

INHALTSVERZEICHNIS

0	FORMELZEICHEN	VI
1	EINLEITUNG	15
1.1	Einführung in die grundlegenden Begriffe.....	15
1.2	Aufbau des Umdrucks	18
1.3	Historisches und Anwendungsbeispiele	21
2	HYDRAULISCHE ANTRIEBE	26
2.1	Übersicht und Systematik.....	27
2.2	Ventilgesteuerte Antriebe	29
2.2.1	Systematik der Ventilsteuerungen.....	29
2.2.1.1	<i>Hydraulische Brückenhalbglieder.....</i>	<i>30</i>
2.2.1.2	<i>Hydraulische Vollbrückenschaltungen.....</i>	<i>32</i>
2.2.2	Quadrant I – Ventilsteuerung mit aufprägtem Volumenstrom....	35
2.2.3	Quadrant II – Ventilsteuerung am Konstantdrucknetz.....	36
2.3	Verdrängergesteuerte Antriebe	37
2.3.1	Quadrant III – Primärsteuerung oder hydrostatisches Getriebe	38
2.3.2	Quadrant IV – Sekundärsteuerung am Konstantdrucknetz	43
3	STELLGLIEDER	47
3.1	Stetigventile	47
3.1.1	Aufbau und Funktionsweise	48
3.1.1.1	<i>Elektrische Eingangsstufe (elektro-mechanischer Umformer)</i>	<i>49</i>
3.1.1.2	<i>Hydraulische Vorsteuerstufe (mechanisch-hydraulischer Umformer)</i>	<i>52</i>
3.1.1.3	<i>Hydraulische Hauptstufe</i>	<i>55</i>
3.1.2	Einstufige Stetigventile.....	55
3.1.3	Mehrstufige Stetigventile	62
3.1.3.1	<i>Zweistufige Stetigventile</i>	<i>63</i>
3.1.3.2	<i>Dreistufige Stetigventile</i>	<i>68</i>
3.1.3.3	<i>Sonderbauformen.....</i>	<i>71</i>
3.1.4	Statisches Verhalten von Stetigventilen	72
3.1.4.1	<i>Kennlinienfeld (Volumenstrom-Lastfunktion).....</i>	<i>73</i>
3.1.4.2	<i>Volumenstrom-Signalfunktion</i>	<i>73</i>

3.1.4.3	<i>Nennvolumenstrom</i>	74
3.1.4.4	<i>Druck-Signalfunktion</i>	75
3.1.4.5	<i>Nulldurchfluss</i>	76
3.1.4.6	<i>Summendruck</i>	77
3.1.5	Dynamisches Verhalten von Stetigventilen.....	79
3.1.5.1	<i>Verhalten im Zeitbereich</i>	79
3.1.5.2	<i>Verhalten im Frequenzbereich</i>	80
3.2	Verstellpumpen und -motoren	84
3.2.1	Aufbau und Funktionsweise	84
3.2.2	Statisches Verhalten	89
3.2.2.1	<i>Verluste eines Servoverdrängers</i>	89
3.2.2.2	<i>Eigenverstellkräfte eines Servoverdrängers</i>	95
3.2.3	Dynamisches Verhalten	97
3.3	Drehzahlveränderliche Konstantpumpen	102
4	HYDRAULISCHE AKTOREN	105
4.1	Aufbau und Eigenschaften von Linearmotoren.....	105
4.2	Aufbau und Eigenschaften von Schwenkmotoren	114
4.3	Aufbau und Eigenschaften von Rotationsmotoren.....	116
4.4	Wirkungsgrad von Rotationsmotoren.....	120
4.4.1	Hydraulisch-mechanische Verluste	121
4.4.2	Volumetrische Verluste	123
5	SENSOREN UND REGELEINRICHTUNGEN	125
5.1	Sensoren zur Erfassung der Position	126
5.1.1	Potentiometrische Positionsaufnehmer	127
5.1.2	Induktive Positionssensoren	130
5.1.3	Magnetoresistive Positionssensoren.....	133
5.1.4	Magnetostriktive Positionssensoren	136
5.1.5	Optische Positionssensoren	138
5.1.6	Zusammenfassung	143
5.2	Sensoren zur Druckmessung	143
5.2.1	Aufbau von resistiven Druckaufnehmern.....	144
5.2.2	Piezoelektrische Drucksensoren	146
5.3	Reglerbaugruppen.....	148

6	STATISCHE KENNWERTE VENTILGESTEUERTER ANTRIEBE	159
6.1	Typen und Eigenschaften hydraulischer Widerstände	159
6.2	Definition der Kenngrößen und Kennlinienfelder.....	163
6.2.1	Brückenschaltungen mit Konstantdruckquelle.....	164
6.2.1.1	<i>Halbbrücken</i>	164
6.2.1.2	<i>Vollbrücken</i>	174
6.2.1.3	<i>Regelfall Differentialzylinder</i>	185
6.2.2	Brückenschaltung bei Konstantstromquelle	192
6.2.2.1	<i>Vollbrücke A+A</i>	193
6.3	Linearisierung der Kennfelder.....	196
6.3.1	Linearisierung der negativ überdeckten Vollbrücke A+A	196
6.3.2	Linearisierung der nullüberdeckten Vollbrücke A+A.....	197
6.4	Ermittlung der Kenngrößen aus Ventildatenblättern.....	199
6.5	Experimentelle Ermittlung der Kenngrößen	203
6.6	Wirkungsgrad von Ventilsteuerungen.....	209
6.6.1	Konstantdrucksystem.....	209
6.6.2	Konstantstromsystem.....	215
6.7	Kosten-Nutzen-Betrachtung zu den Vollbrückenschaltungen	216
7	MODELLBILDUNG HYDRAULISCHER ANTRIEBE	219
7.1	Mathematische Modelle hydraulischer Komponenten.....	221
7.1.1	Stetigventil.....	221
7.1.1.1	<i>Nichtlineares Modell 5. Ordnung</i>	221
7.1.1.2	<i>Linearisiertes Modell 3. Ordnung</i>	235
7.1.1.3	<i>Linearisiertes Modell 2. Ordnung</i>	238
7.1.2	Verdrängerstellsystem	240
7.1.2.1	<i>Nichtlineares Modell 5. Ordnung</i>	241
7.1.2.2	<i>Linearisiertes Modell 2. Ordnung</i>	242
7.1.2.3	<i>Nichtlineares Modell 1. Ordnung</i>	245
7.1.3	Verstellpumpe.....	246
7.1.4	Drehzahlveränderliche Konstantpumpe	247
7.1.5	Konstantmotor	249
7.1.5.1	<i>Rotationsmotor</i>	249
7.1.5.2	<i>Linearmotor</i>	254
7.1.6	Verstellmotor	257
7.2	Frequenzgänge und dynamische Kennwerte	259

7.2.1	Steuerkette Typ 1	259
7.2.1.1	<i>Stetigventil – Rotationsmotor</i>	259
7.2.1.2	<i>Stetigventil – Linearmotor (Gleichgangzylinder)</i>	267
7.2.1.3	<i>Servopumpe – Rotationsmotor</i>	268
7.2.1.4	<i>Servopumpe – Linearmotor (Gleichgangzylinder)</i>	270
7.2.1.5	<i>Stetigventil – Linearmotor (Differentialzylinder)</i>	271
7.2.2	Steuerkette Typ 2.....	278
7.3	Nichtlinearitäten in realen servohydraulischen Antrieben	279
7.3.1	Nichtlinearitäten des Druckaufbaus	280
7.3.2	Nichtlinearitäten ventilgesteuerter Servoantriebe	281
7.3.2.1	<i>Einfluss des nichtlinearen Kennlinienfeldes des Stetigventils</i>	281
7.3.2.2	<i>Einfluss der Überdeckungsverhältnisse des Steuerschiebers</i>	283
7.3.3	Nichtlinearitäten pumpengesteuerter Servoantriebe	284
7.3.3.1	<i>Einfluss der Speise- und Spüleinheit</i>	286
7.3.3.2	<i>Einfluss der Druckbegrenzungsventile</i>	289
7.3.3.3	<i>Einfluss der Leitungslänge zwischen Pumpe und Motor</i>	291
7.3.3.4	<i>Eingespanntes hydrostatisches Getriebe</i>	292
8	REGELUNG HYDRAULISCHER ANTRIEBE	295
8.1	Kraft-, Momenten- und Druckregelung.....	297
8.1.1	Kraft-, Momenten- und Druckregelung für Typ 1	298
8.1.1.1	<i>Linearisiertes Modell der Kraftregelung</i>	299
8.1.1.2	<i>Konzepte für die Kraftregelung</i>	301
8.1.1.3	<i>Druckregelung mit Widerstandssteuerung</i>	306
8.1.1.4	<i>Druckregelung mit Verstellpumpe</i>	310
8.1.1.5	<i>Druckregelung mit Konstantpumpe und drehzahlveränderbarem Elektromotor</i>	315
8.1.2	Kraft-, Druck- und Momentenregelung für Typ 2	317
8.1.2.1	<i>Linearisiertes Modell der Momentenregelung</i>	317
8.1.2.2	<i>Konzepte für die Momentenregelung</i>	318
8.2	Geschwindigkeitsregelung.....	322
8.2.1	Geschwindigkeitsregelung für Typ 1	323
8.2.1.1	<i>Einschleifige Regelung</i>	325
8.2.1.2	<i>Mehrschleifige Regelung</i>	330
8.2.2	Geschwindigkeitsregelung für Typ 2	335
8.3	Lageregelung	351
8.3.1	Lageregelung für Typ 1	351
8.3.1.1	<i>Einschleifige Regelung</i>	351

8.3.1.2	<i>Mehrschleifige Regelung</i>	375
8.3.2	Lageregelung für Typ 2	391
8.3.2.1	<i>Einschleifige Regelung</i>	392
8.3.2.2	<i>Mehrschleifige Regelung</i>	400
9	ANHANG – REGELUNGSTECHNISCHE GRUNDLAGEN	403
9.1	Regelungstechnische Darstellungsweisen	403
9.1.1	Der Wirkungsplan.....	404
9.1.2	Elementare lineare Übertragungsglieder	405
9.2	Beschreibung von Regelkreisgliedern durch Differentialgleichungen	410
9.2.1	Hydraulisches RC-Glied mit PT_1 -Verhalten	410
9.2.2	Schwingungsfähiges hydraulisches System mit PT_2 -Verhalten....	412
9.3	Beschreibung von Regelkreisgliedern durch Frequenzganggleichungen ..	416
9.4	Zusammenschaltung von Übertragungsgliedern	417
9.5	Untersuchungsmethoden	418
9.5.1	Zeitbereich	418
9.5.2	Frequenzbereich.....	419
9.6	Linearisierung von Kennlinien	421
9.7	Der Regelkreis	422
9.7.1	Regelstrecke mit und ohne Ausgleich	422
9.7.2	Führungs- und Störverhalten	423
9.7.3	Stabilität des Regelkreises	424
9.7.3.1	<i>Nyquist-Kriterium</i>	424
9.7.3.2	<i>Hurwitz-Kriterium</i>	428
9.7.3.3	<i>Wurzelortskurven-Verfahren</i>	429
9.7.4	Die Kreisverstärkung.....	430
9.8	ITSE- und ITAE-Kriterium zur Bewertung der Regelkreisdynamik	433
10	LITERATURVERZEICHNIS	437
11	INDEX	443