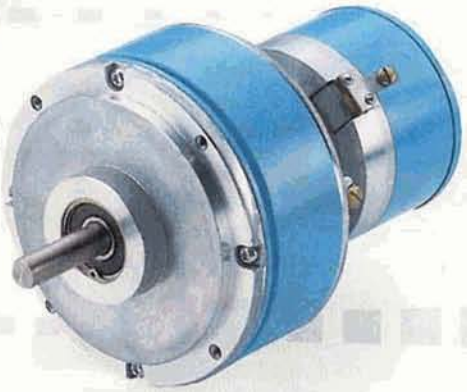
PSI - Hochdynamische Hohlanker DC-Servomotoren
Der kürzeste Weg zwischen Mechanik und Elektronik ...

servowatt

Hochdynamische
Moving-Coil DC-Motoren
55NM81-120-1
und 33VM62-220-1



Linearverstärker mit Impedanz Null Ohm am Ausgang eignen sich besonders zum Antreiben von Moving-Coil DC-Motoren und Tauchspulen DC-Aktuatoren mit eisenfreien Spulen, die eine sehr niedrige Induktivität besitzen. Die Stromanstiegsgeschwindigkeit und damit die erzeugte Kraft oder das Drehmoment ist extrem schnell: Die wichtigste Voraussetzung für hochdynamische Servosysteme.
Abbildung: 250 Watt =25V/10A - Servoverstärker DCP260/30

Allgemeine Beschreibung

Design mit extrem niedrigem Massenträgheitsmoment

Diese PSI - DC Servomotoren zeichnen sich durch ihr besonderes Rotordesign aus.
Der Durchmesser der eisenlosen Spule ist sehr klein gehalten, um ein möglichst geringes Massenträgheitsmoment zu erzielen. Die Einzelwicklungen werden auf einem Dorn fixiert, geformt und mit Glasfasern und Epoxid verstärkt. Der Spulenkorb wird dadurch sehr verwindungssteif und erträgt Temperaturen von 155°C.

Der Stator stellt eine ebenso bemerkenswerte Konstruktion dar. Außerhalb des Rotors sind je nach Motortyp 2, 4 oder 6 Magneten angeordnet, deren Magnetfluß im Rotor durch einen stationären Eisenkern und außen durch den Eisenring des Gehäuses geschlossen wird. Durch die Anordnung der Magneten außerhalb des Rotors können größere Magneten eingebaut und damit sehr hohe Luftspaltinduktionen erzielt werden.

Diese einzigartige Motorauslegung hat besondere Vorteile für den Anwender: der eisenlose Rotor optimiert das Trägheitsmoment, die Induktivität des Motors und garantiert ruhigen Lauf; der Stator mit seiner hohen Induktion ergibt eine optimale Drehmomentkonstante und ermöglicht sehr hohe Spitzendrehmomente ohne Entmagnetisierungsrisiko.

Das hohe Verhältnis Drehmoment-zu-Massenträgheitsmoment dieser Motoren bietet kürzestmögliche mechanische Zeitkonstanten und sehr hohe Winkelbeschleunigungen, welche Werte von 675.000 rad/s² erreichen können.

Um die Möglichkeiten dieser schnellen Motoren voll auszuschöpfen, müssen natürlich entsprechend schnelle Steuerungen verwendet werden. Wir erteilen Ihnen gerne weitere Auskünfte.

SERVOWATT GmbH, Graevenitz-Str. 1-5, 70839 Gerlingen, Tel: 0049-(0)7156-24041, Fax: -29944, Mail: info@servowatt.de

3.2 Ergebnisse mit anderen Treibern bzw. Spannungen

Die unter 3.1 aufgeführten Ergebnisse ändern sich bei Benutzung eines anderen Verstärkers oder einer anderen Versorgungsspannung. Die Ergebnisse mit veränderten Versorgungen zeigt Tabelle 3. Der Eisenankermotor ist nun auf eine Spannung von ±80 V begrenzt, wodurch der maximale Drehzahlfehler beträchtlich zunimmt. Der 4VM Motor mit eisenlosem Rotor wird von einem Chopper gespeist. Zur Verringerung des Stromrippels wird eine zusätzliche Induktivität von 0.7 mH notwendig, was die erforderliche Spannung erhöht.

	HPR 4VM81-220-71 Chopper (L = 0,7 mH)	Eisenanker (±80V max)
max. Drehzahlfehler	1,3 rad/s	5 rad/s
Beschleunigungs/Max.Strom	10/40 A	15/19 A
max. nötige Spannung	70 V	80 V
Stromeffektivwert/Nennstrom	6/7,7 A	13/4,5 A
zulässige Einschaltdauer	100 %	30 %

Tafel 3: Ergebnisse für geänderte Betriebsbedingungen
Beschleunigungs/Max. Strom = Verhältnis von erforderlichem Beschleunigungsstrom zum maximal möglichen Motorstrom
Stromeffektivwert/Nennstrom =Verhältnis zwischen erforderlichem Motorstrom und dem maximalen Dauerstrom des Motors.

4. Schlußbetrachtung

Das Anwendungsbeispiel zeigt, daß ein Hochleistungsmotor mit niedrigem Rotorträgheitsmoment nicht nur schneller beschleunigen kann, sondern selbst bei von Eisenankermotoren noch erreichbaren Beschleunigungen wesentliche Vorteile bietet. Dies ist von besonderem Interesse in Fällen, wo

1) die Zielposition nicht überschritten werden soll.
2) der momentane Positionsfehler möglichst klein sein soll.

Zusätzlich bieten sie folgende Vorteile:

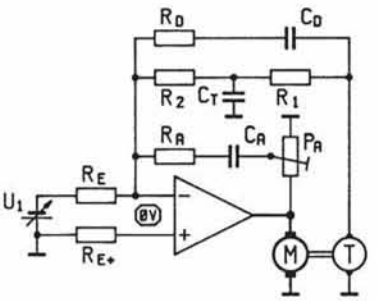
1) ein Regelverstärker kleinerer Leistung
2) niedrigere Versorgungsspannung
3) höhere Einschaltdauer
4) höhere Beschleunigung falls erforderlich
5) bessere Stabilität wegen höherer Sättigungsgrenzen (Linearität auch bei sehr hohen Beschleunigungen)

Die Motoren mit niedrigem Trägheitsmoment VM- und NM- und Rotafente Baureihen bieten daher ideale Lösungen für schwierige Anwendungen wie Wickelmaschinen, x-y-Tische und zusätzliche Achsen in Werkzeugmaschinen, wo kurze Taktzeiten mit kleinen Lastträgheitsmomenten gefordert werden.

Servo-Drehzahlregelungen

mit DC-Tachometer mit typischen Regelverhältnis 10.000: 1. In dieser Schaltung zeigen diese Verstärker ihre besonderen Qualitäten deutlich. Aufgrund der sehr hohen internen Verstärkung ist die Regelgüte ebenfalls sehr hoch und die Wellensteifigkeit gegen Störmomente, für viele überraschend, außergewöhnlich gut. Aus diesem Grunde können bestehende Aufgaben auch mit kleineren Motoren optimal gelöst werden.

Drehzahl-Servo mit Tachometer



$\omega = k_\omega * U1$ oder $n = k_n * U1$

Hochdynamisches Positionieren

mit hochwertigen Potentiometern und hochdynamischen Motoren. Mit einfachsten Mitteln lassen sich auf diese Weise hochgenaue und superschnelle Positionierungen realisieren. In einem Kreis wäre es z.B. möglich, 100 Positionen in der Zeit von 1 Sekunde nicht nur anzusteuern, sondern auch mit der erforderlichen Genauigkeit, d.h. inklusive Ausschwingen des Bewegungssystems zu positionieren. Bitte Info anfordern. Weniger spektakuläre Lösungen mit hervorragender Funktion lassen sich auch mit preiswerten Komponenten erreichen. Eine ganze Reihe von Potentiometern arbeiten heute sogar kontaktlos mit brauchbarer Genauigkeit.

5. Einige herausragende Anwendungsbeispiele

- Filmantrieb. Der Motor muß einen Bildrahmen, das entspricht 90° Achsrotation am Motor, in weniger als 8 ms mit einer Präzision im µ-Bereich positionien. Das Antriebsprinzip erlaubt dabei keinerlei Überfahren der Sollposition.
- Proben aufnehmen von einem Band, das mit 32 km/h läuft. Der Motor muss den Probenarm in 3 ms auf eine Unfangsgeschwindigkeit von 32 km/h beschleunigen was einer Drehzahl von 9000 Upm entspricht.
- Hochdynamische XYZ - Tische bei denen die mechanischen Schwingungen, hervorgerufen durch die Elastizität der Mechanik, vom Motor kompensiert werden. Der Motor mit eisenlosem Rotor ist in der Lage, Resonanzfrequenzen bis über 100 Hz präzise zu dämpfen.

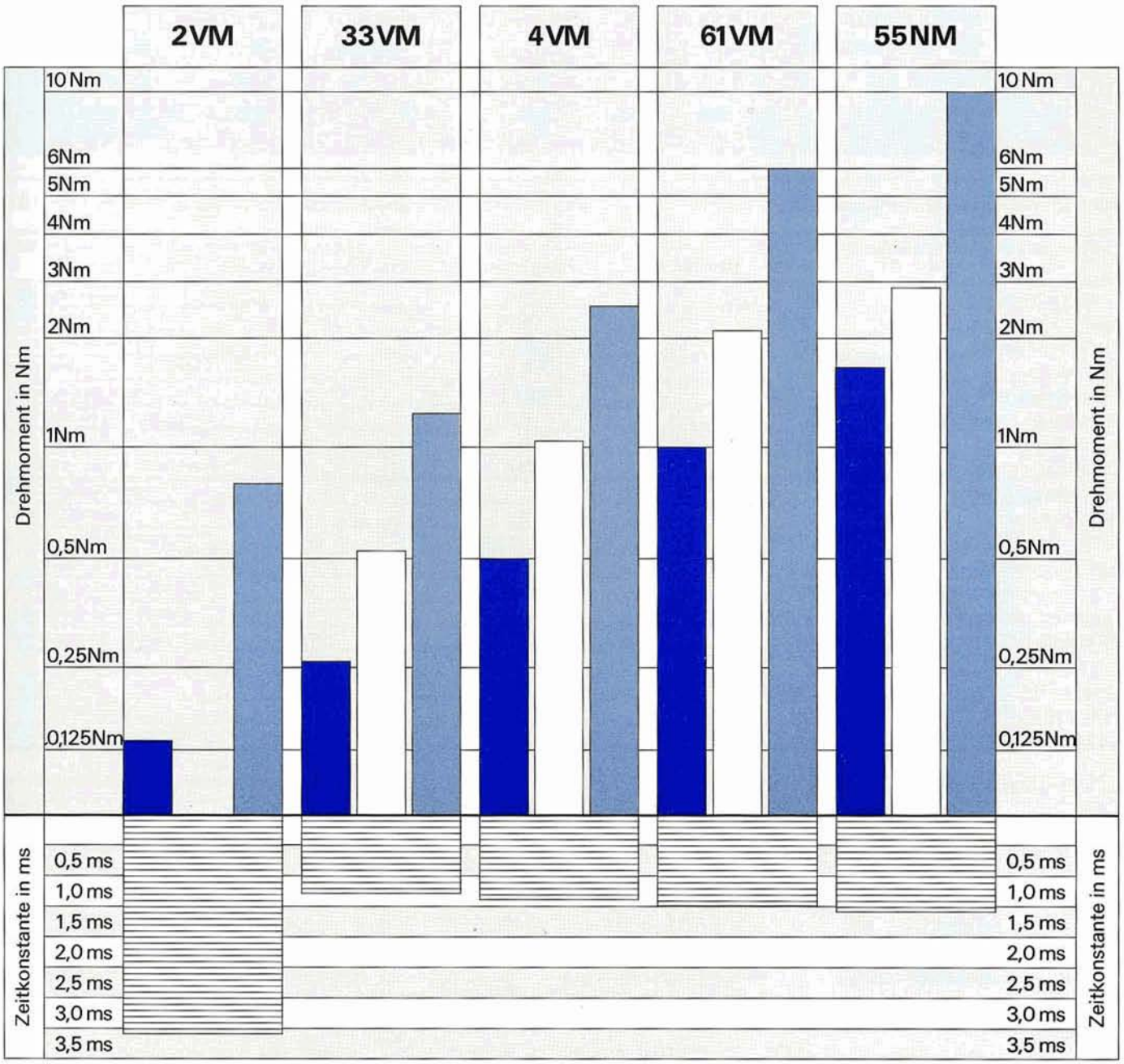
Drehzahlregelung von hochdynamischen DC-Servomotoren mit DC-Tachometer

Winkelbeschleunigungen bis zu 200.000 rad/sec², entsprechend 2.000 U/min in 1 Milisekunde. Bis 10 Nm Impulsmoment. **Start-Stop Betrieb mit einem leisen Klick.** Solche extremen Geschwindigkeitsänderungen erfolgen sogar aperiodisch, d.h. ohne Überschwingen.

SERVOWATT GmbH, Graevenitz-Str. 1-5, 70839 Gerlingen, Tel: 0049-(0)7156-24041, Fax: -29944, Mail: info@servowatt.de

Merkmale	Vorteile
Eisenloser Rotor mit externen Magneten	Sehr gutes Verhältnis Drehmoment zu Trägheitsmoment, extrem kurze mechanische Zeitkonstante, hohe Beschleunigung, keine Hysterese oder Eisenverluste, kein Rastmoment.
Graphitkommutierung	Hohes Spitzendrehmoment, lange Lebensdauer
Möglichkeit zur Fremdkühlung	Erhöhtes Dauerdrehmoment
Analoge Tachogeneratoren	Präzise und dynamische Drehzahlregelung
Optische Winkelschrittgeber	Genaue Positionierung und Drehzahlregelung
Auswechselbare Bürsten	Einfache Wartung, erhöhte Lebensdauer

Hohe Spitzendrehmomente
Das folgende Diagramm zeigt die inkrementalen Einsatzmöglichkeiten dieser Motorenreihe durch die Gegenüberstellung von Dauerdrehmoment mit und ohne Zwangskühlung, Spitzendrehmoment und mechanischer Zeitkonstante. Durch die Zwangskühlung läßt sich das Dauerdrehmoment beträchtlich erhöhen. Die sehr hohen Spitzendrehmomente ermöglichen die Erzielung der unglaublich hohen Beschleunigungswerte.



Dauerdrehmoment **ohne** Fremdkühlung

Dauerdrehmoment **mit** Fremdkühlung

Spitzendrehmoment kurzzeitig

SERVOWATT GmbH, Graevenitz-Str. 1-5, 70839 Gerlingen, Tel: 0049-(0)7156-24041, Fax: -29944, Mail: info@servowatt.de

TECHNISCHE MOTORDATEN		2VM61-020-2	33VM62-220-1	4VM81-220-1		63VM62-200-1	61VM81-220-1	61VM82-220-1	55NM81-120-2
BETRIEB OHNE KÜHLUNG 1*					BETRIEB OHNE KÜHLUNG 1*				
1. Nennmoment 2*	Nm	0,113	0,247	0,438	Nm	0,42	0,94	1,08	1,82
2. Nenndrehzahl 3*	1/min	4.475	3.875	3.150	1/min	4.460	2.000	2.100	1.460
3. Nennleistung	W	47	94	143	W	194	197	237	280
4. Nennstrom 2*	A	3,8	6,4	7,4	A	7,9	12,4	7,0	12,2
5. Nennspannung 3*	V	24	24	30	V	36	24	48	36
6. Leerlaufdrehzahl	1/min	6.450	5.525	4.380	1/min	5.300	2.800	2.700	1.775
7. Thermischer Widerstand	K/W	2,86	2,15	1,2	K/W	1,44	1,3	1,3	0,8
BETRIEB MIT KÜHLUNG 1*					BETRIEB MIT KÜHLUNG 1*				
8. Nennmoment 2*	Nm	-	0,544	1,07	Nm	1,28	2,02	2,6	3,03
9. Nenndrehzahl 3*	1/min	-	3.175	1.415	1/min	2.740	1.800	1.190	1.040
10. Nennleistung	W	-	167	160	W	370	377	333	331
11. Nennstrom 2*	A	-	13,9	17,1	A	21,4	25,9	16,6	19,5
12. Nennspannung 3*	V	-	30	30	V	36	30	48	36
13. Leerlaufdrehzahl	1/min	-	6.925	4.380	1/min	5.300	3.550	2.700	1.775
14. Thermischer Widerstand	K/W	-	0,52	0,37	K/W	0,33	0,33	0,28	0,35
ABSOLUTE GRENZWERTE					ABSOLUTE GRENZWERTE				
15. max. Impulsmoment 4*	Nm	0,63	2,6	2,57	Nm	2,52	4,8	6,56	10,1
16. max. Impulsstrom 4*	A	19	65	40	A	40	60	40	60
17. max. Drehzahl 5*	1/min	9.000	7.500	6.500	1/min	6.000	5.000	4.000	2.500
MOTOR KENNDATEN					MOTOR-KENNDATEN				
18. Drehmomentkonstante	Nm/A	0,033	0,040	0,0643	Nm/A	0,063	0,080	0,164	0,169
19. EMK-Konstante	V/1000/min	3,4	4,21	6,7	V/1000/min	6,58	8,35	16,26	17,7
20. Anschlußwiderstand 25°C	Ohm	1,59	0,85	0,8	Ohm	0,59	0,51	1,23	0,65
21. Anschlußwiderstand 155°C	Ohm	2,3	1,28	1,2	Ohm	0,88	0,77	1,67	0,96
22. Massenträgheismoment	kg m²	$3,3\ 10^{-6}$	$3,44\ 10^{-6}$	$7,1\ 10^{-6}$	kg m²	$4,6\ 10^{-6}$	$26,9\ 10^{-6}$	$26,9\ 10^{-6}$	$71\ 10^{-6}$
23. Mechanische Zeitkonstante	ms	5,0	1,7	1,37	ms	0,70	1,8	1,3	1,6
24. Rotorinduktivität	mH	0,265	0,11	0,125	mH	0,075	0,15	0,50	1,2
25. Elektrische Zeitkonstante	ms	0,17	0,13	0,16	ms	0,125	0,35	0,40	1,85
26. Statisches Reibungsmom. 6*	Nm	0,005	0,012	0,018	Nm	0,025	0,042	0,042	0,07
27. Viskoses Reibungsmoment 7*	Nm/1000/min	0,005	0,006	0,007	Nm/1000/min	0,0002	0,014	0,014	0,14
28. Dämpfungsdrehmoment 8*	Nm/1000/min	0,07	0,2	0,54	Nm/1000/min	0,7	1,31	2,17	4,6
29. Gewicht ohne Tacho	kg	1,1	2,0	3,3	kg	7,2	7,2	7,2	7,2
30. Gewicht mit Tacho	kg	1,7	2,4	3,7	kg	7,6	7,6	7,6	7,6
WINKELBESCHLEUNIGUNG 9* mit					WINKELBESCHLEUNIGUNG 9*				
31. Nennmoment (1.)	rad/s²	34.200	71.800	61.700	rad/s²	91.300	34.800	40.000	25.600
32. 3-fachem Nennmoment	rad/s²	102.700	215.400	185.100	rad/s²	273.900	104.400	120.000	76.900
33. max. Impulsmoment (15.)	rad/s²	190.000	755,800	362.200	rad/s²	547.800	177.800	243.000	142.800
BESCHLEUNIGUNGSZEIT 10* VON NULL AUF 1.000/min mit					BESCHLEUNIGUNGSZEIT 10* VON NULL AUF 1.000/min				
34. Nennmoment (1.)	ms	3,06	1,46	1,70	ms	1,15	3,00	2,62	4,09
35. 3-fachem Nennmoment	ms	1,02	0,49	0,57	ms	0,38	1,00	0,87	1,36
36. max. Impulsmoment (15.)	ms	0,55	0,14	0,29	ms	0,19	0,59	0,43	0,73
BESCHLEUNIGUNGSWINKEL 11* VON NULL AUF 1.000/min mit					BESCHLEUNIGUNGSWINKEL 11* VON NULL AUF 1.000/min				
37. Nennmoment (1.)	°/360	9,2	4,4	5,1	°/360	3,4	9,0	7,9	12,3
38. 3-fachem Nennmoment	°/360	3,1	1,5	1,7	°/360	1,1	3,0	2,6	4,1
39. max. Impulsmoment (15.)	°/360	1,7	0,4	0,9	°/360	0,6	1,8	1,3	2,2
POWER RATE / LEISTUNGSZEITFAKTOR 12* mit					POWER RATE / LEISTUNGSZEITFAKTOR 12*				
40. Nennmoment (1.)	W/s	3.870	17.735	27.020	W/s	38.347	32.700	43.200	46.650
41. 3-fachem Nennmoment	W/s	34.824	159.616	243.182	W/s	345.130	294.530	388.800	419.880
42. max. Impulsmoment (15.)	W/s	120.272	1.965.116	930.267	W/s	1.380.520	853.330	1.593.830	1.436.760

SERVOWATT GmbH, Graevenitz-Str. 1-5, 70839 Gerlingen, Tel: 0049-(0)7156-24041, Fax: -29944, Mail: info@servowatt.de

DC Motoren mit eisenlosem Läufer und Permanentmagnet

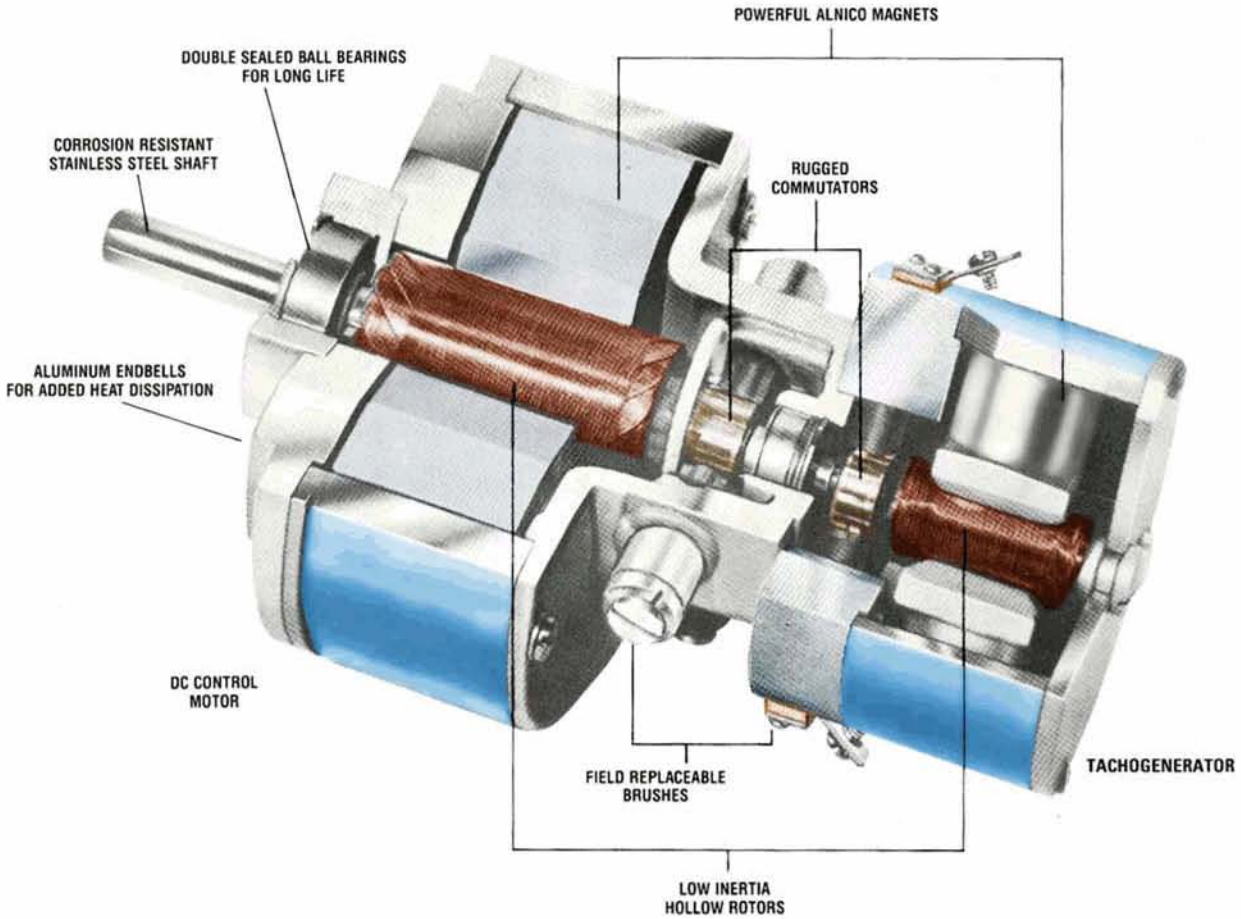
Die VM-Baureihe umfaßt Gleichstrom-Präzisionsmotoren mit besonders kurzen mechanischen Zeitkonstanten, konzipiert für blitzschnelles positionieren. Ihre Ausgangsleistungen reichen von 50 bis 500 W. Staubdichte Kugellager und auswechselbare Bürsten garantieren eine hohe Betriebssicherheit und Lebensdauer. Alle Modelle sind ab Werk mit Gleichstromtachos lieferbar, deren Signal 2,5 V pro 1000 Upm beträgt. Digitaltachos sind ebenfalls erhältlich, mit 500 oder 1000 Impulsen pro Umdrehung. Ihr Ausgangssignal ist sinusförmig oder rechteckig, einkanalig oder zweikanalig, mit oder ohne Nullindex. Beide Tachoarten können auch kombiniert werden.

Low Inertia Permanent Magnet DC Motors with ironless rotor

The VM series consists of high precision DC motors, featuring a very short mechanical time constant and built for extremely fast positioning. Their power output covers a range from 50 W to 500 W. Double sealed ball bearings and field replaceable brushes assure high reliability and long life.
All models are available with DC tachos having an output signal of 2.5 V/1000 rpm. Digital encoders are also available, with 500 or 1000 lines. Their output signal may be sinusoidal or rectangular, single or dual channel and also with a zero index. The motors are also available with both a tacho and an encoder.

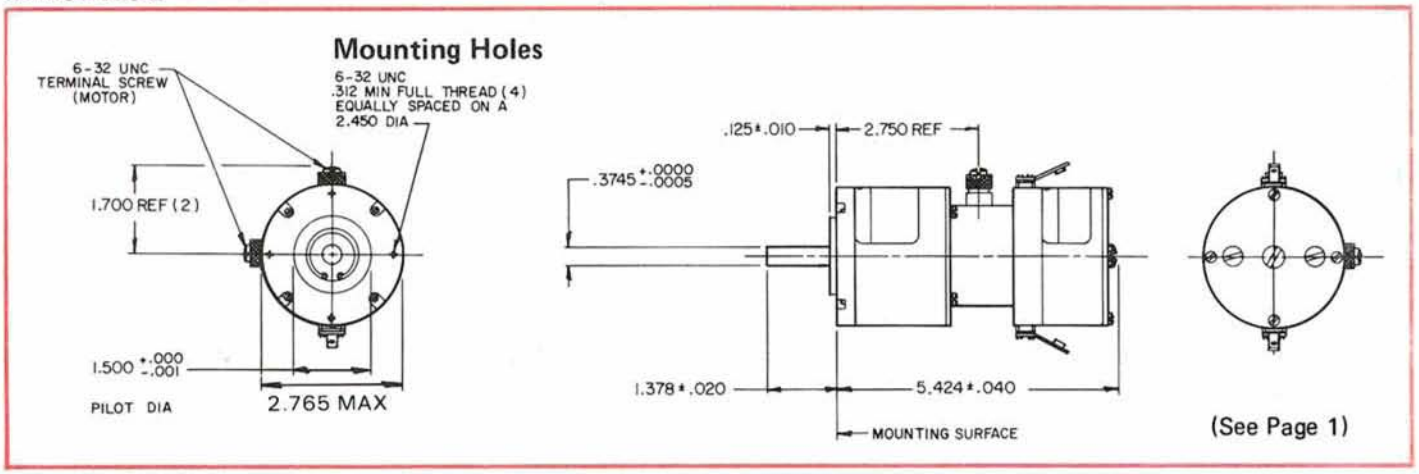
Moteurs C.C. à rotor sans fer et aimant permanent

La série VM est constituée de moteurs C.C. de haute précision avec des constantes de temps mécanique exceptionellement courtes. Ils sont conçus pour des positionnements très rapides, leur puissance de sortie se situe entre 50 et 500 Watts. Des roulements à billes étanches et des balais charbon interchangeables assurent une grande fiabilité et une durée de vie élevée.
Tous les modèles sont disponibles avec génératrice – tachymétrique à C.C. délivrant 2.5 V/1000 t/mn et également avec codeur optique à 500 ou 1000 lignes. Leur signal de sortie est de forme sinusoïdal ou rectangulaire, avec un ou deux canaux et index.

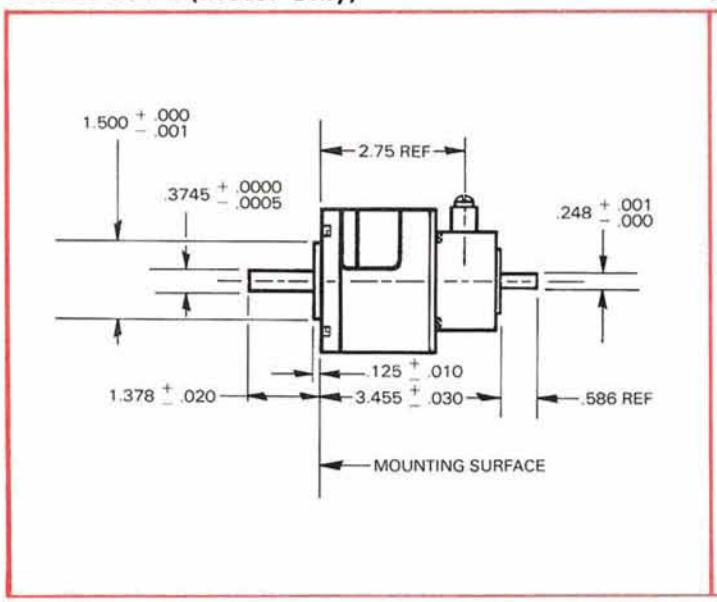


SERVOWATT GmbH, Graevenitz-Str. 1-5, 70839 Gerlingen, Tel: 0049-(0)7156-24041, Fax: -29944, Mail: info@servowatt.de

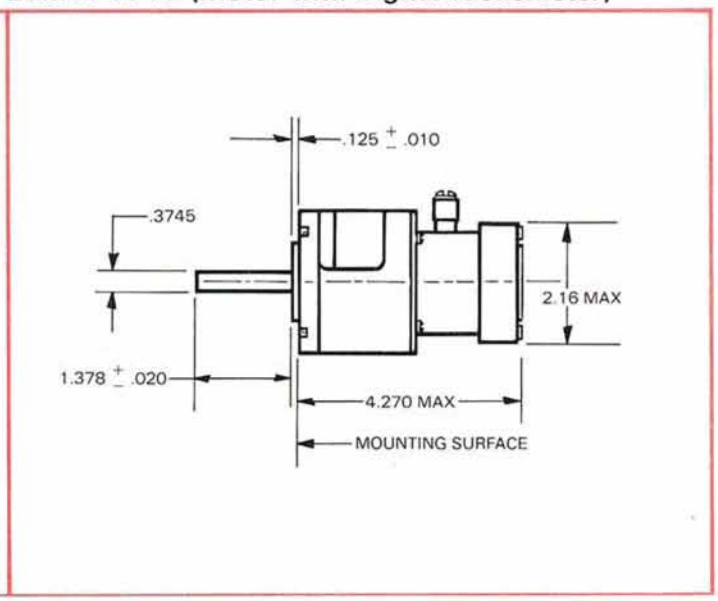
MOUNTING DIMENSIONS
2VM61-020-2



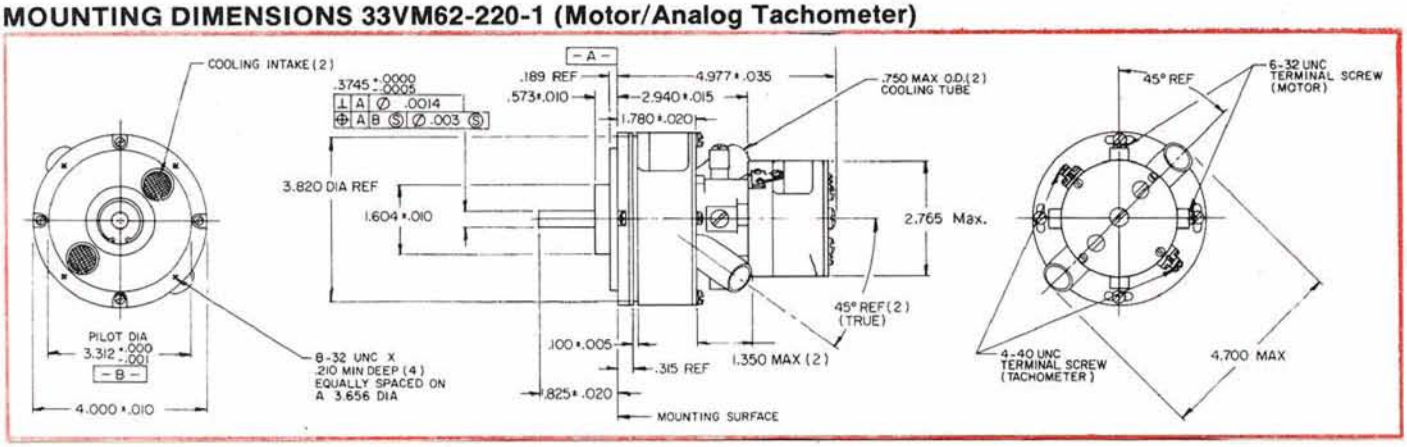
MOUNTING DIMENSIONS
2VM61-000-2 (Motor Only)



MOUNTING DIMENSIONS
2VM61-004-2 (Motor with Digital Tachometer)



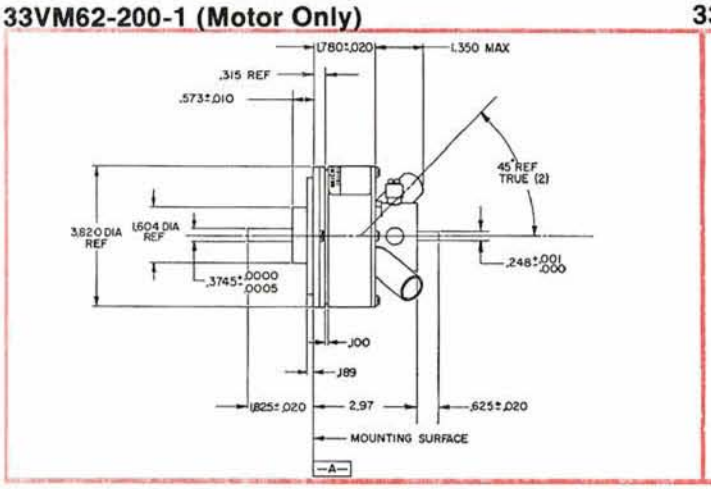
MOUNTING DIMENSIONS 33VM62-220-1 (Motor/Analog Tachometer)



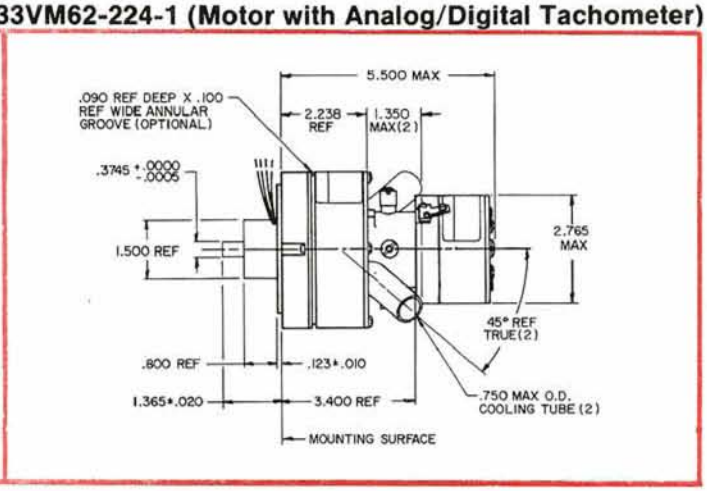
SERVOWATT GmbH, Graevenitz-Str. 1-5, 70839 Gerlingen, Tel: 0049-(0)7156-24041, Fax: -29944, Mail: info@servowatt.de

MOUNTING DIMENSIONS

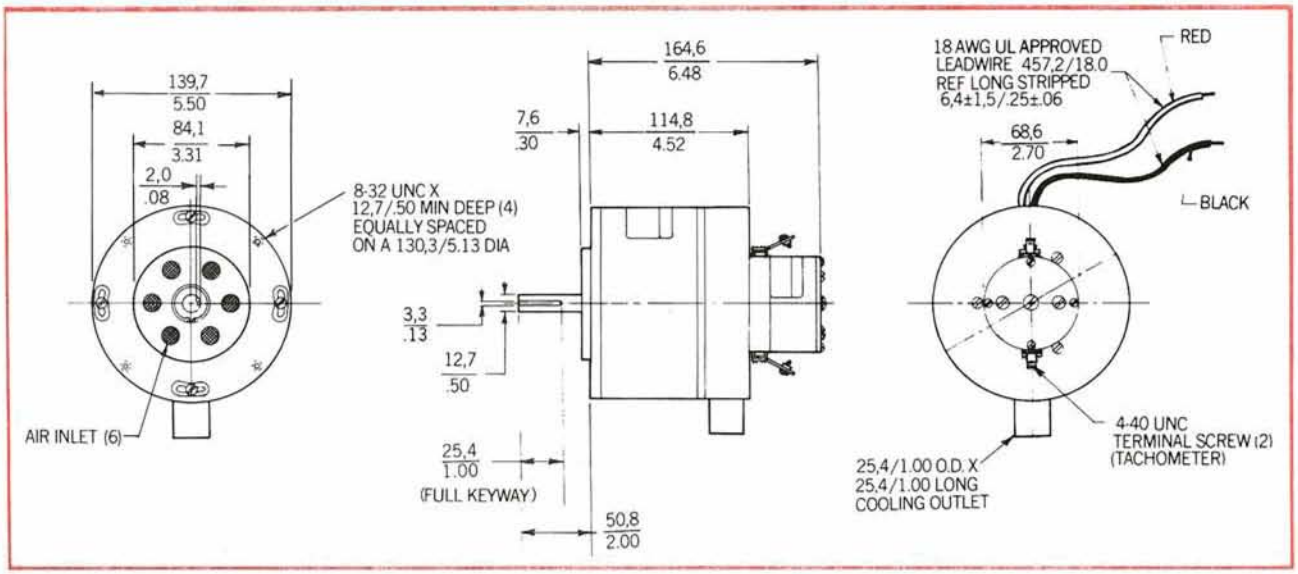
33VM62-200-1 (Motor Only)



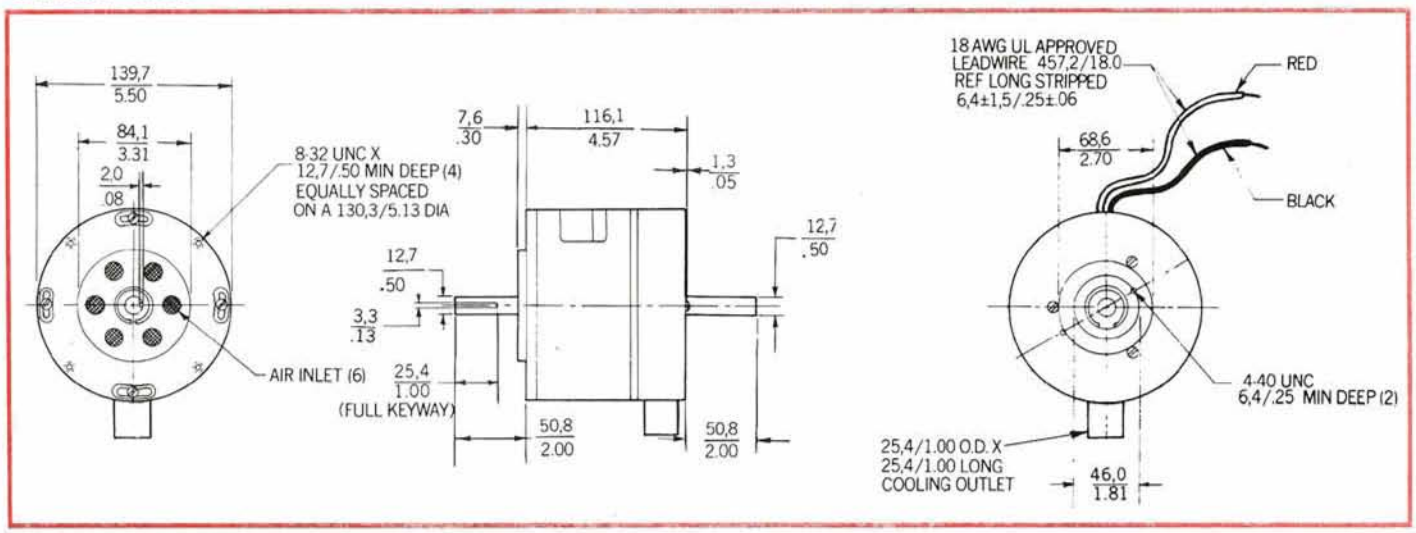
33VM62-224-1 (Motor with Analog/Digital Tachometer)



55NM81-120-2

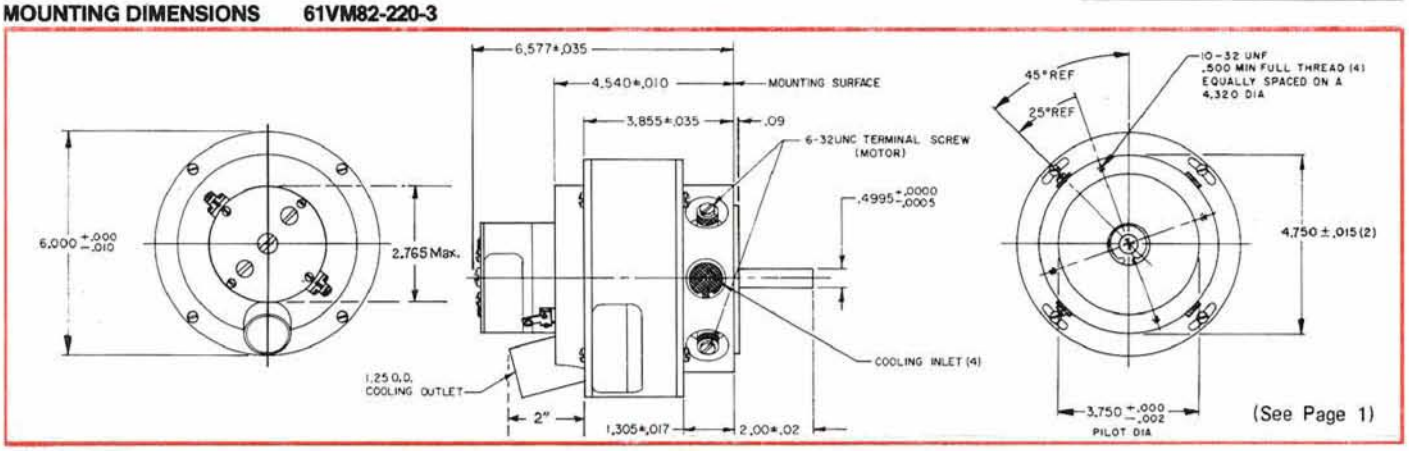


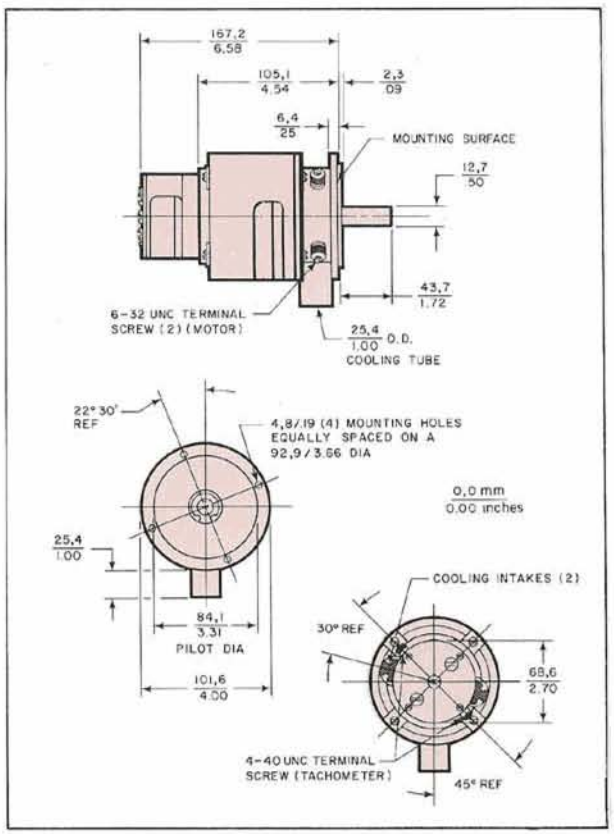
55NM81-100-2



SERVOWATT GmbH, Graevenitz-Str. 1-5, 70839 Gerlingen, Tel: 0049-(0)7156-24041, Fax: -29944, Mail: info@servowatt.de

MOUNTING DIMENSIONS 61VM82-220-3





TECHNISCHE DATEN DER ANALOG-TACHOMETER

	VM-SERIE	NM-SERIE
Spannungskonstante V/1.000/min	2,5	5,0
Toleranz der Spannungskonstante V/1000/min	+-0,125	+-0,25
Spannungswelligkeit spitze-spitze	1,5%	3,0%
Linearität der Spannung über 50/min	+-0,5%	+-0,5%
Anschlußwiderstand bei 25°C (Mittelwert)	50 Ohm	120 Ohm
Massenträgheitsmoment in kg m²	$0,35 \times 10^{-6}$	$0,44 \times 10^{-6}$
Abmessungen: Länge	66 mm	66 mm
Durchmesser	70 mm	70 mm

Bemerkungen:

1* Die Motoren sind mit (-100-/-200-) und ohne (-000-) Kühlanschluss lieferbar. Vorzugstypen ab Lager haben Kühlmöglichkeit. Ausnahme: 2VM-Serie hat keine Luftkühlmöglichkeit.

2* Maximale Effektivwerte gemittelt über eine Zykluszeit kleiner als 5 Sekunden (thermische Zeitkonstante des Rotors).

3* Dieser Nennwert ist ein Vorschlag. Innerhalb der zulässigen Kommutierung sind auch andere Arbeitspunke für Dauerbetrieb möglich.

4* Dieser Spitzenstromwert darf niemals, auch nicht kuzzeitig, überschritten werden: Entmagnetisierungsgrenze.

5* Im Interesse einer langen Standzeit sollte diese Geschwindigkeit nicht überschritten werden.

6* Geschwindigkeitsunabhängige Reibungskomponente: Bürstenreibung.

7* Geschwindigkeitsproportionale Reibungskomponente: Kugellager, Luftverwirbelung.

8* Eigendämpfung: Bremsmoment mit kurzgeschlossenen Motorklemmen.

9* Winkelbeschleunigung des Motors ohne fremdes Massenträgheitsmoment. Mit Fremdlast verringert sich die jeweilige Winkelbeschleunigung um den Faktor J_m / J_m+J_f.

10* Beschleunigungszeit des Motors ohne Fremdlast. Mit Last vergrössert sich diese Zeit um den Faktor J_m+J_f / J_m.

11* Zurückgelegter Winkel der Motorachse bei Beschleunigen/Bremsen in Grad/360 ohne Fremdlast. Mit fremdem Massenträgheitsmoment J_f vergrössert sich dieser Winkel um den Faktor J_m+J_f / J_m.

12* Power-Rate/Leistungszeitfaktor ist die aussagefähigste Grösse, um Motoren im Start/Stop-Betrieb zu beurteilen: dieser Wert zeigt die Leistung, die der Motor in 1 Sekunde erreichen kann- bei konstanter Winkelbeschleunigung. Power Rate wird in W/s oder in kW/s angegeben und wird ermittelt aus dem Quadrat des Moments in Nm dividiert durch das Massenträgheitsmoment in kg m².

SERVOWATT GmbH, Graevenitz-Str. 1-5, 70839 Gerlingen, Tel: 0049-(0)7156-24041, Fax: -29944, Mail: info@servowatt.de

MECHATRONIK F&M
Das Magazin für interdisziplinäre Produktentwicklung

42 SPECIAL: Antriebstechnik

Extreme Dynamik für Präzisionsmaschinen: Ein Glockenankermotor mit Linearverstärker beschleunigt innerhalb einer Millisekunde von 0 auf 1000 min^{-1}.

FORSCHUNG & ENTWICKLUNG

12 Modelle für Ausbildung, Industrie und Forschung
Simulationen aus Fischertechnik veranschaulichen komplexeste Automatisierungsprojekte

MESSEN & TESTEN

14 Prüfmethoden im Vergleich
Teil 1: Eigenschaften optischer und elektrischer Prüfverfahren

19 Hinterleuchtete Displays modellieren

19 Produktkatalog für Test- und Messtechnik

19 Funktionstest in der Elektronikproduktion

20 Signalüberwachung mit Digital-Phosphor-Oszilloskopen
›Wave Alert‹ und ›Limit‹-Test sind nützliche DPO-Begleiter

23 32-Kanal-Messmodul

23 2G/3G-Testszenarien

24 Ausgereiftes Automatisierungskonzept
Mit dem Programmable Automation Controller (PAC) ohne Umweg zur Applikation

28 Permanente Datenerfassung
PAC und LabView in der Troposphärenforschung

30 Optimiertes Ernten mit Hightech-Mähdrescher
Ein Industrie-PC mit Digital-I/O-Karte steuert Hydraulik, Pneumatik und Elektromotoren

SPECIAL
Antriebstechnik

34 Der Marathon-Mann
Ein kleiner Baukasten-Motor mit Luftspaltwicklung und vierpoligem Magnetfeld-Design schafft Höchstleistungen

37 Neuheiten im Überblick

38 Und der Kleine läuft und läuft und läuft ...
Das Umdenken eines bürstenbehafteten Motorkonzeps hat einen wirtschaftlichen Dauerläufer hervorgebracht

41 Alle neune – Roboter lernen kegeln

42 Blitz-Starter
Ein Glockenankermotor mit Linearverstärker besticht durch extreme Dynamik

45 Schnecke mit hohem Drehmoment

45 Weniger ist mehr

45 Winkelkodierer mit digitalen und analogen Schnittstellen

46 Festes Glas dank präziser Bewegungs- und Lüfterregelung
Frequenzumrichter im Einsatz bei der Wärmebehandlung von Sicherheitsglas

49 Baldor überarbeitet Internetauftritt

49 Datenerfassung mit Schnellschreiber

49 Mikrocontroller-Zugriff mit 2,5 MB/s

SCHALTUNGSTECHNIK

50 Galvanische Trennung in DC-24-V-Steuerkreisen
Elektronische Sicherungen schützen Geräte und Leitungen vor Überstrom

53 Spannung wohltemperiert
Schaltrelais unterbinden hohe Einschaltströme in verlustarmen Trafos

EMBEDDED ENGINEERING

57 Von UML nach C und zurück
Embedded-Systeme entwickeln mit UML – Teil 2

STANDARDS

3 EDITORIAL

6 NOTIZEN

9 KALENDER

10 GMM AKTUELL

59 NEUE PRODUKTE

62 MECHATRONIK-GUIDE

64 IMPRESSUM

65 INDEX: PERSONEN / FIRMEN / INSERENTEN

66 VORSCHAU / KOLUMNE

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.

Start-Stop-Betrieb mit einem leisen Klick: Von Null auf 1000 U/min in 1 Millisekunde. Der zurückgelegte Beschleunigungswinkel beträgt hierbei weniger als 3°

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

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

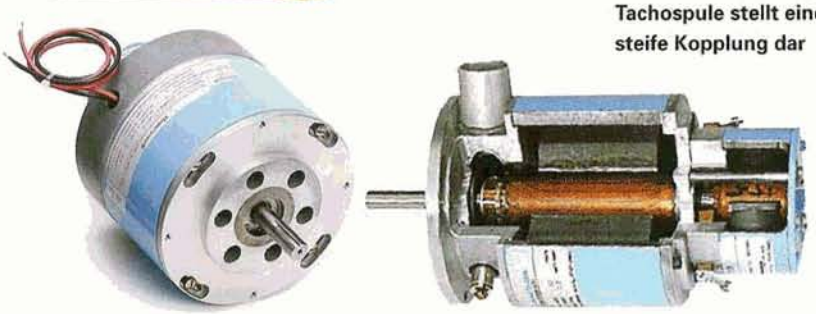
Schneller Glockenankermotor

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

© Carl Hanser Verlag, München

antrieb auf 2500 min^{-1} ausgelegt. 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 Impuls-Drehmoment erreicht der Motor 10 Nm mit einem Strom von 60 A. Die maximale Winkelbeschleunigung ohne Last liegt bei 143 000 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 jeweiligen Geschwindigkeit. Diese Eigenschaften werden zum Beispiel in der Entwicklung und Untersuchung der statischen und dynamischen Eigenschaften von Bürstenlos-Antrieben in besonderen Prüfständen verwendet.



2 Glockenankermotor mit selbsttragender Rotorspule aus Kupferdraht, Glasfaser und Epoxydharz: Der Luftspalt zwischen Rotor und Stator beträgt nur 0,25 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

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 Tachospannung 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 Anforderngen an Präzision und Dynamik.

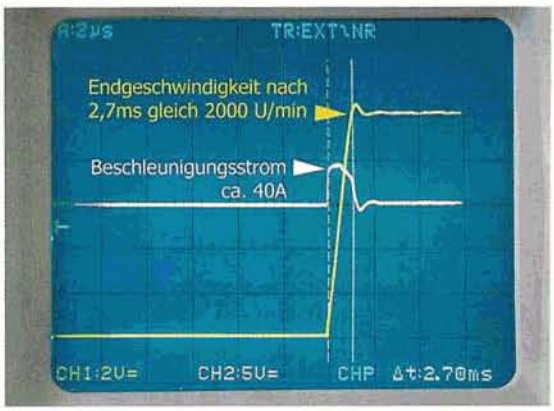
Bild 3 zeigt die Sprungantwort der Drehzahl für Drehzahländerungen um 2000 min^{-1}. Dieses aperiodische Einschwingen zeigt im Vergleich mit dem Einschwingverhalten anderer Antriebe, warum dieses Antriebssystem auch neben bürstenlosen Systemen immer eine Daseinsberechtigung haben wird: Es ist bezüglich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

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 µs 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 s 100 Messungen durchgeführt.



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

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-Korbankermotor 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 Präzisionsdreh-maschinen. Auch für sehr schnelle Fertigungseinrichtungen und spezielle Roboter ist der Antrieb geeignet, wie XY-Koordinatentische, Bestückungs- und Montageautomaten für Kleinteile, Sortierautomaten für Halbleiter, Folien- und Papierverarbeitungsmaschinen, 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, dreieckige, sinusförmige und andere Kurvenformen frei programmierbar fast trägheitslos 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 Linearmotoren und Aktoren anzutreiben. Es werden bereits hierfür verschiedene Aktuatoren 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. ■

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

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.

Autor

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

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

ASKION

Subcontracting
Hannover, 11.-15. April 2005
Halle 004 / Stand A42
HANNOVER MESSE

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

© Carl Hanser Verlag, München

Motoren mit eisenlosem Rotor für besseres Positionieren

von Albert Heinkel
La Chaux-de-Fonds
Switzerland

In der Antriebstechnik haben Motorregelungen heute einen sehr hohen Stand erreicht. Mit der Einführung schneller Mikroprozessoren können Drehzahlprofile genau nach Wunsch erzeugt und mit sehr geringem Positionsfehler nachgefahren werden. Dazu werden die Bewegungen der Motorachse mit einem Winkelschrittgeber überwacht.

Bei der praktischen Ausführung solch genauer Regelsysteme stellt sich dem Entwickler das Problem der Wahl der für sehr hohe Anforderungen geeigneten Komponenten. Die korrekte Auswahl von Motor und Servoverstärker hat entscheidenden Einfluß auf die exakte Ausführung des geforderten Drehzahlprofils; dies besonders in Positioniersystemen mit relativ kleinen Lastträgheiten (z. B. $J_L \leq 2 \times 10^{-5}$ kgm²), wo hohe Beschleunigungen bei minimalstem momentanem Drehzahlfehler gefordert werden.

Der vorliegende Aufsatz erläutert die verschiedenen Punkte, die bei der Auswahl von Motor und Treiber für solche Systeme zu berücksichtigen sind.

1. Die Anwendung

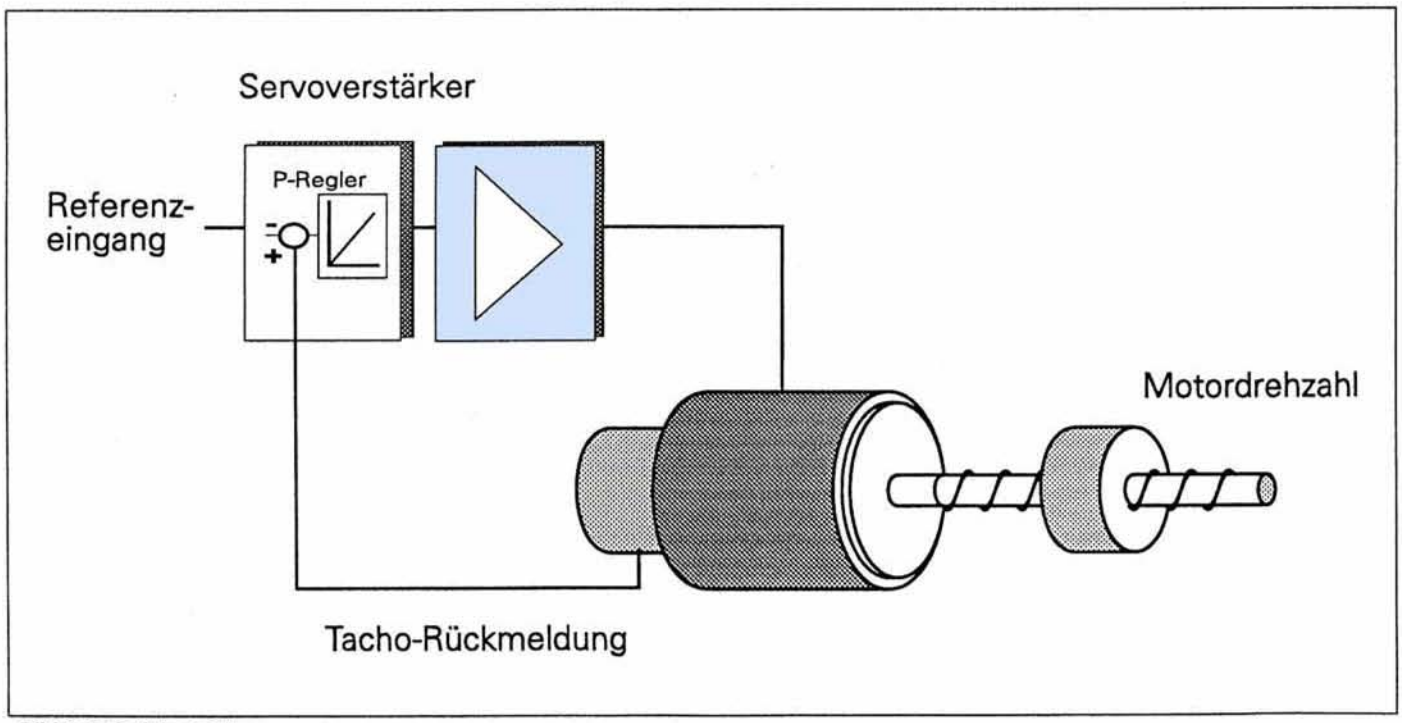


Bild 1: Spindelantrieb

Das Anwendungsbeispiel ist typisch für den Antrieb von x-y-z-Achsen in Fertigungs- und Meßeinrichtungen mit einem Spindelantrieb.

Beschreibung der Last:

Lastträgheitsmoment:

$J_L = 162 \times 10^{-7}$ kgm²

Spindel:	M12x5 mm
Spindellänge:	200 mm
Masse der Last:	20 kg

Beschreibung der Bewegung:

Distanz:	d = 1,55 mm
Bewegungszeit:	t = 21 ms

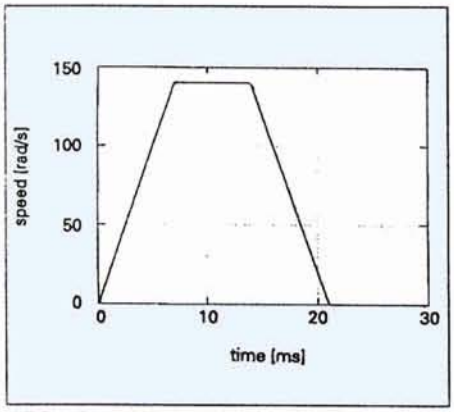


Bild 2: Berechnetes Drehzahlprofil

	HPR 4VM81-220-71	Motor mit Eisenanker
Rotorträgheitsmoment	$0{,}71 \times 10^{-5}$ kgm²	$8{,}25 \times 10^{-5}$ kgm²
Spitzenmoment	2,5 Nm	2,5 Nm
Nennmoment	0,46 Nm	0,56 Nm
Nennstrom	7,7 A	4,35 A
Spitzenstrom	40 A	19 A
Leerlaufstrom	1 A	0,5 A
Anschlußinduktivität	0,125 mH	2,2 mH
Drehmomentkonstante	0,064 Nm/A	0,127 Nm/A

Tafel 1: Die beiden für das Beispiel gewählten Motoren

Gefordert wird das trapezförmige Drehzahlprofil gemäß Bild 2, das mit einem minimalen momentanen Drehzahlfehler nachgefahren werden soll.

Die erforderliche Spitzenbeschleunigung ist α = 20 000 rad/s² , der gesamte Drehwinkel beträgt 112° .

2. Die Auswahl des Motors

Der Entwickler kann zwischen einem Motor mit Eisenanker und einem solchen mit eisenlosem Rotor wählen. Beide Bauarten werden hier durch je ein Modell mit vergleichbarem Nenn- und Spitzendrehmoment vertreten. Ihre Leistungsdaten sind in der Tafel 1 angegeben.

2.1 Drehmoment während der Beschleunigung

$M_{acc} = (J_{load} + J_{motor}) \cdot \alpha$

Wegen der niedrigen Lastträgheit wird dieses Moment im Wesentlichen vom Rotorträgheitsmoment bestimmt.

Eisenanker:

M_{acc} = 1.97 Nm (I_{acc} = 15.5 A)

eisenloser Rotor:

M_{acc} =0.47 Nm (I_{acc} = 7.3 A)

Das geforderte Spitzendrehmoment kann von beiden Motoren geliefert werden.

2.2 Effektivwert des Drehmoments

$M_{eff} = \sqrt{(M_{acc} \cdot 2t_{acc})/3t_{acc}}$

(für ein trapezförmiges Drehzahlprofil)

für den Eisenanker:

M_{eff} = 1,6 Nm und

I_{eff} = 13 A

Für den eisenlosen Rotor:

M_{eff} = 0,38 Nm und

I_{eff} = 6 A

Diese Werte liegen für den Motortyp 4VM mit niedrigem Rotorträgheitsmoment innerhalb der Nennwerte (M_{nom} = 0,46 Nm), er kann die Aufgabe im Dauerbetrieb erfüllen.

Der Motor mit Eisenanker kann dies nicht, da Drehmoment und Strom die zulässigen Werte übersteigen (M_{nom} = 0,56 Nm). Seine Einschaltdauer darf nur 30 % betragen.

2.3 Spitzen-Eingangsleistung

$P = U \cdot I$

$P = I_{acc} \cdot (\alpha \cdot t_{acc} \cdot k_t + R\, I_{acc})$

Die Spitzen-Aufnahmeleistung wird am Ende der Beschleunigungsphase benötigt, wo der Motor bei vollem Drehmoment die Spitzendrehzahl erreicht.

Für den 4VM beträgt die Spitzenleistung 107 W, der Eisenankermotor benötigt über 600 W.

Der Motor mit niedrigem Trägheitsmoment kommt daher mit einer wesentlich kleineren Stromversorgung aus.

2.4 Bürstenstandzeit

Sie ist von der Stärke der Elektroerosion zwischen Bürsten und Kollektor abhängig, die dem Wert $L \cdot I^2$ proportional ist.

Mit den oben errechneten Effektivwerten der Motorströme für das Profil ergeben sich für:

escap®4VM81: $L \cdot I^2 = 62 \cdot 10^{-4}$

Eisenankermotor: $L \cdot I^2 = 3380 \cdot 10^{-4}$

Diese Werte sind nicht direkt proportional der Lebensdauer bzw. der Anzahl der Umdrehungen, da sie den mechanischen Abrieb von Bürsten und Kollektor nicht berücksichtigen. Sie weisen jedoch eindeutig nach, daß in vergleichbaren Anwendungen der Motor mit niedrigem Trägheitsmoment und der kleineren Rotorinduktivität die längere Lebensdauer bietet.

2.5 Sättigung

Der Regelverstärker kann auftretende Fehler nur dann korrigieren, wenn kein Element der Regelschleife gesättigt ist. Bei Sättigung können die Motordrehzahl bzw. das Drehmoment nicht mehr nach Bedarf erhöht werden.

2.5.1 Spannungssättigung

Die nötige Motorspannung errechnet sich wie folgt:

$$U = R \cdot \left(\frac{M}{k_t}\right) + k_t \cdot \omega + L \cdot \frac{di}{dt}$$

Das Motordrehmoment ändert wegen der Beschleunigungsprünge im Bewegungsablauf sehr stark. Der Stromregler muß den Motorstrom entsprechend anpassen.

Um den Motorstrom zu verändern muß die "elektrische Trägheit" d.h. die Wicklungsinduktivität des Motors, überwunden werden. Je schneller dies geschehen muß, um so größer wird der Anteil L·di/dt und um so eher kommt es zu einer Spannungssättigung.

Die genaue Ausführung des beschriebenen Profils erfordert eine unendlich hohe Spannung, da die für Drehmomentänderungen zur Verfügung stehende Zeit null beträgt. Da dies nicht möglich ist bestimmen die Induktivitäten im System und die vorhandene Versorgungsspannung die möglichen Drehmomentänderungen und den daraus resultierenden Drehzahlfehler.

Motoren mit niedriger Anschlußinduktivität bieten also einen großen Vorteil.

SERVOWATT GmbH, Graevenitz-Str. 1-5, 70839 Gerlingen, Tel: 0049-(0)7156-24041, Fax: -29944, Mail: info@servowatt.de

2.5.2 Stromsättigung

Die Stromgrenze ist erreicht, wenn der zur gewünschten Beschleunigung erforderliche Strom den maximal möglichen Wert erreicht. Die Grenze kann durch den Entmagnetisierungstrom des Motors oder durch den Verstärkerausgangsstrom gegeben sein.

Es ist ersichtlich, daß der Strom mit dem Eisenankermotor nahezu gesättigt ist (I_{acc} = 15 A für I_{max} = 19 A), während der Motor mit eisenlosem Rotor weit davon entfernt ist (I_{acc} = 9 A für I_{max} = 40 A).

Daher kann dieser Motor bei plötzlichen Erhöhungen des Lastmoments sein Drehmoment wesentlich erhöhen und die Störung schneller ausregeln.

2.6 Bandbreite

Die Regelbandbreite ist von Interesse im linearen Bereich des Systems. Die Punkte 2.5.1 und 2.5.2 zeigten die Grenzen, die dem System von der Treiberspannung und dem maximal möglichen Strom gesetzt werden.

Ihre Auswirkungen werden am Modell eines Treiber-Motor-Last-Systems mit Tacho-Drehzahlregelung demonstriert.

3. Ergebnisse

Bisher wurde gezeigt, daß der Motor mit eisenlosem Rotor und niedrigem Trägheitsmoment auf Grund seiner niedrigen mechanischen und elektrischen Trägheit das geforderte Drehzahlprofil besser ausführen kann.

Wird er auch in der Praxis die Aufgabe besser erfüllen ?

Die Drehzahlregelung ist proportional, da beabsichtigt wurde den maximal auftretenden momentanen Drehzahlfehler aufzuzeigen, der nicht von den Integral- und Differentialfaktoren der Regelung abhängig ist.

Der resultierende Folgefehler kann vom Prozessor oder durch einen Servoverstärker mit PI-Regelung korrigiert werden.

Eine Übersicht über das Verhalten der beiden Motoren im geschlossenen Regelkreis ist in Tafel 2 aufgeführt. Sie vergleicht den maximalen Drehzahlfehler, die benötigte Versorgungsspannung und die Ergebnisse der Punkte 2.1 bis 2.6.

	HPR 4VM81-220-71	Eisenankermotor
max. Drehzahlfehler	0,8 rad/s	2,5 rad/s
Beschleunigungs/Max.Strom	10/40 A	15/19 A
max. nötige Spannung	18 V	150 V
Stromeffektivwert/Nennstrom	6/7,7 A	13/4,5 A
zulässige Einschaltdauer	100 %	30 %

Tafel 2: Zusammenfassung der Ergebnisse

3.1 Drehzahlfehler

Die folgenden Bilder illustrieren das Drehzahlverhalten beider Motoren über den ganzen Bewegungszyklus.

Bild 3 zeigt das Drehzahlfehler-Diagramm des Motors 4VM, der den momentan auftretenden Drehzahlfehler sehr schnell korrigiert.

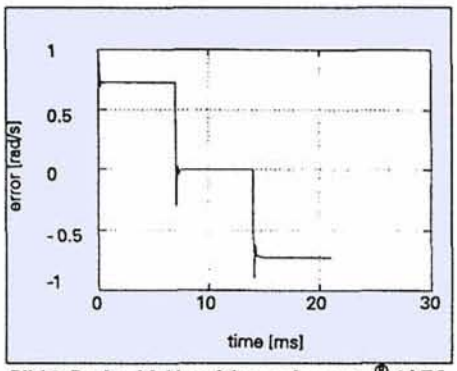


Bild 3: Drehzahl-Abweichung des escap® 4-VM

Das Bild 4 zeigt das Diagramm für den Eisenankermotor, der höhere momentane Drehzahlfehler ist ersichtlich.

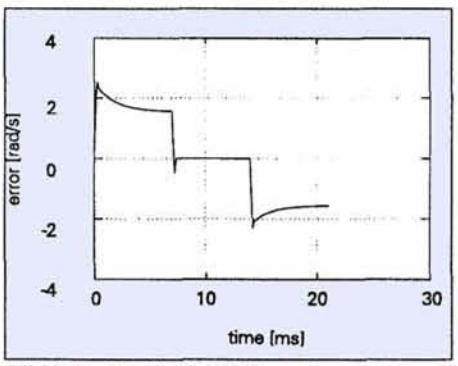


Bild 4: Drehzahl-Abweichung des Eisenanker-Motors

Diese Drehzahl-Abweichungen werden verständlich bei Betrachtung des für die Positionierung jeweils nötigen Spannungsprofils.

Der Motor mit eisenlosem Rotor benötigt mit einem linearen Treiber nur maximal 18 V (Bild 5).

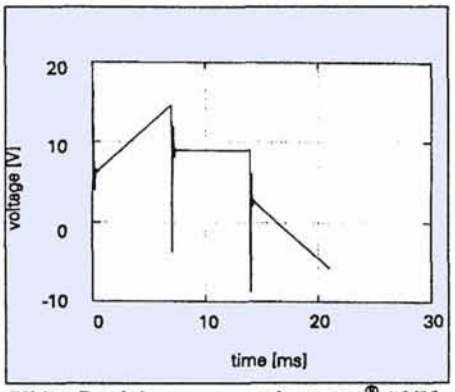


Bild 5: Betriebsspannung des escap® 4-VM

Beim Eisenankermotor sättigt wegen seiner hohen Induktivität die Versorgungsspannung, was die größere Drehzahlabweichung in Bild 4 erklärt.

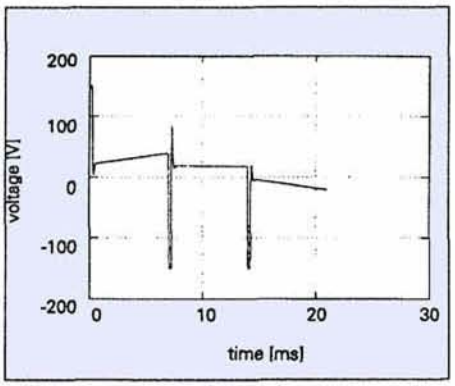


Bild 6: Betriebsspannung des Eisenanker-Motors

SERVOWATT GmbH, Graevenitz-Str. 1-5, 70839 Gerlingen, Tel: 0049-(0)7156-24041, Fax: -29944, Mail: info@servowatt.de