

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen dieses Buches	8	4.5.6	Spannungsfall an Leitungen	84
Indizes und Zeichen für Formelzeichen dieses Buches	9	4.5.7	Leistungsverlust in Leitungen	87
Formelzeichen für drehende elektrische Maschinen	10	4.5.8	Strombelastbarkeit von Installationsleitungen	88
1 Grundlagen		4.5.9	Überstromschutz von Leitungen	91
1.1 Stromstärke, Widerstand, Spannung	11	4.5.10	Leitungsberechnung	93
1.2 Schaltungen von Zweipolen	14	4.5.11	Leitungsberechnung bei Oberschwingungen	94
1.3 Bezugspfeile	16	4.6 Sensoren		97
1.4 Leistung, Arbeit, Energie, Wärme	18	4.6.1	Prinzip von Sensoren	97
2 Elektrisches Feld		4.6.2	Sensoren der Steuerungstechnik	97
2.1 Elektrische Ladung	24	4.6.3	Einsatzgebiete von Sensoren	98
2.2 Elektrische Feldstärke	25	4.6.4	Aufbau eines Sensors	98
2.3 Elektrische Flussdichte	26	4.6.5	Sensorelemente	98
2.4 Kapazität	26	4.6.6	Beispiele von Sensoren	100
2.5 Kapazitiver Blindwiderstand	26	4.6.7	Lichtschranken	103
2.5.1 Ladung und Stromstärke	26	4.6.8	Wegmessung, Winkelmessung	104
2.5.2 Kondensatorstrom bei Sinusspannung ...	27	4.7 Klimatisierung		106
2.5.3 Kapazitive Blindleistung	28	4.7.1	Funktion von Klimatisierungsgeräten ...	106
2.5.4 Kondensator als Blindwiderstand	28	4.7.2	Klimatisierung von Schaltschränken ...	107
2.6 Elektrisches Feld als Energiespeicher	29	5 Verhalten von Transformatoren		
2.7 Gleichstrom-Schalten von Kondensatoren	29	5.1 Idealer Transformator		109
3 Magnetisches Feld		5.2 Realer Transformator im Leerlauf		111
3.1 Arten magnetischer Stoffe	31	5.3 Realer Transformator unter Last		113
3.2 Elektrische Durchflutung	32	5.4 Ersatzschaltungen von Transformatoren ..		115
3.3 Magnetische Feldstärke und Flussdichte ..	33	5.5 Zeigerdiagramm des belasteten Transformators		117
3.4 Magnetischer Fluss und Verkettungsfluss ..	35	5.6 Kurzschlussstrom und Einschaltstrom		118
3.5 Lorentzkraft	36	5.7 Wirkungsgrad und Arbeitsgrad von Transformatoren		120
3.6 Induktion	37	5.8 Besondere Transformatoren		121
3.7 Induktiver Blindwiderstand	41	5.8.1 Spartransformator		121
3.8 Magnetisches Feld als Energiespeicher ...	45	5.8.2 Übertrager		122
3.9 Gleichstrom-Schalten von Spulen	45	5.8.3 Elektronische Transformatoren		123
3.10 Grundlagen des Transformators	47	6 Transformatoren im Netz		
4 Versorgung mit elektrischer Energie		6.1 Anschlusskennzeichnung		124
4.1 Ströme in öffentlichen Netzen	50	6.2 Kleintransformatoren		125
4.1.1 Stromarten für die Stromversorgung	50	6.3 Lichtbogen-Schweißtransformatoren		130
4.1.2 Erzeugen von Drehstrom	50	6.4 Messwandler		132
4.1.3 Spannungen beim Drehstromnetz	51	6.4.1 Spannungswandler		132
4.1.4 Schaltungen bei Drehstrom	52	6.4.2 Nicht induktive Spannungswandler		134
4.1.5 Leistungen bei Drehstrom	53	6.4.3 Stromwandler		134
4.1.6 Unsymmetrische Belastung bei Drehstrom	54	6.4.4 Messen mit Zangen-Stromwandlern		138
4.2 Grundlagen der Stromversorgung	55	6.5 Einphasentransformatoren für Drehstrom ..		140
4.3 Wärmekraftwerke	56	6.5.1 V-Schaltung		140
4.3.1 Verbrennungskraftwerke	56	6.5.2 Transformatorengruppe		140
4.3.2 Kernkraftwerke (Atomkraftwerke)	59	6.6 Drehstromtransformatoren		142
4.4 Regenerative Stromerzeugung	61	6.6.1 Allgemeines		142
4.4.1 Wasserkraftwerke	61	6.6.2 Eisenkern		142
4.4.2 Regenerative thermische Stromerzeugung	62	6.6.3 Wicklung		143
4.4.3 Windkraftwerke	64	6.6.4 Ölkessel		145
4.4.4 PV-Stromerzeugung	68	6.7 Schaltungen von Drehstromtransformatoren		146
4.4.5 Stromerzeugung mit Brennstoffzellen	71	6.7.1 Schaltungen der Wicklungsstränge		146
4.4.6 Ausgleich schwankender Stromerzeugung	73	6.7.2 Schaltgruppen		148
4.5 Stromtransport	76	6.7.3 Parallelschalten von Transformatoren		149
4.5.1 Zweck der Spannungstransformation	76	6.7.4 Drehtransformator		151
4.5.2 Spannungsebenen	76	6.7.5 Transformatoren für mehr als drei Phasen		152
4.5.3 Umspannwerke	77			
4.5.4 Leitungen und Kabel	80			
4.5.5 Bemessungsstromstärke von Lasten	82			

7	Drehende elektrische Maschinen	
7.1	Einteilung	154
7.2	Isolierstoffklassen	155
7.3	Betriebsarten	156
7.3.1	Allgemeines	156
7.3.2	Dauerbetrieb S1	156
7.3.3	Kurzzeitbetrieb S2	156
7.3.4	Aussetzbetriebsarten	157
7.3.5	Ununterbrochene periodische Betriebsarten	158
7.4	Bauformen von elektrischen Maschinen	160
7.5	Effizienz von elektrischen Antrieben	161
7.5.1	Wirkungsgrade nach IEC 60034	161
7.5.2	Leistungsschild	162
7.6	Instandhaltung von elektrischen Antrieben	163
7.6.1	Maßnahmen	163
7.6.2	Elektrische Prüfungen	163
7.6.3	Mechanische Prüfungen	168
7.7	Schutzarten IP	172
7.8	Grundgleichungen der drehenden elektrischen Maschinen	174
7.9	Anschlussbezeichnung von drehenden elektrischen Maschinen	175
8	Maschinen mit bewegtem Magnetfeld	
8.1	Erzeugung eines Drehfeldes	180
8.2	Drehstrom-Synchronmaschinen	183
8.2.1	Synchrongenerator	183
8.2.2	Synchronmotoren für Drehstrom	188
8.2.3	Reluktanzmotoren	190
8.3	Einphasen-Synchronmotoren	192
8.3.1	Einphasengeneratoren	192
8.3.2	Synchronmotoren für Einphasenwechselstrom	192
8.4	Gleichstrommotoren mit Magnetläufern	193
8.4.1	Arten der Schrittmotoren	193
8.4.2	Steuerschaltungen der Schrittmotoren	198
8.4.3	Betriebsverhalten der Schrittmotoren	198
8.4.4	EC-Motor	99
8.5	Maschinen mit Kurzschlussläufern	201
8.5.1	Aufbau des Kurzschlussläufers	201
8.5.2	Wirkungsweise des Asynchrongenerators	202
8.5.3	Wirkungsweise des Kurzschlussläufermotors	203
8.5.4	Kurzschlussläufermotoren für Einphasenwechselstrom	206
8.6	Schleifringläufermaschinen	208
8.7	Sonstige Motoren mit bewegtem Magnetfeld	211
8.7.1	Wirbelstromläufermotoren	211
8.7.2	Polumschaltbare Motoren	212
8.7.3	Spannungsumschaltbare Motoren	214
8.8	Linearantriebe	214
8.8.1	Linearantrieb mit drehendem Motor	214
8.8.2	Wechselstrom-Linearmotoren	215
8.8.3	Linearschrittmotoren	217
8.8.4	Schwingankermotoren	218
8.8.5	Piezomotoren	218
8.8.6	Gleichstrom-Linearmotoren	220
8.9	Wechselstromwicklungen	221
8.9.1	Drehstromwicklungen	221
8.9.2	Einphasenwicklungen	225
8.9.3	Umwickeln von Wechselstromwicklungen	227
8.10	Fehler bei Drehfeldmaschinen	228
9	Stromwendermaschinen	
9.1	Aufbau von Gleichstrommaschinen	230
9.2	Wirkungsweise von Gleichstrommaschinen	232
9.2.1	Kurvenform der induzierten Spannung	232
9.2.2	Wirkungsweise bei der Spannungserzeugung	233
9.2.3	Fremderregte Gleichstrommaschine	233
9.2.4	Weitere Gleichstrommaschinen	234
9.3	Ankerquerfeld	236
9.3.1	Entstehung des Ankerquerfeldes	236
9.3.2	Wendepole	237
9.3.3	Kompensationswicklung	237
9.3.4	Querfeldgeneratoren	239
9.3.5	Ankerquerfeld beim Motor	239
9.4	Gleichstrommaschine als Motor	240
9.4.1	Wirkung des Ankers	240
9.4.2	Drehmoment und Anzugsstrom	241
9.4.3	Einstellen der Umdrehungsfrequenz	242
9.5	Schaltungen von Gleichstrommotoren	242
9.5.1	Fremderregter Motor	243
9.5.2	Reihenschlussmotor	244
9.6	Stromwendermotoren für Wechselstrom	245
9.6.1	Aufbau	245
9.6.2	Einphasen-Reihenschlussmotor	246
9.6.3	Repulsionsmotor	247
9.6.4	Linearmotor mit Stromwender	248
9.6.5	Stromwendermotor für Drehstrom	248
9.7	Fehler bei Stromwendermaschinen	249
9.8	Wicklungen von Stromwendermotoren	251
9.8.1	Ständerwicklungen von Gleichstrommaschinen	251
9.8.2	Ankerwicklung von Stromwendermaschinen	251
9.9	Kleinstmotoren mit Kommutierung	255
9.9.1	Mechanische Kommutierung	255
9.9.2	Elektronische Kommutierung	256
9.9.3	Getriebe für Kleinstmotoren	257
10	Umformer	
10.1	Motorgenerator	258
10.2	Asynchrone Frequenzumformer	258
10.3	Sonstige Umformer	259
11	Antriebstechnik	
11.1	Steuern und Regeln	260
11.1.1	Steuern	260
11.1.2	Regeln	260
11.1.3	Schaltende Regeleinrichtungen	262
11.1.4	Stetige Regeleinrichtungen	262
11.1.5	Kennzeichnung der Regelstrecke	263
11.1.6	Steuern und Regeln mit dem PC	264
11.1.7	Regeln mit Digitalregler	265
11.1.8	GRAFSET	267
11.2	Kleinststeuerungen	270
11.2.1	Elemente von LOGO!	270
11.2.2	Bearbeiten eines LOGO!-Projekts	272
11.2.3	Erweiterter Ausbau eines LOGO!	272

11.3	Speicherprogrammierbare Steuerungen	274	12.2.1	Netzaufbau	358
11.3.1	SPS-Grundlagen	274	12.2.2	Niederspannungs-Freileitungen	360
11.3.2	Funktionen einer SPS	275	12.2.3	Tragmaste	360
11.3.3	Ablaufsteuerungen mit SPS	277	12.2.4	Endmaste	363
11.3.4	Bussysteme für SPS	278	12.2.5	Abspannmaste	364
11.3.5	Eingabe-Ausgabe-Einheiten	279	12.2.6	Abgespannte Maste	364
11.3.6	Fehlersichere Kommunikation	280	12.2.7	Winkelmaste	364
11.4	Komponenten für Steuerungen	282	12.2.8	Winkeltragmaste	365
11.4.1	Nockenschalter	282	12.2.9	Sondermaste	365
11.4.2	Schütze	283	12.3	Hausanschluss	366
11.4.3	Hilfsstromkreise	286	12.3.1	Ausführung des Hausanschlusses	366
11.4.4	Maschinensicherheit	289	12.3.2	Bemessen der Leitungen bis zu den Stromkreisverteilern	367
11.4.5	Halbleiterbauelemente	292	12.4	Mittelspannungsnetze	370
11.4.6	Halbleiterbaugruppen	298	12.4.1	Bemessungsspannung und Aufgaben	370
11.5	Anlassen von Drehfeldmotoren	302	12.4.2	Netzaufbau	370
11.5.1	Allgemeine Bestimmungen	302	12.4.3	Elektrische Wirkung auf die Umgebung	371
11.5.2	Anlassschaltungen für Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren	302	12.5	Hochspannungsnetze	372
11.5.3	Einfache Schützsicherungen	304	12.5.1	Bemessungsspannung und Aufgaben	372
11.5.4	Polumschaltungen	307	12.5.2	Netzaufbau beim 110-kV-Netz	372
11.5.5	Stern-Dreieck-Schützsicherungen	309	12.5.3	Netzaufbau der Höchstspannungsnetze	374
11.5.6	Anlassschaltungen für Schleifringläufermotoren	310	12.5.4	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung HGÜ	375
11.5.7	Allgemeine Schützsicherung	311	12.5.5	Erdungsanlagen	377
11.5.8	Elektronische Motorstarter	312	12.5.6	Isolatoren	379
11.6	Anlasserberechnung beim Schleifringläufermotor	315	12.5.7	Armaturen	381
11.7	Bremsen von Drehstrommotoren	316	12.6	Beeinflussung der Netze	384
11.7.1	Mechanisches Bremsen mit elektrischer Steuerung	316	12.6.1	Blindleistung	384
11.7.2	Elektrisches Bremsen	317	12.6.2	Oberschwingungen	387
11.7.3	Verlustwärme beim Anlauf und Bremsen	320	12.6.3	Stromqualität	390
11.8	Steuerung von Stromwendermotoren	321	12.6.4	Kompensation von Oberschwingungen	391
11.9	Motorschutz	325	12.6.5	Regelung der Netzspannung	392
11.10	Stromrichter zur Drehzahlsteuerung	327	12.6.6	Regelung der Netzfrequenz	395
11.10.1	Drehzahlsteuerung beim Universalmotor	327	12.7	Intelligente Stromnetze (Smart Grids)	396
11.10.2	Drehzahlsteuerung beim fremderregten Motor	328	12.8	Messen von Oberschwingungen	397
11.10.3	Drehzahlsteuerung mit Gleichstromsteller	330	13	Maßnahmen für die Betriebssicherheit	
11.10.4	Umrichter	331	13.1	Sicherheit beim Arbeiten in elektrischen Anlagen	399
11.10.5	Stromzwischenkreis-Umrichter	333	13.2	Systemformen im Niederspannungsnetz	403
11.10.6	Umrichter mit Pulsamplitudenmodulation	333	13.3	Schutzmaßnahmen	05
11.10.7	Umrichter mit Pulsweitenmodulation	335	13.3.1	Berührungsarten	405
11.10.8	Direktumrichter	336	13.3.2	Stromgefährdung	405
11.10.9	Drehstrommotor mit Stromrichter (87-Hz-Betrieb)	337	13.3.3	Basisschutz	406
11.10.10	Frequenzumrichter anwenden	339	13.3.4	Maßnahmen für zugleich Basisschutz und Fehlerschutz	406
11.10.11	Untersynchrone Stromrichtererkaskade	341	13.3.5	Fehlerschutz	407
11.10.12	Doppelt speisender Asynchrongenerator	342	13.3.6	Zusätzlicher Schutz	412
11.11	Servomotoren	343	13.3.7	Schutz in elektrotechnisch überwachten Anlagen	413
11.11.1	Anforderungen an Servomotoren	343	13.3.8	Schutzleiter und Schutzpotenzial-Ausgleichsleiter	414
11.11.2	Drehstrommotoren als Servomotoren	344	13.4	Prüfungen	415
11.11.3	Gleichstrommotoren als Servomotoren	347	13.4.1	Schutzklassen der Betriebsmittel	415
11.12	Hybridantriebe	349	13.4.2	Betätigungselemente in der Nähe berührungsfählicher Teile	415
11.13	Antriebssysteme betreiben	352	13.4.3	Prüfungen der Elektroinstallation	416
11.13.1	Informationsbeschaffung	352	13.4.4	Durchführung der Prüfungen	421
11.13.2	Auftragsplanung	352	13.5	Elektromagnetische Verträglichkeit EMV	423
11.13.3	Auftragsdurchführung	353	13.6	SSV-Anlagen	430
11.13.4	Auftragskontrolle	356	13.7	Elektrische Ausrüstung von Maschinen	435
12	Übertragungsnetze		13.7.1	Anwendungsbereich	435
12.1	Netzformen	357			
12.2	Niederspannungsnetze	358			

13.7.2	Begriffe	435	14.5.6	EU-Maschinenrichtlinie	458
13.7.3	Allgemeine Anforderungen	435	14.5.7	RFID-Transponder	459
13.7.4	Netzanschlüsse, Trenneinrichtung und Schalter	436	15	Internet	
13.7.5	Schutz gegen elektrischen Schlag	437	15.1	Internet-Kommunikation	460
13.7.6	Schutz der Ausrüstung	437	15.2	Gefahren durch das Internet	461
13.7.7	Potenzialausgleich	439	15.3	Firewall-Systeme	462
13.7.8	Steuerstromkreise	439	16	Vertiefende Bereiche	
13.7.9	Bedienerschnittstellen	441	16.1	Theorie der Asynchronmaschine	463
13.7.10	Anordnung der Schaltgeräte	441	16.1.1	Oberschwingungen	463
13.7.11	Leiter, Leitungen, Kabel	441	16.1.2	Ersatzschaltung der Asynchronmaschine ..	465
13.7.12	Verdrahtungstechnik	441	16.1.3	Ortskurve	467
13.7.13	Sonstige Anforderungen	442	16.1.4	Leerlaufversuch und Kurzschlussversuch ..	468
13.8	Umweltbelastungen der Elektrotechnik ..	443	16.1.5	Auswertung der Ortskurve	469
14	Planung von elektrischen Anlagen		16.1.6	Rechengang beim Kreisdiagramm	471
14.1	Projektmanagement	445	16.2	Weitere Dreiphasenwicklungen	473
14.2	Lastenheft, Pflichtenheft	446	16.2.1	Einschichtwicklungen	473
14.3	Projektende	446	16.2.2	Zweischichtwicklungen	474
14.4	Projektieren einer Gebäudeinstallation ..	447	16.2.3	Polumschaltbare Wicklungen	476
14.4.1	Planungsgrundlagen	447	17	Anhang	
14.4.2	Leitungsführung in Wohngebäuden	449	17.1	Größen und Einheiten	477
14.4.3	Kommunikationsanlagen	450	17.2	Wichtige Normen	479
14.5	Projektieren einer Maschinenausrüstung ..	451	17.3	Teile von VDE 0100	482
14.5.1	Auswahl eines Elektromotors	451	17.4	Kurzformen von Fachbegriffen	484
14.5.2	Stromversorgung, Schutzeinrichtungen ..	453		Literaturverzeichnis	486
14.5.3	Steuerleitungen	454		Sachwortverzeichnis	487
14.5.4	Schaltungsaufbau	455		Firmen und Dienststellen	495
14.5.5	Weg zur sicheren Maschine	456			