

E. Hölzler · H. Holzwarth

Pulstechnik

Band II

Anwendungen und Systeme



Springer-Verlag Berlin · Heidelberg · New York

TN78
H1
Bd. 2

7760032

E. Hölzler · H. Holzwarth

Pulstechnik

Band II

Anwendungen und Systeme

Bearbeitet von

K. Euler, P. Gerke, R. Kersten,
H. Leysieffer und H. Stegmeier



E7760032



Springer-Verlag

Berlin · Heidelberg · New York 1976

Dipl.-Ing., Dr.-Ing. Erwin Hölzler

chem. stellv. Vorstandsmitglied der Siemens AG
Leiter der Zentralen Forschung und Entwicklung

Dipl.-Ing., Dr.-Ing. Herbert Holzwarth

Generalbevollm. Direktor der Siemens AG
Leiter des Zentrallaboratoriums für Nachrichtentechnik

Dipl.-Ing., Dr.-Ing. Karl Euler

Prokurist der Siemens AG

Dipl.-Ing. Peter Gerke

Direktor im Unternehmensbereich Nachrichtentechnik

Dipl.-Ing., Dr.-Ing. Rudolf Kersten

Wissenschaftlicher Berater der Siemens AG

Dipl.-Phys., Dr.-Ing. Hans Leysieffer

Direktor im Unternehmensbereich Nachrichtentechnik

Dipl.-Ing., Dr.-Ing. Herbert Stegmeier

Abteilungsbevollmächtigter der Siemens AG

Alle Bearbeiter sind Angehörige des Zentrallaboratoriums für Nachrichtentechnik.

Erweiterung und Neubearbeitung des 1957 unter dem Titel „Theorie und Technik der Pulsmodulation“ erschienenen Werkes

Mit 289 Bildern

ISBN 3-540-07386-8 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York

ISBN 0-387-07386-8 Springer-Verlag New York Heidelberg Berlin

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

Bei Vervielfältigungen für gewerbliche Zwecke ist gemäß § 54 UrhG eine Vergütung an den Verlag zu zahlen, deren Höhe mit dem Verlag zu vereinbaren ist.

© by Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg, 1976. Printed in GDR.

Library of Congress Cataloging in Publication Data (Revised). Hölzler, Erwin. Pulstechnik. „Erweiterung und Neubearbeitung des 1957 unter dem Titel ‚Theorie und Technik der Pulsmodulation‘ erschienenen Werkes“. Bibliography: v. 1. p. ; v. 2. p. Includes indexes. Contents: Bd. 1. Grundlagen.— Bd. 2. Anwendungen und Systeme. 1. Pulse techniques (Electronics) 2. Pulse modulation (Electronics) I. Holzwarth, Herbert, joint author. II. Kersten, Rudolf, 1922-ed. III. Larsen, Herbert, ed. IV. Title. TK7835. H62 621.3815'34 74-23298.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Buch berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Vorwort

Eine Reihe von Gedanken und Feststellungen, die Ziel und Inhalt des zweibändigen Werkes „Pulstechnik“ erläutern, sind im Vorwort zum Band I enthalten. Im Interesse der Leser, die diesen Band nicht besitzen, scheint es zweckmäßig, wesentliche Teile hier erneut wiederzugeben und durch spezifische Hinweise auf den Inhalt von Band II zu ergänzen.

Der ursprüngliche Buchtitel lautete „Theorie und Technik der Pulsmodulation“. Dieses Buch, 1957 erschienen, fand stetiges Interesse, so daß es seit einer Reihe von Jahren vergriffen ist und der Verlag sich eine zweite, auf den Stand der heutigen Theorie und Technik gebrachte Auflage wünschte. Warum dabei die Titeländerung in „Pulstechnik“?

Bei kritischer Überprüfung des Inhalts stellten wir fest, daß zwischen der Breite der gegebenen Grundlagen, die das Interesse der Leser sicher angezogen hat, und der Auswahl der technischen Anwendungen ungleiches Gewicht bestand. Die theoretischen Grundlagen waren gültig für weite Gebiete der gesamten *Pulstechnik*, die Anwendungen waren spezieller der *Pulsmodulation* gewidmet.

Da es bei der heutigen Fülle an Fachliteratur sicher richtig ist, Neubearbeitungen zu „entspezialisieren“, schien es gut, in den Grundlagen die Darstellung zu ergänzen um das viele Neue, was sich in Theorie und wissenschaftlicher Methodik während gut anderthalb Jahrzehnten herausgebildet hat, in den Anwendungen über die Technik der Pulsmodulation hinaus weitere Beispiele zu bringen.

Nach diesem Konzept gaben wir dem Werk den neuen Titel „Pulstechnik“ und teilten es in zwei Bände auf mit den Untertiteln

- I. Grundlagen,
- II. Anwendungen und Systeme.

Beide Teile sind in sich abgeschlossen; natürlich werden im vorliegenden zweiten Band viele Kenntnisse zitiert und vorausgesetzt, die im ersten Band erläutert sind.

In Stichworten sei angegeben, was dort gegenüber dem ursprünglichen Buch an Neuem hinzugekommen ist: Neben notwendigen Er-

gänzungen des allgemeinen mathematischen Rüstzeugs sind es die orthogonalen Mäanderfunktionen, die diskrete und die „schnelle“ Fouriertransformation, die $\mathcal{Z}$ -Transformation, die digitalen Filter, die Auto- und Kreuzkorrelation, die zeitliche Pulskompression beim Radar in klassischer und digitaler Lösung, Optimierungsprozesse, die Barker-codes und die Ambiguity-Funktion. Neben wichtigen nachrichtentheoretischen Ergänzungen sind es die Analog-Digital-Umsetzung, die Quellen- und die Kanalcodierung, ferner ein ganzer neuer Abschnitt zur digitalen Modulation, in dem Codier- und Decodierverfahren, die Pulscode- und die Deltamodulation sowie ihre gemeinsamen Abkömmlinge beschrieben und diskutiert werden. Des Bezuges und der Einteilung halber sind die kontinuierlichen Modulationsverfahren zwar beibehalten worden, aber sehr knapp dargestellt.

Das inhaltliche Formen des zweiten Bandes war besonders schwer. Bei aller Neigung, die Anwendungen dem erweiterten Titel anzupassen, waren wir uns der notwendigen Beschränkung bewußt. So haben wir den großen Komplex der Datenverarbeitungs-Systeme fortgelassen, weil er in der Literatur bereits vielfältig dargestellt ist. Auch auf die weitgestreuten Einzelanwendungen in der Meß- und Regelungstechnik haben wir verzichtet. Behandelt sind dagegen in einiger Ausführlichkeit die Anwendungsstufen, die bis zu Systemen führen und die in allen technischen Anordnungen für die verschiedensten Zwecke immer wieder vorkommen: die Impulsformung und -erzeugung, die Schaltungsalgebra und die darauf beruhenden digitalen Grundsaltungen, ihr Zusammenwirken in höherer und komplexer Form in den Schalteinrichtungen, die das Gerüst jeder Prozeßsteuerung bilden; Logik- und Speicherbausteine sowie Speichersysteme, die Verwirklichung all dieser Prinzipien durch die heutigen Bauelemente, insbesondere durch die Halbleiter.

Die Nachrichtenübermittlung mit Pulsen bildet nach wie vor einen wichtigen, daher auch umfangreichen Teil der Anwendungen — in Parallele zu ihrem Anteil an den Grundlagen im ersten Band. Neu aufgenommen sind ihrer Bedeutung entsprechend moderne Vermittlungssysteme, insbesondere ihre Koppeleinrichtungen. Eine weitere Betrachtung gilt den „integrierten Nachrichtennetzen“, einem Konzept, bei dem die technischen Mittel der Übertragung und der Vermittlung aus einem Guß sind. Den Abschluß bildet die neuere Entwicklung der Ortungstechnik.

Diese Stichworte mögen zur Kennzeichnung genügen. Wie im Band I ist auch hier der erste Abschnitt einem zusammenhängenden Einblick in die einzelnen Abschnitte gewidmet. Dabei schien es uns nützlich, einige Entwicklungs- und Planungstendenzen, die für die heutigen Nachrichtennetze von besonderer Bedeutung sind, etwas ausführlicher zu besprechen.

Wir waren uns sehr rasch klar darüber, daß wir die Neubearbeitung der einzelnen Abschnitte Fachleuten überlassen sollten, die heute ähnlich mittendrin in der Materie stecken wie wir seinerzeit. Für den ersten Band hatten die Herren Dr. phil. Herbert Larsen und Dr.-Ing. Rudolf Kersten bereitwillig diese Aufgabe übernommen. Herr Kersten hat auch vom vorliegenden zweiten Band die Abschnitte 2, 3 und 8 bearbeitet. Die Abschnitte 4, 7 und 9 stammen von Herrn Dipl.-Ing. Peter Gerke, der Abschnitt 5 in seinen ersten beiden Teilen von Herrn Dr.-Ing. Karl Euler, in seinem dritten Teil von Herrn Dr.-Ing. Herbert Stegmeier; dieser hat auch den folgenden 6. Abschnitt verfaßt. Der 10. Abschnitt schließlich ist aus der Feder von Herrn Dr.-Ing. Hans Leysieffer. Allen Herren sei hier besonders gedankt.

Wie früher sind die angegebenen Formeln Größengleichungen, komplexe Größen sind im Druck nicht besonders hervorgehoben. Bei der Wahl der Formelzeichen haben wir uns um Konsistenz bemüht. Bei Definitionen und Benennungen haben wir uns an die derzeit gültigen DIN-Blätter und Empfehlungen der Nachrichtentechnischen Gesellschaft gehalten. Wie früher sind Bilder und Gleichungen abschnittsweise durchnummeriert; zum besseren Finden von Verweisen sind jeweils die Abschnittnummern vorangestellt. Verweise auf den ersten Band sind zusätzlich durch I gekennzeichnet. Das Literaturverzeichnis erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Wir haben uns nach wie vor bemüht, neben den von uns benutzten Arbeiten diejenigen zu nennen, in denen das geschilderte Problem erstmals aufgegriffen wurde. Über Hinweise und Korrekturen würden wir uns freuen.

Der Springer-Verlag hat Druck und Bilder in der gewohnten vorbildlichen Art ausgeführt, für alle Anregungen sei an dieser Stelle herzlich gedankt. Besonderer Dank gebührt Herrn Dr.-Ing. Herbert Knapp, der die Neubearbeitung durch unverdrossene Impulse uns gegenüber, durch Diskussionen und Absprachen mit den Herren Verfassern und durch Korrekturlesen sehr gefördert hat.

Möge das neue Werk so gut aufgenommen werden wie das alte.

München, im Herbst 1975

E. Hölzler H. Holzwarth

Verzeichnis der häufig verwendeten Formelzeichen

a	Dämpfungsmaß
a	Ausgangsvariable der Schaltungsalgebra
a_n	Nebensprechdämpfung
a_Q	Signal-(Quantisierungs-)Geräusch-Abstand
A	Verkehrsangebot
A	Wirksame Aperturfläche der Radarantenne
$A(t)$	Ausgangsfunktion
b	Ganze Zahl, Basis eines Codes
B	Bandbreite
B	Verkehrsverlust
B	Induktion
B_r	Remanenzinduktion
c	Lichtgeschwindigkeit
c	Belegungszahl, Anzahl der Belegungen in der Hauptverkehrsstunde
c_A	Anzahl der im Mittel angebotenen Belegungen je Zeit
c_R	Anzahl der im Mittel abgewiesenen Belegungen je Zeit
C	Kapazität eines Kondensators
C	Speicherkapazität
e	Eingangsvariable der Schaltungsalgebra
$E(t)$	Eingangsfunktion
f	Frequenz
f_0	Abtastfrequenz, Pulsfrequenz
f_b	Bitfolgefrequenz
f_D	Dopplerverschiebung der Frequenz
f_g	Grenzfrequenz, gegeben durch 6 dB Dämpfungszuwachs
f_h	Hochfrequenz
f_{Netz}	Resultierende Taktfrequenz im Nachrichtennetz
f_t	Taktfrequenz
f_z	Zeilenfrequenz bei Fernsehsignalen
F_N	Rauschzahl
G	Antennengewinn
$G(\omega)$	Übertragungsfunktion
H	Magnetische Feldstärke
H_c	Koerzitivfeldstärke
$i(t)$	Augenblickswert des Stroms
I	Strom, Stromamplitude
j	$j = \sqrt{-1}$
k	Boltzmannkonstante

k	Erreichbarkeit
K	Anzahl der Koppelpunkte
l_A	Abschnittlänge
l_{GU}	Untere Grenzentfernung
L	Binärzeichen
L	Induktivität
m	Anzahl der redundanten Bits zur Korrektur eines Fehlers
m	Anzahl der für eine Entdeckung verfügbaren Impulse
n	Pegel
n	Anzahl der Teilnehmer an einer Koppelmatrix
n	Anzahl der Binärelemente eines Codewortes
Δn	Pegeldifferenz
N	Rauschleistung
N	Anzahl der Abnehmerleitungen
O	Binärzeichen
p	Zeitvielfachfaktor
p	Variable der Laplacetransformation, komplexe Frequenz
p	Häufigkeit, Wahrscheinlichkeit
p_E	Entdeckungswahrscheinlichkeit
p_{FA}	Falschalarmwahrscheinlichkeit
P	Leistung
P_1	An die Radarantenne abgelieferte Sendeleistung
P_2	An den Empfängereingang gelieferte Signalleistung
P_Q	Leistung der Quantisierungsverzerrung
$\dot{P}$	Spitzenleistung
q	Anzahl der Entfernungstore
q	Ganze Zahl, Stufenzahl der Quantisierung
r	Anzahl der Elemente (Stellenzahl) eines Codewortes
r_0	Anzahl der (nutzbaren) Binärelemente eines Codewortes
R	Wirkwiderstand
R	Überlebenswahrscheinlichkeit eines Gerätes
R	Entfernung Radar—Ziel
$s(t)$	Augenblickswert des Signales
$s_\sigma(t)$	Antwort eines Netzwerks auf den Einheitssprung $\sigma(t)$
S, S_0	Amplitude, Amplitudenbereich
ΔS	Amplitudenstufe
t	Zeit
t_B	Belegungsdauer
t_m	Mittlere Dauer einer Belegung
t_n	Definierter Zeitpunkt
t_s	Schaltzeit eines Speicherferritkerns
t_w	Mittlere Wartezeit
T	Absolute Temperatur
T	(Langer) Zeitabschnitt
T	Beobachtungszeitraum für Verkehrsabläufe
ΔT	Zeitverschiebung
T_0	Periode des Pulsvorganges
T_b	Bitperiode
T_R	Echolaufzeit eines Radarsignales
$u(t)$	Augenblickswert der Spannung
U	Spannung, Spannungsamplitude

U_k	Spannungswert für die Entscheidungsschwelle eines Schwellwert-detektors
U_R	Regelspannung
v	Verstärkungsfaktor
v_r	Radialgeschwindigkeit
V	Verkehrsanteil
w_N	Wahrscheinlichkeitsdichte eines Rauschsignales
w_{P+N}	Wahrscheinlichkeitsdichte eines mit Rauschen überlagerten Impuls-signales
x	Reelle Achse, unabhängige Veränderliche
x	Normierte Frequenz
y	Imaginäre Achse, abhängige Veränderliche
Y	Belastung
z	Anzahl der Kanäle
Z	Wellenwiderstand einer Leitung
α	Dämpfungsbelag einer Leitung
$\delta(t)$	Einheitsimpuls
Δ	Differenz, endliche Änderung
λ	Wellenlänge
λ_0	Ausfallrate eines Bauelements
σ	Radarquerschnitt des Ziels
$\sigma(t)$	Einheitssprung
τ	Impulsdauer
φ	Phasenwinkel
$\Delta\varphi$	Phasenabweichung
ω	Kreisfrequenz

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der häufig verwendeten Formelzeichen	XIV
1. Einleitung	1
2. Impulsformung und -erzeugung	9
2.1. Impulsformung	9
2.1.1. Frequenzfilter	9
2.1.1.1. Differenzierende Netzwerke	11
2.1.1.2. Integrierende Netzwerke	12
2.1.1.3. Lineare impulsformende Netzwerke	14
2.1.2. Amplitudenfilter	18
2.1.2.1. Amplituden-Hochpässe, -Tiefpässe, -Bandpässe und -Bandsperren	18
2.1.2.2. Impulsformung mit nichtlinearen Elementen	21
2.1.2.3. Potentialverschiebung und -fixierung	24
2.1.2.4. Schwellwert-Entscheider	25
2.1.2.5. Komparatoren	28
2.1.3. Zeitfilter	29
2.1.4. Abtastfilter	33
2.2. Impulserzeugung	35
2.2.1. Erzeugung von Rechteckschwingungen	35
2.2.1.1. Bistabile Kippschaltungen	36
2.2.1.2. Monostabile Kippschaltungen	37
2.2.1.3. Astabile Kippschaltungen	38
2.2.2. Erzeugung von sägezahnförmigen Schwingungen	39
2.2.2.1. Fremdgesteuerte Sägezahngeneratoren	39
2.2.2.2. Selbstschwingende Sägezahngeneratoren	42
2.2.3. Erzeugung von treppenförmigen Schwingungen	43
3. Digitale Grundschaltungen	45
3.1. Grundlagen der Schaltungsalgebra	45
3.1.1. Elemente der Schaltungsalgebra, elementare Verknüpfungen	46
3.1.2. Kombinierte Verknüpfungen, Rechenregeln	49
3.1.3. Vereinfachte Darstellung der Schaltzeichen	53
3.1.4. Ersetzbarkeit von Verknüpfungen	53
3.1.5. Verknüpfungen mehrerer Ausgangsvariabler mit mehreren Ein- gangsvARIABLEN	55

3.1.6. Verknüpfungen mit speichernder Wirkung	55
3.1.6.1. Die D-Kippstufe	57
3.1.6.2. Die T-Kippstufe	57
3.1.6.3. Die RS-Kippstufe	58
3.1.6.4. Die JK-Kippstufe	58
3.1.6.5. Schaltzeichen	59
3.2. Anwendungsbeispiele	60
3.2.1. Verknüpfungen von Zustandsfolgen mit sich selbst	60
3.2.2. Das Rechnen mit logischen Verknüpfungen	62
3.2.2.1. Die Addition	63
3.2.2.2. Die Subtraktion	65
3.2.2.3. Die Multiplikation und Division	67
3.2.3. Kombination logischer und algebraischer Verknüpfungen	68
3.2.4. Höherwertige Algebra	69
3.2.5. Das Schieberegister und seine Anwendungen	71
3.2.6. Codeumsetzung	74
3.2.7. Dualzähler und Frequenzteiler	75
3.2.8. Anordnung zum Synchronisieren einer Empfangseinrichtung von pulsmodulierten Signalen	77
3.3. Schlußbemerkungen zur Theorie der Schaltungsalgebra	81
4. Schalteinrichtungen	83
4.1. Prinzipien	83
4.1.1. Grundbegriffe und Abgrenzung	83
4.1.2. Die Verarbeitung von Programm- und Problemdaten	86
4.1.3. Die Verknüpfung von Daten	87
4.1.4. Die Bedeutung des zeitlichen Ablaufs in Schalteinrichtungen	89
4.1.5. Die Grundfunktionen von technischen Schalteinrichtungen	89
4.2. Verfahren der Ablaufsteuerung	91
4.2.1. Aufgabenstellung	91
4.2.2. Das Herstellen von zeitlichen Folgen	95
4.2.3. Das Herstellen logischer Zusammenhänge mit verdrahtetem Programm	97
4.2.4. Das Herstellen logischer Zusammenhänge mit gespeichertem Programm	101
4.2.4.1. Ein Beispiel für die Tabellenablauflogik	101
4.2.4.2. Eingliederung in die Steuerungsprinzipien	104
4.2.5. Getaktete (synchrone) Schalteinrichtungen	105
4.2.5.1. Notwendigkeit des Taktes	105
4.2.5.2. Mehrtaktsysteme	106
4.2.6. Zeitmultiplexbetrieb	107
4.2.6.1. Art des Ablaufs	107
4.2.6.2. Verarbeitung mit oder ohne Zwischenpufferung der Ein- und Ausgabedaten	108
4.2.6.3. Reihenfolge der Abfertigung, Prioritäten	109
4.2.6.4. Das Prinzip der Phasenlogik (Programmed Cell Technique)	110
4.2.6.5. Schlußbemerkung	111
4.3. Leistungsfähigkeit und Verfügbarkeit zentraler Schalteinrichtungen	111

4.4. Anwendungen und Trend	112
4.4.1. Anwendungsgesichtspunkte	112
4.4.2. Universalität und Komplexität	113
4.4.3. Trend und Einfluß der Technologie	115
5. Bausteine	117
5.1. Bauelemente	117
5.1.1. Halbleiterbauelemente	117
5.1.1.1. Bipolare Elemente	118
5.1.1.2. Feldeffektelemente	129
5.1.1.3. Passive Halbleiterelemente	134
5.1.2. Magnetbauelemente	136
5.1.2.1. Magnetkerne	136
5.1.2.2. Sonstige Magnetbauteile	139
5.1.3. Optische Bauelemente	140
5.1.3.1. Lichtsender	140
5.1.3.2. Lichtempfänger	142
5.2. Logik-Bausteine	143
5.2.1. Bipolare integrierte Schaltungen	144
5.2.1.1. Dioden-Transistor-Logik, DTL	144
5.2.1.2. Transistor-Transistor-Logik, TTL	147
5.2.1.3. Langsame störsichere Logik, LSL	153
5.2.1.4. Emitter Coupled Logic, ECL	154
5.2.1.5. Kundenspezifische Logikschaltung	157
5.2.1.6. Integrierte Injektions-Logik, I ² L	159
5.2.2. Unipolare integrierte Schaltungen	164
5.2.2.1. Einkanal-Technologie	164
5.2.2.2. Komplementärtechnologie	171
5.2.2.3. Gesamtvergleich	173
5.2.3. Aufbautechnologie	173
5.2.3.1. Gehäuse für Halbleiterschaltungen	175
5.2.3.2. Baugruppenplatten	175
5.2.3.3. Gestelle	176
5.3. Speicherbausteine	178
5.3.1. Magnetische Speicherelemente	178
5.3.1.1. Ferritkern-Matrizen	178
5.3.1.2. Ebene dünne magnetische Schichten	181
5.3.1.3. Magnetdraht-Speicher	183
5.3.1.4. Magnetische Domänen	184
5.3.2. Halbleiter-Speicherelemente	189
5.3.2.1. Bipolare Speicherelemente	189
5.3.2.2. MOS-Speicherelemente	192
5.3.3. Passive Festspeicherelemente	197
6. Speichersysteme	199
6.1. Organisation und Einsatz in Schalteinrichtungen	199
6.2. Lese-Schreib-Speichersysteme mit wahlfreiem Zugriff	203
6.2.1. Kernspeichersysteme	203
6.2.2. Halbleiterspeichersysteme	209
6.2.2.1. Bipolare Halbleiterspeichersysteme	210
6.2.2.2. MOS-Halbleiterspeichersysteme	210

6.3. Festspeichersysteme mit wahlfreiem Zugriff	213
6.4. Lese-Schreib-Speichersysteme mit seriellem Zugriff	215
6.5. Zuverlässigkeit von Speichersystemen.	216
6.5.1. Überwachung von Speichersystemen	216
6.5.2. Fehlerkorrektur in Speichersystemen	223
7. Nachrichten-Vermittlungstechnik	227
7.1. Die Grundaufgaben der Vermittlungstechnik.	228
7.1.1. Koppeln	228
7.1.2. Signalisierung	232
7.1.2.1. Signalisierung zwischen Teilnehmer und Vermittlungs-	
stelle.	233
7.1.2.2. Signalisierung zwischen Vermittlungsstellen	236
7.1.3. Administrative Funktionen	237
7.2. Grundbegriffe der Verkehrstheorie	237
7.2.1. Verkehrsgrößen.	238
7.2.2. Verluste und Wartemöglichkeiten	239
7.2.3. Aufteilung der Verkehrsverluste, Eigenschaften der Koppel-	
anordnung.	240
7.2.4. Ergebnisse.	240
7.3. Steuerungsprinzipien	242
7.3.1. Direkt und indirekt gesteuerte Vermittlungssysteme.	242
7.3.2. Speicherprogrammierte Vermittlungssysteme	244
7.3.3. Zentralisierungsgrad der Steuerung	246
7.4. Netzstrukturen	247
7.4.1. Grundsätzliche Strukturformen von Nachrichtennetzen	247
7.4.2. Struktur großer Fernsprech-Ortsnetze	250
7.4.3. Struktur des deutschen Landesfernwahlnetzes	252
7.5. Schlußbemerkung	253
8. Nachrichten-Übertragungstechnik	254
8.1. Der Weg zur digitalen Übertragung	254
8.2. Prinzipieller Aufbau eines Digital-Übertragungssystems	258
8.2.1. Grundsätzliches über Endeinrichtungen zur Modulation und	
Bündelung.	259
8.2.1.1. Prinzipielle Anordnung	259
8.2.1.2. Aufgabe und Wirkungsweise der Taktzentrale, Synchroni-	
sierung	262
8.2.2. Grundsätzliches über Streckeneinrichtungen	272
8.3. Endeinrichtungen für digitale Signale.	276
8.3.1. Signalarten	276
8.3.1.1. Sprachsignale	276
8.3.1.2. Datensignale	284
8.3.1.3. Tonsignale	286
8.3.1.4. Bildsignale	290
8.3.1.5. Trägerfrequenzsignale	302
8.3.2. Synchronisier- und Bündelungsverfahren.	305
8.3.3. PCM-Modulations- und -Multiplexgeräte für 30 und 120 Sprech-	
kreise	310

8.3.3.1. Das Grundsystem PCM 30	310
8.3.3.2. Ein Digital-Multiplexgerät zur Bündelung von vier 2048-kbit/s-Signalen	314
8.4. Übertragungsmedien für Digitalsignale	315
8.4.1. Grundsätzliches.	315
8.4.2. Symmetrische Leitungen.	318
8.4.2.1. Übertragungstechnische Eigenschaften symmetrischer Leitungen für Digitalsignale.	318
8.4.2.2. Streckeneinrichtungen für 2048 kbit/s	324
8.4.3. Koaxialkabellinien	331
8.4.4. Funkverbindungen	337
8.4.4.1. Mobiler Funk	337
8.4.4.2. Terrestrische Richtfunkverbindungen.	338
8.4.4.3. Satelliten-Funkverbindungen	343
8.4.5. Hohlkabel-Übertragungstechnik	347
8.4.6. Lichtfaser-Übertragungstechnik	348
8.5. Hierarchie der Digital-Übertragungssysteme.	350
9. Digitale Vermittlungen und integrierte Nachrichtennetze	354
9.1. Integrationsformen.	354
9.1.1. Integration von Vermittlungs- und Übertragungstechnik (<i>Integration erster Art</i>)	354
9.1.2. Integration von Fernmeldediensten in einem digitalen Nachrichtennetz (<i>Integration zweiter Art</i>)	355
9.2. Digitale Koppelfelder.	355
9.2.1. Die räumliche Durchschaltung digitaler Signale.	356
9.2.2. Die zeitliche Verschiebung digitaler Signale	359
9.2.3. Gruppierungen	361
9.2.3.1. Vermittlung nur mit Zeitstufen	362
9.2.3.2. Vermittlung überwiegend mit Raumstufen	364
9.2.3.3. Die Gruppierung EWS D	364
9.2.3.4. Konsequenzen der Vierdraht-Durchschaltung	367
9.3. Signalisierung	368
9.3.1. Kanalgebundene Signalisierung.	368
9.3.2. Signalisierung auf zentralem Zeichenkanal	370
9.4. Synchronisierung.	371
9.4.1. Taktsynchronisierung	371
9.4.1.1. „Master slave“-Verfahren	372
9.4.1.2. Phasenmittlungsverfahren	372
9.4.2. Rahmen- und Kanalerkennung	377
9.5. Einsatzmöglichkeiten für integrierte Netze	381
9.5.1. Wirtschaftliche Grundbetrachtung für das integrierte Netz	382
9.5.2. Ortsnetze	384
9.5.3. Regionales Fernleitungsnetz	385
9.5.4. Überregionales Fernleitungsnetz	386
9.6. Die Integration von Fernmeldediensten — Aussichten und Probleme	387
9.6.1. Klassifizierung der Fernmeldedienste in digitalen Nachrichtennetzen.	387
9.6.2. Gesichtspunkte für und gegen eine Dienstintegration	389

10. Ortungstechnik	391
10.1. Bedeutung und Abgrenzung der Pulstechnik in der Funkortung	391
10.2. Die Entfernungsmessung mit Impulsen	393
10.2.1. Entfernungsauflösung und Entfernungs-Meßgenauigkeit	393
10.2.2. Entdeckungswahrscheinlichkeit und Falschalarmrate	395
10.2.2.1. Störungseinflüsse	395
10.2.2.2. Die Radargleichung	397
10.2.2.3. Die Entdeckung als statistische Aussage	398
10.2.3. Pulskompression	404
10.2.4. Festzeichenunterdrückung	412
10.2.4.1. Das Grundproblem beim Puls-Doppler-Radar	412
10.2.4.2. Dopplerfilterung bei konstanter Pulsfrequenz	416
10.2.4.3. Digitale Dopplerfilterung mit variabler Pulsfrequenz	420
10.2.5. Die Bedeutung der Ambiguity-Funktion	422
10.3. Prinzip-Blockschaltbilder am Beispiel zweier Anlagen	425
10.3.1. Rundumsicht-Radaranlage ohne Festzeichenunterdrückung	425
10.3.2. Rundumsicht-Radaranlage mit Festzeichenunterdrückung	428
10.4. Sekundärradartechnik	431
10.4.1. Die Impulsübertragung	431
10.4.2. Codierung und Decodierung	433
10.4.3. Systemeigene Störungen	436
10.4.4. Prinzip-Blockschaltbilder einer Abfrage- und einer Antwortstation	438
Literaturverzeichnis	441
Sachverzeichnis	454

Inhalt des Bandes I

1. Einleitung
2. Signalbeschreibung im Zeit- und Frequenzbereich für zeitkontinuierliche Vorgänge
3. Signalbeschreibung im Zeit- und Frequenzbereich für zeitdiskrete Vorgänge
4. Abtasttheoreme
5. Spezielle Pulse und Verformungsprobleme
6. Stochastische Vorgänge
7. Analog- und Digitalsignale, Quantisierung und Codierung
8. Informationstheoretische Grundlagen
9. Pulsmodulation
10. Digitale Modulation
Literaturverzeichnis
Sachverzeichnis

1. Einleitung

In der Geschichte der Anwendung technischer Verfahren stößt man vielfältig auf Lösungen mit impulsförmigen Vorgängen. Genannt seien aus früherer Zeit nur der Spindelgang der Uhren, die Anfänge der Dampfmaschine, der Webstuhl von Jacquard 1808, der erstmalig mit einer Lochkarte gesteuert wurde, aus neuerer Zeit der Kinematograph oder die Zähltechnik für atomare Vorgänge.

Die digitale Form der Impulsverfahren ist von ganz besonderer Bedeutung für die Übermittlung von Nachrichten.

Eine der ältesten Disziplinen dieser Technik, nämlich die *Telegraphie*, verwendet von Anfang an Impulse, heute in Form von international verabredeten Codesignalen für das Fernschreiben und die Datenübertragung. Die Probleme der Impulsverformung und die Suche nach Verfahren, verzerrte Signale trotzdem richtig zu erkennen, traten zuerst bei der Seekabel-Telegraphie auf (Lord Kelvin 1854).

Die *Telephonie*, deren Leitungsnetze seit rund hundert Jahren der Übermittlung von Sprachsignalen dienen, verwendete für die Gesprächsvermittlung schon seit etwa 1890 in *automatischen* Vermittlungseinrichtungen den impulsgesteuerten Strowger-Wähler mit den zugehörigen Relaiskombinationen.

Bereits vor dem zweiten Weltkrieg wurden die Grundlagen für die *Radartechnik* geschaffen, die der Ortung von Objekten dient. Sie arbeitet weitgehend mit Puls-Methoden.

Die *Rechnertechnik*, wegen der Vorgänge des Abzählens von vornherein für die Impulsverfahren prädestiniert, hat ihren Siegeszug in einem nicht geahnten Ausmaß angetreten, nachdem die Halbleiterphysik die technologischen Voraussetzungen für digitale Schaltungen erfüllte.

Parallel dazu drangen diese Verfahren rapide in die Sphäre der *Energietechnik* ein. Teils befruchteten sie die *Steuerungs-* und *Regelungstechnik*, z. B. in Form der sogenannten *Prozeßrechner*, teils führten sie zu einem ganz neuen Zweig, der modernen *Energieelektronik*.

Die in der Datenverarbeitung gewonnenen Erkenntnisse der Digitaltechnik beeinflussen heute wiederum die älteren Techniken der Vermitt-

lung und Übertragung auf dem Nachrichtengebiet, die Radartechnik und die *Meßtechnik*. Erwähnt sei ferner noch der starke und befruchtende Einfluß der Pulstechnik auf die Geräte der *Elektromedizin*.

Gemäß den im Vorwort geäußerten Gedanken beschreiben die verschiedenen Abschnitte zum Teil technische Anwendungen, die zum allgemeinen Rüstzeug der Pulstechnik gehören, wie verschieden die Gebiete auch sein mögen; zum anderen beziehen sie sich vorwiegend auf nachrichtentechnische Geräte und Systeme, wobei die Ortungstechnik eingeschlossen ist. Im folgenden sei zur Einführung ein Überblick über den Inhalt der einzelnen Abschnitte gegeben:

Der zweite Abschnitt ist der Impulsformung und -erzeugung gewidmet. In allen Anwendungsgebieten dieser Technik arbeitet man mit denselben Grundsaltungen, um pulsformige Vorgänge der verschiedensten Art zu erzeugen, zu verformen, zu filtern, ineinander umzuwandeln und zu verarbeiten. Wichtige Formen sind dabei Rechteckschwingungen, sägezahnförmige und treppenförmige Schwingungen.

Der dritte Abschnitt befaßt sich mit rein digitalen Schaltungen; der Einführung in die Schaltungsalgebra ist dabei mit Rücksicht auf deren große Bedeutung in der binären Digitaltechnik besonderer Raum gewidmet.

Die Grundelemente der Schaltungsalgebra werden schon seit langem für technische Steuer- und Regelprozesse verwendet — es sei nur auf die oben schon genannte Rolle verwiesen, die das Relais als digitales Element spielt. Mit der Einführung elektronischer Schaltkreise hat sich der Anwendungsbereich wesentlich erweitert, insbesondere durch die elektronische Datenverarbeitung. Aber auch Manipulationen, die bisher an Analogsignalen unmittelbar durchgeführt wurden, werden heute mit Hilfe der Digitaltechnik realisiert: Nach erfolgter Analog-Digital-Umsetzung, die oft zur Übertragung ohnehin erforderlich ist, wird das Signal durch einen mit Hilfe der Schaltungsalgebra bestimmten Rechenprozeß umgewandelt. Beispiele für derartige Verformungen sind Begrenzung, Kommandierung, Frequenzversetzung und nicht zuletzt die vielen Arten der Digitalfilter. Nach einer darauffolgenden Digital-Analog-Umsetzung erhält man dann das in gewünschter Weise veränderte Signal wieder. Auch innerhalb rein digitaler Systeme bieten sich Anwendungsmöglichkeiten, so z. B. bei der Codeumsetzung, bei der Redundanzminderung oder -erhöhung, bei der Fehlererkennung und -korrektur.

Im vierten Abschnitt wird die Anwendung der digitalen Grundsaltungen in Schalteinrichtungen, das heißt in komplizierten Systemen von logischen Verknüpfungen und Speichern behandelt. Diese Schalteinrichtungen kommen in allen Systemen zur Steuerung von Prozessen vor. Die in der Vermittlungstechnik benutzten, für komplizierte Prozesse beispielhaften Abläufe sind besonders herausgestellt.