

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> .....	9
<b>Einführung</b> .....	11
<b>1 Die Strukturoptimierung dynamischer Systeme als Variationsproblem</b> .....	21
1.1 Parameteroptimierung und Strukturoptimierung .....	21
1.2 Gütemaße .....	29
1.3 Formulierung des Optimierungsproblems .....	38
1.4 Grundsätzlicher Aufbau einer optimalen Regelung .....	43
<b>2 Allgemeine Lösung des Optimierungsproblems</b> .....	49
2.1 Vorbereitung: Lösung des Grundproblems der Variationsrechnung .....	49
2.2 Mathematische Vorbemerkung: Differentiation von Vektorfunktionen ..	57
2.3 Herleitung der Hamilton-Gleichungen und der Transversalitätsbedingung des Optimierungsproblems .....	60
2.3.1 Erweiterung der Problemstellung .....	60
2.3.2 Anwendung Lagrangescher Multiplikatoren .....	63
2.3.3 Verwendung von Vergleichskurven .....	65
2.3.4 Herleitung der Transversalitätsbedingung .....	70
2.3.5 Zusammenstellung der Ergebnisse .....	72
2.4 Grundsätzlicher Lösungsweg für das Randwertproblem der Hamilton-Gleichungen .....	76
2.5 Beispiel zur Illustration des grundsätzlichen Lösungsweges .....	79
2.6 Grenzen der klassischen Lösungsmethode .....	84

<b>3</b>	<b>Optimierung linearer Systeme mit quadratischem Gütemaß . . .</b>	<b>89</b>
3.1	Mathematische Vorbemerkung: Nochmals Differentiation von Vektorfunktionen . . . . .	89
3.2	Formulierung der Aufgabe . . . . .	92
3.3	Bestimmung des optimalen Regelungsgesetzes aus der Riccati-Gleichung . . . . .	96
3.4	Lösung der Riccati-Gleichung . . . . .	102
3.4.1	Struktur der Lösung . . . . .	102
3.4.2	Numerische Lösung am Beispiel 2. Ordnung . . . . .	106
3.4.3	Allgemeine Lösung der Riccati-Gleichung . . . . .	113
3.4.4	Lösung der Riccati-Gleichung bei zeitinvariantem Problem und end- lichem Steuerintervall: Verfahren nach KALMAN und ENGLAR . . . . .	116
3.5	Bestimmung des optimalen Regelungsgesetzes bei zeitinvariantem Problem und unendlichem Steuerintervall mittels der Hamilton- Gleichungen . . . . .	119
<b>4</b>	<b>Das Maximumprinzip von Pontrjagin . . . . .</b>	<b>131</b>
4.1	Plausibilität des Maximumprinzips . . . . .	131
4.2	Formulierung des Maximumprinzips . . . . .	137
4.3	Anmerkungen zum Maximumprinzip . . . . .	142
<b>5</b>	<b>Entwurf zeitoptimaler Systeme . . . . .</b>	<b>149</b>
5.1	Die zeitoptimale Steuerfunktion . . . . .	149
5.2	Der Satz von Feldbaum (Satz von den n Schaltintervallen) . . . . .	159
5.3	Berechnung der Schaltzeitpunkte . . . . .	164
5.4	Ermittlung des zeitoptimalen Regelungsgesetzes für Systeme 2. Ordnung mit reellen Eigenwerten . . . . .	167
5.5	Suboptimale Regelungen . . . . .	176
5.6	Entwurf zeitoptimaler Regelungen mit nichtreellen Eigenwerten . . . . .	186
<b>6</b>	<b>Weitere Anwendungen des Maximumprinzips . . . . .</b>	<b>195</b>
6.1	Treibstoffoptimales Problem . . . . .	195
6.1.1	Problemstellung . . . . .	195
6.1.2	Anwendung des Maximumprinzips . . . . .	198
6.1.3	Singulärer Fall . . . . .	201
6.1.4	Optimale Steuerfunktion . . . . .	204
6.1.5	Optimales Regelungsgesetz . . . . .	207

6.2	Steuerungsproblem mit nichtlinearer Strecke: Optimierung einer Werbestrategie . . . . .	214
6.2.1	Problemstellung . . . . .	214
6.2.2	Anwendung des Maximumprinzips . . . . .	217
6.2.3	Anzahl der Umschaltungen . . . . .	220
6.2.4	Optimale Steuerfunktion . . . . .	224
6.2.5	Singulärer Fall . . . . .	228
6.2.6	Zahlenbeispiel . . . . .	232
<b>7</b>	<b>Die dynamische Programmierung von Bellman . . . . .</b>	<b>237</b>
7.1	Einführendes Beispiel: Auffinden eines optimalen Pfades in einem Wegenetz . . . . .	237
7.2	Das Bellmansche Optimalitätsprinzip . . . . .	245
7.3	Die Bellmansche Rekursionsformel . . . . .	254
7.4	Grundsätzliche Auswertung der Bellmanschen Rekursionsformel und Abschätzung des Rechenaufwands . . . . .	259
7.5	Anwendung der dynamischen Programmierung zur Optimierung von Abtastsystemen . . . . .	265
7.6	Die Bellmansche Funktionalgleichung und der Zusammenhang mit dem Maximumprinzip . . . . .	271
	<b>Übungsaufgaben mit Lösungen . . . . .</b>	<b>281</b>
	<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>	<b>381</b>
	<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>389</b>