

Inhalt

1 Grundlagen der Elektrotechnik

1.1 Gleichstrom	13
1.1.1 Elektrische Größen und Grundgesetze	13
1.1.1.1 Physikalische Grundlagen	13
1.1.1.2 Stromkreis, Wirkungen des elektrischen Stromes	18
1.1.1.3 Elektrischer Widerstand	19
1.1.1.4 Kirchhoffsche Regeln	23
1.1.2 Gleichstromkreise	26
1.1.2.1 Widerstandsschaltungen	26
1.1.2.2 Elektrische Spannungsquellen	30
1.1.2.3 Berechnung von Gleichstrom-Netzwerken	33
1.1.2.4 Messungen im elektrischen Stromkreis	37
1.2 Elektrisches und magnetisches Feld	42
1.2.1 Elektrisches Feld	42
1.2.1.1 Größen des elektrischen Feldes, Kondensator	42
1.2.1.2 Influenz und Polarisation	43
1.2.1.3 Schaltung von Kondensatoren	44
1.2.1.4 Ladung von Kondensatoren, Energie des elektrischen Feldes	45
1.2.2 Magnetisches Feld	49
1.2.2.1 Wirkungen im magnetischen Feld	49
1.2.2.2 Magnetische Feldstärke	50
1.2.2.3 Magnetische Flussdichte (Induktion)	52
1.2.2.4 Magnetischer Fluss, Durchflutungsgesetz	54
1.2.2.5 Magnetische Hysterese, Energie des Magnetfeldes	56
1.2.3 Kräfte und Spannungserzeugung im magnetischen Feld	59
1.2.3.1 Kräfte im Magnetfeld	59
1.2.3.2 Lenzsche Regel, Induktionsgesetz	61
1.2.3.3 Spannungserzeugung durch Selbstinduktion, Induktivität	62
1.2.3.4 Transformatorische und rotatorische Spannungserzeugung	63
1.2.3.5 Wirbelströme	66
1.2.3.6 Elektromagnetisches Feld	67
1.3 Wechsel- und Drehstrom	70
1.3.1 Wechselgrößen und Grundgesetze	70
1.3.1.1 Sinusförmige Wechselgrößen (Sinusgrößen)	70
1.3.1.2 Belastungsarten im Wechselstromkreis	71
1.3.1.3 Darstellung von Wechselgrößen im Zeigerbild	74
1.3.1.4 Leistung, Leistungsfaktor, Arbeit	76
1.3.2 Wechselstromkreise	79
1.3.2.1 Kirchhoffsche Regeln bei Wechselstrom	79
1.3.2.2 Wechselstromschaltungen mit R , L und C	81
1.3.2.3 Schwingkreise	85

1.3.2.4 Komplexe Berechnung von Wechselstromschaltungen	88
1.3.2.5 Messungen bei Wechselstrom	92
1.3.3 Drehstrom	96
1.3.3.1 Drehstromsysteme	96
1.3.3.2 Elektrische Größen bei Stern- und Dreieckschaltung	98
1.3.3.3 Messungen im Drehstromnetz	103
2 Elektronik	
2.1 Grundlagen und Bauelemente der Elektronik	109
2.1.1 Allgemeine elektrische Bauelemente	109
2.1.1.1 Widerstände	109
2.1.1.2 Spulen	110
2.1.1.3 Kondensatoren	111
2.1.2 Grundbegriffe der Halbleitertechnik	113
2.1.2.1 Trägerbewegung in Halbleitern	113
2.1.2.2 Störstellenleitfähigkeit	113
2.1.2.3 PN-Übergang	114
2.1.2.4 Eigenschaften des PN-Übergangs	115
2.1.3 Halbleiterbauelemente ohne Sperrsicht	116
2.1.3.1 Thermistoren	116
2.1.3.2 Varistoren	117
2.1.3.3 Fotowiderstände	118
2.1.3.4 Magnetfeldabhängige Bauelemente	119
2.1.3.5 Flüssigkristallzellen	120
2.1.4 Halbleiterbauelemente mit Sperrsichten	121
2.1.4.1 Dioden	121
2.1.4.2 Bipolare Transistoren	124
2.1.4.3 Feldeffekttransistoren	128
2.1.4.4 Optoelektronische Bauelemente	130
2.1.4.5 Thyristoren	130
2.1.5 Elektronen- und Gasentladungsrohren	134
2.1.5.1 Elektronenröhren	134
2.1.5.2 Gasentladungsrohren	137
2.1.6 Kühlung und Schutzmaßnahmen bei Halbleiterbauelementen	138
2.1.6.1 Verluste und Erwärmung	139
2.1.6.2 Kühlkörper	139
2.1.6.3 Schutzmaßnahmen für Halbleiter	140
2.2 Baugruppen der Elektronik	141
2.2.1 Gleichrichterschaltungen	141
2.2.1.1 Wechselstromschaltungen	141
2.2.1.2 Drehstromschaltungen	143
2.2.1.3 Glättungs- und Siebglieder	144
2.2.1.4 Netzteile	147
2.2.2 Verstärker	149
2.2.2.1 Transistorgrundschatungen	149
2.2.2.2 Emitterschaltung	150
2.2.2.3 Mehrstufige Verstärker	153
2.2.2.4 Differenzverstärker	154
2.2.2.5 Steuerschaltungen mit Transistoren	154

2.2.3 Generator- und Kippschaltungen	156
2.2.3.1 Schalterbetrieb des Transistors	156
2.2.3.2 Kippschaltungen	157
2.2.3.3 Sinusgeneratoren	159
2.2.4 Integrierte Schaltungen	160
2.2.4.1 Aufbau elektronischer Schaltungen	160
2.2.4.2 Operationsverstärker	163
2.2.4.3 Beschaltung von Operationsverstärkern	165
2.2.4.4 Einsatz einer integrierten Schaltung	167
2.3 Leistungselektronik	169
2.3.1 Stromrichterschaltungen für Gleichstromantriebe	170
2.3.1.1 Netzgeführte Stromrichter	170
2.3.1.2 Gleichstromsteller	174
2.3.2 Stromrichterschaltungen für Wechsel- und Drehstromantriebe	176
2.3.2.1 Wechsel- und Drehstromsteller	177
2.3.2.2 Untersynchrone Stromrichterkaskade	179
2.3.2.3 Frequenzumrichter	179
2.3.3 Netzrückwirkungen von Stromrichteranlagen	181
2.3.3.1 Steuerblindleistung	181
2.3.3.2 Oberschwingungen	182
2.3.3.3 Störspannungen und EMV	183

3 Elektrische Messtechnik

3.1 Grundlagen der elektrischen Messtechnik	187
3.1.1 Allgemeine Angaben	187
3.1.1.1 Messwerterfassung	187
3.1.1.2 Betriebsdaten von Messgeräten	187
3.1.1.3 Auswahl eines Messgeräts	189
3.1.2 Einsatz elektrischer Messgeräte	190
3.1.2.1 Strom- und spannungsrichtige Messung	190
3.1.2.2 Innenwiderstände von Messgeräten	191
3.1.2.3 Messbereichserweiterung	192
3.2 Elektrische Messgeräte	194
3.2.1 Elektromechanische Messwerke	194
3.2.1.1 Dreheisenmesswerke	194
3.2.1.2 Drehspulmesswerke	195
3.2.1.3 Elektrodynamische Messwerke	197
3.2.1.4 Induktions-(Ferraris-)Messwerk	197
3.2.2 Messwandler	198
3.2.2.1 Zangenstrommesser	198
3.2.2.2 Strom- und Spannungswandler	199
3.2.3 Elektronische Messgeräte	200
3.2.3.1 Digitalmultimeter	200
3.2.3.2 Oszilloskope	201
3.3 Digital-Messtechnik	203
3.3.1 Baugruppen digitaler Messgeräte	203
3.3.1.1 Analog-/Digital-Umsetzer	203
3.3.1.2 Codierung	204
3.3.1.3 Speicher und Zählschaltungen	205

3.3.2 Digitale Messgeräte	206
3.3.2.1 Zähler	206
3.3.2.2 Multimeter	207
3.3.2.3 Transientenspeicher	208
3.4 Elektrische Messung nichtelektrischer Größen	209
3.4.1 Messwertgeber für mechanische Beanspruchungen	210
3.4.1.1 Verfahren der Drehzahlmessung	210
3.4.1.2 Verfahren der Drehmomentbestimmung	211
3.4.1.3 Bestimmung von Kraft, Druck und Schwingungen	213
3.4.2 Messwertaufnehmer für nichtmechanische Größen	215
3.4.2.1 Bestimmung der Beleuchtungsstärke	215
3.4.2.2 Bestimmung von Temperaturen	215
3.4.2.3 Zeitmessung	216
3.4.2.4 Bestimmung von Geräuschen	217

4 Elektrische Maschinen

4.1 Gleichstrommaschinen	219
4.1.1 Aufbau und Wirkungsweise	219
4.1.1.1 Aufbau	219
4.1.1.2 Motor- und Generatorbetrieb	223
4.1.1.3 Leistungsbilanz	224
4.1.1.4 Anschlussbezeichnungen und Schaltungen	225
4.1.2 Betriebsverhalten und Drehzahlsteuerung	226
4.1.2.1 Leerlauf und Selbsterregung	226
4.1.2.2 Gleichstrommotoren mit Fremderregung	227
4.1.2.3 Verfahren der Drehzahlsteuerung	230
4.1.2.4 Gleichstrom-Reihenschlussmotoren	234
4.2 Transformatoren	238
4.2.1 Wechselstromtransformatoren	238
4.2.1.1 Aufbau	238
4.2.1.2 Kenngrößen und Ersatzschaltbild	239
4.2.1.3 Betriebsverhalten	241
4.2.1.4 Sondertransformatoren	244
4.2.2 Drehstromtransformatoren	247
4.2.2.1 Bauart und Schaltung	247
4.2.2.2 Kenngrößen und Betriebsverhalten	249
4.3 Drehstrom-Asynchronmaschinen	252
4.3.1 Aufbau und Wirkungsweise	252
4.3.1.1 Ständer und Drehstromwicklung	252
4.3.1.2 Läufer	255
4.3.1.3 Asynchrones Drehmoment	256
4.3.1.4 Linearmotoren	257
4.3.2 Betriebsverhalten und Drehzahlsteuerung	258
4.3.2.1 Kennlinien und Kenngrößen	258
4.3.2.2 Anlassen	264
4.3.2.3 Drehzahlsteuerung	267

4.4 Drehstrom-Synchronmaschinen	272
4.4.1 Aufbau und Wirkungsweise	272
4.4.1.1 Ständer und Läufer	272
4.4.1.2 Kennlinien und Ersatzschaltung	274
4.4.2 Betriebsverhalten im Netzbetrieb	275
4.4.2.1 Synchronisation	275
4.4.2.2 Wirk- und Blindlaststeuerung	276
4.4.2.3 Drehzahlsteuerung	278
4.4.2.4 Positionierantriebe	278
4.5 Wechselstrommotoren	280
4.5.1 Universalmotoren	280
4.5.1.1 Schaltung und Einsatz	280
4.5.1.2 Betriebsverhalten	281
4.5.2 Wechselstrommotoren mit Hilfswicklung	281
4.5.2.1 Spaltpolmotoren	281
4.5.2.2 Kondensatormotoren	282
4.5.3 Schrittmotoren	283
4.5.3.1 Aufbau und Wirkungsweise	283
4.5.3.2 Betriebsdaten	285
5 Elektrische Antriebe und Steuerungen	
5.1 Standardisierung und Normvorschriften	286
5.1.1 Äußere Gestaltung	286
5.1.1.1 Baugrößen	286
5.1.1.2 Bauformen	287
5.1.1.3 Schutzarten	287
5.1.2 Betriebsbedingungen	288
5.1.2.1 Betriebsarten	288
5.1.2.2 Leistungsschild	289
5.1.2.3 Prüfung elektrischer Maschinen	290
5.2 Planung und Berechnung von Antrieben	291
5.2.1 Stationärer Betrieb	291
5.2.1.1 Momentengleichung des elektrischen Antriebs	291
5.2.1.2 Betriebskennlinien von Elektromotoren	293
5.2.1.3 Betriebskennlinien von Arbeitsmaschinen	294
5.2.1.4 Schwungmassen von Motor und Arbeitsmaschine	298
5.2.2 Dynamik des Antriebs	300
5.2.2.1 Anlauf	300
5.2.2.2 Bremsen	302
5.2.2.3 Umsteuern	306
5.2.3 Bemessung des Motors	307
5.2.3.1 Zulässiges Motormoment	307
5.2.3.2 Berechnung der Erwärmung	307
5.3 Steuerungstechnik	315
5.3.1 Schaltgeräte und Kontaktsteuerungen	315
5.3.1.1 Schalter, Schütze und Sicherungen	315
5.3.1.2 Schaltpläne	318
5.3.1.3 Festverdrahtete Steuerungen	320

5.3.2 Grundlagen elektronischer Steuerungen	322
5.3.2.1 Logische Grundverknüpfungen	322
5.3.2.2 Kombinationen der Grundverknüpfungen	324
5.3.2.3 Speicherschaltungen	324
5.3.2.4 Schaltungstechnik	326
5.3.3 Grundlagen speicherprogrammierbarer Steuerungen	327
5.3.3.1 Aufbau einer SPS	328
5.3.3.2 Einführung in die Programmietechnik	329
5.3.3.3 Drehrichtungsumkehr eines Motors mit SPS	333
5.3.3.4 Feldbusssysteme	335
6 Elektrische Energieversorgung	
6.1 Erzeugung elektrischer Energie	337
6.1.1 Energiewirtschaft	337
6.1.1.1 Energiewandlung	337
6.1.1.2 Erzeugung und Verbrauch elektrischer Energie	337
6.1.1.3 Entwicklungstendenzen	340
6.1.2 Kraftwerke	341
6.1.2.1 Thermische Kraftwerke	341
6.1.2.2 Wasserkraftwerke	344
6.1.2.3 Regenerative Energieerzeugung	346
6.2 Energieübertragung	349
6.2.1 Elektrische Netze	349
6.2.1.1 Stromversorgungsanlagen	349
6.2.1.2 Verbundbetrieb	349
6.2.2 Schutzmaßnahmen in elektrischen Anlagen	350
6.2.2.1 Allgemeine Grundsätze	350
6.2.2.2 Schutz gegen gefährliche Körperströme	352
6.2.2.3 Unfallverhütungsvorschriften	355
Gesetzliche Einheiten und Formelzeichen	357
Literatur	360
Sachverzeichnis	361