Teubner Studienskripten (TSS)

Mit der preiswerten Reihe **Teubner Studienskripten** werden dem Studenten ausgereifte Vorlesungsskripten zur Unterstützung des Studiums zur Verfügung gestellt. Die sorgfältigen Darstellungen, in Vorlesungen erprobt und bewährt, dienen der Einführung in das jeweilige Fachgebiet. Sie fassen das für das Fachstudium notwendige Präsenzwissen zusammen und ermöglichen es dem Studenten, die in den Vorlesungen erworbenen Kenntnisse zu festigen, zu vertiefen und weiterführende Literatur heranzuziehen. Für das fortschreitende Studium können **Teubner Studienskripten** als Repetitorien eingesetzt werden. Die auch zum Selbststudium geeigneten Veröffentlichungen dieser Reihe sollen darüber hinaus den in der Praxis Stehenden über neue Strömungen der einzelnen Fachrichtungen orientieren.

Einführung in die digitale Signalverarbeitung

Von Dr.-Ing. Hermann Götz
Professor an der
Fachhochschule München

Mit 144 Abbildungen und
25 durchgerechneten Beispielen

B. G. Teubner Stuttgart 1990

Professor Dr.-Ing. Hermann Götz

1936 in München geboren. 1956 - 1961 Studium der elektrischen Nachrichtentechnik an der Technischen Hochschule München.
1961 - 1965 wissenschaftlicher Assistent am dortigen Institut für Hochfrequenztechnik. 1963 Promotion an der Technischen Hochschule München.
1965 - 1969 Entwicklungsingenieur und Laborleiter im Zentrallaboratorium für Nachrichtentechnik der Siemens AG in München.
Seit 1969 Mitglied des Fachbereichs Elektrotechnik der Fachhochschule München, Leiter des Laboratoriums für Signalverarbeitung.

CIP-Titelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Götz, Hermann:
Einführung in die digitale Signalverarbeitung /
von Hermann Götz. -
Stuttgart : Teubner, 1990
(Teubner Studienskripten ; 117 : Elektrotechnik)
ISBN 978-3-519-00117-1 ISBN 978-3-322-91129-2 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-322-91129-2

Gesamtherstellung: Druckhaus Beltz, Hemsbach/Bergstraße
Umschlaggestaltung: M. Koch, Ostfildern

Vorwort

Das vorliegende Buch geht aus einer Wahlvorlesung hervor, die ich seit 1986 an der Fachhochschule München halte. Es wendet sich an Studierende der Fachrichtungen Nachrichtentechnik, Meßtechnik und Informatik, und an bereits in der Industrie tätige Ingenieure, die einen Einblick in das moderne Gebiet der digitalen Signalverarbeitung gewinnen wollen.

Als Voraussetzung für das Verständnis des Textes genügt die Kenntnis der Integral- und Differentialrechnung und der komplexen Wechselstromrechnung.

Bei der digitalen Signalverarbeitung werden analoge Signale abgetastet und im Analog-Digital-Wandler in eine binäre Zahlenfolge umgesetzt. Durch numerische Verarbeitung dieser Zahlenfolge lassen sich lineare und nichtlineare Prozesse, wie z. B. Filterung, Fourieranalyse, Modulation, Demodulation und Gleichrichtung realisieren. Im Digital-Analog-Wandler kann die veränderte Zahlenfolge schließlich wieder in ein analoges Signal umgewandelt werden.

Auf Grund der digitalen Verarbeitung sind diese Systeme unempfindlich gegen Änderungen der Bauelementewerte, der Temperatur und Versorgungsspannung und gegen Störungen und Alterung. Ein individueller Abgleich erübrigt sich. Die erreichbare Genauigkeit hängt von der Anzahl der zur Zahlendarstellung verwendeten Binärstellen ab.
Im Gegensatz zu analogen Systemen besteht die Möglichkeit, Filter zu realisieren, die keinerlei Gruppenlaufzeitverzerrung besitzen. Die Eigenschaften eines Systems

können in kurzen Zeitabständen verändert werden. Bei der Sprachsynthese wird beispielsweise der Vokaltrakt des Menschen durch ein Filter nachgebildet, dessen Koeffizienten etwa alle 20 ms verändert werden. Auch adaptive Systeme, die sich schnell an neue Situationen anpassen müssen, sind nur digital zu realisieren.

In diesem Buch werden einführend die Verfahren zur Beschreibung analoger (zeitkontinuierlicher) Signale und Systeme im Zeit- und Frequenzbereich, die vielen Lesern sicher bereits bekannt sind, zusammengefaßt und erläutert: Fourieranalyse, Fourier- und Laplace-Transformation, Faltung, Korrelation.
Davon ausgehend wird in die Darstellung digitaler (zeitdiskreter) Signale und Systeme eingeführt:
Abtastung und Quantisierung, diskrete Faltung und Korrelation, Differenzengleichung, z-Transformation, diskrete Fourier-Transformation (DFT), schnelle Fourier-Transformation (FFT), schnelle Faltung.
Der Entwurf und die Analyse rekursiver und nichtrekursiver digitaler Filter werden dargestellt. Dabei werden Direkt-, Kaskaden-, und Parallelstruktur, Kreuzglieder und Wellendigitalfilter untersucht.
Effekte begrenzter Wortlänge werden diskutiert und an Hand von Simulationsergebnissen demonstriert.

Allen, die zur Entstehung dieses Buches beigetragen haben, möchte ich an dieser Stelle herzlich danken, insbesondere Herrn Dr. J. Schlembach vom Verlag für wertvolle Anregungen, meinen Kollegen Prof. Dr. E. Müller und Prof. E. Schlagheck für die Durchsicht des Manuskripts und meinem Sohn Benedikt für die Anfertigung der Zeichnungen.

München, im Oktober 1989 H. Götz

Inhaltsverzeichnis

Formelzeichen und Symbole

$*$ Faltung
$\circ\!\!-\!\!\!-\!\!\bullet$ Fourier-Transformation, Laplace-Transformation
int[...] Abschneiden der Nachkommastellen einer Zahl
i = a (1) b heißt i läuft mit Schrittweite 1 von a bis b.
$Re[\underline{A}]$ Realteil von $\underline{A}$
$Im[\underline{A}]$ Imaginärteil von $\underline{A}$
a Zahl
a' durch begrenzte Wortlänge veränderte Zahl
$a(f)$ Dämpfung
a_d Durchlaßdämpfung
a_s Sperrdämpfung
$a(t)$ analoges (zeitkontinuierliches) Signal
$a(nT)$, $a(n)$ digitales (zeitdiskretes) Signal
$\underline{A}$ komplexe Größe
$\underline{A}^*$ konjugiert komplexe Größe
$\underline{A}(f)$ Fourier-Transformierte (Spektrum)
$|\underline{A}(f)|$ Amplitudenspektrum
$\underline{A}_k$ Fourierkoeffizient
$\underline{A}(k)$ Diskrete Fourier-Transformierte
$\underline{A}(p)$ Laplace-Transformierte
$\underline{A}(z)$ z-Transformierte
$\underline{A}(\psi)$ einlaufende Spannungswelle
$\underline{B}(\psi)$ auslaufende Spannungswelle
$\delta(t)$ Diracimpuls
$\delta(n)$ Einheitsimpuls
D Dehnungsfaktor
DFT[...] Diskrete Fourier-Transformierte
f Frequenz
f_a Abtastfrequenz
f_d Durchlaßgrenze
f_g Grenzfrequenz
f_s Sperrgrenze
$\varphi(f)$ Phasenspektrum, Phasengang
F[...] Fourier-Transformierte
F^{-1}[...] Fourier-Rücktransformierte
γ, α Adaptorkoeffizienten
$\underline{G}(f)$ Wunschfunktion
$h(n)$ digitale (zeitdiskrete) Impulsantwort
$h(t)$ analoge (zeitkontinuierliche) Impulsantwort
$h_{nk}(n)$ nichtkausale Impulsantwort
$\underline{H}(f)$ Frequenzgang
$|\underline{H}(f)|$ Amplitudengang

$\underline{H}_{nk}(f)$ Frequenzgang eines nichtkausalen Systems
$\underline{H}(p)$, $\underline{H}(z)$ Übertragungsfunktion
IDFT[...] Diskrete Fourier-Rücktransformierte
$j = \sqrt{-1}$
k Filtergrad
$k_{12}(\tau)$ Kreuzkorrelationsfunktion
k_i Skalierungsfaktor
L[...] Laplace-Transformierte
L^{-1}[...] Laplace-Rücktransformierte
μ Anzahl der Koeffizenten eines Filters
$M = k + 1$ Impulsantwort-Länge (FIR-Filter)
N DFT- (FFT-) Länge
$N_ü$ inverses Übertrager-Übersetzungsverhältnis
$\underline{N} = N_R + jN_I$ Nennerpolynom
$p = \sigma + j\omega$ komplexe Kreisfrequenz
q Quantisierungsstufe
ρ binäre Wortlänge inclusive Vorzeichen (Bit)
$\mathrm{si}\ \nu = (\sin \nu)/\nu$
$\underline{S}(\psi)$ Reflexionsfaktor, Übertragungsfaktor
S/Q Signal-Quantisierungsgeräusch-Abstand (dB)
t, τ Zeit
τ_g Gruppenlaufzeit
T Abtastperiodendauer
$w = u + jv$ Kreisfrequenz im Referenzbereich der Bilineartransformation
$w' = u' + jv'$ normierte Kreisfrequenz im Referenzbereich der Bilineartransformation
w(n) zeitdiskrete Fensterfunktion
ω Kreisfrequenz
Ω Kreisfrequenz, auf Abtastfrequenz normiert
Ω_p Polwinkel in der z-Ebene
$\underline{W}_N$ Drehfaktor
x(n) Eingangssignal
y(n) Ausgangssignal
$\psi = \varepsilon + j\eta$ Kreisfrequenz im normierten Referenzbereich eines Wellendigitalfilters
z komplexe Variable der z-Transformation
z_0 Nullstelle
z_p Polstelle
Z[...] z-Transformierte
Z^{-1}[...] z-Rücktransformierte
$\underline{Z} = Z_R + jZ_I$ Zählerpolynom