

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Dreiphasenwechselfspannung und -strom .....</b>	<b>13</b>
1.1	Erzeugung und Beschreibungsformen .....	13
1.2	Verkettung .....	16
1.3	Komplexe Darstellung .....	20
1.4	Leistung im Wechselstromkreis .....	22
1.5	Symmetrische Belastung im Dreiphasen-System .....	27
1.6	Vergleich des Leitungsaufwands: Einphasen- und Dreiphasen-System .....	34
1.7	Wirkungsgrad .....	34
1.8	Aufgaben .....	36
<b>2</b>	<b>Drehstrom-Asynchronmotor .....</b>	<b>39</b>
2.1	Kenndaten und Betriebsbedingungen .....	40
2.1.1	Leistungsschild .....	41
2.1.2	Baugrößen, Bauformen, Aufstellungsarten und Klemmkasten-Lage (DIN EN 60034-7) .....	43
2.1.3	Schutzarten .....	44
2.1.4	Thermische Klassen/Wärmeklassen/Temperaturklassen .....	44
2.1.5	Kühlarten .....	46
2.1.6	Betriebsarten elektrischer Maschinen (DIN EN 60034-1) .....	47
2.1.7	Energieeffizienz .....	48
2.1.8	Drehsinn .....	51
2.1.9	Technische Anschlussbedingungen .....	52
2.1.10	Belastung beim Anlauf .....	53
2.1.11	Motorauswahl .....	54
2.1.12	Antriebsanalyse .....	55
2.1.13	Life Cycle Costs .....	57
2.1.14	Aufgaben .....	58
2.2	Aufbau und Wirkungsweise des Drehstrommotors .....	60
2.2.1	Entstehung des Drehfeldes .....	61
2.2.2	Drehfeldbestimmung .....	66
2.2.3	Läufer oder Rotor .....	67
2.2.4	Aufgaben .....	69

2.3	Entstehung der Drehbewegung .....	72
2.3.1	Grundgleichungen .....	75
2.3.2	Hochlaufkennlinie .....	76
2.3.3	Stromverdrängungsläufer .....	77
2.3.4	Aufgaben .....	80
2.4	Betriebsverhalten .....	84
2.4.1	Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie .....	84
2.4.2	Leerlauf- und Kurzschlusskennlinie .....	87
2.4.3	Ersatzschaltbild des Asynchronmotors .....	88
2.4.4	Betriebszustände .....	89
2.4.5	Leistungsbilanz .....	93
2.4.6	Bemessungsspannung und -frequenz .....	94
2.4.7	Aufgaben .....	97
2.5	Anlassverfahren: klassisch .....	99
2.5.1	Direktanlauf .....	100
2.5.2	Stern-Dreieck-Anlauf .....	101
2.5.3	Kusa-Schaltung .....	104
2.5.4	Anlasstransformator .....	106
2.5.5	Anlassdrosseln .....	106
2.5.6	Anlasswiderstände .....	107
2.5.7	Läuferanlasser .....	107
2.5.8	Aufgaben .....	109
2.6	Anlassverfahren: modern .....	115
2.6.1	Hybrid-Motorstarter .....	116
2.6.2	Softstarter .....	118
2.6.3	Frequenzumrichter .....	120
2.7	Drehzahländerung .....	122
2.7.1	Frequenz- und Schlupfvariation .....	122
2.7.2	Polumschaltung .....	122
2.7.3	Aufgaben .....	129

### **3 Projektierung des Motorabgangs .....** **135**

3.1	Motorschutz .....	135
3.1.1	Überlastschutz .....	136
3.1.2	Thermisches Überlastrelais (Motorschutzrelais) .....	142
3.1.3	Motorschutzschalter .....	144
3.1.4	Elektronisches Überlastrelais .....	149
3.1.5	Thermistorschutz (Motor-Vollschutz) .....	152
3.1.6	Motorschutz- und Schütz-Dimensionierung (Y- $\Delta$ -Schaltung) .....	153

3.1.7	Zusammenfassung .....	154
3.1.8	Aufgaben .....	155
3.2	Einbauanleitung und Inbetriebnahmeanleitung .....	162
3.3	Störungen – Ursachen – Beseitigung .....	163
3.4	Bremsen .....	164
3.4.1	Elektrische Bremsverfahren .....	164
3.4.2	Elektrische Bremsen mit Anbaukomponenten .....	166
3.4.3	Mechanische Bremse .....	171
3.4.4	Störungen an der Bremse .....	174
3.5	Drehrichtungsumkehr .....	175
3.5.1	Drehrichtungsumkehr – schützgesteuert .....	175
3.5.2	Drehrichtungsumkehr – elektronisch .....	177
3.5.3	Aufgaben .....	178
3.6	Motorzuleitung .....	180
3.6.1	Kurzschlusschutz .....	181
3.6.2	Überlastschutz .....	182
3.6.3	Projektierungsschritte .....	182
3.6.4	Auswahlkriterien für Niederspannungssicherungen .....	187
3.6.5	Leitungsschutzsicherungen .....	188
3.6.6	Leitungsschutzschalter .....	191
3.6.7	Leistungsschalter .....	193
3.6.8	Schutz von Motorstromkreisen mit Motorstartern .....	193
3.6.9	Aufgaben .....	194
3.7	Kompensation .....	197
3.7.1	Leistungsbetrachtung .....	197
3.7.2	Kompensationsarten .....	201
3.7.3	Ermittlung der erforderlichen Kompensationsleistung .....	204
3.7.4	Einzelkompensation von Motoren .....	206
3.7.5	Kompensation in einem Netz mit Oberschwingungen .....	207
3.7.6	Aufgaben .....	210

**4 Auslegung nach Mechanik .....** **213**

4.1	Grundlagen .....	213
4.1.1	Lastmomente .....	215
4.1.2	Stabilität im Arbeitspunkt .....	217
4.1.3	Aufgaben .....	219
4.2	Aspekte der Antriebsauslegung .....	221
4.2.1	Statische Antriebsauslegung .....	221
4.2.2	Dynamische Antriebsauslegung .....	223

4.2.3	Getriebe .....	226
4.2.4	Umwandlung der Translation in Rotation .....	230
4.2.5	Thermische Antriebsauslegung .....	232
4.2.6	Positionierung .....	234
4.2.7	Aufgaben .....	236
4.3	Beschleunigung und Hochlaufzeiten .....	236
4.3.1	Berechnung von Hochlaufzeiten .....	237
4.3.2	Aufgaben .....	242
<b>5</b>	<b>Softstarter .....</b>	<b>247</b>
5.1	Grundlagen .....	247
5.2	Schaltungsarten .....	254
5.3	Sanftanlasser-Auswahl .....	255
5.4	Kurzbeschreibung: Einstellparameter .....	255
5.5	Projektierung .....	257
5.6	Auswahl-Tools für Sanftanlasser .....	260
5.7	Aufgaben .....	263
<b>6</b>	<b>Frequenzumrichter .....</b>	<b>265</b>
6.1	Übersicht .....	265
6.2	Frequenzumrichter-Arten .....	268
6.3	Stellbereich .....	277
6.4	87-Hz-Eckfrequenz .....	278
6.5	Auslegung .....	281
6.6	Boost .....	282
6.7	Bremswiderstand .....	282
6.8	Aufgaben .....	286
<b>7</b>	<b>EMV – Elektromagnetische Verträglichkeit .....</b>	<b>289</b>
7.1	Übersicht .....	289
7.2	Messen von Wechselgrößen .....	296
7.2.1	Arithmetischer Mittelwert .....	296
7.2.2	Gleichrichtwert .....	297
7.2.3	Quadratischer Mittelwert .....	298
7.2.4	Mischgrößen .....	299
7.2.5	Formfaktor .....	299
7.2.6	Scheitelfaktor .....	300
7.2.7	Grund- und Oberschwingungsgehalt .....	300
7.2.8	Aufgaben .....	301

7.3	Elektrische Antriebe als Störquelle .....	303
7.4	Netzqualitätskriterien .....	305
7.5	Messungen der Netzqualität .....	307
7.6	Die 3. Oberschwingung .....	311
7.7	Auswirkungen von Oberschwingungen .....	312
7.8	Normen: Grenzwerte für Oberschwingungsströme .....	313
7.9	Auswirkungen des FU-Betriebs auf den Motor .....	316
7.10	Filter und Drosseln .....	318
7.10.1	Filter .....	318
7.10.2	Netzdrossel .....	320
7.10.3	Motordrossel .....	321
7.10.4	Sinusfilter .....	322
7.10.5	Harmonic-/EMI-/EMV-Filter .....	323
7.10.6	$du/dt$ -Filter .....	324
7.10.7	Zwischenkreisdrosseln .....	324
7.10.8	Passive und aktive Oberschwingungsfilter .....	325
7.11	Motorleitung .....	326
7.12	Schutzleiterstrom .....	327
7.13	EMV-verträgliche Installation .....	336
7.14	Aufgaben .....	340
<b>8</b>	<b>Komplexaufgaben .....</b>	<b>343</b>
<b>A</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>349</b>
A.1	Normen für „drehende elektrische Maschinen“ .....	349
A.2	Auswahlhilfe für Elektromotoren (NORD) .....	351
A.3	Thermisches Überlastrelais (Motorschutzrelais) .....	352
A.3.1	Auswahltabelle .....	352
A.3.2	Kurzschlusschutz des thermischen Überlastrelais (Motorschutzrelais) .....	352
A.4	Motorschutzschalter .....	353
A.5	Kompensationstabelle .....	355
A.6	Sanftstarter .....	357
A.7	Frequenzumrichter .....	358
	<b>Bildquellen .....</b>	<b>359</b>
	<b>Literatur und Tools .....</b>	<b>361</b>
	<b>Index .....</b>	<b>365</b>