

Dipl.-Ing. Bernd Engel, Bad Harzburg

**Verschleißmindernde
Kraftschlußregelung
mit Zustandsregler
für elektrische
Traktionsantriebe**

Reihe **12**: Verkehrstechnik/
Fahrzeugtechnik

Nr. **284**

Inhaltsverzeichnis		Seite
Formelzeichen und Indizes		VIII
Eigennamen und Abkürzungen		XIV
1	Einleitung	1
2	Modellbildung	4
2.1	Systemübersicht	4
2.2	Rad-Schiene-Kontakt	7
2.3	Mechanik des Antriebsstranges	11
2.3.1	Aufbau	11
2.3.2	Torsionsschwingungsersatzsystem	13
2.3.3	Differentialgleichungssystem	15
2.3.4	Eigenfrequenzen und Eigenschwingungsformen	17
2.3.5	Ordnungsreduktion	21
2.4	Stellglied	24
2.4.1	Regelungstechnisches Strukturbild	24
2.4.2	Konventionelles Stellglied	26
2.4.3	Einsatz der Direkten Selbstregelung (DSR)	28
2.5	Zustandsraumdarstellung des Systems	37
2.5.1	Zustandsraummethodik	37
2.5.2	Drei- und Zwei-Massen-Schwinger	39
2.5.3	Dämpfung durch den Rad-Schiene-Kontakt	43
2.5.4	Normierung	46
3	Entwurf und Simulation der aktiven Schwingungsdämpfung	48
3.1	Motivation und Überblick	48
3.2	Steuerbarkeit und Beobachtbarkeit	52
3.3	Entwurfsverfahren	53

3.3.1	Verfahren der Polvorgabe	53
3.3.2	Methode der Optimierung eines quadratischen Gütekriteriums	54
3.4	Prinzipien beim Entwurf des Zustandsreglers	55
3.4.1	Entwurf eines einfachen Zustandsreglers	55
3.4.2	Simulation des einfachen Zustandsreglers	57
3.4.3	Methoden gegen bleibende Regelabweichung	59
3.4.4	Vergleich der Entwurfsverfahren	62
3.5	Zeitdiskretisierung	63
3.6	Schätzeinrichtung	65
3.6.1	Luenberger-Beobachter	65
3.6.2	Stochastische Optimalfilter	74
3.6.3	Vergleich und Bewertung der Schätzverfahren	82
3.7	Robustheit	84
3.8	Vergleich mit einem konventionellen Drehzahlregler	85
3.8.1	Einschleifige Drehzahlregelung	85
3.8.2	Vergleich bei deterministischer Belastung	86
3.8.3	Vergleich bei stochastischer Belastung	88
3.8.4	Betrieb bei negativer Kennliniensteigung	90
3.9	Vergleich PT_1 - und PT_2 -Nachbildung des Stellgliedes	92
4	Prüfstand für Traktionsantriebsregelungen	100
4.1	Zielsetzung	100
4.2	Aufbau	103
4.3	Struktur der Signalverarbeitung auf der Antriebsseite	109
4.4	Dynamisches Verhalten	114
5	Prüfstandsergebnisse der aktiven Schwingungsdämpfung	116
5.1	Konventionelle einschleifige Drehzahlregelung	116
5.2	Zwei-Massen-Zustandsregelung	121
5.3	Drei-Massen-Zustandsregelung	125
5.4	Vergleich und Bewertung	129

6	Suchlogik mit variablem Arbeitsintervall	130
6.1	Zielsetzung	130
6.2	Beschreibung der Suchlogik	133
6.3	Erprobung am Prüfstand	135
6.4	Vergleichende Simulationen der neuen Suchlogik und anderer Verfahren	139
6.4.1	Einheitliche Simulationsumgebung	140
6.4.2	Neue Suchlogik	142
6.4.3	Suchlogik nach Schwartz	146
6.4.4	Suchlogik nach Schwartz mit Zustandsregelung	150
6.4.5	Abschließender Vergleich zwischen den Verfahren	154
7	Schlußbetrachtung und Ausblick	156
Anhang A:	Daten der Lokomotive Baureihe 120	158
1.	Allgemeine Daten	158
2.	Drehstromantrieb, Fahrmotor	158
3.	Mechanischer Antriebsstrang	158
3.1	6-Massen-Modell	158
3.2	3-Massen-Modell	159
Anhang B:	Matrizen und Vektoren des Kalman-Bucy-Filters	160
Anhang C:	Daten des Prüfstandes für Traktionsabtriebsregelungen	161
1.	Elektrische Maschinen	161
1.1	Fahrmotornachbildung	161
1.2	Lastmaschine 1	161
1.3	Lastmaschine 2	161
2.	Massenträgheiten, Federsteifigkeiten und Dämpfungskonstanten	162
3.	Daten des Drei-Massen-Schwingers	163
4.	Daten des Zwei-Massen-Schwingers	163
Literaturverzeichnis		164