

Ekbert Hering · Rolf Martin · Jürgen Gutekunst ·  
Joachim Kempkes  
(Hrsg.)

# Elektrotechnik und Elektronik für Maschinenbauer

4., aktualisierte und verbesserte Auflage

# Inhaltsverzeichnis

<b>A</b>	<b>Grundlagen der Elektrotechnik</b>	<b>1</b>
A.1	Physikalische Grundgesetze und Definitionen	1
A.1.1	Ladung	1
A.1.2	Spannung	2
A.1.3	Strom	3
A.1.4	Ohm'sches Gesetz	4
A.1.5	Widerstand	5
A.1.6	Arbeit und Leistung	6
A.1.7	Kirchhoff'sche Regeln	7
A.2	Gleichstromkreise mit linearen Komponenten	10
A.2.1	Zweipolquellen	10
A.2.2	Reihenschaltung von Widerständen	14
A.2.3	Parallelschaltung von Widerständen	15
A.2.4	Gemischte Schaltungen	16
A.2.5	Messung elektrischer Größen	25
A.3	Elektrisches Feld	30
A.3.1	Feldbegriff	30
A.3.2	Kondensator	31
A.3.3	Laden und Entladen von Kondensatoren	34
A.3.4	Energieinhalt des elektrischen Feldes	34
A.4	Magnetisches Feld	37
A.4.1	Feldbegriff	37
A.4.2	Kraftwirkungen im Magnetfeld	41
A.4.3	Materie im Magnetfeld	44
A.4.4	Magnetischer Kreis	47
A.4.5	Elektromagnetische Induktion	55
A.4.6	Selbstinduktion	61
A.4.7	Gegeninduktion	63
A.4.8	Ein- und Ausschalten von Stromkreisen mit Induktivitäten	64
A.4.9	Energieinhalt des magnetischen Feldes	66
A.5	Wechselstromkreise	68
A.5.1	Benennungen und Definitionen	68
A.5.2	Sinusförmige Ströme und Spannungen	71
A.5.3	Zeigerdiagramm	74

A.5.4	Widerstand, Spule und Kondensator bei sinusförmigem Wechselstrom . . . . .	80
A.5.5	Wechselstromschaltungen von Widerstand, Spule und Kondensator . . . . .	83
A.5.6	Blindstromkompensation . . . . .	92
A.5.7	Schwingkreise . . . . .	95
A.5.8	Ortskurven . . . . .	102
A.5.9	Transformator . . . . .	104
A.6	Drehstrom . . . . .	118
A.6.1	Entstehung der Dreiphasenwechselspannung . . . . .	118
A.6.2	Generatorschaltungen . . . . .	119
A.6.3	Verbraucher-Sternschaltung . . . . .	121
A.6.4	Verbraucher-Dreieckschaltung . . . . .	127
A.6.5	Stern-Dreieck-Umschaltung . . . . .	130
A.6.6	Leistungsmessung . . . . .	132
	Literatur . . . . .	135
<b>B</b>	<b>Halbleitertechnik</b> . . . . .	137
B.1	Bauelemente . . . . .	137
B.1.1	Leitungsmechanismen . . . . .	137
B.1.2	Dioden . . . . .	146
B.1.3	Transistoren . . . . .	155
B.1.4	Feldeffekttransistoren (FET) . . . . .	164
B.1.5	Thyristoren und Triacs . . . . .	177
B.1.6	Optoelektronik . . . . .	181
B.2	Analoge integrierte Schaltungen . . . . .	202
B.2.1	Operationsverstärker . . . . .	202
B.2.2	Weitere analoge integrierte Schaltungen . . . . .	206
B.2.3	DA- und AD-Wandler . . . . .	209
B.3	Digitale integrierte Schaltungen . . . . .	219
B.3.1	Logische Verknüpfungen und Schaltzeichen . . . . .	220
B.3.2	Logikfamilien . . . . .	224
	Literatur . . . . .	229
<b>C</b>	<b>Leistungselektronik</b> . . . . .	231
C.1	Bauelemente der Leistungselektronik . . . . .	231
C.1.1	Passive Bauelemente . . . . .	232
C.1.2	Aktive Bauelemente . . . . .	253
C.2	Leistungselektronik in der Praxis . . . . .	265
C.2.1	Anwendung passiver Bauelemente . . . . .	265
C.2.2	Aktorsteuerung . . . . .	269
C.2.3	Brückenschaltungen . . . . .	275
C.2.4	Unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV) . . . . .	282
C.2.5	Spannungswandler . . . . .	288
	Literatur . . . . .	300

<b>D</b>	<b>Elektrische Maschinen</b>	301
D.1	Wirkungsprinzipien elektromechanischer Energiewandler	301
D.1.1	Elektrodynamisches Prinzip	301
D.1.2	Kräfte auf Grenzflächen	302
D.1.3	Prinzipieller Aufbau rotierender elektrischer Maschinen	303
D.2	Leistungsbilanz	306
D.3	Ausführungsvarianten	307
D.4	Ausnutzung und Baugröße	312
D.5	Gleichstrommotor	314
D.5.1	Prinzipieller Aufbau	315
D.5.2	Aufbau des Ankers	316
D.5.3	Kommutierung	318
D.5.4	Induzierte Spannung und Drehmoment	320
D.5.5	Betriebsverhalten	323
D.5.6	Reihenschlussmaschine/Universalmotor	327
D.5.7	Drehzahlverstellung des Universalmotors	329
D.5.8	Typische Daten von Gleichstrommaschinen	330
D.6	Synchronmotor	333
D.6.1	Synchronmotor als elektronisch kommutierter Gleichstrommotor	334
D.6.2	Wechselfelder und Drehfelder	339
D.6.3	Drehfeldwicklungen	342
D.6.4	Ersatzschaltbild und Zeigerdiagramm	345
D.6.5	Drehmoment der Vollpolmaschine	347
D.6.6	Permanent erregter Synchronservomotor	349
D.6.7	Synchronmotoren mit Zahnpulsenwicklung	353
D.6.8	Reluktanzmotor	354
D.6.9	Schrittmotoren	356
D.6.10	Klauenpolgenerator („Lichtmaschine“)	358
D.7	Asynchronmotor	360
D.7.1	Bedeutung der Asynchronmaschine	360
D.7.2	Aufbau und Ersatzschaltbild	360
D.7.3	Stromortskurve der Asynchronmaschine	365
D.7.4	Drehmoment und Kloss'sche Formel	368
D.7.5	Drehzahlverstellung der Asynchronmaschine	370
D.7.6	Einphasen-Asynchronmotor	374
	Literatur	377
<b>E</b>	<b>Antriebstechnik</b>	379
E.1	Prozessbeeinflussung durch elektrische Antriebe	379
E.2	System „Arbeitsmaschine – Antriebsmaschine“	380
E.3	Betriebsarten	381
E.4	Bauformen, Schutzarten, Kühlung, Isolation	383
E.4.1	Bauformen	383
E.4.2	Schutzarten	383
E.4.3	Wärmeklassen und Kühlung	385

E.5	Wirkungsgradklassen . . . . .	388
E.6	Optimale Getriebeübersetzung . . . . .	389
E.6.1	Optimale Getriebeübersetzung ohne Drehzahl-Begrenzung . . . . .	390
E.6.2	Optimale Getriebeübersetzung mit begrenzter Lastdrehzahl . . . . .	392
E.6.3	Optimale Getriebeübersetzung mit begrenzter Motordrehzahl . . . . .	394
E.7	Servoantriebe . . . . .	394
E.7.1	Struktur und Komponenten eines Servoantriebs . . . . .	396
E.7.2	Anforderungen . . . . .	397
E.7.3	Sensoren . . . . .	398
E.8	Aktorsysteme für Massenströme (Stellantriebe) . . . . .	401
E.9	Generatorkonzepte für Windkraftanlagen . . . . .	407
E.9.1	Grundlagen . . . . .	407
E.9.2	Polumschaltbare Asynchrongeneratoren . . . . .	409
E.9.3	Doppelt-gespeister Asynchrongenerator . . . . .	410
E.9.4	Synchrongenerator . . . . .	413
E.10	Elektrische Fahrzeugantriebe . . . . .	414
	Literatur . . . . .	417
<b>F</b>	<b>Elektrische Energieversorgung . . . . .</b>	<b>419</b>
F.1	Energieerzeugung . . . . .	420
F.1.1	Primärenergie . . . . .	420
F.1.2	Belastungskurven . . . . .	421
F.1.3	Kraftwerke . . . . .	423
F.2	Energieübertragung . . . . .	431
F.2.1	Übertragungssysteme . . . . .	431
F.2.2	Drehstromnetze . . . . .	432
F.2.3	Gleichspannungsnetze . . . . .	433
F.2.4	Netzstrukturen . . . . .	436
F.2.5	Verbundbetrieb . . . . .	437
F.3	Schutzmaßnahmen . . . . .	438
F.4	Niederspannungsschaltanlagen . . . . .	442
	Literatur . . . . .	445
<b>G</b>	<b>Sensoren und Aktoren . . . . .</b>	<b>447</b>
G.1	Sensoren . . . . .	447
G.1.1	Grundlagen . . . . .	447
G.1.2	Weg- und Positions-Sensoren . . . . .	449
G.2	Aktoren . . . . .	474
G.2.1	Hydraulische Aktoren . . . . .	474
G.2.2	Pneumatische Aktoren . . . . .	476
G.2.3	Piezo-Steller . . . . .	477
G.3	Anschlusstechnik . . . . .	480
G.3.1	Aktorstecker . . . . .	480
G.3.2	Sensorstecker . . . . .	482
G.3.3	Standardisierung der Steckerbelegung und die Vorteile . . . . .	482
	Literatur . . . . .	482

<b>H</b>	<b>Feldbusse</b>	483
H.1	Grundlagen zu Feldbussen	486
H.1.1	Topologie von Feldbussen	486
H.1.2	Allgemeine Anforderungen an Feldbussysteme	487
H.2	Standard-Feldbusse	488
H.2.1	Profibus	490
H.2.2	CAN-Bus/DeviceNet	494
H.2.3	AS-Interface	500
H.2.4	Interbus-S	502
H.2.5	CC-Link	505
H.3	Ethernet basierende Feldbusse	506
H.3.1	Grundlegendes zur Ethernet-Kommunikation	508
H.3.2	TCP/IP	515
H.3.3	ProfiNet	516
H.3.4	Ethernet/IP	519
H.4	IO-Link	521
	Literatur	526
<b>I</b>	<b>Elektrische Messtechnik</b>	527
I.1	Grundlagen	527
I.1.1	Definitionen und Begriffe	527
I.1.2	Einteilung elektrischer Messgeräte	532
I.1.3	Übersicht über die Darstellung der Messwerte	533
I.1.4	Messfehler, Genauigkeit und Empfindlichkeit	534
I.2	Messung von Spannung und Strom	539
I.2.1	Gleichstromkreis	539
I.2.2	Wechselstromkreis	541
I.2.3	Zeitlich veränderliche Spannungen	544
I.3	Messung von Widerständen	545
I.3.1	Messung Ohm'scher Widerstände im Gleichstromkreis	545
I.3.2	Messung von Blind- und Scheinwiderständen im Wechselstromkreis	547
I.4	Arbeitsmessung	549
I.5	Leistungsmessung	550
I.6	Zeit- und Frequenzmessung	552
I.6.1	Elektronischer Zähler	552
I.6.2	Zeit- und Frequenzmessung	553
	Literatur	555
	<b>Lösungen der Übungsaufgaben</b>	557
	<b>Sachverzeichnis</b>	575