

Inhaltsverzeichnis

1 Koaxialkabel für die HF- und Mikrowellentechnik	1
1.1 Wichtige Standardkabel.....	1
1.1.1 Flexible Standardkabel mit einfachem und doppeltem Geflechtschirm	1
1.1.2 Low Loss Kabel mit geschäumtem Dielektrikum und Folien-/Geflechtaußenleiter.....	2
1.1.3 Semi-Rigid-Leitungen mit vollständig geschlossenem Außenleiterrohr	3
1.1.4 Handformbare Semi-Rigid-Leitungen mit zinngetränktem Metallgeflecht	4
1.1.5 Flexible Mikrowellenkabel für GHz-Frequenzen.....	4
1.1.6 Phasenstabile Kabel für die Messtechnik.....	5
1.1.7 Wellmantelkabel mit gewelltem Außenleiter	6
1.1.8 Rigid Lines - Leitungen mit starrem Außenleiter und sehr großem Durchmesser	7
1.1.9 Koaxialkabel mit 75 Ohm Wellenwiderstand.....	7
1.1.10 Strahlende Kabel	8
1.1.11 Geräuscharme „Low Noise“ Kabel für kleine Spannungen	8
1.1.12 Triaxialkabel für kleine Ströme	8
1.1.13 Kabel für Vakuumanwendungen.....	8
1.1.14 Hochspannungskabel.....	8
1.2 Aufbau und Materialien.....	11
1.2.1 Der Innenleiter	11
1.2.1.1 Stahlinnenleiter.....	11
1.2.1.2 Kupferinnenleiter.....	11
1.2.1.3 Aluminiuminnenleiter	11
1.2.2 Das Dielektrikum.....	12
1.2.2.1 Feste und geschäumte Dielektrika.....	12
1.2.2.2 Luft.....	12
1.2.3 Der Außenleiter	12
1.2.3.1 Geflechtschirm	12
1.2.3.2 Folien-/Geflechtaußenleiter	12
1.2.3.3 Geschlossene Außenleiter	13
1.2.4 Der Kabelmantel	13
1.2.4.1 PVC (Polyvinylchlorid).....	13
1.2.4.2 PE (Polyethylen).....	13
1.2.4.3 FEP (Fluorethylenpropylen)	13
1.2.4.4 PFA (Perfluoroalkoxy).....	14
1.2.4.5 PUR (Polyurethan).....	14
1.2.4.6 Kapton	14
1.2.4.7 Spezielle Kabelmantel mit verbesserten Brandeigenschaften (z.B. LS0H, LSFH, FRNC)	15
1.2.5 Armierungen.....	15
1.3 Das Brandverhalten von Koaxialkabeln	16
1.3.1 Die Entflammbarkeit	16
1.3.1.1 Vertikale Flammenausbreitung eines Kabels	16
1.3.1.2 Vertikale Flammenausbreitung von vertikal angeordneten Bündeln.....	16
1.3.2 Die Rauchdichte	16
1.3.3 Die Halogenfreiheit.....	16

1.3.4 Kabelmantel aus modifizierten Kunststoffen	17
1.3.5 Kabel zur festen Installation in Gebäuden (Bauproduktverordnung).....	17
1.3.6 Brandschutz von Kabeln nach NEC	17
1.3.7 Normenübersicht.....	18
1.4 Elektrische und mechanische Eigenschaften von Koaxialkabeln	19
1.4.1 Nutzbarer Frequenzbereich (frequency range).....	19
1.4.2 Wellenwiderstand (characteristic impedance)	19
1.4.3 Kabeldämpfung (attenuation).....	20
1.4.4 Belastbarkeit (power capability)	21
1.4.5 Spannungsfestigkeit (operating voltage).....	22
1.4.6 Schirmdämpfung (screening effectiveness).....	22
1.4.7 Kopplungsimpedanz und -admittanz.....	22
1.4.8 Biegeradius (bend/flex radius).....	23
1.4.9 Verkürzungsfaktor, Ausbreitungsgeschwindigkeit und Laufzeit.....	23
1.4.10 Rückflussdämpfung, SRL und SWR	23
1.4.11 Phasen- und Amplitudenstabilität.....	24
1.4.12 Temperaturbereich (operating temperature range)	24
2 Hochfrequenz-Steckverbinder	27
2.1 Technische Eigenschaften	27
2.1.1 Definition von Stecker und Buchse	27
2.1.2 Reverse Polarity - umgekehrte Polarität).....	27
2.1.3 Schlitzfreie Innenleiter für Präzisionssteckverbinder	27
2.1.4 Festgehaltene Innenleiter	28
2.1.5 Steckzyklen - begrenzte Lebensdauer	28
2.1.6 Der Wellenwiderstand.....	28
2.1.7 Frequenzbereich	29
2.1.8 Dämpfung und Belastbarkeit.....	29
2.1.9 Schirmdämpfung	29
2.1.10 Bezugsebene	29
2.1.11 Verbindung unterschiedlicher Steckverbinderarten.....	30
2.1.12 Kopplungsmechanismen	30
2.1.12.1 Schraubverschluss (Screwed Coupling).....	30
2.1.12.2 Bajonettverschluss (Bayonet Coupling Mechanism)	30
2.1.12.3 Schnappverschluss (Snap-on).....	30
2.1.12.4 Einrastmechanismus (Push-Pull).....	31
2.1.12.5 Gleitkontakt (Slide-on)	31
2.1.13 Materialien und Oberflächen.....	31
2.1.13.1 Nickel.....	32
2.1.13.2 Weißbronze	32
2.1.13.3 Silber.....	32
2.1.13.4 Gold	32
2.1.14 Verbindungstechniken	32
2.1.14.1 Crimptechnik.....	32
2.1.14.2 Lötverbindung	33
2.1.14.3 Lötfreie Steckverbindung (nur Innenleiter)	33
2.1.14.4 Klemmung (nur Außenleiter)	33

2.1.15 Steckverbinder im Außenbereich	34
2.1.16 Ruggedized Test Port (NMD)	34
2.1.17 Der Knickschutz	35
2.1.17.1 Knickschutztüllen	35
2.1.17.2 Schrumpfschlauch	35
2.1.17.3 Niederdruck-Spritzguss	35
2.1.18 Passive Intermodulation (PIM)	35
2.1.19 Winkelstecker und Einbaubuchsen	36
2.2 Wichtige HF-Steckverbinder	39
2.2.1 Standardsteckverbinder für die Mess- und Funktechnik	39
2.2.1.1 N-Steckverbinder	39
2.2.1.2 SMA-Steckverbinder	39
2.2.1.3 BNC-Steckverbinder	40
2.2.1.4 TNC-Steckverbinder	40
2.2.2 Steckverbinder für die Mess- und Mikrowellentechnik	41
2.2.2.1 Der 3.50 mm-Steckverbinder	41
2.2.2.2 Der 2.92 mm-Steckverbinder	41
2.2.2.3 Der 2.40 mm-Steckverbinder	42
2.2.2.4 Der 1.85 mm-Steckverbinder	42
2.2.2.5 Der 1.35 mm (E)-Steckverbinder	43
2.2.2.6 Der 1.00 mm-Steckverbinder	43
2.2.2.7 Der 7 mm-Steckverbinder	43
2.2.3 Miniatursteckverbinder	44
2.2.3.1 SMB/SMZ-Steckverbinder	44
2.2.3.2 SSMB-Steckverbinder	44
2.2.3.3 SMC-Steckverbinder	44
2.2.3.4 SSMC-Steckverbinder	44
2.2.3.5 MCX-Steckverbinder	44
2.2.3.6 MMCX-Steckverbinder	45
2.2.3.7 SSMCX-Steckverbinder	45
2.2.3.8 SMP-Steckverbinder	45
2.2.3.9 Mini-SMP-Steckverbinder	46
2.2.3.10 U.FL-/UMCC-/MHF®-/AMC-Stecker	46
2.2.3.11 Insert Coax 1.0-2.3	47
2.2.3.12 Insert Coax D-SUB	47
2.2.3.13 LEMO 00.250-Steckverbinder	47
2.2.4 Steckverbinder für die Funktechnik	48
2.2.4.1 Der 7-16-Steckverbinder	48
2.2.4.2 Der 4.3-10-Steckverbinder	48
2.2.4.3 NEX10® Steckverbinder	48
2.2.4.4 Der 2.2-5 Steckverbinder	49
2.2.4.5 Der 1.5/3.5-Steckverbinder	49
2.2.4.6 UHF-Steckverbinder	49
2.2.4.7 Mini-UHF-Steckverbinder	50
2.2.5 Sonstige Steckverbinder	50
2.2.5.1 QN-Steckverbinder	50
2.2.5.2 SnapN-Steckverbinder	50

2.2.5.3 QMA- und QLS®-Steckverbinder	51
2.2.5.4 BMA, OSP und RPC-SP	51
2.2.5.5 FAKRA- / SMBA®-Steckverbinder	51
2.2.5.6 FME-Steckverbinder	52
2.2.6 Video-Steckverbinder	52
2.2.6.1 (Mini) HD-BNC-Steckverbinder.....	52
2.2.6.2 Der 1.6/5.6-Steckverbinder	52
2.2.6.3 F-Steckverbinder	53
2.2.7 Hochspannungssteckverbinder	53
2.2.7.1 MHV-Steckverbinder	53
2.2.7.2 SHV-Steckverbinder.....	53
2.2.7.3 HN-Steckverbinder	54
3 Konfektionierte Hochfrequenzkabel	57
3.1 Spezifikationen konfektionierter Koaxialkabel	57
3.1.1 Längendefinition und Toleranz	57
3.1.2 Orientierung der Steckverbinder.....	57
3.1.3 Phase Matching	58
3.2 Messungen an fertigen Kabeln.....	58
3.2.1 Durchgangstest mit Ohmmeter	58
3.2.2 Durschlagstest (Hipot-Test)	58
3.2.3 Frequenzgangmessung mit dem Netzwerkanalysator.....	59
3.2.3.1 Kalibrierung und Adapter	59
3.2.3.2 Messungen von sehr langen Kabeln.....	59
3.2.3.3 Messung mit nur einem Port (S11).....	59
3.2.3.4 Einfluss der Kabeldämpfung auf die Rückflussdämpfung.....	60
3.2.4 Messung der passiven Intermodulation (PIM).....	60
3.3 Messprotokolle	60
3.3.1 Abweichungen bei unterschiedlichen Produktionschargen des Kabels	61
3.3.2 Peaks durch periodische Störstellen.....	62
3.3.3 Bewegungsabhängigkeiten bei Folien-/Geflechtkabeln (Low Loss).....	62
3.4 Periodizität der Rückflussdämpfung	64
3.4 Feeder, Patch und Jumperkabel	65
3.5 Zubehör und Schutzelemente für konfektionierte Koaxialkabel	65
3.5.1 Schutzkappen	65
3.5.2 „Port Saver“-Adapter für Testkabel	65
3.5.3 Schnellverschluss-Adapter	66
3.6 Koaxialkabel für Anwendungen in der Luft- und Raumfahrt	66
Literatur	67
Anhang A: Frequenzbereiche von Steckverb bindern.....	70
Anhang B: Anzugsdrehmomente Steckverbinder	71
Anhang C: Reinigung von Steckverbindungen	72
C.1 Reinigungsablauf verschmutzter Steckverbinder.....	72
Anhang D: Tipps zur Kabel- und Steckerauswahl.....	73
D.1 Testkabel im Messlabor	73
D.2 Kabel als Antennenzuleitung	73

D.3 Kabel zur Verdrahtung innerhalb von elektrischen Geräten.....	73
Anhang E: Vergleichstabellen.....	75
Vergleichstabelle - Steckverbinder 50 Ohm.....	77
Vergleichstabelle - Steckverbinder 50 Ohm.....	78
Vergleichstabelle - Steckverbinder 75 Ohm und Hochspannung.....	79
Vergleichstabelle - Standardkabel.....	80
Vergleichstabelle - Halogenfreie und dämpfungsarme Kabel.....	81
Vergleichstabelle - Mikrowellenkabel und Semi-Rigid.....	82
Vergleichstabelle - 75 Ohm Koaxialkabel	83
Vergleichstabelle - Low Loss (Funktechnik)	84
Vergleichstabelle - Low Loss (Funktechnik)	85