

# Elemente nachrichten- technischer Systeme

Von Dr. sc. techn. Dr. h. c. mult. Alfred Fettweis  
o. Professor an der Ruhr-Universität Bochum

Mit 150 Bildern



B. G. Teubner Stuttgart 1990

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einführung</b>	1
<b>2. Beschreibung von Signalen im Zeitbereich</b>	4
2.1 Reale und idealisierte Signale	4
2.2 Sinusförmige und verwandte Signale	7
2.3 Sprungfunktion und Signumfunktion	8
2.4 Die Impulsfunktion (Deltaimpuls)	12
2.5 Weitere Operationen; Zusammenhang zwischen Sprung- und Impulsfunktion	19
2.6 Die Ausblendeigenschaft der Impulsfunktion	24
2.7 Ergänzungen zur Ausblendeigenschaft	27
2.7.1 Andersartige Funktionenfolgen zur Darstellung der Deltafunktion	27
2.7.2 Verallgemeinerung der Ausblendeigenschaft	31
2.8 Impulsmoment und Energie	33
2.9 Verallgemeinerte Funktionen mit Sprungstellen und Deltaanteilen	34
2.9.1 Funktionen mit Sprungstellen ab einer endlichen Stelle	34
2.9.2 Verallgemeinerte Funktionen mit Sprungstellen und Deltaanteilen beliebiger Ordnung	39
<b>3. Beschreibung von Signalen im Frequenzbereich</b>	43
3.1 Bedeutung sinusförmiger und verwandter Signale	43
3.2 Periodische Signale; Fourierreihen	44
3.3 Herleitung der Fourier-Integrale	46
3.4 Darstellungsweisen bei der Fouriertransformation	49
3.5 Ergänzungen zur Herleitung der Fourier-Integrale	52
3.6 Grundlegende Eigenschaften der Fouriertransformation	55
3.7 Beispiele zur Fouriertransformation	71
3.8 Weitere Eigenschaften der Fouriertransformation	81
3.8.1 Unvereinbarkeit von strenger Zeit- und Frequenzbegrenzung	81
3.8.2 Unschärfebeziehungen	83
3.8.3 Stetigkeit und Verhalten im Unendlichen	88

3.9	Fouriertransformation verallgemeinerter Funktionen	89
3.9.1	Allgemeine Grundlagen	89
3.9.2	Deltafunktionen	90
3.9.3	Einheitssprung und Signumfunktion	91
3.9.4	Allgemeine periodische Funktionen	95
3.9.5	Multiplikationen zweier verallgemeinerter Funktionen	97
3.9.6	Faltung zweier Deltafunktionen	98
3.9.7	Verallgemeinerung der Integrationsregeln für Funktionen im klassischen Sinne	100
3.9.8	Verallgemeinerung wichtiger Regeln auf Funktionen mit Sprungstellen und $\delta$ -Anteilen	101
4.	<b>Übertragung von Signalen durch lineare konstante Systeme</b>	106
4.1	Antwort und Grundantwort	106
4.2	Lineare konstante Systeme	111
4.3	Berechnung der Grundantwort durch Betrachtung des Frequenzbereichs	114
4.3.1	Berechnung bei streng stabilen Systemen	114
4.3.2	Grenzstabile Systeme	119
4.3.3	Instabile Systeme	124
4.4	Berechnung der Grundantwort durch Betrachtung des Zeitbereichs	125
4.4.1	Allgemeine Zusammenhänge	125
4.4.2	Bemerkungen über grenzstabile und instabile Systeme	129
4.5	Kausalität	132
4.6	Herleitung weiterer Zusammenhänge; Sprungantwort	134
4.7	Berechnung der Impulsantwort	137
4.8	Stabilitätsfragen	138
4.8.1	Strenge Stabilität	138
4.8.2	Verwandte Stabilitätsaspekte	140
4.8.3	Erweiterung und vergleichende Betrachtungen	141
4.8.4	Instabile Systeme	144
4.9	Systeme mit mehreren Eingängen und Ausgängen	147

---

<b>5. Eigenschaften einiger spezieller Signalklassen</b>	150
5.1 Analytisches Signal	150
5.1.1 Reelle Signale und zugehöriges analytisches Signal	150
5.1.2 Übertragung des analytischen Signals durch ein lineares konstantes System	154
5.2 Abtasttheorem für tiefpaßbegrenzte Signale	154
5.2.1 Erzeugung tiefpaßbegrenzter Signale durch Interpolation	154
5.2.2 Herleitung des Abtasttheorems für tiefpaßbegrenzte Signale	157
5.3 Abtasttheoreme für bandpaßbegrenzte Signale	162
5.3.1 Spezielle bandpaßbegrenzte Signale	162
5.4 Frequenzabtastung	166
5.5 Korrelationsfunktion	167
5.5.1 Grundlegende Beziehungen	167
5.5.2 Weitere Ergebnisse	173
<b>6. Grundprinzipien der Laplacetransformation</b>	177
6.1 Grundbegriffe der einseitigen Laplacetransformation	177
6.2 Grundbegriffe der zweiseitigen Laplacetransformation	183
6.3 Einige Eigenschaften der Laplacetransformation	185
6.4 Berechnung von Übertragungseigenschaften mit Hilfe der Laplacetransformation	197
6.5 Behandlung von Anfangswertproblemen	202
6.6 Berechnung der Zeitfunktion bei rationaler Funktion in $p$	207
6.7 Abschließende Bemerkungen	210
<b>7. Einige Eigenschaften von Systemen</b>	211
7.1 Genaue Definition der Phase	211
7.2 Minimalphasige Systeme	219
7.3 Nichtminimalphasige Systeme	225
7.4 Ideale Filter	231
7.4.1 Idealer Tiefpaß	231
7.4.2 Idealer Bandpaß	235
7.4.3 Übertragung durch einen idealen oder idealisierten Bandpaß	236

<b>8. Modulierte Signale</b>	<b>240</b>
8.1 Amplitudenmodulierte Signale	240
8.1.1 Elementare Betrachtungen	240
8.1.2 Allgemeine amplitudenmodulierte Signale	243
8.1.3 Demodulationsverfahren	246
8.1.4 Einseitenband-amplitudenmodulierte Signale	249
8.1.5 Restseitenband-amplitudenmodulierte Signale	252
8.2 Winkelmodulierte Signale	256
8.2.1 Allgemeines über winkelmodulierte Signale	256
8.2.2 Spektralanalyse von FM-Signalen	260
8.2.3 Übertragung von FM-Signalen durch lineare Systeme	272
8.3 Frequenzmultiplex	273
8.4 Pulsamplitudenmodulierte Signale	274
8.5 Pulsmodulierte Signale	281
8.5.1 Grundlegende Eigenschaften	281
8.5.2 Spektralanalyse	289
8.6 Zeitmultiplex	293
<b>9. Weitere Eigenschaften von Übertragungssystemen</b>	<b>296</b>
9.1 Ideale Übertragungseigenschaften von Systemen	296
9.1.1 Ideale Übertragungskennlinien	296
9.1.2 Laufzeit in Übertragungssystemen	302
9.2 Übertragung impulsförmiger Signale	309
9.2.1 Minimale Bandbreite	309
9.2.2 Augendiagramme	310
9.2.3 Die Nyquist-Bedingungen	314
9.3 Thermisches Widerstandsrauschen	323
9.3.1 Thermisches Rauschen eines Einzelwiderstandes	323
9.3.2 Weitere Ergebnisse	327
9.4 Signalangepaßte Filter	330

---

<b>10. Zeitvariante lineare Übertragungssysteme</b>	<b>335</b>
10.1 Einführung	335
10.1.1 Entstehung zeitvarianter Systeme	335
10.1.2 Grundeigenschaften der Differentialgleichungen linearer zeitvarianter Systeme	336
10.1.3 Berechnung linearer zeitvarianter Systeme unter Verwendung komplexer Exponentialschwingungen	339
10.2 Übertragung von Signalen durch lineare zeitvariante Systeme	344
10.2.1 Einführende Betrachtungen	344
10.2.2 Berechnung der Grundantwort durch Betrachtung des Frequenzbereichs	344
10.2.3 Berechnung der Grundantwort durch Betrachtung des Zeitbereichs	346
10.3 Periodisch zeitvariante lineare Systeme	349
10.3.1 Impulsantwort und Übertragungsfunktion	349
10.3.2 Fourierzerlegung der Übertragungsfunktion	351
10.3.3 Antwort auf ein beliebiges Signalspektrum	354
10.3.4 Bestimmung der Fouriertransformierten des Ausgangssignals	361
10.4 Technische Realisierung periodisch zeitvarianter linearer Systeme	362
10.4.1 Einführende Bemerkungen	362
10.4.2 Näherungsdarstellung eines gesteuerten nichtlinearen Systems durch ein zeitvariantes lineares System mit Hilfe einer Störungsrechnung	364
10.4.3 Schaltungen mit besonderen Symmetriebedingungen	370
<b>11. Nichtlineare Systeme</b>	<b>374</b>
11.1 Nichtreaktive nichtlineare Systeme	374
<b>Sachverzeichnis</b>	<b>378</b>