

Gerhard Bauer

Ölhydraulik

Grundlagen, Bauelemente, Anwendungen

11., überarbeitete und erweiterte Auflage

Mit 216 Abbildungen und 51 Beispielen mit Lösungen

Springer Vieweg

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Begriffe und Abgrenzung des Sachgebietes	1
1.2	Aufbau eines Hydrauliksystems (Hydrosystem)	2
1.3	Schaltplandarstellung mit grafischen Symbolen	3
1.4	Vor- und Nachteile der Ölhydraulik	5
1.5	Das S.I.-Maßsystem und praktische Berechnungen	6
2	Physikalische Grandlagen	7
2.1	Hydrostatik	7
2.2	Hydrodynamik	9
2.2.1	Gleichung von Bernoulli	9
2.2.2	Kontinuitätsgleichung	9
2.2.3	Beschleunigungsdruck	10
2.2.4	Hydraulische Leistung	11
2.3	Strömungsverluste (Druckverluste)	12
2.3.1	Reynoldssche Zahl	13
2.3.2	Strömungsverluste in geraden Leitungen	14
2.3.3	Strömungsverluste in Krümmern, Verzweigungen, Erweiterungen, Verengungen (Drosseln) usw	17
2.3.4	Strömungsverluste in Blenden (kurzen Verengungen)	18
2.3.5	Strömungsverlust in Ventilen	19
2.3.6	Druckverlust bei einer anderen Betriebsflüssigkeit	20
2.3.7	Hintereinander- und Parallelschaltung von Ventilen	20
2.3.8	Wirkungsgrad des Leitungs- und Steuerungssystems	21
2.4	Die Kompressibilität der Druckflüssigkeit und ihre Auswirkungen	21
2.4.1	Kompressibilitätsfaktor und Kompressionsmodul	21
2.4.2	Auswirkung der Kompressibilität auf die Bewegung eines Arbeitszylinders	22
2.4.3	Druckstöße als Folge von Schaltvorgängen	27
2.4.4	Anlaufzeit eines Hydromotors oder Zylinders	32

2.5	Kraftwirkung eines Flüssigkeitsstromes	33
2.5.1	Kraft eines Flüssigkeitsstrahles auf eine ebene Platte bei stationärer Strömung	33
2.5.2	Kraftwirkung auf einen rotationssymmetrischen Steuerkolben	34
2.5.3	Kraftwirkung auf einen Steuerkolben mit rechteckigen Kanten	35
2.6	Strömung in Spalten	36
2.6.1	Spalte mit parallelen Wänden ohne äußeren Druck und Einführung des Viskositätsbegriffs	36
2.6.2	Spalt mit parallelen unbewegten Wänden unter Druck	39
2.6.3	Korrekturen der Spaltformel	41
2.6.4	Kräfte im Spalt – Hydrostatisches Lager	43
3	Druckflüssigkeiten	49
3.1	Mineralöle	49
3.1.1	Dichte	50
3.1.2	Kompressibilität	51
3.1.3	Viskosität und Ölauswahl	51
3.1.4	Spezifische Wärme	54
3.1.5	Stockpunkt	54
3.1.6	Flammpunkt	54
3.1.7	Alterung	55
3.1.8	Wasserabscheidevermögen	55
3.1.9	Luftlösevermögen und der Einfluss von Luft in Hydrauliksystemen	55
3.2	Schwerentflammbare Druckflüssigkeiten	57
3.2.1	Wasserhaltige Druckflüssigkeiten (HFA, HFB, HFC)	58
3.2.2	Wasserfreie Druckflüssigkeiten (Kennbuchstaben HDF) . . .	59
3.3	Umweltverträgliche Druckflüssigkeiten	59
3.3.1	Polyglykole (Kennbuchstaben HEPG)	59
3.3.2	Native (pflanzliche) Öle (HETG)	60
3.3.3	Synthetische Ester (HEES)	60
3.4	Pflege und Wechsel der Druckflüssigkeit	60
4	Filter, Flüssigkeitsbehälter, Wärmeanfall und Kühlung	63
4.1	Filter	63
4.1.1	Filteranordnung	64
4.1.2	Bauarten von Filterelementen	66
4.2	Flüssigkeitsbehälter	67
4.3	Wärmeanfall und Kühlung	67
4.3.1	Verluste in einem Hydraulik-System	67
4.3.2	Erwärmungsvorgang einer ölhydraulischen Anlage	68
4.3.3	Wärmeabgabe über den Ölbehälter und zusätzliche Kühlung	70
4.3.4	Vorwärmer (Heizer)	71

5	Hydropumpen	73
5.1	Berechnungsgrundlagen	74
5.1.1	Förderdruck und Leistung	74
5.1.2	Grundgleichungen ohne Verluste	75
5.1.3	Wirkungsgrade und Grundgleichungen mit Verlusten	76
5.1.4	Saugverhalten	78
5.1.5	Einfluss der Kompressibilität auf den effektiven Förderstrom	79
5.1.6	Ungleichförmigkeitsgrad	81
5.2	Bauarten hydrostatischer Pumpen	83
5.2.1	Zahnpumpen	83
5.2.2	Flügelumpen	87
5.2.3	Kolbenpumpen	91
5.2.4	Betriebsgrößen hydrostatischer Pumpen	100
5.3	Kennlinien	100
5.4	Verstell- und Regeleinrichtungen für Hydropumpen	102
5.4.1	Versteileinrichtungen	102
5.4.2	Elektrohydraulische Verstellung	105
5.4.3	Regeleinrichtungen	107
5.5	Servopumpen	112
6	Motoren	113
6.1	Zylinder	114
6.1.1	Bauformen	114
6.1.2	Aufbau eines Zylinders	115
6.1.3	Berechnung eines Hydrozylinders	116
6.1.4	Einfluss der Kompressibilität der Druckflüssigkeit	119
6.1.5	Endlagendämpfung	120
6.1.6	Befestigungsarten	121
6.2	Hydromotoren	121
6.2.1	Bauarten	121
6.2.2	Wirkungsgrade und Grundgleichungen mit Verlusten	125
6.2.3	Kompressibilitätseinfluss	127
6.3	Schwenkmotoren	128
6.4	Kräfte und Momente an Motoren	129
6.5	Berechnung von Hydrosystemen (Hydraulikanlagen)	131
7	Ventile als Steuergeräte und ihre Anwendungen	137
7.1	Druckventile	139
7.1.1	Druckbegrenzungsventile (DbV)	139
7.1.2	Druckminderventile (Druckregelventile)	143
7.1.3	Druckschaltventile	145

7.2	Wegeventile (Schaltventile)	147
7.2.1	Wege-Kolbenventile (Schieberventile)	147
7.2.2	Wege-Sitzventile	154
7.3	Sperrventile	156
7.3.1	Rückschlagventile	156
7.3.2	Ferngesteuerte Rückschlagventile	157
7.4	Stromventile	158
7.4.1	Kennlinien der Stromventile	159
7.4.2	Steuerungsarten mit Stromventilen	160
7.4.3	Einfache Stromventile (Drosselventile)	161
7.4.4	Stromregelventile	163
7.5	2-Wege-Einbauventile	168
7.5.1	Beschreibung eines 2-Wege-Einbauventils	168
7.5.2	Steuerung mit 2-Wege-Einbauventilen	169
8	Stetig verstellbare Ventile (Stetigventile)	173
8.1	Elektrohydraulische Servoventile	174
8.1.1	Wirkungsvergleich: Wegeschaltventil – Servoventil	174
8.1.2	Aufbau und Bauarten der Servoventile	176
8.1.3	Beispiel eines zweistufigen Servoventils	177
8.1.4	Kennlinien und Auswahl eines Servoventils	178
8.1.5	Dynamisches Verhalten eines Servoventils	181
8.2	Das Servoventil im elektrohydraulischen Regelkreis	182
8.3	Proportionalventile	184
8.3.1	Proportionalmagnete	184
8.3.2	Proportional-Druckventile	185
8.3.3	Proportional-Wegeventile	186
8.3.4	Auslegung von Steuerungen mit Proportional-Wegeventilen	191
8.3.5	Proportionale Stromregelung (Proportional- Stromventil)	194
8.4	Regelventile	195
9	Hydrospeicher	197
9.1	Anwendungsmöglichkeiten	197
9.1.1	Hydrospeicher als sekundäre Energiequelle	197
9.1.2	Hydrospeicher als Notenergiequelle	197
9.1.3	Hydrospeicher für Druckhaltung in abgesperrten Leitungen für Leckölausgleich und für Volumenausgleich bei Druck- und Temperaturschwankungen	198
9.1.4	Hydrospeicher als Energiequelle für schwingungsfreien hydraulischen Antrieb	198
9.1.5	Hydrospeicher zur Dämpfung von Druckstößen und zur Federung	198
9.2	Hydrospeicherbauarten	198

9.3	Berechnung der Gas-Hydrospeicher	199
9.4	Sicherheitsanforderungen	202
10	Verbindungselemente und Ventilmontagesysteme	203
10.1	Rohrleitungen	203
10.2	Rohrverbindungen	204
10.3	Schlauchleitungen	205
10.4	Ventilmontagesysteme	206
11	Dichtungen	209
11.1	Statische Dichtungen	209
11.2	Dynamische Dichtungen	211
11.2.1	Kolbenringe	211
11.2.2	Elastische Dichtungen	212
11.3	Stick-Slip oder Ruckgleiten	213
12	Anwendung von Kennlinien bei der Berechnung von Hydrokreisläufen	215
12.1	Kennlinien der Bauelemente eines Hydrokreislaufes	215
12.2	Hintereinander- und Parallelschaltung	217
12.3	Kennlinie eines Pumpenaggregates	218
12.4	Beispiel für das Zusammenwirken Pumpenaggregat – Verbraucherkreis	219
13	Hydrostatische Getriebe	221
13.1	Schaltpläne und Wirkungsweise	221
13.1.1	Offener Kreislauf	221
13.1.2	Geschlossener Kreislauf	222
13.2	Leistungs-Momentenkennlinie und Berechnung	224
13.3	Wandlungsbereich	226
14	Steuerung im Leistungsbereich	231
14.1	Widerstandssteuerung (Ventilsteuerung)	231
14.2	Verdrängersteuerung	232
14.3	Drehzahlvariabler Pumpenantrieb	233
15	Prinzipbedingte Leistungsverluste bei konventionellen und neueren Hydrauliksystemen	235
15.1	Pumpensteuerung (Pumpenverstellung)	235
15.2	Ventilsteuerung mit Stromventilen	236
15.2.1	2-Wege-Stromregelventil und Konstantpumpe	236
15.2.2	3-Wege-Stromregelventil und Konstantpumpe	237
15.2.3	2-Wege-Stromregelventil im Bypass	237
15.2.4	2-Wege-Stromregelventil und druckgeregelt Verstellpumpe	238

15.3	Ventilsteuerung mit stetig verstellbaren Wege-Ventilen	238
15.4	Load-Sensing-Systeme	239
15.4.1	Load-Sensing-System mit Konstantpumpe	239
15.4.2	Load-Sensing-System mit Verstellpumpe mit Druck-Förderstromregler	240
15.4.3	Elektrohydraulisches Load-Sensing	241
15.5	Sekundärregelung (Motorsteuerung)	242
16	Einführung in die Steuerung des Signalfusses	245
16.1	Die Steuerkette	245
16.2	Steuerungsarten nach DIN 19226	248
16.3	Steuerungsbeispiele der Ölhydraulik	249
17	Anwendungsbeispiele der Ölhydraulik	253
17.1	Hydraulische Folgesteuerung einer Spann- und Produktionsvorrichtung	253
17.2	Vorschubantrieb mit Primärsteuerung	254
17.3	Antrieb einer kleineren Oberkolbenpresse	256
17.4	Zentrifugenantrieb	258
17.5	Antrieb der Spritzeinheit einer Spritzgießmaschine	259
17.6	Geschwindigkeitsgeregelter Antrieb einer fliegenden Säge	260
17.7	Hydropulsanlage (Servohydraulische Prüfanlage)	262
17.8	Hubstaplerantrieb	262
17.9	Antrieb eines vollhydraulischen Mobilbaggers	264
17.10	Elektronisch geregelter Fahrtrieb eines Kommunalfahrzeuges	266
17.11	Hydrostatische Lüfterantriebe für Verbrennungsmotoren	268
17.12	Festlegung des Arbeitsdrucks	270
18	Anhang	273
18.1	Benennung, Erklärung und Symbole der Ölhydraulik nach der DIN ISO 1219	273
18.1.1	Symbole für Hydropumpen und Hydromotoren	273
18.1.2	Symbole für Ventile	277
18.1.3	Symbole für Hydraulikleitungen und Zubehör	285
18.1.4	Symbole für Betätigungen	286
18.1.5	Symbole verschiedener Geräte und Energiequellen	288
18.2	Literaturangaben	289
18.3	Normen und Richtlinien (Beispiele)	291
18.4	Lösungen zu den Übungsbeispielen	292
	Sachverzeichnis	299