

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b> . . . . .	5
<b>1 Schaltgeräte und Grundschaltungen</b> . . . . .	11
1.1 Bedeutung der Schaltzeichen . . . . .	11
1.2 Schaltgeräte . . . . .	24
1.2.1 Schaltkontakte . . . . .	24
1.2.2 Bemessungsdaten von Schaltgeräten . . . . .	32
1.2.3 Schalter und deren Einteilung . . . . .	39
1.2.3.1 Schalter in der Einteilung nach dem Schaltvermögen . . . . .	41
1.2.3.2 Schalter in der Einteilung nach dem Verwendungszweck . . . . .	42
1.2.4 Meldeleuchten . . . . .	57
1.2.5 Relais . . . . .	59
1.2.5.1 Zeitrelais . . . . .	60
1.2.5.2 Stromstoßschalter (Stromstoßrelais) . . . . .	63
1.2.5.3 Stromrelais (Stromwächter) . . . . .	63
1.2.5.4 Spannungsrelais (Spannungswächter) . . . . .	64
1.2.5.5 Phasenüberwachungsrelais (Phasenwächter) . . . . .	64
1.2.5.6 Isolationsüberwachungsrelais (Isolationswächter) . . . . .	64
1.2.5.7 Druckwächter . . . . .	66
1.2.5.8 Temperaturwächter . . . . .	66
1.2.5.9 Drehzahlwächter . . . . .	67
1.2.6 Wächter und Begrenzer . . . . .	68
1.2.7 Schütze . . . . .	68
1.2.7.1 Aufbau und Wirkungsweise . . . . .	68
1.2.7.2 Lebensdauer . . . . .	73
1.2.7.3 Ölschütze . . . . .	73
1.2.7.4 Remanenzschütze . . . . .	73
1.2.7.5 Elektronikschütze . . . . .	74
1.2.8 Steckvorrichtungen . . . . .	75
1.2.8.1 Schutzkontakt-(Schuko-)Steckvorrichtung . . . . .	76
1.2.8.2 Perilex-Steckvorrichtung . . . . .	77
1.2.8.3 Industrie-Steckvorrichtungen nach VDE 0623 (CEE-Steckvorrichtung) . . . . .	78
1.2.9 Schutzeinrichtungen . . . . .	80
1.2.9.1 D- und DO-System DIN VDE 0636-3 (VDE 0636-3) September 2011 . . . . .	81
1.2.9.2 Geräteschutz-Sicherungssystem (DIN VDE 0820) . . . . .	88
1.2.9.3 Niederspannungs-Hochleistungssicherungen (NH-Sicherungen) nach DIN VDE 0636-2 (VDE 0636-2) September 2011 . . . . .	89
1.2.9.4 Leitungsschutzschalter nach DIN VDE 0641 bzw. 0660 . . . . .	91
1.2.9.5 Selektive Haupt-Leitungsschutzschalter nach DIN VDE 0641-21 (VDE 0641-21) Oktober 2011 . . . . .	100
1.2.9.6 Motorschutzschalter (Motorstarter) . . . . .	102
1.2.9.7 Leistungsschalter . . . . .	106
1.2.9.8 Thermisches Überstromrelais (Bimetallrelais) . . . . .	108
1.2.9.9 Motorvollschatz . . . . .	110
1.3 Stromkreise . . . . .	111
1.3.1 Hauptstromkreis (Laststromkreis) . . . . .	111
1.3.2 Steuer- und Meldestromkreise . . . . .	112

1.3.3	Bestimmungen für Steuerungsanlagen nach DIN EN 60 204-1 (VDE 0113-1) Juni 2007; Sicherheit von Maschinen . . . . .	114
1.3.3.1	Allgemeine Anforderungen . . . . .	115
1.3.3.2	Schutzmaßnahmen gegen elektrischen Schlag . . . . .	116
1.3.3.3	Abweichungen bei der Anwendung der Schutzmaßnahmen . . . . .	116
1.3.3.4	Leitungen und Kabel . . . . .	117
1.3.3.5	Unterspannungsschutz . . . . .	120
1.3.3.6	Schutz bei Spannungsausfall . . . . .	120
1.3.3.7	Start-/Stopp-Funktion . . . . .	120
1.3.3.8	Handlungen im Notfall (NOT-AUS, NOT-HALT bzw. Gefahrenschalter) . . . . .	121
1.3.3.9	Zuleitung und Netztrenneinrichtung (alt: Hauptschalter) . . . . .	122
1.3.3.10	Schutz gegen nichtelektrische Gefahren im Fehlerfall . . . . .	125
1.3.3.11	Steuerstromkreise, Steuerspannung . . . . .	128
1.3.3.12	Prüfungen . . . . .	130
1.3.3.13	Technische Unterlagen . . . . .	131
1.3.3.14	Fragebogen für die elektrische Ausrüstung von Maschinen wie im Anhang B der DIN EN 60 204-1 (VDE 0113-1) Juni 2007 . . . . .	132
1.4	Schaltungsunterlagen (DIN EN 61 346) . . . . .	132
1.4.1	Zeichenregeln . . . . .	134
1.4.2	Übersichtsschaltplan . . . . .	138
1.4.3	Stromlaufpläne . . . . .	139
1.4.3.1	Stromlaufplan in zusammenhängender Darstellung (der frühere Wirksschaltplan) . . . . .	140
1.4.3.2	Stromlaufplan in aufgelöster Darstellung (der frühere Stromlaufplan) . . . . .	140
1.4.4	Geräteverdrahtungsplan . . . . .	144
1.4.5	Anschlussplan . . . . .	144
1.4.6	Verbindungsplan . . . . .	145
1.4.7	Anordnungsplan . . . . .	146
1.4.8	Aderzahlermittlung mit Hilfe von Potentialzahlen . . . . .	146
1.5	Funktionsbeschreibung . . . . .	149
1.6	Steuerungsentwurf mit Grundschatungen . . . . .	150
1.6.1	Allgemein . . . . .	150
1.6.2	Grundschatungen . . . . .	152
1.6.2.1	Tippbetrieb . . . . .	152
1.6.2.2	Haltegliedsteuerung . . . . .	152
1.6.2.3	Folgeschaltung . . . . .	153
1.6.2.4	Verzögerungsfolgeschaltungen . . . . .	153
1.6.2.5	Verriegelungsschaltungen . . . . .	154
1.6.2.6	Kontrollschatungen . . . . .	156
1.6.2.7	Sonderschaltungen für Gleichstrombetrieb . . . . .	157
1.6.2.8	Schaltungsaufbau mit einem Steuertransformator . . . . .	158
1.7	Steuerungsbeispiele . . . . .	159
1.7.1	Kühlanlage . . . . .	160
1.7.2	Kusa-Schaltung (Kurzschlussläufermotor-Sanftanlauf) . . . . .	161
1.7.3	Automatische $\lambda$ - $\Delta$ -Anlassschaltung . . . . .	163
1.7.4	Dahlander-Schützschaltung . . . . .	164
1.7.5	Begrenzungssteuerung (Wendeschützschaltung) . . . . .	166
1.7.6	Kaskadenschaltung . . . . .	166
1.7.7	Schleifringläufer-Selbstanlasserschaltung . . . . .	167
1.7.8	Bremswächterschaltung . . . . .	170
1.7.9	Selbsttätige Netzumschaltung . . . . .	170
2	Darstellung von Steuerungen mit Schaltzeichen für binäre Schaltungen	
2.1	Binäre Steuerungen . . . . .	171
2.1.1	Signalpegel . . . . .	171

2.1.2	Wahrheitstabelle . . . . .	172
2.1.3	Grundform des Schaltzeichens für binäre Schaltungen . . . . .	172
2.1.4	Negierung von Signalen . . . . .	173
2.1.5	Binäre Verknüpfungsglieder . . . . .	174
2.1.5.1	Und-Verknüpfung . . . . .	174
2.1.5.2	Oder-Verknüpfung . . . . .	174
2.1.5.3	Nicht-Funktion . . . . .	175
2.1.5.4	Nand-Funktion . . . . .	176
2.1.5.5	Nor-Funktion . . . . .	176
2.1.5.6	Speicherglieder . . . . .	177
2.1.5.7	Verzögerungsglieder . . . . .	181
2.2	Steuerungsdarstellung durch Funktionspläne . . . . .	182
2.2.1	Darstellung von Verknüpfungssteuerungen . . . . .	183
2.2.2	Darstellung von Aktionen . . . . .	184
2.2.2.1	Unterschiede zwischen den Normen DIN EN 61 131 und DIN EN 60 848 . . . . .	185
2.2.2.2	Unterschiede bei Transitionen . . . . .	185
2.2.2.3	Unterschiede bei Aktionen . . . . .	185
2.3	Ablaufsteuerungen . . . . .	190
3	Speicherprogrammierbare Steuerungen . . . . .	197
3.1	Allgemein . . . . .	197
3.2	Funktion speicherprogrammierbarer Steuerungen . . . . .	198
3.3	Aufbau einer speicherprogrammierbaren Steuerung . . . . .	199
3.3.1	Stromversorgung . . . . .	201
3.3.2	Digitale Eingabebaugruppen . . . . .	201
3.3.3	Digitale Ausgabebaugruppen . . . . .	202
3.3.4	Zentralbaugruppe . . . . .	205
3.3.5	Zeitbaugruppen . . . . .	205
3.3.6	Bussystem . . . . .	206
3.3.7	Speicherbaugruppen . . . . .	206
3.3.8	Baugruppen für besondere Anwendungen . . . . .	209
3.4	Programmierung speicherprogrammierbarer Steuerungen . . . . .	210
3.4.1	Aufbau einer Anweisung . . . . .	210
3.4.2	Operationsvorrat speicherprogrammierbarer Steuerungen . . . . .	211
3.4.3	Programmierung der Grundverknüpfungen als Anweisungsliste . . . . .	213
3.4.3.1	Und-Verknüpfung . . . . .	214
3.4.3.2	Oder-Verknüpfung . . . . .	214
3.4.3.3	Nicht-Verknüpfung . . . . .	215
3.4.3.4	Nand-Verknüpfung . . . . .	216
3.4.3.5	Nor-Verknüpfung . . . . .	217
3.4.3.6	Speicherglieder . . . . .	218
3.4.3.7	Bistabile Kippglieder . . . . .	219
3.4.3.8	Zeitglieder . . . . .	220
3.4.4	Programmeingabe in speicherprogrammierbare Steuerungen . . . . .	221
4	Grundlagen der Leistungselektronik . . . . .	229
4.1	Grundbegriffe der Stromrichtertechnik . . . . .	229
4.1.1	Steuern der Energieflossrichtung . . . . .	230
4.1.2	Einteilung der Stromrichter nach der Art der Kommutierung . . . . .	231
4.1.3	Schutz von Stromrichtern . . . . .	231
4.1.4	Ungesteuerte Stromrichter (Gleichrichter) . . . . .	234
4.1.4.1	1-Puls-Schaltung (1-Weg-Schaltung) M1 . . . . .	234
4.1.4.2	2-Puls-Mittelpunktschaltung M2 . . . . .	235
4.1.4.3	2-Puls-Brückenschaltung B2 . . . . .	235
4.1.4.4	3-Puls-Mittelpunktschaltung M3 . . . . .	236
4.1.4.5	6-Puls-Brückenschaltung (Drehstrom-Brückenschaltung) B6 . . . . .	236
4.1.5	Dimensionierungshinweise für Gleichrichterschaltungen . . . . .	237

4.1.5.1	Spannungsbeanspruchung der Dioden	238
4.1.5.2	Strombeanspruchung der Dioden	238
4.1.5.3	Sicherungsauslegung	238
4.2	Gesteuerter Stromrichter	239
4.2.1	Gesteuerte 1-Puls-Mittelpunktschaltung M1C	239
4.2.1.1	M1C-Schaltung mit Widerstandslast	240
4.2.1.2	M1C-Schaltung mit induktiver Last	240
4.2.2	Gesteuerte 3-Puls-Mittelpunktschaltung M3C	242
4.2.2.1	M3C-Schaltung mit Widerstandslast	242
4.2.2.2	M3C-Schaltung mit induktiver Last	242
4.2.2.3	M3C-Schaltung mit aktiver Last	245
4.2.2.4	Kommutierungsvorgang	249
4.2.3	Gesteuerte 6-Puls-Brückenschaltung B6C	251
4.2.3.1	B6C-Schaltung mit ohmscher Last	251
4.2.3.2	B6C-Schaltung mit induktiver Last	252
4.2.4	Gesteuerte 2-Puls-Brückenschaltung B2C	253
4.2.5	Halbgesteuerte 2-Puls-Brückenschaltung B2H	256
4.2.5.1	Spannungs- und Strombildung	256
4.2.6	Blindleistungsbetrachtung bei gesteuerten Stromrichtern	258
4.2.6.1	Stromober schwingungen	258
4.2.6.2	Blindleistungssparende Schaltungen	260
4.2.7	Steuerkennlinien	262
4.3	Stromrichter für Gleichstrommotoren	263
4.3.1	Aufbau eines typischen 1-Quadrant-Antriebes	264
4.3.1.1	Leistungsteil	264
4.3.1.2	Steuerungs- und Regelungsteil	264
4.3.1.3	Ankerspannungsregelung	267
4.3.2	Aufbau von 4-Quadrant-Antrieben	268
4.3.2.2	4-Quadrant-Antrieb mit 2 gegenparallel geschalteten Stromrichtern (kreisstromfrei)	270
4.3.2.3	Kreisstrom behaftete Gegenparallel schaltung	271
4.4	Gleichstromumrichter (Gleichstromsteller)	273
4.4.1	Gleichstromsteller mit Transistoren	273
4.4.2	Steuerverfahren von Gleichstromstellern	274
4.4.2.1	Impulsbreitensteuerung	275
4.4.2.2	Impulsfolgesteuerung (Frequenzsteuerung)	275
4.4.3	Thyristor-Gleichstromsteller	275
4.4.4	Mehrquadrant-Gleichstromsteller	277
4.4.4.1	Energierückspeisung mit einem Gleichstromsteller	277
4.4.4.2	4-Quadrant-Gleichstromsteller	278
4.5	Wechselstromsteller	280
4.5.1	Wechselstromsteller mit induktiver, ohmsch-induktiver Last	280
4.6	Drehstromsteller	281
4.6.1	Spannungsbildung eines Drehstromstellers mit ohmscher Last	282
4.7	Drehzahlsteuerung von Drehstrommotoren	283
4.7.1	Motorauslegung und Kühlung des Motors	285
4.7.2	Drehzahlverstellung mit Zwischenkreisumrichtern	286
4.7.2.1	Spannung zwischenkreisumrichter (U-Umrichter)	287
4.7.2.2	Stromzwischenkreisumrichter (I-Umrichter)	293
4.7.2.3	Stromrichtermotor	298
4.7.2.4	Direktumrichter	300
4.8	Entwicklungstendenzen in der Leistungselektronik	303
4.8.1	Digitale Steuerung und Regelung	305
4.8.2	Einbindung von Antriebssystemen in übergeordneten Automatisierungssystemen	307
Literaturverzeichnis		309
Stichwortverzeichnis		311