

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 15 |
| 2 | Konstruktive Basiskomponenten | 27 |
| 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 | Kreiszyllindrische 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 |
| 3 | Materialien und Werkstoffe | 117 |
| 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 | Biegewechselfestigkeit..... | 129 |
| 3.1.15 | Umform- und Biegebarkeit..... | 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 |
| 4 | Elektrische Eigenschaften | 206 |
| 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 |
| 5 | Simulation | 285 |
| 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 |
| 6 | Qualifizierung | 307 |
| 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 |
| 7 | Richtlinien, Normung, Standard und Patente | 319 |
| 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 |
| 8 | Steckverbindertypen | 333 |
| 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 |
| 9 | Literatur | 367 |
| 10 | Abkürzungsverzeichnis | 370 |
| 10.1 | Formelzeichen und Symbole | 370 |
| 10.2 | Abkürzungen | 379 |
| | Stichwortverzeichnis | 387 |
| | Inserentenverzeichnis | 394 |