
Vorwort zur 6. Auflage

Das vorliegende Lehrbuch gliedert sich in die drei klassischen Grundlagenbereiche: Gleichstromtechnik – Wechselstromtechnik – Elektrische und magnetische Felder.

Es ist als studienbegleitendes Material für Studierende aller technischen Studienrichtungen an Hochschulen/Fachhochschulen konzipiert. Im Vordergrund stehen Betrachtungen zu Vorgängen in elektrischen Stromkreisen aus der Sicht der Schaltungstechnik. Damit wird das Ziel verfolgt, das in den Vorlesungen „Grundlagen der Elektrotechnik“ vermittelte Grundlagenwissen in anwendungsbereiter Form für die nachfolgenden Lehrveranstaltungen bereitzustellen.

Die theoretischen Grundlagen zu jedem Kapitel werden so dargelegt, dass der Studierende die Vorlesungsmitschrift und den eventuell versäumten Stoff in effektiver Form selbstständig aufarbeiten kann. Dazu dienen u.a. Modelle und Analogien, die komplizierte Sachverhalte in möglichst einfacher und leicht verständlicher Form darlegen sollen. Zur Erhöhung der Anschaulichkeit wurden viele Aussagen zusätzlich aus Diagrammen, Prinzipskizzen und Ersatzschaltungen abgeleitet.

In jedem Kapitel befinden sich Lehrbeispiele zur Erklärung typischer Erscheinungen der Elektrotechnik sowie zur Demonstration von Berechnungsmethoden und -verfahren. Soweit sie nicht die Größenordnung eines dargelegten Sachverhalts verdeutlichen sollen, sind diese Lehrbeispiele in allgemeiner Form ausgeführt. Damit gelingt es dem Anwender, den Lösungsweg schrittweise nachzuvollziehen.

Die 6. Auflage entstand durch eine vollständige Überarbeitung und Erweiterung der 5. Auflage des Lehrbuchs. Alle Berechnungsbeispiele befinden sich jetzt in erweiterter Form in einem neu aufgelegten Übungsbuch. Die 6. Auflage enthält einen Anhang mit Übungsaufgaben und eine separate Formelsammlung. Alle Lösungen der Übungsaufgaben sind über das Internet zugänglich.

Wolfenbüttel, im August 2020

Rainer Ose
e-mail: r.ose@ostfalia.de

Hinweise zur Arbeit mit diesem Buch

Das vorliegende Lehrbuch sollte in Kombination mit dem Übungsbuch bearbeitet werden. Aus diesem Grund wurden zahlreiche Lehrbeispiele in das Lehrbuch und zusätzliche Übungsanteile in das neue Übungsbuch eingearbeitet. Machen Sie sich zunächst mit den theoretischen Grundlagen vertraut. Danach können Sie die Lehrbeispiele (Lehrbuch) und die Berechnungsbeispiele (Übungsbuch) durcharbeiten. Diese Beispiele tragen zur Erhöhung des Verständnisses für die betrachteten Stoffgebiete bei. Das gilt auch für die selbstständige Bearbeitung der Übungsaufgaben im Anhang.

• Lehrbeispiele:

Lehrbeispiele dienen dazu, das grundlegende Verständnis für den jeweils dargelegten Sachverhalt an einem einfachen und überschaubaren Beispiel zu entwickeln bzw. zu festigen. Sie werden im laufenden Text an den Stellen eingefügt, an denen es eventuell zusätzlichen Erklärungsbedarf gibt. Dazu zählen das Aufstellen allgemeiner Lösungsansätze und die Durchführung einfacher Berechnungen sowie die Vermittlung von Vorstellungen über ausgewählte Erscheinungen der Elektrotechnik.

• Übungsaufgaben: (Lösungen: https://www.ostfalia.de/cms/de/pws/ose/Buch_ET_6A/)

Im Anhang des Buches befinden sich Übungsaufgaben. Sie sollen von dem Studierenden möglichst selbstständig abgearbeitet werden. Übungsaufgaben werden im Sinne einer zielgerichteten Prüfungsvorbereitung mit der folgenden Kennzeichnung dem jeweiligen Grundlagenbereich zugeordnet:

ÜA_1 = Gleichstromtechnik, ÜA_2 = Wechselstromtechnik und ÜA_3 = Felder.

Die meisten Beispiele und Übungsaufgaben können mit Simulationsprogrammen nachvollzogen werden. Entsprechende Hinweise zur Arbeit mit PSpice findet man bei Bedarf in [11] – Kap. 1.

Inhaltsverzeichnis

I Gleichstromlehre

1	Elektrische Grundgrößen	12
1.1	Elektrische Ladung	12
1.2	Elektrische Stromstärke	13
1.3	Elektrische Spannung	16
1.4	Elektrischer Gleichstromkreis	17
1.5	Widerstände im elektrischen Stromkreis	20
1.5.1	Bemessungsgleichung	20
1.5.2	Temperaturabhängigkeit	21
1.5.3	Technische Ausführungsformen	22
2	Gesetze zur Berechnung elektrischer Stromkreise	23
2.1	Das OHMSche Gesetz	23
2.2	Die KIRCHHOFFSchen Sätze	26
2.2.1	Maschensatz	26
2.2.2	Knotenpunktsatz	27
2.3	Energiesatz	28
3	Lineare elektrische Gleichstromkreise	31
3.1	Eigenschaften elektrischer Stromkreise	31
3.2	Regeln zur Berechnung passiver Zweipole	33
3.2.1	Reihenschaltung und Spannungsteilerregel	33
3.2.2	Parallelschaltung und Stromteilerregel	35
3.3	Berechnung passiver Zweipole	38
3.4	Elektrische Quellen	40
3.5	Lastfälle im Grundstromkreis	44
3.5.1	Leistung und Wirkungsgrad	44
3.5.2	Anpassungsfall	45
3.5.3	Diskussion von Lastfällen	47
3.5.4	Belasteter Spannungsteiler	49
4	Grundschaltungen der elektrischen Messtechnik	52
4.1	Messbereichserweiterung	52
4.2	Aufnahme von Kennlinien	54
4.2.1	Stromrichtige Messung	54
4.2.2	Spannungsrichtige Messung	55
4.3	Messgeräte mit Nullindikator	56
4.4	Allgemeine Berechnung von Brückenschaltungen	59
4.4.1	Allgemeine Umrechnung in eine Sternschaltung	59

4.4.2	Dreieck-Stern-Transformation	61
4.4.3	Stern-Dreieck-Transformation	63
5	Verfahren zur Berechnung linearer Netzwerke	65
5.1	Netzwerkberechnung nach KIRCHHOFF	65
5.2	Der HELMHOLTZsche Überlagerungssatz	68
5.3	Zweipoltheorie	70
5.3.1	Spannungsquellen-Ersatzschaltung	71
5.3.2	Stromquellen-Ersatzschaltung	73
5.4	Analyseverfahren	76
5.4.1	Umlaufanalyse	76
5.4.2	Knotenanalyse	80
6	Stromkreise mit nichtlinearen Bauelementen	84
6.1	Strom-Spannungs-Kennlinie	84
6.2	Ausgewählte Kennlinien nichtlinearer Bauelemente	85
6.3	Konstruktion von Ersatz-Kennlinien	89
6.3.1	Ersatz-Kennlinien von Elementarschaltungen	89
6.3.2	Idealisierte Kennlinien und Ersatzschaltungen	90
6.4	Grafische Bestimmung des Arbeitspunktes	91
II	Wechselstromtechnik	
7	Beschreibung von Wechselgrößen	94
7.1	Periodische Zeitfunktionen	94
7.2	Sinusförmige Zeitfunktionen	95
7.3	Mittelwerte periodischer Zeitfunktionen	97
7.3.1	Arithmetischer Mittelwert	97
7.3.2	Gleichrichtwert	97
7.3.3	Effektivwert	99
7.4	Überlagerung sinusförmiger Zeitfunktionen	101
8	Widerstände im Wechselstromkreis	106
8.1	Elementare Zweipole	106
8.1.1	Ohmscher Widerstand	106
8.1.2	Induktiver Blindwiderstand	107
8.1.3	Kapazitiver Blindwiderstand	109
8.2	Reale Bauelemente	110
8.2.1	Reale Spule	110
8.2.2	Realer Kondensator	112
8.3	Elementarschaltungen	113
8.4	Zeigerbilder	115
8.4.1	Gemischte RLC-Kombinationen	115

8.4.2	Brückenschaltungen	118
9	Berechnung von Stromkreisen bei sinusförmiger Einspeisung	120
9.1	Berechnung im Zeitbereich	120
9.2	Berechnung im Bildbereich	122
9.2.1	Zeigerdarstellung	122
9.2.2	Rechenregeln	123
9.2.3	Transformationsregeln	126
9.2.4	Komplexer Widerstand	128
9.2.5	Komplexer Leitwert	130
9.3	Gemischte Schaltungen im Wechselstromkreis	131
9.3.1	Rechnerische Lösung im Bildbereich	131
9.3.2	Grafische Lösung im Bildbereich	135
9.3.3	Variation von Betriebsparametern	137
9.4	Spezielle Wechselstromschaltungen	141
9.5	Wechselstrom-Brücken	143
9.5.1	Induktivitätsmessbrücke	145
9.5.2	Kapazitätsmessbrücke	146
9.5.3	Phasendrehbrücke	147
9.6	Verfahren zur Netzwerkberechnung	149
9.6.1	Überlagerungsverfahren	149
9.6.2	Zweipoltheorie	151
9.6.3	Analyseverfahren	153
10	Frequenzabhängigkeit der Wechselstromkreise	156
10.1	Komplexer Frequenzgang	156
10.2	Tief- und Hochpässe	157
10.3	Schwingkreise	162
10.4	Übertragungsvierpole	174
11	Leistungsbetrachtungen im Wechselstromkreis	179
11.1	Zeitfunktion der Leistung	179
11.2	Wirk-, Blind- und Scheinleistung	181
11.3	Komplexe Leistung	182
11.4	Leistungsfaktor und seine Verbesserung	184
12	Dreiphasensysteme	188
12.1	Symmetrischer Drehstromgenerator	188
12.2	Spannungen und Ströme	189
12.3	Belastungsarten	193
12.4	Leistung im Dreiphasensystem	197

III Elektrische und magnetische Felder

13	Feldbegriff	202
13.1	Begriffsbestimmung	202
13.1.1	Begriff „Feldpunkt“	202
13.1	Begriff „Rechtssystem“	203
13.2	Einteilung der Felder	204
13.3	Eigenschaften elektrischer und magnetischer Felder	206
14	Stationäres elektrisches Strömungsfeld	209
14.1	Eigenschaften des elektrischen Strömungsfeldes	209
14.2	Beschreibung des stationären elektrischen Strömungsfeldes	214
14.2.1	Integrale Größen	214
14.2.2	Ortsbezogene Größen	214
14.2.3	Maschen- und Knotenpunktsatz im Strömungsfeld	219
14.2.4	Überlagerung elektrischer Strömungsfelder	222
14.3	Berechnung elektrischer Strömungsfelder	222
14.3.1	Homogene und einfache inhomogene Strömungsfelder	222
14.3.2	Radialsymmetrische Strömungsfelder	224
14.4	Erderanordnungen	229
14.4.1	Halbkugelerder	229
14.4.2	Vollkugelerder	233
15	Elektrostatisches Feld	238
15.1	Eigenschaften des elektrostatischen Feldes	238
15.2	Erscheinungsformen der Ladung	239
15.3	Beschreibung des elektrostatischen Feldes	241
15.3.1	Integrale Größen	241
15.3.2	Ortsbezogene Größen	243
15.4	Berechnung elektrostatischer Felder	245
15.4.1	Homogene und einfache inhomogene elektrostatische Felder	245
15.4.2	Elektrostatische Felder im geschichteten Dielektrikum	246
15.4.3	Radialsymmetrische elektrostatische Felder	249
15.4.4	Überlagerung elektrostatischer Felder	252
15.5	Energie und Kräfte im elektrostatischen Feld	255
15.5.1	Elektrostatisches Feld als Energiespeicher	255
15.5.2	COULOMBSches Gesetz	256
15.5.3	Kraft auf Trennflächen	257
15.5.4	Influenz und Polarisation	260
16	Elektrisches Verhalten des Kondensators	262
16.1	Regeln zur Berechnung von Kondensatorschaltungen	262
16.1.1	Reihenschaltung und kapazitiver Spannungsteiler	262

16.1.2	Parallelschaltung und Ladungsteiler	265
16.1.3	Gemischte Kondensatorschaltungen	268
16.2	Schaltvorgänge in RC-Kombinationen	269
16.2.1	Ladevorgang	269
16.2.2	Entladevorgang	271
16.2.3	Umschalten vorgeladener Kondensatoren	273
16.3	Ladungsausgleich	276
16.3.1	Ladungsbilanz	276
16.3.2	Ladungsausgleich in einer Reihenersatzschaltung	277
16.3.3	Ladungsausgleich in einer Parallelersatzschaltung	282
16.3.4	Kapazitive Netzwerke	283
17	Stationäres magnetisches Feld	286
17.1	Eigenschaften des magnetischen Feldes	286
17.2	Beschreibung des magnetischen Feldes	288
17.2.1	Integrale Größen	288
17.2.2	Ortsbezogene Größen	290
17.3	Magnetische Kreise	292
17.3.1	Magnetisierungskennlinie	292
17.3.2	Ersatzschaltungen für magnetische Kreise	295
17.3.3	Berechnung magnetischer Kreise	297
17.4	Magnetische Felder stromdurchflossener Leiter	301
17.5	Energie und Kräfte im magnetischen Feld	305
17.5.1	Magnetische Energie	305
17.5.2	LORENTZ-Kraft	308
17.5.3	Energiedichte und Induktivität einer Leitung	311
18	Zeitlich veränderliches magnetisches Feld	314
18.1	Elektromagnetische Induktion	314
18.1.1	Induktionsgesetz – Bewegungsinduktion	315
18.1.2	Induktionsgesetz – Ruheinduktion	319
18.2	Selbstinduktion und Induktivität	321
18.3	Gegeninduktion und Gegeninduktivität	322
18.4	Transformatorgleichungen	328
19	Elektrisches Verhalten der Spule	331
19.1	Zusammenschaltung von Induktivitäten	331
19.1.1	Unverkoppelte Induktivitäten	331
19.1.2	Verkoppelte Induktivitäten	332
19.1.3	Transformator-Ersatzschaltungen	333
19.2	Schaltvorgänge an Spulen	336
19.2.1	Einschaltvorgang	336
19.2.2	Ausschaltvorgang	338

19.2.3	Umschalten vormagnetisierter Spulen	340
19.3	Modelle zum Transformator	343
19.3.1	Idealer Transformator	343
19.3.2	Verlustloser und streuungsfreier Transformator	345
19.3.3	Realer Transformator	347
20	Wechselwirkungen	350
20.1	Ladungsbewegungen in leitfähigen und nichtleitfähigen Medien	350
20.1.1	Konvektionsstrom	350
20.1.2	Feldstrom	351
20.1.3	Diffusionsstrom	352
20.1.4	Verschiebungsstrom	354
20.2	MAXWELLSche Gleichungen	356
20.2.1	Durchflutungsgesetz	356
20.2.2	Induktionsgesetz	357
20.2.3	Wirbelfreies Quellenfeld	358
20.3	Grundlegende Zusammenhänge	359
 Übungsaufgaben		360
Literaturverzeichnis		383
Sachwortverzeichnis		384
Formelzeichenverzeichnis		Einband innen