

Dipl.-Ing. Uwe Klingauf, Taufkirchen

**Untersuchung der
Systemdynamik
eines fehlertoleranten
elektrohydraulischen
Stellantriebs mit Direct-
Drive-Ventil (DDV)**

Reihe **8**: Meß-, Steuerungs-
und Regelungstechnik

Nr. **547**

Inhaltsverzeichnis

Bezeichnungen	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Historie	1
1.2 Überblick und Entwicklungstendenzen	2
1.3 Zur vorliegenden Arbeit	8
2 Analyse des Direct-Drive-Konzeptes	9
2.1 Aufbau des untersuchten Stellantriebes	9
2.1.1 Redundante Zylinderanordnung	10
2.1.2 Redundanzmanagement	11
2.1.3 Regelungskonzept	13
2.2 Aufbau und Funktionsweise des Linearmotors	14
2.2.1 Prinzip der Krafterzeugung	15
2.2.2 Statische Kennlinien	17
2.2.3 Dynamisches Verhalten	20
2.3 Degradation der DDV-Performance im Fehlerfall	23
2.3.1 Fehlerursachen	23
2.3.2 Auswirkung von Spulenausfällen	23
2.3.3 Ansteuerungskonflikt	26
2.4 Fazit der DDV-Analyse	27

3	Modellbildung	28
3.1	Modell des hydraulischen Antriebes	28
3.1.1	Differentialzylinder mit Vierkantensteuerung	28
3.1.2	Strömungskräfte am Steuerschieber	31
3.1.3	Hydraulische Dämpfung	33
3.1.4	Bewegungsgleichungen des Tandem-Zylinders	33
3.1.5	Linearisierung und Modellvereinfachung	34
3.2	Numerisches Modell des Linearmotors	37
3.2.1	Zur Arbeitsweise des Verfahrens	37
3.2.2	Modellierung des Linearmotors	40
3.2.3	Ergebnisse	44
3.3	Analytisches Modell des Linearmotors	51
3.3.1	Spulensystem	51
3.3.2	Elektromechanische Energiewandlung	55
3.3.3	Bewegungsgleichung	62
3.3.4	Sensoren und Signalverarbeitung	63
3.3.5	Zustandsraumdarstellung des Gesamtmodells	65
3.3.6	Linearisierung und Modellvereinfachung	68
3.4	Parameterschätzung	69
3.4.1	Aufbau des verwendeten EKF	70
3.4.2	Filtermodell des Linearmotors	78

3.4.3	Wahl der Anregung	79
3.4.4	Parametrierung des Filters	80
3.4.5	Schätzergebnisse	81
4	Ansätze zur Verbesserung der Systemleistung	85
4.1	Linearmotor	85
4.1.1	Verbesserung der Linearität	85
4.1.2	Verbesserung der Dynamik	91
4.1.3	Verbesserung der Linearität bei Spulenausfall	93
4.2	Regelungskonzept	96
4.2.1	Pole der unregelmelten Strecke	96
4.2.2	Kaskadenregler	97
4.2.3	Zustandsregler vs. Kaskadenregler	100
4.2.4	Zeitoptimale Regelung	101
4.2.5	Experimentelle Untersuchungen	104
4.2.6	Fazit der Regleruntersuchungen	108
5	Zusammenfassung	110
	Anhang	113
A	Parameter der nichtlinearen, analytischen Modelle	113
B	Lineares Modell des Stellantriebes	115
	Literaturverzeichnis	117