

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Grundlagen</b>				
1.1	Stromstärke, Widerstand, Spannung	11	4.5.5	Bemessungsstromstärke von Lasten	75
1.2	Schaltungen von Zweipolen	14	4.5.6	Spannungsfall an Leitungen	77
1.3	Leistung, Arbeit, Energie	16	4.5.7	Leistungsverlust in Leitungen	79
1.4	Bezugspfeile	19	4.5.8	Strombelastbarkeit von Installations- leitungen	81
			4.5.9	Überstromschutz von Leitungen	83
<b>2</b>	<b>Elektrisches Feld</b>		<b>5</b>	<b>Verhalten von Transformatoren</b>	
2.1	Elektrische Ladung	22	5.1	Idealer Transformator	85
2.2	Elektrische Feldstärke	23	5.2	Realer Transformator im Leerlauf	87
2.3	Elektrische Flussdichte	24	5.3	Realer Transformator unter Last	89
2.4	Kapazität	24	5.4	Ersatzschaltungen von Transformatoren	91
2.5	Kapazitiver Blindwiderstand	24	5.5	Zeigerdiagramm des belasteten Transformators	93
2.5.1	Ladung und Stromstärke	24	5.6	Kurzschlussstrom und Einschaltstrom	94
2.5.2	Kondensatorstrom bei Sinusspannung	25	5.7	Wirkungsgrad und Arbeitsgrad von Transformatoren	96
2.5.3	Kapazitive Blindleistung	26	5.8	Besondere Transformatoren	97
2.5.4	Kapazitiver Blindwiderstand	26	5.8.1	Spartransformator	97
2.6	Elektrisches Feld als Energiespeicher	27	5.8.2	Übertrager	98
			5.8.3	Elektronischer Transformator	100
<b>3</b>	<b>Magnetisches Feld</b>		<b>6</b>	<b>Bauarten von Transformatoren</b>	
3.1	Arten magnetischer Stoffe	28	6.1	Anschlusskennzeichnung	101
3.2	Elektrische Durchflutung	29	6.2	Kleintransformatoren	102
3.3	Magnetische Feldstärke	30	6.3	Lichtbogen-Schweißtransformatoren	107
3.4	Magnetische Flussdichte	30	6.4	Messwandler	109
3.5	Magnetischer Fluss	32	6.5	Einphasentransformatoren für Drehstrom	115
3.6	Magnetischer Verkettungsfluss	32	6.5.1	V-Schaltung	115
3.7	Lorentzkraft	33	6.5.2	Transformatorengruppe	115
3.8	Induktion	34	6.6	Drehstromtransformatoren	117
3.9	Induktiver Blindwiderstand	38	6.6.1	Allgemeines	117
3.10	Magnetisches Feld als Energiespeicher	42	6.6.2	Eisenkern	117
3.11	Grundlagen des Transformators	43	6.6.3	Wicklung	118
			6.6.4	Ölkessel	120
<b>4</b>	<b>Versorgung mit elektrischer Energie</b>		6.7	Schaltungen von Drehstromtransfor- matoren	121
4.1	Ströme in öffentlichen Netzen	46	6.7.1	Schaltungen der Wicklungsstränge	121
4.1.1	Stromarten für die Stromversorgung	46	6.7.2	Schaltgruppen	123
4.1.2	Erzeugen von Drehstrom	46	6.7.3	Parallelschalten von Transformatoren	124
4.1.3	Spannungen beim Drehstromnetz	47	6.7.4	Drehtransformator	126
4.1.4	Schaltungen bei Drehstrom	48	6.7.5	Transformatoren für mehr als drei Phasen	127
4.1.5	Leistung bei Drehstrom	49			
4.2	Grundlagen der Stromversorgung	50	<b>7</b>	<b>Drehende elektrische Maschinen</b>	
4.3	Wärme kraftwerke	51	7.1	Einteilung	129
4.3.1	Verbrennungskraftwerke	51	7.2	Isolierstoffklassen	130
4.3.2	Kernkraftwerke (Atomkraftwerke)	53	7.3	Betriebsarten	131
4.4	Regenerative Stromerzeugung	55	7.3.1	Allgemeines	131
4.4.1	Wasserkraftwerke	55	7.3.2	Dauerbetrieb S1	131
4.4.2	Regenerative thermische Stromerzeugung	56	7.3.3	Kurzzeitbetrieb S2	131
4.4.3	Windkraftwerke	58	7.3.4	Aussetzbetriebsarten	132
4.4.4	PV-Stromerzeugung	62	7.3.5	Ununterbrochene periodische Betriebs- arten	133
4.4.5	Stromerzeugung mit Brennstoffzellen	65			
4.4.6	Ausgleich schwankender Stromerzeugung	68	7.4	Bauformen von elektrische Maschinen	135
4.5	Stromtransport	69			
4.5.1	Zweck der Spannungstransformation	69			
4.5.2	Spannungsebenen	69			
4.5.3	Umspannwerke	70			
4.5.4	Leitungen und Kabel	73			

<b>7.5</b>	<b>Leistungsschild</b> .....	136	<b>9.2.3</b>	<b>Fremderregte Gleichstrommaschine</b> .....	207
<b>7.6</b>	<b>Wartung und Prüfung</b> .....	137	<b>9.2.4</b>	<b>Weitere Gleichstrommaschinen</b> .....	208
<b>7.6.1</b>	Elektrische Prüfungen .....	137	<b>9.3</b>	<b>Ankerquerfeld</b> .....	210
<b>7.6.2</b>	Mechanische Prüfungen .....	142	<b>9.3.1</b>	Entstehung des Ankerquerfeldes .....	210
<b>7.7</b>	<b>Schutzarten</b> .....	146	<b>9.3.2</b>	Wendepole .....	211
<b>7.8</b>	<b>Grundgleichungen der drehenden elektrischen Maschinen</b> .....	148	<b>9.3.3</b>	Kompensationswicklung .....	211
<b>7.9</b>	<b>Anschlussbezeichnung von drehenden elektrischen Maschinen</b> .....	149	<b>9.3.4</b>	Querfeldgeneratoren .....	213
			<b>9.3.5</b>	Ankerquerfeld beim Motor .....	213
<b>8</b>	<b>Drehfeldmaschinen</b>		<b>9.4</b>	<b>Gleichstrommaschine als Motor</b> .....	214
<b>8.1</b>	<b>Erzeugung eines Drehfeldes</b> .....	154	<b>9.4.1</b>	Wirkung des Ankers .....	214
<b>8.2</b>	<b>Drehstrommaschinen mit Magnetläufern</b> .....	157	<b>9.4.2</b>	Kraftmoment und Anzugsstrom .....	215
<b>8.2.1</b>	Synchrongenerator .....	157	<b>9.4.3</b>	Einstellen der Umdrehungsfrequenz .....	216
<b>8.2.2</b>	Synchronmotoren für Drehstrom .....	162	<b>9.5</b>	<b>Schaltungen von Gleichstrommotoren</b> .....	216
<b>8.3</b>	<b>Einphasenwechselstrom-Maschinen mit Magnetläufern</b> .....	164	<b>9.5.1</b>	Fremderregter Motor .....	217
<b>8.3.1</b>	Einphasengeneratoren .....	164	<b>9.5.2</b>	Reihenschlussmotor .....	218
<b>8.3.2</b>	Synchronmotoren für Einphasenwechselstrom .....	164	<b>9.6</b>	<b>Stromwendermotoren für Wechselstrom</b> .....	219
<b>8.4</b>	<b>Gleichstrommotoren mit Magnetläufern</b> .....	166	<b>9.6.1</b>	Aufbau .....	219
<b>8.4.1</b>	Arten der Schrittmotoren .....	166	<b>9.6.2</b>	Einphasen-Reihenschlussmotor .....	220
<b>8.4.2</b>	Steuerschaltungen der Schrittmotoren .....	171	<b>9.6.3</b>	Repulsionsmotor .....	221
<b>8.4.3</b>	Betriebsverhalten der Schrittmotoren .....	171	<b>9.6.4</b>	Linearmotor mit Stromwender .....	222
<b>8.4.4</b>	Elektronikmotor .....	172	<b>9.6.5</b>	Stromwendermotor für Drehstrom .....	222
<b>8.5</b>	<b>Maschinen mit Kurzschlussläufern</b> .....	174	<b>9.7</b>	<b>Fehler bei Stromwendermaschinen</b> .....	223
<b>8.5.1</b>	Aufbau des Kurzschlussläufers .....	174	<b>9.8</b>	<b>Wicklungen von Stromwendermotoren</b> .....	225
<b>8.5.2</b>	Wirkungsweise des Asynchrongenerators .....	175	<b>9.8.1</b>	Ständerwicklungen von Gleichstrommaschinen .....	225
<b>8.5.3</b>	Wirkungsweise des Kurzschlussläufermotors .....	176	<b>9.8.2</b>	Ankerwicklung von Stromwendermaschinen .....	225
<b>8.5.4</b>	Kurzschlussläufermotoren für Einphasenwechselstrom .....	179	<b>9.9</b>	<b>Kleinstmotoren mit Kommutierung</b> .....	229
<b>8.6</b>	<b>Schleifringläufermaschinen</b> .....	181	<b>9.9.1</b>	Mechanische Kommutierung .....	229
<b>8.7</b>	<b>Sonstige Motoren mit bewegtem Magnetfeld</b> .....	184	<b>9.9.2</b>	Elektronische Kommutierung .....	230
<b>8.7.1</b>	Wirbelstromläufermotoren .....	184	<b>9.9.3</b>	Getriebe für Kleinstmotoren .....	231
<b>8.7.2</b>	Reluktanzmotoren .....	184			
<b>8.7.3</b>	Polumschaltbare Motoren .....	185	<b>10</b>	<b>Umformer</b>	
<b>8.7.4</b>	Spannungsumschaltbare Motoren .....	187	<b>10.1</b>	<b>Motorgenerator</b> .....	232
<b>8.8</b>	<b>Linearantriebe</b> .....	187	<b>10.2</b>	<b>Asynchrone Frequenzumformer</b> .....	232
<b>8.8.1</b>	Linearantrieb mit drehendem Motor .....	187	<b>10.3</b>	<b>Sonstige Umformer</b> .....	233
<b>8.8.2</b>	Wechselstrom-Linearmotoren .....	188			
<b>8.8.3</b>	Linearschrittmotoren .....	190	<b>11</b>	<b>Antriebstechnik</b>	
<b>8.8.4</b>	Schwingankermotoren .....	191	<b>11.1</b>	<b>Steuern und Regeln</b> .....	234
<b>8.8.5</b>	Piezomotoren .....	191	<b>11.1.1</b>	Steuern .....	234
<b>8.8.6</b>	Gleichstrom-Linearmotoren .....	193	<b>11.1.2</b>	Regeln .....	234
<b>8.9</b>	<b>Wechselstromwicklungen</b> .....	194	<b>11.1.3</b>	Schaltende Regeleinrichtungen .....	236
<b>8.9.1</b>	Drehstromwicklungen .....	194	<b>11.1.4</b>	Stetige Regeleinrichtungen .....	236
<b>8.9.2</b>	Einphasenwicklungen .....	198	<b>11.1.5</b>	Kennzeichnung der Regelstrecke .....	237
<b>8.9.3</b>	Umwickeln von Wechselstromwicklungen .....	200	<b>11.1.6</b>	Steuern und Regeln mit dem PC .....	238
<b>8.10</b>	<b>Fehler bei Drehfeldmaschinen</b> .....	201	<b>11.1.7</b>	Regeln mit Digitalregler .....	239
			<b>11.1.8</b>	GRAFCET .....	241
<b>9</b>	<b>Stromwendermaschinen</b>		<b>11.2</b>	<b>Kleinststeuerungen</b> .....	244
<b>9.1</b>	<b>Aufbau von Gleichstrommaschinen</b> .....	203	<b>11.2.1</b>	Elemente von LOGO! .....	244
<b>9.2</b>	<b>Wirkungsweise von Gleichstrommaschinen</b> .....	206	<b>11.2.2</b>	Bearbeiten eines LOGO!-Projektes .....	246
<b>9.2.1</b>	Kurvenform der induzierten Spannung .....	206	<b>11.2.3</b>	Erweiterter Ausbau einer LOGO! .....	246
<b>9.2.2</b>	Wirkungsweise bei der Spannungserzeugung .....	207	<b>11.3</b>	<b>Speicherprogrammierbare Steuerungen</b> .....	248
			<b>11.3.1</b>	SPS-Grundlagen .....	248
			<b>11.3.2</b>	Funktionen einer SPS .....	249
			<b>11.3.3</b>	Ablaufsteuerungen mit SPS .....	251
			<b>11.3.4</b>	Bussysteme für SPS .....	252
			<b>11.4</b>	<b>Komponenten für Steuerungen</b> .....	253
			<b>11.4.1</b>	Nockenhalter .....	253
			<b>11.4.2</b>	Schütze .....	254
			<b>11.4.3</b>	Hilfsstromkreise .....	257
			<b>11.4.4</b>	Halbleiterbauelemente .....	262

11.4.5	Halbleiterbaugruppen .....	268	12.4.1	Bemessungsspannung und Aufgaben ....	337
<b>11.5</b>	<b>Anlassen von Drehfeldmotoren .....</b>	<b>272</b>	12.4.2	Netzaufbau .....	337
11.5.1	Allgemeine Bestimmungen .....	272	12.4.3	Elektrische Wirkung auf die Umgebung ...	338
11.5.2	Anlassschaltungen für Drehstrom- Kurzschlussläufermotoren .....	272	<b>12.5</b>	<b>Hochspannungsnetze .....</b>	<b>339</b>
11.5.3	Einfache Schützsicherungen .....	274	12.5.1	Bemessungsspannung und Aufgaben ....	339
11.5.4	Polumschaltungen .....	277	12.5.2	Netzaufbau beim 110-kV-Netz .....	339
11.5.5	Stern-Dreieck-Schützsicherungen .....	279	12.5.3	Netzaufbau der Höchstspannungsnetze ..	341
11.5.6	Anlassschaltungen für Schleifringläufer- motoren .....	280	12.5.4	Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragung HGÜ .....	342
11.5.7	Elektronische Motorstarter .....	281	<b>12.6</b>	<b>Erdungsanlagen .....</b>	<b>344</b>
<b>11.6</b>	<b>Anlasserberechnung beim Schleifring- läufermotor .....</b>	<b>284</b>	<b>12.7</b>	<b>Beeinflussung der Netze .....</b>	<b>346</b>
<b>11.7</b>	<b>Bremsen von Drehstrommotoren .....</b>	<b>286</b>	12.7.1	Blindleistung .....	346
11.7.1	Mechanisches Bremsen mit elektrischer Steuerung .....	286	12.7.2	Oberschwingungen .....	349
11.7.2	Elektrisches Bremsen .....	287	12.7.3	Stromqualität .....	352
11.7.3	Verlustwärme beim Anlauf und Bremsen ..	290	12.7.4	Kompensation von Oberschwingungen ...	353
<b>11.8</b>	<b>Steuerung von Stromwendermotoren ...</b>	<b>291</b>	12.7.5	Regelung der Netzspannung .....	354
<b>11.9</b>	<b>Motorschutz .....</b>	<b>295</b>	<b>12.8</b>	<b>Bau von Hochspannungsanlagen .....</b>	<b>356</b>
<b>11.10</b>	<b>Stromrichter zur Drehzahlsteuerung .....</b>	<b>297</b>	12.8.1	Isolatoren .....	357
11.10.1	Drehzahlsteuerung beim Universalmotor ..	297	12.8.2	Armaturen .....	359
11.10.2	Drehzahlsteuerung beim fremderregten Gleichstrommotor .....	298	<b>13</b>	<b>Maßnahmen für die</b>	
11.10.3	Drehzahlsteuerung mit Gleichstrom- steller .....	300		<b>Betriebssicherheit</b>	
11.10.4	Umrichter .....	301	<b>13.1</b>	<b>Sicherheit beim Arbeiten in elektrischen</b>	
11.10.5	Stromzwischenkreis-Umrichter .....	303		<b>Anlagen .....</b>	<b>362</b>
11.10.6	Umrichter mit Pulsamplitudenmodulation ..	303	<b>13.2</b>	<b>Systemformen im Niederspannungsnetz ..</b>	<b>366</b>
11.10.7	Umrichter mit Pulsweitenmodulation .....	305	<b>13.3</b>	<b>Schutzmaßnahmen .....</b>	<b>368</b>
11.10.8	Direktumrichter .....	306	13.3.1	Berührungsarten .....	368
11.10.9	Untersynchrone Stromrichteraskade .....	307	13.3.2	Stromgefährdung .....	368
11.10.10	Doppelt speisender Asynchrongenerator ..	307	13.3.3	Basisschutz .....	369
<b>11.11</b>	<b>Servomotoren .....</b>	<b>309</b>	13.3.4	Maßnahmen für zugleich Basisschutz und Fehlerschutz .....	369
11.11.1	Anforderungen an Servomotoren .....	309	13.3.5	Fehlerschutz .....	370
11.11.2	Drehstrommotoren als Servomotoren .....	310	13.3.6	Zusätzlicher Schutz .....	375
11.11.3	Gleichstrommotoren als Servomotoren ...	314	13.3.7	Schutz in elektrotechnisch überwachten Anlagen .....	376
<b>11.12</b>	<b>Hybridantriebe .....</b>	<b>316</b>	13.3.8	Schutzleiter und Schutzpotenzial- Ausgleichsleiter .....	377
<b>11.13</b>	<b>Antriebssysteme betreiben .....</b>	<b>319</b>	<b>13.4</b>	<b>Prüfungen .....</b>	<b>378</b>
11.13.1	Auftragsakquisition .....	319	13.4.1	Schutzklassen der Betriebsmittel .....	378
11.13.2	Auftragsplanung .....	319	13.4.2	Betätigungselemente in der Nähe berührungsgefährlicher Teile .....	378
11.13.3	Auftragsdurchführung .....	320	13.4.3	Prüfungen der Elektroinstallation .....	379
11.13.4	Auftragskontrolle .....	323	13.4.4	Durchführung der Prüfungen .....	384
<b>12</b>	<b>Übertragungsnetze .....</b>		<b>13.5</b>	<b>Elektromagnetische Verträglichkeit EMV ..</b>	<b>386</b>
<b>12.1</b>	<b>Netzformen .....</b>	<b>324</b>	<b>13.6</b>	<b>SSV-Anlagen .....</b>	<b>393</b>
<b>12.2</b>	<b>Niederspannungsnetze .....</b>	<b>325</b>	<b>13.7</b>	<b>Elektrische Ausrüstung von Maschinen ...</b>	<b>398</b>
12.2.1	Netzaufbau .....	325	13.7.1	Anwendungsbereich .....	398
12.2.2	Niederspannungs-Freileitungen .....	327	13.7.2	Begriffe .....	398
12.2.3	Tragmaste .....	327	13.7.3	Allgemeine Anforderungen .....	398
12.2.4	Endmaste .....	330	13.7.4	Netzanschlüsse, Trenneinrichtung und Schalter .....	399
12.2.5	Abspannmaste .....	331	13.7.5	Schutz gegen elektrischen Schlag .....	400
12.2.6	Abgespannte Maste .....	331	13.7.6	Schutz der Ausrüstung .....	400
12.2.7	Winkelmaste .....	331	13.7.7	Potenzialausgleich .....	402
12.2.8	Winkeltragmaste .....	332	13.7.8	Steuerstromkreise .....	402
12.2.9	Sondermaste .....	332	13.7.9	Bedienerschnittstellen .....	403
<b>12.3</b>	<b>Hausanschluss .....</b>	<b>333</b>	13.7.10	Anordnung der Schaltgeräte .....	404
12.3.1	Ausführung des Hausabschlusses .....	333	13.7.11	Leiter, Leitungen, Kabel .....	404
12.3.2	Bemessen der Leitungen bis zu den Stromkreisverteilern .....	335	13.7.12	Verdrahtungstechnik .....	404
<b>12.4</b>	<b>Mittelspannungsnetze .....</b>	<b>337</b>	13.7.13	Sonstige Anforderungen .....	405
			<b>13.8</b>	<b>Umweltbelastungen der Elektrotechnik ..</b>	<b>406</b>

## 14 Planung von elektrischen Anlagen

14.1	Projektmanagement .....	408
14.2	Lastenheft, Pflichtenheft .....	409
14.3	Projektende .....	409
14.4	Projektieren einer Gebäudeinstallation ...	410
14.4.1	Planungsgrundlagen .....	410
14.4.2	Leitungsführung in Wohngebäuden .....	412
14.4.3	Kommunikationsanlagen .....	413
14.5	Projektieren einer Maschinen- ausrüstung .....	414
14.5.1	Auswahl eines Elektromotors .....	414
14.5.2	Stromversorgung, Schutzeinrichtungen ..	416
14.5.3	Steuerleitungen .....	417
14.5.4	Schaltungsaufbau .....	418
14.5.5	Weg zur sicheren Maschine .....	419

## 15 Internet

15.1	Internet-Kommunikation .....	421
15.2	Gefahren durch das Internet .....	422
15.3	Firewall-Systeme .....	423

## 16 Vertiefende Bereiche

16.1	Theorie der Asynchronmaschine .....	424
16.1.1	Oberschwingungen .....	424
16.1.2	Ersatzschaltung der Asynchronmaschine ..	426
16.1.3	Ortskurve .....	428
16.1.4	Leerlaufversuch und Kurzschlussversuch ..	429
16.1.5	Auswertung der Ortskurve .....	430
16.1.6	Rechengang beim Kreisdiagramm .....	432
16.1.7	Verfeinertes Kreisdiagramm .....	434
16.2	Weitere Dreistromwicklungen .....	437
16.2.1	Einschichtwicklungen .....	437
16.2.2	Zweischichtwicklungen .....	438
16.2.3	Polumschaltbare Wicklungen .....	440

## 17 Anhang

17.1	Größen und Einheiten .....	444
17.2	Wichtige Normen .....	446
17.3	Teile des VDE-Vorschriftenwerkes .....	448
17.4	Teile von VDE 0100 .....	449
17.5	Kurzformen von Fachbegriffen .....	451
	Literaturverzeichnis .....	453
17.6	Sachwortverzeichnis .....	454
17.7	Firmen und Dienststellen .....	464