

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Elektrische Maschinen</b>	<b>15</b>
1.1	Gleichstrommaschinen	15
1.1.1	Mechanischer Aufbau der Gleichstrommaschinen	15
1.1.2	Anschlußbezeichnungen von Gleichstrommaschinen, Feldstellern und Anlassern	18
1.1.3	Bestimmung der Drehrichtungen von Gleichstrommaschinen	23
1.1.4	Funktion der Gleichstrommaschinen	25
1.1.5	Erregerarten der Gleichstromgeneratoren	27
1.1.6	Betriebsarten	28
1.1.7	Bauformen der elektrischen Maschinen	31
1.1.8	Schutzarten	31
1.2	Gleichstromgeneratoren	35
1.2.1	Wirkungsweise <i>Ankerrückwirkung 35, Fremderregter Generator 42, Nebenschlußgenerator 45, Reihenschlußgenerator (Hauptschlußgenerator) 47, Doppelschlußgenerator (Verbund- oder Compoundgenerator) 48</i>	35
1.2.2	Parallelschaltung von Gleichstromgeneratoren <i>Parallelschaltung von Gleichstromnebenschlußgeneratoren 52, Parallelschaltung von Gleichstromdoppelschlußgeneratoren 52</i>	50
1.2.3	Gleichstrom-Dreileiternetz <i>Reihenschaltung von Gleichstromgeneratoren 54, Dreileitergenerator 55</i>	54
1.3	Gleichstrommotoren	57
1.3.1	Wirkungsweise <i>Stromdurchflossene Leiterschleife im Magnetfeld 57, Anlassen des Gleichstrommotors 58, Nebenschlußmotor 60, Reihenschlußmotor 63, Universalmotor 64, Doppelschlußmotor 66, Fremderregter Motor 68, Drehzahlsteuerung von Gleichstrommotoren 70, Leonardschaltung 71, Leistungsmessungen 73, Verluste und Wirkungsgrade 74</i>	57
1.3.2	Funkentstörung	76
1.3.3	Bremsschaltungen von Gleichstrommotoren	78
1.3.4	Scheibenläufermotor	79
1.4	Transformatoren (Umspanner)	81
1.4.1	Aufbau mit Schutzeinrichtungen <i>Magnetgestell 81, Wicklungen 83, Ölkessel und Schutzeinrichtungen 86</i>	81
1.4.2	Wirkungsweise <i>Spannungserzeugung 88, Leerlauf 88, Belastung 89</i>	88
1.4.3	Leistungsschild <i>Leistungs- und Spannungsangabe 91, Kurzschlußspannung, Kurzschlußstrom 92, Schaltgruppen 96, Zickzackschaltung 97</i>	91
1.4.4	Parallelschaltungen	100
1.4.5	Stelltransformatoren <i>Grundsätzliche Möglichkeiten zur Änderung der Ausgangsspannung 102, Lichtbogen-Schweißtransformator 102</i>	102
1.4.6	Kleintransformatoren <i>Grundsätzlicher Aufbau 105, Wirkungsweise 107</i>	105

1.4.7	Spartransformatoren . . . . .	108
1.5	Asynchronmaschinen für Dreiphasenwechselstrom . . . . .	111
1.5.1	Drehfeld . . . . .	111
1.5.2	Schleifringläufermotor . . . . .	112
	<i>Aufbau 112, Wirkungsweise 113, Leistungsschild 118</i>	
1.5.3	Kurzschlußläufermotor . . . . .	118
	<i>Aufbau 118, Wirkungsweise 120</i>	
1.5.4	Asynchronlinearmotor . . . . .	125
	<i>Aufbau 125, Wirkungsweise 126, Magnetschwebbahn 127</i>	
1.5.5	Anlaßverfahren der Drehstrom-Asynchronmotoren . . . . .	129
	<i>von Kurzschlußläufermotoren 129, von Schleifringläufermotoren 133, allgemeine Bestimmungen über Anlassen von Asynchronmotoren 133</i>	
1.5.6	Elektrische Bremsungen von Drehstrom-Asynchronmotoren . . . . .	135
	<i>Gegenstrombremsung 135, Gleichstrombremsung 136</i>	
1.5.7	Drehzahlsteuerungen von Drehstrom-Asynchronmotoren . . . . .	136
	<i>durch Beeinflussung des Schlupfes 137, durch Änderung der Frequenz 138, durch Änderung der Polpaarzahlen nach konventioneller bzw. nach neuester Methode (PAM-Wicklungen) 139</i>	
1.5.8	Spannungsumschaltungen von Drehstrom-Asynchronmotoren . . . . .	145
1.5.9	Betriebliche und praktische Gegenüberstellungen von Kurzschlußläufermotoren und Schleifringläufermotoren . . . . .	146
	<i>Vorteile des Kurzschlußläufermotors gegenüber dem Schleifringläufermotor 146, Vorteile des Schleifringläufermotors gegenüber dem Kurzschlußläufermotor 147</i>	
1.5.10	Elektrische Welle . . . . .	147
	<i>Aufbau und Schaltungsweise 147, Wirkungsweise der einfachen Wellenschaltung 147</i>	
1.5.11	Drehtransformator . . . . .	148
	<i>Aufbau 148, Wirkungsweise 149</i>	
1.5.12	Asynchrongeneratoren . . . . .	150
	<i>Schaltung 150, Wirkungsweise 151</i>	
1.6	Asynchronmaschinen für Einphasenwechselstrom . . . . .	151
1.6.1	Aufbau . . . . .	151
1.6.2	Wirkungsweise . . . . .	153
	<i>Einschaltmoment 153, Anlauf 153, Betrieb, Betriebsverhalten 155</i>	
1.6.3	Spezieller Hilfsstrang . . . . .	157
1.6.4	Spaltpolmotor . . . . .	158
	<i>Aufbau 158, Wirkungsweise, Betriebsverhältnisse 158</i>	
1.6.5	Drehstrom-Asynchronmotor am Einphasennetz . . . . .	160
	<i>Anlaßmöglichkeiten am Einphasennetz 160, Steinmetzschaltung 160</i>	
1.7	Synchronmaschinen . . . . .	162
1.7.1	Aufbau . . . . .	162
	<i>Außenpolmaschine 162, Innenpolmaschine 162, Dämpferwicklung 163, Erregermaschine 165</i>	
1.7.2	Wirkungsweise des Synchrongenerators . . . . .	166
	<i>Leerlauf 166, Belastung 167</i>	
1.7.3	Parallelschaltung . . . . .	169
	<i>Synchronisiervorgang 169, Prüfung der Phasenlage 170, Lastverteilung 173</i>	
1.7.4	Wirkungsweise des Synchronmotors . . . . .	173
	<i>Anlaufbedingungen 173, Betriebsverhalten 174, Phasenschieber 175</i>	
1.7.5	Synchron-Kleinstmaschinen . . . . .	177
	<i>Synchron-Kleinstmotor 177, Drehstrom-Reluktanzmotor 178</i>	

1.7.6	Schrittmotoren .....	179
	Funktionsbegriff 179, Aufbau 181, Betriebsverhalten 182, Anwendungen 185	
1.8	Stromwendermaschinen für Einphasenwechselstrom .....	186
	Stromwendermaschinen für Dreiphasenwechselstrom .....	186
1.8.1	Frequenzfragen .....	186
1.8.2	Stromwendermaschinen für Einphasenwechselstrom (Motoren) .....	186
1.8.3	Repulsionsmotoren .....	187
	<i>Aufbau 187, Wirkungsweise 188</i>	
1.8.4	Stromwendermaschinen für Drehstrom (Motoren) .....	191
	<i>Drehstrom-Reihenschluß-Stromwendermotor 191, Ständergespeister Drehstrom-Nebenschluß-Stromwendermotor 193, Läufergespeister Drehstrom-Nebenschluß-Stromwendermotor 195</i>	
1.9	Umformer .....	196
1.9.1	Motorgeneratoren .....	196
	<i>Aufbau 197, Wirkungsweise 197</i>	
1.9.2	Frequenzumformer .....	197
	<i>Asynchroner Frequenzumformer 197</i>	
1.9.3	Einankerumformer .....	199
	<i>Einankerumformer mit getrennten Läuferwicklungen 199, Einankerumformer mit angezapften Läuferwicklungen 201</i>	
1.10	Gliederung der Einphasen-, Dreiphasen-(Drehstrom-) und Gleichstrommaschinen .....	203
1.10.1	Energieumformung .....	203
1.10.2	Drehfeldmaschinen mit kreisförmigem und elliptischem Drehfeld .....	203
1.10.3	Schlupf .....	204
1.10.4	Maschinen mit Neben- und Reihenschlußcharakter .....	205
1.11	Störungen an elektrischen Maschinen .....	206
1.11.1	Störungen an Gleichstrommaschinen .....	206
1.11.2	Störungen an Einphasen- und Drehstrommotoren .....	207
<b>2</b>	<b>Schalt- und Steuertechnik</b> .....	<b>209</b>
2.1	Bedeutung der Schaltzeichen .....	209
2.2	Schaltgeräte .....	212
2.2.1	Schaltkontakte .....	212
2.2.2	Nennwerten von Schaltgeräten .....	216
2.2.3	Schalter und deren Einteilung .....	219
2.2.3.1	Schalter in der Einteilung nach dem Schaltvermögen .....	219
2.2.3.2	Schalter in der Einteilung nach dem Verwendungszweck .....	221
	<i>Steuerschalter — Nockenschalter 221, Walzenschalter 222, Momentschalter (Mikroschalter) 224, Tastschalter — Druckknopftaster 225, Grenztaster oder Endtaster 227, Programmgeber 229</i>	
2.2.4	Meldeleuchten .....	230
2.2.5	Relais .....	230
	<i>Zeitrelais 230, Stromstoßschalter 231, Stromrelais 232</i>	
2.2.6	Wächter und Begrenzer .....	232
	<i>Druckwächter 233, Temperaturwächter 234, Drehzahlwächter 234</i>	
2.2.7	Schütze .....	235
	<i>Aufbau und Wirkungsweise 235, Lebensdauer 237, Ölschütze 237, Remanenzschütze 238</i>	
2.2.8	Steckvorrichtungen .....	238
	<i>Schutzkontakt-(Schuko-)Steckvorrichtung 239, Perilex-Steckvorrichtung 240, CEE-Steckvorrichtung 240</i>	

2.2.9	Schutzeinrichtungen . . . . .	242
	<i>Schmelzsicherungen oder Leitungsschutzsicherungen (LS-Sicherungen) 242, Gerätesicherungen (G-Sicherungen) 248, Niederspannungs-Hochleistungssicherungen (NH-Sicherungen) 248, Leitungsschutzschalter 250, Motorschutzschalter 255, Leistungsschalter 257, Thermisches Überstromrelais – Bimetallrelais 258, Motorvollschutz 260</i>	
2.3	Stromkreise . . . . .	261
2.3.1	Hauptstromkreis . . . . .	261
2.3.2	Hilfsstromkreis . . . . .	262
2.3.3	Steuerspannung . . . . .	264
2.3.4	Steuertransformator . . . . .	264
2.3.5	Bestimmungen nach VDE 0113 . . . . .	265
2.4	Schaltungsunterlagen . . . . .	266
2.4.1	Zeichenregeln . . . . .	268
2.4.2	Übersichtsschaltplan . . . . .	268
2.4.3	Stromlaufpläne . . . . .	271
2.4.3.1	Stromlaufplan in zusammenhängender Darstellung . . . . .	271
2.4.3.2	Stromlaufplan in aufgelöster Darstellung . . . . .	272
	<i>Allgemein 272, Darstellungsgrundsätze 273</i>	
2.4.4	Geräteverdrahtungsplan . . . . .	275
2.4.5	Anschlußplan . . . . .	275
2.4.6	Verbindungsplan . . . . .	275
2.4.7	Anordnungsplan . . . . .	276
2.4.8	Aderzahlermittlung mit Hilfe von Potentialzahlen . . . . .	278
2.5	Funktionsbeschreibungen . . . . .	279
2.6	Steuerungsentwurf mit Grundsaltungen . . . . .	281
2.6.1	Allgemein . . . . .	281
2.6.2	Grundsaltungen . . . . .	282
	<i>Tippbetrieb 282, Haltegliedsteuerung 282, Folgeschaltung 283, Verzögerungsfolgeschaltung 284, Verriegelungsschaltungen 284, Kontrollschaltungen 287, Sonderschaltungen für Gleichstrombetrieb 287</i>	
2.7	Steuerungsbeispiele . . . . .	288
2.7.1	Kühlanlage – Verdichtersteuerung . . . . .	288
2.7.2	Kusa-Schaltung . . . . .	289
2.7.3	Automatische $\Upsilon$ - $\Delta$ -Anlaßschaltung . . . . .	290
2.7.4	Dahlander-Schützsicherung . . . . .	293
2.7.5	Begrenzungssteuerung (Garagentor) . . . . .	294
2.7.6	Kaskadenschaltung (Transportband) . . . . .	294
2.7.7	Schleifringläufer-Selbstanlasserschaltung . . . . .	297
2.7.8	Bremswächterschaltung . . . . .	297
2.7.9	Selbsttätige Netzsicherung . . . . .	298
2.7.10	Feuerungsanlage (Brennersteuerung) . . . . .	298
2.8	Darstellung von Steuerungen mit Schaltzeichen für binäre Schaltungen . . . . .	301
2.8.1	Binäre Steuerungen . . . . .	301
2.8.1.1	Signalpegel . . . . .	301
2.8.1.2	Wahrheitstabelle . . . . .	302
2.8.1.3	Grundform des Schaltzeichens für Binärschaltungen . . . . .	302
2.8.1.4	Negierung von Signalen . . . . .	303
2.8.1.5	Binäre Verknüpfungsglieder – Schaltzeichen und Funktion . . . . .	303
2.8.2	Steuerungsdarstellung durch Funktionspläne . . . . .	310
2.8.2.1	Darstellung von Verknüpfungssteuerungen . . . . .	310
2.8.2.2	Darstellung von Ablaufsteuerungen . . . . .	311

2.9	Speicherprogrammierbare Steuerungen .....	315
2.9.1	Allgemein .....	315
2.9.2	Funktion speicherprogrammierbarer Steuerungen .....	316
2.9.3	Aufbau einer speicherprogrammierbaren Steuerung .....	317
2.9.3.1	Stromversorgung .....	319
2.9.3.2	Digitale Eingabebaugruppen .....	319
2.9.3.3	Digitale Ausgabebaugruppen .....	321
2.9.3.4	Zentralbaugruppe .....	321
2.9.3.5	Zeitbaugruppen .....	323
2.9.3.6	Bus-System .....	323
2.9.3.7	Speicherbaugruppen .....	323
2.9.3.8	Baugruppen für besondere Anwendungen .....	325
2.9.4	Programmierung speicherprogrammierbarer Steuerungen .....	326
2.9.4.1	Aufbau einer Anweisung .....	327
2.9.4.2	Operationsvorrat speicherprogrammierbarer Steuerungen .....	327
2.9.4.3	Programmierung der Grundverknüpfungen als Anweisungsliste .....	330
2.9.4.4	Programmeingabe in speicherprogrammierbare Steuerungen .....	336
<b>3</b>	<b>Drehzahlverstellung elektrischer Antriebe .....</b>	<b>341</b>
3.1	Grundbegriffe der Stromrichtertechnik .....	341
3.1.1	Steuern der Energieflußrichtung .....	342
3.1.2	Einteilung der Stromrichter nach der Art der Kommutierung .....	342
3.1.3	Schutz von Stromrichtern .....	343
3.1.4	Ungesteuerte Stromrichter (Gleichrichter) .....	345
3.1.4.1	Einpulschaltung (Einwegschaltung) M 1 .....	346
3.1.4.2	Zweipuls-Mittelpunktschaltung B 2 .....	346
3.1.4.3	Zweipuls-Brückenschaltung B 2 .....	347
3.1.4.4	Dreipuls-Mittelpunktschaltung M 3 .....	347
3.1.4.5	Sechspuls-Brückenschaltung (Drehstrom-Brückenschaltung) B 6 .....	348
3.1.5	Dimensionierungshinweis für Gleichrichterschaltungen .....	348
3.1.5.1	Spannungsbeanspruchung der Dioden .....	348
3.1.5.2	Strombeanspruchung der Dioden .....	350
3.1.5.3	Sicherungsauslegung .....	350
3.2	Gesteuerte Stromrichter für Gleichstrommotoren .....	350
3.2.1	Impulssteuersatz .....	351
3.2.2	Halb- und vollgesteuerte Stromrichterschaltungen .....	351
3.2.3	Gleichrichterbetrieb .....	352
3.2.4	Wechselrichterbetrieb .....	353
3.2.5	Wechselrichtertrittgrenze .....	353
3.2.6	Zweipulsige vollgesteuerte Brückenschaltung B 2 .....	355
3.2.7	Sechspulsige Brückenschaltung B 6 .....	355
3.2.8	Halbgesteuerte Brückenschaltung B 2 HZ .....	357
3.2.9	Aufbau eines geregelten Stromrichters .....	358
3.2.10	Zusammenwirken von Stromrichter und Motor .....	359
3.2.10.1	Gleichstrom-Nebenschlußmotor .....	359
3.2.10.2	Motor und Stromrichter .....	361
3.2.10.3	Drehrichtungs- und Momentenumkehr mit Stromrichtern .....	362
3.2.11	Einsatzbereich von Gleichstrom-Nebenschlußmotoren .....	371
3.2.12	Gleichstromumrichter (Gleichstromsteller) .....	371
3.2.12.1	Funktion eines Gleichstromstellers .....	373
3.2.12.2	Steuerung der Ausgangsspannung .....	373
3.2.12.3	Einsatz von Gleichstromstellern .....	374
3.2.12.4	4-Quadranten-Betrieb mit mechanischer Umschaltung .....	374

3.2.12.5	Betriebsquadranten von Gleichstromstellern ohne mechanische Umschaltung .....	375
3.3	Drehzahlsteuerung des Drehmotors .....	377
3.3.1	Wechsel- und Drehstromsteller für Induktionsmotoren .....	379
3.3.1.1	Steller für Wechselstrommotoren .....	380
3.3.1.2	Steller für Drehstromkurzschlußläufermotoren .....	382
3.3.2	Drehzahlsteuerung beim Drehstrom-Schleifringläufermotor .....	384
3.3.2.1	Untersynchrone Stromrichtererkaskade (USK) .....	384
3.3.3	Umrichter mit Zwischenkreis .....	385
3.3.3.1	Umrichter mit Stromzwischenkreis .....	386
3.3.3.2	Umrichter mit Spannungszwischenkreis .....	388
3.3.3.3	Pulsumrichter (Umrichter mit konstanter Zwischenkreisspannung) ..	390
	Stichwortverzeichnis .....	395