

**Ekbert Hering • Rolf Martin**  
**Jürgen Gutekunst • Joachim Kempkes**  
Hrsg.

# **Elektrotechnik und Elektronik für Maschinenbauer**

**3., aktualisierte Auflage**

**Springer Vieweg**

# Inhaltsverzeichnis

<b>A 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	56
A.4.6 Selbstinduktion	61
A.4.7 Gegeninduktion	63
A.4.8 Ein- und Ausschalten von Stromkreisen mit Induktivitäten	65
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
	<b>vn</b>

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	93
A.5.7	Schwingkreise	95
A.5.8	Ortskurven	102
A.5.9	Transformator	103
A.6	Drehstrom	117
A.6.1	Entstehung der Dreiphasenwechselspannung	117
A.6.2	Generatorschaltungen	119
A.6.3	Verbraucher-Sternschaltung	120
A.6.4	Verbraucher-Dreieckschaltung	126
A.6.5	Stern-Dreieck-Umschaltung	129
A.6.6	Leistungsmessung	130
<b>B</b>	<b>Halbleitertechnik</b>	135
B.1	Bauelemente	135
B.1.1	Leitungsmechanismen	135
B.1.2	Dioden	144
B.1.3	Transistoren	153
B.1.4	Feldeffekttransistoren (FET)	162
B.1.5	Thyristoren und Triacs	175
B.1.6	Optoelektronik	179
B.2	Analoge integrierte Schaltungen	200
B.2.1	Operationsverstärker	200
B.2.2	Weitere analoge integrierte Schaltungen	204
B.2.3	DA- und AD-Wandler	207
B.3	Digitale integrierte Schaltungen	217
B.3.1	Logische Verknüpfungen und Schaltzeichen	219
B.3.2	Logikfamilien	222
<b>C</b>	<b>Leistungselektronik</b>	229
C.1	Bauelemente der Leistungselektronik	229
C.1.1	Passive Bauelemente	230
C.1.2	Aktive Bauelemente	251
C.2	Leistungselektronik in der Praxis	263
C.2.1	Anwendung passiver Bauelemente	263
C.2.2	Aktorsteuerung	266
C.2.3	Brückenschaltungen	273
C.2.4	Unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV)	280
C.2.5	Spannungswandler	286
<b>D</b>	<b>Elektrische Maschinen</b>	299
D.1	Wirkungsprinzipien elektromechanischer Energiewandler	299
D.1.1	Elektrodynamisches Prinzip	299

D.I.2	Kräfte auf Grenzflächen	301
D.1.3	Prinzipieller Aufbau rotierender elektrischer Maschinen	302
D.2	Leistungsbilanz	305
D.3	Ausführungsvarianten	306
D.4	Ausnutzung und Baugröße	307
D.5	Gleichstrommotor	313
D.5.1	Prinzipieller Aufbau	313
D.5.2	Aufbau des Ankers	314
D.5.3	Kommutierung	317
D.5.4	Induzierte Spannung und Drehmoment	319
D.5.5	Betriebsverhalten	322
D.5.6	Reihenschlussmaschine/Universalmotor	325
D.5.7	Drehzahlverstellung des Universalmotors	328
D.5.8	Typische Daten von Gleichstrommaschinen	329
D.6	Synchronmotor	332
D.6.1	Synchronmotor als elektronisch kommutierter Gleichstrommotor	333
D.6.2	Wechselfelder und Drehfelder	338
D.6.3	Drehfeldwicklungen	341
D.6.4	Ersatzschaltbild und Zeigerdiagramm	344
D.6.5	Drehmoment der Vollpolmaschine	347
D.6.6	Permanent erregter Synchronservomotor	348
D.6.7	Synchronmotoren mit Zahnspulenwicklung	352
D.6.8	Reluktanzmotor	353
D.6.9	Schrittmotoren	356
D.6.10	Klauenpolgenerator („Lichtmaschine“)	357
D.7	Asynchronmotor	359
D.7.1	Bedeutung der Asynchronmaschine	359
D.7.2	Aufbau und Ersatzschaltbild	360
D.7.3	Stromortskurve der Asynchronmaschine	364
D.7.4	Drehmoment und Kloss'sche Formel	367
D.7.5	Drehzahlverstellung der Asynchronmaschine	369
D.7.6	Einphasen-Asynchronmotor	373
<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	384
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	414
E.10	Elektrische Fahrzeugantriebe	414
<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	435
F.2.5	Verbundbetrieb	437
F.3	Schutzmaßnahmen	438
F.4	Niederspannungsschaltanlagen	442
<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	477
G.2.3	Piezo-Steller	478
G.3	Anschlusstechnik	481
G.3.1	Aktorstecker	481
G.3.2	Sensorstecker	482
G.3.3	Standardisierung der Steckerbelegung und die Vorteile	482
<b>H</b>	<b>Feldbusse</b>	<b>485</b>
H.1	Grundlagen zu Feldbussen	488
H.1.1	Topologie von Feldbussen	488
H.1.2	Allgemeine Anforderungen an Feldbussysteme	489
H.2	Standard-Feldbusse	490

H.2.1	Profibus	492
H.2.2	CAN-Bus/DeviceNet	495
H.2.3	AS-Interface	502
H.2.4	Interbus-S	504
H.2.5	CC-Link	507
H.3	Ethernet basierende Feldbusse	508
H.3.1	Grundlegendes zur Ethernet-Kommunikation	510
H.3.2	TCP/IP	517
H.3.3	ProfiNet	518
H.3.4	Ethernet/IP	520
H.4	IO-Link	523

## **I Elektrische Messtechnik** **529**

I.1	Grundlagen	529
I.1.1	Definitionen und Begriffe	529
I.1.2	Einteilung elektrischer Messgeräte	532
I.1.3	Übersicht über die Darstellung der Messwerte	533
I.1.4	Messfehler, Genauigkeit und Empfindlichkeit	533
I.2	Messung von Spannung und Strom	540
I.2.1	Gleichstromkreis	540
I.2.2	Wechselstromkreis	542
I.2.3	Zeitlich veränderliche Spannungen	545
I.3	Messung von Widerständen	547
I.3.1	Messung Ohm'scher Widerstände im Gleichstromkreis	547
I.3.2	Messung von Blind- und Scheinwiderständen im Wechselstromkreis	549
I.4	Arbeitsmessung	551
I.5	Leistungsmessung	552
I.6	Zeit- und Frequenzmessung	552
I.6.1	Elektronischer Zähler	552
I.6.2	Zeit- und Frequenzmessung	554

## **Lösungen der Übungsaufgaben** **557**

## **Sachverzeichnis** **575**