



Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen
der RWTH Aachen
Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Murrenhoff



Umdruck zur Vorlesung

Servohydraulik

Univ.-Prof. Dr.-Ing. H. Murrenhoff

1. Auflage 1998

neu bearbeitet von Dipl.-Ing. B. Völker
 Dipl.-Ing. W. Hagemeister
 Dipl.-Ing. A. Kleist
 Dipl.-Ing. K. Roosen

Nachdruck - auch auszugsweise - nur mit Zustimmung des Verfassers

Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerungen
Steinbachstr. 53, D-52074 Aachen

0. FORMELZEICHEN	XI
1 EINLEITUNG	I
1.1 Systematik servohydraulischer Antriebe	3
2 WIDERSTANDSSTEUERUNGEN.....	7
2.1 Typen und Eigenschaften hydraulischer Widerstände	7
2.2 Systematik der Widerstandssteuerungen	11
2.2.1 Hydraulische Brückenhalbglieder	11
2.3 Hydraulische Vollbrücken	13
2.4 Kenngrößen und Kennlinienfelder	16
2.4.1 Brückenschaltungen mit Konstantdruckquelle.....	18
2.4.1.1 Halbbrücken	19
2.4.1.2 Vollbrücken.....	31
2.4.2 Brückenschaltung bei Konstantstromquelle.....	39
2.4.2.1 Vollbrücke A+A.....	39
2.5 Linearisierung der Kennfelder	43
2.6 Experimentelle Ermittlung der Kenngrößen	46
2.7 Wirkungsgrad von Widerstandssteuerungen	48
2.7.1 Konstantdrucksystem	49
2.7.2 Konstantstromsystem	53
2.7.3 Fertigungsaufwand	55
3 VERDRÄNGERSTEUERUNGEN.....	57

3.1 Aufgeprägter Volumenstrom	58
3.1.1 Verdrängersteuerung mit einem Differentialzylinder	60
3.2 Aufgeprägter Druck	62
3.2.1 Verdrängergesteuerte Zylinderantriebe am Konstantdrucknetz	63
3.3 Mathematische Beschreibung	64
4. STETIGE VENTILE	65
4.1 Aufbau und Funktionsweise	67
4.1.1 Elektrische Eingangsstufe (elektro-mechanischer Umformer)	67
4.1.2 Hydraulische Vorsteuerstufe (mechanisch-hydraulische Umformer)	70
4.1.3 Hydraulische Hauptstufe	74
4.2 Einstufige Stetigventile	74
4.3 Mehrstufige Ventile	78
4.3.1 Zweistufige Ventile	78
4.3.2 Dreistufige Ventile	84
4.3.3 Sonderbauformen	86
4.4 Statisches Verhalten von Stetigventilen	87
4.4.1 Kennlinienfeld (Volumenstrom-Lastfunktion)	88
4.4.2 Volumenstrom-Signalfunktion	88
4.4.3 Nennvolumenstrom	89
4.4.4 Druck-Signalfunktion	89

4.4.5	Nulldurchfluß	91
4.4.6	Summendruck	92
4.5	Dynamisches Verhalten von Stetigventilen	94
4.5.1	Verhalten im Zeitbereich	94
4.5.2	Verhalten im Frequenzbereich	96
4.6	Mathematisches Modell	99
4.6.1	Ventilschieber	100
4.6.2	Druckaufbaugleichung	101
4.6.3	Torque-Motor	102
4.6.4	Gesamtsystem	105
4.6.5	Nichtlinearitäten	111
5	PUMPEN UND MOTOREN	113
5.1	Verstellpumpen und -motoren	113
5.1.1	Aufbau und Funktionsweise	113
5.1.2	Statisches Verhalten	117
5.1.2.1	Verluste eines Servoverdrängers	117
5.1.2.2	Eigenverstellkräfte eines Servoverdrängers	121
5.1.3	Mathematisches Modell von Verstelleinheiten	124
5.1.3.1	Nichtlineares Modell	125
5.1.3.2	Linearisiertes Modell	126
5.1.3.3	Stellsystem als Modell 1. Ordnung	128
5.1.3.4	Dynamisches Verhalten	129
5.2	Drehzahlveränderliche Konstantpumpen	133

5.2.1 Mathematische Modell der drehzahlveränderlichen Konstantpumpen	134
5.3 Motoren	137
5.3.1 Aufbau und Eigenschaften von Zylindern	137
5.3.2 Aufbau und Eigenschaften von Schwenkmotoren.....	146
5.3.3 Aufbau und Eigenschaften von Rotationsmotoren.....	149
5.3.4 Wirkungsgrad von Rotationsmotoren.....	152
5.3.4.1 Hydraulisch-mechanische Verluste	153
5.3.4.2 Volumetrische Verluste (Leckverluste).....	156
6 AUFBAU DER STEUERKETTE SERVOHYDRAULISCHER ANTRIEBE	159
6.1 Die Steuerkette Stetigventil-Rotationsmotor	160
6.1.1 Mathematische Beschreibung der Steuerkette	163
6.1.1.1 Mathematisches Modell des Ventils	165
6.1.1.2 Mathematisches Modell des Servomotors.....	166
6.1.1.3 Gesamte Steuerkette Stetigventil - Rotationsmotor ...	169
6.1.2 Dynamische Kennwerte der Steuerkette	172
6.2 Die Steuerkette Stellelement - Linearmotor	178
6.3 Die Steuerkette Servopumpe - Motor	179
6.4 Die Steuerkette sekundärgeregelter Motor.....	181
6.4.1 Mathematisches Modell des Verstellmotors.....	182
6.5 Dynamisches Verhalten realer servohydraulischer Antriebe....	184
6.5.1 Nichtlinearitäten des Druckaufbaus	184

6.5.2 Nichtlinearitäten ventilgesteuerter Servoantriebe	186
6.5.2.1 Einfluß des nichtlinearen Kennlinienfeldes des Ste- tigventils.....	186
6.5.2.2 Einfluß der Überdeckungsverhältnisse des Steuer- schiebers	189
6.5.3 Nichtlinearitäten des pumpengesteuerten Servoantriebes .	191
6.5.3.1 Aufbau und Einfluß der Speise- und Spüleinheit	194
6.5.3.2 Einfluß der Druckbegrenzungsventile	198
6.5.3.3 Einfluß der Leitungslänge zwischen Pumpe und Motor.....	200
6.6 Hydrostatisches Getriebe mit angehobenem Druckniveau.....	202
7 SENSOREN- UND REGELEINRICHTUNGEN.....	205
7.1 Sensoren zur Erfassung der Position.....	206
7.1.1 Potentiometrische Positionsaufnehmer.....	206
7.1.2 Induktive Positionssensoren.....	210
7.1.3 Magneto-resistive Positionssensoren.....	214
7.1.4 Magnetostriktive Positionssensoren	216
7.1.5 Optische Positionssensoren	218
7.1.6 Zusammenfassung	223
7.2 Sensoren zur Druckmessung.....	224
7.2.1 Aufbau von resistiven Druckaufnehmern	225
7.2.2 Piezoelektrische Drucksensoren	228
7.3 Reglerbaugruppen	230

8 GEREGLTE SERVOHYDRAULISCHE ANTRIEBE.....	239
8.1 Servohydraulische Antriebe im Kraft- / Momentenregelkreis..	241
8.1.1 Widerstandssteuerung mit aufgeprägtem Druck und Verdrängersteuerung mit aufgeprägtem Volumenstrom...	242
8.1.1.1 Linearisiertes mathematisches Modell der Kraft- regelung	242
8.1.1.2 Regelungskonzepte für die Kraftregelung	245
8.1.1.3 Druckregelung mit drehzahlveränderbaren Pumpen ..	248
8.1.1.4 Druckregelung mit Verstellpumpen.....	250
8.1.2. Verdrängersteuerungen mit aufgeprägtem Druck	257
8.1.2.1 Linearisiertes Modell der Momentenregelung bei sekundärgeregelten Antrieben.....	257
8.1.2.2 Regelungskonzepte für die Momentenregelung.....	259
8.2 Servohydraulische Antriebe im Geschwindigkeitsregelkreis ...	262
8.2.1 Widerstandssteuerungen mit aufgeprägtem Druck und Verdrängersteuerungen mit aufgeprägtem Volumen- strom.....	262
8.2.1.1 Einschleifige Regelungen.....	264
8.2.1.2 Regelung mit Hilfsregelgrößen	268
8.2.2 Verdrängersteuerung mit aufgeprägtem Druck	273
8.2.2.1 Regelungskonzept	275
8.2.2.2 Messungen der Drehzahlregelung	281
8.2.2.3 Anwendungsbeispiel.....	287
8.3 Servohydraulische Antriebe im Lageregelkreis	290
8.3.1 Widerstandssteuerungen mit aufgeprägtem Druck und Verdrängersteuerungen mit aufgeprägtem Volumen- strom.....	290

8.3.1.1	Einschleifiger Lageregelkreis	291
8.3.1.2	Mehrschleifiger Lageregelkreis	303
8.3.2	Verdrängersteuerung mit aufgeprägtem Druck	326
8.3.2.1	Einschleifiger Lageregelkreis	327
8.3.2.2	Messungen der einschleifigen Drehwinkelregelung ...	329
8.3.2.3	Mehrschleifiger Drehwinkelregelkreis	332
9	ANHANG	341
9.1	Einführung in regelungstechnische Grundlagen	341
9.1.1	Regelungstechnische Darstellungsweisen	341
9.1.1.1	Der Wirkungsplan	342
9.1.1.2	Elementare lineare Übertragungsglieder	343
9.1.2	Beschreibungs- und Untersuchungsmethoden	346
9.1.2.1	Beschreibung von Regelkreisgliedern durch Differentialgleichungen	346
9.1.2.2	Beschreibung von Regelkreisgliedern durch Frequenzganggleichungen	350
9.1.2.3	Untersuchungsmethoden	351
9.1.2.4	Zusammenschaltung von Übertragungsgliedern	354
9.1.3	Linearisierung von Kennlinien	356
9.1.4	Der Regelkreis	357
9.1.4.1	Führungs- und Störverhalten	357
9.1.4.2	Stabilität des Regelkreises	359
9.1.4.3	Regelstrecke mit und ohne Ausgleich, die Kreisverstärkung	366

