V. Seidel
Starthilfe
Elektrotechnik

Starthilfe **Elektrotechnik**

Von Prof. Dr.-Ing. habil. Volkmar Seidel
FH Merseburg

B.G. Teubner Stuttgart · Leipzig · Wiesbaden 2000

Prof. Dr.-Ing. habil. Volkmar Seidel

Geboren 1940 in Leipzig. Ab 1958 Studium der Elektrotechnik an der TU Dresden. Diplom 1964. Promotion 1974 an der Hochschule für Verkehrswesen „Friedrich List“ Dresden. Von 1964 bis 1989 Industrietätigkeit im VEB Fernmelde-
werk/Nachrichtenelektronik Leipzig als Entwicklungsingenieur und Themenleiter auf den Gebieten der Schaltungsentwicklung, Mikrorechentechnik und Softwareentwicklung. 1984 Habilitation in Dresden. 1989 Hochschuldozent für Elektrotechnik an der TH Merseburg. Von 1993 bis 1996 Gründungsdekan des Fachbereichs Elektrotechnik und seit 1993 Professor für Grundlagen der Elektrotechnik an der FH Merseburg.

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme
Ein Titeldatensatz für diese Publikation ist bei
Der Deutschen Bibliothek erhältlich.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt besonders für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.
© B.G.Teubner Stuttgart · Leipzig · Wiesbaden 2000
Der Verlag Teubner ist ein Unternehmen der Fachverlagsgruppe BertelsmannSpringer.

Konzeption und Layout des Umschlags: Peter Pfitz, Stuttgart

ISBN-13: 978-3-519-00264-2 e-ISBN-13: 978-3-322-80016-9
DOI: 10.1007/978-3-322-80016-9

Vorwort

Das vorliegende Buch richtet sich vorrangig an Schüler und Studienanfänger, die das Studium einer technischen Fachrichtung, insbesondere das Studium der Elektrotechnik, aufnehmen wollen.

Mit der Starthilfe möchte der Autor den Übergang von der Schule zur Hochschule und damit den Einstieg in ein rationelles Studium erleichtern. Sie knüpft an die Elektrizitätslehre des Physikunterrichts der Gymnasien an und vertieft und erweitert die dort erworbenen Kenntnisse.

Die *Elektrotechnik* ist ein weitgespanntes Gebiet und gliedert sich grob in *Energietechnik* und *Informationstechnik*. Die *Energietechnik* oder *Leistungselektrik* befaßt sich mit der Erzeugung und Verteilung elektrischer Energie. Die Geräte und Maschinen weisen daher infolge großer Leiterquerschnitte und beachtlicher Verlustwärme große Abmessungen auf. Gegenstand der *Informationstechnik* ist die Übertragung und Wandlung von Signalen. Hier dominieren mikroelektronische Schaltungen.

Der Studiengang Elektrotechnik besteht aus Grundstudium und Hauptstudium. Während das Grundstudium für alle Studenten gleich ist, können im Hauptstudium viele unterschiedliche Studienrichtungen gewählt werden. Der Zugang zu den Spezialrichtungen wird in dem Fach *Grundlagen der Elektrotechnik* im Grundstudium vorbereitet.

Pädagogisch besonders bewährt hat sich die Einteilung dieses Faches in die vier Abschnitte *Gleichstrom*, *Elektrisches Feld*, *Elektromagnetismus* und *Wechselstrom*. Aus dieser Einteilung werden die Unterschiede zur Elektrizitätslehre der Physik deutlich. Diese beginnt mit der Elektrostatik und erläutert den Ursache-Wirkungs-Zusammenhang, während die Technik den Zweck-Mittel-Zusammenhang betont. Im Abschnitt *Gleichstromtechnik* werden die elektrischen Größen Strom, Spannung und Widerstand definiert und die Kirchhoffschen Sätze behandelt und angewendet. Das typische Schaltelement ist der Ohmsche Widerstand R . Die Kirchhoffschen Sätze ermöglichen die Analyse elektrischer Schaltungen durch Berechnung der Ströme bei Vorgabe der Quellspannungen. Eine besondere Bedeutung haben die physikalischen Größen *Leistung* und *Energie* in der Elektrotechnik. Elektrische Energie läßt sich schnell und verlustarm transportieren. Sie wird durch Wandlung aus anderen Energieformen gewonnen und kann ebenso verlustarm wieder in andere Energieformen zurückgewandelt werden. Den Umwandlungsvorgängen wird besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Im Gegensatz zum linienhaften elektrischen Leiter nehmen schwach leitende Stoffe und Isolatoren Räume in Anspruch. Räumlich verteilte elektrische Größen, wie die *Stromdichte* und die *elektrische Feldstärke*, führen auf den Begriff des *elektrischen Feldes*. Der Kondensator, gekennzeichnet durch seine Kapazität C , ist hier das typische Schaltelement.

Die enge Verkopplung von elektrischen und magnetischen Größen wird im Abschnitt *Elektromagnetismus* behandelt. Das *Durchflutungsgesetz* und das *Induktionsgesetz* werden in ihren mathematischen Formulierungen als *Maxwellsche Gleichungen* bezeichnet und sind sowohl die Grundlage der großtechnischen Erzeugung von Elektroenergie als auch des Auftretens und der Ausbreitung von elektromagnetischen Wellen. Die Spule mit ihrer Induktivität L tritt hier als typisches Schaltelement auf.

Der letzte Abschnitt führt in das Gebiet der *Wechselströme* ein. Sinuszeitfunktionen werden durch zwei Größen beschrieben, die Amplitude und den Winkel. Daher haben Vektoren in der Ebene, die als *Zeiger* bezeichnet werden, zentrale Bedeutung. Wechselströme und -span-

nungen werden graphisch als Zeiger und mathematisch als komplexe Zahlen dargestellt. Aufgaben zur Addition von sinusförmigen Wechselgrößen werden von den Studierenden häufig falsch gelöst. Deshalb wird dieses Thema ausführlich behandelt. Ausgehend vom Additionstheorem der Kosinusfunktion führt der Weg über die anschauliche Zeigeraddition mit dem Kosinussatz für Dreiecke zur Lösung der Aufgabe mit komplexen Größen. Für die Wechselstromtechnik ist die Rechnung mit *komplexen Größen* elementar und unverzichtbar.

Wechselstromwiderstände haben zwei Komponenten, den Wirk- und den Blindwiderstand, oder in Polarkoordinaten, den Scheinwiderstand und den Winkel, und können daher ebenfalls durch komplexe Größen ausgedrückt werden.

Hauptschwierigkeit im ersten Semester ist die *Anwendung der Mathematik* auf technisch-naturwissenschaftliche Aufgabenstellungen. Im Abschnitt Gleichstrom treten bei der Analyse von Schaltungen *Gleichungssysteme* auf, deren Lösung in das Gebiet der *Linearen Algebra* fällt. In den Abschnitten Elektrisches Feld und Elektromagnetismus werden *vektorielle Feldgrößen* verwendet. Neben der *elementaren Vektoralgebra* werden auch Integrale über Skalarprodukte von Vektoren, die *Hüllen-* und die *Linienintegrale*, eingeführt. Diese Gleichungen können beim ersten Lesen übersprungen werden. Formal ist ein solches Integral über ein Skalarprodukt die Auflösung der Gleichung für eine vektorielle Feldgröße, die durch Differentiation einer skalaren Größe nach einem Vektor definiert wurde.

Die Strom-Spannungs-Beziehungen an einer Kapazität oder Induktivität enthalten einen Differentialquotienten. Die Behandlung der *Schaltvorgänge* an Netzwerken mit einer Kapazität oder einer Induktivität erfordert bereits die Lösung einer einfachen *Differentialgleichung* erster Ordnung. Sie gelingt durch Integration ohne tieferes Eindringen in die Theorie. Der zeitliche Verlauf der Kondensatorspannung kann durch eine *Exponentialfunktion* beschrieben werden. Damit wird die rein statische Betrachtungsweise elektrischer Schaltungen verlassen.

Der Start in das Studium einer technischen Fachrichtung ist nicht leicht. Beim ersten Lesen dieses Buches bleiben daher sicher Fragen offen, die in ausführlicher Form Gegenstand der Lehrveranstaltungen der beiden ersten Semester sind. Das sollte nicht entmutigen, sondern eher dazu motivieren, die im Anhang zitierte Fachliteratur zu befragen.

Der Autor wünscht dem Leser Freude beim Erkenntnisgewinn und einen guten Start in das Studium.

An dieser Stelle möchte ich Herrn Dr. Fiedler und Herrn Heinisch für die Durchsicht des Manuskriptes danken. Meiner Frau danke ich für das Korrekturlesen. Einigen Studenten gilt ebenfalls mein Dank. Herr Münchow gab nützliche Hinweise zur Verbesserung der Verständlichkeit der Darstellung. Herr Peltsch half mir, die Tücken des Textverarbeitungssystems zu bewältigen.

Weiterhin danke ich Herrn J. Weiß vom Teubner-Verlag für die angenehme Zusammenarbeit und die gute Beratung.

Inhalt

1	Gleichstromtechnik	9
1.1	Elektrischer Strom	9
1.2	Spannung	11
1.3	Widerstand	13
1.4	Elektrische Energie und Leistung	15
1.5	Analyse von Gleichstromkreisen	16
1.5.1	Kirchhoffsche Sätze	16
1.5.2	Zweigstromanalyse	17
1.5.3	Widerstände im Stromkreis	20
1.5.4	Zweipolsatz	21
1.6	Leistung im Gleichstromkreis	21
1.7	Wandlung elektrischer Energie in andere Energieformen	23
1.7.1	Wandlung elektrischer Energie in mechanische Energie	23
1.7.2	Wandlung elektrischer Energie in Wärme	24
1.7.3	Wandlung elektrischer Energie in chemische Energie	26
1.7.4	Elektrochemische Spannungsquellen	28
1.7.5	Wandlung von elektrischer Energie in Lichtenergie	29
1.7.6	Solarzelle, Wirkungsweise	31
2	Elektrisches Feld	34
2.1	Flächenförmige und räumliche Leiter	34
2.1.1	Strömungsfeld	34
2.1.2	Potential- und Feldstärkefeld	36
2.2	Elektrisches Feld im Nichtleiter	38
2.2.1	Verschiedene Feldformen	38
2.3	Influenz und Polarisierung	40
2.4	Dielektrischer Strom und Verschiebungsfluß	41
2.5	Kondensator	42
2.6	Schaltungen mit Kondensatoren	43
2.7	Schaltvorgänge an R-C-Schaltungen	45
2.8	Kapazitäten von speziellen Kondensatoren und Leitungen	47
2.9	Energie im elektrischen Feld	48
2.10	Kraft im elektrischen Feld	48
3	Elektromagnetismus	51
3.1	Magnetischer Kreis	51
3.2	Magnetisches Feld	53
3.3	Magnetische Eigenschaften der Materie	54
3.3.1	Allgemeines	54
3.3.2	Ferromagnetismus, atomistische Grundlagen	54
3.3.3	Magnetische Werkstoffe	55
3.3.4	Feldverhalten an Trennflächen unterschiedlicher Permeabilität	56

3.4	Berechnung von magnetischen Kreisen	56
3.4.1	Erregung durch den elektrischen Strom	56
3.4.2	Erregung durch Dauermagneten	57
3.5	Kopplung elektrischer und magnetischer Größen.	58
3.5.1	Durchflutungsgesetz	58
3.5.2	Anwendung des Durchflutungsgesetzes	59
3.6	Induktionsgesetz	60
3.6.1	Ruheinduktion	60
3.6.2	Bewegungsinduktion	61
3.6.3	Anwendungen des Induktionsgesetzes	63
3.7	Wechselwirkung elektrischer und magnetischer Größen.	64
3.7.1	Selbstinduktion	64
3.7.2	Berechnung von Induktivitäten	66
3.7.3	Gegeninduktion.	67
3.7.4	Transformator.	67
3.8	Schaltvorgang an einer Induktivität	69
3.9	Energie im magnetischen Feld	71
3.10	Kraft im magnetischen Feld	73
4	Wechselstrom	75
4.1	Begriff und Bedeutung des Wechselstromes	75
4.2	Arithmetischer Mittelwert und Effektivwert	77
4.3	Lineare Operationen mit Sinusgrößen	80
4.4	Zeigerdarstellung.	82
4.5	Rechnen mit komplexen Zahlen	84
4.6	Symbolische Methode der Wechselstromtechnik	86
4.7	Einfache Wechselstromkreise	88
4.7.1	Grundschaltelemente R, L, C	88
4.7.2	R-L-Reihenschaltung	90
4.7.3	R-C-Parallelschaltung	91
4.7.4	Ersatzzweipolschaltung	92
4.7.5	Reihenschwingkreis.	93
4.7.6	Beispiel zum komplexen Widerstand	94
4.7.7	Zeigerbilder	95
4.8	Leistung im Wechselstromkreis	96
4.8.1	Leistungsbegriffe.	96
4.8.2	R-L-Reihenschaltung	97
4.8.3	R-C-Parallelschaltung	98
4.8.4	Allgemeiner Wechselstromzweipol	98
4.8.5	Zerlegung der Spannung und des Stromes in Wirk- und Blindkomponenten.	99
4.8.6	Blindleistungskompensation	100
4.9	Beispiel zur Anwendung der komplexen Rechnung	102
Anhang		106
Stichwortverzeichnis		110