

# Inhaltsverzeichnis

## A Einleitung

Gundlach

1 Hinweise zur Benutzung des Taschenbuchs . . . . .	A 1
2 Physikalische Größen, ihre Einheiten und Formelzeichen . . . . .	A 1
3 Schreibweise physikalischer Gleichungen . . . . .	A 3
4 Frequenzzuordnungen . . . . .	A 4

## B Elektromagnetische Felder und Wellen

Lange

1 Grundlagen . . . . .	B 1
1.1 Koordinatensysteme . . . . .	B 1
1.2 Differentialoperatoren . . . . .	B 1
1.3 Maxwellsche Gleichungen . . . . .	B 3
2 Wellenausbreitung in homogenen Medien . . . . .	B 3
2.1 Ebene Welle im verlustlosen Medium . . . . .	B 3
2.2 Ebene Welle im verlustbehafteten Medium . . . . .	B 4
2.3 Leitendes Gas . . . . .	B 5
2.4 Anisotropes Medium . . . . .	B 5
2.5 Gyrotropes Medium . . . . .	B 6
3 Polarisation . . . . .	B 7
3.1 Lineare Polarisation . . . . .	B 7
3.2 Zirkulare Polarisation . . . . .	B 7
4 Wellen an Grenzflächen . . . . .	B 8
4.1 Senkrechter Einfall . . . . .	B 8
4.2 Schräger Einfall . . . . .	B 9
4.3 Oberflächenwellen . . . . .	B 12
5 Skineffekt . . . . .	B 13
6 Oberflächenstromdichte . . . . .	B 16
7 Elektromagnetische Beeinflussung durch Hochfrequenzstrahlung . . . . .	B 17
8 Gefährdung von Lebewesen durch elektromagnetische Strahlung . . . . .	B 20

## C Grundlagen der Schaltungsberechnung, Leitungstheorie

Lange (1 bis 6); Siegl (7); Dalichau (8)

1 Spannungen, Ströme, Feldgrößen und ihre komplexe Darstellung . . . . .	C 1
2 Impedanzebene, Admittanzebene . . . . .	C 3
3 Ein- und Mehrtore, Streuparameter . . . . .	C 9
4 Transmissionsparameter . . . . .	C 11

<b>5 Frequenzselektive Filter . . . . .</b>	<b>C12</b>
<b>6 Theorie der Leitungen . . . . .</b>	<b>C17</b>
6.1 Leitungskenngrößen . . . . .	C17
6.2 Verlustlose Leitungen . . . . .	C20
6.3 Gedämpfte Leitung . . . . .	C24
<b>7 Theorie gekoppelter Leitungen . . . . .</b>	<b>C25</b>
<b>8 Rechnerunterstützter Entwurf . . . . .</b>	<b>C29</b>
8.1 Einleitung . . . . .	C29
8.2 Analyse linearer Schaltungen . . . . .	C31
8.3 Analyse nichtlinearer Schaltungen . . . . .	C34
8.4 Layout und Dokumentation . . . . .	C35
8.5 Synthese von Filter- und Anpaßschaltungen . . . . .	C36
8.6 Analyse von Systemen . . . . .	C37
8.7 Ersatzschaltbilder für Transistoren . . . . .	C38
8.8 Berechnen von Bauelementen; Feldberechnung . . . . .	C39
8.9 Ausblick . . . . .	C40

## D Grundbegriffe der Nachrichtenübertragung

Löcherer (3); Lüke (1, 2, 4, 5)

<b>1 Nachrichtenübertragungssysteme . . . . .</b>	<b>D1</b>
<b>2 Signale und Systeme . . . . .</b>	<b>D2</b>
2.1 Signale und Signalklassen . . . . .	D2
2.2 Lineare, zeitinvariante Systeme und die Faltung . . . . .	D3
2.3 Fourier-Transformation . . . . .	D4
2.4 Tiefpaß- und Bandpaßsysteme . . . . .	D6
2.5 Diskrete Signale und Digitalfilter . . . . .	D9
<b>3 Grundbegriffe der statistischen Signalbeschreibung und des elektronischen Rauschens . . . . .</b>	<b>D11</b>
3.1 Einführung . . . . .	D12
3.2 Mathematische Verfahren zur Beschreibung von Zufallssignalen . . . . .	D12
3.3 Rauschquellen und ihre Ersatzschaltungen . . . . .	D18
3.4 Rauschende lineare Vierpole . . . . .	D21
3.5 Übertragung von Rauschen durch nichtlineare Netzwerke . . . . .	D26
<b>4 Signalarten und Übertragungsanforderungen . . . . .</b>	<b>D28</b>
4.1 Fernsprech- und Tonsignale . . . . .	D28
4.2 Bildsignale . . . . .	D30
<b>5 Begriffe der Informationstheorie . . . . .</b>	<b>D32</b>
5.1 Diskrete Nachrichtenquellen und Kanäle . . . . .	D33
5.2 Kontinuierliche Nachrichtenquellen und Kanäle . . . . .	D35

## E Materialeigenschaften und konzentrierte passive Bauelemente

Kleinschmidt (7, 8); Lange (1 bis 6, 9, 10)

<b>1 Leiter . . . . .</b>	<b>E1</b>
<b>2 Dielektrische Werkstoffe . . . . .</b>	<b>E1</b>
2.1 Allgemeine Werte . . . . .	E1
2.2 Substratmaterialien . . . . .	E3
2.3 Sonstige Materialien . . . . .	E3
<b>3 Magnetische Werkstoffe . . . . .</b>	<b>E4</b>
<b>4 Wirkwiderstände . . . . .</b>	<b>E5</b>

	Inhaltsverzeichnis	XI
<b>5 Kondensatoren . . . . .</b>		<b>E9</b>
5.1 Kapazität . . . . .		E9
5.2 Anwendungsfälle . . . . .		E9
5.3 Kondensatortypen . . . . .		E10
5.4 Bauformen für die Hochfrequenztechnik . . . . .		E11
5.5 Belastungsgrenzen . . . . .		E12
<b>6 Induktivitäten . . . . .</b>		<b>E13</b>
6.1 Induktivität gerader Leiter . . . . .		E13
6.2 Induktivität von ebenen Leiterschleifen . . . . .		E13
6.3 Gegeninduktivität . . . . .		E14
6.4 Spulen . . . . .		E14
<b>7 Piezoelektrische Werkstoffe und Bauelemente . . . . .</b>		<b>E16</b>
7.1 Allgemeines . . . . .		E16
7.2 Piezoelektrischer Effekt . . . . .		E16
7.3 Piezoelektrische Wandler . . . . .		E17
7.4 Piezoressonatoren . . . . .		E19
7.5 Materialien . . . . .		E20
<b>8 Magnetostriktive Werkstoffe und Bauelemente . . . . .</b>		<b>E22</b>
8.1 Allgemeines . . . . .		E22
8.2 Materialeigenschaften . . . . .		E23
8.3 Charakteristische Größen . . . . .		E23
8.4 Schwinger . . . . .		E23
<b>9 HF-Durchführungsfilter . . . . .</b>		<b>E25</b>
<b>10 Absorber . . . . .</b>		<b>E25</b>

## F Hochfrequenzverstärker

Dalichau

<b>1 Einleitung . . . . .</b>		<b>F1</b>
1.1 Überblick . . . . .		F1
1.2 Aufbau eines HF-Transistorverstärkers . . . . .		F3
<b>2 Kenngrößen . . . . .</b>		<b>F5</b>
2.1 Stabilität . . . . .		F5
2.2 S-Parameter . . . . .		F8
2.3 Wirkungsgrad . . . . .		F8
2.4 Verstärkung . . . . .		F9
<b>3 Schaltungskonzepte . . . . .</b>		<b>F12</b>
3.1 Grundschaltungen . . . . .		F12
3.2 Rückkopplung, Neutralisation . . . . .		F14
3.3 Rückwirkungsfreiheit . . . . .		F14
3.4 Verstärkungsregelung . . . . .		F15
3.5 Anpaßnetzwerke . . . . .		F15
<b>4 Verstärker für spezielle Anwendungen . . . . .</b>		<b>F19</b>
4.1 Breitbandverstärker . . . . .		F19
4.2 Selektive Verstärker . . . . .		F21
4.3 Leistungsverstärker . . . . .		F22
4.4 Rauscharme Verstärker . . . . .		F24
4.5 Logarithmische Verstärker . . . . .		F25
<b>5 Nichtlinearität . . . . .</b>		<b>F27</b>
5.1 1-dB-Kompressionspunkt . . . . .		F27
5.2 Harmonische . . . . .		F28
5.3 Intermodulation . . . . .		F28
5.4 Kreuzmodulation . . . . .		F29

5.5 AM-PM-Umwandlung . . . . .	F 29
5.6 Erholzeit . . . . .	F 30
5.7 Nichtharmonische Störsignale . . . . .	F 30
<b>6 Transistoren, integrierte Verstärker . . . . .</b>	<b>F 31</b>
<b>7 Technische Realisierung . . . . .</b>	<b>F 34</b>
7.1 Gleichstromarbeitspunkt . . . . .	F 34
7.2 Schaltungsaufbau . . . . .	F 36
7.3 Schaltungsabgleich . . . . .	F 37
7.4 Gleichstromentkopplung . . . . .	F 37
7.5 Gehäuse . . . . .	F 38

**G Netzwerke mit nichtlinearen passiven und aktiven Bauelementen**

Blum (3, 4); Hoffmann (2); Maurer (1.1 bis 1.4); Petry (1.5 bis 1.7)

<b>1 Mischung und Frequenzvervielfachung . . . . .</b>	<b>G 1</b>
1.1 Kombinationsfrequenzen . . . . .	G 2
1.2 Auf- und Abwärtsmischung. Gleich- und Kehrlage . . . . .	G 2
1.3 Mischung mit Halbleiterdiode als nichtlinearem Strom-Spannungs-Bauelement . . . . .	G 4
1.4 Mischung mit Halbleiterdiode als nichtlinearem Spannungs-Ladungs-Bauelement . . . . .	G 12
1.5 Mischung mit Transistoren . . . . .	G 18
1.6 Rauschmessungen an Mischern . . . . .	G 21
1.7 Frequenzvervielfachung und Frequenzteilung . . . . .	G 22
<b>2 Begrenzung und Gleichrichtung . . . . .</b>	<b>G 27</b>
2.1 Kennlinien . . . . .	G 27
2.2 Begrenzer . . . . .	G 28
2.3 Gleichrichter . . . . .	G 28
2.4 Übertragung von verrauschten Signalen durch Begrenzer und Gleichrichter . . . . .	G 33
<b>3 Leistungsverstärkung . . . . .</b>	<b>G 33</b>
3.1 Kenngrößen von Leistungsverstärkern . . . . .	G 33
3.2 Betriebsarten, Wirkungsgrad und Ausgangsleistung . . . . .	G 34
3.3 Verzerrungen, Verzerrungs- und Störminderung durch Gegenkopplung . . . . .	G 37
3.4 Praktische Ausführung von Leistungsverstärkern . . . . .	G 37
3.5 Schutzmaßnahmen gegen Überlastung . . . . .	G 38
<b>4 Oszillatoren . . . . .</b>	<b>G 39</b>
4.1 Analysemethoden für harmonische Oszillatoren . . . . .	G 40
4.2 Zweipoloszillatoren . . . . .	G 42
4.3 Dreipol- und Vierpoloszillatoren . . . . .	G 43
4.4 Nichtlineare Beschreibung. Ermittlung und Stabilisierung der Schwingungsamplitude . . . . .	G 45
4.5 Langzeit- und Kurzzeitstabilität. Rauschen . . . . .	G 46
4.6 Funktions- und Impulsgeneratoren . . . . .	G 47

**H Wellenausbreitung im Raum**

Damboldt (3.3, 4, 6.1, 6.2); Dintelmann (2, 3.4); Kühn (2); Lorenz (1, 3.1, 5, 6.3); Ochs (7); Rücker (6.4); Valentin (3.2, 5, 6.4)

<b>1 Grundlagen . . . . .</b>	<b>H 1</b>
1.1 Begriffe . . . . .	H 1
1.2 Statistische Auswertung von Meßergebnissen . . . . .	H 1
1.3 Theoretische Amplitudenverteilungen . . . . .	H 2

<b>2 Ausbreitungerscheinungen</b>	.....	H 4
2.1 Freiraumausbreitung	.....	H 4
2.2 Brechung	.....	H 5
2.3 Reflexion	.....	H 5
2.4 Dämpfung	.....	H 5
2.5 Streuung	.....	H 5
2.6 Ausbreitung entlang ebener Erde	.....	H 6
2.7 Beugung	.....	H 7
<b>3 Ausbreitungsmedien</b>	.....	H 9
3.1 Erde	.....	H 10
3.2 Troposphäre	.....	H 11
3.3 Ionosphäre	.....	H 13
3.4 Weltraum	.....	H 15
<b>4 Funkrauschen</b>	.....	H 16
4.1 Atmosphärisches Rauschen unterhalb etwa 20 MHz	.....	H 16
4.2 Galaktisches und kosmisches Rauschen	.....	H 17
4.3 Atmosphärisches Rauschen oberhalb etwa 1 GHz	.....	H 17
4.4 Industrielle Störungen	.....	H 17
<b>5 Frequenzselektiver und zeitvarianter Schwund</b>	.....	H 18
5.1 Das Modell für zwei Ausbreitungswege	.....	H 18
5.2 Mehrwegeausbreitung	.....	H 19
5.3 Funkkanalsimulation	.....	H 22
<b>6 Planungsunterlagen für die Nutzung der Frequenzbereiche</b>	.....	H 23
6.1 Frequenzen unter 1600 kHz (Längstwellen, Langwellen, Mittelwellen)	.....	H 23
6.2 Frequenzen zwischen 1,6 und 30 MHz (Kurzwellen)	.....	H 24
6.3 Frequenzen zwischen 30 und 1000 MHz (Ultrakurzwellen, unterer Mikrowellenbereich)	.....	H 26
6.4 Frequenzen über 1 GHz (Mikrowellen)	.....	H 28
<b>7 Störungen in partagierten Bändern durch Ausbreitungseffekte</b>	.....	H 36
7.1 Störungen durch ionosphärische Effekte	.....	H 37
7.2 Störungen durch troposphärische Effekte	.....	H 37

## I Hochfrequenzmeßtechnik

Dalichau

<b>1 Messung von Spannung, Strom und Phase</b>	.....	I 1
1.1 Übersicht: Spannungsmessung	.....	I 1
1.2 Überlagerte Gleichspannung	.....	I 2
1.3 Diodengleichrichter	.....	I 2
1.4 HF-Voltmeter	.....	I 2
1.5 Vektorvoltmeter	.....	I 3
1.6 Oszilloskop	.....	I 3
1.7 Tastköpfe	.....	I 5
1.8 Strommessung	.....	I 6
1.9 Phasenmessung	.....	I 6
<b>2 Leistungsmessung</b>	.....	I 7
2.1 Leistungsmessung mit Bolometer	.....	I 8
2.2 Leistungsmessung mit Thermoelement	.....	I 8
2.3 Leistungsmessung mit Halbleiterdioden	.....	I 8
2.4 Ablauf der Messung, Meßfehler	.....	I 9
2.5 Pulsleistungsmessung	.....	I 10
2.6 Kalorimetrische Leistungsmessung	.....	I 10
<b>3 Netzwerkanalyse: Transmissionsfaktor</b>	.....	I 10
3.1 Meßgrößen der Netzwerkanalyse	.....	I 10
3.2 Direkte Leistungsmessung	.....	I 11

3.3 Messung mit Richtkoppler oder Leistungsteiler . . . . .	I 12
3.4 Empfänger . . . . .	I 12
3.5 Substitutionsverfahren . . . . .	I 13
3.6 Meßfehler durch Fehlanpassung . . . . .	I 14
3.7 Meßfehler durch Harmonische und parasitäre Schwingungen des Generators . . . . .	I 15
3.8 Meßfehler durch Rauschen und Frequenzinstabilität . . . . .	I 16
3.9 Meßfehler durch äußere Verkopplungen . . . . .	I 16
3.10 Gruppenlaufzeit . . . . .	I 16
<b>4 Netzwerkanalyse: Reflexionsfaktor . . . . .</b>	<b>I 17</b>
4.1 Richtkoppler . . . . .	I 17
4.2 Fehlerkorrektur bei der Messung von Betrag und Phase . . . . .	I 18
4.3 Kalibrierung . . . . .	I 19
4.4 Reflexionsfaktorbrücke . . . . .	I 19
4.5 Fehlerkorrektur bei Betragsmessungen . . . . .	I 20
4.6 Meßleitung . . . . .	I 21
4.7 Sechstor-Reflektometer . . . . .	I 21
4.8 Netzwerkanalyse mit zwei Reflektometern . . . . .	I 23
4.9 Umrechnung vom Frequenzbereich in den Zeitbereich . . . . .	I 23
4.10 Netzwerkanalysatoren . . . . .	I 24
<b>5 Spektrumanalyse . . . . .</b>	<b>I 25</b>
5.1 Grundschaltungen . . . . .	I 25
5.2 Automatischer Spektrumanalysator (ASA) . . . . .	I 25
5.3 Formfaktor des ZF-Filters . . . . .	I 25
5.4 Einschwingzeit des ZF-Filters . . . . .	I 26
5.5 Stabilität des Überlagerungoszillators . . . . .	I 26
5.6 Eigenrauschen . . . . .	I 26
5.7 Lineare Verzerrungen . . . . .	I 26
5.8 Nichtlineare Verzerrungen . . . . .	I 26
5.9 Harmonischenmischung . . . . .	I 27
5.10 Festabgestimmter AM-Empfänger . . . . .	I 28
5.11 Modulierte Eingangssignale . . . . .	I 28
5.12 Gepulste Hochfrequenzsignale . . . . .	I 28
<b>6 Frequenz- und Zeitmessung . . . . .</b>	<b>I 29</b>
6.1 Digitale Frequenzmessung . . . . .	I 29
6.2 Digitale Zeitmessung . . . . .	I 31
6.3 Analoge Frequenzmessung . . . . .	I 31
<b>7 Rauschmessung . . . . .</b>	<b>I 32</b>
7.1 Rauschzahl, Rauschtemperatur, Rauschbandbreite . . . . .	I 32
7.2 Meßprinzip . . . . .	I 32
7.3 Rauschgeneratoren . . . . .	I 33
7.4 Meßfehler . . . . .	I 33
7.5 Tangentiale Empfindlichkeit . . . . .	I 34
<b>8 Spezielle Gebiete der Hochfrequenzmeßtechnik . . . . .</b>	<b>I 35</b>
8.1 Messungen an diskreten Bauelementen . . . . .	I 35
8.2 Messungen im Zeitbereich . . . . .	I 36
8.3 Feldstärkemessung . . . . .	I 37
8.4 Messungen an Antennen . . . . .	I 38
8.5 Messungen an Resonatoren . . . . .	I 40
8.6 Messungen an Signalquellen . . . . .	I 42
<b>9 Hochfrequenzmeßtechnik in speziellen Technologiebereichen . . . . .</b>	<b>I 45</b>
9.1 Microstripmeßtechnik . . . . .	I 45
9.2 Hohlleitermeßtechnik . . . . .	I 46
9.3 Lichtwellenleiter-Meßtechnik . . . . .	I 47
<b>10 Rechnergesteuertes Messen . . . . .</b>	<b>I 49</b>
10.1 Übersicht . . . . .	I 49
10.2 RS232-Schnittstelle . . . . .	I 50

## Verzeichnis zu Band 2

x

10.3 IEC-Bus . . . . .	I
10.4 VXIbus . . . . .	I
10.5 Modulares Meßsystem (MMS) . . . . .	I
10.6 Programme zur Meßgerätesteuerung . . . . .	I