

Inhaltsverzeichnis

1 Steuerungs- und Regelungstechnik für Antriebstechnik, Maschinenbau und Verfahrenstechnik	1
1.1 Grundbegriffe	1
1.1.1 Begriffe und Bezeichnungen	4
1.1.2 Steuern und Regeln	5
1.1.3 Reglereingriff	9
1.1.4 Bauformen von Regelgeräten	9
1.1.5 Signalarten von analogen und digitalen Reglern	15
1.1.6 Prinzipielle Unterschiede	17
1.1.7 Stellglieder	21
1.1.8 Verfahren zum Konstanthalten von physikalischen Größen	23
1.2 Schwerpunkte der Regelungstechnik	26
1.2.1 Aufgaben eines Regelungstechnikers	27
1.2.2 Aufbau von Regelstrecken	27
1.2.3 Strecken mit Ausgleich	31
1.2.4 Strecken ohne Ausgleich	32
1.2.5 Strecken mit Totzeit	34
1.3 Regelstrecken mit Verzögerung	35
1.3.1 Strecken mit einer Verzögerung (1. Ordnung)	37
1.3.2 Strecken mit zwei Verzögerungen (2. Ordnung)	38
1.3.3 Strecken mit mehreren Verzögerungen (höherer Ordnung)	39
1.3.4 Aufnahme der Sprungantwort	40
1.3.5 Kennwerte von Regelstrecken	42
1.3.6 Übertragungsbeiwert und Arbeitspunkt	42
1.4 Stetige Regler	44
1.4.1 P-Regler	45
1.4.2 Proportionalbereich	46
1.4.3 Bleibende Regelabweichung und Arbeitspunkt	48
1.4.4 Regler mit Dynamik	51
1.4.5 I-Regler	52

1.4.6	PI-Regler	53
1.4.7	PD-Regler	56
1.4.8	PID-Regler	59
1.5	Regelkreise mit stetigen Reglern	61
1.5.1	Stabiles und instabiles Verhalten des Regelkreises	62
1.5.2	Führungs- und Störverhalten des Regelkreises	63
1.5.3	Führungsverhalten des Regelkreises	63
1.5.4	Welcher Regler passt zu welcher Regelstrecke?	64
1.5.5	Optimierung von Prozess und Regelstrecke	66
1.5.6	Maßstab für die Regelgüte	68
1.5.7	Einstellung nach der Schwingungsmethode	68
1.5.8	Einstellung nach der Übergangsfunktion bzw. Streckensprungantwort	71
1.5.9	Einstellung nach der Anstiegsgeschwindigkeit	73
1.5.10	Kontrolle der Reglereinstellung	75
1.6	Schaltende Regler	77
1.6.1	Leistungssteuerung mit einem unstetigen Regler	78
1.6.2	Zweipunktregler ohne Dynamik	81
1.6.3	Verlauf der Regelgröße bei Strecken 1. Ordnung	81
1.6.4	Verlauf der Regelgröße bei einer Strecke höherer Ordnung	84
1.6.5	Verlauf der Regelgröße bei Strecken ohne Ausgleich	86
1.6.6	Technische Auslegung von Zweipunktreglern ohne Dynamik	86
1.6.7	Zweipunktregler mit Dynamik	88
1.6.8	Dreipunktregler mit und ohne Dynamik	92
1.6.9	Dreipunktschrittregler	94
1.6.10	Stetiger Regler mit integriertem Stellungsregler für Motorstellglieder	97
2	Dioden in der Leistungselektronik	99
2.1	Aufbau von Dioden	100
2.1.1	Raumladung und Raumladeschicht	101
2.1.2	PN-Übergang unter verschiedenen äußeren Bedingungen	104
2.1.3	PN-Übergang in Sperrrichtung	104
2.1.4	PN-Übergang in Durchlassrichtung	106
2.1.5	Kennlinien von Dioden	109
2.1.6	Farbkennzeichnung von Kleinsignaldioden nach JEDEC und Pro-Electron	112
2.1.7	Montage- und Lötvorschriften	114
2.1.8	Wärmeableitung	116
2.2	Untersuchungen von Dioden	120
2.2.1	Kennlinie einer Diode	120
2.2.2	Statischer und dynamischer Innenwiderstand	123

2.2.3	Dynamische Aufnahme der Kennlinie	124
2.2.4	Kennlinien verschiedener Dioden	128
2.2.5	Aufbau von Datenblättern	129
2.2.6	Begriffserklärungen zu Dioden	131
2.3	Gleichrichterschaltungen mit Dioden	134
2.3.1	Einweggleichrichter	135
2.3.2	Zweiweggleichrichter	138
2.3.3	Brückengleichrichter	140
2.3.4	Drehstrom-Mittelpunkt-Schaltung	142
2.3.5	Drehstrom-Brückengleichrichter	144
2.3.6	Einphasengleichrichter mit Ladekondensator	147
2.3.7	Doppelweggleichrichter mit Ladekondensator	151
2.3.8	Siebschaltungen	153
3	Leistungselektronik mit Thyristoren, TRIACs und IGBTs als	
	Leistungssteller	161
3.1	Vierschichtdioden	162
3.2	Thyristoren	168
3.2.1	Gleichstromzündung eines Thyristors	172
3.2.2	Wechselstromzündung eines Thyristors	175
3.2.3	Impulszündung des Thyristors	177
3.2.4	Dynamisches Verhalten von Thyristoren	179
3.2.5	Löschverfahren	183
3.2.6	Reihen- und Parallelschaltung von Thyristoren	186
3.2.7	Schutzschaltungen	188
3.2.8	Elektromagnetische Verträglichkeit	191
3.2.9	Entstörmaßnahmen an induktiven Lasten	199
3.2.10	Entstörmaßnahmen bei Thyristoren	204
3.3	Thyristoren als Leistungsschalter	206
3.3.1	Schaltende Leistungssteuerung	209
3.3.2	Prinzip der Phasenanschnittsteuerung	210
3.3.3	Phasenanschnittsteuerung mit Thyristor	214
3.3.4	Phasenanschnittsteuerung mit Thyristor im Gleichstromkreis	217
3.3.5	Unijunktions transistor	217
3.3.6	Phasenanschnittsteuerung mit Thyristor im Wechselstromkreis	222
3.3.7	Nullspannungsschalter mit Thyristor	224
3.3.8	Schwingungspaketschalter	226
3.4	Thyristoren als steuerbarer Gleichrichter	229
3.4.1	Halbgesteuerte Brückenschaltung	230
3.4.2	Steuerbarer Gleichrichter in Mittelpunktschaltung	232
3.4.3	Steuerbare Drehstromgleichrichter	232

3.5	Statische Wechselrichter mit Thyristoren	236
3.5.1	Thyristor-Wechselrichter in Mittelpunktschaltung	236
3.5.2	Thyristor-Wechselrichter in Brückenschaltung	239
3.6	Leistungselektronik mit DIAC und TRIAC	241
3.6.1	Aufbau eines DIAC	241
3.6.2	Aufbau eines TRIAC	244
3.6.3	Phasenanschnitt mit DIAC und TRIAC	246
3.7	IC-Leistungselektronik	249
3.7.1	Phasenanschnittsteuerung mit TRIAC	250
3.7.2	Nullspannungsschalter mit TRIAC	252
3.7.3	Schwingungspaketschaltung	253
3.8	IGBT als Leistungssteller	254
3.8.1	Aufbau und Funktionsweise von IGBTs	255
3.8.2	Schaltvorgänge	257
3.8.3	Ansteuerung von IGBTs	260
3.8.4	Asymmetrische Ansteuerung mit Widerstand für die IGBT-Ansteuerung	265
3.8.5	Schaltüberspannung durch di/dt -Regeleingriff	267
3.8.6	Unipolare und bipolare Ansteuerung der IGBTs	269
3.8.7	IGBT-Leistungssteller als Stellglied	272
4	Drehstrommotor	277
4.1	Grundlagen des Asynchronmotors	279
4.1.1	Elektromagnetische Induktion	280
4.1.2	Spule mit Eisenkern	282
4.1.3	Magnetischer Widerstand und magnetischer Leitwert	286
4.1.4	Kraft im Magnetfeld	287
4.1.5	Kraftwirkung eines stromdurchflossenen Leiters im Magnetfeld	293
4.1.6	Induktion der Bewegung	296
4.1.7	Selbstinduktion und magnetische Energie	298
4.1.8	Induktiver Blindwiderstand	300
4.2	Magnetismus und Drehstrom	303
4.2.1	Magnetfeld	303
4.2.2	Schlupf, Moment und Drehzahl	307
4.2.3	Wirkungsgrad und Verlust	310
4.2.4	Drehzahländerungen	314
4.2.5	Motordaten	319
4.2.6	Belastungscharakteristiken	327
4.3	Synchronmotoren	330
4.4	Drehstrom-Reluktanzmotor	332

5	Steuerungen eines Drehstrom-Asynchronmotors	335
5.1	Wirkungsweise eines Asynchronmotors	337
5.1.1	Aufbau von Läuferspulen	339
5.1.2	Sondernut-Motoren	342
5.1.3	Stern- und Dreieckschaltung	347
5.1.4	Sternschaltung im Vierleiternetz	349
5.1.5	Dreieckschaltung	356
5.2	Ansteuerungen von Drehstrommotoren	359
5.2.1	Leitungsschutz	359
5.2.2	Schutzschalter	366
5.2.3	Leistungsschutzschalter	367
5.2.4	Schütz	370
5.2.5	Stern-Dreieck-Schaltung	378
5.3	Starten von Kurzschlussläufermotoren	381
5.3.1	Normaler Stern-Dreieck-Anlauf	381
5.3.2	Verstärkter Stern-Dreieck-Anlauf	386
5.3.3	Autotransformator-Anlauf	389
5.3.4	Anlauf über Drosseln oder Widerstände	389
5.3.5	Mehrstufenmotoren	391
5.4	Elektronischer Softstarter für Drehstrommotoren	393
5.4.1	Realisierung eines Sanftanlaufes	393
5.4.2	Anlaufarten	396
5.4.3	Softstarter-Typen	397
5.4.4	Thermische Belastung beim Start	400
5.5	Anwendungen von Schützsicherungen in der Praxis	402
5.5.1	Einspeisung und Schutzmaßnahmen von elektrischen Anlagen	403
5.5.2	Schützsicherung mit Selbsthaltung	406
5.5.3	Einfache Schützsicherungen	406
5.5.4	Automatischer Stern-Dreieck-Schalter	408
5.5.5	Automatischer Wende-Stern-Dreieck-Schalter	415
5.5.6	Drehstrommotor mit zwei Geschwindigkeiten	420
5.5.7	Drehstrommotor mit drei Geschwindigkeiten	425
5.6	Drehstrommotoren mit Getriebe	429
5.6.1	Drehstromantriebe mit mechanischen Verstellgetrieben	430
5.6.2	Standardgetriebe	434
6	Drehstrommotoren am Frequenzumrichter	445
6.1	Direkter Frequenzumrichter	447
6.1.1	Umrichter mit Zwischenkreis	447
6.1.2	Gleichrichter	449

6.1.3	Funktionen des Zwischenkreises	452
6.1.4	Wechselrichter im Frequenzumrichter	456
6.2	Frequenzumrichter in der Praxis	456
6.2.1	Modulationsverfahren	458
6.2.2	SFAVM und 60°-AVM	461
6.2.3	Steuerkreis des Frequenzumrichters	465
6.2.4	Raum- und Spannungsvektor	469
6.3	Frequenzumrichter und Motoren	479
6.3.1	U/f-Kennlinie und Drehmoment	479
6.3.2	Startspannung, Startausgleich und Schlupfausgleich.	482
6.3.3	Automatische Motoranpassung (AMA).	485
6.3.4	Motordrehmomentregelung	489
6.3.5	Überwachungseinheit mit Watchdog	490
6.3.6	Dynamischer Bremsbetrieb	491
6.3.7	Statischer Bremsbetrieb	494
6.3.8	Funktionale Sicherheit	497
6.4	Berechnungsbeispiele	499
6.4.1	Fahrtrieb mit Frequenzumrichter	499
6.4.2	Hubtrieb mit Frequenzumrichter	504
6.4.3	Kettenförderer mit Frequenzumrichter	509
6.4.4	Rollenbahn mit Frequenzumrichter	511
6.4.5	Drehtischtrieb mit Frequenzumrichter	514
Literaturverzeichnis		517
Stichwortverzeichnis.		519