

Inhalt

1	Begriffsdefinitionen.....	17
2	Material: Eigenschaften und Klassifizierung.....	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
3	Festwiderstände.....	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
4	Veränderbare Widerstände, Potenziometer	84
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
5	Veränderliche, nichtlineare Widerstände.....	109
5.1	NTC-Widerstand, Heißleiter.....	110
5.1.1	Einsatzbereiche des Heißleiters.....	111
5.1.2	Herstellung von Heißleitern, 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

6	Durch Dehnung veränderlicher Widerstand	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
7	Magnetfeldabhängiger Widerstand	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
8	Kondensatoren	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 Polarisierung	194
8.2.2.1	Elektronenpolarisierung	194
8.2.2.2	Ionenpolarisierung	195
8.2.2.3	Orientierungspolarisierung	195
8.2.2.4	Frequenzabhängigkeit von ϵ_r	196
8.2.2.5	Temperaturabhängigkeit von ϵ_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	Kenzeichnung 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	Kenzeichnung 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
9	Induktivitäten.....	282
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
10	Elektrische Leitungen.....	319
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	Mikrostreifenleiterlauf	390
10.7.5	Beispiele für die Realisierung von Bauelementen und elementaren Schaltungen	391
11	Lichtwellenleiter	393
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
12	Hohlleiter	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
13	Literaturverzeichnis.....	439
14	Sachverzeichnis	443