

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>15</b>
<b>2 Konstruktive Basiskomponenten .....</b>	<b>27</b>
2.1 Der elektrische Kontakt.....	27
2.1.1 Prinzip des elektrischen Kontakts.....	28
2.1.1.1 Geschlossener Kontakt.....	28
2.1.1.2 Öffnender Kontakt .....	38
2.1.1.3 Schließender Kontakt.....	39
2.1.1.4 Offener Kontakt .....	39
2.1.1.5 Kontakttechnologien .....	40
2.1.2 Steck- und Ziehkräfte .....	46
2.1.3 Durchgangswiderstand .....	47
2.1.4 Herstellung von Kontaktoberflächen .....	48
2.1.5 Bauformen elektrischer Kontakte .....	49
2.2 Anschluss an die Übertragungsmedien .....	52
2.2.1 Kontaktierung an Schaltungsträgern.....	53
2.2.1.1 Leiterplatten.....	54
2.2.1.2 Lötverfahren.....	63
2.2.1.3 Reflowlöten .....	63
2.2.1.4 Wellenlöten .....	68
2.2.1.5 Einpresstechnologie .....	69
2.2.1.6 Pinraster bei hochpoligen Steckverbindern .....	73
2.2.2 Kabel.....	74
2.2.3 Kabeltypen.....	74
2.2.3.1 Leiter .....	77
2.2.3.2 Isolierung .....	78
2.2.3.3 Schirmung .....	79

2.2.4	Elektrische Eigenschaften von Kabel .....	80
2.2.4.1	Übertragungseigenschaften von Kabel .....	81
2.2.4.2	Twisted-Pair-Kabel.....	81
2.2.4.3	Kreiszylindrische Koaxialkabel .....	84
2.2.4.4	Kabelbäume .....	89
2.2.5	Anschlusstechnologien an Kabel.....	90
2.2.5.1	Wickeln .....	91
2.2.5.2	Löten .....	92
2.2.5.3	Schraubverbindungen.....	92
2.2.5.4	Federklemmen.....	94
2.2.5.5	Schweißen .....	94
2.2.5.6	Crimpen .....	94
2.2.5.7	Schneidklemmen.....	100
2.3	Gehäuse .....	103
2.3.1	Gehäusematerialien .....	103
2.3.1.1	Kunststoffgehäuse.....	103
2.3.1.2	Metallgehäuse .....	104
2.3.2	Oberflächen.....	104
2.3.3	Dichtungen.....	105
2.3.4	Schutzarten .....	105
2.3.5	Arretierung .....	107
2.3.6	Elektrische Schirmung.....	107
2.3.7	Vorzentrierung .....	110
2.3.8	Kodierung .....	111
2.3.9	MID-Technologie.....	111
<b>3</b>	<b>Materialien und Werkstoffe .....</b>	<b>117</b>
3.1	Metalle .....	118
3.1.1	Schmelztemperatur .....	119
3.1.2	Temperaturkoeffizient der Länge.....	119
3.1.3	Wärmeleitfähigkeit .....	119
3.1.4	Spezifische Wärmekapazität .....	120
3.1.5	Dichte.....	121
3.1.6	Elastizitätsmodul .....	122
3.1.7	Elastizitätsgrenze .....	125
3.1.8	Streckgrenzen .....	125
3.1.9	Dehnungsgrenze .....	125

---

3.1.10 Zugfestigkeit.....	126
3.1.11 Gleichmaßdehnung.....	126
3.1.12 Bruchdehnung.....	127
3.1.13 Federbiegegrenze.....	128
3.1.14 Biegeweichselfestigkeit.....	129
3.1.15 Umform- und Biegarkeit.....	129
3.1.16 Spannungsrelaxation.....	130
3.1.17 Härte .....	130
3.1.18 Elektrische Leitfähigkeit und spezifischer Widerstand.....	131
3.1.19 Temperaturkoeffizient der Leitfähigkeit .....	132
3.1.20 Schmelzspannung .....	132
3.1.21 Magnetische Eigenschaften .....	133
3.1.22 Kupfer.....	134
3.1.23 Gold .....	135
3.1.24 Palladium .....	137
3.1.25 Silber.....	138
3.1.26 Nickel.....	140
3.1.27 Zinn.....	141
3.1.28 Platin.....	142
3.1.29 Aluminium.....	144
3.1.30 Zink.....	144
3.1.31 Kupferlegierungen.....	145
3.2 Kunststoffe .....	146
3.2.1 Kennwerte für Kunststoffe.....	151
3.2.1.1 Glasübergangstemperatur .....	151
3.2.1.2 Schmelztemperatur .....	155
3.2.1.3 Betriebstemperatur.....	155
3.2.1.4 Wärmeformbeständigkeit .....	156
3.2.1.5 Ausdehnungskoeffizienten.....	157
3.2.1.6 Schwindung .....	157
3.2.1.7 Fließfähigkeit .....	160
3.2.1.8 Dichte.....	161
3.2.1.9 Bestimmung der mechanischen Kennwerte .....	161
3.2.1.10 Elastizitätsmodul.....	162
3.2.1.11 Streckspannung und Streckdehnung.....	163
3.2.1.12 Bruchspannung und Bruchdehnung.....	163
3.2.1.13 Spezifischer elektrischer Widerstand .....	166

3.2.1.14 Spannungsfestigkeit und Durchschlagsfestigkeit.....	166
3.2.1.15 Kriechstromfestigkeit.....	169
3.2.1.16 Oberflächenwiderstand .....	170
3.2.1.17 Relative Dielektrizitätskonstante .....	171
3.2.1.18 Dielektrischer Verlustfaktor .....	176
3.2.1.19 Wasseraufnahme .....	177
3.2.1.20 Brandbeständigkeit .....	178
3.2.1.21 Verarbeitungs- und Umwelteigenschaften .....	181
3.2.2 Liquid Crystalline Polymers (LCP) .....	182
3.2.3 Polyamide (PA) .....	184
3.2.4 Polybutylenterephthalat (PBT) .....	187
3.2.5 Polycarbonat (PC).....	188
3.2.6 Polyethylen (PE) .....	189
3.2.7 Polyetheretherketon (PEEK).....	190
3.2.8 Polyetherimid (PEI) .....	191
3.2.9 Polyethersulfon (PES) .....	193
3.2.10 Polyethylenterephthalat (PET).....	193
3.2.11 Perfluoralkoxylalkan (PFA) .....	194
3.2.12 Polymethylmethacrylat (PMMA) .....	195
3.2.13 Polyoxymethylen / Polyacetal (POM).....	196
3.2.14 Polypropylen (PP).....	197
3.2.15 Polyphenylenether (PPE) / Polyphenylenoxid (PPO) .....	198
3.2.16 Polyphenylensulfid (PPS) .....	199
3.2.17 Polystyrol (PS) .....	200
3.2.18 Polysulfon (PSU) .....	201
3.2.19 Polytetrafluorethylen (PTFE).....	202
3.2.20 Polyvinylchlorid weich (PVC-P) .....	204
3.2.21 Polyvinylidenfluorid (PVDF).....	205
<b>4 Elektrische Eigenschaften .....</b>	<b>206</b>
4.1 Zeitbereich .....	210
4.1.1 Zeitkontinuierliche Darstellung.....	210
4.1.1.1 Signalintegrität.....	210
4.1.1.2 Powerintegrität .....	212
4.1.2 Zeitdiskrete Darstellung .....	213
4.1.2.1 Augendiagramme.....	213
4.1.3 Harmonische Darstellung .....	217

---

4.2	Frequenzbereich .....	218
4.2.1	Frequenzbänder.....	218
4.2.2	Streuparameter.....	219
4.3	Zusammenhang zwischen Frequenz und Zeitbereich .....	221
4.3.1	Bandbreite.....	224
4.4	Strom und Spannung .....	224
4.4.1	Kriechstromfestigkeit und Spannungsfestigkeit .....	225
4.5	Widerstände.....	226
4.5.1	Messung des Durchgangswiderstandes $R_D$ .....	226
4.6	Impedanzen .....	230
4.6.1	Allgemeine Impedanz .....	231
4.6.2	Impedanzprofil.....	234
4.6.3	Impedanz bei einer Einzelleiterübertragung.....	235
4.6.4	Impedanz bei einer Zweileiterübertragung .....	237
4.6.4.1	Gegentaktbetrieb .....	237
4.6.4.2	Gleichtaktbetrieb.....	238
4.6.4.3	Zusammenhang zwischen Gleich- und Gegentaktbetrieb....	239
4.6.5	Messung der Impedanzen .....	240
4.6.5.1	Kalibrierung des Spannungssprunges.....	243
4.6.5.2	Messfassung.....	246
4.7	Reflexionen .....	247
4.7.1	Zeitbereich .....	247
4.7.2	Frequenzbereich.....	250
4.8	Transmission .....	252
4.8.1	Zeitbereich .....	252
4.8.2	Frequenzbereich.....	254
4.9	Übersprechen .....	256
4.9.1	Nahübersprechen .....	257
4.9.2	Zeitbereich.....	257
4.9.3	Frequenzbereich.....	260
4.9.4	Fernübersprechen.....	261
4.9.5	Zeitbereich .....	262
4.9.6	Frequenzbereich.....	263
4.10	Laufzeiten.....	264
4.10.1	Zeitbereich .....	265
4.11	Modenkonversion .....	266
4.12	Modenkonversion in Twisted-Pair-Kabeln .....	267

4.13	Skineffekt .....	274
4.14	Elektromagnetische Verträglichkeit .....	275
4.14.1	Physikalische Ursachen der Schirmung .....	277
4.14.2	Schirmfaktor und Schirmdämpfung .....	278
4.14.3	Koppelimpedanz .....	280
4.14.4	Schirmungsmaßnahmen in Steckverbindern .....	281
4.15	Intermodulation .....	282
<b>5</b>	<b>Simulation .....</b>	<b>285</b>
5.1	Genauigkeit der Ergebnisse .....	287
5.2	Rechenalgorithmus .....	288
5.3	Diskretisierung .....	289
5.4	Randbedingungen .....	290
5.5	Quellen und Senken .....	291
5.6	Geometriedaten .....	293
5.7	Materialdaten .....	293
5.8	Beispiel: Simulation der Stromverteilung .....	293
5.9	Beispiel: Simulation des thermischen Verhaltens .....	295
5.10	Beispiel: Simulation der elektromagnetischen Verträglichkeit .....	296
5.11	Beispiel: mechanische Simulation .....	298
5.12	Beispiel: Moldflow Simulation .....	298
5.13	Simulationsmodelle für den Anwender .....	299
5.13.1	SPICE-Modelle für Steckverbinder .....	300
5.13.2	Touchstone®-Format .....	301
5.13.3	IBIS-Format .....	302
5.14	Checkliste zur Auswahl eines Simulators .....	302
<b>6</b>	<b>Qualifizierung .....</b>	<b>307</b>
6.1	Prüfmethoden .....	312
6.1.1	Vibration .....	312
6.1.2	Schock .....	313
6.1.3	Klima .....	314
6.1.4	Umwelteinflüsse .....	315
6.2	Testplan .....	316
<b>7</b>	<b>Richtlinien, Normung, Standard und Patente .....</b>	<b>319</b>
7.1	Normen .....	320
7.1.1	Kennzeichnung der Normen .....	323
7.1.2	Struktur der Normungsgremien .....	323

---

7.2	Standards und Spezifikationen .....	325
7.3	Richtlinien .....	327
7.4	Patente .....	328
<b>8</b>	<b>Steckverbindertypen.....</b>	<b>333</b>
8.1	Modulare Steckverbinderfamilien.....	333
8.2	Koaxiale Steckverbinder .....	334
8.2.1	Kopplungsmechanismen .....	336
8.2.2	Gehäuse .....	338
8.2.3	Innenleiter.....	339
8.2.4	Isolator .....	339
8.2.5	Dichtung .....	340
8.2.6	Kabelanschluss .....	341
8.2.7	Leiterplattenanschluss .....	341
8.2.8	Gehäuseanschluss .....	343
8.2.9	Bauformen .....	343
8.3	Gehäusesteckverbinder .....	350
8.4	Kundenspezifische Steckverbinder .....	351
8.5	Mezzanine-Steckverbinder.....	354
8.6	Baugruppen- und Rückwandsteckverbinder .....	355
8.7	High-Speed-Steckverbinder .....	360
8.8	RJ-Steckverbinder .....	363
8.9	Multifunktionale Steckverbinder .....	364
8.10	Kompatible Steckverbinder.....	365
8.11	D-SUB-Steckverbinder .....	366
<b>9</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>367</b>
<b>10</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>370</b>
10.1	Formelzeichen und Symbole.....	370
10.2	Abkürzungen .....	379
	<b>Stichwortverzeichnis .....</b>	<b>387</b>
	<b>Inserentenverzeichnis.....</b>	<b>394</b>