

Žarko Filipović

Elektrische Bahnen

Grundlagen, Triebfahrzeuge,
Stromversorgung

Zweite, überarbeitete Auflage

Mit 148 Abbildungen

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo
Hong Kong Barcelona Budapest

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	1
1. Allgemeine Bahnproblematik	1
1.1 Entwicklungstendenzen	1
1.2 Grundbegriffe	2
1.3 Einige Daten aus der Geschichte der Eisenbahn	4
1.4 Verkehrstechnische Unterteilung der Bahnen	5
1.5 Der Zug im Bahnbetrieb	7
1.6 Die Stellung der Bahn als Verkehrssystem	8
1.7 Vergleich der Traktionsarten	10
1.8 Stromsysteme elektrischer Traktion	13
1.9 Stand der Elektrifizierung	15
2. Zugförderung	17
2.1 Der Zug auf der Strecke	17
2.2 Die Spurführung	21
2.3 Die Problematik der spezifischen Fahrwiderstände	23
2.4 Laufwiderstand	25
2.5 Bogenwiderstand	27
2.6 Neigungswiderstand	29
2.7 Beschleunigungswiderstand	30
2.8 Übertragung der Zugkraft durch Adhäsion (Kraftschluss)	32
2.9 Der Haftwert beim Kraftschluss	34
2.10 Leistung und Energieverbrauch	37
2.11 Die Zugbildung	38
2.12 Berechnungsbeispiele und Übungsaufgaben	41
Elektrische Triebfahrzeuge	45
3. Der Fahrmotor	45
3.1 Die Fahrmotoren des Triebfahrzeugs	45
3.2 Die Übersetzung	46
3.3 Der Elektromotor als Fahrmotor	49
3.4 Der Gleichstrom-Reihenschlussmotor	52
3.5 Die Kommutierungsvorgänge bei Gleich- und Wechselstrom	55

3.6	Der Einphasenwechselstrom-Reihenschlussmotor	60
3.7	Die Charakteristik des Kollektormotors.	64
3.8	Die Charakteristik des Triebfahrzeuges.	66
3.9	Der Mischstrommotor	69
3.10	Die gemischte Erregung.	70
3.11	Die Drehstrommaschinen	71
3.12	Der Linearmotor (die Wanderfeldmaschine)	75
3.13	Berechnungsbeispiele und Übungsaufgaben	77
4. Die Steuerung des Fahrmotors	. . . . .	81
Grundlagen	. . . . .	81
4.1	Die Entwicklung der Steuerungstechnik	81
4.2	Methoden der Steuerungstechnik.	82
4.3	Steuerung über Stufentransformator	83
4.4	Steuerung mit vorgeschalteten Stufenwiderständen.	84
4.5	Umgruppierung der Fahrmotoren	86
4.6	Rotierende Umformergruppen	89
4.7	Stromrichter in Anschnittsteuerung	89
4.8	Der Gleichstromsteller	91
4.9	Die Feldschwächung	95
4.10	Die Steuerung des Drehstrommotors bei konstanter Frequenz	97
4.11	Die Frequenzsteuerung der Drehstrommaschine	98
4.12	Übungsaufgaben	99
Elektrische Bremsung	. . . . .	101
4.13	Aufgabe und Vorteile der elektrischen Bremse	101
4.14	Fremderregung der Bremse	103
4.15	Die Selbsterregung mit Gleichstrom	108
4.16	Der Stromrichter im Bremsbetrieb	112
4.17	Der Gleichstromsteller im Bremsbetrieb	112
4.18	Der Drehstrommotor im Bremsbetrieb	114
4.19	Übungsaufgaben	116
5. Die Schaltungen der Steuerungstechnik	. . . . .	117
Stufensteuerungen	. . . . .	117
5.1	Wechselstrom-Stufenschaltungen.	117
5.2	Das Schalten der Stufen am Transformator	120
5.3	Gleichstrom-Stufenschaltungen	123
5.4	Gruppierungswechsel	124
5.5	Selbsterregte Widerstandsbremse bei Gleichstromspeisung	126
5.6	Fremderregte Widerstandsbremse	127
5.7	Die Nutzbremse bei Gleichstromspeisung	128
5.8	Die Nutzbremse bei Wechselstromspeisung	129
5.9	Gegenstrombremsung	133
Stufenlose Steuerungen	. . . . .	134
5.10	Grundformen der stufenlosen Wechselstrom-Steuerungen.	134
5.11	Der Kommutierungsvorgang	138

5.12	Weiterentwickelte Wechselstrom-Steuerungen	139
5.13	Die Stromglättung	142
5.14	Stufenlose Gleichstrom-Steuerungen	144
5.15	Die Zwangslösung des Stromes	147
5.16	Berechnungsbeispiele und Übungsaufgaben	149
Umrichtertechnik		151
5.17	Besonderheiten der Umrichtertechnik	151
5.18	Spannungsgeführter Umrichter mit Asynchronmotor	152
5.19	Der Vierquadrantensteller	156
5.20	Stromgeführter Umrichter mit Asynchronmotor	159
5.21	Umrichter mit Synchronmotor	161
6. Übrige elektrische Ausrüstung		163
6.1	Stromabnehmer	163
6.2	Die Apparatur des Leistungskreises	165
6.3	Hilfsenergiequellen	167
6.4	Hilfsbetriebe	168
6.5	Die Speisung der Hilfsbetriebe	169
6.6	Die Komfortausrüstungen	172
6.7	Die Schutzeinrichtungen	173
6.8	Die Sicherheitseinrichtungen	176
6.9	Von den Steuerstromkreisen zur Leittechnik	179
6.10	Mehrsystem-Triebfahrzeuge	181
7. Erläuterungen zum mechanischen Teil		183
7.1	Grundsätzlicher Aufbau	183
7.2	Einzelantrieb der Radsätze	184
7.3	Gruppenantrieb	188
7.4	Bezeichnungen der Antriebsanordnung	190
7.5	Mechanische Bremsen	191
8. Zahnradbahnen		195
8.1	Zahnradbetrieb	195
8.2	Die Zahnstange	196
8.3	Die Zahnradantriebe	197
8.4	Bremsen und Sicherheitseinrichtungen	200
9. Das Betriebsverhalten		203
9.1	Der Bahnbetrieb	203
9.2	Schwankungen der Speisespannung	204
9.3	Die Anfahrt bei Stufensteuerungen	205
9.4	Das Fahrdiagramm	207
9.5	Die Erwärmung	209
9.6	Zulässige Erwärmungen	211
9.7	Anfahrverluste	212

9.8 Radsatz- und Drehgestellentlastung	213
9.9 Tendenz zum Schleudern	215
9.10 Die Führung des Zuges	216
9.11 Die Problematik hoher Geschwindigkeiten.	217
9.12 Der Unterhalt der Triebfahrzeuge	218
Benachbarte Traktionsgebiete	219
10. Thermoelektrische Triebfahrzeuge.	219
10.1 Thermische Triebfahrzeuge.	219
10.2 Dieselelektrischer Antrieb	220
10.3 Die Leistungsstromkreise	222
10.4 Hilfsbetriebe	223
10.5 Dieselhydraulischer Antrieb	224
11. Sonder- und Strassenfahrzeuge	225
11.1 Strassenfahrzeuge mit Fahrleitung (Trolleybus)	225
11.2 Akkumulatoren-Triebfahrzeuge	226
11.3 Strassenfahrzeuge mit Akkumulator (Elektroauto)	227
11.4 Fahrzeuge mit mechanischem Energiespeicher (Gyrobus)	228
11.5 Verschiedene Bahnsysteme mit mechanischer Spurhaltung	228
11.6 Unkonventionelle Bahnsysteme	229
Energieversorgung	231
12. Energieversorgung elektrischer Bahnen	231
12.1 Grundsätzlicher Aufbau.	231
12.2 Hauptmerkmale	232
12.3 Kraftwerke und Unterwerke	234
12.4 Netzkupplung	236
12.5 Asymmetrische Belastung	237
12.6 Netzfreundlichkeit und Beeinflussungen	239
12.7 Die Fahrleitung	240
Anhang	245
A. Formeln für die Fahrwiderstände (Auswahl)	245
B. Beispiele ausgeführter Triebfahrzeuge	247
C. Schweizerische Bezeichnungen für Triebfahrzeuge	261
D. Regeln und Vorschriften.	263
Literaturverzeichnis	265
Sachverzeichnis.	272