

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 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 |
| 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 Zwangslöschung 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 | Dieselektrischer 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 (Gyrobuss) | 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 | Netzfrendlichkeit 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 |