

Hanno Starker

Zustandsregelung an schwach gedämpften mechanischen Systemen

Diplomarbeit

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 1996 Diplomica Verlag GmbH
ISBN: 9783832413194

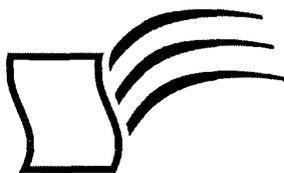
Hanno Starker

Zustandsregelung an schwach gedämpften mechanischen Systemen

Hanno Starker

Zustandsregelung an schwach gedämpften mechanischen Systemen

Diplomarbeit
an der Fachhochschule Jena
März 1996 Abgabe



Diplomarbeiten Agentur
Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey
Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke
und Guido Meyer GbR

Hermannstal 119 k
22119 Hamburg

agentur@diplom.de
www.diplom.de

ID 1319

Starker, Hanno: Zustandsregelung an schwach gedämpften mechanischen Systemen /

Hanno Starker - Hamburg: Diplomarbeiten Agentur, 1999

Zugl.: Jena, Fachhochschule, Diplom, 1996

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

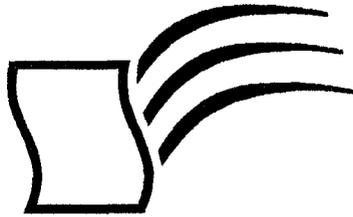
Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden, und die Diplomarbeiten Agentur, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey, Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke & Guido Meyer GbR

Diplomarbeiten Agentur, <http://www.diplom.de>, Hamburg

Printed in Germany



Diplomarbeiten Agentur

Wissensquellen gewinnbringend nutzen

Qualität, Praxisrelevanz und Aktualität zeichnen unsere Studien aus. Wir bieten Ihnen im Auftrag unserer Autorinnen und Autoren Wirtschaftsstudien und wissenschaftliche Abschlussarbeiten – Dissertationen, Diplomarbeiten, Magisterarbeiten, Staatsexamensarbeiten und Studienarbeiten zum Kauf. Sie wurden an deutschen Universitäten, Fachhochschulen, Akademien oder vergleichbaren Institutionen der Europäischen Union geschrieben. Der Notendurchschnitt liegt bei 1,5.

Wettbewerbsvorteile verschaffen – Vergleichen Sie den Preis unserer Studien mit den Honoraren externer Berater. Um dieses Wissen selbst zusammenzutragen, müssten Sie viel Zeit und Geld aufbringen.

<http://www.diplom.de> bietet Ihnen unser vollständiges Lieferprogramm mit mehreren tausend Studien im Internet. Neben dem Online-Katalog und der Online-Suchmaschine für Ihre Recherche steht Ihnen auch eine Online-Bestellfunktion zur Verfügung. Inhaltliche Zusammenfassungen und Inhaltsverzeichnisse zu jeder Studie sind im Internet einsehbar.

Individueller Service – Gerne senden wir Ihnen auch unseren Papierkatalog zu. Bitte fordern Sie Ihr individuelles Exemplar bei uns an. Für Fragen, Anregungen und individuelle Anfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung. Wir freuen uns auf eine gute Zusammenarbeit

Ihr Team der *Diplomarbeiten Agentur*

Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey –
Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke —
und Guido Meyer GbR —————

Hermannstal 119 k —————
22119 Hamburg —————

Fon: 040 / 655 99 20 —————
Fax: 040 / 655 99 222 —————

agentur@diplom.de —————
www.diplom.de —————

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen	4
Verzeichnis der verwendeten Symbole und Formelzeichen	6
Abkürzungsverzeichnis	10
Vorwort	11
1. Einleitung	12
2. Systeme im Zustandsraum	13
2.1 Frequenzbereichs- und Zustandsraummethode	13
2.2 Zustand eines Systems	15
2.3 Wahl der Zustandsgrößen	15
3. Modellbildung	16
3.1 Mechanisches Ersatzmodell	16
3.2 Abtastproblematik	18
3.3 Mathematisches Modell	21
3.4 Zustandsgleichungen und Übertragungsmatrix	25
3.5 Steuerbarkeit	28
3.5.1 Zustandssteuerbarkeit	28
3.5.2 Ausgangsteuerbarkeit	29
4. Ermittlung der Systemparameter	30
4.1 Bestimmung der Federkonstante	30
4.2 Bestimmung der Trägheitsmomente	33
4.3 Ermittlung der Dämpfung	35
4.4 Variation der Systemparameter	39
5. Synthese des Zustandsreglers	41
5.1 Steuerbarkeitsnachweis für das Zweimassenmodell	41
5.2 Günstiger Polbereich	42
5.3 Polvorgabe	44
5.4 Auslegung des Zustandsreglers	46

5.5	Berechnung der Reglerkoeffizienten	47
5.5.1	Die Formel von J. ACKERMANN	47
5.5.2	Alternative Berechnungsmethode	50
5.6	Berechnung des Vorfilters	52
5.6.1	Konventionelle Berechnungsmethode	52
5.6.2	Anschauliche Berechnungsmethode	55
6.	Praktische Realisierung des Zustandsreglers	56
6.1	Regelungstechnisches Softwaresystem DORA	56
6.1.1	Reglerentwurf	56
6.1.2	Grafischer Struktureditor	56
6.1.3	Prozeßbankopplung	58
6.1.3.1	Stellgrößenerzeugung	58
6.1.3.2	Verarbeitung der Encoderimpulse	59
6.1.4	Echtzeitregelung unter DORA	59
6.1.5	Nachteile von DORA	60
7.	Softwareentwicklung	61
7.1	Anforderungen und Zielstellung	61
7.2	Zeitoptimaler Positioniervorgang	62
7.3	Reglersoftware	65
8.	Regleroptimierung	68
8.1	Führungsverhalten	68
8.2	PI-Zustandsregler	73
8.3	Störverhalten	76
8.4	Vergleich mit der Kaskadenregelung	77
8.4.1	Realisierung der Kaskadenregelung	77
8.4.2	Führungsverhalten	78
8.4.3	Störverhalten	79
9.	Zusammenfassung und Ausblick	80
	Quellenverzeichnis	83
	Selbständigkeitserklärung	85
	Anhang	

Verzeichnis der Abbildungen und Tabellen

Abb.1 : Kaskadenregler	12
Abb.2 : Zustandsregelung	12
Abb.3 : Zweimassenmodell	16
Abb.4 : Eingangs- und Ausgangsgrößen des Zweimassenmodells	21
Abb.5 : Strukturbild der Zustandsgleichungen	23
Abb.6 : Polverteilung des ungeredelten Zweimassenmodells	27
Abb.7 : Meßprinzip zur Ermittlung der Federkennlinie	30
Abb.8 : Federkennlinie der kurzen Schraubenfeder	31
Abb.9 : Federkennlinie der langen Schraubenfeder	31
Abb.10: Motorseitige Sprungantwort (System 1)	36
Abb.11: Motorseitige Sprungantwort (System 3)	36
Abb.12: Lastseitige Sprungantwort (System 1)	37
Abb.13: Lastseitige Sprungantwort (System 3)	37
Tab.1 : Systemparameter der Modellsysteme	40
Abb.14: Günstiger Polbereich	43
Tab.2 : Günstige Polbereiche der Modellsysteme	45
Abb.15: Vollständige Zustandsrückführung am Zweimassenmodell	47
Abb.16: Modifizierte Regelkreisstruktur	50
Abb.17: Vollständige Zustandsrückführung mit Vorfilter	53
Abb.18: Vollständige Zustandsrückführung am Zweimassenmodell (DORA)	57
Abb.19: Zeitoptimaler Positioniervorgang	63
Tab.3 : Begrenzungsbedingungen der Modellsysteme	64
Abb.20: Struktogramm der Zustandsreglersoftware	65
Abb.21: Auswahlmenü der Zustandsreglersoftware	66
Abb.22: Sprungantwort von System 1 (Start-Polkonfiguration)	69
Abb.23: Sprungantwort von System 2 (Start-Polkonfiguration)	69
Abb.24: Sprungantwort von System 3 (Start-Polkonfiguration)	70
Abb.25: Sprungantwort von System 1 (optimierte Polkonfiguration)	71
Abb.26: Sprungantwort von System 2 (optimierte Polkonfiguration)	71
Abb.27: Sprungantwort von System 3 (optimierte Polkonfiguration)	72
Abb.28: PI-Zustandsregler	73
Abb.29: Positioniervorgang von System 1 (PI-Zustandsregler)	74

Abb.30: Positioniervorgang von System 2 (PI-Zustandsregler)	74
Abb.31: Positioniervorgang von System 3 (PI-Zustandsregler)	75
Abb.32: Störverhalten von System 1 (PI-Zustandsregler)	76
Abb.33: Störverhalten von System 2 (PI-Zustandsregler)	76
Abb.34: Störverhalten von System 3 (PI-Zustandsregler)	77
Tab.4 : Führungsverhalten von Zustandsregler und Kaskadenregler	78
Tab.5 : Störverhalten von Zustandsregler und Kaskadenregler	79

Verzeichnis der verwendeten Symbole und Formelzeichen

a	rechte Schranke des günstigen Polbereiches
\underline{A}	Systemmatrix
b	linke Schranke des günstigen Polbereiches
\underline{b}	Steuervektor
\underline{B}	Steuermatrix
c	Federkonstante
\underline{c}^T	Ausgangsvektor
\underline{C}	Ausgangsmatrix
d	Durchgriff
\underline{D}	Durchgriffsmatrix
d_F	Innendurchmesser einer Spiralfeder
d_z	Durchmesser eines Zylinders
D_F	Außendurchmesser einer Spiralfeder
f	Frequenz
f_0	Eigenfrequenz, Resonanzfrequenz
f_G	Grenzfrequenz
f_A	Abtastfrequenz
F_R	Rückstellkraft
g	Erdbeschleunigung
$G(s)$	Übertragungsfunktion
$\underline{G}(s)$	Übertragungsmatrix
i	Zählindex
\underline{I}	Einheitsmatrix
i_M	Motorstrom
$i_{M_{max}}$	maximaler Motorstrom
j	imaginäre Einheit
J_{ges}	Gesamtträgheitsmoment
$J_{AS, MF, W, F}$	Trägheitsmoment von Aluminiumschwingscheibe, Messingflansch, Encoderwelle bzw. Spiralfeder
$J_{M,L}$	Trägheitsmoment von Motorseite bzw. Lastseite
J_{Mot}	Trägheitsmoment eines Motors

$J_{(Zyl)}$	Trägheitsmoment eines Zylinders
$J_{(HZyl)}$	Trägheitsmoment eines Hohlzylinders
K_I	Drehmomentkonstante
$K_{1, 2, 3}$	Systemparameterkonstanten
K_P	Proportionalbeiwert des PI-Reglers
$k_{\varphi_M, \omega_M, \varphi_L, \omega_L}$	Rückführkoeffizient für Motorwinkel, Motorwinkelgeschwindigkeit, Lastwinkel bzw. Lastwinkelgeschwindigkeit
L	Laplace-Operator
L_i	Begrenzung des I-Anteils
l_H	Hebellänge des Reibzaumes
l_F	effektive Länge einer Spiralfeder
l_z	Länge eines Zylinders
m	Dimension des Ausgangsgrößenvektors
m_g	Gewichtskraft
m_z	Masse eines Zylinders
M_M	Motormoment
$M_{M,max}$	maximales Motormoment
M_R	Rückstellmoment
n	Ordnungszahl, Systemordnung
$p(s)$	charakteristisches Polynom
$p_{RK}(s)$	charakteristisches Polynom des geschlossenen Regelkreises
$p_{ZR}(s)$	charakteristisches Polynom des Zustandsreglers
$p_{0, \dots, n-1}$	Koeffizienten des charakteristischen Polynoms
r	Dimension des Eingangsgrößenvektors
r_z	Radius eines Zylinders
\mathbf{r}^T	Reglervektor
\mathbf{R}^T	Reglermatrix
$r_{1, 2, 3, 4}$	Reglerkoeffizienten
s	komplexe Größe
$s_{1, 2, 3, 4}$	Polstellen
$\underline{\mathbf{S}}$	Steuerbarkeitsmatrix
$\underline{\mathbf{S}}_A$	Ausgangssteuerbarkeitsmatrix
$\underline{\mathbf{S}}^{-1}$	inverse Steuerbarkeitsmatrix
$\underline{\mathbf{S}}_l^T$	letzter Zeilenvektor von $\underline{\mathbf{S}}^{-1}$