

Žarko Filipović

# Elektrische Bahnen

Grundlagen, Triebfahrzeuge,  
Stromversorgung

4, überarbeitete Auflage  
mit 150 Abbildungen

 Springer

## Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> . . . . .	1
<b>1. Allgemeine Bahnproblematik</b> . . . . .	1
1.1 Entwicklungstendenzen . . . . .	1
1.2 Grundbegriffe . . . . .	2
1.3 Einige Daten aus der Geschichte . . . . .	4
1.4 Verkehrstechnische Unterteilung . . . . .	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 Erste Übersicht . . . . .	15
<b>2. Zugförderung</b> . . . . .	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 . . . . .	28
2.7 Beschleunigungswiderstand . . . . .	30
2.8 Übertragung der Zugkraft durch Adhäsion (Kraftschluss) . . . . .	32
2.9 Der Haftwert beim Kraftschluss . . . . .	33
2.10 Leistung und Energieverbrauch . . . . .	36
2.11 Die Zugbildung . . . . .	38
2.12 Berechnungsbeispiele und Übungsaufgaben . . . . .	41
<b>Elektrische Triebfahrzeuge</b> . . . . .	45
<b>3. Der Fahrmotor</b> . . . . .	45
3.1 Die Fahrmotoren des Triebfahrzeuges . . . . .	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
<b>4.</b>	<b>Die Steuerung des Fahrmotors . . . . .</b>	<b>81</b>
	<b>Grundlagen . . . . .</b>	<b>81</b>
4.1	Die Entwicklung der Steuerungstechnik . . . . .	81
4.2	Die 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 . . . . .	88
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 Drehstrommaschinen. . . . .	98
4.12	Übungsaufgaben . . . . .	99
	<b>Elektrische Bremsung . . . . .</b>	<b>101</b>
4.13	Aufgabe und Vorteile der elektrischen Bremse . . . . .	101
4.14	Die fremderregte Bremse beim Kollektormotor . . . . .	103
4.15	Die Selbsterregung mit Gleichstrom . . . . .	107
4.16	Der Stromrichter im Bremsbetrieb beim Kollektormotor . . . . .	111
4.17	Der Gleichstromsteller im Bremsbetrieb . . . . .	112
4.18	Der Drehstrommotor im Bremsbetrieb . . . . .	114
4.19	Übungsaufgaben . . . . .	115
<b>5.</b>	<b>Die Schaltungen der Steuerungstechnik . . . . .</b>	<b>117</b>
	<b>Stufensteuerungen . . . . .</b>	<b>117</b>
5.1	Wechselstrom-Stufenschaltungen . . . . .	117
5.2	Das Schalten der Stufen am Transformator . . . . .	120
5.3	Gleichstrom-Stufenschaltungen . . . . .	122
5.4	Gruppierungswechsel . . . . .	124
5.5	Selbsterregte Widerstandsbremse bei Gleichstromspeisung . . . . .	125
5.6	Fremderregte Widerstandsbremse . . . . .	126
5.7	Die Nutzbremse bei Gleichstromspeisung . . . . .	128
5.8	Die Nutzbremse bei Wechselstromspeisung . . . . .	128
5.9	Gegenstrombremsung . . . . .	132

<b>Stufenlose Steuerungen</b>	134
5.10 Grundformen der stufenlosen Wechselstrom-Steuerungen	134
5.11 Der Kommutierungsvorgang	138
5.12 Weiterentwickelte Wechselstrom-Steuerungen	139
5.13 Die Stromglättung	141
5.14 Stufenlose Gleichstrom-Steuerungen	144
5.15 Die Zwangslöschung des Stromes	147
5.16 Berechnungsbeispiele und Übungsaufgaben	149
<b>Umrichtertechnik</b>	151
5.17 Besonderheiten der Umrichtertechnik	151
5.18 Spannungsgeführter Umrichter mit Asynchronmotor	152
5.19 Der Vierquadrantensteller	157
5.20 Stromgeführter Umrichter mit Asynchronmotor	162
5.21 Umrichter mit Synchronmotor	164
5.22 Aktueller Stand	166
<b>6. Die elektrische Ausrüstung</b>	169
6.1 Stromabnehmer	169
6.2 Der Leistungskreis der Fahrmotoren	171
6.3 Hilfsenergiequellen	174
6.4 Hilfsbetriebe	175
6.5 Die Energieversorgung der Hilfsbetriebe	176
6.6 Die Komfortausrüstungen	178
6.7 Die Schutzeinrichtungen	180
6.8 Die Sicherheitseinrichtungen	183
6.9 Von den Steuerstromkreisen zur Leittechnik	187
6.10 Mehrsystem-Triebfahrzeuge	189
<b>7. Erläuterungen zum mechanischen Teil</b>	191
7.1 Grundsätzlicher Aufbau der Triebfahrzeuge	191
7.2 Einzelantrieb	193
7.3 Gruppenantrieb	197
7.4 Bezeichnungen der Antriebsanordnung	199
7.5 Mechanische Bremsen	200
<b>8. Zahnradbahnen</b>	205
8.1 Zahnradbetrieb	205
8.2 Die Zahnstange	206
8.3 Die Zahnradantriebe	207
8.4 Bremsen und Sicherheitseinrichtungen	210
<b>9. Das Betriebsverhalten</b>	213
9.1 Der Bahnbetrieb	213
9.2 Das Fahrdiagramm	215
9.3 Die Erwärmung	217

9.4	Radsatz- und Drehgestellentlastung . . . . .	219
9.5	Die Führung des Zuges . . . . .	221
9.6	Die Anfahrt . . . . .	222
9.7	Die Überbeanspruchung der Haftreibung . . . . .	224
9.8	Die Problematik hoher Geschwindigkeiten . . . . .	226
9.9	Interoperabilität . . . . .	227
9.10	Der Unterhalt der Triebfahrzeuge . . . . .	229
<b>Benachbarte Traktionsgebiete . . . . .</b>		<b>231</b>
<b>10. Thermoelektrische Triebfahrzeuge . . . . .</b>		<b>231</b>
10.1	Thermische Triebfahrzeuge . . . . .	231
10.2	Dieselektrischer Antrieb . . . . .	232
10.3	Die Stromkreise . . . . .	234
10.4	Dieselhydraulischer Antrieb . . . . .	236
<b>11. Sonder- und Strassenfahrzeuge . . . . .</b>		<b>237</b>
11.1	Strassenfahrzeuge mit Fahrleitung (Trolleybus) . . . . .	237
11.2	Akkumulatoren-Triebfahrzeuge . . . . .	238
11.3	Strassenfahrzeuge mit Akkumulator (Elektroauto) . . . . .	239
11.4	Mechanische und elektrostatische Energiespeicher . . . . .	240
11.5	Andere Bahnsysteme mit mechanischer Spurhaltung . . . . .	240
11.6	Unkonventionelle Bahnsysteme . . . . .	241
11.7	Magnetschwebbahn Transrapid . . . . .	242
<b>Energieversorgung . . . . .</b>		<b>245</b>
<b>12. Energieversorgung elektrischer Bahnen . . . . .</b>		<b>245</b>
12.1	Grundsätzlicher Aufbau . . . . .	245
12.2	Hauptmerkmale . . . . .	246
12.3	Kraftwerke und Unterwerke . . . . .	248
12.4	Netzkupplung . . . . .	250
12.5	Asymmetrische Belastung . . . . .	252
12.6	Netzfremdlichkeit und elektromagnetische Verträglichkeit . . . . .	254
12.7	Die Fahrleitung . . . . .	256
<b>Anhang . . . . .</b>		<b>261</b>
A.	Formeln für die Fahrwiderstände (Auswahl) . . . . .	261
B.	Beispiele ausgeführter Triebfahrzeuge . . . . .	263
C.	Schweizerische Bezeichnungen für Triebfahrzeuge . . . . .	279
D.	Regeln und Vorschriften . . . . .	281
<b>Literaturverzeichnis . . . . .</b>		<b>283</b>
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>		<b>291</b>