

Helmut Bendel u. a.

Die elektrische Lokomotive

Aufbau
Funktion
Neue Technik



Inhalt

I	Grundlagen	15	1.5.1	Gleichstrom	20
1.1	Zeittafel zur geschichtlichen Entwicklung der elektrischen Zugförderung	15	1.5.2	Niederfrequenter Einphasenwechselstrom	21
1.2	Betrieblicher Vergleich zwischen elektrischer Zugförderung und anderen Traktionsarten	16	1.5.3	Wechselstrom der Landesfrequenz	21
1.2.1	Masse-Leistungs-Verhältnis und Leistungsvermögen	16		Fahrdynamische Charakteristik elektrischer Triebfahrzeuge	22
1.2.2	Anhängemassen	16	2.1	Grenze des Kraftschlusses	22
1.2.3	Geschwindigkeiten	16	2.1.1	Verfügbarer Kraftschlußbeiwert	22
1.2.4	Beschleunigungsvermögen	16	2.1.2	Ausnutzung des Kraftschlusses	24
1.2.5	Einsatzbereitschaft	16	2.1.3	Zugkraft an der Kraftschlußgrenze	26
1.2.6	Einsatzdauer	17	2.1.4	Beschleunigungs- und Losbrechzugkraft	28
1.2.7	Störanfälligkeit	17	2.2	Elektrische Spannungsgrenze	29
1.2.8	Aktionsbereich	17	2.3	Geschwindigkeitsgrenze	30
1.2.9	Verwendungsbereich	17	2.4	Thermische Grenzen	30
1.2.10	Energieversorgung des Zuges	17	2.4.1	Erwärmung und Abkühlung	30
1.3	Wirtschaftlicher Vergleich zwischen elektrischer Zugförderung und Dieseltraktion	17	2.4.2	Temperatur- und Erwärmungsgrenzen	31
1.3.1	Laufleistungen	17	2.4.3	Dauer- und Zeitleistungen	31
1.3.2	Lokomotivbedarf	18	2.5	Gesamtes F-V- und P-V-Diagramm	32
1.3.3	Instandhaltungskosten	18	3	Einteilung und Aufgaben der Stromkreise	33
1.3.4	Energieverbrauch	18	3.1	Hauptstromkreise	33
1.3.5	Anschaffungskosten	18			
1.3.6	Sonstige Kosten	19			
1.4	Abgrenzung der Wirtschaftlichkeitsbereiche	19			
1.5	Stromsysteme	19			

3.2	Stromkreise der Hilfseinrichtungen	33	6.3	Der Lichtbogen und seine Charakteristik	52
3.3	Stromkreise zur Steuerung und Regelung (Leitebene)	33	6.3.1	Verlängerung des Lichtbogens	53
3.4	Überwachungsstromkreise	34	6.3.2	Kühlung des Lichtbogens	54
3.5	Nebeneinrichtungen	34	6.3.3	Einschränkung der Bildung von Ionen	55
4	Stromabnehmer	35	6.4	Bauarten und Aufbau der Hauptschalter	55
4.1	Aufgabe	35	6.4.1	Ölschalter	55
4.2	Stromartbedingte Unterschiede	35	6.4.2	Expansionschalter	55
4.3	Stromabnehmer für Oberleitung	36	6.4.3	Druckluftschalter	55
4.3.1	Kräfte zwischen Stromabnehmer und Fahrdrabt	36	6.4.4	Vakuumschalter	58
4.3.2	Aufbau der Stromabnehmer	37	6.4.5	Gleichstrom-Schnellschalter	60
4.4	Stromabnehmer für Stromschiene	42	7	Transformatoren und Wandler	62
5	Dachausrüstung	45	7.1	Aufgaben	62
5.1	Dachleitung und Isolatoren	45	7.2	Besonderheiten von Triebfahrzeug-Haupttransformatoren gegenüber ortsfesten Transformatoren	62
5.2	Dachtrennschalter	45	7.3	Festlegung der Leistung bei Triebfahrzeug-Haupttransformatoren	63
5.2.1	Aufgabe	45	7.4	Haupttransformatoren für Amplitudensteuerung auf der Hoch- und Niederspannungsseite	63
5.2.2	Aufbau	46	7.4.1	Schaltwerksaufwand	64
5.3	Überspannungsableiter	48	7.4.2	Stufenzahl und Spannungsabstufung	64
5.3.1	Aufgabe	48	7.4.3	Verluste	64
5.3.2	Anordnung und Aufbau	48	7.4.4	Bündelungsbedarf	65
5.3.3	Wirkungsweise	48	7.4.5	Einsatzbereiche	66
5.3.4	Kontrollfunkenstrecken	49	7.5	Aufbau der Haupttransformatoren	66
5.4	Isolierte Durchführungen	50	7.5.1	Eisenkern	66
6	Hauptschalter	51	7.5.2	Wicklungen	68
6.1	Aufgaben	51	7.5.3	Gehäuse	69
6.2	Begriffe und Größen	51	7.5.4	Kühlung	70
			7.6	Hilfstransformatoren	71
			7.7	Meßwandler für Wechselstrom	71

7.7.1	Durchführungsstromwandler für Fahrleitungsstrom	72	10.5.1	Schutz gegen Überspannungen	90
7.7.2	Stab- oder Schienenstromwandler	72	10.5.2	Überstromschutz	90
7.7.3	Differenzstromwandler	74	10.6	Aufbau der Halbleiterstromrichter	91
7.7.4	Fahrdrahtspannungswandler	74	10.7	Stromrichter-Grundsaltungen	92
8	Drosseln	75	10.7.1	Begriffe	92
8.1	Luftdrosseln	75	10.7.2	Mittelpunktschaltungen (Einweg- oder Halbwellenschaltungen)	92
8.2	Drosseln mit ferromagnetischem Kreis ohne Ausnutzung von Sättigungserscheinungen	75	10.7.3	Brückenschaltungen (Zweiweg- oder Vollwellenschaltungen)	94
8.3	Drosseln mit geschlossenem ferromagnetischem Kreis und Ausnutzung der Sättigungserscheinungen	76	10.7.4	Halbleiterschalter und -steller	96
9	Transduktoren	77	10.8	Betriebsarten von Stromrichtern	98
9.1	Stromsteuernde Schaltung	77	10.8.1	Grundsätze	98
9.2	Spannungssteuernde Schaltung	78	10.8.2	Gleichrichter	98
9.3	Transduktor-Gleichstromwandler	78	10.8.3	Wechselrichter	99
10	Stromrichter	81	10.8.4	Umkehrstromrichter	99
10.1	Aufgaben	81	10.8.5	Umrichter	99
10.2	Arten der Halbleiterventile	82	10.9	Netzurückwirkungen der Stromrichter	103
10.3	Zündung und Löschung der Thyristoren	83	10.9.1	Oberschwingungen im speisenden Netz	103
10.3.1	Zündung	83	10.9.2	Blindleistungsbedarf	103
10.3.2	Löschung	84	10.9.3	Verbesserung des Netzverhaltens der Stromrichter	106
10.4	Schutz der Halbleiterventile	87	10.10	Beeinflussungen durch Stromrichter	112
10.4.1	Kühlung	87	11	Widerstände	113
10.4.2	Beschaltung	88	11.1	Haupt Einsatzgebiete	113
10.4.3	Reihen- und Parallelschaltung	89	11.2	Werkstoffe	113
10.5	Schutz der Halbleiterstromrichter	90	11.3	Aufbau und Bemessung	114
			12	Kommutatormaschinen	117
			12.1	Gleichstrommaschinen	117
			12.1.1	Anwendung	117
			12.1.2	Aufbau	117
			12.1.3	Wirkungsweise	117
			12.1.4	Motorbetrieb	126
			12.1.5	Generatorbetrieb	128

12.2	Einphasenwechselstrom-Kommutatormaschinen	129	13.3	Linearmaschinen	169
12.2.1	Anwendung	129	13.3.1	Anwendung	169
12.2.2	Aufbau	129	13.3.2	Aufbau	170
12.2.3	Wirkungsweise	137	13.3.3	Wirkungsweise	171
12.2.4	Motorbetrieb	141	13.3.4	Luftspalt	173
12.2.5	Generatorbetrieb	141	13.3.5	Vergleich zur rotierenden Maschine	173
12.3	Mischstrommaschinen	141	14	Leistungssteuerung	174
12.3.1	Anwendung	141	14.1	Fahrtrichtungssteuerung	174
12.3.2	Ausführungsarten	141	14.2	Forderungen an die Fahrsteuerung	174
12.3.3	Mischstrommotor	142	14.2.1	Aufgabe	174
12.3.4	Mischspannungsmotor	148	14.2.2	Betriebstechnische Anforderungen	174
12.3.5	Motorbetrieb	149	14.2.3	Konstruktive Forderungen	175
12.3.6	Generatorbetrieb	149	14.3	Fahrsteuerung bei Gleichstromtriebfahrzeugen	175
12.4	Allgemeine Gesichtspunkte für die Konstruktion	149	14.3.1	Antrieb durch Gleichstromfahrmotoren	175
12.4.1	Masse	149	14.3.2	Antrieb durch Drehstrommotoren	182
12.4.2	Raumbedarf	150	14.4	Fahrsteuerung bei Wechselstromtriebfahrzeugen	186
12.4.3	Parallellauf	151	14.4.1	Steuerung mit Stromteilern (Schaltdrosseln)	186
12.4.4	Spannungen	152	14.4.2	Steuerung mit Zusatztransformatoren	187
12.4.5	Berechnung und Wicklungsentwurf	153	14.4.3	Steuerung mit Stufenwählern und Lastschaltern	190
12.5	Kennlinien	153	14.4.4	Steuerung mit Transduktoren	193
12.5.1	Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramm für Fahren	153	14.4.5	Steuerung mit Spannungsschnitt durch Thyristoren	194
12.5.2	Zugkraft-Geschwindigkeits-Diagramm für Bremsen	154	14.4.6	Steuerung mit Antrieb durch Asynchronmotoren	199
12.5.3	Zugförderungeigenschaften eines Fahrmotors	157	14.4.7	Steuerung mit Antrieb durch Synchronmotoren	204
12.6	Erwärmung und Kühlung	158	14.5	Elektrodynamische Bremsung	205
12.6.1	Gesamtverluste	158	14.5.1	Allgemeines	205
12.6.2	Kühlungssysteme	158	14.5.2	Widerstandsbremung bei Gleich- und Wechselstromtriebfahrzeugen mit Kommutatormotoren	206
13	Drehfeldmaschinen	160	14.5.3	Nutzbremung bei Gleich- und Wechselstromtriebfahrzeugen mit Kommutatormotoren	212
13.1	Synchronmaschinen	160			
13.1.1	Anwendung	160			
13.1.2	Aufbau und Wirkungsweise	160			
13.1.3	Fahrmotor	161			
13.2	Asynchronmaschinen	163			
13.2.1	Anwendung	163			
13.2.2	Aufbau	163			
13.2.3	Wirkungsweise	163			
13.2.4	Fahrmotor	165			
13.2.5	Arno-Umformer	169			
13.2.6	Hilfsmaschinenmotor	169			

14.5.4	Widerstands- und Nutzbrem- sung bei Gleich- und Wechsel- stromtriebfahrzeugen in Dreh- stromantriebstechnik	218	15.9.5	Selbsttätige Steuerung	245
			15.9.6	Steuerung der elektrodynami- schen Bremse	248
14.6	Elektromechanische Schaltgeräte	220	15.10.1	Aufgaben	250
14.6.1	Schütze	220	15.10.2	Steuerung des Gleichstromver- sorgungsgeräts	250
14.6.2	Schaltwerke	222	10.15.3	Transformator-Ölpumpen-Steue- rung	250
14.6.3	Wender	226	15.10.4	Steuerung des Hilfsbetriebeum- formers	251
15	Übertragungssteuerung	228	15.10.5	Steuerung des Hilfsbetriebeum- richters	251
15.1	Aufgabe	228	15.10.6	Steuerung des Hauptluftverdich- ters	251
15.2	Anforderungen	228	15.10.7	Lüftersteuerung	252
15.3	Prinzipielle Lösungen	228	15.10.8	Steuerung des Bremswider- standslüfters	252
15.4	Stromabnehmersteuerung	230	15.10.9	Steuerung der zentralen elektri- schen Zugsammeischiene (Zug- heizung)	252
15.4.1	Aufgaben	230	15.11	Mehrfach- und Wendezug- steuerung	253
15.4.2	Pneumatische Stromabnehmer- steuerung	230	15.11.1	Aufgaben	253
15.4.3	Elektropneumatische Stromab- nehmersteuerung	230	15.11.2	Prinzip	253
15.5	Hauptschaltersteuerung	232	15.11.3	Aufbau	253
15.5.1	Aufgaben	232	16	Hilfsbetriebe	256
15.5.2	Pneumatisch-mechanische Hauptschaltersteuerung	232	16.1	Arten und Aufgaben	256
15.5.3	Elektropneumatische Haupt- schaltersteuerung	232	16.2.	Gleichstromversorgung	256
15.6	Richtungswendersteuerung	234	16.2.1	Akkumulatoren	256
15.6.1	Aufgabe	234	16.2.2	Ladeeinrichtungen	259
15.6.2	Aufbau und Wirkungsweise	234	16.3	Stromversorgung der Hilfsma- schinen	262
15.7	Steuerung der Fahrbremswen- der	235	16.3.1	Direkte Stromversorgung	262
15.7.1	Aufgabe	235	16.3.2	Stromversorgung mit Umformer	263
15.7.2	Aufbau und Wirkungsweise	235	16.3.3	Stromversorgung über Gleich- richter	263
15.8	Trennschützensteuerung	235	16.3.4	Stromversorgung über Umrich- ter	264
15.8.1	Aufgabe	235	16.4	Druckluftversorgungseinrich- tungen	266
15.8.2	Aufbau	236	16.5	Kühleinrichtungen	266
15.9	Antriebs- und Bremssteuerung	237	16.5.1	Kühlluftführung	267
15.9.1	Aufgabe	237	16.5.2	Lüfter	270
15.9.2	Einteilung	237			
15.9.3	Nichtselbsttätige Steuerung ohne und mit Hilfsenergie	238			
15.9.4	Teilselbsttätige Steuerung	241			

16.5.3	Ölkühler	272	17.3	Melde- und Diagnoseeinrichtungen	297
16.5.4	Ölpumpe	272	17.3.1	Aufgaben	297
			17.3.2	Arten	298
17	Überwachungseinrichtungen	274	18	Erdungseinrichtungen	300
17.1	Meßeinrichtungen	274	18.1	Schutzerdung	300
17.1.1	Meßeinrichtungen für elektrische Größen	274	18.2	Betriebserdung	300
17.1.2	Messen der Fahrgeschwindigkeit	275	18.3	Erdungsdrossel	301
17.1.3	Messen des Fahrwegs	278			
17.1.4	Anzeige der Stellung des Schaltwerks	279	19	Antriebe	304
17.1.5	Messen der Drücke in der pneumatischen Bremseinrichtung	280	19.1	Allgemeines	304
17.1.6	Messen des Ölstands in den Transformatoren	280	19.1.1	Aufgaben	304
17.2	Schutzeinrichtungen	280	19.1.2	Anforderungen	304
17.2.1	Schutz gegen Unterspannung in der Fahrleitung	280	19.1.3	Gliederung	305
17.2.2	Schutz gegen Überspannung in der Fahrleitung	281	19.2	Achsmotorantriebe	305
17.2.3	Schutz des gesamten Fahrzeugs gegen Überströme und Kurzschluß	281	19.2.1	Achsmotorantrieb ohne Hohlwelle	305
17.2.4	Überstrom- und Kurzschlußschutz der Fahrmotorstromkreise	283	19.2.2	Achsmotorantrieb mit Hohlwelle	306
17.2.5	Überstrom- und Kurzschlußschutz der Hilfsbetriebestromkreise	283	19.3	Tatzlagerantriebe	306
17.2.6	Überstrom- und Kurzschlußschutz der Steuerstromkreise	284	19.3.1	Tatzlagerantrieb mit starrer Abstützung auf die Treibachswelle und drehstarrer Drehmomentübertragung	306
17.2.7	Schutz von Stromkreisen, die im Normalbetrieb geerdet sind	285	19.3.2	Tatzlagerantrieb mit starrer Abstützung auf die Radsatzwelle und drehelastischer Drehmomentübertragung	308
17.2.8	Schutz von Stromkreisen, die im Normalbetrieb nicht geerdet sind	285	19.3.3	Konstruktiver Aufbau des Tatzlagerantriebs mit starrer Abstützung auf die Treibachswelle	309
17.2.9	Schutz der Transformatoren gegen Übertemperatur	286	19.3.4	Tatzlagerantrieb mit elastischer Abstützung des Motors auf den Treibradsatz	314
17.2.10	Schutz der Transformatoren gegen innere Fehler	287	19.4	Gestellmotorantriebe	316
17.2.11	Schutz der Stromrichter	287	19.4.1	Gelenkwellenantriebe (Kardan-antriebe)	316
17.2.12	Schutz gegen Ausfall von Kühleinrichtungen	287	19.4.2	Gelenk- (Verzweiger-) und Federantriebe	325
17.2.13	Schutz gegen unvorschriftsmäßigen Luftdruck	288	19.4.3	Gruppenantriebe	329
17.2.14	Schleuderschutzeinrichtungen	288	19.4.4	Antriebe mit veränderbarer Übersetzung	331
17.2.15	Sicherheitsfahrerschaltungen	289			
17.2.16	Zugbeeinflussungseinrichtungen	293			
17.2.17	Schutz gegen Berühren spannungsführender Teile	297			

20	Druckluftversorgungsanlagen	332	22.1.2	Lokomotivkasten und Führerstand	347
20.1	Hauptbauteile	332	22.1.3	Laufwerk, Antrieb und Federung	348
20.2	Hauptluftverdichter	335	22.1.4	Druckluftanlage und Bremse	349
20.3	Behälter und Leitungen	335	22.1.5	Hochspannungsausrüstung	349
20.4	Kondensat- und Ölabscheider	338	22.1.6	Leistungssteuerung	350
			22.1.7	Elektrische Bremse	351
			22.1.8	Übertragungssteuerung	351
			22.1.9	Hilfsbetriebe	352
			22.1.10	Meß- und Schutzeinrichtungen	353
			22.1.11	Sonstige Ausrüstungen	353
21	Mechanische Zubehörtteile	339	22.2	Baureihe 120 der DB in Drehstromantriebstechnik	353
21.1	Sandstreueinrichtung	339	22.2.1	Technische Daten	353
21.2	Spurkranzschmiereinrichtung	340	22.2.2	Lokomotivkasten und Führerstand	355
21.3	Akustische Signalanlage	342	22.2.3	Laufwerk und Federung	355
21.4	Scheibenreinigungsanlage	344	22.2.4	Druckluftanlage und Bremse	356
			22.2.5	Hochspannungsausrüstung	356
			22.2.6	Leistungssteuerung	357
			22.2.7	Übertragungssteuerung/Leittechnik	357
22	Beispiele ausgeführter Lokomotiven	346	22.2.8	Hilfsbetriebe	359
22.1	Baureihe 143 der DR	346		Literaturverzeichnis	361
22.1.1	Technische Daten	346		Sachwortverzeichnis	370