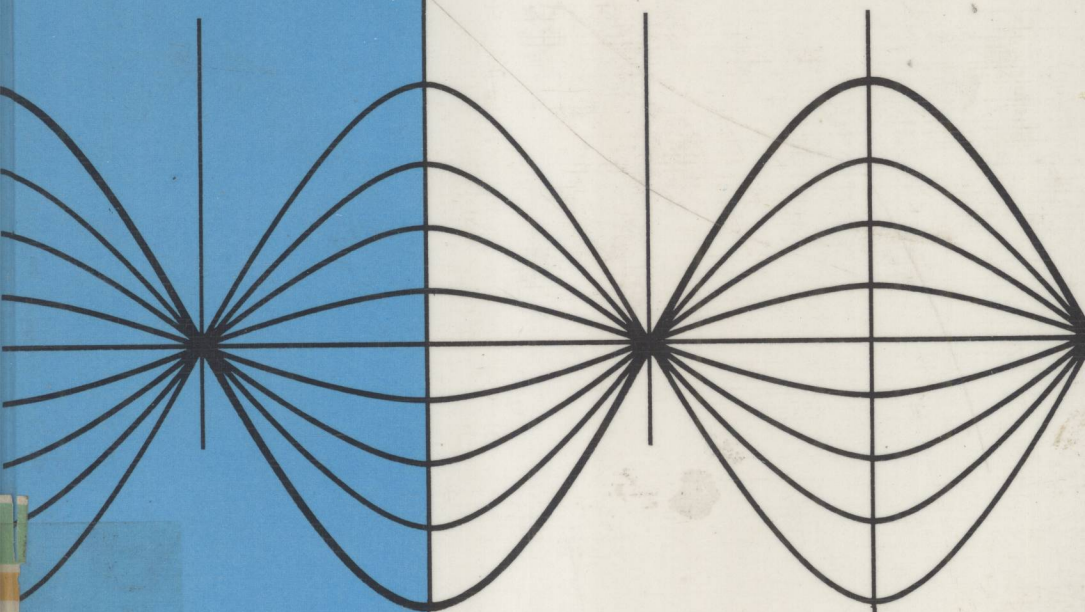


Schröder/Rommel

Band 1 b

Elektrische Nachrichten technik

Änderungen determinierter
Signale auf linearen
Übertragungswegen



Pflaum Verlag · München

TN 911
S 5
Bd. 1 b

8261533

DR.-ING. HEINRICH SCHRÖDER
PROFESSOR DR.-ING. GÜNTHER ROMMEL

Elektrische Nachrichtentechnik

Änderungen determinierter Signale
auf linearen Übertragungswegen

Band 1b

171 Bilder und 4 Tabellen



E8261533

Richard Pflaum Verlag KG · München

Professor Dr.-Ing. GÜNTHER ROMMEL, Jahrgang 1934, studierte Elektrotechnik und Nachrichtentechnik an der TH Stuttgart. Nach Abschluß der Diplomprüfung 1960 war er Assistent am Institut für Fernmeldeanlagen der TH Stuttgart. 1964 Promotion über ein Thema aus dem Gebiet der nichtlinearen Schwingungen. Von 1964 – 1966 war er Entwicklungsingenieur und leitete eine Laborgruppe, die auf dem Gebiet der Datenverarbeitung und der kommerziellen Nachrichtentechnik arbeitete. Seit 1966 ist er an der Hochschule für Technik Bremen auf dem Gebiet Nachrichtentechnik/Übertragungstechnik tätig. 1976 übernahm er die Leitung des Labors für Nachrichtenübertragung an der Hochschule. 1979 wurde er zum Professor auf Lebenszeit ernannt.

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Schröder, Heinrich:

Elektrische Nachrichtentechnik / Heinrich

Schröder ; Günther Rommel. – München : Pflaum.

NE: Rommel, Günther:

Bd. 1b. Änderungen determinierter Signale auf
linearen Übertragungswegen. – 1980.

ISBN 3-7905-0317-7

Es wird keine Gewähr übernommen, daß die in diesem Buch veröffentlichten Schaltungen frei von Patentrechten sind. Von den in diesem Buch zitierten VDE-Vorschriften und DIN-Normen und -Norm-Entwürfen haben stets nur die jeweils letzten Ausgaben verbindliche Gültigkeit.

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.

1980 Richard Pflaum Verlag KG, München

Alle Rechte vorbehalten, insbesondere die der Übersetzung

Printed in Germany

Gesamtherstellung: Schwetzingen Verlagsdruckerei GmbH, 6830 Schwetzingen

Beim Studium und in der Praxis vieltausendfach bewährt

ELEKTRISCHE NACHRICHTENTECHNIK

Dr.-Ing. Heinrich Schröder/Prof. Dr.-Ing. Günther Rommel

Band 1a: Eigenschaften und Darstellungen von Signalen

1978. 10., völlig neu bearbeitete Auflage. 412 Seiten mit 179 Abbildungen und Tabellen, Kst.-geb., DM 59,80. ISBN 3-8101-0045-5.

Der Band 1 des Werkes Elektrische Nachrichtentechnik mußte aufgrund der Innovationen in der Nachrichtentechnik völlig neu konzipiert werden. Er wird durch den Band 1a mit dem Untertitel „Eigenschaften und Darstellungen von Signalen“ ersetzt, der die Kennfunktionen und Kenntnisse von periodischen sowie von einmaligen determinierten und stationären zufallsbedingten Signalen behandelt. Mit Hilfe der jetzt in die Neubearbeitung eingeführten Begriffe wie Spektralfunktion, Korrelationsfunktion und spektrale Leistungsdichte werden dann Signale betrachtet, die durch Modulation und Codierung umgewandelt werden. Die Eigenschaften schwingungsmodulierter Signale werden behandelt. Die bei den modernen Verfahren der digitalen Modulation auftretenden Probleme der Analog-Digital-Wandlung und der Codierung werden innerhalb dieses Werkes erstmals dargestellt. Ebenfalls neu aufgenommene Betrachtungen über den Nachrichtengehalt von gesendeten und empfangenen, bei der Übertragung gestörter Signale schließen die Überlegungen ab.

Dr.-Ing. Heinrich Schröder/Prof. Dr.-Ing. Günther Rommel

Band 2: Signaländerungen auf dem Übertragungsweg. Verzerrungen und Störungen

1980. Ca. 420 Seiten mit zahlreichen Abbildungen und Tabellen, Kunststoff-einband, ca. DM 59,80. ISBN 3-7905-0328-2.

In diesem Band wird zunächst die Übertragung zufallsbedingter Signale durch lineare Systeme behandelt und anschließend werden die Überlegungen zur Übertragung zufallsbedingter Signale auf das Problem ausgedehnt, wie stark sich zufallsbedingte Störungen im Empfangssignal auswirken. Im zweiten Hauptabschnitt wird ausführlich erläutert, wie nichtlineare Funktionseinheiten determinierte und stochastische Signale verändern. Da die hierfür nötigen Berechnungen meist umfangreich und kompliziert sind, werden die Probleme vereinfacht, indem man z.B. zwei Energiespeicher berücksichtigt oder von geringen Nichtlinearitäten ausgeht. Im Gegensatz zu den linearen Systemen, die durch Kennfunktionen wie Gewichtsfunktion oder Übertragungsfunktion beschrieben werden, lassen sich derartige Lösungen bei nichtlinearen Systemen meist nicht angeben. Hier ist man weitgehend auf numerische Lösungsverfahren angewiesen, deren Ansätze beschrieben werden. Der letzte Abschnitt des Bandes 2 untersucht die Änderungen, die moduliert übertragene Signale infolge der linearen und nichtlinearen Verzerrungen und der unvermeidlichen Störungen auf dem Übertragungsweg erfahren.

In Vorbereitung:

Band 3: Bausteine der Übertragungssysteme



Pflaum Verlag · München

Fachliteratur zur Nachrichtentechnik

Neuerscheinung

Alexander Kraus

Einführung in die Hochfrequenzmeßtechnik

1980. 310 Seiten mit 254 Abbildungen, Kunststoffeinband, ca. DM 59,80.
ISBN 3-7905-0318-5

Die Entwicklung der Hochfrequenztechnik war in der Vergangenheit durch fortschreitende Leistungssteigerung der Systeme und durch ein rasches Vordringen in immer höhere Frequenzbereiche gekennzeichnet. Gleichzeitig damit mußten aber auch die Eigenschaften der Meßgeräte soweit verbessert oder verändert werden, daß sie den neuen Anforderungen gerecht wurden. Deshalb entfällt ein beträchtlicher Teil der in der Hochfrequenztechnik geleisteten Forschungs- und Entwicklungsarbeit auf die Meßtechnik selbst. Die Zusammenfassung der dabei gemachten Erfahrungen, Theorien und ihre Anwendung auf die Konstruktion technischer Meßgeräte nennen wir heute Hochfrequenzmeßtechnik. Das vorliegende Buch befaßt sich mit dieser Technik. Es wird versucht, alles Wesentliche, was zu dieser Technik gehört, eingehend und verständlich zu beschreiben.

Die an den Anfang des Buches gestellte kurze Zusammenfassung der heute gebräuchlichen Meßverfahren für die physikalischen Grundgrößen Spannung, Strom, Welle, Leistung und Feldstärke soll dem Leser die Möglichkeit geben, sich zunächst über das Wesentliche zu informieren, ohne mit den Einzelheiten belastet zu sein. Vorangestellt ist auch eine Abhandlung über Wellengrößen, ihre physikalische Bedeutung, ihre Eigenschaften und Beziehungen zu den klassischen Größen Strom und Spannung.

Der Hauptabschnitt 2 befaßt sich ausführlich mit den heute angewandten Meßmethoden, den technischen Mitteln und der erreichbaren Meßgenauigkeit bei Strom, Spannung, Welle, Leistung, Feldstärke und beim thermischen Rauschen. Von den heute gebräuchlichen technischen Meßgeräten wird die Konstruktion von Strom-Spannungs-Leistungsmessern, Meßempfängern, Analysatoren, Phasenmessern, Spannungsteilern, Dämpfungsgliedern, Eichleitungen, Richtkopplern, Rauschgeneratoren und Meßantennen behandelt. In einem besonderen Kapitel wird die Problematik der Erzeugung und Messung sehr kleiner Hochfrequenzspannungen erörtert. Ein weiteres Kapitel behandelt die Schirmung von Meßaufbauten. Gestreift werden auch Thermoelemente und Stromwandler, die heute immer mehr an Bedeutung verlieren.

Der dritte Hauptabschnitt ist der analogen Meßtechnik gewidmet. Analoge Meßtechnik wird heute in der Hauptsache zur Messung der Impedanz, Induktivität, Kapazität, des Verlustfaktors oder der Güte bei Bauelementen angewandt. Bei diesem Meßverfahren wird die physikalische Größe aus der Wirkung, die das Meßobjekt auf eine bestimmte Schaltung ausübt, bestimmt. Als Meßschaltungen werden Spannungsteiler, Resonanzkreise, Leitungen (Meßleitungen), Brücken (Verhältnis-, Schering-, Maxwell-Übertragerbrücken) und Doppel-T-Anordnungen behandelt. Ergänzt wird diese Darstellung durch die Beschreibung der heute gebräuchlichen Anzeigegeräte für Brücken.



Pflaum Verlag · München

DR.-ING. HEINRICH SCHRÖDER
PROFESSOR DR.-ING. GÜNTHER ROMMEL

Elektrische Nachrichtentechnik
Änderungen determinierter Signale
auf linearen Übertragungswegen
Band 1b

TN911
S5
Bd.1b

8261533

Elektrische Nachrichtentechnik

TN 911
S 5
Bd. 1 b

8261533

DR.-ING. HEINRICH SCHRÖDER
PROFESSOR DR.-ING. GÜNTHER ROMMEL

Elektrische Nachrichtentechnik

Änderungen determinierter Signale
auf linearen Übertragungswegen

Band 1b

171 Bilder und 4 Tabellen



E8261533

Richard Pflaum Verlag KG · München

Professor Dr.-Ing. GÜNTHER ROMMEL, Jahrgang 1934, studierte Elektrotechnik und Nachrichtentechnik an der TH Stuttgart. Nach Abschluß der Diplomprüfung 1960 war er Assistent am Institut für Fernmeldeanlagen der TH Stuttgart. 1964 Promotion über ein Thema aus dem Gebiet der nichtlinearen Schwingungen. Von 1964 – 1966 war er Entwicklungsingenieur und leitete eine Laborgruppe, die auf dem Gebiet der Datenverarbeitung und der kommerziellen Nachrichtentechnik arbeitete. Seit 1966 ist er an der Hochschule für Technik Bremen auf dem Gebiet Nachrichtentechnik/Übertragungstechnik tätig. 1976 übernahm er die Leitung des Labors für Nachrichtenübertragung an der Hochschule. 1979 wurde er zum Professor auf Lebenszeit ernannt.

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Schröder, Heinrich:

Elektrische Nachrichtentechnik / Heinrich

Schröder ; Günther Rommel. – München : Pflaum.

NE: Rommel, Günther:

Bd. 1b. Änderungen determinierter Signale auf
linearen Übertragungswegen. – 1980.

ISBN 3-7905-0317-7

Es wird keine Gewähr übernommen, daß die in diesem Buch veröffentlichten Schaltungen frei von Patentrechten sind. Von den in diesem Buch zitierten VDE-Vorschriften und DIN-Normen und -Norm-Entwürfen haben stets nur die jeweils letzten Ausgaben verbindliche Gültigkeit.

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.

1980 Richard Pflaum Verlag KG, München

Alle Rechte vorbehalten, insbesondere die der Übersetzung

Printed in Germany

Gesamtherstellung: Schwetzingen Verlagsdruckerei GmbH, 6830 Schwetzingen

Vorwort

Im vorangegangenen Band 1 a der „Elektrischen Nachrichtentechnik“ wurden Kennwerte und Kennfunktionen von Signalen im Zeitbereich und Frequenzbereich erläutert und mit ihnen die Eigenschaften determinierter und stochastischer Signale dargestellt. Der vorliegende Band 1 b befaßt sich nun mit der Übertragung von Signalen, wie es im Vorwort von Band 1 a angekündigt ist. Untersucht wird im einzelnen, wie ein lineares Übertragungssystem determinierte Signale auf dem Weg von der Signalquelle zum Empfänger verändert. Nur lineare Systeme können nämlich bei richtiger Bemessung analoge Signale formgetreu, d. h. ohne Verzerrungen übertragen. In der Regel handelt es sich bei den zu übertragenden Signalen um analoge Signale, so daß die linearen Übertragungssysteme die größte Rolle spielen. Determinierte Signale werden für die Untersuchung gewählt, um aus dem Verlauf von Eingangs- und Ausgangssignalen der Übertragungsstrecke möglichst einfach auf ihre Eigenschaften rückschließen zu können. Die Übertragungseigenschaften werden durch Kennfunktionen wie Gewichtsfunktion oder Übergangsfunktion im Zeitbereich sowie Übertragungsfaktor oder Übertragungsmaß im Frequenzbereich beschrieben. Als besonders einfach erweist sich die Darstellung im Frequenzbereich. Gewichtsfunktion und Übertragungsfaktor werden durch die schon im Band 1 a erläuterte FOURIER-Transformation oder die LAPLACE-Transformation miteinander verknüpft. Weil Übertragungssysteme in der Regel aus vielen Funktionseinheiten bestehen, ist es zweckmäßig, die Eigenschaften der Bausteine zunächst einzeln zu betrachten und daraus auf die Eigenschaften des gesamten Systems zu folgern. Hierzu dient die Vierpoltheorie. Die Darstellung der Berechnung von Kennfunktionen eines Übertragungssystems wird ergänzt durch die Beschreibung von Verfahren zu ihrer Messung.

Weil bandbegrenzte analoge Signale durch eine Folge regelmäßig entnommener Abtastwerte vollständig beschrieben werden können, lassen sich Signale nicht nur zeitkontinuierlich, sondern mit Hilfe einer Pulsmodulation auch zeitdiskret übertragen und verarbeiten. Den zeitdiskret arbeitenden Übertragungssystemen ist daher der letzte Abschnitt des vorliegenden Bandes gewidmet.

Der Band 1 b behandelt aus dem Thema „Signaländerungen auf dem Übertragungsweg“, wie es im Vorwort zu Band 1 a angedeutet wurde, nur den Teil, den man mit „Änderungen determinierter Signale auf linearen Übertragungswegen“ beschreiben kann. Das ganze Thema erwies sich als so umfassend, daß es in der vom Verfasser gewünschten Breite nicht in einem Band behandelt werden konnte, ohne dessen Umfang zu stark anwachsen zu lassen. Deshalb werden die Übertragung zufallsbedingter, d. h. Nachrichten tragender Signale durch lineare Systeme, die Auswirkung von Rauschsignalquellen im linearen Übertragungssystem sowie die Übertragungseigenschaften nichtlinearer Systeme in einem Band 2 dargestellt. An die genannten Probleme knüpfen dort Überlegungen an, wie modulierte, frequenzmäßig oder zeitlich gebündelte Signale durch lineare und nichtlineare Verzerrungen gestört und durch determinierte oder zufallsbedingte Störsignale in ihrem Nachrichtengehalt geändert werden.

Im Band 1 a ist mehrfach auf den Band 1 b in seiner ursprünglichen Konzeption hingewiesen worden. Die Tabelle am Schluß dieses Bandes gibt an, auf welche Abschnitte des nun vorliegenden Bandes 1 b und des Bandes 2 sich die Hinweise in Band 1 a beziehen. Der Verfasser dankt Herrn Dr. SCHRÖDER für seine Beratung und Unterstützung beim Korrekturlesen.

Stuhr, im Winter 1980

GÜNTHER ROMMEL

87-1858

Inhalt

1.	Übertragung determinierter Signale durch lineare zeitkontinuierlich arbeitende Systeme	9
1.1.	Darstellung der Übertragungseigenschaften im Zeitbereich	11
1.1.1.	Bestimmung des Ausgangssignals mit Hilfe der Übergangsfunktion und der Stoßantwort	11
1.1.2.	Bestimmung der Übergangsfunktion und der Stoßantwort aus den Daten der Übertragungsstrecke mit Hilfe der Operatorenrechnung	42
1.1.3.	Zusammenfassung des Abschnitts 1.1.	88
1.2.	Darstellung der Übertragungseigenschaften im Frequenzbereich	90
1.2.1.	Definition und Darstellung des Übertragungsfaktors	90
1.2.2.	Bestimmung des Ausgangssignals mit Hilfe des Übertragungsfaktors	147
1.2.2.1.	Der allgemeine Fall	147
1.2.2.2.	Idealisierte Systeme	177
1.2.2.3.	Näherungsverfahren	207
1.2.3.	Zusammenfassung des Abschnitts 1.2.	234
2.	Das Übertragungssystem als Vierpol	238
2.1.	Bestimmung der Vierpolparameter und ihre Bedeutung	239
2.2.	Berechnung von Vierpolschaltungen	263
2.3.	Übertragungsmaß und Pegel	276
2.4.	Spezielle Vierpole und Vierpol-Klassen	286
2.5.	Frequenzabhängigkeit der Vierpol-Parameter und Stabilität	304
2.6.	Wellenübertragung	316
2.7.	Mehrpole	360
2.8.	Zusammenfassung des Abschnitts 2.	381
3.	Übertragung durch lineare, zeitdiskret arbeitende Systeme	386
3.1.	Darstellung der Übertragungseigenschaften eines zeitdiskreten Systems	388
3.2.	Zeitdiskret arbeitende Vierpole	435
3.3.	Zusammenfassung des Abschnitts 3.	451
4.	Schrifttum	455
5.	Bezüge aus Band 1 a	456
6.	Sachwörterverzeichnis	457
7.	Verzeichnis wichtiger, wiederholt verwendeter Symbole	461

Weil einerseits die Anforderungen an die Kenntnisse und das Verständnis des Lesers in den einzelnen Abschnitten des Buches sich erheblich unterscheiden können und andererseits auch der Leser entsprechend seinem Verständnis sich nicht für alle Abschnitte in gleichem Maße interessieren wird, ist es sinnvoll, den Inhalt des Buches beispielsweise in 2 Durchgängen zu erarbeiten.

1. Durchgang:
Abschnitte

- 1.
- 1.1.1.
- 1.2.
- 1.2.1.
- 1.2.2.
- 1.2.2.1.
- 1.2.2.2.
- 2.
- 2.1.
- 2.2.
- 2.3.
- 2.4.
- 2.5.

2. Durchgang:
Abschnitte

- 1.1.2.
- 1.2.2.3.
- 2.6.
- 2.7.
- 3.
- 3.1.
- 3.2.

1. ÜBERTRAGUNG DETERMINIERTER SIGNALLE DURCH LINEARE ZEITKON- TINUIERLICH ARBEITENDE SYSTEME

Im folgenden soll untersucht werden, wie ein Sendesignal $s_E(t)$, das am Eingang des Übertragungswegs auftritt, durch die Eigenschaften des Übertragungskanals verändert und in das Empfangssignal $s_A(t)$ am Ausgang des Übertragungswegs umgeformt wird. Man vergleiche hierzu Bild 1.1. Dabei geht man zunächst davon aus, daß das Empfangs-

Bild 1.1 Zuordnung von Eingangs- und Ausgangssignal durch das Übertragungssystem; ÜS: Übertragungssystem, $s_E(t)$: Eingangssignal, $s_A(t)$: Ausgangssignal



signal nur durch das Sendesignal verursacht ist und demnach keine Störsignale, die aus anderen Quellen herrühren, enthält. Der Übertragungskanal ordnet dann einem Eingangssignal umkehrbar eindeutig ein Ausgangssignal zu, wie es Bild 1.1 zeigt. Diese Zuordnung soll durch einen Doppelpfeil symbolisiert werden.

$$s_E(t) \longleftrightarrow s_A(t)$$

Weiter wird das Übertragungssystem als linear angesehen, d. h., es kann der Überlagerungssatz angewendet werden, Eingangs- und Ausgangssignal sind zueinander proportional.

$$\begin{aligned} s_E(t) &\longleftrightarrow s_A(t) \\ k \cdot s_E(t) &\longleftrightarrow k \cdot s_A(t) \\ s_{E1}(t) + s_{E2}(t) &\longleftrightarrow s_{A1}(t) + s_{A2}(t) \end{aligned} \quad (1.1)$$

mit

$$\begin{aligned} s_{E1}(t) &\longleftrightarrow s_{A1}(t) \\ s_{E2}(t) &\longleftrightarrow s_{A2}(t) \end{aligned}$$

Wenn Eingangs- und Ausgangssignal einander umkehrbar eindeutig zugeordnet sind, kann die Wirkung, das Ausgangssignal, nicht ohne die Ursache, das Eingangssignal, auftreten. Alle hier untersuchten Systeme sind also sogenannte *kausale Systeme*.

An das Übertragungssystem in Bild 1.1 lassen sich 3 verschiedene Fragen richten. Für die Übertragungstechnik am wichtigsten ist die Frage nach den Eigenschaften des Übertragungskanals, die er im einzelnen auf Grund der vorgegebenen Sendesignale und der vom Nachrichtenempfänger geforderten Empfangssignale erhalten muß. Sie kann meistens nicht unmittelbar beantwortet werden, sondern man analysiert, wie vorgegebene Sendesignale durch die Eigenschaften verschiedener Übertragungskanäle beeinflusst werden und welche Ausgangssignale sich jeweils ergeben. Diese Kenntnisse ermöglichen es, die für die geforderten Send- und Empfangssignale benötigten Übertragungseigenschaften auszuwählen. Diese Hauptaufgabe der Übertragungstechnik wird also auf einem Umweg gelöst, indem man die Antworten auf die 2. mögliche Frage, nämlich welche Ausgangssi-

gnale ergeben sich für bestimmte Eingangssignale bei verschiedenen Übertragungskanälen, benutzt.

Mit der geschilderten Hauptaufgabe der Übertragungstechnik ist eng verwandt das Problem, aus bekannten Sende- und Empfangssignalen auf die Eigenschaften des Übertragungskanals zurückzuschließen, d. h. das Übertragungssystem zu identifizieren. Es tritt zum Beispiel auf, wenn man ein Übertragungssystem daraufhin überprüfen will, ob es die gewünschten Eigenschaften aufweist. Einen Sonderfall dieser Fragestellung bilden die Ortungssysteme, bei denen die zu ortenden Objekte ein sie treffendes ausgesandtes Signal reflektieren, so daß man aus dem Empfangsecho auf den Ort und bis zu einem gewissen Grad auch auf die Art des Objekts schließen kann. Auch diese Probleme werden im Prinzip dadurch gelöst, daß man untersucht, welche Ausgangssignale sich in Abhängigkeit von den Eigenschaften des Übertragungskanals und den Eingangssignalen ergeben.

Die 3. mögliche Fragestellung geht von bekannten Eigenschaften des Übertragungskanals und des Ausgangssignals aus und versucht, die ihnen zugeordneten Eingangssignale zu ermitteln. Sie tritt zum Beispiel auf, wenn man ein geeignetes Modulationsverfahren für die Übertragung bzw. allgemein eine günstige Kanalcodierung sucht. Diese Aufgabe wird ebenfalls dadurch gelöst, indem man umgekehrt die Ausgangssignale aus den Eingangssignalen und den Eigenschaften des Kanals bestimmt und aus den verschiedenen sich ergebenden Lösungen die herausucht, die die vorgegebenen Forderungen erfüllt.

Die folgenden Abschnitte sollen deshalb Verfahren mit ihren Begriffen und Kennfunktionen darstellen, die es erlauben, das Ausgangssignal $s_A(t)$ aus dem Eingangssignal $s_E(t)$ und den Eigenschaften des Übertragungskanals zu ermitteln. Die gesuchten Kennfunktionen für die Eigenschaften des Übertragungskanals bestimmt man zweckmäßig, indem man zunächst von determinierten oder deterministischen Signalen ausgeht. Wenn das Eingangssignal ein determiniertes Signal ist, muß es nach seiner Übertragung am Ausgang wieder als determiniertes Signal erscheinen. Aus seiner Änderung gegenüber dem Eingangssignal kann man auf die Übertragungseigenschaften des Kanals schließen. Erst wenn man diese kennt, kann man die Übertragung von Nachrichten, die nach den Ausführungen im Band 1 a nur durch zufallsbedingte Signale beschrieben werden können, untersuchen. Dabei sollen die Signale kontinuierlich übertragen werden. Kontinuierlich arbeiten diejenigen Anordnungen, die eine lückenlose Folge von Signalwerten ebenso lückenlos verarbeiten können. Es sind insgesamt die Systeme, die keine zeitliche Quantisierung, d. h. keine Abtastungen oder A/D-Wandlungen vornehmen. Hierzu gehören beispielsweise die Kabelverbindungen und Funkstrecken sowie alle Funktionseinheiten wie Filter, Verstärker usw., wenn sie wie gesagt keine zeitliche Quantisierung durchführen bzw. nicht taktgebunden arbeiten. Selbstverständlich können diese genannten, analog arbeitenden Übertragungsmittel zeitlich quantisierte Signale verarbeiten, wie es ja zum Beispiel mit einem PCM-Signal geschieht, das über ein Kabel übertragen wird. Weil die Übertragungseigenschaften der zu betrachtenden Systeme nicht davon abhängen sollen, zu welchen Zeitpunkten irgendwelche Eingangssignale und die von ihnen erzeugten Ausgangssignale auftreten, bezeichnet man diese Systeme als zeitinvariant.

1.1. DARSTELLUNG DER ÜBERTRAGUNGSEIGENSCHAFTEN IM ZEITBEREICH

Das Problem, das Ausgangssignal eines linearen Übertragungssystems für Eingangssignale, die im Rahmen des physikalisch Möglichen beliebig verlaufen, zu bestimmen, läßt sich in 2 Schritten lösen. Im 1. Schritt führt man das Ausgangssignal auf eine Summe von Reaktionen des Systems auf eine zeitliche Folge besonders einfacher Eingangssignale zurück. Der 2. Schritt erlaubt es, aus den Daten des Systems, d. h. aus den Werten der Bauelemente der in ihnen enthaltenen Schaltungen und ihrer Verknüpfung, die Antwort des Systems auf ein derartiges einfaches Eingangssignal zu finden. Voraussetzung für diesen Lösungsweg ist, daß das Übertragungssystem seine Eigenschaften nicht im Laufe der Zeit ändert. Die Antwort auf ein Eingangssignal soll nicht davon abhängen, zu welchem Zeitpunkt das Eingangssignal auftritt. Das System soll *zeitinvariant* sein.

$$\begin{aligned} s_E(t) &\longleftrightarrow s_A(t) \\ s_E(t - t_0) &\longleftrightarrow s_A(t - t_0) \end{aligned} \quad (1.2)$$

Die folgenden Betrachtungen beziehen sich also auf lineare, zeitinvariante Systeme. Weiter ist es zunächst sinnvoll, das geschilderte Verfahren auf determinierte Signale anzuwenden. Zufallsbedingte Signale am Eingang können im 1. Schritt des Verfahrens nur in einfache Signale mit zufallsbedingten Augenblickswerten zerlegt werden, so daß sich das Ausgangssignal als Summe von zufallsbedingten Größen wie zu erwarten auch als Zufallsgröße ergibt. Bei stochastischen Eingangssignalen wird man das Ausgangssignal nur durch Erwartungswerte und Verteilungsfunktionen bzw. daraus abgeleiteten Kennwerten beschreiben können.

1.1.1. Bestimmung des Ausgangssignals mit Hilfe der Übergangsfunktion und der Stoßantwort

Als einfaches Eingangssignal dient die *Schaltfunktion* $s_{\mathcal{F}}(t)$, wie sie Bild 1.2 a zeigt.

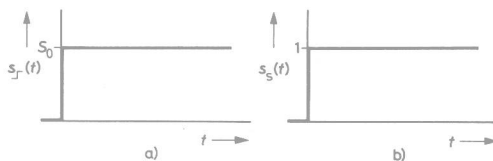


Bild 1.2 a Schaltfunktion; b Sprungfunktion

$$\begin{aligned} s_{\mathcal{F}}(t) &= 0 \quad \text{für } t < -0 \\ &= S_0 \quad \text{für } t > +0 \end{aligned} \quad (1.3 a)$$

S_0 ist der *Schaltssprung*. Oft benützt man zweckmäßig statt der Schaltfunktion die *Sprungfunktion* $s_s(t)$, die in Bild 1.2 b dargestellt ist.

$$\begin{aligned}
 s_s(t) &= \frac{s_r(t)}{S_0} \\
 &= 0 \quad \text{für } t < -0 \\
 &= 1 \quad \text{für } t > +0
 \end{aligned} \tag{1.3b}$$

Eine Schaltfunktion am Eingang eines Übertragungssystems bewirkt als Ausgangssignal die *Sprungantwort* $s_{2,r}(t)$. Dabei setzt man voraus, daß kein Ausgangssignal vorhanden ist, bevor die Schaltfunktion am Eingang auftritt, d. h. alle Energiespeicher des Übertragungssystems sind leer, wenn die Schaltfunktion auftritt. Weil das Übertragungssystem linear ist, hängt die Sprungantwort proportional vom Schaltsprung S_0 ab. Die auf den Schaltsprung S_0 bezogene Sprungantwort bezeichnet man als *Übergangsfunktion* $w(t)$.

$$w(t) = \frac{s_{2,r}(t)}{S_0} \tag{1.4}$$

Bild 1.3 zeigt zwei Sprungantworten. Die durchgezogene gezeichnete Kurve stellt eine Übergangsfunktion dar.

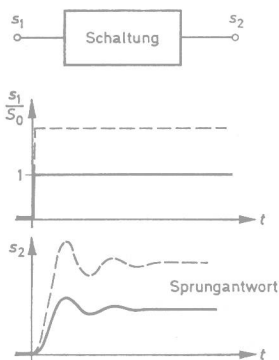


Bild 1.3 Sprungantwort; s_1 : Eingangssignal, s_2 : Ausgangssignal

Schalt- bzw. Sprungfunktion eignen sich deswegen gut als einfaches Eingangssignal, weil nach dem Sprungzeitpunkt das Signal sich nicht mehr ändert. Von der Sprungantwort bzw. Übergangsfunktion verlangt man, daß sie für Zeiten lange nach dem Sprungzeitpunkt genau wie das Eingangssignal konstant bleibt.

$$\lim_{t \rightarrow \infty} w(t) = \text{konst.} \tag{1.5 a}$$

In diesem Fall verschwindet für große Zeiten t ihre Ableitung

$$w'(t) = \frac{dw(t)}{dt}$$

sowie alle höheren Ableitungen $w^{(n)}(t)$.