

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Begriffsdefinitionen</b> .....	17
<b>2</b>	<b>Material: Eigenschaften und Klassifizierung</b> .....	23
2.1	Metalle .....	23
2.1.1	Elektrische Eigenschaften der Metalle .....	24
2.1.2	Metallische Leiter bei hohen Frequenzen .....	27
2.1.3	Thermische Eigenschaften der Metalle .....	29
2.2	Flüssigkeiten .....	31
2.3	Gase .....	32
2.4	Halbleiter .....	33
2.5	Nichtleiter (Isolatoren).....	34
<b>3</b>	<b>Festwiderstände</b> .....	35
3.1	Klassifizierung von Widerständen.....	35
3.2	Eigenschaften von Widerständen.....	36
3.2.1	Begriffsdefinitionen.....	36
3.2.2	Reihen- und Parallelschaltung von Widerständen .....	43
3.3	Widerstandswerte.....	44
3.4	Wertekennzeichnung von Widerständen.....	47
3.4.1	Kennzeichnung von Widerständen durch Farbcode .....	47
3.4.2	Kennzeichnung von Widerständen durch Klartext .....	49
3.4.3	Kennzeichnung von SMD-Widerständen .....	50
3.5	Bauformen von Festwiderständen .....	55
3.5.1	Drahtwiderstände .....	55
3.5.1.1	Aufbau und Eigenschaften von Drahtwiderständen .....	55
3.5.1.2	Ausführungen von Drahtwiderständen .....	56
3.5.1.3	Temperaturabhängigkeit des Widerstandswertes.....	57
3.5.1.4	Frequenzabhängigkeit von Drahtwiderständen .....	59
3.5.2	Massewiderstände .....	62
3.5.3	Kohleschichtwiderstände .....	63
3.5.3.1	Einsatzbereiche und allgemeine Daten .....	63
3.5.3.2	Allgemeines zur Herstellung .....	64
3.5.3.3	Spezielle Herstellverfahren.....	64
3.5.4	Metallschichtwiderstände (Metallfilmwiderstände).....	65
3.5.4.1	Metalloxid-Schichtwiderstände .....	65

3.5.4.2	Edelmetall-Schichtwiderstände.....	65
3.5.4.3	Metallschichtwiderstände mit Metall-Legierungen .....	66
3.5.4.4	Metallglasur-Widerstände.....	66
3.5.5	SMD-Widerstände.....	67
3.5.5.1	Aufbauformen von SMD-Widerständen .....	67
3.5.5.2	HF-Eigenschaften von SMD-Widerständen.....	72
3.5.5.3	Impulsbelastung bei SMD-Widerständen.....	77
3.6	Widerstandsnetzwerke.....	79
3.6.1	Einsatzbereiche.....	79
3.6.2	Ausführungsformen.....	79
3.6.3	Eigenschaften und Aufbau.....	82
<b>4</b>	<b>Veränderbare Widerstände, Potenziometer.....</b>	<b>84</b>
4.1	Veränderbarer Widerstand .....	84
4.2	Grundprinzip des Potenziometers .....	85
4.3	Industrieller Einsatz von Potenziometern.....	90
4.3.1	Einsatzbereiche.....	90
4.3.2	Widerstandselemente.....	90
4.3.2.1	Draht als Widerstandselement .....	90
4.3.2.2	Widerstandselement in Hybridtechnik .....	91
4.3.2.3	Leitender Kunststoff als Widerstandselement.....	91
4.3.3	Mechanische Drehwinkel .....	91
4.3.3.1	Mehrwendelpotenziometer.....	91
4.3.3.2	Präzisionspotenziometer mit einer mechanischen Umdrehung (360° Drehwinkel).....	93
4.3.4	Mechanische Bauformen.....	94
4.3.4.1	Einlochbefestigung.....	94
4.3.4.2	Präzisionspotenziometer mit Synchroflansch (Servoflansch- und Kugellager).....	94
4.4	Begriffsdefinitionen zum Potenziometer.....	94
4.4.1	Allgemeine Begriffe .....	94
4.4.2	Potenziometer-Betätigung.....	95
4.4.3	Klimatische Prüfklasse .....	96
4.4.4	Nennwerte und Eigenschaften.....	97
4.4.5	Zusammenhang zwischen Widerstandswert und Einstellbewegung.....	101
4.4.6	Spannungsverhältnisse .....	102
4.4.7	Funktionsverlauf (Widerstandswertverlauf).....	103
4.4.8	Weitere Eigenschaften.....	106
4.4.9	Wellenenden, Befestigungsmittel und Anschlüsse.....	107
4.4.10	Vorzugswerte für den Gesamtwiderstand.....	108
4.4.11	Kennzeichnung der Potenziometer.....	108

<b>5</b>	<b>Veränderliche, nichtlineare Widerstände</b> .....	<b>109</b>
5.1	NTC-Widerstand, Heißeiter.....	110
5.1.1	Einsatzbereiche des Heißeiters.....	111
5.1.2	Herstellung von Heißeitern, Leitungsmechanismus.....	113
5.1.3	Widerstandskennlinie.....	113
5.1.4	Temperaturkoeffizient.....	119
5.1.5	Spannungs-Stromkennlinie.....	119
5.1.6	Zeitkonstante.....	123
5.1.7	Datenblattangaben.....	125
5.1.8	Wichtiger Hinweis zur Anwendung von NTCs.....	125
5.1.9	Anwendung: Temperaturmessung.....	126
5.1.10	Anwendung: Linearisierung der NTC-Widerstandskennlinie.....	127
5.1.11	Anwendung: Einschaltstrombegrenzung.....	128
5.1.12	Anwendung: Flüssigkeits-Niveaufühler.....	129
5.1.13	Anwendung: Ansprechverzögerung.....	130
5.2	PTC-Widerstand, Kaltleiter.....	130
5.2.1	Einsatzbereiche des Kaltleiters.....	131
5.2.2	Herstellung von Kaltleitern, Leitungsmechanismus.....	132
5.2.3	Widerstandskennlinie.....	133
5.2.4	Temperaturkoeffizient.....	135
5.2.5	Strom-Spannungs-Kennlinie.....	135
5.2.6	Spannungs- und Frequenzabhängigkeit des PTC-Widerstandes.....	137
5.2.7	Anwendung: Temperaturfühler.....	138
5.2.8	Anwendung: Flüssigkeits-Niveaufühler und Strömungsmesser.....	139
5.2.9	Anwendung: Selbstregelnder Thermostat.....	139
5.2.10	Anwendung: Überstromsicherung.....	139
5.3	VDR-Widerstand, Varistor.....	140
5.3.1	Einsatzbereiche des Varistors.....	141
5.3.2	Herstellung von Varistoren, Leitungsmechanismus.....	141
5.3.3	Strom-Spannungs-Kennlinie.....	142
5.3.4	Begriffsdefinitionen und Datenblattangaben.....	145
5.3.5	Hinweis zur Anwendung von Varistoren.....	148
5.3.6	Anwendung: Überspannungsschutz.....	148
5.4	LDR-Widerstand, Fotowiderstand.....	149
5.4.1	Einsatzbereiche des Fotowiderstands.....	150
5.4.2	Herstellung von Fotowiderständen, Leitungsmechanismus.....	150
5.4.3	Widerstandskennlinie.....	155
5.4.4	Dynamische Eigenschaften.....	157
5.4.5	Kennwerte, Datenblattangaben.....	158
5.4.6	Anwendung, Prinzipschaltung.....	159

<b>6</b>	<b>Durch Dehnung veränderlicher Widerstand</b> .....	161
6.1	Dehnungsmessstreifen, allgemeines.....	161
6.2	Einsatzbereiche des Dehnungsmessstreifens .....	163
6.3	DMS Aufbau.....	164
6.3.1	Grundkonstruktion.....	164
6.3.2	Draht-DMS .....	166
6.3.3	Folien-DMS.....	166
6.3.4	Halbleiter-DMS .....	168
6.3.5	Röhrchen-DMS.....	169
6.4	DMS Funktionsprinzip .....	169
6.5	Kenndaten.....	170
6.6	Messverfahren, Brückenschaltungen.....	172
6.6.1	Viertelbrücke .....	176
6.6.2	Halbbrücke .....	177
6.6.3	Vollbrücke.....	178
<b>7</b>	<b>Magnetfeldabhängiger Widerstand</b> .....	180
7.1	Feldplatte .....	180
7.2	Kennlinien .....	181
7.3	Einsatzbereiche der Feldplatte.....	182
7.4	Aufbau, Wirkungsweise .....	182
7.5	Ausführungsformen.....	183
7.6	Permalloy-Sensoren.....	185
<b>8</b>	<b>Kondensatoren</b> .....	187
8.1	Wirkungsweise und Eigenschaften von Kondensatoren .....	187
8.1.1	Allgemeines .....	187
8.1.2	Kondensator im Gleichstromkreis.....	187
8.1.3	Kondensator im Wechselstromkreis .....	189
8.1.4	Kondensator laden und entladen .....	190
8.1.5	Reihen- und Parallelschaltung von Kondensatoren .....	192
8.2	Dielektrische Stoffe .....	193
8.2.1	Allgemeine Eigenschaften der Dielektrika.....	193
8.2.2	Dielektrische Polarisaton.....	194
8.2.2.1	Elektronenpolarisation.....	194
8.2.2.2	Ionenpolarisation .....	195
8.2.2.3	Orientierungspolarisation .....	195
8.2.2.4	Frequenzabhängigkeit von $\epsilon_r$ .....	196
8.2.2.5	Temperaturabhängigkeit von $\epsilon_r$ .....	197
8.2.3	Einteilung der Dielektrika .....	197
8.2.3.1	Unpolare Stoffe.....	197
8.2.3.2	Polare Stoffe .....	197
8.2.3.3	Ferroelektrika .....	198

8.2.3.4	Piezoelektrische Werkstoffe.....	199
8.2.3.5	Kunststoffe.....	200
8.3	Elektrische Leitfähigkeit.....	202
8.3.1	Volumenleitfähigkeit.....	202
8.3.2	Oberflächenleitfähigkeit.....	202
8.4	Dielektrischer Durchschlag.....	203
8.5	Dielektrika im elektrischen Wechselfeld.....	205
8.6	Spezielle Eigenschaften dielektrischer Stoffe.....	208
8.7	Allgemeine Eigenschaften des technischen Kondensators.....	210
8.8	Wichtige Kenngrößen eines Kondensators.....	215
8.9	Kennzeichnung von Kondensatoren.....	217
8.9.1	Angabe der Nennkapazität.....	217
8.9.2	Angabe der Toleranz.....	219
8.9.3	Angabe der Nennspannung.....	220
8.9.4	Temperatur- und Toleranzangaben.....	221
8.9.5	Kennzeichnung des Außenbelages.....	221
8.10	Bauarten und Bauformen von Kondensatoren.....	221
8.10.1	Folienkondensatoren (Wickelkondensatoren).....	223
8.10.1.1	Herstellung von Folienkondensatoren.....	224
8.10.1.2	Aufbau von Folienkondensatoren.....	226
8.10.1.3	Papierkondensator.....	228
8.10.1.4	Metallpapier-Kondensator (MP-Kondensator).....	228
8.10.1.5	Kunststofffolienkondensator.....	230
8.10.1.6	Eigenschaften der Kunststofffolien, Anwendungsgebiete der Kondensatoren.....	233
8.10.1.7	KS- und KP-Kondensatoren im Detail.....	235
8.10.1.8	MK-Kondensatoren im Detail.....	239
8.10.1.9	Eigenschaften und Anwendungsgebiete von MK-Kondensatoren im Überblick.....	244
8.10.2	Elektrolytkondensator.....	246
8.10.2.1	Allgemeines zu Elektrolytkondensatoren.....	246
8.10.2.2	Aluminium-Elektrolytkondensatoren.....	249
8.10.2.3	Tantal-Folien-Elektrolytkondensatoren.....	262
8.10.3	Massekondensatoren.....	262
8.10.3.1	Keramikkondensatoren.....	262
8.10.3.2	Tantal-Sinter-Elektrolytkondensatoren.....	271
8.10.3.3	Niob-Elektrolytkondensatoren.....	273
8.10.3.4	Glaskondensatoren.....	274
8.10.4	Schichtkondensatoren.....	274
8.10.4.1	Keramik-Vielschicht-Kondensatoren.....	274
8.10.4.2	Dick- und Dünnschicht-Kondensatoren.....	275
8.10.4.3	Glimmerkondensatoren.....	275
8.10.5	Doppelschicht-Kondensatoren.....	275

8.10.6	Veränderbare Kondensatoren .....	278
8.10.7	Kapazitäten von Leitern und Aufbauten.....	279
8.10.7.1	Kugel über einer unendlichen, leitenden und geerdeten Ebene .....	279
8.10.7.2	Gerader Draht parallel zur Erde .....	280
8.10.7.3	Zwei koaxiale Zylinder, konzentrische Rohrleitung .....	280
8.10.7.4	Paralleldrahtleitung.....	281
8.10.7.5	Durchführung .....	281
<b>9</b>	<b>Induktivitäten .....</b>	<b>282</b>
9.1	Wirkungsweise und Eigenschaften von Induktivitäten .....	282
9.1.1	Allgemeines.....	282
9.1.2	Grundlagen des Magnetismus .....	283
9.1.3	Elektromagnetismus .....	286
9.1.4	Wirkungsweise der Spule .....	287
9.1.4.1	Magnetwirkung des Stromes .....	287
9.1.4.2	Durchflutung.....	287
9.1.4.3	Magnetische Feldstärke .....	287
9.1.4.4	Magnetische Flussdichte .....	288
9.1.4.5	Magnetischer Fluss .....	291
9.1.4.6	Induktion.....	292
9.1.4.7	Kraft auf stromdurchflossene Leiter.....	294
9.1.4.8	Selbstinduktion .....	296
9.1.4.9	Induktivität .....	296
9.1.4.10	Induktive Kopplung.....	296
9.1.4.11	Induktiver Widerstand .....	297
9.1.5	Aufbau der Spule .....	298
9.1.5.1	Luftspule.....	298
9.1.5.2	Spule mit Kern.....	298
9.1.6	Kenngrößen von Spulen .....	303
9.1.7	Eigenkapazität der Spule .....	304
9.1.8	Elektrisches Verhalten von Induktivitäten.....	306
9.1.8.1	Selbstinduktion .....	306
9.1.8.2	Ein- und Ausschalten von Gleichspannung an einer Spule.....	307
9.1.8.3	Spule im Wechselstromkreis .....	308
9.1.9	Reihen- und Parallelschaltung von Spulen.....	310
9.1.10	Dimensionierung von Spulen, Induktivitätswerte .....	310
9.1.11	Verwendungszweck, Beispiele zur Anwendung von Spulen .....	315
9.1.11.1	Verwendung von Spulen im Gleichstromkreis.....	316
9.1.11.2	Verwendung von Spulen im Wechselstromkreis .....	316
<b>10</b>	<b>Elektrische Leitungen .....</b>	<b>319</b>
10.1	Übersicht der Übertragungsmedien.....	319
10.2	Grundlagen zu elektrischen Leitungen.....	320

10.2.1	Wellenwiderstand.....	321
10.2.2	Ausbreitungskoeffizient.....	322
10.2.3	Ausbreitungsgeschwindigkeit (Phasengeschwindigkeit) .....	323
10.2.4	Phasenlaufzeit .....	324
10.2.5	Gruppenlaufzeit .....	324
10.2.6	Kurzschluss- und Leerlaufwiderstand .....	325
10.2.7	Resonanz.....	325
10.2.8	Leitungsübertragungsfunktion.....	326
10.2.9	Gekoppelte Leitungen.....	326
10.3	Eindrahtleitung .....	327
10.3.1	Rundleiter nahe einer Massefläche.....	327
10.3.2	Rundleiter im rechten Winkel einer Massefläche.....	328
10.3.3	Rundleiter zwischen zwei parallelen Masseflächen (Slab Line).....	328
10.3.4	Rundleiter mit U-Schirm (Trough Line, Channel Line).....	329
10.3.5	Rundleiter auf einem Substrat mit rückwärtiger Massefläche .....	329
10.3.6	Rundleiter oberhalb eines Substrats mit rückwärtiger Massefläche.....	330
10.4	Zweidrahtleitungen.....	330
10.4.1	Paralleldrahtleitung.....	330
10.4.2	Zweidrahtleitung über Massefläche.....	335
10.4.3	Zweidrahtleitung mit unterschiedlichen Leiterdurchmessern .....	335
10.4.4	Zweidrahtleitung in runder Abschirmung.....	335
10.4.5	Twisted Pair .....	336
10.5	Koaxialleitung.....	340
10.5.1	Aufbau und Anwendungen der runden Koaxialleitung .....	340
10.5.2	Eigenschaften von Koaxialkabeln .....	341
10.5.3	Leitungsbeläge von Koaxialleitungen bei hohen Frequenzen.....	344
10.5.4	Koaxialkabel mit geschichtetem Dielektrikum .....	345
10.5.5	Rundes, exzentrisches Koaxkabel .....	346
10.5.6	Koaxialleitung mit quadratischer Schirmung.....	346
10.5.7	Koaxiale Bandleitung mit Rechteckform von Schirm und Innenleiter .....	347
10.5.8	Koaxiale Bandleitung mit rundem Schirm .....	347
10.6	Streifenleitung.....	348
10.6.1	Vor- und Nachteile, Grundformen und Anwendungen der Streifenleitung .....	348
10.6.2	Materialien und Substrate von Streifenleiterschaltungen .....	352
10.6.3	Bauformen von Streifenleitungen.....	353
10.6.4	Einfache Näherungsformeln zur Analyse bestimmter Bauformen von Streifenleitungen.....	355
10.6.5	Einfluss einer kapazitiven Last auf $t_{pd}$ und $Z_0$ .....	360
10.6.6	Mikrostreifenleitung (microstrip).....	360
10.6.6.1	Statische Analyse einer Mikrostreifenleitung .....	362
10.6.6.2	Dynamische Analyse einer Mikrostreifenleitung .....	367
10.6.6.3	Synthese einer Mikrostreifenleitung.....	370
10.6.6.4	Dämpfung der Mikrostreifenleitung .....	371

10.6.6.5	Frequenzgrenzen der Mikrostreifenleitung .....	373
10.6.6.6	Mikrostreifenleitung und weitere Bauelemente .....	373
10.6.7	Koplanare Streifenleitung (CPW = Coplanar Waveguide) .....	374
10.6.8	Symmetrischer Streifenleiter (stripline) .....	375
10.6.9	Abgeschirmter symmetrischer Streifenleiter (shielded stripline).....	376
10.6.10	Koplanare Zweibandleitung (CPS = Coplanar Strips) .....	376
10.6.11	Asymmetrische koplanare Zweibandleitung.....	379
10.6.12	Koplanare Dreibandleitung .....	380
10.6.13	Koplanare Dreibandleitung mit Massefläche .....	381
10.6.14	Koplanare Streifenleitung (CPW) mit Berücksichtigung der Leiterdicke ..	381
10.6.15	Koplanare Streifenleitung (CPW) mit rückseitiger Massefläche .....	382
10.6.16	Koplanare Streifenleitung mit oberer Masse-Abschirmfläche.....	383
10.6.17	Kantengekoppelter symmetrischer Streifenleiter (narrow side coupled stripline).....	384
10.7	Bauelemente in Microstrip-Technik und Anwendungsbeispiele.....	385
10.7.1	Rechtwinkliger Leitungsknick .....	385
10.7.2	Leitungsunterbrechung .....	388
10.7.3	Leiterbreitenstufe.....	389
10.7.4	Mikrostreifenleerlauf.....	390
10.7.5	Beispiele für die Realisierung von Bauelementen und elementaren Schaltungen. ....	391
<b>11</b>	<b>Lichtwellenleiter .....</b>	<b>393</b>
11.1	Vor- und Nachteile des Lichtwellenleiters .....	393
11.2	Einsatz von Lichtwellenleitern.....	394
11.3	Aufbau und Funktionsprinzip des Lichtwellenleiters .....	395
11.4	Wellenausbreitung im Lichtwellenleiter, Moden, Dispersion.....	398
11.5	Multimode-Faser .....	402
11.6	Gradientenfaser.....	403
11.7	Monomode-Faser.....	404
11.8	Sende- und Empfangselemente von Lichtwellenleitern.....	405
11.8.1	Sender von Lichtwellenleitern.....	405
11.8.2	Empfänger von Lichtwellenleitern.....	407
11.9	Dämpfung von Lichtwellenleitern.....	407
11.9.1	Bedeutung der Dämpfung .....	407
11.9.2	Dämpfung und verwendete Wellenlängen bei Lichtwellenleitern .....	408
11.10	Verstärker in LWL-Strecken.....	410
11.11	Verbindungen von Lichtwellenleitern .....	412
11.11.1	Spleißverbindungen von Lichtwellenleitern .....	412
11.11.2	Steckverbindungen für Lichtwellenleiter .....	413
11.11.3	Einflüsse auf die Einfügungsdämpfung .....	415
11.11.4	Einige Beispiele von Standard-LWL-Steckern .....	417

<b>12</b>	<b>Hohlleiter</b> .....	421
12.1	Einsatzgebiete, Vor- und Nachteile von Hohlleitern .....	421
12.2	Grundsätzlicher Aufbau von Hohlleitern.....	422
12.3	Wellenfortpflanzung und Wellentypen in Hohlleitern.....	423
12.4	Rechteckhohlleiter .....	425
12.5	Rundhohlleiter .....	430
12.6	Einige Daten von Hohlleitern .....	432
12.7	Hohlleiterbauelemente.....	434
12.8	Hohlraumresonator mit Rechteckquerschnitt .....	435
<b>13</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	439
	<b>Sachverzeichnis</b> .....	443