

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>12</b>
1.1	Problemstellung	12
1.2	Stand der Technik	13
1.2.1	Bauarten von Robotern	13
1.2.2	Antriebe für Industrieroboter	14
1.2.3	Grenzen herkömmlicher elektromechanischer Antriebssysteme	15
1.2.4	Direktantriebe für Roboterachsen	17
<b>2</b>	<b>Nebenbedingungen für die Entwicklung von Direktantriebsrobotern</b>	<b>20</b>
2.1	Konstruktion und Kinematik	20
2.2	Steuerungstechnik	21
2.3	Regelungstechnik	23
2.4	Nachgiebigkeiten im Roboteraufbau	24
2.5	Zielsetzung und Vorgehensweise der Arbeit	25
<b>3</b>	<b>Modellbildung für die regelungstechnische Auslegung der Roboterachsen</b>	<b>27</b>
3.1	Bewegungsgleichung eines Mehrmassenschwingers	29
3.2	Dreimassenschwinger-Modell	30
3.3	Übertragungsfunktion des Dreimassenschwingers	32
3.4	Parameterschwankungen	36
3.5	Einfluß eines Untersetzungsgetriebes	37
<b>4</b>	<b>Regelung direktangetriebener Roboterachsen</b>	<b>39</b>
4.1	Auswahl der Regelgrößen	40
4.2	Auslegungsverfahren	44
4.3	Regelungsauslegung	47
4.3.1	Dominanter Motor	47
4.3.2	Dominante Mechanik	51
4.4	Dimensionierung des Integralanteils	65

4.5	Einfluß von Zeitkonstanten im Regelungskreis	66
4.5.1	Dominanter Motor	68
4.5.2	Dominante Mechanik	74
4.6	Vorsteuerung	77
4.7	Störverhalten	81
4.7.1	Koppelmomente	82
4.7.2	Abweichungen durch Störmomente	84
4.8	Zusammenfassung	84
<b>5</b>	<b>Robuste Regelungsauslegung</b>	<b>86</b>
5.1	Stellungsabhängigkeit des Streckenverhaltens	86
5.2	Stellungsabhängige Regelungsparameter	90
5.3	Stellungsunabhängige Regelungsparameter	91
<b>6</b>	<b>Optimierung der Mechanik und der Regelung</b>	<b>94</b>
6.1	Optimierung der Mechanik	94
6.2	Optimierung der Regelung	102
<b>7</b>	<b>Praxisbeispiel</b>	<b>107</b>
7.1	Aufbau und Daten des untersuchten Roboters	107
7.2	Regelungs- und Steuerungssystem	110
7.3	Mechanische Parameter der ersten Roboterachse	111
7.4	Regelung der ersten Achse	114
7.5	Verringerung überlagerter Schwingungen mittels Vorsteuerung	116
7.6	Bahnverhalten des Roboters	117
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>123</b>
	<b>Literatur</b>	<b>127</b>