

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen dieses Buches	8	4.5	Stromtransport	72
Indizes und Zeichen für Formelzeichen dieses Buches	9	4.5.1	Zweck der Spannungstransformation	72
Internationale Formelzeichen	10	4.5.2	Spannungsebenen	72
1 Grundlagen		4.5.3	Umspannwerke	73
1.1 Stromstärke, Widerstand, Spannung	11	4.5.4	Leitungen und Kabel	76
1.2 Schaltungen von Zweipolen	14	4.5.5	Bemessungsstromstärke von Lasten	78
1.3 Leistung, Arbeit, Energie	16	4.5.6	Spannungsfall an Leitungen	80
1.4 Bezugspfeile	19	4.5.7	Leistungsverlust in Leitungen	83
		4.5.8	Strombelastbarkeit von Installations- leitungen	84
		4.5.9	Überstromschutz von Leitungen	87
2 Elektrisches Feld		5	Verhalten von Transformatoren	
2.1 Elektrische Ladung	22	5.1	Idealer Transformator	93
2.2 Elektrische Feldstärke	23	5.2	Realer Transformator im Leerlauf	95
2.3 Elektrische Flussdichte	24	5.3	Realer Transformator unter Last	97
2.4 Kapazität	24	5.4	Ersatzschaltungen von Transformatoren	99
2.5 Kapazitiver Blindwiderstand	24	5.5	Zeigerdiagramm des belasteten Transformators	101
2.5.1 Ladung und Stromstärke	24	5.6	Kurzschlussstrom und Einschaltstrom	102
2.5.2 Kondensatorstrom bei Sinusspannung	25	5.7	Wirkungsgrad und Arbeitsgrad von Transformatoren	104
2.5.3 Kapazitive Blindleistung	26	5.8	Besondere Transformatoren	105
2.5.4 Kondensator als Blindwiderstand	26	5.8.1	Spartransformator	105
2.6 Elektrisches Feld als Energiespeicher	27	5.8.2	Übertrager	106
2.7 Gleichstrom-Schalten von Kondensatoren	27	5.8.3	Elektronischer Transformator	107
3 Magnetisches Feld		6	Transformatoren im Netz	
3.1 Arten magnetischer Stoffe	29	6.1	Anschlusskennzeichnung	108
3.2 Elektrische Durchflutung	30	6.2	Kleintransformatoren	109
3.3 Magnetische Feldstärke	31	6.3	Lichtbogen-Schweißtransformatoren	114
3.4 Magnetische Flussdichte	31	6.4	Messwandler	116
3.5 Magnetischer Fluss	33	6.5	Einphasentransformatoren für Drehstrom	124
3.6 Magnetischer Verkettungsfluss	33	6.5.1	V-Schaltung	124
3.7 Lorentzkraft	34	6.5.2	Transformatorenengruppe	124
3.8 Induktion	35	6.6	Drehstromtransformatoren	126
3.9 Induktiver Blindwiderstand	39	6.6.1	Allgemeines	126
3.10 Magnetisches Feld als Energiespeicher	43	6.6.2	Eisenkern	126
3.11 Gleichstrom-Schalten von Spulen	43	6.6.3	Wicklung	127
3.12 Grundlagen des Transformators	45	6.6.4	Ölkessel	129
		6.7	Schaltungen von Drehstrom- transformatoren	130
4 Versorgung mit elektrischer Energie			Schaltungen der Wicklungsstränge	130
4.1 Ströme in öffentlichen Netzen	48		Schaltgruppen	132
4.1.1 Stromarten für die Stromversorgung	48		Parallelschalten von Transformatoren	133
4.1.2 Erzeugen von Drehstrom	48		Drehtransformator	135
4.1.3 Spannungen beim Drehstromnetz	49		Transformatoren für mehr als drei Phasen	136
4.1.4 Schaltungen bei Drehstrom	50			
4.1.5 Leistungen bei Drehstrom	51			
4.2 Grundlagen der Stromversorgung	52			
4.3 Wärmekraftwerke	53			
4.3.1 Verbrennungskraftwerke	53			
4.3.2 Kernkraftwerke (Atomkraftwerke)	56			
4.4 Regenerative Stromerzeugung	58			
4.4.1 Wasserkraftwerke	58			
4.4.2 Regenerative thermische Stromerzeugung	59			
4.4.3 Windkraftwerke	61			
4.4.4 PV-Stromerzeugung	65			
4.4.5 Stromerzeugung mit Brennstoffzellen	68			
4.4.6 Ausgleich schwankender Stromerzeugung	70			
			7 Drehende elektrische Maschinen	
			7.1 Einteilung	138
			7.2 Isolierstoffklassen	139
			7.3 Betriebsarten	140
			Allgemeines	140
			Dauerbetrieb S1	140
			Kurzzeitbetrieb S2	140
			Aussetzbetriebsarten	141
			Ununterbrochene periodische Betriebsarten	142

7.4	Bauformen von elektrischen Maschinen	144	9.2.3	Fremderregte Gleichstrommaschine	216
7.5	Leistungsschild	145	9.2.4	Weitere Gleichstrommaschinen	217
7.6	Wartung und Prüfung	146	9.3	Ankerquerfeld	219
7.6.1	Elektrische Prüfungen	146	9.3.1	Entstehung des Ankerquerfeldes	219
7.6.2	Mechanische Prüfungen	151	9.3.2	Wendepole	220
7.7	Schutzarten	155	9.3.3	Kompensationswicklung	220
7.8	Grundgleichungen der drehenden elektrischen Maschinen	157	9.3.4	Querfeldgeneratoren	222
7.9	Anschlussbezeichnung von drehenden elektrischen Maschinen	158	9.3.5	Ankerquerfeld beim Motor	222
8	Maschinen mit bewegtem Magnetfeld		9.4	Gleichstrommaschine als Motor	223
8.1	Erzeugung eines Drehfeldes	163	9.4.1	Wirkung des Ankers	223
8.2	Drehstrommaschinen mit Magnetläufem	166	9.4.2	Kraftmoment und Anzugsstrom	224
8.2.1	Synchrongenerator	166	9.4.3	Einstellen der Umdrehungsfrequenz	225
8.2.2	Synchronmotoren für Drehstrom	171	9.5	Schaltungen von Gleichstrommotoren	225
8.3	Einphasenwechselstrom-Maschinen mit Magnetläufem	173	9.5.1	Fremderregter Motor	226
8.3.1	Einphasengeneratoren	173	9.5.2	Reihenschlussmotor	227
8.3.2	Synchronmotoren für Einphasenwechselstrom	173	9.6	Stromwendermotoren für Wechselstrom	228
8.4	Gleichstrommotoren mit Magnetläufem	175	9.6.1	Aufbau	228
8.4.1	Arten der Schrittmotoren	175	9.6.2	Einphasen-Reihenschlussmotor	229
8.4.2	Ansteuerschaltungen der Schrittmotoren	180	9.6.3	Repulsionsmotor	230
8.4.3	Betriebsverhalten der Schrittmotoren	180	9.6.4	Linearmotor mit Stromwender	231
8.4.4	Elektronikmotor	181	9.6.5	Stromwendermotor für Drehstrom	231
8.5	Maschinen mit Kurzschlussläufem	183	9.7	Fehler bei Stromwendermaschinen	232
8.5.1	Aufbau des Kurzschlussläufers	183	9.8	Wicklungen von Stromwendermotoren	234
8.5.2	Wirkungsweise des Asynchrongenerators	184	9.8.1	Ständerwicklungen von Gleichstrommaschinen	234
8.5.3	Wirkungsweise des Kurzschlussläufermotors	185	9.8.2	Ankerwicklung von Stromwendermaschinen	234
8.5.4	Kurzschlussläufermotoren für Einphasenwechselstrom	188	9.9	Kleinstmotoren mit Kommutierung	238
8.6	Schleifringläufemaschinen	190	9.9.1	Mechanische Kommutierung	238
8.7	Sonstige Motoren mit bewegtem Magnetfeld	193	9.9.2	Elektronische Kommutierung	239
8.7.1	Wirbelstromläufermotoren	193	9.9.3	Getriebe für Kleinstmotoren	240
8.7.2	Reluktanzmotoren	193			
8.7.3	Polumschaltbare Motoren	194			
8.7.4	Spannungsumschaltbare Motoren	196			
8.8	Linearantriebe	196			
8.8.1	Linearantrieb mit drehendem Motor	196			
8.8.2	Wechselstrom-Linearmotoren	197			
8.8.3	Linearschrittmotoren	199			
8.8.4	Schwingankermotoren	200			
8.8.5	Piezomotoren	200			
8.8.6	Gleichstrom-Linearmotoren	202			
8.9	Wechselstromwicklungen	203			
8.9.1	Drehstromwicklungen	203			
8.9.2	Einphasenwicklungen	207			
8.9.3	Umwickeln von Wechselstromwicklungen	209			
8.10	Fehler bei Drehfeldmaschinen	210			
9	Stromwendermaschinen				
9.1	Aufbau von Gleichstrommaschinen	212			
9.2	Wirkungsweise von Gleichstrommaschinen	215			
9.2.1	Kurvenform der induzierten Spannung	215			
9.2.2	Wirkungsweise bei der Spannungs-erzeugung	216			
10	Umformer				
10.1	Motorgenerator	241			
10.2	Asynchrone Frequenzumformer	241			
10.3	Sonstige Umformer	242			
11	Antriebstechnik				
11.1	Steuern und Regeln	243			
11.1.1	Steuern	243			
11.1.2	Regeln	243			
11.1.3	Schaltende Regeleinrichtungen	245			
11.1.4	Stetige Regeleinrichtungen	245			
11.1.5	Kennzeichnung der Regelstrecke	246			
11.1.6	Steuern und Regeln mit dem PC	247			
11.1.7	Regeln mit Digitalregler	248			
11.1.8	GRAFCET	250			
11.2	Kleinsteuerungen	253			
11.2.1	Elemente von LOGO!	253			
11.2.2	Bearbeiten eines LOGO!-Projektes	255			
11.2.3	Erweiterter Ausbau einer LOGO!	255			
11.3	Speicherprogrammierbare Steuerungen	257			
11.3.1	SPS-Grundlagen	257			
11.3.2	Funktionen einer SPS	258			
11.3.3	Ablaufsteuerungen mit SPS	260			
11.3.4	Bussysteme für SPS	261			
11.3.5	Eingabe-Ausgabe-Einheiten	262			
11.3.6	Fehlersichere Kommunikation	263			
11.4	Komponenten für Steuerungen	265			
11.4.1	Nockenhalter	265			
11.4.2	Schütze	266			
11.4.3	Hilfsstromkreise	269			

11.4.4	Halbleiterbauelemente	275	12.4	Mittelspannungsnetze	349
11.4.5	Halbleiterbaugruppen	281	12.4.1	Bemessungsspannung und Aufgaben	349
11.5	Anlassen von Drehfeldmotoren	285	12.4.2	Netzaufbau	349
11.5.1	Allgemeine Bestimmungen	285	12.4.3	Elektrische Wirkung auf die Umgebung	350
11.5.2	Anlassschaltungen für Drehstrom-Kurzschlussläufermotoren	285	12.5	Hochspannungsnetze	351
11.5.3	Einfache Schützschaltungen	287	12.5.1	Bemessungsspannung und Aufgaben	351
11.5.4	Polumschaltungen	290	12.5.2	Netzaufbau beim 110-kV-Netz	351
11.5.5	Stern-Dreieck-Schützschaltungen	292	12.5.3	Netzaufbau der Höchstspannungsnetze	353
11.5.6	Anlassschaltungen für Schleifringläufermotoren	293	12.5.4	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung HGÜ	354
11.5.7	Allgemeine Schützschaltung	294	12.6	Erdungsanlagen	356
11.5.8	Elektronische Motorstarter	295	12.7	Beeinflussung der Netze	358
11.6	Anlasserberechnung beim Schleifringläufermotor	298	12.7.1	Blindleistung	358
11.7	Bremsen von Drehstrommotoren	299	12.7.2	Oberschwingungen	361
11.7.1	Mechanisches Bremsen mit elektrischer Steuerung	299	12.7.3	Stromqualität	364
11.7.2	Elektrisches Bremsen	300	12.7.4	Kompensation von Oberschwingungen	365
11.7.3	Verlustwärme beim Anlauf und Bremsen	303	12.7.5	Regelung der Netzspannung	366
11.8	Steuerung von Stromwendermotoren	304	12.8	Bau von Hochspannungsanlagen	368
11.9	Motorschutz	308	12.8.1	Isolatoren	369
11.10	Stromrichter zur Drehzahlsteuerung	310	12.8.2	Armaturen	371
11.10.1	Drehzahlsteuerung beim Universalmotor	310	12.9	Intelligente Stromnetze (Smart Grids)	374
11.10.2	Drehzahlsteuerung beim fremderregten Gleichstrommotor	311	12.10	Messen von Oberschwingungen	375
11.10.3	Drehzahlsteuerung mit Gleichstromsteller	313	13	Maßnahmen für die Betriebssicherheit	
11.10.4	Umrichter	314	13.1	Sicherheit beim Arbeiten in elektrischen Anlagen	377
11.10.5	Stromzwischenkreis-Umrichter	316	13.2	Systemformen im Niederspannungsnetz	381
11.10.6	Umrichter mit Pulsamplitudenmodulation	316	13.3	Schutzmaßnahmen	383
11.10.7	Umrichter mit Pulsweitenmodulation	318	13.3.1	Berührungsarten	383
11.10.8	Direktumrichter	319	13.3.2	Stromgefährdung	383
11.10.9	Untersynchrone Stromrichterkaskade	320	13.3.3	Basischutz	384
11.10.10	Doppelt speisender Asynchrongenerator	320	13.3.4	Maßnahmen für zugleich Basischutz und Fehlerschutz	384
11.11	Servomotoren	322	13.3.5	Fehlerschutz	385
11.11.1	Anforderungen an Servomotoren	322	13.3.6	Zusätzlicher Schutz	390
11.11.2	Drehstrommotoren als Servomotoren	323	13.3.7	Schutz in elektrotechnisch überwachten Anlagen	391
11.11.3	Gleichstrommotoren als Servomotoren	327	13.3.8	Schutzeleiter und Schutzzpotential-Ausgleichsleiter	392
11.12	Hybridantriebe	329	13.4	Prüfungen	393
11.13	Antriebssysteme betreiben	331	13.4.1	Schutzklassen der Betriebsmittel	393
11.13.1	Auftragsakquisition	331	13.4.2	Betätigungsselemente in der Nähe berührungsgefährlicher Teile	393
11.13.2	Auftragsplanung	331	13.4.3	Prüfungen der Elektroinstallation	394
11.13.3	Auftragsdurchführung	332	13.4.4	Durchführung der Prüfungen	399
11.13.4	Auftragskontrolle	335	13.5	Elektromagnetische Verträglichkeit EMV	401
12	Übertragungsnetze		13.6	SSV-Anlagen	408
12.1	Netzformen	336	13.7	Elektrische Ausrüstung von Maschinen	413
12.2	Niederspannungsnetze	337	13.7.1	Anwendungsbereich	413
12.2.1	Netzaufbau	337	13.7.2	Begriffe	413
12.2.2	Niederspannungs-Freileitungen	339	13.7.3	Allgemeine Anforderungen	413
12.2.3	Tragmaste	339	13.7.4	Netzanschlüsse, Trenneinrichtung und Schalter	414
12.2.4	Endmaste	342	13.7.5	Schutz gegen elektrischen Schlag	415
12.2.5	Abspannmaste	343	13.7.6	Schutz der Ausrüstung	415
12.2.6	Abgespannte Maste	343	13.7.7	Potenzialausgleich	417
12.2.7	Winkelmaste	343	13.7.8	Steuerstromkreise	417
12.2.8	Winkeltragmaste	344	13.7.9	Bedienerschnittstellen	419
12.2.9	Sondermaste	344	13.7.10	Anordnung der Schaltgeräte	419
12.3	Hausanschluss	345	13.7.11	Leiter, Leitungen, Kabel	419
12.3.1	Ausführung des Hausabschlusses	345			
12.3.2	Bemessen der Leitungen bis zu den Stromkreisverteilern	346			

13.7.12	Verdrahtungstechnik	419
13.7.13	Sonstige Anforderungen	420
13.8	Umweltbelastungen der Elektrotechnik	421

14 Planung von elektrischen Anlagen

14.1	Projektmanagement	423
14.2	Lastenheft, Pflichtenheft	423
14.3	Projektende	423
14.4	Projektieren einer Gebäudeinstallation	425
14.4.1	Planungsgrundlagen	425
14.4.2	Leitungsführung in Wohngebäuden	427
14.4.3	Kommunikationsanlagen	428
14.5	Projektieren einer Maschinen-ausrüstung	429
14.5.1	Auswahl eines Elektromotors	429
14.5.2	Stromversorgung, Schutzeinrichtungen	431
14.5.3	Steuerleitungen	432
14.5.4	Schaltungsaufbau	433
14.5.5	Weg zur sicheren Maschine	434

15 Internet

15.1	Internet-Kommunikation	438
15.2	Gefahren durch das Internet	439
15.3	Firewall-Systeme	440

16 Vertiefende Bereiche

16.1	Theorie der Asynchronmaschine	441
16.1.1	Oberschwingungen	441
16.1.2	Ersatzschaltung der Asynchronmaschine	443
16.1.3	Ortskurve	445
16.1.4	Leerlaufversuch und Kurzschlussversuch	446
16.1.5	Auswertung der Ortskurve	447
16.1.6	Rechengang beim Kreisdiagramm	449
16.1.7	Verfeinertes Kreisdiagramm	451
16.2	Weitere Dreiphasenwicklungen	454
16.2.1	Einschichtwicklungen	454
16.2.2	Zweischichtwicklungen	455
16.2.3	Polumschaltbare Wicklungen	457

17 Anhang

17.1	Größen und Einheiten	460
17.2	Wichtige Normen	462
17.3	Teile des VDE-Vorschriftenwerkes	465
17.4	Teile von VDE 0100	466
17.5	Kurzformen von Fachbegriffen	468
	Literaturverzeichnis	470
17.6	Sachwortverzeichnis	471
17.7	Firmen und Dienststellen	479