

ISW 9

Berichte aus dem Institut für Steuerungstechnik
der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen
der Universität Stuttgart

Herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. G. Stute

S. Bumiller

Viskohydraulischer Vorschubantrieb

Entwicklung und Erprobung



Springer-Verlag
Berlin · Heidelberg · New York 1974

Mit 66 Abbildungen

ISBN-13: 978-3-540-06885-3 e-ISBN-13: 978-3-642-80862-3

DOI: 10.1007/978-3-642-80862-3

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Funkendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

Bei Vervielfältigungen für gewerbliche Zwecke ist gemäß § 54 UrhG eine Vergütung an den Verlag zu zahlen, deren Höhe mit dem Verlag zu vereinbaren ist.

© by Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg 1974.

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1974

Vorwort des Herausgebers

Das Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart befaßt sich mit den neuen Entwicklungen der Werkzeugmaschine und anderen Fertigungseinrichtungen, die insbesondere durch den erhöhten Anteil der Steuerungstechnik an den Gesamtanlagen gekennzeichnet sind. Dabei stehen die numerisch gesteuerte Werkzeugmaschine in Programmierung, Steuerung, Konstruktion und Arbeitseinsatz sowie die vermehrte Verwendung des Digitalrechners in Konstruktion und Fertigung im Vordergrund des Interesses.

Im Rahmen dieser Buchreihe sollen in zwangloser Folge drei bis fünf Berichte pro Jahr erscheinen, in welchen über einzelne Forschungsarbeiten berichtet wird. Vorzugsweise kommen hierbei Forschungsergebnisse, Dissertationen, Vorlesungsmanuskripte und Seminararbeiten zur Veröffentlichung.

Diese Berichte sollen dem in der Praxis stehenden Ingenieur zur Weiterbildung dienen und helfen, Aufgaben auf diesem Gebiet der Steuerungstechnik zu lösen. Der Studierende kann mit diesen Berichten sein Wissen vertiefen.

Unter dem Gesichtspunkt einer schnellen und kostengünstigen Drucklegung wird auf besondere Ausstattung verzichtet und die Buchreihe im Fotodruck hergestellt.

Der Herausgeber dankt dem Springer-Verlag für Hinweise zur äußeren Gestaltung und Übernahme des Buchvertriebs.

Stuttgart, im Februar 1972

Gottfried Stute

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Assistent und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart.

Herrn Prof. Dr.-Ing. G. Stute, dem Leiter des Institutes, danke ich für seine wohlwollende Unterstützung und sein stetes Interesse, das er dieser Arbeit entgegenbrachte.

Mein Dank gilt auch Herrn Prof. Dr.-Ing. K. Talke für die eingehende Durchsicht der Arbeit und den sich daraus ergebenden Anregungen.

Allen Mitarbeitern des Institutes, die mich bei der Anfertigung dieser Arbeit unterstützten, danke ich ebenfalls. Dieser Dank gilt besonders den Herren Dr.-Ing. A. Storr und Dipl.-Ing. K. Boelke. Danken möchte ich auch den Herren der Werkstatt und des Elektrolabors des Institutes für die Anfertigung des Antriebs bzw. für die Hilfe bei der Durchführung der Messungen.

Siegfried Bumiller

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	3
Schrifttum	7
Formelzeichen und Einheiten	15
1. <u>Einleitung</u>	22
2. <u>Grundlagen des viskohydraulischen Kupplungsantriebs</u>	24
2.1. Viskohydraulische Kupplung	24
2.1.1. Drehmomentübertragung	24
2.2. Umsteuerbarer viskohydraulischer Kupplungsantrieb	27
2.2.1. Leistungs- und Wärmestrombilanz	30
2.2.2. Möglichkeiten der Reduzierung des Wärmestromes	34
3. <u>Dimensionierung des viskohydraulischen Versuchsantriebs</u>	42
3.1. Aufbau des Versuchsantriebs	42
3.2. Gesichtspunkte zur Auswahl der Werkstoffe	46
3.3. Fertigung des Läufers und der Mitnehmer	49
3.4. Gesichtspunkte zur Auswahl des Öles	54
3.5. Kenndaten und Dimensionierung des Kupplungsantriebs	65
3.6. Ölversorgung des Kupplungsantriebs	70
3.7. Hydraulische Versorgung des Versuchsantriebs	74
4. <u>Ermittlung der Daten zur Auslegung des Steuersystems</u>	77
4.1. Last-Ortskurven-Diagramm	79
4.2. Last-Ortskurven der Mitnehmerbewegung	82
4.2.1. Last-Ortskurven der Massenträgheitskraft	83
4.2.2. Last-Ortskurven der Kraft der Rückführfedern	83
4.2.3. Last-Ortskurven der Spaltreibungskraft	83
4.2.4. Last-Ortskurven der Druckkraft	85
4.2.5. Resultierende Last-Ortskurven	89

	Seite
5. <u>Auslegung des Steuersystems</u>	91
5.1. Anordnung und Dimensionierung des Kolbenantriebs	91
5.2. Ansteuerung des Kolbenantriebs	94
5.2.1. Ansteuerung durch ein zweistufiges Servoventil	94
5.2.2. Ansteuerung durch eine Drosseln-Prallplatten-Abflußsteuerung	96
6. <u>Untersuchung des viskohydraulischen Versuchsantriebs</u>	100
6.1. Untersuchung des statischen Verhaltens	100
6.1.1. Drehmoment-Drehzahl-Kennlinien	100
6.1.2. Leerlaufdrehzahlen über der Mitnehmerauslenkung	105
6.2. Untersuchung des dynamischen Verhaltens	107
6.2.1. Innerer Lageregelkreis	107
6.2.2. Frequenzgang des Kupplungsantriebs	112
6.2.3. Drehzahlregelung des Antriebs	114
6.2.4. Drehzahlregelung des Antriebs ohne inneren Lageregelkreis	117
7. <u>Vorschläge für die industrielle Ausführung des viskohydraulischen Vorschubantriebs</u>	119
8. <u>Zusammenfassung</u>	122

Schrifttum

- [1] Haeder, W.,
Gärtner, E. Die gesetzlichen Einheiten in der
Technik.
Beuth Vertrieb, Berlin, 1972.
- [2] Laass, H. Scope-Journal-Arbeitshilfe,
Gesetzliche Maßeinheiten.
Verlag Hoppenstedt & Co., Darmstadt.
- [3] Herold, H.-H.,
Maßberg, W.,
Stute, G. Die numerische Steuerung in der
Fertigungstechnik.
VDI Verlag, Düsseldorf, 1971.
- [4] Opitz, H. Moderne Produktionstechnik,
Stand und Tendenzen.
Verlag W. Giradet, Essen, 1970.
- [5] Hill, R.G. Bessere Gleichstrom-Servoantriebe
durch hohes Trägheitsmoment.
Vorgetragen beim Kolloquium "Auto-
matische Maschinen, Steuerungen
und Fabrikation" am 14. bis 16.
Februar 1972 in Paris.
- [6] Arafa, H. Entwicklung eines viskohydraulischen
Vorschubantriebs.
Diss. Universität Stuttgart, 1970.
- [7] DIN 1342 Viskosität newtonscher Flüssigkeiten.
Ausgabe Dezember 1971.
- [8] Schlichting, H. Grenzschicht-Theorie.
Verlag G. Braun, Karlsruhe, 1965.
- [9] Hielscher, G. Präzisions-kugelführung, Anwendung
im Bereich der Wälzlager.
Werkstatt und Betrieb 104 (1971)
Nr. 11, S. 845...848.

- [10] Technische Unterlagen der Aluminiumzentrale e.V., Düsseldorf:
Aluminiummerkblatt B 2, W 2 und W 15, 1970.
- [11] Technische Unterlagen der Firma NORSK HYDRO, Oslo:
Normag Magnesium, 1966.
- [12] Technische Unterlagen der Badischen Anilin & Soda-Fabrik AG, Ludwigshafen:
Technische Information über Glasfaserverstärkte Ultramid-B-Marken, 1969;
Vorläufige Arbeitsanleitung über Luran KR 2517 (Glasfaserverstärktes Styrol-Acrylnitril-Copolymerisat), 1969.
- [13] DIN 4762, Bl. 1 Erfassung der Gestaltsabweichungen 2. bis 5. Ordnung an Oberflächen an Hand von Oberflächenschnitten; Begriffe für Bezugssystem und Maße.
Ausgabe August 1960.
- [14] Technische Unterlagen der Wacker Chemie GmbH, München:
Siliconöle AK, 1968;
Phenylmethyl-Siliconöle, 1971.
- [15] Technische Unterlagen der Farnefabriken Bayer AG, Leverkusen:
Baysilon-Öle M, 1970;
Baysilon-Öle P, 1972;
Bayer Silicone, 1970.
- [16] DIN 51 563 Bestimmung des Viskositäts-Temperatur-Verhaltens, Richtungskonstante m.
Ausgabe September 1971.

- [17] DIN 51 564 Berechnung des Viskositätsindex aus
der kinematischen Viskosität.
Ausgabe Januar 1972.
- [18] Technische Unterlagen der Esso AG:
Hochwertige Dampfzylinderöle, 1970.
- [19] Technische Unterlagen der Brenntag
Mineralöl GmbH + Co., Mülheim (Ruhr):
Ucon flüssige Medien und Schmier-
mittel, 1966.
- [20] Nicht veröffentlichte Untersuchungen
der Daimler-Benz AG, Stuttgart-Unter-
türkheim, 1973.
- [21] Beuerlein, P. Schmierstoffe und Schmiertechnik.
Sonderdruck (überarbeitet) aus
Kröners Taschenbuch der Maschinen-
technik, Herausgeber Shell Tech-
nischer Dienst, 1969.
- [22] Hayward, A.T.J. Air bubbles in oil, their effect on
viscosity and compressibility.
Fluid Handling, H. 12, 1961.
- [23] Blume, K. Luft im Hydrauliksystem.
Ölhydraulik und Pneumatik 16 (1972)
Nr. 9, S. 389...392.
- [24] Die Löslichkeit von Gasen in Mineral-
ölen.
Skizzenblätter des Shell Technischen
Dienstes, Nr. 111/4.
- [25] Acél, S. Statisches und dynamisches Verhalten
von ölhydraulischen Steuerungs- und
Regelungselementen.
Technische Rundschau, H. 59, 1963.

- [26] Frössel, W. Beobachtungen über Luftausscheidung im Öl und Wasser.
Öl und Kohle 39 (1943) Nr. 9,
S. 257...259.
- [27] Schmid, M. Beitrag zur Messung der ungelösten Luftmenge in Hydrauliköl.
Diss. TH Stuttgart, 1967.
- [28] Backé, W.,
Benning, P. Über Kavitationserscheinungen in Querschnittsverengungen von ölhydraulischen Systemen.
Ind.-Anz. 84 (1962) Nr. 63,
S. 269...276.
- [29] DIN 51 381 Bestimmung des Luftabscheidevermögens, Impinger-Verfahren.
Ausgabe August 1971.
- [30] Claxton, P.D. Aeration of petroleum based steam turbine oils.
Tribology, February 1972, pp. 8...13.
- [31] Die Schmierung von Industriegetrieben.
Herausgegeben vom Shell Technischen Dienst, 1964.
- [32] Technische Mitteilungen der Rudolf Fuchs Mineralölwerk KG, Mannheim:
Renolin MR M 1/5, 1972.
- [33] Chaimowitsch, E.M. Ölhydraulik.
VEB Verlag Technik, Berlin, 1965.
- [34] Hahmann, W. Grundlagen für ölhydraulische Antriebe und Steuerungen.
VDI-Bildungswerk, Beitrag BW 1482.

- [35] Lewis, E.E., Stern, H. Design of Hydraulic Control Systems. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, Toronto, London, 1962.
- [36] Morse, A.C. Electrohydraulic Servomechanisms. McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, San Francisco, Toronto, London, Sydney, 1963.
- [37] Merrit, H.E. Hydraulic Control Systems. John Wiley & Sons, Inc., New York, London, Sydney, 1967.
- [38] Himmler, C.R. Elektrohydraulische Steuersysteme. Krausskopf-Verlag, Mainz, 1967.
- [39] Esch, H. Elektrohydraulische Servoventile. Steuerungstechnik 3 (1970), ST-Lehrblätter STL 70.8...70.12.
- [40] Technische Unterlagen der Robert Bosch GmbH, Stuttgart: Elektrohydraulisches Servoventil, 1972.
- [41] Guillon, M. Hydraulische Regelkreise und Servosteuerungen. Carl Hanser Verlag, München, 1968.
- [42] Sopha, K. Steuern mit elektrohydraulischen Servoventilen.
Teil I : Steuerungstechnik 5 (1972)
Nr. 11/12, S. 254...257.
Teil II: Steuerungstechnik 6 (1973)
Nr. 1, S. 4...7.
- [43] Blackburn, J.F., Reethof, G., Shearer, J.L. Fluid Power Control. 1. bis 3. Band. Krausskopf-Verlag, Wiesbaden, 1962.

- [44] Storr, A. Beitrag zur Klärung des dynamischen Verhaltens vorgesteuerter, ölhydraulischer Druckregelventile. Diss. TH Stuttgart, 1967.
- [45] Mitzieheffekt schont Medium. Maschinenmarkt Industriejournal 77 (1971) Nr. 44, S. 975.
- [46] Cady, W.G. Piezoelectricity. Volume one and two. Dover Publications, Inc., New York, 1964.
- [47] Shields, J.P. Basic Piezoelectricity. Foulsham & Co., LTD., Slough, Bucks, England, 1967.
- [48] Piezoxide Wandler. Valvo, 1968.
- [49] Piezoxide. Valvo-Handbuch, 1971.
- [50] Hamerak, K. Die Piezoelektrizität und ihre technische Anwendung. Teil I : Konstruktion, Elemente, Methoden (KEM) 1971 Nr. 5, S. 109...110. Teil II: KEM 1971 Nr. 6, S. 82...86.
- [51] Lange, H., Jaensch, P. Die Magnetostriktion in Abhängigkeit von der Magnetisierung. Forschungsbericht des Landes Nordrhein-Westfalen Nr. 1293, Westdeutscher Verlag, Köln, Opladen, 1964.

- [52] Heck, K. Magnetische Werkstoffe und ihre technische Anwendung.
Dr. A. Hüthig Verlag, Heidelberg, 1967.
- [53] Ferromagnetic Resonance.
(Übersetzung aus dem Russischen);
Pergamon Press, Oxford, London, Edinburgh, New York, Toronto, Paris, Frankfurt, 1966.
- [54] Technische Unterlagen der MOOG GmbH, Böblingen:
Durchfluß-Servoventile Baureihe 76,
Druck-Servoventile Baureihe 61.
- [55] Lück, J. Einflußgrößen auf das Zeitverhalten elektrohydraulischer Vorschubantriebe.
Diss. TH Aachen, 1968.
- [56] Beckenbauer, K. Elektro-hydraulischer Absoluterreger.
Ind.-Anz. 94 (1972) Nr. 59,
S. 1457...1460.
- [57] Augsten, G. Untersuchung einer stetigen zweiachsigen Nachformeinrichtung.
Diss. Universität Stuttgart, 1972.
- [58] Oppelt, W. Kleines Handbuch technischer Vorgänge.
Verlag Chemie GmbH, Weinheim/Bergstr., 1964.
- [59] Augsten, G.,
Boelke, K.,
Schmid, D.,
Stute, G. Die Lageregelung an Werkzeugmaschinen.
Seminarumdruck des Institutes für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Universität Stuttgart, 1973.

- [60] Stute, G. Untersuchungen über die Verwendbarkeit von Gleichstrommaschinen als Vorschubantriebe für numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen. VDW-Forschungsbericht Nr. 1003, Heft 1, Januar 1971.
- [61] Augsten, G., Gesichtspunkte zur Auslegung ölh-
 Bumiller, S. draulischer Vorschubantriebe. Steuerungstechnik 1 (1968) Nr. 3, S. 102...107.
- [62] Schmid, D. Optimierung eines Geschwindigkeitsregelkreises mit Hydraulikmotor. Ind.-Anz. 92 (1970) Nr. 98, S. 2379...2380.
- [63] Nicht veröffentlichte Studien- und Diplomarbeiten der Herren Chimonakis, Grettenberger, Grimm, Hemminger, Heydt, Illig und Sopha, angefertigt am Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen, Universität Stuttgart.

Formelzeichen und Einheiten

Die verwendeten Bezeichnungen und Formelzeichen orientieren sich an folgenden Vorschriften und Empfehlungen:

DIN 1302	Mathematische Zeichen
DIN 1304	Allgemeine Formelzeichen
DIN 1311	Schwingungslehre, Benennungen
DIN 1345	Technische Thermodynamik, Formelzeichen, Einheiten
DIN 19 226	Regelungstechnik und Steuerungstechnik, Begriffe und Benennungen

Als Einheiten werden die nach dem "Gesetz über die Einheiten im Meßwesen" ab 1.1.1978 nur noch zugelassenen SI-Einheiten verwendet [1, 2]. Bei einigen, gegenwärtig noch ungewohnten Einheiten sind Umrechnungen angegeben.

a	m/s^2	Beschleunigung
b	m	Breite, Eintauchtiefe, Spaltbreite
b_D	m	Dichtstegbreite
b_{max}	m	Maximale Eintauchtiefe
b_{min}	m	Minimale Eintauchtiefe
b_0	m	Maximale Eintauchtiefe für den Idealfall $b_0 = b_S$
b_S	m	Einstichtiefe
b_T	m	Drucktaschenbreite
b_Z	m	Spaltbreite der Läuferausfräsung
C	J/K	Wärmekapazität (1 J/K = 0,239 cal/grd)
C_k	F	Elektrische Kapazität
C_G	V s	Generatorkonstante
c	J/kg K	Spezifische Wärmekapazität (spez. Wärme) (1 J/kg K = 0,239 cal/kg grd)

c_F	N/m	Federrate (Federkonstante) der Rückführfedern
c_H	N/m	Federrate (Federkonstante) des Hebelsystems
$c_{\text{Öl}}$	N/m	Federrate (Federkonstante) einer Ölsäule
D	-	Dämpfungsgrad
D_v	s^{-1}	Geschwindigkeitsgefälle, Geschwindigkeitsgradient
d	m	Durchmesser
d_a	m	Außendurchmesser
d_i	m	Innendurchmesser
d_j	m	Durchmesser eines zylindermantelförmigen Ölfilms
d_K	m	Kolbendurchmesser
d_m	m	Mittlerer Durchmesser
d_{mk}	m	Mittlerer Durchmesser eines Mitnehmerzylinders
d_R	kg/s	Dämpfungskonstante
e	m	Exzentrizität
\underline{F}		Frequenzgang
F	N	Kraft ($1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2 = 0,102 \text{ kp}$)
F_A	N	Anpreßkraft
F_D	N	Druckkraft
F_F	N	Federkraft
F_K	N	Kolbenkraft
F_R	N	Reibungskraft
F_{Sp}	N	Spaltreibungskraft
F_T	N	Massenträgheitskraft
f	Hz	Frequenz
f_d	Hz	Eigenfrequenz des gedämpften Schwingers

f_h	Hz	Hydraulische Eigenfrequenz
f_0	Hz	Kennfrequenz, Eigenfrequenz des ungedämpften Schwingers
f_{0K}	Hz	Kennfrequenz des Kupplungsantriebs
h	m	Spalthöhe
h_D	m	Dichtspalthöhe
h_M	m	Minimale Zylinderstärke
h_O	m	Minimale Spalthöhe
h_T	m	Drucktaschenhöhe
h_Z	m	Spalthöhe der Läuferausfräsung
I	A	Elektrischer Strom
I_{AL}	A	Leerlauf-Ankerstrom des Motors bzw. des Generators
I_G	A	Generatorstrom
i	-	Anzahl
i	A	Elektrischer Strom
J	kg m^2	Massenträgheitsmoment
J_L	kg m^2	Massenträgheitsmoment des Läufers und der Läuferwelle
j	-	Variable
K_v	s^{-1}	Geschwindigkeitsverstärkung
k	-	Variable
L	Vol.-%	Gehalt an dispergierter Luft
l	m	Länge
l_D	m	Quersteglänge
l_N	m	Nuttlänge
l_T	m	Drucktaschenlänge
M	N m	Drehmoment
M_1, M_2	N m	Drehmoment der Mitnehmer 1 und 2

M_0	N m	Stillstands Drehmoment bei maximaler Auslenkung (Aussteuerung)
M_R	N m	Reibmoment des Generators
M_{St}	N m	Stillstands Drehmoment bei beliebiger Auslenkung
M_{th}	N m	Theoretisches Stillstands Drehmoment bei newtonscher Flüssigkeit und maximaler Auslenkung
m	kg	Masse
\dot{m}	kg/s	Massenstrom
N	-	Anzahl der Ölfilme je Mitnehmer
n	min^{-1}	Drehzahl
n_A	min^{-1}	Mitnehmerdrehzahl
n_L	min^{-1}	Läuferdrehzahl
\underline{n}_L	min^{-1}	Komplexe Läuferdrehzahl
n_L^*	V	Spannung proportional zur Läuferdrehzahl
n_l	min^{-1}	Läuferdrehzahl im Leerlauf bei beliebiger Auslenkung
n_0	min^{-1}	Läuferdrehzahl im Leerlauf bei maximaler Auslenkung
n_s	min^{-1}	Sollwert der Drehzahl
n_s^*	V	Spannung proportional zum Sollwert der Drehzahl
P_L	W	Abtriebsleistung an der Läuferwelle
P_M	W	Antriebsleistung der beiden Mitnehmer
P_{St}	W	Antriebsleistung der Steuerkreispumpe
p	Pa	Druck ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 10^{-5} \text{ bar}$; $1 \text{ bar} = 1,02 \text{ kp/cm}^2$)
p_L	Pa	Lastdruck
p_0	Pa	Systemdruck, Öldruck bei gesperrtem Abfluß

p_{St}	Pa	Druck der Steuerkreispumpe
Δp	Pa	Druckabfall
Δp_R	Pa	Druckabfall bei laminarer Rohrströmung
Δp_{Sp}	Pa	Druckabfall bei laminarer Spaltströmung
Q	J	Wärmemenge (1 J = 1 N m = 1 W s = 0,239 cal)
R	Ω	Elektrischer Widerstand
R_e	Ω	Eingangswiderstand
R_i	Ω	Innenwiderstand des Gleichstromgenerators
R_k	Ω	Gegenkoppelwiderstand
Re	-	Reynolds'sche Zahl
r	m	Radius
Δr	m	Radialer Abstand benachbarter Einstiche
S	m^2	Querschnitt, Fläche
S_K	m^2	Kolbenquerschnitt
S_Z	m^2	Querschnitt einer Läuferausfräsung
s	N m min	Drehzahlsteifigkeit
s_0	N m min	Maximale Drehzahlsteifigkeit bei M_0 und n_A
T	s	Zeitkonstante
t	s	Zeit
t	$^{\circ}C$ ($^{\circ}F$)	Temperatur
Δt	K	Temperaturdifferenz
U	V	Elektrische Spannung
U_e	V	Induzierte elektrische Spannung
U_0	V	Maximale elektrische Spannung
V	m^3	Volumen
$V_{\text{Öl}}$	m^3	(Eingeschlossenes) Ölvolumen
\dot{V}	m^3/s	Volumenstrom (1 m^3/s = $6 \cdot 10^4$ l/min)
\dot{V}_K	m^3/s	Volumenstrom der Kupplungskreispumpe
$\dot{V}_{Kü}$	m^3/s	Volumenstrom der Kühlkreispumpe

\dot{V}_L	m^3/s	Lastvolumenstrom
\dot{V}_O	m^3/s	Druckloser Volumenstrom
\dot{V}_{St}	m^3/s	Volumenstrom der Steuerkreispumpe
\dot{V}_Z	m^3/s	Ausgleichsvolumenstrom im Läufer je Mitnehmerzylinder
v	m/s	Geschwindigkeit
v_K	m/s	Kolbengeschwindigkeit
v_M	m/s	Mitnehmer-Auslenkgeschwindigkeit
v_m	m/s	Mittlere Strömungsgeschwindigkeit
v_Z	m/s	Strömungsgeschwindigkeit in der Läuferausfräsung
x	m	Auslenkung der Mitnehmer bzw. des Läufers
x_i	m	Istwert der Auslenkung
\underline{x}_i	m	Komplexer Istwert der Auslenkung
x_i^*	V	Spannung proportional zum Istwert der Auslenkung
x_K	m	Auslenkung des Kolbenantriebs
x_O	m	Auslenkamplitude
x_S	m	Sollwert der Auslenkung
\underline{x}_S	m	Komplexer Sollwert der Auslenkung
x_S^*	V	Spannung proportional zum Sollwert der Auslenkung
y	m	Prallplattenabstand von der Drossel
y_O	m	Prallplattenabstand in der Mittellage
α	$m/m K$	Längen-Ausdehnungskoeffizient
$\beta_{\text{Öl}}$	m^2/N	Kompressionszahl von Öl
ϵ	-	relative Exzentrizität

η_P	-	Pumpenwirkungsgrad
η	Pa s	Dynamische Viskosität (1 Pa s = 1 N s/m ² = 1 kg/m s = 10 P = 1000 cP)
η_m	Pa s	Mittlere dynamische Viskosität
λ	W/m K	Wärmeleitfähigkeit (1 W/m K = 1 J/m s K = 0,239 cal/m s grd = 0,860 kcal/m h grd)
ν	m ² /s	Kinematische Viskosität (1 m ² /s = 10 ⁴ St = 10 ⁶ cSt)
ρ	kg/m ³	Dichte
σ_B	Pa	Zugfestigkeit (1 Pa = 1 N/m ² = 0,102·10 ⁻⁶ kp/mm ²)
τ	Pa	Schubspannung
Φ	W	Wärmestrom (1 W = 1 J/s = 0,239 cal/s = 0,860 kcal/h)
ω	s ⁻¹	Kreisfrequenz
ω_A	rad/s	Mitnehmerwinkelgeschwindigkeit
ω_L	rad/s	Läuferwinkelgeschwindigkeit
ω_1	rad/s	Läuferwinkelgeschwindigkeit im Leerlauf bei beliebiger Auslenkung
ω_0	rad/s	Läuferwinkelgeschwindigkeit im Leerlauf bei maximaler Auslenkung
ω_S	rad/s	Schlupfwinkelgeschwindigkeit