



LEHRBUCH

Uwe Meier
Oliver Stübbe

Elektrotechnik zum Selbststudium

Grundlagen und Vertiefung

 Springer Vieweg



Elektrotechnik zum Selbststudium

Uwe Meier · Oliver Stübbe

Elektrotechnik zum Selbststudium

Grundlagen und Vertiefung

 Springer Vieweg

Uwe Meier
Fachbereich Elektrotechnik und Technische
Informatik
Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe
Lemgo, Deutschland

Oliver Stübbe
Fachbereich Elektrotechnik und Technische
Informatik
Technische Hochschule Ostwestfalen-Lippe
Lemgo, Deutschland

ISBN 978-3-658-33869-5 ISBN 978-3-658-33870-1 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-33870-1>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert durch Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2022

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Reinhard Dapper

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Vorwort

Liebe Leserin, lieber Leser,

das vorliegende Buch basiert auf neun erprobten Studienbriefen der Module *Grundgebiete und Vertiefung der Elektrotechnik* eines Bachelor-Fernstudiengangs der Elektrotechnik. Es entspricht den Inhalten der gleichnamigen Lehrveranstaltungen für die Bachelor-Studiengänge *Elektrotechnik* und *Mechatronik* in den ersten beiden Semestern an der Technischen Hochschule Ostwestfalen-Lippe in Lemgo.

Ausgehend von der Beobachtung Ihnen bestens bekannter Wirkungen eines kleinen Stromkreises werden wir in kleinen Schritten alle wichtigen elektrotechnischen Methoden und Modelle herleiten. Dabei berücksichtigen wir, dass Ihre mathematischen Kenntnisse im Verlauf des Studiums dieses Buches allmählich zunehmen.

Wir beginnen mit den einführenden Kapiteln

- Physikalische Grundlagen elektrischer Schaltungen,
- Homogenes und zeitkonstantes Strömungsfeld,

und führen Sie schrittweise an die Themen **elektrische Schaltungen** (*electric circuits*) und **elektromagnetische Felder** (*electromagnetic fields*) heran. Hierbei erwarten wir keine elektrotechnischen Vorkenntnisse. Vorausgesetzt werden lediglich Schulkenntnisse aus den Bereichen Physik, Mathematik und Englisch.

Die Inhalte des Buches sind insbesondere nach didaktischen Gesichtspunkten für ein Selbststudium strukturiert. Damit unterscheidet sich dieses Buch in einigen Bereichen deutlich von konventionellen Lehrbüchern mit vergleichbaren Inhalten.

An speziellen mathematischen Kenntnissen werden in den ersten sechs Kapiteln benötigt:

- Vektorrechnung,
- Differenzialrechnung.

Im Anhang B haben wir Ihnen die mathematischen Grundlagen dieses Buches zusammenfassend dargestellt.

Die mathematischen Berechnungswerkzeuge sind heute überaus leistungsfähig: Taschenrechner, Smartphones, Mathematikprogramme (z. B. MATLAB, GNU Octave, Scilab), Feldberechnungsprogramme (z. B. COMSOL) und Schaltungsanalyseprogramme (z. B. Micro-Cap) können nahezu alles berechnen. Doch es ist stets notwendig, dass die Ergebnisse auf Plausibilität geprüft werden. Deshalb ist es nach unserer Meinung auch heute noch erforderlich, dass eine quadratische Gleichung von einem Studierenden mit Papier und Schreibstift gelöst werden kann.

Bei der Ausübung des Ingenieurberufs sind Kenntnisse der englischen Sprache unverzichtbar. Dazu gehört auch die sichere Anwendung des Fachvokabulars. Eine wörtliche Übersetzung kann leicht zu peinlichen Erfahrungen führen. Beispielsweise wäre der im Deutschen sehr beliebte Fachausdruck **Drehstrom** wörtlich mit „rotating current“ zu übersetzen. Doch die richtige Übersetzung lautet *three-phase current*. Daher werden wir alle wichtigen Fachausdrücke im Fettdruck und die zugehörigen englischen Übersetzungen im Kursivdruck angeben.

Jedes Kapitel beginnt mit der Formulierung der Lernziele und endet mit Fragen und Aufgaben, deren Lösungen angegeben sind. Beispiele und Praxisbezüge sind im Text integriert.

Ergänzend empfehlen wir die Lektüre grundlegender oder weiterführender Lehrbücher. Eine Auswahl finden Sie im Literaturverzeichnis im Anhang.

Aus unserer Erfahrung wissen wir, dass viele Studierende die Begriffe *Praxis* positiv und *Theorie* skeptisch bis ablehnend beurteilen. Wir bekennen uns diesbezüglich zu folgendem Zitat: Es gibt nichts Praktischeres als eine gute Theorie.¹ Und als begeisterte Wanderer ergänzen wir: Praxis ohne Theorie ist wie wandern im Nebel.

Nachdem wir Sie hoffentlich beruhigt haben, weil Sie keine elektrotechnischen Vorkenntnisse benötigen, möchten wir aber abschließend unsere Wünsche an Sie formulieren. Wir wünschen uns von Ihnen:

- Eine gewisse Begeisterung für elektrotechnische Grundlagen.
- Bitte folgen Sie uns bei unseren kleinen Schritten und seien Sie sehr vorsichtig beim Überspringen von Textteilen. Denken Sie bitte nie, „Das wird in der Praxis bestimmt nicht benötigt!“
- Versuchen Sie, möglichst alles zu verstehen. Seien Sie dabei kritisch zu sich selbst.
- Ohne Übung wird es nicht gehen. Viele Studierende wenden zu wenig Zeit für das selbstständige Lösen der Aufgabenstellungen auf. Wir hören nach jeder Klausur die folgende Aussage: „Die vorherigen Klausuraufgaben konnte ich alle lösen. Doch in dieser Klausur war alles anders.“

¹Dieses Zitat wird mehreren Personen zugeschrieben: dem Philosophen Immanuel Kant, dem Mathematiker David Hilbert, den Physikern Gustav Robert Kirchhoff und Albert Einstein.

Am Ende des Kapitels 9 haben Sie einen wichtigen ersten **Meilenstein** (*milestone*) erreicht: Sie besitzen die grundlegende Fachkompetenz für Gleichstrom-Schaltungen und homogene, zeitkonstante Felder. Sie können diese Fachkompetenz als Methodenkompetenz auf typische praktische Probleme anwenden sowie die Ergebnisse kompetent interpretieren. Sie haben die Kompetenz zur sicheren Anwendung von Methoden und Modellen zur Lösung von Problemstellungen bei Gleichstrom-Schaltungen und homogenen zeitkonstanten Feldern.

Wir bedanken uns bei Herrn Reinhard Dapper für die Anregung zu diesem Buch und seine kontinuierliche Unterstützung. Ferner danken wir allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Verlags *Springer* für die angenehme Zusammenarbeit, ihre wertvollen Hinweise und ihre Geduld bei unseren Sonderwünschen. Herrn Prof. Dr. Wolfgang Nerreter, Lemgo, danken wir für viele fachliche Hinweise.

Wir freuen uns auf das gemeinsame Studium mit Ihnen.

Lemgo
2022

Uwe Meier
Oliver Stübbe

Inhaltsverzeichnis

1	Physikalische Größen und Einheiten	1
1.1	Physikalische Größen	1
1.2	Physikalische Einheiten	4
1.3	Fragen und Aufgaben	5
	Lösungen zu den Aufgaben	6
2	Physikalische Grundlagen elektrischer Schaltungen	9
2.1	Modelle zur Beschreibung von Beobachtungen	10
2.2	Elektrischer Strom	10
2.2.1	Elektrische Ladung, COULOMB-Kraft	10
2.2.2	Stromstärke und Stromdichte	13
2.2.3	Richtungssinn und Bezugssinn des Stroms	20
2.3	Elektrische Spannung	22
2.3.1	Definition der elektrischen Spannung	22
2.3.2	Richtungssinn und Bezugssinn der Spannung	23
2.4	Leistung und Energie	24
2.4.1	Erzeuger und Verbraucher	24
2.4.2	Bezugspfeilsysteme	25
2.4.3	Wirkungsgrad	27
2.5	Fragen und Aufgaben	29
	Lösungen zu den Aufgaben	30
3	Lineare und nichtlineare Eintore	33
3.1	Passive Eintore	34
3.1.1	Der Begriff Widerstand und das OHMSche Gesetz	34
3.1.2	Differenzieller Widerstand	38
3.1.3	Leiter und Isolierstoffe	39
3.1.4	Temperaturabhängigkeit und Supraleitung	44
3.2	Unabhängige Quellen	48
3.2.1	Ideale Quellen	49
3.2.2	Reale Quellen	50

3.3	Fragen und Aufgaben	52
	Lösungen zu den Aufgaben.	54
4	KIRCHHOFFSche Sätze.	59
4.1	Erster KIRCHHOFFScher Satz	59
4.1.1	Knotensatz	59
4.1.2	Parallelschaltung	62
4.2	Zweiter KIRCHHOFFScher Satz	65
4.2.1	Potenzial und Energieniveau	65
4.2.2	Maschensatz	67
4.2.3	Reihenschaltung	68
4.3	Fragen und Aufgaben	71
	Lösungen zu den Aufgaben.	72
5	Gleichstromschaltungen.	75
5.1	Ersatzschaltungen linearer realer Quellen	76
5.2	Verbraucher an realen Quellen.	78
5.2.1	Arbeitspunkt.	78
5.2.2	Leistungsanpassung	80
5.2.3	Verbindung von realen Quellen	83
5.3	Leistungsbilanz	84
5.4	Ersatzeintore	86
5.4.1	Schaltungen ohne unabhängige Quellen	86
5.4.2	Schaltungen mit unabhängigen Quellen	88
5.5	Spannungsteiler, Potenziometer.	91
5.6	Brückenschaltung.	93
5.6.1	Abgegliche Brückenschaltung	93
5.6.2	Nicht abgegliche Brückenschaltung.	95
5.7	Fragen und Aufgaben	97
	Lösungen zu den Aufgaben.	103
6	Homogenes und zeitkonstantes Strömungsfeld	111
6.1	Stromdichte	112
6.2	Potenzial und elektrische Feldstärke	119
6.3	Leistungsdichte	125
6.4	COULOMB-Kraft	126
6.5	Zusammenfassung	127
6.6	Fragen und Aufgaben	130
	Lösungen zu den Aufgaben.	132
7	Homogenes elektrostatisches Feld	135
7.1	Quellenfeld und Influenz	136
7.2	Elektrische Flussdichte	139
7.3	Polarisation und Permittivität.	145

7.4	Kapazität und Kondensatoren	152
7.5	Kondensatorschaltungen	156
7.6	Elektrische Energie	159
7.7	Kräfte in elektrostatischen Feldern	160
7.8	Zusammenfassung	163
7.9	Fragen und Aufgaben	164
	Lösungen zu den Aufgaben	166
8	Homogenes und zeitkonstantes magnetisches Feld – Grundlagen	169
8.1	Magnetische Kraftwirkungen	170
8.2	Magnetische Flussdichte und magnetischer Fluss	174
8.3	Kräfte im magnetischen Feld	176
8.4	Magnetische Feldstärke und Durchflutungsgesetz	182
8.5	Fragen und Aufgaben	188
	Lösungen zu den Aufgaben	189
9	Homogenes und zeitkonstantes magnetisches Feld – Anwendungen	191
9.1	Permeabilität	192
9.2	Grenzbedingungen	201
9.3	Magnetische Kreise	203
9.4	Induktivität und Spulen	211
9.5	Magnetische Energie	214
9.6	Vergleich der Felder	216
9.7	Fragen und Aufgaben	217
	Lösungen zu den Aufgaben	219
10	Schaltungen mit zeitabhängigen Quellen	221
10.1	Quasistationäre Vorgänge	222
10.2	Allgemeine Schaltungsgesetze	223
10.3	Energiespeichernde Eintore	226
10.4	Periodische Schwingungen	230
	10.4.1 Periodendauer und Frequenz	230
	10.4.2 Mittelwerte	231
	10.4.3 Wirkleistung	234
	10.4.4 Sinusschwingungen	234
10.5	Fragen und Aufgaben	237
	Lösungen zu den Aufgaben	239
11	Komplexe Wechselstromrechnung	243
11.1	Grundeintore bei Sinusstrom	244
11.2	Komplexe Spannung und komplexer Strom	252
11.3	Knoten- und Maschensatz	256
11.4	Komplexer Widerstand und Leitwert	258