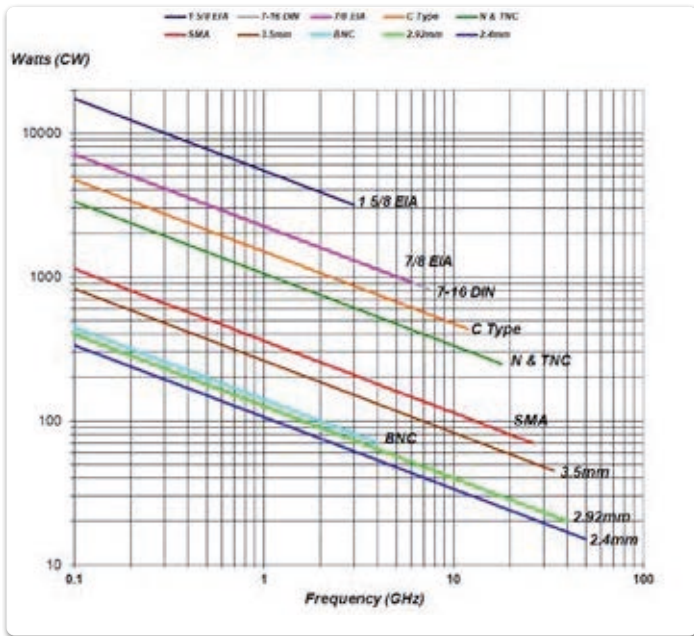


Kleiner Leitfaden zu HF-Steckverbindern

Bei der großen Auswahl an Steckverbindern für den Einsatz im HF- und Mikrowellen-Spektrum ist es ein Fehler, diesen wesentlichen Komponenten zu wenig Aufmerksamkeit zu schenken.



Hier erfahren Sie darum mehr über die verschiedenen Arten von HF-Koaxialsteckverbindern. Deren offensichtlichstes Merkmal ist die mechanische Größe. Weitere Faktoren sind die Belastbarkeit, der Frequenzbereich, das Gewicht und die charakteristische Impedanz. Hinzu kommen z.B. noch Haltbarkeit, Einsatztemperaturbereich und Preis. Zudem unterscheidet man zwischen Standard- und Präzisionsausführung und in einigen Fällen Hochleistungsversionen.

Der BNC-Steckverbinder

ist wahrscheinlich einer der am häufigsten verwendeten Steckverbinder im Bereich der Prüf- und Messtechnik. Er wurde in den späten 40er oder frühen 50er Jahren von Bell Labs (Paul Neill, Carl Concelman, BNC = Bayonet Neill–Concelman) entwickelt und wird in der Regel für Verbindungen mit geringer Leistung an HF-Prüfgeräten wie Signalgeneratoren, Oszilloskopen und Verstärkern verwendet. Der kostengünstige BNC-Steckverbinder verfügt über einen Bajonettverschluss, der ein schnelles Verbinden und Trennen ermöglicht und gleichzeitig ein versehentliches Trennen verhindert. Die charakteristische Impedanz ist 50 oder 75 Ohm.

BNC-Stecker sind in der Regel für den Frequenzbereich von DC bis 4 GHz ausgelegt, werden jedoch selten über 500 MHz verwendet. Sie sind zwar in der Lage, eine durchschnittliche Leistung von 80 bis 100 W bis zu 1 GHz zu verarbeiten, werden jedoch in der Regel durch keine maximale Nennleistung gekennzeichnet. Die maximale Nennspannung beträgt etwa 500 V.

Der TNC-Steckverbinder

ist lediglich eine Gewindeversion eines BNC-Steckers. Er wurde Ende der 50er Jahre entwickelt und bietet eine sicherere Verbindung und reduziert somit Vibrationsprobleme, die beim BNC-Typ auftreten können (Threaded Neill–Concelman). Der TNC-Steckverbinder arbeitet mit höheren Frequenzen als der BNC-Typ, und es gibt auch TNC-Hochleistungsversionen.



Der Subminiatur-Steckverbinder vom Typ A (SMA)

wurde in den 60er Jahren entwickelt und hat sich als sehr beliebte Wahl bei Anwendungen mit geringer Leistung und hoher Frequenz erwiesen. Er war ursprünglich für die Verwendung mit halbstarren Koaxialkabeln vom Typ 141 vorgesehen, bei denen der Mittelleiter als Mittelstift diente. Später wurde seine Verwendung auf flexible Kabel mit angelöteten Mittelstiften ausgeweitet. Er besteht aus einem inneren Kontaktring und einer sechseckigen Klemmmutter, die über einen Sprengring befestigt ist. Spezielle Schraubenschlüssel werden verwendet, um das richtige Drehmoment

zu erreichen, in der Regel 5 lb-inches. Es gibt verschiedene Versionen, wie z.B. Hochfrequenz-, selbstsichernde und Präzisionsversionen.



SMA wird häufig als Verbindung auf HF-Leiterplatten, Mikrowellenfiltern und Dämpfungsgliedern verwendet und kann bis zu 18 GHz genutzt werden. Präzisionsversionen erweitern die obere Frequenzgrenze auf 26,5 GHz. Obwohl der SMA mit den Steckverbindern 2,92 mm, 3,5 mm und APC-3,5 kompatibel ist, wird er dafür nicht empfohlen, da geringfügige Maßunterschiede zu Schäden am Steckverbinder führen können.

Der 3,5-mm-Steckverbinder

ist ein Präzisionssteckverbinder, der hauptsächlich von Hewlett Packard (jetzt Keysight Technologies) entwickelt wurde. Er ähnelt im Aufbau dem SMA-Steckverbinder, verwendet jedoch ein Luftdielektrikum für eine höhere Leistung. Diese Steckverbinder funktionieren gut bis 34 GHz, werden aber normalerweise bis 26,5 GHz verwendet.



Da es sich bei dem 3,5-mm-Steckverbinder um einen Präzisionsstecker handelt, ist er teurer als ähnliche Designs und wird daher häufig in Kalibrierungskits und messtechnischen Anwendungen eingesetzt, im Gegensatz zu herkömmlichen Test- und Produktionsanwendungen.

Quelle:
Guide to RF Coaxial
Connectors and Cables
AR RF/Microwave
Instrumentation
www.ar.ametek-cts.com



übersetzt, gekürzt und ergänzt
von FS

Der 2,92-mm- bzw. K-Type-Steckverbinder

wurde von Wiltron (jetzt Anritsu Corporation) entworfen und hergestellt. Die Leistung dieses Steckverbinders ist mit der des im Folgenden vorgestellten 2,4-mm-Steckverbinders vergleichbar, obwohl die maximale Frequenz auf 40 GHz begrenzt ist. Die Bezeichnung „K-Type“ leitet sich von seiner Fähigkeit ab, alle K-Band-Frequenzen abzudecken.



Der 2,4-mm-Steckverbinder

Ist ein 50-GHz-Steckverbinder und wurde Mitte der 80er Jahre von Hewlett Packard (jetzt Keysight Technologies) entwickelt. Er verwendet einen 4,7-mm-Außenleiter, der um einen 2,4-mm-Mittelleiter angeordnet ist.



Der 2,4-mm-Steckverbinder ist in drei Ausführungen erhältlich: für allgemeine Zwecke, speziell für Messinstrumente und allgemein für die Messtechnik. Da diese Steckverbinder nicht direkt mit der SMA-Familie kompatibel sind, benötigt man Präzisionsadapter, um einen 2,4-mm-Steckverbinder mit einem SMA-Steckverbinder zu verbinden.

Der N-Steckverbinder

ist einer der am häufigsten verwendeten HF-Steckverbinder weltweit. Dieser Hochleistungs-Steckverbinder wurde in den 40er Jahren von Bell Labs mit einer Gewindekupplungs-Schnittstelle und einer internen Dichtung entwickelt, um die Elemente fernzuhalten.



Der N-Steckverbinder ist robust und relativ kostengünstig, und die Standardversion ermöglicht einen modusfreien Betrieb bis 11 GHz. Präzisionsversionen verschieben die obere Frequenzgrenze auf 18 GHz. Dieser robuste Gewindeanschluss, der häufig in Geräten wie Verstärkern, Richtkopplern, Leistungsmessern und Koaxialdämpfungsgliedern zu finden ist, bietet eine sehr sichere Verbindung. Es sind sowohl 50- als auch 75-Ohm-Versionen erhältlich, wobei letztere häufig in der CATV-Branche verwendet werden.

Der C-Steckverbinder

wurde von Amphenol für Hochleistungsanwendungen entwickelt und ermöglicht ein schnelles Verbinden/Trennen. Er verwendet einen Doppelstift-Bajonettverschluss, der im Design dem BNC-Typ ähnelt. Die Beliebtheit des C-Steckers hat im Laufe der Jahre abgenommen, er ist aber immer noch erhältlich.



Der im Folgenden erwähnte Steckverbinder 7-16 DIN wurde in vielen Fällen als Ersatz verwendet, da er ähnliche Frequenz- und Leistungsmerkmale aufweist. Es sind 75-Ohm-Versionen sowie eine SC-Version (Screw) erhältlich, die einen Gewinding für eine sicherere Verbindung enthält. Dieser Stecker ist in den USA im Vergleich zu den anderen zuvor genannten Steckern neueren Datums.

Der Steckverbinder 7-16 DIN

wurde vom Deutschen Institut für Normung (DIN) entwickelt. Der numerische Teil des Namens bezieht sich auf die Größe der Innen- und Außenleiter: 7 für den Außendurchmesser des Innenleiters in mm und 16 für den Innendurchmesser des Außenleiters in mm.



Der 7-16 verwendet eine M29 x 1,5 große Gewindemutter. Der 7-16-DIN-Steckverbinder wurde mit Blick auf eine geringe Intermodulation für Kommunikationsanwendungen entwickelt. Zu den weiteren gängigen Anwendungen gehören Antennen, Basisstationsverbindungen, HF-Kabel, SATCOM- und Blitzschutzsysteme.

Der Steckverbinder vom Typ 4.1-9.5

wurde in den 70er Jahren entwickelt und in den 90er Jahren sporadisch in Telekommunikationsanwendungen eingesetzt, und zwar in Anwendungen, die einen robusteren Steckverbinder als N erfordern, aber nicht genug Platz für einen 7/16-Steckverbinder boten.



Steckverbinder der EIA-Serie

sind in den Versionen 7/8, 1 5/8, 3 1/8, 4 1/2 und 6 1/8 Zoll erhältlich, die alle für HF-Anwendungen geeignet sind. Sie sind für Kabel mit Schaumstoff- oder Luftdielektrikum ausgelegt und bestehen aus einem Hauptkörper und einem Montageflansch mit verschiedenen Lochkreisen und haben in der Regel austauschbare/abnehmbare Mittelleiter-„Kugeln“. Aufgrund der Flexi-

bilität ihres Designs werden EIA-Steckverbinder oft nicht als männlich oder weiblich identifiziert, da der Steckverbinder in der Regel als beides konfiguriert werden kann.



EIA-Steckverbinder finden sich in Hochleistungsanwendungen an Richtkopplern, Koaxialkabeln, Leistungsverstärkerausgängen und Verbindungen an Kommunikationsmasten und Antennen. Die gängigsten Größen, die man in allgemeinen Test- und Messanwendungen findet, sind 1 5/8 und 7/8 Zoll. Es gibt eine Vielzahl von Adaptern, mit denen die Vertreter der EIA-Serie an einige der größeren HF-Steckverbinder wie den 7-16- und den N-Typ angepasst werden kann.

Alle diese klassischen Schnittstellen

haben einen Frontkontakt. Dies bedeutet: Es ist ein starker Druck erforderlich, um die Anzahl der Kontaktpunkte auf der Vorderseite zu maximieren. Der 7/16 benötigt wegen der größeren Fläche und der Dimensionierung der Schnittstelle ein Drehmoment von min. 25 Nm zwecks Sicherstellung der elektrischen Werte für eine zuverlässige Verbindung. Der 4.1-9.5 benötigt ein geringeres Drehmoment und seine Dimensionierung der Grenzfläche ermöglicht mehr Kontaktfläche zwischen Stecker und Buchse. Der N-Stecker hat einen Größenvorteil und einen geringeren Drehmomentbedarf, aber folglich ist das PIM-Verhalten (Passive Intermodulation, s. Bild 1) nicht so gut wie bei 7/16 und 4.1-9.5.

Ein anderes Problem bei diesen Schnittstellen ist: Die elektrischen Parameter sind stark vom Drehmoment abhängig. Wenn während der Installation ein falsches Drehmoment aufgebracht wird, dann ist die Leistung in Bezug auf PIM und Return Loss nicht vorhersehbar.

Diese Steckverbinder sind während ihres Lebenszyklus empfindlich gegen Vibration und Umwelteinfluss.

Das 4.3-10-Steckverbindersystem

wurde zwecks Überwindung all dieser Schwachpunkte entwickelt. Kompakt ausgeführt, ist es fähig, in einen 1-Zoll-Flansch (25,4 mm) zu passen. Die Kleinheit bedeutet auch geringes Gewicht, dieser Steckverbinder ist auch deutlich leichter als andere vergleichbare HF-Schnittstellen und bietet zudem sehr gutes PIM-Verhalten.

Das 4.3-10-Steckverbinder-system soll 7/16-Steckverbinder in drahtlosen Geräten und Antennensystemen ersetzen. Die 4,3-10-Steckverbinder arbeiten bis zu 6 GHz gemäß der Schnittstellennorm IEC 60169-54, aber einige Unternehmen bieten Produkte an, die bis zu 12 GHz spezifiziert sind.

Es gibt drei mechanische Varianten des 4.3-10-Steckverbinders: Schraube, Quick-Lock/ Push-Pull und Handschraube, wobei alle drei mit einer einzigen

universellen Buchse verbunden werden können (Bild 2 und 3). Schraubbare 4.3/10-Steckverbinder erlauben keine freie Drehung des Kabels. Sie können jedoch in der Regel ein Drehmoment von bis zu 5 Nm aufnehmen, was sie robust und widerstandsfähig gegen das Öffnen macht, wenn Drehmomentkräfte auf das Kabel einwirken. Die mechanische Stabilität eines zusammenge- steckten Steckerpaares ist bei Schraubkupplungen am höchsten. Schraubverbinder 4.3/10 werden für den Einsatz unter extremen klimatischen Bedingungen empfohlen.

Handschraub- und Push-Pull-Verbinder des Typs 4.3/10 sind so konstruiert, dass sie eine Drehung des Kabels ermöglichen. Die Handschraubverbindung kann während des Betriebs geöffnet werden, wenn eine Zug- und/oder Biegekraft zusammen mit einer Drehmomentkraft aufgebracht wird. Der Push-Pull-Kupplungsmechanismus öffnet sich konstruktionsbedingt nicht, wenn Drehmomentkräfte aufgebracht werden, auch nicht in Kombination mit Biege- und/oder Zugkräften.

In Bezug auf die PIM-Leistung weisen die Schraubsteckverbinder 4.3/10 die besten Werte auf, gefolgt von den Handschraub- und Push-Pull-Steckverbindern.

Wie wurden diese Vorteile erzielt?

Ein wesentliches Merkmal dieses Verbinders ist die Trennung der elektrischen von der mechanischen Ebene. Dies impliziert eine andere Art der Kontaktaufnahme mit dem äußeren Kontakt. Die vordere Kontaktkraft, die für frühere Schnittstellen nötig ist, wird nun nicht mehr benötigt. Der Kontakt wird radial realisiert, was eine geringere Kraft für die Maximierung der Kontaktpunkte ermöglicht. Dies ist eine bereits etablierte und bewährte Kontaktmethode für eine hohe Kontaktsicherheit. Der Schlitzkontakt der 7/16-Schnittstelle bedeutet hingegen ein zweifaches Maß an Unsicherheit.

Die Entkopplung der elektrischen von der mechanischen Ebene erlaubt ein niedriges Kupplungs- drehmoment und erleichtert sogar eine Handschraubenlösung oder eine Push-Pull-Konstruktion. Der Kopplungsmechanismus beeinflusst nun PIM oder Return Loss nicht mehr, und alle drei Konfigurationen (Schraube, Handschraube oder Push-Pull) gelingen auf die gleiche Weise. Dabei kann sich das Kabel sogar drehen, ohne die zuverlässige Verbindung zu beeinträchtigen.

Es ist wichtig zu wissen

dass die spezifische Anwendung den Frequenzbereich und die Anforderungen an die Belastbarkeit des Steckverbinders bestimmt. Das Aufmacherbild dient als Referenz bei der Auswahl des richtigen Steckertyps. Es informiert allgemein zur Belastbarkeit von Koaxialsteckverbindern unter den Bedingungen einer angepassten Quell-/Lastimpedanz in einer kontrollierten Laborumgebung mit Typen gängiger Bauart und Materialien. Die Belastbarkeit von Steckverbindern kann je nach deren Konstruktion, Umgebungs- und Gerätetemperatur

sowie reflektierter Leistung stark variieren. Die kontinuierliche CW-Nennleistung eines Steckverbinders basiert in erster Linie auf dem Temperaturanstieg aufgrund der Verlustleistung, die sich aus einer Kombination von ohmschen Verlusten und dielektrischen Verlusten ergibt. Folglich wird das Wärme-Management zum Hauptfaktor bei der Leistungsbewertung. Diese Aspekte werden im Folgenden ausführlicher erläutert. Achten Sie darauf, vor der Verwendung die spezifischen Herstellerspezifikationen zu konsultieren.

Die im Steckverbinder verwendeten Materialien

beeinflussen die Belastbarkeit, wobei das dielektrische Material den größten Einfluss hat. Die meisten Steckverbinder verwenden heute eines von mehreren Fluorpolymeren, um den Mittelleiter des Steckverbinders zu erfassen und zu stützen, wobei Polytetrafluorethylen (PTFE) am häufigsten verwendet wird. Bei Steckverbindern mit Luftdielektrikum wie Präzisionssteckverbindern mit 2,4, 2,9 oder 3,5 mm kann PTFE ganz vermieden und ein Material mit höherer Temperatur verwendet werden (z. B. Ultem 1000). In anderen Fällen können Hochleistungs-Steckverbinder wärmeleitende Dielektrika verwenden, um eine bessere Kühlung des Mittelleiters zu gewährleisten, als dies bei PTFE der Fall ist.

Das andere interessante Material ist die Beschichtung des Mittelleiters. Hohe Temperaturen können zu einer schnellen Oxidation der Kontaktmaterialien führen, wodurch der ohmsche Widerstand und damit die Verluste zunehmen. Diese erhöhte Verlustleistung treibt die Temperatur noch weiter in die Höhe, bis hin zu einem möglichen Durchgehen.

Leider lässt sich dieses Verhalten nicht annähernd so leicht charakterisieren wie die dielektrische Erwärmung, da es sehr stark von den Umgebungsbedingungen (z.B. Labor oder Schiff) und oft auch von proprietären

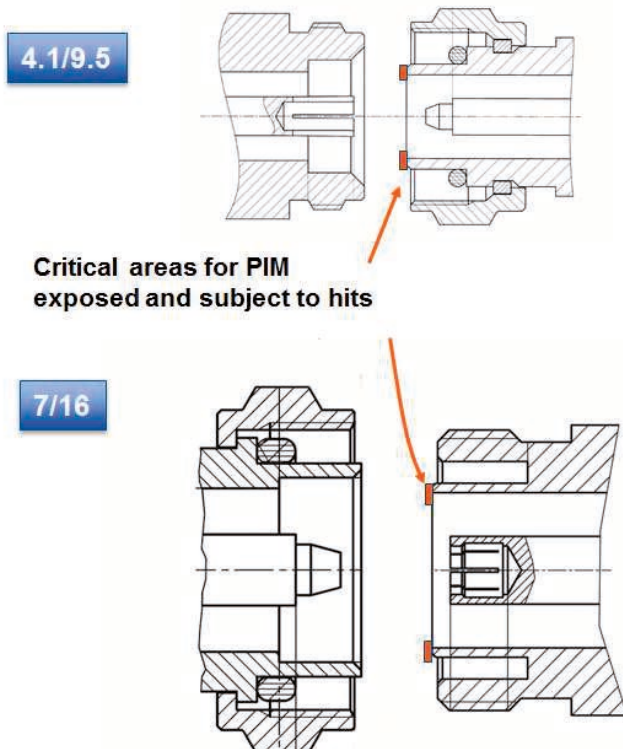


Bild 1: Schwachstellen für PIM (Quelle: Huber + Suhner)

Beschichtungsmaterialien und -dicken abhängt. Die leichter zu charakterisierenden Einschränkungen des dielektrischen Materials sind jedoch der typischere kurzfristige Ausfallmodus und die Leistungsgrenze.

Die Temperatur eines Steckverbinders wird sowohl von der Umgebungstemperatur als auch von der Temperatur des Geräts, an dem die Buchse sitzt, beeinflusst. Der Wärmeaustausch durch Wärmeleitung mit dem Gegenstecker/-gerät hat in der Regel einen größeren Einfluss als die Umgebungstemperatur.

Ziel ist es, sicherzustellen, dass die interne Steckertemperatur die Temperaturwerte der internen Komponenten nicht überschreitet, was in erster Linie durch die Temperaturwerte des dielektrischen Materials begrenzt wird. Die Belastbarkeit verringert sich von der vollen Nennleistung bis zur Nullleistung bei der maximal zulässigen Temperatur der Steckermaterialien. Erkundigen Sie sich beim Hersteller des Steckverbinders nach dessen Temperatur-Derating-Kurve.

Beim Betrieb an einer nicht angepassten Last wird ein Teil der einfallenden Leistung zur Quelle zurückreflektiert. Die Kombination aus einfallender und reflektierter Leistung, die auf demselben Kabel übertragen wird, führt zur Bildung stehender Wellen, Stichwort „Stehwellenverhältnis“ (SWR). Diese stehenden Wellen bedeuten Strom- und Spannungsspitzen entlang des Kabels in Intervallen von einer Viertelwellenlänge. Sie können daher bei geeigneter Leitungslänge direkt am Steckverbinder auftreten. Da sich jedoch Strom und Spannung der Stehwelle durch Addition der Größen der hin- und rücklaufenden Welle



Bild 3: Die universelle Buchse 4.3-10

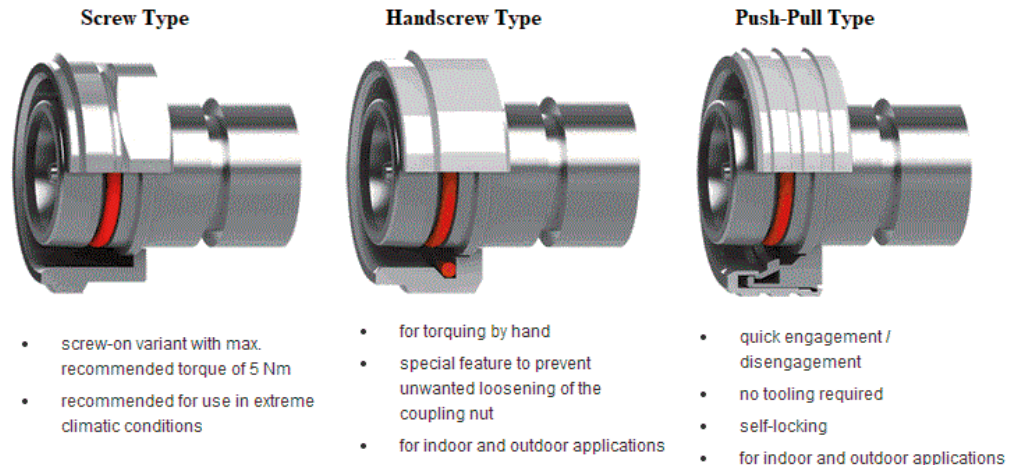


Bild 2: Ausführungsformen des Steckers 4.3-10

bilden und somit nicht direkt am ohmschen Verlustwiderstand auftreten, kommt es (entgegen der Behauptung in der Originalquelle, d. Übers.) nicht zu abwechselnd höheren und niedrigeren Temperaturbereichen entlang des Kabels. Dies sollte besser verständlich werden, wenn man sich darüber bewusst ist, dass maximale Stehwellen-spannung (maximaler Stehwellenstrom) örtlich mit minimalem Stehwellenstrom (minimaler Stehwellenspannung) zusammenfallen. Reflektierte Leistung bedeutet aber einen Zusatzverlust auf der Leitung und somit eine zusätzliche Erwärmung derselben.

Beim Betrieb mit sehr hohen Leistungspegeln (Impulsbetrieb)

muss allerdings die Spannungsfestigkeit der Leitung bzw. des Steckverbinders berücksichtigt werden. Die Stehwellenspannung tritt zwischen Innen- und Außenleiter auf und lässt sich über ein T-Stück messen. Zu hohe Spannung, etwa während eines Impulses, kann die Durchbruchspannung des dielektrischen Materials überschreiten. Dies kann zu einem Lichtbogen zwischen dem Mittelleiter und der Abschirmung/Masse führen, wodurch Komponenten beschädigt und verbrannt werden können. Beachten Sie, dass der Spannungsdurchbruch bei einer koaxialen Konfiguration auf einem niedrigeren Niveau auftritt als bei einer einfachen

nicht-koaxialen Spaltkonfiguration mit dem gleichen Abstand. Die Durchbruchspannungspegel in einer koaxialen Konfiguration können berechnet werden, um die Eignung des Steckverbinders für eine Anwendung zu bestimmen. Dielektrisches Material hat eine höhere Durchbruchspannung als Luft. Bei der Modellierung von Spitzenspannungs-Grenzwerten empfiehlt es sich jedoch, den Luft-Durchschlagwert anstelle der höheren Durchschlagspannung des dielektrischen Materials zu verwenden, da wahrscheinlich irgendwo entlang der HF-Kette ein Luftspalt vorhanden ist.

Stellen Sie Folgendes sicher:

Die zu verbindenden Steckverbinderteile müssen physisch kompatibel sein und die gleiche Impedanz aufweisen. Überprüfen Sie die Steckverbinder vor dem Zusammenstecken, was die Hilfe eines Mikroskops oder einer Lupe erfordern kann, um ausreichende Details zu erkennen. Achten Sie auf Metallpartikel, Fasern, Staub und andere Verunreinigungen. Überprüfen Sie, ob der Mittelstift bei den Steckern zentriert, gerade und unbeschädigt ist, und ob die Buchsen zentriert, offen und unverformt sind. Achten Sie auf Verformungen oder Dellen am Gehäuse. Je nach Bauart der Buchse überprüfen Sie, ob alle Kontakte oder Federfinger vorhanden und unbeschädigt sind. Reinigen Sie beide Steckverbinder vor dem Zusammenstecken. Dies ist besonders wichtig bei

Präzisionssteckverbindern, die bei höheren Frequenzen verwendet werden, bei denen Messungen leicht durch Verunreinigungen beeinträchtigt werden können. Zum Ausblasen der Steckverbinder kann saubere, trockene Luft, z.B. Druckluft, verwendet werden. Blasen Sie über die Oberfläche des Steckverbinders, um Schmutz zu entfernen, da sich Schmutz durch direktes Blasen in den Steckverbinder festsetzen kann. Eine geringe Menge Isopropylalkohol auf einem fusselfreien Tupfer kann ebenfalls zur Reinigung von Steckverbindern verwendet werden. Vermeiden Sie jedoch übermäßige Lösungsmittel, um das Eindringen von Lösungsmitteln in den Steckverbinder zu minimieren.

Luft-dielektrische Steckverbinder sind empfindlich, und wenn eine mechanische Reinigung der internen Kontakte erforderlich ist, muss dies mit großer Sorgfalt erfolgen. Reinigen Sie die Innen- und Außengewinde und überprüfen Sie sie auf Grate oder Unebenheiten, die ein reibungsloses Ineinandergreifen der Gewinde beeinträchtigen würden. Beim Zusammenstecken der Steckverbinder die Mittelachse beider Steckverbinder sorgfältig ausrichten und gerade so weit wie möglich zusammenschieben. Während die Steckverbinderkörper stillstehen, die Steckverbindermutter von Hand drehen, um sie auf den passenden Steckverbinder zu schrauben.

Die Steckverbinderkörper dürfen sich niemals drehen, da dies zu unerwünschtem und unnötigem Verschleiß führt, der den Mittelleiter eines oder beider Steckverbinder dauerhaft beschädigen kann. Die Mutter sollte sich frei drehen lassen und von Hand vollständig in die passenden Gewinde eingreifen. Wenn Sie auf übermäßigen Widerstand stoßen, entfernen Sie die Steckverbinder, um das Problem zu untersuchen. Ziehen Sie die Mutter nach dem manuellen Anziehen mit einem Drehmomentschlüssel auf das angegebene Drehmoment an, während Sie den Gegenstecker bei Bedarf mit einem Schraubenschlüssel gegen Verdrehen sichern. Achten Sie darauf, dass das richtige Drehmoment verwendet wird, da ein zu hohes Drehmoment den Steckverbinder verformen kann, während ein zu niedriges Drehmoment zu unvollständigem Zusammenstecken und schlechter Leistung führen kann. Dieser Schritt ist besonders bei Steckverbindern mit höherer Frequenz wichtig, da sich geringfügige mechanische Veränderungen bei den kürzeren Wellenlängen höherer Frequenzen stärker auswirken.

Beim Zusammenfügen kompatibler Steckertypen, wie z. B. 3,5- und 2,92-mm-Steckern, sollte die niedrigere der beiden Drehmomentangaben verwendet werden.

Steckverbinder sind entscheidende Komponenten in der HF-Kette

und tragen wesentlich zur ordnungsgemäßen Leistung des Systems bei. Da diese Komponenten mechanische Funktionen erfüllen und HF-Signale übertragen, ist bei der Verwendung Vorsicht geboten. Ein beschädigter Steckverbinder kann, wenn er angeschlossen ist, Schäden am angeschlossenen Steckverbinder verursachen. Da Steckverbinder kostspielig sein können, ist es ratsam, Vorsichtsmaßnahmen zu treffen und vorsichtig zu sein. Steckverbinder sind ein integraler Bestandteil eines

Systems, und eine Verschlechterung oder Beschädigung eines Steckverbinders beeinträchtigt die Gesamtleistung des Systems. Die richtige Pflege der Steckverbinder ist für den ordnungsgemäßen Systembetrieb von entscheidender Bedeutung.

Einige Maßnahmen zum Schutz der Steckverbinder sind:

- regelmäßige Überprüfung und Reinigung der Steckverbinder
- Bei Nichtgebrauch sollten Staubschutzkappen auf Steckverbinder und Adapter gesetzt werden, um sie vor Beschädigungen, Schmutz und Verunreinigungen zu schützen.
- Vermeiden Sie es, die Kontaktflächen zu berühren.
- Lagern Sie Steckverbinder in einer sauberen und trockenen Umgebung und geschützt, nicht lose in einem Behälter.
- Steckverbinder nicht fallen lassen, da dies zu physischen Schäden führen kann, insbesondere bei Präzisions-Luft-Hochfrequenz-Steckverbindern.

Ein Steckverbinderschoner

kann bei Anwendungen, bei denen Kabel und Anschlüsse häufig gewechselt werden, wie es in Produktions- oder Fertigungsumgebungen üblich ist, den Verschleiß bei normalem Gebrauch verringern. Der Steckerschutz dient als Verschleißteil und schützt so den Stecker am Testgerät. Dadurch muss bei Bedarf nur der beschädigte/abgenutzte Steckerschutz ausgetauscht werden, anstatt die Kosten und Ausfallzeiten für den Austausch des Steckers am Testgerät oder den Austausch eines Kabels in Kauf nehmen zu müssen. Es ist wichtig zu beachten, dass das Hinzufügen eines Steckerschutzes zwar mechanisch vorteilhaft ist, aber ein zusätzliches Verbindungspaar im HF-Pfad darstellt und sich nachteilig auf die Systemleistung auswirken und die Messunsicherheit erhöhen kann. Es sollten Messungen durchgeführt werden, um die Auswirkungen

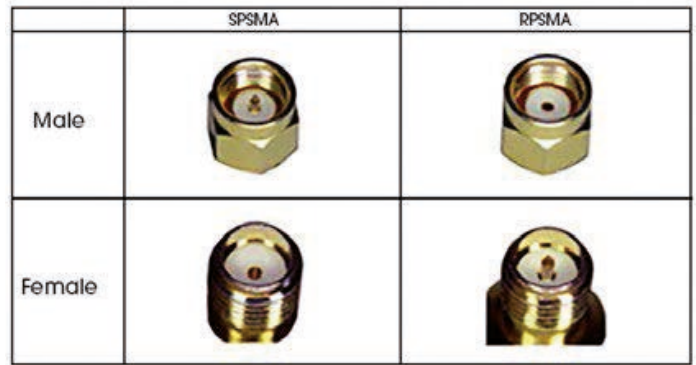


Bild 4: MA-Steckverbinder mit Standardpolarität und SMA-Steckverbinder mit umgekehrter Polarität

des Hinzufügens eines Steckerschutzes zu charakterisieren.

Letztendlich werden Steckverbinder aufgrund der mechanischen Prozesse, die mit dem Gebrauch von Steckverbindern verbunden sind, mit Steck- und Trennzyklen, verschleissen, und die Leistung wird sich verschlechtern. Durch die richtige Pflege, Wartung, Lagerung und Stecktechnik werden die Nutzungszyklen maximiert.

Bei der Verwendung eines Adapters

zur Umwandlung zwischen Steckertypen ist Vorsicht geboten, und die damit verbundenen Einschränkungen müssen bekannt sein. Die Tatsache, dass ein Adapter verfügbar ist, bedeutet nicht, dass er für die Verwendung in Ihrer Anwendung geeignet ist. Jeder Steckertyp hat maximale Frequenz- und Leistungsgrenzen, und die Anwendung muss innerhalb dieser beiden Grenzen für beide Steckertypen funktionieren. Es ist empfehlenswert, in der HF-Kette denselben Steckertyp zu verwenden, der auch am Verstärkerausgang verwendet wird. Bei einem bestimmten Steckertyp werden nicht alle Stecker nach denselben Präzisionsstandards hergestellt.

In der Branche gibt es drei gängige Kategorien von Steckverbinderqualität

wobei sich die Designs und die Terminologie von Hersteller zu Hersteller unterscheiden. Metrologie-Steckverbinder sind die hochwertigsten und präzise

sten Steckverbinder und auch die teuersten. Sie werden in der Regel für hochpräzise Anwendungen wie Kalibrierungszwecke und die Verwendung in Kalibrierungsstandards eingesetzt. Steckverbinder der mittleren Kategorie, manchmal auch als „Instrumentenqualität“ bezeichnet, weisen eine gute Leistung auf und liefern genaue Messungen. Sie werden häufig in Testgeräten und im Labor eingesetzt. Die niedrigste Steckverbinderklasse, die als „kommerziell“, „Produktions-“ oder „Feldklasse“ bezeichnet wird, hat eine größere Toleranz und eine geringere Leistung und ist die kostengünstigste Steckverbinderklasse. Diese Ausführungen werden am häufigsten in Produktion und Fertigung eingesetzt.

Beachten Sie, dass die maximale Frequenzbewertung eines Steckverbinderstyps je nach Klasse des Steckverbinders variieren kann. Seien Sie daher vorsichtig, wenn Sie am oberen Ende der Steckverbinder-Frequenzbewertung arbeiten, um sicherzustellen, dass die verwendeten Steckverbinder eine Klasse haben, die die verwendete Frequenz unterstützt. Weitere Informationen zu den Unterschieden in Design und Leistung zwischen den einzelnen Klassen finden Sie in den Produktinformationen des Herstellers.

Obwohl es nicht intuitiv ist, sind einige Steckverbinderreihen mit anderen Steckverbinderreihen kompatibel und können physisch verbunden werden. Jede Serie hat jedoch ihre eigenen Leistungs- und Frequenzgrenzen.

Die 2,4- und 1,85-mm-Steckverbinder sind mechanisch kompatibel und können miteinander verbunden werden.

Die 3,5-, 2,92-mm/K- und SMA-Steckverbinder haben die gleichen Grundabmessungen und können miteinander verbunden werden. Die lockereren SMA-Toleranzen können jedoch zu Schäden an den hochpräzisen 3,5- und 2,92-mm-Steckverbindern führen. Dies gilt vor allem bei Verwendung eines SMA-Steckers, bei dem Abweichungen im Durchmesser oder in der Höhe des Mittelstifts die Buchse des Gegensteckers beschädigen können. Außerdem ist es beim Verbinden eines SMA-Steckers mit einem 3,5- oder 2,92-mm-Stecker sehr wichtig, die Stecker vor dem Zusammenstecken sorgfältig auszurichten, um eine Beschädigung der Mittelkontakte zu vermeiden. Einige SMA-Stecker werden als „Präzisions-SMA“ eingestuft, die mit engeren Toleranzen hergestellt werden und ein sicheres Zusammenstecken mit 3,5- und 2,92-mm-Steckern ermöglichen. Unabhängig davon muss der Steckvorgang sorgfältig erfolgen.

Das Steckverbinder-„Geschlecht“

wird oft anhand des Aussehens (Stecker männlich, Buchse weiblich) des mittleren Steckerkontakts bestimmt. Jedoch ist es besser, die verschiedenen möglichen Steckverbinderkonfigurationen zu verstehen. Die „Geschlechtsbezeichnung“ des Steckverbinders wird nicht durch den Mittelstift definiert, sondern folgt der Konfiguration des Steckverbinderkörpers. Der Mittelstift bestimmt dann, ob der Steckverbinder eine Standardpolarität (SP) oder eine umgekehrte Polarität (RP) hat. Der Steckverbinder mit einer Überwurfmutter/einem Gehäuse mit Innengewinde wird als männlicher Steckverbinder (oder Stecker) bezeichnet. Der Steckverbinder mit einem Gehäuse mit Außengewinde wird als weiblicher Steckverbinder (oder

Connector Type	Maximum Frequency (GHz)	Maximum CW Power @ Max, Frequency (Watts)	Coupling Torque	
			(N-cm)	(in-lb)
2.4 mm	50	15	90	8
2.92 mm/K	40	20	90	8
3.5mm	34	45	90	8
SMA precision	26.5	70	57	5
BNC	4	70	N/A	N/A
TNC	18	250	N/A	N/A
Type N	11	150	135	12
Type N precision	18	250	135	12
Type C	12	440	N/A	N/A
7-16 DIN	7.5	820	226	20
7/8 EIA	6	920	N/A	N/A
1 5/8 EIA	3	3200	N/A	N/A

Tabelle 1: Maximale Frequenz, Leistung und Kopplungsdrehmoment

Buchse) bezeichnet. Sobald das „Geschlecht“ des Steckverbinders identifiziert ist, schauen Sie sich die Konfiguration des Mittelleiters an, um festzustellen, ob es sich um einen SP- oder RP-Steckverbinder handelt. Ein Stecker mit einem männlichen Mittelstift oder eine Buchse mit einer weiblichen Mittelbuchse ist ein SP-Steckverbinder, da das „Geschlecht“ des Gehäuses und des Mittelleiters übereinstimmen. SP-Steckverbinder sind die gängige konventionelle Konfiguration. Ein Stecker mit einer Buchse in der Mitte oder eine Buchse mit einem Stift in der Mitte ist ein RP-Steckverbinder, da die „Geschlechter“ von Körper und Mittelleiter unterschiedlich sind. RP-Steckverbinder sind weniger verbreitet und wurden ursprünglich für Spezialanwendungen entwickelt, um eine Veränderung der Ausrüstung zu verhindern. In Bild 4 sieht man SMA-Steckverbinder mit Standardpolarität und SMA-Steckverbinder mit umgekehrter Polarität, um die Konfigurationen zu veranschaulichen.

Die Funktion von Koaxialsteckern

hängt von der physischen Schnittstelle zwischen den zusammenpassenden Steckern ab. Um eine optimale Leistung zu erzielen, ist die Höhe des Mit-

telleiters sehr wichtig. Wenn der Mittelleiter über die zulässige Toleranz hinaus in den Steckerkörper eingelassen ist, leidet die Leistung der Verbindung. Wenn der Leiter jedoch über die Toleranz hinaus vorsteht, kann die Leistung zusätzlich zu möglichen physischen Schäden beeinträchtigt werden. Ein beschädigter oder außerhalb der Toleranz liegender Steckverbinder kann zu Schäden an jedem Steckverbinder führen, mit dem er verbunden ist, wodurch Schäden an anderen Steckverbindern entstehen und die Messgenauigkeit beeinträchtigt wird, was wiederum Reparaturkosten verursacht. Aus diesen Gründen wird empfohlen, Steckverbinder zu messen, um sicherzustellen, dass die Abmessungen der Steckverbinder innerhalb der zulässigen Toleranz liegen. Für die meisten Steckverbinderarten sind Messgeräte-Kits erhältlich. Es wird empfohlen, ein regelmäßiges Messprogramm für Kabel und Geräte einzurichten, um Toleranzüberschreitungen sowie Schäden oder Verschleiß an Steckverbindern zu erkennen. Vor dem Messen sollten Reinigung und Inspektion durchgeführt werden. Darüber hinaus empfiehlt es sich, alle Steckverbinder vor dem ersten Einsatz in der Einrichtung zu messen, z.B. Kabel, Adapter und Steckverbinder an Geräten. Vorsicht

ist geboten, wenn RP-Steckverbinder verfügbar sind, da SP- und RP-Steckverbinder zwar physisch miteinander verbunden werden können, dies jedoch entweder zu einer Beschädigung der Mittelstifte durch das Zusammendrücken oder zu einer Unterbrechung der Verbindung führen würde, wenn zwei weibliche Mittelbuchsen miteinander verbunden werden.

In Tabelle 1 werden die Parameter für maximale Frequenz, Leistung und Kupplungsdrehmoment für HF-Steckverbinder näher definiert. Es ist wichtig, alle besprochenen Spezifikationen zu überprüfen, wenn Sie den richtigen HF-Koaxialstecker für Ihre spezifische Anwendung auswählen. Wie bereits erwähnt, endet die Beschäftigung mit den Steckern nicht nach dem Auswahlprozess. Eine kontinuierliche ordnungsgemäße Pflege und Wartung trägt dazu bei, einen fehlerfreien Systembetrieb zu gewährleisten. Auch wenn sie nicht das Interesse und die Aufmerksamkeit der kostspieligeren Systemkomponenten auf sich ziehen, kann die falsche Auswahl von HF-Koaxialsteckern und/oder -kabeln ein ausgeklügeltes System beeinträchtigen. Daher ist es wichtig, Steckverbinder und Kabel sorgfältig auszuwählen, die für Ihre spezifischen Anwendungen am besten geeignet sind. ◀