

# 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> . . .	89
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 unendlichem 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> . . . . .	131
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> . . . . .	149
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> . . . . .	195
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>