

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
Der Begriff „Technisches Optimieren“	1
Geschichte und heutiger Stand der technischen Optimierung	1
Theoretische und praktische Aspekte der Optimierung	2
Zielsetzung vorliegenden Buches	3
Einteilung der Optimierungsmethoden und Organisation des Buches	3
1. Grundlegende Definitionen	5
1.1 Einführung	5
1.2 Definition der Kontrollprobleme	5
1.3 Sollwertoptimierung.	6
1.4 Optimierung des Verhaltens geschlossener Regelkreise	6
1.5 Weitere Optimierungsprobleme	7
1.6 Offene und geschlossene Wirkungskreise	8
1.7 Zusammenfassung	9
Literatur	9
2. Grundlegende mathematische Hilfsmittel der Optimierung	10
2.1 Einführung	10
2.2 Zustandsvariable	10
2.3 Messung des Systemausganges	13
2.4 Die Übergangsmatrix	14
2.4.1 Lösung der vollständigen Systemgleichung	14
2.4.2 Berechnung der Übergangsmatrix.	14
2.5 Kontrollierbarkeit und Beobachtbarkeit	15
2.6 Adjungierte Gleichungen.	20
2.7 Wichtige Sätze über Differentialgleichungen	22
2.8 Die Riccatische Differentialgleichung	22
Literatur	25
3. Optimierungskriterien	26
3.1 Einführung	26
3.2 Empirische Gütekriterien	26
3.3 Gütekriterien basierend auf Integralen des Regelfehlers	31
3.3.1 Die mittlere quadratische Regelfläche	31
3.3.2 Das <i>ISE</i> -Gütekriterium	32
3.3.3 Das <i>ITSE</i> -Gütekriterium	32
3.3.4 Gütekriterien, basierend auf dem Absolutbetrag des Regelfehlers	32
3.4 Gütekriterien zur Optimierung von Zeitaufwand und von Energie- und Treibstoffverbrauch	34

3.4.1	Zeit- und Treibstoff-Optimalität	35
3.4.2	Zeit- und Energie-Optimalität	36
3.4.3	Wägen von Abweichungen des Systemzustandes	37
3.5	Zusammenfassung	38
	Literatur	38
4.	Optimierung mit Hilfe der Variationsrechnung	39
4.1	Einführung	39
4.2	Variationsrechnung bei festen Endpunkten	39
4.3	Variationsrechnung bei variablen Endpunkten	41
4.4	Erweiterung auf Systeme n ter Ordnung	44
4.5	Beispiele.	45
4.5.1	Beispiel 1: Optimale Kontrolle eines doppelt integrierenden Systems	45
4.5.2	Beispiel 2: Optimales Manöver für Landungen auf dem Mars	47
4.6	Zusammenfassung	52
	Literatur	52
5.	Das Maximumprinzip	53
5.1	Einführung	53
5.2	Beschränkungen der Kontrollvariablen	53
5.3	Beispiel einer charakteristischen Problemstellung	53
5.4	Die Methode des Maximumprinzips und stufenweise Zusammenfassung	54
5.5	Minimalzeitprobleme	57
5.5.1	Einfach integrierendes System	57
5.5.2	System mit zweifacher Integration	58
5.5.2.1	Grundlegende Lösung	58
5.5.2.2	Veränderung der Sollwerte	62
5.5.3	Systeme zweiter Ordnung mit harmonischen Schwingungen	62
5.5.3.1	Grundlegende Lösung	62
5.5.3.2	Spezielle Anforderungen bei praktischer Anwendung.	67
5.5.3.3	Veränderung der Sollwerte	68
5.5.3.4	Berücksichtigung von konstanten Störungen	70
5.5.3.5	Berücksichtigung von veränderlichen Störungen	72
5.5.4	Gedämpfter harmonischer Oszillator	75
5.6	Kombinierte Zeit-Treibstoff-optimale Kontrolle	76
5.6.1	System mit zweifacher Integration	77
5.6.2	Harmonischer Oszillator	79
5.6.2.1	Allgemeine Lösung	79
5.6.2.2	Rückführung auf das rein zeitoptimale und auf das rein treibstoffoptimale Kontrollgesetz	84
5.7	Zusammenfassung	85
	Literatur	85
6.	Praktische Optimierungsmethoden	87
6.1	Einleitung	87
6.2	Methoden, basierend auf einer Testfunktionsantwort	87
6.2.1	Methode, basierend auf dem Parsevalschen Theorem	87
6.2.2	Verwendung von Standardpolynomen im Nenner	92
6.2.3	Methode nach Naslin	95

6.3	Beziehungen zwischen den Gütekriterien, basierend auf dem Regel- (Kontroll-)Fehler und den Übertragungsfunktionen	101
6.3.1	Anwendung des Hurwitz-Kriteriums zur Berechnung von P_{ISE}	101
6.3.2	Anwendung der Routhschen Funktionen	102
6.4	Verallgemeinerte Optimierungsregeln	105
6.5	Optimierung des Absolutbetrages der Übertragungsfunktion (Betrags- optimierung)	107
6.6	Vergleich der verschiedenen Optimierungsmethoden	111
6.7	Experimentelle Optimierungsmethoden	113
6.7.1	Methode nach Ziegler und Nichols	113
6.7.2	Weitere Methoden zur experimentellen Optimierung	115
6.7.3	Optimierung bei nichtlinearem Verhalten	115
6.8	Optimierung von Abtastsystemen	116
6.9	Optimierung von Systemen mit freier Struktur	126
6.10	Schlußbemerkungen	128
	Literatur	129
7.	Numerische Optimierungsmethoden	131
7.1	Die Gradientenmethode nach Bryson und Kelley	131
7.1.1	Allgemeine Formulierung	131
7.1.2	Berücksichtigung verallgemeinerter Beschränkungen	138
7.1.3	Vollständige Lösung bei Vorhandensein von Beschränkungen	143
7.1.4	Stufenweise Zusammenfassung der Gradientenmethode	147
7.1.5	Beispiel	149
7.2	Balakrishnans ε -Methode	157
7.3	Zusammenfassung	160
	Literatur	160
8.	Dynamisches Programmieren	162
8.1	Einleitung — Das Optimalitätsprinzip	162
8.2	Rechentchnische Probleme	167
8.3	Gesichtspunkte für die praktische Anwendung zur Kontrolle von Systemen	168
8.4	Spezialfall: Lineares System	168
8.5	Dynamisches Programmieren für kontinuierliche Prozesse	170
8.6	Lösung der Bellmanschen Gleichung	173
8.7	Standardisierte Lösungen	175
8.7.1	Lineare Systeme und quadratisches Gütekriterium	175
8.7.2	Norm-invariante Systeme	180
8.7.2.1	Allgemeines	180
8.7.2.2	Minimalzeitproblem	181
8.7.2.3	Beispiel	183
8.7.2.4	Minimal-Energie und Minimal-Treibstoff-Probleme	184
8.8	Beziehungen zwischen Dynamischem Programmieren, Variationsrech- nung und Maximumprinzip	185
8.9	Zusammenfassung	185
	Literatur	185
9.	Optimale Schätzung von Systemvariablen	187
9.1	Einleitung	187
9.2	Grundsätzliches zur optimalen Schätzung	187

9.3	Diskrete Verfahren	188
9.3.1	Ableitungen und allgemeine Prinzipien	188
9.3.2	Beispiel	193
9.4	Kontinuierliche Verfahren	198
9.4.1	Allgemeine Formeln.	198
9.4.2	Beispiel	208
9.5	Zusammenfassende Bemerkungen zur Anwendung optimaler Schätzmethoden	210
	Literatur.	211
	Anhang 9.A Grundlagen aus der Wahrscheinlichkeitstheorie	212
10.	Adaptive Systeme	219
10.1	Einleitung	219
10.2	Optimierungsziele bei adaptiven Systemen	221
10.3	Optimierungsmethoden bei adaptiven Systemen	221
10.3.1	Offene Adaption	221
10.3.2	Geschlossene Adaption	222
10.3.3	Vergleich und Zusammenwirken von offener und geschlossener Adaption	222
10.4	Praktisches Anwendungsbeispiel offener und geschlossener Adaption und ihrer Kombination	222
10.4.1	Das Druckregelsystem.	223
10.4.2	Simulation auf dem Analogrechner	225
10.4.3	Mathematische Beschreibung	225
10.4.4	Verallgemeinerung des Optimierungsproblems	226
10.4.5	Prinzipielle Auslegung des adaptiven Systems	227
10.4.6	Der Schwingungsanalysator, ein System zur Messung des Kontrollverhaltens	228
10.4.7	Optimierung	230
10.4.8	Diskussion der Ergebnisse und Vergleich mit konventionellen Regelsystemen	234
10.4.9	Zusammenfassende Bemerkungen	235
10.5	Verallgemeinerung des adaptiven Verfahrens	235
10.6	Analytische Formulierung des adaptiven Prinzips	237
10.7	Adaptive Methoden angewandt auf mathematische Optimierungsverfahren	238
10.8	Beispiel: Anwendung adaptiver Kontrolle zur Optimierung der Lageregelung von Erdsatelliten	238
10.9	Weitere adaptive Systeme	241
10.10	Zusammenfassung	242
	Literatur	242
11.	Multivariable Systeme und Hierarchische Kontrolle.	245
11.1	Allgemeine Überlegungen	245
11.2	Demonstration der Methoden für multivariable Systeme an Hand eines Beispiels: Lageregelung eines Erdsatelliten bei Berücksichtigung der Kopplungen.	245
11.2.1	Die Bewegungsgleichungen.	246
11.2.2	Approximation durch die Bewegungsgleichungen eines linearen Satelliten	250

11.2.3	Optimale Kontrolle für den entkoppelten Fall	251
11.2.4	Synchronisierung der drei Satellitenachsen	252
11.3	Allgemeine Betrachtungen zu hierarchischen Kontrollsystemen	254
11.4	Optimierung der Sollwerte	255
11.5	Zusammenfassung	256
	Literatur	256
12.	Lernende Systeme für die Optimierung von Kontrollsystemen	258
12.1	Einleitung	258
12.2	Klassifikation der Lernprinzipien nach Zemanek	258
12.3	Analyse eines typischen Lernprozesses	261
12.4	Notwendige Elemente einer Lernstruktur zur Optimierung von Kon- trollsystemen	261
12.5	Praktische Beispiele	263
12.6	Schlußbemerkungen	265
	Literatur	265
	Wichtige Formelzeichen und Symbole	267
	Namen- und Sachverzeichnis	272