

Heinz-Josef Bauckholt

Grundlagen und Bauelemente der Elektrotechnik

6., verbesserte Auflage

mit 617 Bildern sowie zahlreichen Tabellen,
Beispielen, Übungen und Testaufgaben

HANSER

Inhalt

Grundlagen der Elektrotechnik

0	Einleitung	19
1	Elektrische Grundgrößen	20
1.0	Elektrizität und Elektrotechnik	20
1.1	Elektrischer Strom	21
1.1.1	Elektrische Ladung als Ursprung der Elektrizität	21
1.1.1.1	Das Elektron im Atomaufbau	22
1.1.1.2	Das Elektron als kleinste elektrische Ladung	23
1.1.1.3	Das Modell des elektrischen Feldes um eine elektrische Ladung	24
1.1.2	Stromfluss als gerichtete bewegte Ladung	25
1.1.2.1	Elektrischer Stromfluss	25
1.1.2.2	Elektronengeschwindigkeit und Stromgeschwindigkeit	26
1.1.2.3	Stromdichte	27
1.1.2.4	Wirkungen des elektrischen Stromes.	29
1.1.3	Stromarten	30
1.2	Elektrische Spannung	30
1.2.1	Energieniveau zwischen getrennten Ladungen	31
1.2.2	Spannungsgewinnung durch Energieumwandlung	33
1.2.3	Spannungsarten	34
1.3	Elektrischer Widerstand	35
1.3.1	Stromleitung in Metallen	35
1.3.1.1	Aufbau und Gitterstruktur von Metallen	35
1.3.1.2	Das Bändermodell bei Metallen	36
1.3.1.3	Vorgang der Stromleitung	37
1.3.2	Elektrischer Widerstand als Strombegrenzer	37
1.3.2.1	Spezifischer elektrischer Widerstand und elektrische Leitfähigkeit	38
1.3.2.2	Bemessungsgleichung des Widerstandes	40
1.3.2.3	Temperaturabhängigkeit des Widerstandes	41
1.3.3	Stromleitung in Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen	45
2	Elektrischer Stromkreis	46
2.1	Aufbau des technischen Stromkreises	46
2.2	Strömungsgesetze im elektrischen Stromkreis	47
2.2.1	Ohm'sches Gesetz	47
2.2.2	Widerstandsdiagramme	49
2.2.2.0	Einführung.	49
2.2.2.1	Lineare Widerstände	50
2.2.2.2	Nichtlineare Widerstände	53
2.3	Messung von Strom und Spannung	56
2.3.1	Strommessung	56
2.3.2	Spannungsmessung	56
2.4	Aktive und passive Zwei- und Vierpole	57
2.4.0	Einführung	57
2.4.1	Zweipole	58
2.4.1.0	Definitionen	58
2.4.1.1	Spannungsquelle als aktiver Zweipol	58
2.4.1.2	Widerstand und andere „Verbraucher“ als passiver Zweipol	58

2.4.2 Vierpole	59
2.4.2.0 Definitionen	59
2.4.2.1 Ausgewählte aktive Vierpole	59
2.4.2.2 Ausgewählte passive Vierpole	60
3 Grundsaltungen für Gleichstrom	62
3.1 Reihenschaltung von Widerständen	62
3.1.1 Gesamtstrom, Gesamtspannung, Gesamtwiderstand	62
3.1.2 Verhältnisbildung zwischen Teilspannung und Teilwiderständen — Spannungsteilung	65
3.1.3 Der feste bzw. fest eingestellte unbelastete Spannungsteiler	66
3.1.4 Der stellbare unbelastete Spannungsteiler (Potenziometerschaltung)	67
3.1.5 Vergleich von Spannungspotenzialen	69
3.1.6 Grafische Lösung einer Reihenschaltung	71
3.2 Parallelschaltung von Widerständen	73
3.2.1 Gesamtspannung, Gesamtstrom, Gesamtwiderstand	73
3.2.2 Verhältnisbildung zwischen Teilströmen und Widerständen — Stromteilung	76
3.2.3 Ersatzwiderstand = Gesamtwiderstand parallel geschalteter Widerstände	78
3.2.4 Ersatzleitwert	80
3.2.5 Grafische Lösung einer Parallelschaltung	80
3.3 Ersatzspannungsquelle und Ersatzstromquelle	82
3.3.1 Ersatzspannungsquelle	82
3.3.1.0 Einführung	82
3.3.1.1 Schaltung	82
3.3.1.2 Kennlinie und Kenngrößen.	83
3.3.2 Ersatzstromquelle.	87
3.3.2.0 Einführung	87
3.3.2.1 Schaltung	87
3.3.2.2 Kennlinie und Kenngrößen.	87
3.4 Gemischte Schaltungen von Widerständen	89
3.4.1 Reihen- und Parallelschaltungen von Widerständen in einer Schaltung	89
3.4.2 Belasteter Spannungsteiler	93
3.4.2.0 Einführung	93
3.4.2.1 Fester belasteter Spannungsteiler	93
3.4.2.2 Stellbarer belasteter Spannungsteiler (Potenziometerschaltung)	95
3.4.3 Brückenschaltung.	97
3.4.3.0 Einführung	97
3.4.3.1 Die abgegliche Brückenschaltung	97
3.4.3.2 Die unabgegliche Brückenschaltung	99
3.5 Netzwerke und ihre Berechnungsmethoden	99
3.5.0 Einführung	99
3.5.1 Stern-Dreieck-Umwandlung	99
3.5.2 Maschen- und Knotenpunktgleichungen	107
3.5.3 Ersatzspannungs- und Ersatzstromquellen — Umwandlung	110
3.5.4 Überlagerungssatz	115
3.5.5 Passive Vierpole aus Widerstandsnetzwerken	122
3.5.5.0 Einführung	122
3.5.5.1 Aufstellung von Vierpolgleichungen	123
3.5.5.2 Definition und Kennzeichnung der Vierpolparameter	126
3.5.5.3 Ermittlung der Bauelementdaten einer Vierpol-Innenschaltung aus den Daten der Vierpolparameter	129
3.6 Elektrische Arbeit und Leistung	132
3.6.1 Elektrische Arbeit	132

3.6.2	Elektrische Leistung	134
3.6.2.1	Leistungshyperbel	137
3.6.2.2	Nutzleistung und Verlustleistung	140
3.6.2.3	Wirkungsgrad	143
3.6.2.4	Leistungsanpassung	144
3.7	Umwandlung elektrischer Energie in andere Energien und umgekehrt	148
3.7.0	Einführung	149
3.7.1	Elektrische Energie in mechanische Energie	150
3.7.2	Elektrische Energie in thermische Energie	151
3.7.3	Elektrische Energie in optische Energie	152
3.7.4	Elektrische Energie in chemische Energie	153
3.7.4.0	Einführung	153
3.7.4.1	Elektrolyse und Leitungsmechanismus in Flüssigkeiten	153
3.7.4.2	Elektrochemische Spannungsquellen	157
3.7.4.2.1	Galvanische Elemente (Primärelemente)	157
3.7.4.2.2	Akkumulatoren (Sekundärelemente)	161
Praxisorientierte Lernaufgaben		168
4	Das elektrische Feld und der Kondensator	172
4.0	Einführung	172
4.1	Erscheinungsformen des elektrischen Feldes	172
4.1.1	Elektrische Felder zwischen elektrischen Ladungen – elektrostatische Felder	172
4.1.2	Elektrische Felder in und zwischen Strom führenden Leitern	173
4.1.2.0	Einführung	173
4.1.2.1	Felder in Strom führenden Leitern	173
4.1.2.2	Felder zwischen Strom führenden Leitern	174
4.2	Die elektrische Feldstärke als Kenngröße des elektrischen Feldes	175
4.3	Kräfte im elektrischen Feld und das Coulomb'sche Gesetz	177
4.4	Spannungspotenziale in elektrischen Feldern	179
4.4.1	Spannung im elektrischen Feld	179
4.4.2	Spannung zwischen getrennten Ladungen	180
4.5	Ladungsspeicherung und Kondensator	181
4.6	Isolierstoffe im elektrischen Feld	185
4.6.1	Ladungsverschiebung in Isolierstoffen oder die elektrische Influenz	185
4.6.2	Feldkonstante des elektrischen Feldes	186
4.6.3	Bemessungsgleichung der Kapazität	188
4.7	Schaltungen von Kondensatoren	190
4.7.1	Reihenschaltung von Kondensatoren	190
4.7.2	Parallelschaltung von Kondensatoren	192
4.7.3	Reihen- und Parallelschaltungen von Kondensatoren in einer Schaltung	193
4.8	Schaltvorgänge am Kondensator	194
4.8.1	Einschalt- oder Ladevorgang am Kondensator	194
4.8.2	Ausschalt- oder Entladevorgang am Kondensator	201
4.9	Gespeicherte Energie eines geladenen Kondensators und die Energie des elektrischen Feldes	205
Praxisorientierte Lernaufgaben		209
5	Das magnetische Feld	210
5.1	Erscheinungsformen des magnetischen Feldes	210
5.1.1	Das magnetische Feld eines Natur- oder Dauermagneten	210
5.1.2	Das magnetische Feld eines stromdurchflossenen Leiters	211

5.1.3	Das magnetische Feld einer stromdurchflossenen Spule oder eines Elektromagneten	212
5.1.4	Eigenschaften magnetischer Felder	212
5.2	Kenngrößen des magnetischen Feldes	213
5.2.1	Magnetfluss oder magnetischer Fluss	213
5.2.2	Magnetflussdichte oder magnetische Flussdichte	213
5.2.3	Elektrische Durchflutung	214
5.2.4	Magnetische Feldstärke	215
5.2.5	Magnetischer Widerstand und magnetischer Leitwert	217
5.3	Magnetisierungskennlinien	222
5.3.1	Die Magnetflussdichte als Funktion der magnetischen Feldstärke	222
5.3.2	Magnetisierungskennlinie einer Luftspule	222
5.3.3	Magnetisierungskennlinie einer Spule mit Kern aus ferromagnetischen Werkstoffen	223
5.3.3.1	Aufbau der Magnetisierungskennlinien ferromagnetischer Werkstoffe	223
5.3.3.2	Magnetisierungskennlinien magnetischer Werkstoffe beim Ummagnetisierungsvorgang oder die magnetische Hysterese	226
5.3.3.3	Arten und Aussteuerung von Hystereseschleifen	227
5.4	Magnetisierungsarbeit und Magnetisierungsverluste	229
5.4.1	Magnetisierungsarbeit	229
5.4.2	Magnetisierungsverluste	230
5.5	Der magnetische Kreis	231
5.6	Kräfte im Magnetfeld	235
5.6.1	Kräfte an magnetischen Polen	236
5.6.2	Kräfte zwischen magnetischen Feldern	239
5.6.2.1	Magnetflussdichte und Feldstärke des magnetischen Feldes eines stromdurchflossenen Leiters	239
5.6.2.2	Überlagerung von magnetischen Feldern parallel verlaufender stromdurchflossener Leiter	242
5.6.2.3	Kräfte zwischen dem magnetischen Feld eines stromdurchflossenen Leiters oder einer Spule und dem magnetischen Feld eines Dauermagneten – Motorprinzip	243
5.6.2.4	Kräfte zwischen den magnetischen Feldern stromdurchflossener Leiter	246
5.7	Magnetische Induktion oder Spannungserzeugung durch Veränderung magnetischer Felder	248
5.7.1	Bewegung eines stromlosen Leiters im konstanten magnetischen Feld – Generatorprinzip	249
5.7.2	Bewegung eines stromdurchflossenen Leiters im konstanten magnetischen Feld – Generatorprinzip	250
5.7.3	Induktionsgesetz bei bewegten Leitern und Spulen im konstanten magnetischen Feld	251
5.7.3.0	Einführung	251
5.7.3.1	Induktionsgesetz bei geradliniger Bewegung eines Leiters oder einer Spule	251
5.7.3.2	Induktionsgesetz bei Rotationsbewegung eines Leiters oder einer Spule	254
5.7.4	Induktionsgesetz bei ruhenden Leitern oder Spulen im zeitlich veränderlichen magnetischen Feld	255
5.7.4.1	Induktivität, die magnetische Kenngröße einer Spule	257
5.7.4.2	Energie des Magnetfeldes	260
5.7.4.3	Reihen- und Parallelschaltung von Induktivitäten	261
5.7.4.4	Schaltvorgänge an Spulen	262

5.7.5 Transformatorprinzip	264
Praxisorientierte Lernaufgabe	270
6 Grundsaltungen für Wechselspannungen	271
6.1 Darstellung und Kenngrößen von Wechselspannung und Wechselstrom	271
6.1.0 Einführung	271
6.1.1 Zeiger- und Liniendiagramme	271
6.1.2 Kenngrößen von Wechselspannung und Wechselstrom	273
6.1.3 Zeitliche Betrachtung von Wechselspannungen und Wechselströmen	278
6.1.4 Überlagerung von Wechselspannungen und die Fourier-Analyse	281
6.2 Verhalten der idealen Grundschaltelemente an Wechselspannung	285
6.2.1 Idealer Wirkwiderstand an Wechselspannung	285
6.2.2 Idealer Kondensator an Wechselspannung	286
6.2.3 Ideale Spule an Wechselspannung	293
6.3 Komplexe Rechnung und die Anwendung im Wechselstromkreis	298
6.3.1 Komplexe Zahlen – Komplexe Zahlenebene – Rechenregeln	298
6.3.2 Elektrische Größen in komplexer Schreibweise	301
6.4 Reihenschaltungen im Wechselstromkreis	302
6.4.1 Widerstand und Kondensator	307
6.4.2 Widerstand und Spule	307
6.4.3 Kondensator und Spule	310
6.4.4 Widerstand, Kondensator und Spule	312
6.5 Parallelschaltungen im Wechselstromkreis	316
6.5.1 Widerstand und Kondensator	316
6.5.2 Widerstand und Spule	320
6.5.3 Kondensator und Spule	323
6.5.4 Widerstand, Kondensator und Spule	325
6.6 Gemischte Schaltungen im Wechselstromkreis – Impedanzschaltungen	328
6.7 Resonanz im Wechselstromkreis	337
6.7.1 Begriff der Grenzfrequenz	337
6.7.2 Begriff der Resonanz und der Resonanzfrequenz	340
6.7.3 Reihenresonanzkreis	341
6.7.3.0 Einführung	341
6.7.3.1 Idealer Reihenresonanzkreis	341
6.7.3.2 Realer Reihenresonanzkreis	343
6.7.4 Parallelresonanzkreis	345
6.7.4.0 Einführung	345
6.7.4.1 Idealer Parallelresonanzkreis	345
6.7.4.2 Realer Parallelresonanzkreis	346
6.8 Impedanzschaltungen und das Verhalten bei variablen Frequenzen – Ortskurven	348
6.8.0 Einführung	348
6.8.1 Ortskurven von Reihenschaltungen	349
6.8.2 Ortskurven von Parallelschaltungen	351
6.8.3 Ortskurve einer gemischten Impedanzschaltung	353
6.9 Elektrische Arbeit und elektrische Leistung im Wechselstromkreis	357
6.9.1 Leistung im Wechselstromkreis	357
6.9.1.0 Einführung	357
6.9.1.1 Wirkleistung	357
6.9.1.2 Blindleistung	360
6.9.1.3 Wirk-, Blind- und Scheinleistung im Wechselstromkreis	361
6.9.2 Blindleistungskompensation oder Leistungsfaktorverbesserung	367
6.9.3 Arbeit im Wechselstromkreis	370
Praxisorientierte Lernaufgaben	372

7 Mehrphasenwechselfspannung – Mehrphasenwechselstrom (Drehstrom)	378
7.1 Erzeugung von Mehrphasenwechselfspannung	378
7.2 Dreiphasenwechselfspannung	379
7.2.1 Spannungserzeuger in Sternschaltung	381
7.2.2 Spannungserzeuger in Dreieckschaltung	382
7.2.3 Verbraucher in Sternschaltung	382
7.2.4 Verbraucher in Dreieckschaltung	385
7.3 Spannungsnetze – öffentliche Netze	389
Praxisorientierte Lernaufgaben	392

Bauelemente der Elektrotechnik – Grundschaltelemente

Vorbemerkung zu den Kapiteln 8 bis 10	395
8 Lineare technische Widerstände	397
8.0 Einleitung	397
8.1 Bauarten technischer Widerstände	397
8.1.0 Einführung	397
8.1.1 Festwiderstände	397
8.1.1.0 Einführung	397
8.1.1.1 Schichtwiderstände	398
8.1.1.2 Drahtwiderstände	399
8.1.2 Stellbare Widerstände (Potenziometer)	400
8.1.2.0 Einführung	400
8.1.2.1 Schichtpotenziometer	400
8.1.2.2 Drahtpotenziometer	401
8.2 Daten und Normen technischer Widerstände	402
8.2.1 Technische Daten	402
8.2.2 Normung	403
8.2.2.1 Normung der Widerstandswerte	403
8.2.2.2 Normung der Kennzeichnung	404
9 Technische Kondensatoren	409
9.1 Bauarten technischer Kondensatoren	409
9.1.0 Einführung	409
9.1.1 Wickelkondensatoren	409
9.1.1.0 Einführung	409
9.1.1.1 MP-Kondensatoren	409
9.1.1.2 MK-Kondensatoren	410
9.1.2 Keramikkondensatoren	411
9.1.3 Elektrolytkondensatoren	411
9.1.3.0 Einführung	411
9.1.3.1 Aluminium-Elektrolytkondensatoren	411
9.1.3.2 Tantal-Elektrolytkondensatoren	412
9.1.4 Stellbare Kondensatoren (Drehko)	413
9.2 Daten und Normen technischer Kondensatoren	413
9.2.1 Technische Daten	413
9.2.2 Normung	415
9.2.2.1 Normung der Kapazitätswerte	415
9.2.2.2 Normung der Kennzeichnung	416

10 Technische Spulen	419
10.1 Bauarten technischer Spulen	419
10.1.0 Einführung	419
10.1.1 Luftspulen	419
10.1.2 Spulen mit Kern aus magnetischem Werkstoff	424
10.2 Daten technischer Spulen	426
Praxisorientierte Lernaufgaben	426
Lösungen aller Übungen und Lernaufgaben	428
Literaturhinweise:	
I. Fachschulen für Technik.	471
II. Fachhochschulen.	471
Sachwortverzeichnis.	473