



**et**  
elektrotechnik

John G. Proakis  
Masoud Salehi

# Grundlagen der Kommunikationstechnik

2. Auflage

John G. Proakis, Masoud Salehi

# Grundlagen der Kommunikationstechnik

2. Auflage



---

ein Imprint von Pearson Education

München • Boston • San Francisco • Harlow, England  
Don Mills, Ontario • Sydney • Mexico City  
Madrid • Amsterdam

# Grundlagen der Kommunikationstechnik

## Inhaltsverzeichnis

### Grundlagen der Kommunikationstechnik

#### Inhaltsverzeichnis

Vorwort

1 Einleitung

2 Frequenzbereichsanalyse von Signalen und Systemen

3 Übertragung und Empfang von analogen Signalen

4 Zufallsprozesse

5 Einfluss des Rauschens auf analoge Kommunikationssysteme

6 Informationsquellen und Quellencodierung

7 Digitale Übertragung über den additiven, weißen gaußschen Rauschkanal

8 Digitale Übertragung über bandbegrenzte AWGN-Kanäle

9 Die Kanalkapazität und die Kanalcodierung

10 Drahtlose Kommunikation

Anhang A Die Fehlerwahrscheinlichkeit beim Mehrfachkanalempfang von binären Signalen

Literaturverzeichnis

Register

#### Vorwort

Themenaspekte

Digitale Kommunikationstechniken

Übersicht über den Lehrstoff

Beispiele und Übungsaufgaben

Kursoptionen

#### 1 Einleitung

1.1 Historischer Überblick

1.2 Elemente eines elektrischen Kommunikationssystems

1.2.1 Digitale Kommunikationssysteme

1.2.2 Frühe Errungenschaften in der digitalen Kommunikation

1.3 Kommunikationskanäle und ihre Eigenschaften

1.4 Mathematische Modelle für Kommunikationskanäle

1.5 Organisation des Buches

1.6 Weiterführende Literatur

#### 2 Frequenzbereichsanalyse von Signalen und Systemen

2.1 Die Fourier-Reihe

2.1.1 Fourier-Reihen reeller Signale: die trigonometrische Fourier-Reihe

2.2 Fourier-Transformation

# Inhaltsverzeichnis

2.2.1 Fourier-Transformation reeller, gerader und ungerader Signale

2.2.2 Grundlegende Eigenschaften der Fourier-Transformation

2.2.3 Fourier-Transformation periodischer Signale

## 2.3 Leistung und Energie

2.3.1 Energiesignale

2.3.2 Leistungssignale

## 2.4 Das Abtasten bandbegrenzter Signale

## 2.5 Bandpasssignale

## 2.6 Weiterführende Literatur

# 3 Übertragung und Empfang von analogen Signalen

## 3.1 Einleitung zur Modulation

## 3.2 Amplitudenmodulation (AM)

3.2.1 Zweiseitenband-Amplitudenmodulation mit Unterdrückung des Trägers (ZSBM)

3.2.2 Konventionelle Amplitudenmodulation

3.2.3 Einseitenband-Amplitudenmodulation (ESBM)

3.2.4 Restseitenband-Amplitudenmodulation (RSBM)

3.2.5 Implementierung von AM-Modulatoren und AM-Demodulatoren

3.2.6 Signal-Multiplexing

## 3.3 Winkelmodulation

3.3.1 Darstellung der FM- und PM-Signale

3.3.2 Spektrale Eigenschaften der winkelmodulierten Signale

3.3.3 Implementierung der Winkelmodulatoren und Demodulatoren

## 3.4 Rundfunk und Fernsehrundfunk

3.4.1 AM-Rundfunk

3.4.2 FM-Rundfunk

3.4.3 Fernsehrundfunk

## 3.5 Mobile Radiosysteme

## 3.6 Weiterführende Literatur

# 4 Zufallsprozesse

## 4.1 Wahrscheinlichkeiten und Zufallsvariablen

## 4.2 Zufallsprozesse: Grundlegende Konzepte

4.2.1 Beschreibung von Zufallsprozessen

4.2.2 Statistische Mittelwerte

4.2.3 Stationäre Prozesse

4.2.4 Zufallsprozesse und lineare Systeme

## 4.3 Zufallsprozesse im Frequenzbereich

4.3.1 Das Leistungsspektrum stochastischer Prozesse

4.3.2 Die Übertragung durch LTI-Systeme

## 4.4 Gaußsche und weiße Prozesse

4.4.1 Gaußsche Prozesse

# Inhaltsverzeichnis

4.4.2 Weiße Prozesse

4.5 Bandbegrenzte Prozesse und das Abtasten

4.6 Bandpassprozesse

4.7 Weiterführende Literatur

## 5 Einfluss des Rauschens auf analoge Kommunikationssysteme

5.1 Einfluss des Rauschens auf lineare Modulationssysteme

5.1.1 Einfluss des Rauschens auf Basisbandsysteme

5.1.2 Einfluss des Rauschens auf die ZSBM

5.1.3 Einfluss des Rauschens auf die ESBM

5.1.4 Einfluss des Rauschens auf die konventionelle AM

5.2 Schätzung der Trägerphase mittels einer phasengekoppelten Regelschleife (PLL)

5.2.1 Die phasengekoppelte Regelschleife (PLL)

5.2.2 Einfluss des additiven Rauschens auf die Phasenschätzung

5.3 Einfluss des Rauschens auf die Winkelmodulation

5.3.1 Einfluss des Schwellenwerts in den Winkelmodulationen

5.3.2 Pre-emphasis- und De-emphasis-Filter

5.4 Vergleich der analogen Modulationssysteme

5.5 Die Auswirkung der Übertragungsverluste und Rauschen auf analoge Kommunikationssysteme

5.5.1 Charakterisierung der thermischen Rauschquellen

5.5.2 Die effektive Rauschtemperatur und die Rauschzahl

5.5.3 Die Übertragungsverluste

5.5.4 Zwischenverstärker für die Signalübertragung

5.6 Weiterführende Literatur

## 6 Informationsquellen und Quellencodierung

6.1 Modellierung von Informationsquellen

6.1.1 Messen der Information

6.1.2 Verbund- und bedingte Entropien

6.2 Das Quellencodierungstheorem

6.3 Quellencodierungsalgorithmen

6.3.1 Der Huffman-Quellencodierungsalgorithmus

6.3.2 Der Lempel-Ziv-Quellencodierungsalgorithmus

6.4 Die Theorie der Ratenverzerrung

6.4.1 Die gegenseitige (Trans-)Information

6.4.2 Die differentielle Entropie

6.4.3 Die Ratenverzerrungsfunktion

6.5 Die Quantisierung

6.5.1 Die skalare Quantisierung

6.5.2 Die Vektorquantisierung

# Inhaltsverzeichnis

## 6.6 Die Signalformcodierung

- 6.6.1 Die Puls-Code-Modulation (PCM)
- 6.6.2 Die differentielle Puls-Code-Modulation (DPCM)
- 6.6.3 Die Deltamodulation (M)

## 6.7 Analyse-Synthese-Techniken

## 6.8 Die digitale Audioübertragung und Audioaufnahme

- 6.8.1 Digitales Audio in Telefon-übertragungssystemen
- 6.8.2 Die digitale Audioaufnahme

## 6.9 Der JPEG-Bildcodierungsstandard

## 6.10 Weiterführende Literatur

# 7 Digitale Übertragung über den additiven, weißen gaußschen Rauschkanal

## 7.1 Geometrische Darstellung der Signale

## 7.2 Die Pulsamplitudenmodulation

## 7.3 Zweidimensionale Signale

- 7.3.1 Basisbandsignale
- 7.3.2 Zweidimensionale Bandpasssignale – die Trägerphasenmodulation
- 7.3.3 Zweidimensionale Bandpasssignale – die Quadratur-Amplitudenmodulation

## 7.4 Mehrdimensionale Signale

- 7.4.1 Orthogonale Signale
- 7.4.2 Biorthogonale Signale
- 7.4.3 Simplexsignale
- 7.4.4 Binärcodierte Signale

## 7.5 Der optimale Empfänger für digitalmodulierte Signale mit additivem weißen gaußschen Rauschen

- 7.5.1 Der Korrelationstypen-Demodulator
- 7.5.2 Der angepasste Filtertypen-Demodulator
- 7.5.3 Der optimale Detektor
- 7.5.4 Demodulation und Detektion von trägeramplitudenmodulierten Signalen
- 7.5.5 Demodulation und Detektion von trägerphasenmodulierten Signalen
- 7.5.6 Demodulation und Detektion von quadraturamplitudenmodulierten Signalen
- 7.5.7 Demodulation und Detektion von frequenzmodulierten Signalen

## 7.6 Die Fehlerwahrscheinlichkeit bei der Detektion von Signalen mit additivem weißen gaußschen Rauschen

- 7.6.1 Die Fehlerwahrscheinlichkeit bei der binären Modulation
- 7.6.2 Die Fehlerwahrscheinlichkeit bei der M-ären PAM
- 7.6.3 Die Fehlerwahrscheinlichkeit bei der phasenkohärenten PSK-Modulation
- 7.6.4 Die Fehlerwahrscheinlichkeit bei der DPSK
- 7.6.5 Die Fehlerwahrscheinlichkeit bei der QAM
- 7.6.6 Fehlerwahrscheinlichkeit der M-ären orthogonalen Signale
- 7.6.7 Die Fehlerwahrscheinlichkeit der M-ären biorthogonalen Signale

# Inhaltsverzeichnis

- 7.6.8 Die Fehlerwahrscheinlichkeit der M-ären Simplexsignale
- 7.6.9 Die Fehlerwahrscheinlichkeit bei der nichtkohärenten FSK-Detektion
- 7.6.10 Vergleich der Modulationsverfahren

## 7.7 Performance-Analyse für Drahtleitungs- und Funkkommunikationskanäle

- 7.7.1 Die Regeneratoren
- 7.7.2 Link-Budget-Analyse für Funkkanäle

## 7.8 Die Symbolsynchronisierung

- 7.8.1 Frühwert-Spätwert-Gatter-Synchronisierer
- 7.8.2 Die Methode des minimalen mittleren Quadratfehlers
- 7.8.3 Methoden der Höchstwahrscheinlichkeit
- 7.8.4 Methoden der spektralen Linie
- 7.8.5 Symbolsynchronisation der trägermodulierten Signale

## 7.9 Weiterführende Literatur

# 8 Digitale Übertragung über bandbegrenzte AWGN-Kanäle

## 8.1 Digitale Übertragung über bandbegrenzte Kanäle

- 8.1.1 Digitale PAM-Übertragung über bandbegrenzte Basisbandkanäle
- 8.1.2 Digitale Übertragung über bandbegrenzte Bandpasskanäle

## 8.2 Das Leistungsspektrum der digital modulierten Signale

- 8.2.1 Das Leistungsspektrum eines Basisbandsignals
- 8.2.2 Das Leistungsspektrum eines trägermodulierten Signals

## 8.3 Signalentwurf für bandbegrenzte Kanäle

- 8.3.1 Entwurf von bandbegrenzten Signalen für Null-ISI – das Nyquist-Kriterium
- 8.3.2 Entwurf von bandbegrenzten Signalen mit kontrollierter ISI – Teilantwortsignale

## 8.4 Fehlerwahrscheinlichkeit bei der Detektion der digitalen PAM

- 8.4.1 Die Fehlerwahrscheinlichkeit bei der Detektion der digitalen PAM mit Null-ISI
- 8.4.2 Symbol-für-Symbol-Detektion von Daten mit kontrollierter ISI
- 8.4.3 Die Fehlerwahrscheinlichkeit bei der Detektion von Teilantwortsignalen

## 8.5 Digitalmodulierte Signale mit Gedächtnis

- 8.5.1 Modulationscodes und Modulationssignale mit Gedächtnis
- 8.5.2 Der Höchstwahrscheinlichkeits-Sequenzdetektor
- 8.5.3 Die Höchstwahrscheinlichkeits-Sequenzdetektion der Teilantwortsignale
- 8.5.4 Das Leistungsspektrum der digitalen Signale mit Gedächtnis

## 8.6 Systementwurf mit Kanalverzerrung

- 8.6.1 Entwurf von Sende- und Empfangsfiltern für einen Kanal mit bekannten Eigenschaften
- 8.6.2 Kanalverzerrung

## 8.7 Die Mehrträgermodulation und die OFDM

- 8.7.1 Implementierung eines OFDM-Systems mittels des FFT-Algorithmus

# Inhaltsverzeichnis

## 8.8 Weiterführende Literatur

## 9 Die Kanalkapazität und die Kanalcodierung

### 9.1 Modellierung der Kommunikationskanäle

### 9.2 Die Kanalkapazität

#### 9.2.1 Die gaußsche Kanalkapazität

### 9.3 Grenzen der Kommunikation

#### 9.3.1 Die PCM-Übertragung analoger Quellen

### 9.4 Die Codierung für zuverlässige Kommunikation

#### 9.4.1 Eine enge Grenze für die Fehlerwahrscheinlichkeit orthogonaler Signale

#### 9.4.2 Ziele der Kanalcodierung

### 9.5 Lineare Blockcodes

#### 9.5.1 Decodierung und Effizienz der linearen Blockcodes

#### 9.5.2 Burstfehlerkorrigierende Codes

### 9.6 Zyklische Codes

#### 9.6.1 Die Struktur der zyklischen Codes

### 9.7 Faltungscodes

#### 9.7.1 Grundlegende Eigenschaften der Faltungscodes

#### 9.7.2 Optimale Decodierung der Faltungscodes – der Viterbi-Algorithmus

#### 9.7.3 Andere Decodierungsalgorithmen für Faltungscodes

#### 9.7.4 Grenzen der Fehlerwahrscheinlichkeit bei Faltungscodes

### 9.8 Komplexe Codes aus Kombinationen von einfachen Codes

#### 9.8.1 Produktcodes

#### 9.8.2 Verkettete Codes

#### 9.8.3 Turbocodes

#### 9.8.4 Der BCJR-Algorithmus

#### 9.8.5 Effizienz der Turbocodes

### 9.9 Die Codierung der bandbreiteneingeschränkten Kanäle

#### 9.9.1 Kombinierte Codierung und Modulation

#### 9.9.2 Die gittercodierte Modulation

### 9.10 Praktische Anwendungen der Codierung

#### 9.10.1 Codierung in der Nachrichtenübertragung zu Weltraumsonden (deep-space communications)

#### 9.10.2 Codierung für Telefonleitungsmodems

#### 9.10.3 Codierung für Compact Discs

### 9.11 Weiterführende Literatur

## 10 Drahtlose Kommunikation

### 10.1 Digitale Übertragung über Fading-Mehrwegkanäle

#### 10.1.1 Kanalmodelle für zeitveränderliche Mehrwegkanäle

#### 10.1.2 Signalentwurf für Fading-Mehrwegkanäle

#### 10.1.3 Effizienz der binären Modulation in nichtfrequenzselektiven



# Inhaltsverzeichnis

## **Rayleigh-Fading-Kanälen**

10.1.4 Effizienzsteigerung durch Signaldiversität

10.1.5 Modulation und Demodulation bei frequenzselektiven Kanälen – der RAKE-Demodulator

10.1.6 Vielfachantennensysteme und Raum-Zeit-Codes

### **10.2 Kontinuierliche Trägerphasenmodulation**

10.2.1 Phasenkontinuierliche FSK (CPFSK)

10.2.2 Phasenkontinuierliche Modulation (CPM)

10.2.3 Spektrale Eigenschaften der CPFSK- und CPM-Signale

10.2.4 Demodulation und Detektion von CPM-Signalen

10.2.5 Effizienz von CPM in AWGN- und Rayleigh-Fading-Kanälen

### **10.3 Spektrumgespreizte Kommunikationssysteme**

10.3.1 Modell eines spektrumgespreizten digitalen Kommunikationssystems

10.3.2 Spektrumgespreizte Direktsequenzsysteme

10.3.3 Einige Anwendungen der spektrum-gespreizten DS-Signale

10.3.4 Die Auswirkung von Pulsinterferenzen und Fading

10.3.5 Die Erzeugung von PN-Sequenzen

10.3.6 Frequenzspringendes Spreizungsspektrum

10.3.7 Synchronisation von spektrumgespreizten Systemen

### **10.4 Digitale Mobilkommunikationssysteme**

10.4.1 Das GSM-System

10.4.2 Das auf IS-95 basierende CDMA-System

### **10.5 Weiterführende Literatur**

**A Die Fehlerwahrscheinlichkeit beim Mehrfachkanalempfang von binären Signalen**

**Literaturverzeichnis**

**Register**

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

# Inhaltsverzeichnis

N  
O  
P  
Q  
R  
S  
T  
U  
V  
W  
Z

Ins Internet: Weitere Infos zum Buch, Downloads, etc.

Copyright



## Copyright

Daten, Texte, Design und Grafiken dieses eBooks, sowie die eventuell angebotenen eBook-Zusatzdaten sind urheberrechtlich geschützt. Dieses eBook stellen wir lediglich als persönliche Einzelplatz-Lizenz zur Verfügung!

Jede andere Verwendung dieses eBooks oder zugehöriger Materialien und Informationen, einschliesslich

- der Reproduktion,
- der Weitergabe,
- des Weitervertriebs,
- der Platzierung im Internet, in Intranets, in Extranets,
- der Veränderung,
- des Weiterverkaufs
- und der Veröffentlichung

bedarf der schriftlichen Genehmigung des Verlags.

Insbesondere ist die Entfernung oder Änderung des vom Verlag vergebenen Passwortschutzes ausdrücklich untersagt!

Bei Fragen zu diesem Thema wenden Sie sich bitte an: [info@pearson.de](mailto:info@pearson.de)

## Zusatzdaten

Möglicherweise liegt dem gedruckten Buch eine CD-ROM mit Zusatzdaten bei. Die Zurverfügungstellung dieser Daten auf unseren Websites ist eine freiwillige Leistung des Verlags. Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.

## Hinweis

Dieses und viele weitere eBooks können Sie rund um die Uhr und legal auf unserer Website



herunterladen