

Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 12

Verkehrstechnik/
Fahrzeugtechnik

Dipl.-Ing. Ali Haj Fraj,
Baiersdorf

Nr. 489

**Dynamik und
Regelung von
Automatikgetrieben**

VDI Verlag

HLuHB Darmstadt



15290420

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Literaturüberblick	3
1.3	Ziel und Aufbau der Arbeit	7
2	Modellierung des Antriebsstrangs	10
2.1	Komponenten des Antriebsstrangs	11
2.1.1	Verbrennungsmotor	11
2.1.2	Hydrodynamischer Wandler	13
2.1.3	Planetengeräte	16
2.1.4	Abtrieb	19
2.1.5	Wellen	20
2.1.6	Freilauf	21
2.1.7	Kupplung	22
2.2	Bewegungsgleichungen des Antriebsstrangs	24
2.2.1	Kopplung der Bewegungsgleichungen	24
2.2.2	Formulierung des linearen Komplementaritätsproblems	26
3	Modellierung des hydraulischen Steuergeräts	31
3.1	Funktionsweise des hydraulischen Steuergeräts	31
3.2	Zielsetzungen und Anforderungen	33
3.3	Komponenten des Hydrauliksystems	35
3.3.1	Leitungskanäle	35
3.3.2	Druckreduzier- und Schaltventile	36
3.3.3	Magnetventil	40
3.3.4	Elektrischer Drucksteller	43
3.4	Hydraulische Kopplungen	45
3.4.1	Hydroknoten	45
3.4.2	Hydraulische Widerstände	46

3.5	Gesamtbewegungsgleichungssystem des Hydrauliksystems	47
3.5.1	Kopplung der hydraulischen Komponenten	47
3.5.2	Strukturvarianz	49
3.5.3	Stöße	50
4	Schließvorgang von Lamellenkupplungen	52
4.1	Übertragungsverhalten in einem Reibspalt	53
4.1.1	Viskose Reibungsphase	53
4.1.2	Mischreibungsphase	57
4.1.3	Trockenreibungsphase	60
4.2	Detailliertes Modell der gesamten Kupplung	61
4.2.1	Impulssatz des Kolbens	62
4.2.2	Impulssatz der Lamellen	64
4.2.3	Drallsatz des Innen- und Außenmitnehmers	65
4.2.4	Viskosität	66
4.2.5	Gesamtes Gleichungssystem der Kupplung	67
5	Programmtechnische Umsetzung	69
5.1	Zielsetzung und Anforderungen	69
5.2	Programmstruktur	70
5.2.1	Modul Mechanik	72
5.2.2	Modul Hydraulik	73
5.2.3	Modul Steuerung	75
5.2.4	Modul Fahrer	77
5.2.5	Modul Schnittstellen	77
5.3	Numerische Integration und Integratoren	77
6	Simulationsergebnisse und Modellverifikation	78
6.1	Simulationsergebnisse und Verifikation des Antriebsstrangmodells	78
6.2	Simulation und Verifikation des hydraulischen Steuergeräts	83
6.3	Simulation und Verifikation des Gesamtsystems	88

7 Optimierung der Getriebesteuerung	91
7.1 Zielsetzung und Vorgehensweise	91
7.2 Optimierungsmodell	93
7.3 Optimierungsparameter	98
7.3.1 Drucksteuerung	99
7.3.2 Motorsteuerung	102
7.3.3 Vektor der Optimierungsparameter	102
7.4 Gütekriterien	102
7.4.1 Schaltkomfort	103
7.4.2 Lebensdauer der Schaltelemente	106
7.4.3 Wahl der Kriterien	107
7.5 Nebenbedingungen	108
7.6 Formulierung des Optimierungsproblems	108
7.7 Analytische Gradienten	110
7.8 Optimierungsablauf	113
7.9 Ergebnisse	114
7.9.1 Diskussion der Kriterien	115
7.9.2 Pareto-optimaler Lösungsbereich	120
7.9.3 Optimierung über verschiedene Lastfälle	122
8 Modellbasierte Zustandsregelung des Schaltvorgangs	126
8.1 Zielsetzung	126
8.2 Zustandsmodell der Regelstrecke	127
8.2.1 Nichtlineares Zustandsmodell	127
8.2.2 Linearisierung des Zustandsmodells	128
8.2.3 Zeitdiskretisierung des linearen Zustandsmodells	128
8.3 Schaltstrategie	129
8.4 Anwendung der Dynamischen Programmierung	132
8.4.1 Problemformulierung	132
8.4.2 Formulierung der Prozeßkostenfunktion	134
8.4.3 Formulierung der Endkostenfunktion	134
8.4.4 Herleitung eines optimalen Regelgesetzes für den Schaltvorgang	135
8.5 Ergebnisse	139
8.5.1 Gewichtung der Gütekriterien	140
8.5.2 Robustheit des Reglers	143

9	Fuzzy-Regelung des Schaltvorgangs	151
9.1	Schaltstrategie	151
9.1.1	Momentenschaltplan	151
9.1.2	Freilaufschaltung	154
9.1.3	Überschneidungsschaltung	155
9.1.4	Motoreingriff	156
9.2	Reglerentwurf	157
9.2.1	Prinzip und Aufbau eines Fuzzy-Reglers	157
9.2.2	Beschreibung des Reglers	158
9.3	Ergebnisse	164
9.3.1	Regelung einer Freilaufschaltung	164
9.3.2	Regelung einer Überschneidungsschaltung	166
10	Zusammenfassung	169
A	Anhang	172
A.1	Beschreibung des Getriebes 5HP24	172
A.1.1	Übersetzungen	172
A.1.2	Schaltschema	172
A.1.3	Getriebeschema und Kraftfluß	173
A.2	Wandler	175
A.3	Analytische Gradienten	177
A.3.1	Ableitungen zur Berechnung der Sensitivitäten des Systems	177
A.3.2	Ableitungen zur Berechnung der Gradienten der Funktion G_3	179
A.4	Grundlagen der Fuzzy-Logic	182
A.4.1	Duale und unscharfe Logik	182
A.4.2	Minimum-Operator	182
A.4.3	Maximum-Operator	182
A.4.4	Flächenschwerpunktmethode	182
B	Literaturverzeichnis	183