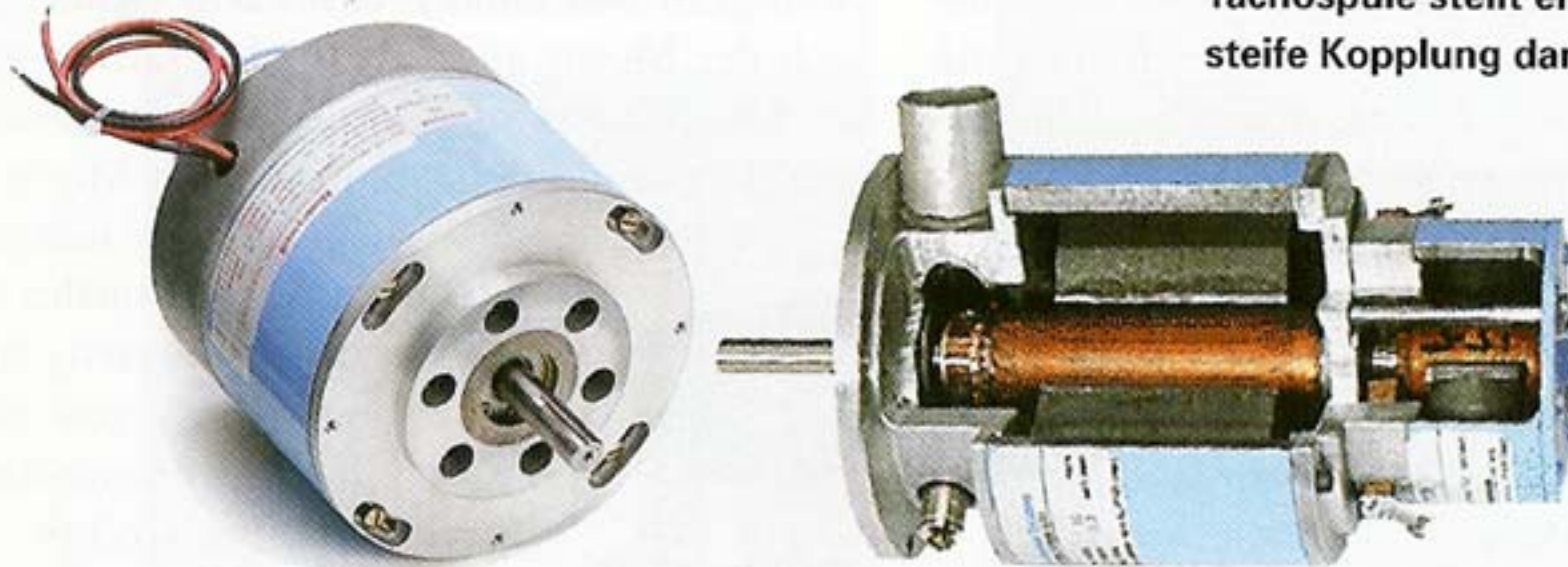
antrieb auf 2500 min^{-1} ausgelegt. Das Nennmoment ohne Kühlung beträgt $1,8 \text{ Nm}$ bei 12 A , mit Luftkühlung bewältigt dieser Motor ein Dauermoment bis zu 3 Nm bei 20 A .

Als Impuls-Drehmoment erreicht der Motor 10 Nm mit einem Strom von 60 A . Die maximale Winkelbeschleunigung ohne Last liegt bei $143\,000 \text{ rad/s}^2$. Diese Eigenschaften machen diesen Motor für hochdynamische Anwendungen bis 1500 W Impulsleistung weltweit einzigartig.

Auch die Glockenanker-DC-Motoren bieten mehrere wesentliche Vorteile für die Nutzung als dynamischer Antrieb. So ist der Rotor als selbsttragende Kupferspule gewickelt (Bild 2). Kein Eisen im Rotor bedeutet geringes Trägheitsmoment und gleichzeitig niedrige Induktivität sowie absolute Freiheit von Rastmoment und Bremsmomenten, da keine Ummagnetisierungsverluste anfallen. Eine weitere wichtige Eigenschaft besteht darin, dass die Drehmomentkonstante nur sehr geringe Welligkeit aufweist. Das abgegebene Drehmoment ist somit unabhängig sowohl von der Lage als auch von der je-



2 Glockenankermotor mit selbsttragender Rotorspule aus Kupferdraht, Glasfaser und Epoxydharz: Der Luftspalt zwischen Rotor und Stator beträgt nur $0,25 \text{ mm}$, die massive Verbindung zwischen Antriebsspule und Tachospule stellt eine sehr steife Kopplung dar



KONTAKT

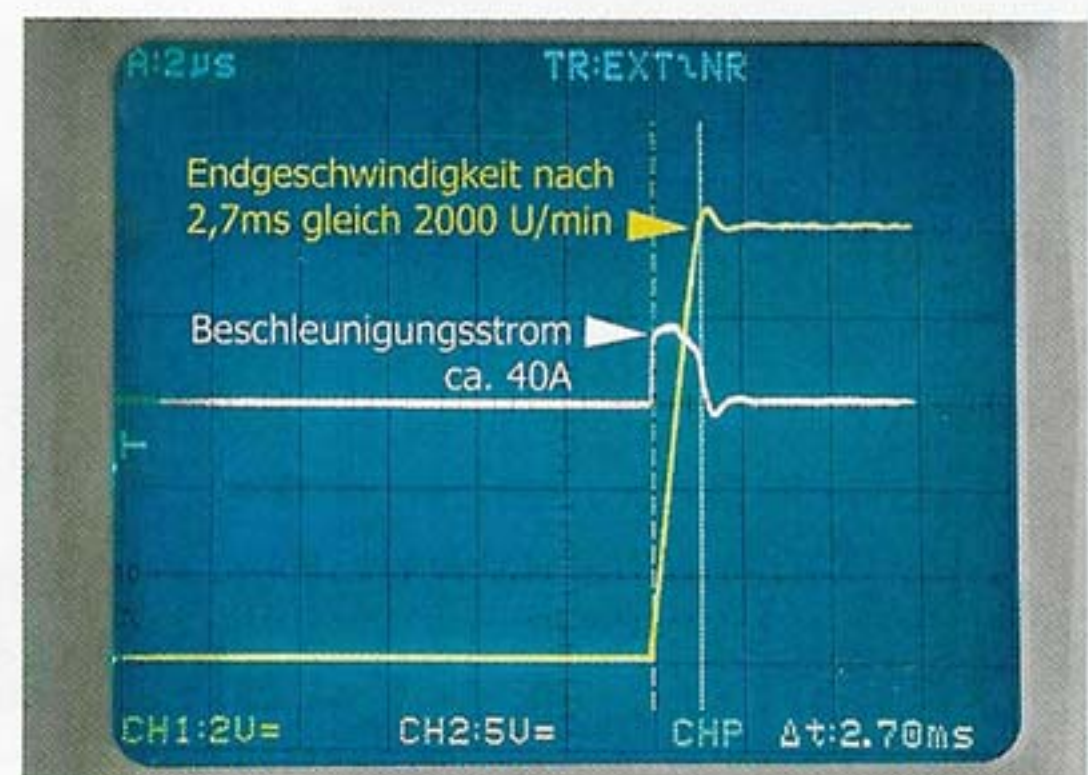
Servowatt Leistungselektronik GmbH,
70839 Gerlingen,
Tel. 0 71 56 / 2 40 41,
Fax 0 71 56 / 2 99 44,
www.servowatt.de

weiligen Geschwindigkeit. Diese Eigenschaften werden zum Beispiel in der Entwicklung und Untersuchung der statischen und dynamischen Eigenschaften von Bürstenlos-Antrieben in besonderen Prüfständen verwendet.

Die angekoppelte Tachometer-Spule mit einem Trägheitsmoment von nur 3×10^{-6} liefert einen absolut verzögerungsfreien Geschwindigkeits-Istwert. Die Tacho-Motor-Torsionsresonanzfrequenz wurde durch eine besonders starre Kopplung auf über 6 kHz angehoben. Der unverzögerte Messwert der Tachospaltung wird regelungstechnisch für eine möglichst hohe interne Regelverstärkung verwendet, die wiederum in einer hohen Steifigkeit und Leistungsbandbreite resultiert. Da im Tacho kein Eisen ummagnetisiert wird,

arbeitet dieser frei von unerwünschten Effekten wie Hysterese. Die Bürsten sind doppelt und mit einem Winkelversatz ausgeführt, das heißt für beide Drehrichtungen optimiert. Der Motor kann daher makellos sauber arbeiten, auch bei schleichenden Drehzahlen. Genau diese Details aber ermöglichen erst das Arbeiten mit sehr hoher Proportionalverstärkung, wodurch die Welle des Antriebs besonders steif, also unempfindlich gegen Störmomente wird. Der praktisch nutzbare Geschwindigkeitsregelbereich liegt bei über $10\,000 : 1$. Alle Eigenschaften zusammen ergeben aufeinander abgestimmt einen Antrieb für höchste Anforderungen an Präzision und Dynamik.

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



3 Beschleunigungsdiagramm des Motors: Von null auf 2000 min^{-1} in $2,7 \text{ ms}$, fast überschwingungsfrei. Der Impulsstrom wurde auf 40 A begrenzt, die Winkelbeschleunigung erreicht $78\,000 \text{ rad/s}^2$. Mit maximal 60 A würde die Beschleunigung sogar auf $120\,000 \text{ rad/s}^2$ ansteigen

EXPERTENTIPP

Schnelle Ansteuerung erforderlich

Bei der Frage nach der richtigen Ansteuerung für diesen Antrieb stellt man fest, dass die Abtastzeit einer Achssteuerung von mehr als 1 ms sicher viel zu langsam ist, um seine Dynamik zu nutzen. Schon sinnvoller sind Abtastzeiten von 50 bis $300 \mu\text{s}$ in modernen Positioniersteuerungen. Nicht vergessen sollte man analoge Positioniersteuerungen, denn wenn diese richtig ausgelegt sind, können sie nicht nur sehr schnell, sondern auch vor allem stufenlos positionieren.

Ein Beispiel, das die Dynamik demonstriert: Der Motor positioniert 100-mal pro Sekunde in Winkelschritten von $1/100$ Umdrehung und verharrt dort jeweils 8 ms für einen Messvorgang. In 1 s wurden somit in einer Umdrehung 100 Winkellagen angefahren und während insgesamt $0,8 \text{ s}$ 100 Messungen durchgeführt.

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 extreme Leistungsbandbreite dieses Motors. Die rotierende Spule im statischen Magnetfeld wird physikalisch bezüglich Verlusten, Rastmomentfreiheit und geringer Induktivität immer der Umkehrung überlegen sein, bestehend aus rotierenden Magneten im Spalt. Sehr zu Recht hat die Schweizer Firma Portescap vor vielen Jahren in einer physikalischen Abhandlung über den DC-Korbanker-motor verkündet: »Der kürzeste Weg zwischen Mechanik und Elektronik.« Es scheint, dass diese Aussage für immer gültig bleiben wird.

Präzisions-Anwendungen

Der Antrieb eignet sich insbesondere als Zustellachse in Hochleistungs-Präzisionsmaschinen, die im Bereich von Mikrometern und darunter arbeiten, wie Schleifmaschinen für Präzisionsteile, für Verzahnungen und Schrägverzahnungen, Zahnradmessmaschinen und Präzisionsdrehmaschinen. Auch für sehr schnelle Fertigungseinrichtungen und spezielle Roboter ist der Antrieb geeignet, wie XY-Koordinatentische, Bestückungs- und Mon-

tageautomaten für Kleinteile, Sortierautomaten für Halbleiter, Folien- und Papierverarbeitungs-maschinen, Schnelldrucker für bis zu 2500 Zeilen pro Minute, Hochgeschwindigkeits-Wickelautomaten und Laser-Trimmautomaten für Schichtwiderstände.

Auf Grund der geringen Drehmoment-Welligkeit von unter drei Prozent eignet sich der Motor auch als trägheitsarmer Drehmomenterzeuger in Prüfeinrichtungen. Dort kann der Motor sehr gut Motorprüfstände antreiben, wobei das Drehmoment proportional-linear über den Strom stetig verändert wird. Zur Erzeugung von Impuls-Störmomenten lassen sich rechteckige,



4 Mit Linear-Aktoren ist hochgenaue Positionierung bis in den Nanometer-Bereich möglich

dreieckige, sinusförmige und andere Kurvenformen frei programmierbar fast träg-

FAZIT

Dynamik und Genauigkeit vereint

Die Linearendstufe mit dem Glockenankermotor stellt eine besonders leistungsstarke Kombination aus Dynamik und Positioniergenauigkeit dar. Damit ist ein solches Antriebssystem interessant für schnelle Präzisions-Bearbeitungsmaschinen oder Nanometer-genaue Aktoren.

heitslos erzeugen. Für diesen Fall arbeitet der 4Q-Regler beschaltet als bipolare Stromquelle. In Hightech-Anwendungen wird der Verstärker DCP 520/60 eingesetzt, um einphasige bürstenlose Linear-motoren und Aktoren anzutreiben. Es werden bereits hierfür verschiedene Aktoren serienmäßig angeboten, wie der in Bild 4 dargestellte Typ mit 200 N. Optimierte Konstruktionen können alle Vorzüge des Leistungsoperationsverstärkers nutzen: Sie arbeiten hochdynamisch, steif, optimal bedämpft und sind daher bis in den Nanobereich einsetzbar. ■

Autor

CARLOS RENZ ist Geschäftsführer von Servowatt Leistungselektronik in Gerlingen bei Stuttgart.

Als Entwicklungsdienstleister begleiten wir Sie. Von der Idee bis zur Serienreife.

ASKION



- Systementwicklung
- Konstruktion
- Elektronik-Hardware
- Elektronik-Software
- Fertigung

++ Druck- und Belichtungstechnik ++ Medizintechnik/Diagnostik ++ Bioanalytik ++ Prüf-, Mess- und Steuerungstechnik ++ Sensorik ++
++ Feinmechanisch-optische, elektromechanische und optoelektronische Baugruppen und Systeme ++



ASKION GmbH · Gewerbepark Keplerstraße 17-19 · D-07549 Gera · Phone: +49 (0) 365 7353 400 · e-mail: info@askion.com · www.askion.com