

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen		4.6	Zeigerdiagramm des belasteten Transformators der Energietechnik	53
1.1	Allgemeines	9	4.7	Kurzschlußstrom und Einschaltstrom	54
1.2	Stromstärke, Widerstand, Spannung	10	4.7.1	Kurzschlußstrom beim Transformator	54
1.3	Schaltungen von Zweipolen	13	4.7.2	Einschaltstrom beim Transformator	55
1.4	Leistung, Arbeit, Energie	15	4.8	Wirkungsgrad von Transformatoren	56
1.5	Bezugspfeile	18	4.9	Besondere Transformatoren	57
2	Grundgesetze des elektrischen Feldes		4.9.1	Spartransformator	57
2.1	Elektrische Ladung	21	4.9.2	Übertrager	58
2.2	Elektrische Feldstärke	22	4.9.3	Elektronische Transformatoren	60
2.3	Elektrische Flußdichte	23	5	Bauarten von Transformatoren	
2.4	Kapazität	23	5.1	Anschlußkennzeichnung	61
2.5	Kapazitiver Blindwiderstand	23	5.2	Kleintransformatoren	62
2.5.1	Ladung und Stromstärke	23	5.3	Lichtbogen-Schweißtransformatoren	67
2.5.2	Kondensatorstrom bei Sinusspannung	24	5.4	Meßwandler	69
2.5.3	Kapazitive Blindleistung	25	5.5	Einphasentransformatoren für Drehstrom	73
2.5.4	Abhängigkeit des kapazitiven Blindwiderstandes	25	5.5.1	Eigenschaften von Drehstrom	73
2.6	Elektrisches Feld als Energiespeicher	26	5.5.2	V-Schaltung	76
3	Grundgesetze des magnetischen Feldes		5.5.3	Transformatorengruppe	77
3.1	Arten magnetischer Stoffe	27	5.6	Drehstromtransformatoren	79
3.2	Elektrische Durchflutung	28	5.6.1	Allgemeines	79
3.3	Magnetische Feldstärke	29	5.6.2	Eisenkern	80
3.4	Magnetische Flußdichte	29	5.6.3	Wicklung	81
3.5	Lorentzkraft	31	5.6.4	Ölkessel	83
3.6	Induktion	32	5.7	Schaltungen von Drehstromtransformatoren	84
3.6.1	Lenzsche Regel	32	5.7.1	Schaltungen der Wicklungsstränge	84
3.6.2	Induktion durch Bewegung	32	5.7.2	Schaltgruppen	86
3.6.3	Induktion durch Änderung des magnetischen Flusses	33	5.7.3	Parallelschalten von Transformatoren	87
3.6.4	Wirbelströme	34	5.7.4	Drehtransformator	87
3.6.5	Selbstinduktion	35	5.7.5	Transformatoren für mehr als drei Phasen	90
3.7	Induktiver Blindwiderstand	36	6	Allgemeines über umlaufende elektrische Maschinen	
3.7.1	Induktivität	36	6.1	Einteilung	92
3.7.2	Phasenverschiebung	36	6.2	Isolierstoffklassen	93
3.7.3	Darstellung mit Zeigern	37	6.3	Betriebsarten	94
3.7.4	Wechselstromleistungen	38	6.3.1	Allgemeines	94
3.7.5	Wechselstromwiderstände	39	6.3.2	Dauerbetrieb S1	94
3.8	Magnetisches Feld als Energiespeicher	40	6.3.3	Kurzzeitbetrieb S2	94
4	Transformatorprinzip		6.3.4	Aussetzbetriebsarten	95
4.1	Allgemeines	41	6.3.5	Ununterbrochener periodischer Betrieb mit Aussetzbelastung S6	96
4.2	Idealer Transformator	43	6.3.6	Ununterbrochener periodischer Betrieb mit elektrischer Bremsung S7	97
4.3	Realer Transformator im Leerlauf	46	6.3.7	Ununterbrochener periodischer Betrieb mit Drehzahländerung S8	97
4.4	Realer Transformator unter Last	47	6.3.8	Ununterbrochener Betrieb mit nichtperiodischer Last- und Drehzahländerung	98
4.4.1	Magnetischer Streufluß	47	6.4	Bauformen von elektrischen Maschinen	98
4.4.2	Kurzschlußspannung	48	6.5	Leistungsschild	99
4.4.3	Lastspannung	50			
4.5	Ersatzschaltungen von Transformatoren	50			

6.6	Wartung und Prüfung	100	7.7.7	Gleichstromlinearmotoren	155
6.6.1	Elektrische Prüfungen	100	7.7.8	Schwingankermotoren.....	156
6.6.2	Mechanische Prüfungen	105	7.8	Einführung in die Theorie der	
6.7	Schutzarten	110		Asynchronmaschine	157
6.7.1	Schutzart IP	110	7.8.1	Entstehen und Folgen von	
6.7.2	Sonderschutzarten	111		Oberschwingungen	157
6.8	Grundgleichungen der		7.8.2	Ersatzschaltung	
	elektrischen Maschinen	111		der Asynchronmaschine	159
6.8.1	Drehmomentgleichung	111	7.8.3	Ortskurve	161
6.8.2	Spannungsgleichung	112	7.8.4	Leerlaufversuch	
6.9	Anschlußkennzeichnung von			und Kurzschlußversuch	162
	elektrischen Maschinen	112	7.8.5	Auswertung der Ortskurve	163
6.9.1	Drehsinn	112	7.8.6	Rechengang beim Kreisdiagramm	165
6.9.2	Anschlußkennzeichnung bei Maschinen		7.8.7	Verfeinertes Kreisdiagramm.....	167
	ohne Stromwender	113	7.9	Einfache Dreiphasenwicklungen	169
6.9.3	Anschlußkennzeichnung bei		7.9.1	Entstehung der Wicklungsdarstellung ...	169
	Stromwendermaschinen	115	7.9.2	Kenngrößen der Dreiphasenwicklung....	170
			7.9.3	Felderregerkurve	171
			7.9.4	Entwurf einer Einschichtwicklung	
7	Drehfeldmaschinen			als Durchmesserwicklung.....	172
7.1	Erzeugung des Drehfeldes	117	7.10	Weitere Dreiphasenwicklungen	174
7.1.1	Prinzip	117	7.10.1	Ausführungsmöglichkeiten von	
7.1.2	Erzeugung des Drehfeldes durch zwei			Einschichtwicklungen.....	174
	phasenverschobene Wechselströme.....	117	7.10.2	Zweischichtwicklungen	176
7.1.3	Erzeugung des Drehfeldes		7.10.3	Polumschaltbare Wicklungen.....	178
	durch Drehstrom.....	119	7.11	Einphasenwicklungen	181
7.2	Drehstrommaschinen		7.11.1	Allgemeines	181
	mit Magnetläufern	120	7.11.2	Kenngrößen der Einphasenwicklung	182
7.2.1	Synchrongenerator	120	7.11.3	Entwurf des Wicklungsplanes	182
7.2.2	Synchronmotoren für Drehstrom	125	7.12	Umwickeln von	
7.3	Einphasenwechselstrom-Maschinen			Wechselstromwicklungen	183
	mit Magnetläufern	127	7.13	Fehler bei Drehfeldmaschinen	184
7.3.1	Einphasengeneratoren.....	127			
7.3.2	Synchronmotoren für		8	Stromwendermaschinen	
	Einphasenwechselstrom.....	127	8.1	Aufbau von Gleichstrommaschinen	186
7.4	Gleichstrommotoren		8.2	Wirkungsweise von	
	mit Magnetläufern	129		Gleichstromgeneratoren	189
7.4.1	Arten der Schrittmotoren.....	129	8.2.1	Kurvenform der induzierten Spannung..	189
7.4.2	Steuerschaltungen von Schrittmotoren.	134	8.2.2	Wirkungsweise bei der	
7.4.3	Betriebsverhalten	136		Spannungserzeugung	190
7.4.4	Elektronikmotor	137	8.3	Grundsätzliche Schaltungen der	
7.5	Maschinen mit Kurzschlußläufern	138		Gleichstromgeneratoren	191
7.5.1	Aufbau des Kurzschlußläufers	138	8.3.1	Fremderregter Generator.....	191
7.5.2	Wirkungsweise		8.3.2	Nebenschlußgenerator	191
	des Asynchrongenerators.....	139	8.3.3	Reihenschlußgenerator.....	192
7.5.3	Wirkungsweise		8.3.4	Doppelschlußgenerator	
	des Kurzschlußläufermotors	140		(Compound-Generator).....	193
7.5.4	Kurzschlußläufermotoren		8.3.5	Fremderregter Generator mit	
	für Einphasenwechselstrom	143		Reihenschluß-Hilfswicklung	193
7.6	Schleifringläufermotoren	145	8.4	Ankerquerfeld	194
7.6.1	Aufbau des Schleifringläufermotors	145	8.4.1	Entstehung des Ankerquerfeldes.....	194
7.6.2	Wirkungsweise des		8.4.2	Wendepole	195
	Schleifringläufermotors	145	8.4.3	Kompensationswicklung.....	195
7.6.3	Betriebsverhalten des		8.4.4	Querfeldgeneratoren	197
	Schleifringläufermotors	147	8.5	Wirkungsweise von	
7.7	Sonstige Motoren mit			Gleichstrommotoren	198
	bewegtem Magnetfeld	149	8.5.1	Allgemeines	198
7.7.1	Wirbelstromläufermotoren.....	149	8.5.2	Drehmoment und Anzugsstrom	198
7.7.2	Reluktanzmotoren	149	8.5.3	Einstellen der Umdrehungsfrequenz.....	199
7.7.3	Polumschaltbare Motoren	150	8.5.4	Ankerstrom und Ankerquerfeld	200
7.7.4	Spannungsumschaltbare Motoren	152	8.6	Schaltungen von Gleichstrommotoren .	201
7.7.5	Wechselstrom-Linearmotoren	152			
7.7.6	Linearschrittmotoren.....	154			

8.7	Stromwendermotoren für Einphasenwechselstrom	204	10.7.5	Drehzahlsteuerung von Stromwendermotoren	266
8.7.1	Aufbau	204	10.8	Motorschutz	268
8.7.2	Einphasen-Reihenschlußmotor	205	10.9	Stromrichter zur Drehzahlsteuerung	270
8.7.3	Repulsionsmotor	206	10.9.1	Drehzahlsteuerung beim Universalmotor	270
8.7.4	Linearmotor mit Stromwender	207	10.9.2	Drehzahlsteuerung beim fremderregten Gleichstrommotor	271
8.8	Stromwendermotoren für Drehstrom	208	10.9.3	Drehzahlsteuerung mit Gleichstromsteller	273
8.9	Gleichstromwicklungen	208	10.9.4	Umrichter	274
8.9.1	Ständerwicklung von Gleichstrommotoren	208	10.9.5	Stromzwischenkreis-Umrichter	275
8.9.2	Ankerwicklung von Stromwendermaschinen	209	10.9.6	Umrichter mit Pulsamplitudenmodulation	275
8.10	Fehler bei Stromwendermotoren	218	10.9.7	Umrichter mit Pulsweitenmodulation	277
9	Umformer		10.9.8	Direktumrichter	278
9.1	Motorgenerator	220	10.9.9	Untersynchrone Stromrichter-kaskade	279
9.2	Asynchrone Frequenzumformer	220	10.10	Servomotoren	279
9.3	Einankerumformer	222	10.10.1	Anforderungen an Servomotoren	279
9.4	Schlupffrequenzumformer	223	10.10.2	Drehstrommotoren als Servomotoren	280
9.5	Umformer für USV-Anlagen	224	11	Vernetzung der elektrischen Maschinen	
10	Anwendung von Elektromotoren		11.1	Topologie der Netze	285
10.1	Auswahl eines Elektromotors	226	11.2	Beeinflussung der Netze durch elektrische Maschinen	287
10.2	Steuerung und Regelung	226	11.2.1	Blindleistung	287
10.3	Baugruppen für Motorsteuerung	229	11.2.2	Oberschwingungen	290
10.3.1	Nockenschalter	229	12	Schutzmaßnahmen	
10.3.2	Schütze	230	12.1	Sicherheit beim Arbeiten in elektrischen Anlagen	293
10.3.3	Halbleiterbauelemente	231	12.2	Netzformen	296
10.3.4	Halbleiterschütze	237	12.3	Schutzmaßnahmen gegen direktes Berühren	297
10.3.5	Halbleiterbaugruppen	238	12.4	Schutzmaßnahmen bei indirektem Berühren	298
10.4	Anlassen von Drehfeldmotoren	242	12.4.1	Fehlerarten	298
10.4.1	Allgemeine Bestimmungen	242	12.4.2	Netzformunabhängige Schutzmaßnahmen	299
10.4.2	Anlaßschaltungen für Drehstrom-Kurzschlußläufermotoren	242	12.4.3	Netzformabhängige Schutzmaßnahmen	301
10.4.3	Einfache Schützsicherungen	244	12.5	Schutz gegen elektrischen Schlag	304
10.4.4	Polumschaltungen	247	12.5.1	Schutzklassen der Betriebsmittel	304
10.4.5	Stern-Dreieck-Schützsicherungen	249	12.5.2	Betätigungselemente in der Nähe berührungsgefährlicher Teile	304
10.4.6	Anlaßschaltungen für Schleifringläufermotoren	250	12.6	Prüfungen der Elektroinstallation	305
10.4.7	Elektronische Motorstarter	251	12.6.1	Allgemeines	305
10.5	Anlasserberechnung beim Schleifringläufermotor	254	12.6.2	Meßgeräte	305
10.5.1	Läuferwiderstand und Läuferstrom	254	12.6.3	Spezielle Meßverfahren	305
10.5.2	Berechnung des Anlaßwiderstandes	254	12.6.4	Durchführung der Prüfungen	308
10.5.3	Aufteilung des Anlaßwiderstandes	255	12.7	Sicherstellung der EMV	311
10.6	Bremsen von Drehstrom-Asynchronmotoren	256	12.7.1	EMV und Überspannungen	311
10.6.1	Mechanisches Bremsen mit elektrischer Steuerung	256	12.7.2	EMV und elektromagnetische Felder	311
10.6.2	Elektrisches Bremsen	259	Anhang		
10.6.3	Verlustwärme beim Anlauf und Bremsen von Asynchronmotoren	262	Wichtige Normen		314
10.7	Steuerung von Stromwendermotoren	263	Sachwortverzeichnis		316
10.7.1	Anlassen von Einphasen-Reihenschlußmotoren	263	Literaturverzeichnis		323
10.7.2	Anlassen von Gleichstrom-Reihenschlußmotoren	264	Verzeichnis der Firmen und Dienststellen		324
10.7.3	Anlassen von fremderregten Gleichstrommotoren	265			
10.7.4	Anlasserberechnung bei Gleichstrommotoren	266			