

Dieter Kreß

Theoretische Grundlagen
der Signal-
und Informationsübertragung

REIHE WISSENSCHAFT

Die REIHE WISSENSCHAFT ist die wissenschaftliche Handbibliothek des Naturwissenschaftlers und Ingenieurs und des Studenten der mathematischen, naturwissenschaftlichen und technischen Fächer. Sie informiert in zusammenfassenden Darstellungen über den aktuellen Forschungsstand in den exakten Wissenschaften und erschließt dem Spezialisten den Zugang zu den Nachbardisziplinen.

Dieter Kreß

**Theoretische Grundlagen
der Signal-
und Informationsübertragung**

Mit 73 Abbildungen
und 1 Tabelle



Vieweg · Braunschweig

Verfasser:

Hochschuldozent Dr. sc. techn. Dieter Kress

Technische Hochschule Ilmenau

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Kress, Dieter

Theoretische Grundlagen der Signal- und Informationsübertragung. — 1. Aufl. — Braunschweig: Vieweg, 1977.

(Reihe Wissenschaft)

ISBN 978-3-528-06833-2

ISBN 978-3-322-86326-3 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-322-86326-3

1977

Alle Rechte vorbehalten

© Akademie-Verlag Berlin 1977

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1977

Lizenzausgabe für

Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig,
mit Genehmigung des Akademie-Verlages, DDR-Berlin

Vorwort

Information wird in allen Geräten der Nachrichtentechnik, Meßtechnik, Regelungs- und Steuerungstechnik sowie der Rechen- und Datenverarbeitungstechnik übertragen. Technische Anordnungen zur Informationsübertragung sind sowohl die kompletten Systeme zur Überbrückung geografischer Entfernungen als auch elementare Baugruppen wie Filter, Verstärker, Modulatoren usw. Ihr Entwurf erfordert in beträchtlichem Maße theoretisches Rüstzeug, beginnend mit der Kenntnis allgemeiner Zusammenhänge. Mit dem vorliegenden Band werden derartige nachrichtentheoretische Grundlagen in drei Hauptkapiteln „Systemtheorie für determinierte Signale“, „Systemtheorie für stochastische Signale“ und „Informationstheorie“ kurzgefaßt vermittelt. Die ingenieurmäßige Darstellung soll Lesern dienen, die zur Anwendung in Praxis, Lehre und Weiterbildung ihr Wissen reaktivieren oder vervollständigen wollen, insbesondere auch Studenten an Hoch- und Fachhochschulen, die ein Repetitorium für Übung und Prüfungsvorbereitung zum Gebrauch neben der Vorlesung wünschen. Aber auch Lesern ohne Vorkenntnisse des Stoffes, die sich einen Überblick über die behandelte Disziplin verschaffen wollen, kann der Text Anreiz zur Weiterbildung unter Verwendung ausführlicherer Werke (FEY, FRITZSCHE, LANGE, SPÄTARU, UNBEHAUEN, WOSCHNI, WUNSCH u. a.) sein.

Beim Leser vorausgesetzt werden Grundkenntnisse der Integralrechnung, der Funktionentheorie und der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Die Darstellungsweise entspricht der Aufgabenstellung. So wird auf die moderne abge-

braische Begründung der Systemtheorie verzichtet. Als Mittel der durchgehend einheitlichen Beschreibung von determinierten und stochastischen, kontinuierlichen und diskontinuierlichen Vorgängen dient die FOURIER-Transformation. Die Anwendung von LAPLACE- und Z-Transformation wird demonstriert. Das Zeit-Frequenzdenken steht im Vordergrund. Mathematische Beweise und Ableitungen wurden fortgelassen, dagegen wird versucht, durch Hinweise Zusammenhänge deutlich zu machen, Gedächtnisstützen zu bieten und durch Beispiele aufzulockern und Anwendungen zu zeigen. Der vermittelte Stoff soll einerseits helfen, die vielgestaltigen technischen Lösungen der Praxis einordnen und auf prinzipielle Lösungen zurückführen zu können, andererseits soll er aber auch als unmittelbares Handwerkszeug bei Entwurf und technischem Detail brauchbar sein. Auch die Informationstheorie, die weitgehend den Charakter einer übergeordneten Betrachtungsweise trägt, ist geeignet, praktische Lösungen zu stimulieren. Sie wird ebenfalls in klassischer Form geboten. Die systemtheoretischen Betrachtungen beschränken sich auf lineare Systeme. Sowohl die Einbeziehung nichtlinearer Systeme als auch spezieller Synthesemethoden (wie sie z. B. die Netzwerktheorie liefert), der Kodierungstheorie oder der Schaltungstechnik, deren Kenntnis jede technische Realisierung bedarf, hätten den gegebenen Rahmen gesprengt. Die Auswahl des Stoffes trägt der zunehmenden Bedeutung der Impulstechnik und digitaler Methoden Rechnung.

Durch Vertrautwerden mit abstrakten Modellen wird eine „Anschaulichkeit“ von Zusammenhängen bewirkt, die sowohl bei der praktischen Arbeit im Labor als auch bei Entscheidungsfindungen nützlich ist. Dazu sollte ein kleiner Beitrag geleistet werden.

Der Text geht z. T. auf meine Vorlesungen an der Technischen Hochschule Ilmenau zurück. Für fruchtbaren Gedankenaustausch möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. G. ULRICH, Ilmenau, und Herrn Prof. Dr. sc. techn.

G. FRITZSCHE, Dresden, herzlich danken. Herrn Doz. Dr. sc. nat. H.-J. PRESLA, Ilmenau, und vielen Kollegen bin ich für wertvolle Hinweise und Frau I. WITTIG für die Reinschrift des Manuskriptes Dank schuldig. Meiner lieben Frau danke ich für tatkräftige direkte und indirekte Mitarbeit. Die Zusammenarbeit mit dem Verlag war sehr angenehm, auch dafür möchte ich danken.

Ilmenau, Februar 1976

D. KRESS

Inhaltsverzeichnis

0.	Einleitung	9
1.	Systemtheorie für determinierte Signale	11
1.1.	Signaltheorie	12
1.1.1.	FOURIER-Transformation	12
1.1.2.	Elementare Signale	18
1.1.3.	Grundgesetze	23
1.1.4.	Zeitdauer und Bandbreite aperiodischer Signale	26
1.1.5.	Operationen mit DIRAC- und Sprungfunktion	28
1.1.6.	Periodische und abgetastete Signale	29
1.1.7.	Abtasttheorem	33
1.1.8.	Diskrete FOURIER-Transformation	39
1.1.9.	FOURIER-Transformation und andere Funktional- transformationen	43
1.2.	Theorie linearer Systeme	50
1.2.1.	Voraussetzungen und Grundbegriffe	51
1.2.2.	Idealisierte zeitinvariante Systeme	62
1.2.3.	Idealisierte frequenzinvariante Systeme	77
1.2.4.	Realistische zeitinvariante Systeme mit konzen- trierten Schaltelementen	80
1.2.4.1.	Eigenschaften der Übertragungsfunktion	81
1.2.4.2.	Elementarsysteme	83
1.2.4.3.	Minimalphasen- und Allpaßsystem	90
1.2.4.4.	Gesamtcharakteristik und Elementarcharakteristik	92
1.2.4.5.	Potential-Analogie	93
1.2.4.6.	Approximationsproblem	96
1.2.4.7.	Stabilitätskriterien	99
1.2.5.	Verzweigungsnetzwerk und diskrete Systeme	105
1.2.5.1.	Verzweigungsnetzwerk mit idealen Verzögerungs- gliedern	107
1.2.5.2.	Diskretes System	113
2.	Systemtheorie für stochastische Signale	117
2.1.	Signaltheorie stochastischer Vorgänge	117
2.1.1.	Stochastischer Prozeß	117

2.1.2.	Autokorrelations- und zugehörige Spektralfunktionen	120
2.1.3.	Kreuzkorrelations- und zugehörige Spektralfunktionen	125
2.1.4.	Polaritätskorrelation	128
2.1.5.	Abgetastete stochastische Vorgänge	131
2.1.6.	Anwendungsbeispiel: Korrelationsempfang gestörter periodischer Signale.	133
2.2.	Übertragung stochastischer Signale über lineare Systeme	136
2.2.1.	Zeitinvariante Systeme	136
2.2.2.	Frequenzinvariante Systeme	139
2.3.	Anwendungen für zeitinvariante Systeme	141
2.3.1.	Ermittlung der Gewichtsfunktion eines zeitinvarianten Systems	141
2.3.2.	Optimales Suchfilter	143
2.3.3.	Optimalfilter für kontinuierliches stochastisches Nutzsignal (WIENER-Filter)	147
3.	Informationstheorie.	148
3.1.	Information und Informationsquelle	150
3.1.1.	Diskrete Quelle	151
3.1.2.	Kontinuierliche Quelle	159
3.1.3.	Redundanz und redundanzmindernde Kodierung	160
3.2.	Informationsübertragung über einen gestörten Kanal.	163
3.2.1.	Diskreter Kanal	163
3.2.2.	Kontinuierlicher Kanal	168
3.2.3.	Ausnutzung des Informationsübertragungskanals	169
4.	Literaturverzeichnis	177
5.	Sachverzeichnis	179