

2



(Koax-)Steckverbinder in der Hochfrequenz

Zum Autor Stefan Burger

erhielt 1986 sein Diplom als Ingenieur (FH) von der University of Applied Science, Offenburg. Bis 1990 blieb er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität und wechselte dann in die Forschungs- und Entwicklungsabteilung von Endress + Hauser in Maulburg.

Dort war er bis 2001 in die Entwicklung der Füllstandmessgeräte auf RADAR Basis eingebunden und unter anderem für die Betreuung der RADAR Module, die Entwicklung von Antennen und druckfesten HF-Durchführungen verantwortlich.

Danach arbeitete er von 2001 bis 2011 bei Panasonic Electronic Devices in Lüneburg an Filtern und Duplexern für Basis Stationen, SAW Filtern und war für die Life Time und Power Durability Simulation zuständig.

Im Jahr 2012 gründete er in Hampton, Australien, sein eigenes Unternehmen Delta Gamma Consultant (www.delta-gamma.com). Seit 2014 ist er als exklusiver Berater im Bereich HF- und Mess-Technik für das Unternehmen el-spec GmbH, Geretsried tätig.

2

(Koax-)Steckverbinder in der Hochfrequenz

Dipl. Ing. (FH) Stefan Burger | DeltaGamma RF-Expert

Inhalt

Einführung.....	5
Stecker Qualität.....	11
1.1 „Produktion Qualität“.....	11
1.2 „Instrument Qualität“.....	11
1.3 „Metrology Qualität“.....	11
Stecker Pflege.....	13
Lagerung.....	13
Reinigung.....	13
Wartung.....	14
Steckertypen.....	15
N-Typ.....	15
BNC-Typ.....	15
7/16-Typ.....	16
TNC-Typ.....	16
SMP-Typ.....	17
7mm-Typ.....	17
SMA-Typ.....	18
3.5mm-Typ.....	19
2.92mm-Typ.....	20
2.4mm-Typ und 1.85mm-Typ.....	20
1.0mm-Typ.....	21
Impressum.....	23
Literaturverzeichnis.....	23



2,4mm -Typ siehe Seite 20

Einführung

Um Hochfrequenzsignale zu übertragen, bietet sich als Leitersystem die Koaxial-Leitung an. Sie hat keinen unteren Frequenzbereich und kann somit auch Gleichspannung transportieren. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist nahezu konstant über den gesamten einsetzbaren Frequenzbereich, solange das Kabel nur im TEM-Mode betrieben wird (transversal electro-magnetic). Nachteilig ist die zusätzliche Dämpfung des eingesetzten Dielektrikums zwischen Innen- und Außenleiter. Vergleichen wir ein 1/2" Flexwell Kabel mit geschäumtem PE als Dielektrikum mit einem WR-90 Hohlleiter bei 10GHz, so bekommen wir eine Dämpfung von 40.6 dB/100m für die Koaxial-Leitung und 10.8 dB/100m für den Hohlleiter. Auf der anderen Seite ist der Hohlleiter ein massives Rohr und kann nicht einfach gebogen werden, was bei einer flexiblen Koax-Leitung kein Problem ist.

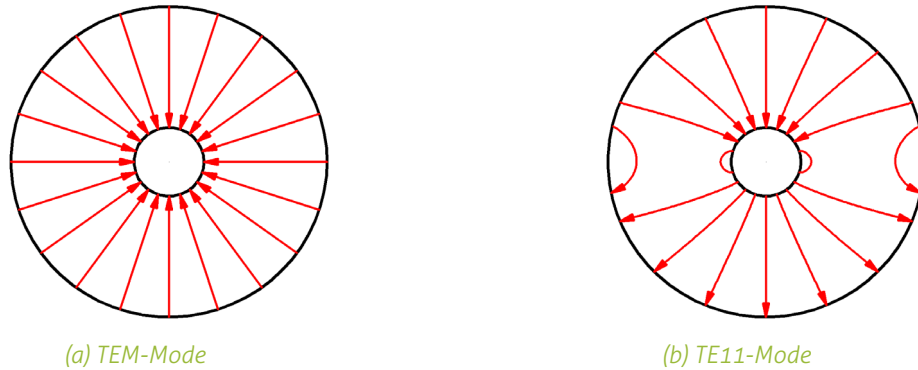
Selbst Semi-Rigid Leitungen lassen sich mit einem Werkzeug, das verhindert, dass der Querschnitt deformiert wird, von Hand biegen. Um Koax-Leitungen an Geräte oder mit anderen Leitungen zu verbinden, wurden im Laufe der Zeit verschiedene Koaxial-Steckertypen entwickelt. Manche haben sich als quasi Standard etabliert, und andere werden nicht mehr eingesetzt, obwohl sie Vorteile gegenüber bestehenden Systeme hätten.

Wesentliche Merkmale sind:

- Einsetzbarer Frequenzbereich
- Maximale Leistungsbelastung
- Anpassung
- Maximale Steckzyklen
- PIM (passive Intermodulation)

Der Maximal-Frequenzbereich, in dem die Koaxial-Leitung nur den TEM-Mode ausbildet, kann anhand der folgenden Gleichungen berechnet werden. Oberhalb der cut-off Frequenz ist auch der nächst höhere Mode, TE₁₁, ausbreitungsfähig. Da dessen Ausbreitungsgeschwindigkeit stark frequenzabhängig ist, kommt es zu Impulsverzerrungen, die schon bei Telegrafentelegraphenleitungen zu beobachten waren und als Ringing bezeichnet werden.

Abbildung 1: Elektrisches Feld der TEM und TE₁₁ Mode



$$\left(J_0(x \cdot A) - J_2(x \cdot A) \right) \cdot \left(Y_0(x) - Y_2(x) \right) - \left(Y_0(x \cdot A) - Y_2(x \cdot A) \right) \cdot \left(J_0(x) - J_2(x) \right) = 0$$

$$A = \frac{R}{r}$$

Bei oben stehender Gleichung aus [3] ist die erste Nullstelle die Lösung für x anhand derer die cut-off Frequenz der TE₁₁ Mode berechnet wird.

Die cut-off Frequenz ergibt sich zu:

$$f_c = \frac{x \cdot c_0 \cdot (A + 1)}{(R + r) \cdot 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\epsilon_r}}$$

- J_n : Bessel Funktion erster Art
- Y_n : Bessel Funktion zweiter Art
- R : Radius des Schirms
- r : Radius des Innenleiters

Die relative Ausbreitungsgeschwindigkeit der höheren Moden wird wie folgend berechnet:

$$\frac{v}{c_0} = \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_c} \right)^2}$$

- v : Ausbreitungsgeschwindigkeit der Mode
- c₀ : Lichtgeschwindigkeit
- λ₀ : Freiraum Wellenlänge
- λ_c : Cut-off Wellenlänge der Mode

Unterhalb der cut-off Frequenz ist der höhere Mode nicht ausbreitungsfähig und wird stark gedämpft. Kurz oberhalb der cut-off Frequenz ist sie sehr niedrig und

steigt mit einer Wurzelfunktion an. D.h. der Energieinhalt in der Mode benötigt länger für die selbe Strecke und ist die Ursache für Signalverzerrungen.

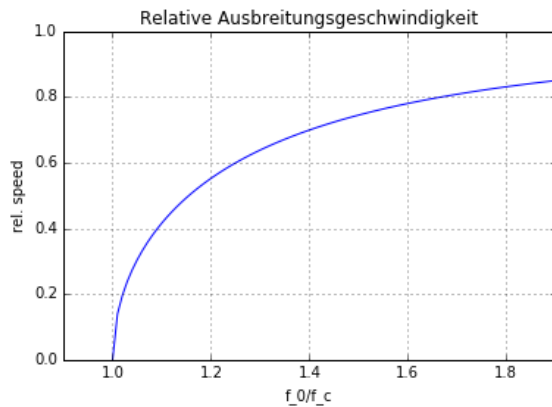


Abbildung 2: Relative Ausbreitungsgeschwindigkeit der Mode

Solange die Koaxial-Leitung ideal konzentrisch und gerade ist, sind keine Feldverzerrungen vorhanden, und damit auch keine Anteile an höheren Moden. Normalerweise ist eine Leitung aber nicht ideal und in den Stecker-Systemen sind Durchmessersprünge enthalten die notwendig sind, um z.B. den Innenleiter mit dem Stift oder den kleineren/größeren Außenleiter mit dem Stecker-Gehäuse zu verbinden. An diesen Stellen ist das Feld verzerrt und beinhaltet Anteile höherer Moden. Wenn die Abmessungen so groß sind, dass die Moden nicht mehr gedämpft werden, breiten sie sich im System aus. Auch wenn es nur ein kurzes Stück ist, so können sich dort unerwünschte Resonanzen ausbilden. Diese müssen beim Steckerdesign und bei der Auslegung von Koaxial-Kabeln vermieden werden. Weiterhin ist es von Vorteil, wenn das Design auf konstante Impedanz ausgelegt wird. Dies wurde bei den ursprünglichen Steckern nicht beachtet, was zu erheblichen Schwierigkeiten im GHz-Bereich führte.

Normalerweise kann der Durchmesser nicht konstant gehalten werden. Um die Impedanz jedoch konstant zu halten, müssen sich der Außen- und Innenleiter fast an der selben Stelle ändern. In Abb. 3 ist ein Beispiel für einen solchen Sprung dargestellt. Abbildung aa.) zeigt einen nicht kompensierten Sprung, und wie man leicht sieht, kommt es zwischen Innen- und Außenleiter zu einer Feldkonzentration. In Abbildung ab.) wurde diese kapazitive Belastung durch eine induktive kompensiert, indem der kleinere Innenleiter ein Stück weit in den Bereich mit dem größeren Außendurchmesser ragt.

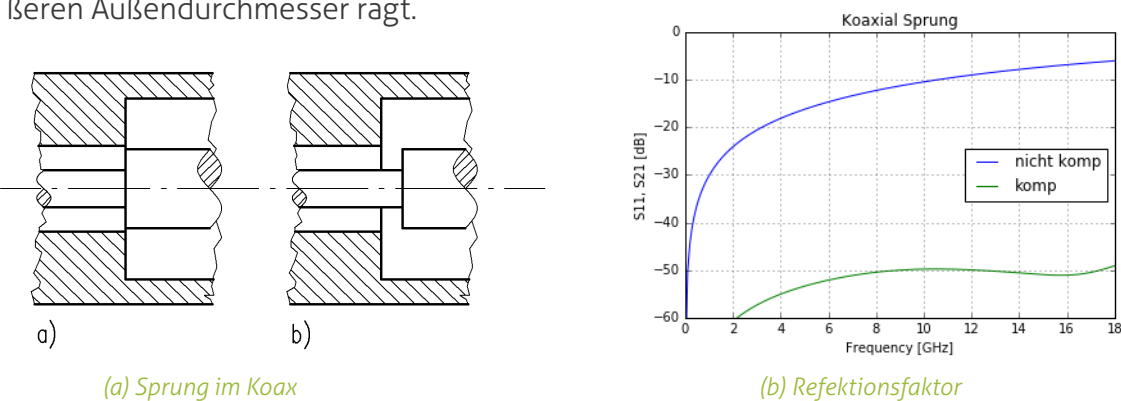


Abbildung 3: Nicht kompensierter und kompensierter Sprung

Als 1942 der N-Type entwickelt wurde, waren viele Dinge, die für uns heute selbstverständlich sind, nicht vorhanden. Um sich die Gegebenheiten aus dieser Zeit vor Augen zu führen, hier noch ein paar Hintergrundinformationen: Das Smith-Diagramm wurde 1939 zum ersten mal von H. Smith vorgestellt. 1944 folgte ein zweiter Artikel mit erweitertem Inhalt. Um komplexe Impedanzen darzustellen und miteinander grafisch zu verrechnen, wurde damals das allgemeine Kreisdiagramm für komplexe Zahlen verwendet.

Der Nachteil dieses Diagrammes war, dass nicht der gesamte Bereich passiver Impedanzen dargestellt werden konnte. Es passierte oft, dass man das gefundene Ergebnis erst umnormieren musste, bevor man damit weiter arbeiten konnte. Networkanalyser gab es noch keine. Impedanzen wurden anhand geschlitzter Leitungen und Messung der Stehwellen für jede einzelne Frequenz aufwändig bestimmt und von Hand als Kurven dargestellt. Rohde & Schwarz brachte den Zg-Diagraph 1947 auf den Markt, mit dem man Betrag und Phase als Lichtpunkt in einem Diagramm darstellen konnte. Zuerst von 30 MHz bis 300 MHz und 1954 sogar bis 2400 MHz. 1965 folgte Wiltron (heute Anritsu) und 1966 Hewlett Packard (Agilent, Keysight) mit dem Vektor Voltmeter das mit externen Kopplern und Signalquellen die direkte komplexe Messung ermöglichte.

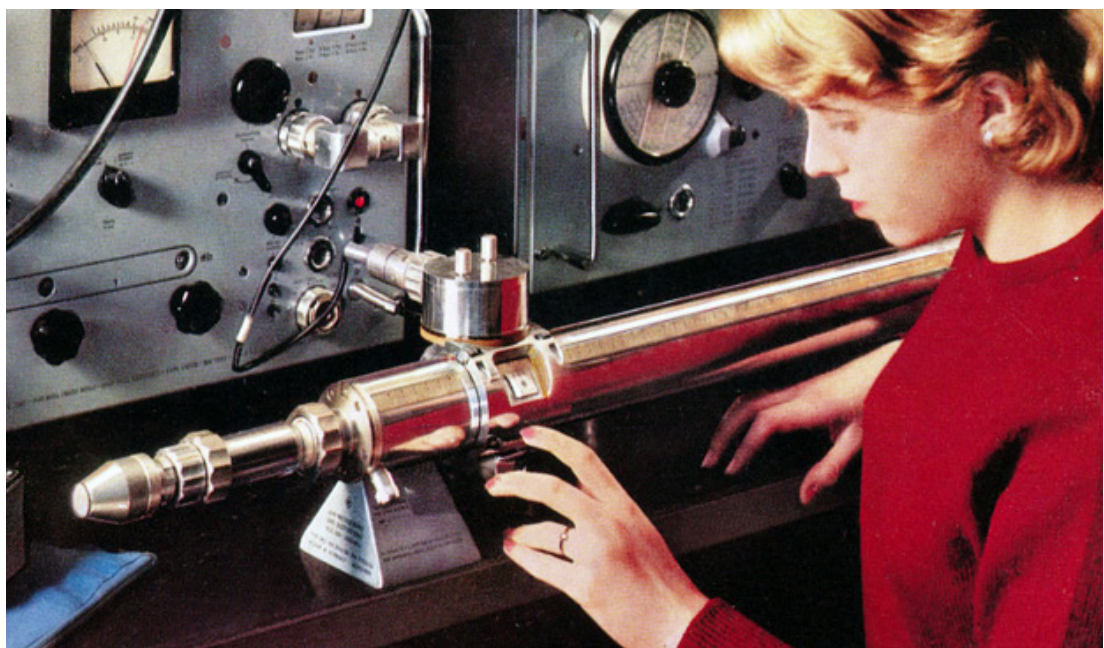


Abbildung 4: Messung einer Impedanz mit geschlitzter Koaxial-Leitung

Computer waren im Allgemeinen nicht verfügbar und der Taschenrechner wurde erst 1969 eingeführt. Berechnungen wurden mit dem Rechenschieber und Tabellen für Logarithmus, Kreis-, Hyperbel- und Exponentialfunktion erledigt. Dementsprechend gab es auch noch keine Simulations-Programme und Feldbilder wurden von Hand interpoliert. Dabei kamen leider auch Ergebnisse heraus, die sich später als total falsch herausstellten.

Bis ca. 1945 wurden hauptsächlich Hohlleiter als Verbindungsleitungen verwendet, da sie eine wesentlich geringere Dämpfung aufweisen und nicht von den Die-

lektrika abhängig sind. Auch war die damalige Bandbreite der Systeme so klein, dass Hohlleiter dies gut erfüllen konnten – ungeachtet des Gewichts und dass man sie nicht von Hand biegen kann.

Es gibt zwei Arten Stecksysteme: sexless und sexed. Bei der sexless Version wird der Kontakt für den Außen- und Innenleiter durch planares aufliegen erstellt. Somit gibt es auch nur eine Variante des Steckers. Heute im Gebrauch ist noch der 7mm Stecker. Alle sonstigen gebräuchlichen Versionen sind sexed wie der N, BNC, SMA, 3.5mm, 2.92mm, 2.4mm 1.85mm, 1mm, SMB, SMC, etc.

Die Referenzebene wird für den Außenleiter definiert. Bei den sexed Versionen kann hierbei noch unterschieden werden, ob die mechanische Verbindung des Innenleiters mit der Referenzebene zusammenfällt. Beim N-Type war das nicht der Fall, jedoch z.B. beim SMA und 3.5mm.



Abbildung 5: Zg-Diagraph von Rohde und Schwarz



Stecker Qualität

Es gibt drei Klassen für die Stecker Qualität: „Produktion“ Qualität ist für generelle Anwendungen gedacht. „Instrument Qualität“ sind Präzisionsverbinder, „Metrology Qualität“ genügen der höchsten Anforderung.

1.1 „Produktion Qualität“

Auf dem Markt sind in der Zwischenzeit sehr viele Hersteller vertreten, die Stecker mit fragwürdiger Qualität anbieten. Sie sind meistens mit einer Vergoldung versehen, die aber zu weich ist und deshalb schnell abgerieben wird. Dieser Metallstaub vergrößert zum Einen den Abrieb, und kann auch eine Ursache von PIM sein. Lagert sich der Abrieb, z.B. beim SMA Stecker, auf dem Dielektrikum ab, wird auch die Spannungsfestigkeit verringert.

Generell ist darauf zu achten, welche Steckzyklen der Hersteller angibt. Soll es nur ein paar Mal sein, ist diese Qualität ausreichend. Auch ist darauf zu achten, welchen Umwelteinflüssen der Stecker ausgesetzt wird. Dementsprechend sollte auch die Metallisierung ausgewählt werden. Weitere Informationen sollte der Hersteller zur Verfügung stellen.

1.2 „Instrument Qualität“

Soll an diesem Stecker immer wieder die Verbindung gelöst werden, ist die „Instrument Qualität“ notwendig. In diesem Bereich findet man fast nur Edelstahl-Ausführungen des Außenleiters, da diese die notwendige hohe Stabilität aufweist und auch bei vielen Verbindungen gleichbleibende Qualität liefert. Auch sind die Fertigungstoleranzen enger, um gleichbleibende Eigenschaften bei der Fertigung der Stecker zu garantieren. Dies schlägt sich allerdings auch im Preis nieder. Wenn man kostenbewußt denkt, sollte man aber die Folgekosten nicht außer acht lassen, wenn z.B. eine Steckverbindung repariert werden muss. Dies kommt meistens wesentlich teurer, als gleich eine gute Qualität zu verwenden.

Weiterhin findet man diese Qualität bei den Präzisionsadaptern des selben Steckertyps oder zwischen verschiedenen Typen. Die von namhaften Herstellern besitzen sehr gute Anpassungswerte und sollten Billigprodukten aus Fernost vorgezogen werden. Manche Billigprodukte sehen zwar wie gute Adapter aus, sind aber nicht nach Hochfrequenzgesichtspunkten dimensioniert worden. Dementsprechend sind die elektrischen Werte eher mäßig bis schlecht.

1.3 „Metrology Qualität“

Diese Qualität wird bei allen Messgeräten verwendet, die auf die nationalen Standards referenziert werden. Sie haben die kleinste Fertigungstoleranz in den Abmaßen und beim Zusammenbau. Für die gängigen Typen werden spezielle Messuhren angeboten, anhand deren man in der Lage ist, zu überprüfen, ob der Stecker die Kriterien der Spezifikation auch erfüllt.

Im Umgang mit Steckverbindern in „Metrology Qualität“ sollte immer höchste Sorgfalt an den Tag gelegt werden, um den Stecker nicht zu beschädigen. Ein Austausch ist sehr teuer und kann zudem nur beim Hersteller erfolgen. Dies hat natürlich ebenfalls zur Folge, dass das Gerät möglicherweise für Wochen nicht zur Verfügung steht.



Stecker Pflege

Wie schon erwähnt, ist der sorgsame Umgang mit den Steckern notwendig um seine Eigenschaften lange zu erhalten. Die Stecker sollten auch nur mit dem dafür vorgesehenen Werkzeug und dem richtigen Drehmoment angezogen werden. Anderenfalls werden sie beschädigt.

Lagerung

Bei vielen Typen ist der Bereich, der die Referenzebene darstellt, frei zugänglich. Besonders dieser Teil muss vor Beschädigung geschützt werden. Dafür sind im Allgemeinen Kunststoffkappen erhältlich, wenn sie nicht schon von vorneherein mitgeliefert wurden. Auch die Gewinde müssen in einem einwandfreien Zustand sein, damit mit dem richtigen Drehmoment auch der richtige elektrische Kontakt hergestellt wird. Gehen die Gewinde schwergängig, können sie sich auch verklemmen, was meistens den Totalschaden für beide Teile bedeutet. Dann lieber vorher die beschädigten Teile entsorgen, bevor so etwas passiert. Wenn der Stecker nicht im Gebrauch ist, sollte die Schutzkappe aufgesteckt werden.

Werden während der Messung Adapter verwendet und sind diese momentan nicht im Einsatz, ist darauf zu achten, dass die Kontaktebene beim Ablegen völlig frei liegt. Auf keinen Fall sollte man seine Adapter ohne Schutzkappen in einer Box aufbewahren, in der sie sich gegenseitig verkratzen könnten.

Reinigung

Zum Reinigen hat sich Isopropanol sehr bewährt, sowie Wattestäbchen und Präzisionswischtücher. Das mit Isopropanol befeuchtete Tuch wird zum Reinigen der äußeren Teile verwendet. Schmutz und Abrieb setzt sich im Gewinde fest und im schlimmsten Fall kann das Gewinde blockieren. Sobald das Tuch oder das Wattestäbchen sich verfärbt, sollte es nicht mehr verwendet werden. D.h. solange immer wieder Neue verwenden, bis sie sich nicht mehr verfärben. Durch diese Vorgehensweise wird verhindert, dass der gelöste Schmutz weiter verteilt wird und er die Oberfläche während des Säuberns beschädigt.

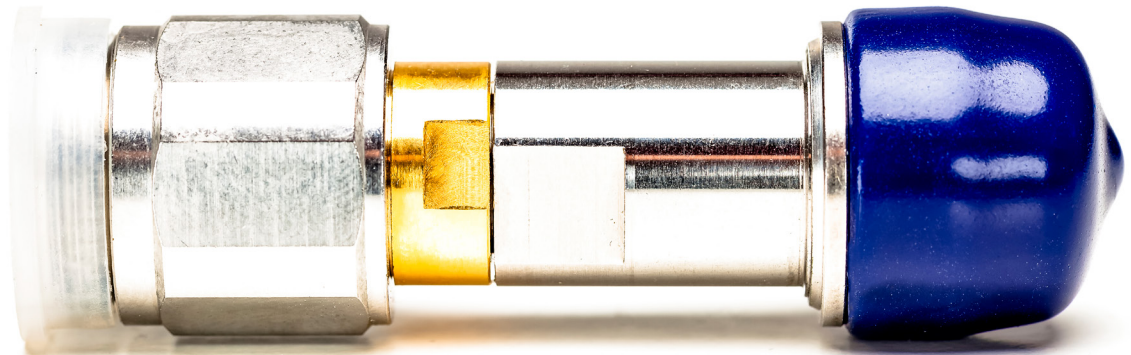
Besonders ist darauf zu achten, dass die Referenzebene sauber und ohne Kratzer und Dellen ist. Z.B. sind das beim 7mm Typ die planen Flächen des Außen- und Innenleiters und bei der SMA Buchse das Ende des Außenleiters, die frei zugänglich sind. Für den inneren Teil des Steckers wird ein Wattestäbchen mit Isopropanol zum vorsichtigen Reinigen verwendet. Falls sich hartnäckige Ablagerungen in den Kanten festgesetzt haben, kann man sie sehr vorsichtig mit einem Holzzahnstocher, einem Präzisionswischtuch und mit viel Geduld reinigen. Lieber sanft und länger, als riskieren die Oberfläche zu beschädigen. Besonders Stecker mit Luftdielektrikum sind mit viel Fingerspitzengefühl zu behandeln. Hier kann sehr leicht der Innenleiter oder ein Teil des Federkörpers verbogen werden. Bevor der Stecker verwendet wird, muss er ausreichend Zeit zum Auslüften bekommen. Zurückbleibende lockere Fusseln und Staub entfernt man am besten mit trockener, ölfreier Pressluft mit niedrigem Druck. Speziell hierfür wird Pressluft in Sprühdosen angeboten.



Wartung

Die Stecker sind regelmäßig auf Unversehrtheit zu überprüfen. Am Besten vor jedem Gebrauch. Der Stecker soll sauber sein. Keine Kratzer und Dellen, besonders im Inneren und auf den Referenzebenen. Der Innenleiter muss zentrisch sein.

Die einzelnen Elemente des Federkörpers müssen symmetrisch ausgerichtet sein. Kein Teil des Federkörpers darf verbogen oder abgebrochen sein. Falls er verschmutzt ist, erst säubern. Ist er beschädigt, so ist abhängig von der Beschädigung ein Gebrauch mit reduzierten Eigenschaften möglich oder eine Entsorgung angesagt. Ist der Federkörper beschädigt, sollte er auf jeden Fall entsorgt werden. Stehen Messuhren zur Verfügung, sollte man von Zeit zu Zeit die Einhaltung der Toleranzen überprüfen. Der Zeitrahmen ist abhängig davon, wie oft die Verbindung im Gebrauch war. Wird das Gerät nur einmal im Monat verwendet, reicht sicher eine Prüfung einmal im Jahr. Ist es hingegen täglich im Gebrauch, sollte es einmal im Monat sein, wenn nicht sogar öfter.



Steckertypen

N-Typ

Der N-Typ wurde von Paul Neill bei den Bell Labs 1942 entwickelt. Zuerst war er nicht für höhere Frequenzen ausgelegt, da ihm zu der damaligen Zeit dafür keine Messgeräte zur Verfügung standen. Er verwendete die Geräte, die ihm für Telefonsysteme zur Verfügung standen. Wenn man sich den Stecker vom Standpunkt eines HF-Ingenieurs ansieht, ist er nicht ideal, da er nicht auf konstante Impedanz entlang des System ausgelegt wurde. Erst später wurde gezeigt, dass, wenn man auf eine konstante Impedanz des Koax-Systems achtet, man die Bandbreite bis fast zur Grenzfrequenz der ersten höheren Moden TE₁₁ erweitern kann.



Dies wird erreicht, wenn wie oben beschrieben, der Sprung im Außen- und Innenleiter an fast der selben Stelle liegt. Durch richtige Auslegung kann eine Anpassung des Sprungs von -50 dB erreicht werden, ohne Berücksichtigung von Fertigungstoleranzen. Im Laufe der Zeit wurde der Steckertyp weiter optimiert und die Toleranz zwischen Buchse und Stecker so ausgelegt, dass er bis 11GHz einsetzbar ist. Präzisionsausführungen sind jetzt bis 18GHz spezifiziert. Einen wesentlichen Beitrag leistete Julius Botka 1946 bei Hewlett Packard (zwischenzeitlich in Agilent umbenannt und heute umfirmiert in Keysight). Das Design war bis 12GHz gut geeignet, aber kein Steckerhersteller sah einen Bedarf für so hohe Frequenzen. Omni Spectra brachte 1962 eine verbesserte Serie auf den Markt, um vor allen Dingen ihre OSM (SMA) zu propagieren, da damals hauptsächlich der N-Stecker eingesetzt wurde.

Der N-Typ ist eine der ältesten Stecker-Varianten. Er wird auch noch heute sehr häufig eingesetzt. Steckzyklen mit dem passenden Gegenstück werden vom Hersteller in den Spezifikationen angegeben. Wenn sie dem MIL-STD-348B entsprechen, müssen sie mindestens 10 000 Steckzyklen aushalten und dabei die mechanischen wie elektrischen Grenzwerte einhalten.

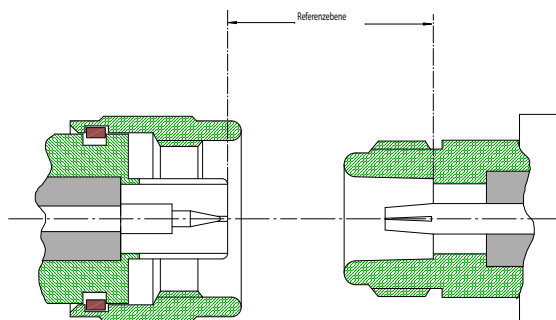


Abbildung 6: Schnittzeichnung des N-Steckers

BNC-Typ

Der BNC wurde nach Paul Neill und Carl Concelman bezeichnet, die in Zusammenarbeit diese Stecker entwickelten. Das B steht für baby oder bayonet da es eine verkleinerte Version des N-Types sein sollte.



Auch dieser Typ ist nicht aus Hochfrequenz Gesichtspunkten entwickelt worden, sondern weil ein Bedarf für eine kleinere Variante bestand. Durch den Bajonettverschluss ist er sehr schnell an- und abzuschließen.

Wie der N-Stecker liegt die Trennstelle des Innenleiters nicht in der Referenzebene. Wenn Stecker und Buchse miteinander verbunden sind, so ist der Zwischenraum mit Dielektrikum gefüllt. Dadurch ist die Impedanz auch vom Dielektrikum abhängig. Auch die Verluste gehen dort mit ein. Durch die ineinander greifende Konstruktion wird eine höhere Spannungsfestigkeit gegenüber einem Design mit radialer Trennstelle erreicht. Der Bajonettverschluss ergibt keine ausreichend gute Verbindung für höhere Frequenzen. Dadurch ist sein Einsatz auf ca. 4GHz begrenzt.

7/16-Typ



In Deutschland wurden in der Nachkriegszeit üblicherweise Stecker mit 60Ω eingesetzt. Dr. Spinner (Spinner GmbH) [7] entwarf 1954 den 6/17 mit 60Ω für Anwendungen mit hohen Leistungen. Später leitete er den 7/16 davon ab, so wie er auch heute noch im Einsatz ist. Die Bezeichnung bezieht sich auf die Abmessung des Innenleiters mit 7mm und des Innendurchmessers des Schirmes mit 16mm. Mit Luft als Dielektrikum ergeben sich beim 7/16 eine Impedanz von 50Ω .

Die Kontaktierung des Außenleiters erfolgt über die Stirnfläche des Schirmes. Wenn der Stecker im Außenbereich eingesetzt wird, sind Dichtungsringe mit eingelegt. Dadurch wird es schwieriger, die Stirnseite sicher auf das Gegenstück zu bekommen, was auf jeden Fall erfolgen muss. Ansonsten kann es zu unerwünschten Resonanzen und damit zu Einbrüchen im Frequenzbereich kommen. Im Vergleich zu den anderen Steckern hat er mit 30 Nm auch ein wesentlich größeres Anzugdrehmoment.

Um diese Probleme zu minimieren, wurde der Außenleiter geschlitzt. Er konnte damit die elektrische Verbindung im Gegenstück über die Wand erreichen und nicht über das Gewinde der Überwurfmutter. Nachteilig ist der höhere PIM Wert. Heutzutage haben die Präzisions-Ausführungen keinen geschlitzten Außenleiter mehr und solange sie richtig befestigt werden, können Stecker von namhaften Herstellern ein PIM (IM3) von <-155 dBc erreichen. Der 7/16 hat sich besonders im Mobilfunk als quasi Standard etabliert. Bei 1GHz kann er mit 1200 W belastet werden und bei 2GHz noch mit 850 W.



TNC-Typ

J. R. Munro arbeitete 1956 bei Raytheon. Er hatte Probleme mit Rauschen festgestellt, das bei Vibrationen durch den BNC Stecker verursacht wurde. Um den Stecker sicherer zu befestigen, entwarf er dasselbe Interface – aber mit Schraubverschluss. Der TNC war nicht für höhere Frequenzen entworfen worden. Er hatte somit denselben Nachteil wie der BNC Stecker.

In der heutigen Ausführung hat der Schraubverschluss Vorteile gegenüber dem Bajonett-Verschluss, so dass er bei richtiger Auslegung des inneren Aufbaus noch bis 11GHz eingesetzt werden kann.

SMP-Typ

Der SMP Stecker wurde von der Firma Gilbert (heute Corning Gilbert) in den 1980ern entwickelt und wird heute unter dem Markennamen GPO für „Gilbert push-on“ vertrieben. Viele andere Hersteller haben ihrerseits Steckersysteme im Programm die unter dem allgemeinen Name SMP vertrieben werden.

Die Standard Version kann bis 26.5GHz eingesetzt werden. Oftmals werden sie auch bis 40GHz spezifiziert. Einige finden sich aber nur in der „Präzision Version“ mit besserer Toleranz. Der SMP wird als Interconnection zwischen PCB und als Blinde-Mate beworben. D.h. es können zwei sich gegenüber liegende Platinen so verbunden werden, dass auf den PCB's Stecker aufgelötet sind, und die Verbindung durch Buchse-Buchse Adapter entsprechender Länge erreicht wird. Natürlich müssen die Stecker gegenüber positioniert sein. Der SMP weist hierbei eine gewisse Toleranz gegen Fehlausrichtung aus, ohne an elektrischen Eigenschaften einzubüßen. Weiterhin ist er kleiner als ein SMA, ein 3.5mm und ein 2.92mm Stecker, welches sich gerade bei vielen benötigten Steckern platzsparend bemerkbar macht.

Auch ist sein Aufbau einfacher, was zu einem günstigen Preis führt. Da ein Spalt zwischen PTFE und dem Außenmantel besteht, konnte wegen fehlender Daten keine genaue Berechnung der Impedanz bzw. der cut-off Frequenz erstellt werden. In der Tabelle wurden sinnvolle Werte für die Berechnung angenommen.

Da der innere Aufbau nicht Bestandteil der Spezifikation ist, gibt es Unterschiede besonders bei der Winkelausführung. Der Winkelstecker der Fa. Rosenberger kann bei richtiger Konfektionierung im Bereich von ca. 20 bis 27GHz eine Anpassung besser 20 dB erreichen. Die Stecker der anderen Hersteller erreichen meistens gerade mal 10 bis 15 dB.

7mm-Typ

Der 7mm Stecker wurde in den Laboren von Hewlett Packard Mitte der 1960er entwickelt, die endgültige Fertigstellung zum Präzisionsstecker von Amphenol (APC7). Er weist die beste Anpassung auf und wurde sehr häufig bei der Messtechnik verwendet, wobei sein Einsatzbereich bis 18GHz spezifiziert ist. Er wurde von Anfang an unter Hochfrequenzgesichtspunkten ausgelegt, was zu den hervorragenden Eigenschaften führte.



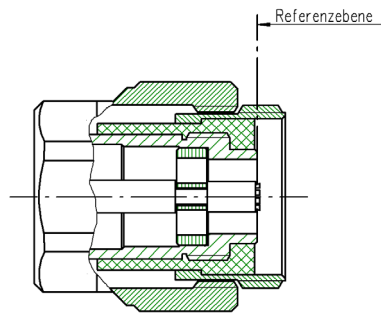


Abbildung 7: Schnittzeichnung des 7mm-Steckers

Wie schon vorher erwähnt, ist es ein geschlechtsloser Stecker, bei dem der Kontakt durch planares Aufliegen des Innen- wie auch des Außenleiters gegeben ist. Hierbei liegt die Trennstelle für den Außen- und Innenleiter auch in der Referenzebene. Diese Kontaktflächen sind elementar für die Eigenschaften und sind deshalb vor Beschädigung zu schützen. Es ist empfehlenswert das Gewinde herauszuschrauben, damit es vorsteht und die Flächen schützen kann. Ist er nicht im Einsatz sollte unbedingt die Schutzkappe aufgesteckt werden.

SMA-Typ

Der Vorläufer des SMA Steckers wurde vom Mechaniker Val Colussi unter Anleitung von James Ceal bei Bendix Research Laboratories Division ca. 1960 entwickelt. Für ein Puls-Doppler-Radar System benötigten sie einen kleinen Stecker, da der damals üblicherweise verwendete N-Stecker zu groß war. Die Gruppe arbeitete an Komponenten, die ihrer Zeit weit voraus waren, sodass sie es nicht als notwendig achteten, für die Entwicklung eines so trivialen Bauteils einen HF-Ingenieur abstellen. Seit 1961 wurden die Semi-Rigid Leitungen vermehrt angeboten. Der Stecker wurde auch hinsichtlich dieser besonderen Leitungen entwickelt.



Ceal gab die Durchmesserverhältnisse vor und Colussi sollte einen Stecker entwerfen, der klein, möglichst kurz, mit Standardgewinde und von mechanischer Integrität sein sollte. Das Ergebnis zeichnet sich dadurch aus, dass es durchgängig auf 50Ω ausgelegt wurde und die Trennung zwischen Stecker und Buchse eine Ebene für den Innen- und Außenleiter hat, die gleichzeitig auch die Referenzebene ist.

Das Konzept des Steckers wurde beibehalten und nach einigen Entwicklungsschritten wurde er von der Firma Omni Spectra Inc. als OSM ab 1962 vertrieben. Andere Firmen kamen mit ihren eigenen Entwicklungen ab 1964 auf den Markt und SMA etablierte sich als Name für diese Art Stecker.

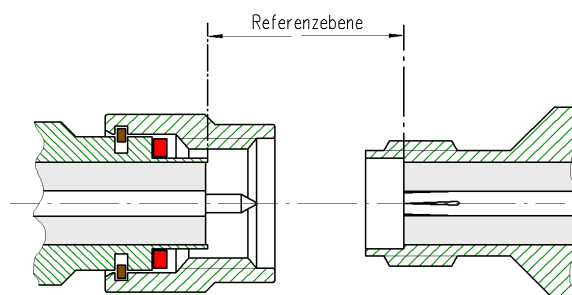


Abbildung 8: Schnittzeichnung des SMA-Steckers

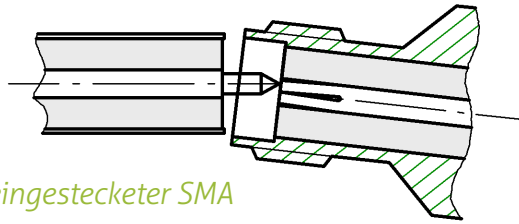


Abbildung 9: Schräg eingestecketer SMA

Der SMA ist Moden frei bis Cut-off TE₁₁ = 25.22GHz abhängig von den Toleranzen. Werden Abmessungen und Toleranzen entsprechend ausgelegt, so sind auch Versionen verfügbar die bis 26.5GHz Moden frei sind. Ein Nachteil bei dem Stecker ist, dass sich, wenn er nicht gerade eingesteckt wird, der Stift neben dem Federkörper ins PTFE eindrücken lässt. Dadurch wird die Buchse meistens so beschädigt, dass sie nicht mehr verwendet werden sollte.

3.5mm-Typ

Der 3.5mm Stecker wurde bei Hewlett-Packard entwickelt und später von Amphenol hergestellt. Larry Renihan berichtet von dem Stecker auf der IEEE MTT-S International Microwave Symposium 1976. Der Stecker ist eine logische Weiterentwicklung des SMA, wobei er Luft als Dielektrikum hat. Der SMA wurde ja als Stecker für ein paar Steckzyklen entwickelt und war nicht für den Einsatz an Messgeräten gedacht. Die Vorgabe für die Entwickler war es, einen Stecker mit vielen Steckzyklen, passend zum SMA Interface und einsetzbar bis 26.5GHz zu entwickeln.



Beim Design wurde das Problem des SMA Steckers berücksichtigt. Er wurde so ausgelegt, dass er beim schrägen Einstecken nicht den Federkörper beschädigen kann. Dies wurde dadurch erreicht, dass die Führung durch den Außenleiter früher erfolgt und somit der Stift ausgerichtet wird, bevor er den Federkörper erreicht.

Der 3.5mm sowie der 2.92mm sind kompatibel zum SMA [6]. Sie können ohne Beschädigung zu verursachen kombiniert werden.

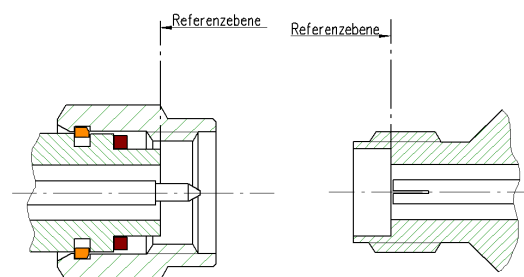


Abbildung 10: Schnittzeichnung des 3.5mm-Steckers

Es wurde auch gezeigt, dass bessere Anpassungswerte bei höheren Frequenzen erreicht werden konnten. Dies liegt daran, dass im gesteckten Zustand beim SMA ein kleiner Luftspalt um den Innenleiter übrig bleibt. Dieser Bereich hat dann natürlich keine 50Ω und verschlechtert die Anpassung. Der 3.5mm hingegen hat Luft als Dielektrikum und somit ist die Auswirkung geringer. Mit den nominalen Abmessungen errechnet sich ein Moden freier Bereich bis 38.8GHz. Manche Quellen sprechen von 34GHz. Um auf der sicheren Seite zu sein, sollte man den Einsatzbereich auch auf 34GHz begrenzen, wenn nicht der Hersteller etwas anderes spezifiziert.

2.92mm-Typ



Mitte 1970 stellte Maury Microwave den MPC3 vor, der auf der 2.92mm Geometrie beruhte. Da damals kaum Bedarf für Stecker bis 40GHz bestand, wurde dem keine größere Beachtung geschenkt.

1983 brachte Wiltron, heute Anritsu, erste Geräte bis 40GHz auf den Markt, die mit dem 2.92mm ausgestattet waren. Sie boten auch die Stecker unter dem Markennamen K-Stecker an. Das K stand für das K-Band und sollte ausdrücken, dass er bis zum K-Band (20 - 40GHz) reicht. Da das Design auch auf dem SMA basiert, kann er mit dem SMA verbunden werden. Die Stecker-Hersteller legten ihn so aus, dass es zu keinen Beschädigungen kommt, solange die Stecker einwandfrei und in gutem Zustand sind.

2.4mm-Typ und 1.85mm-Typ



Beide Varianten wurden bei Hewlett-Packard 1986 von Julius Botka und Paul Watson entwickelt. Da sie nicht kompatibel zum SMA sein sollten, konnten hier die entsprechenden Anforderungen unberücksichtigt bleiben. Sie gibt es in allen drei Qualitätsstandarts für Produktion, für Instrumente und für Metrology.

Die Überwurfmutter hat ein metrisches Gewinde (M7 x 0.75) wogegen SMA, 3.5mm und 2.92mm ein zöllisches Gewinde (1/4 -36 UNS-2A) haben. Auch wenn sie dem ersten Anschein nach kompatibel scheinen, sind sie es nicht.

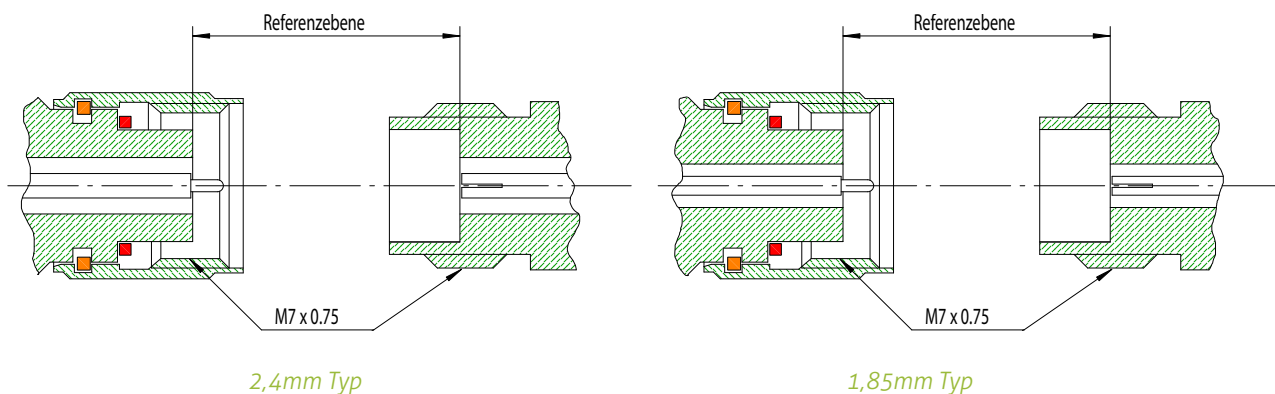


Abbildung 11: Schnittzeichnungen des 2,4mm und 1,85mm-Steckers

Tabelle 1: Übersicht einiger Werte

Type	D mm	d mm	Dielektrikum	Impedanz Ω	Max Freq. GHz	Cut-off TE11 GHz
N	7.0	3.04	Air	49.8	11 (18)	19.4
BNC	7.0	2.06 - 2.21	PTFE	48.6 - 51.6	4.0	15.0
TNC	7.0	2.06 - 2.21	PTFE	48.6 - 51.6	11.0	15.0
7/16	15.85 - 16.25	7.0	Air	49.0 - 50.5	8.3	8.37
7mm	6.995 - 7.005	3.0397	Air	50.0	18	19.4
SMA	4.178	1.245 - 1.295	PTFE	49.4 - 51.1	18 (26.5)	25.2
3.5mm	3.5	1.519	Air	50.03	26.5	38.8
2.92mm	2.92	1.27	Air	49.9	40	46.5
SMP	~2.31	0.89	Air + PTFE	~50	40	~52
2.4mm	2.4	1.041	Air	50.0	50	56.6
1.85mm	1.85	0.803	Air	50.0	70	73.4
1.0mm	1.0	0.434	Air	50.0	110	135.8

Wenn man sie trotzdem paart, werden sie dabei beschädigt. Der 2.4mm kann dagegen mit dem 1.85mm gepaart werden. Anritzu vertreibt den 1.85mm unter der Bezeichnung V-Stecker.

1.0mm-Typ

Er wurde bei Hewlett-Packard 1989 von Paul Watson entwickelt. Die Anforderungen an die Fertigung sind, entsprechend der kleinen Abmessungen, sehr hoch. Selbst kleinste Abweichungen schlagen sich gleich bemerkbar in den Eigenschaften nieder, wie nachstehende Werte zeigen.

Toleranz von 0.005mm 49.05 Ω - 51.03 Ω

Toleranz von 0.010mm 48.07 Ω - 52.03 Ω

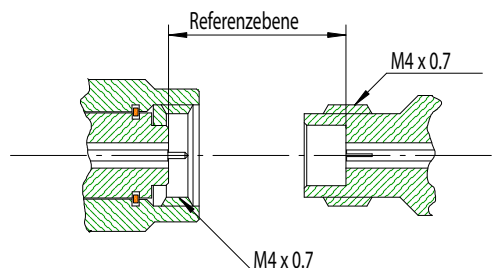
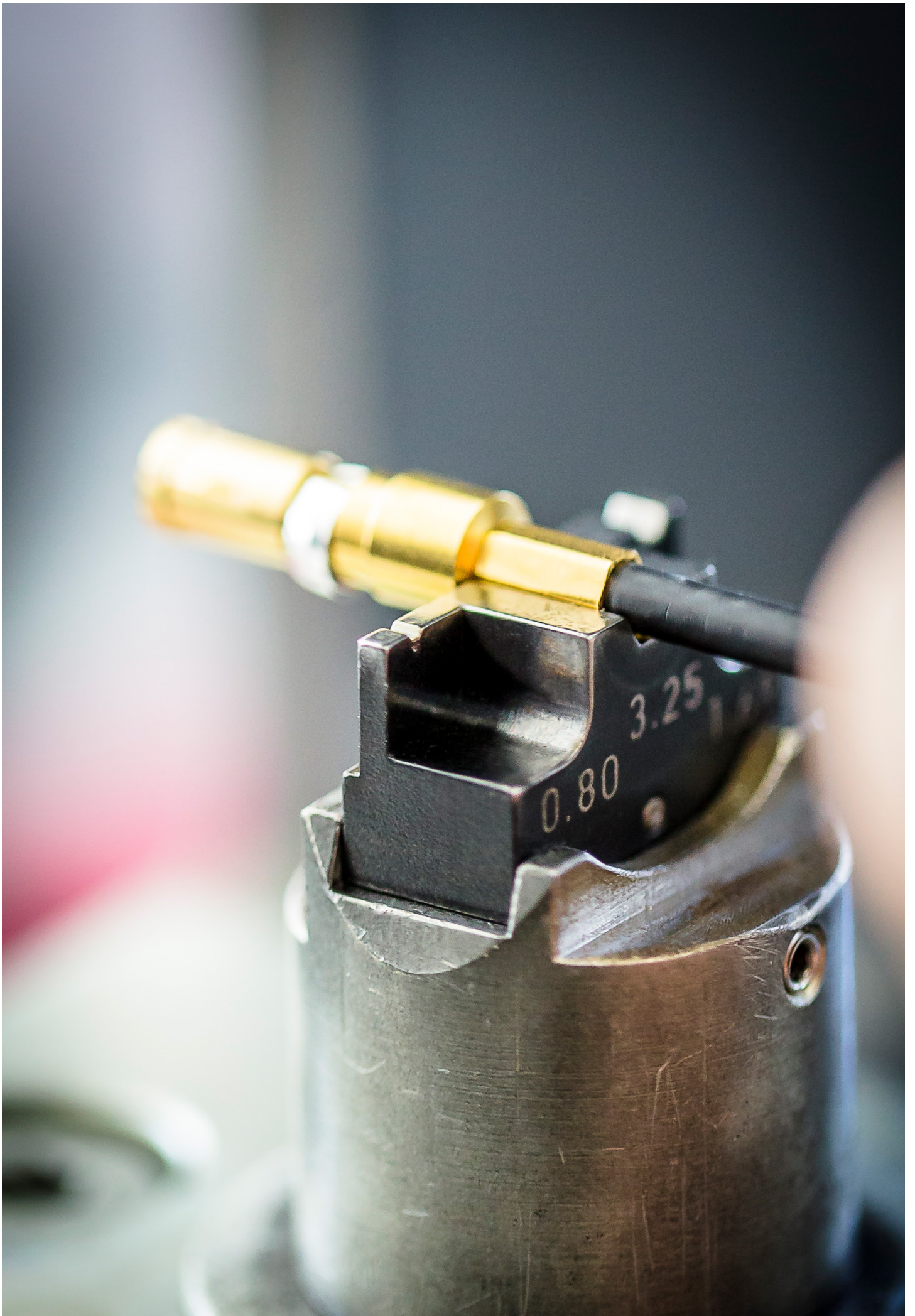


Abbildung 12: Schnittzeichnung des 1,0mm -Steckers

Die Überwurfmutter hat auch ein metrisches Gewinde (M4 x 0.7) ist aber kleiner als die vom 2.4mm und 1.85mm. Damit wird vermieden, dass er mit dem 2.4mm oder 1.85mm gepaart wird.



Literaturverzeichnis

[1] J. Bryant: *Coaxial Transmission Lines, Related Two-Conductor Transmission Lines, Connectors, and Components: A U.S. Historical Perspective*, IEEE Transaction MTT, Vol. MTT-32, No. 9, September 1984

[2] M. Maury, Jr.: *Microwave Coaxial Connector Technology: A Continuing Evolution*, Application Note 5A-021, Maury Microwave Corporation, 13 December 2005

[3] N. Marcuvitz: *Waveguide Handbook*, Isha Books, New Delhi, India, Reprinted 2013

[4] H. Meinke, F. Gundlach: *Taschenbuch der Hochfrequenztechnik*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York Tokyo, 1982 14

[5] Rohde & Schwarz: *A Test and Measurement Retrospective - 75 Years of Rohde & Schwarz*, Microwave Journal, 10 July 2008

[6] P. Pino: *Intermateability of SMA, 3.5-mm, and 2.92-mm Connectors*, White Paper, W. L. Gore & Associates, Inc., Januar 2007

[7] SPINNER Communication Katalog, Spinner GmbH, 2011

[8] DJ6TA: *7-16-Stecker*, Amateurfunk Wiki, <http://www.amateurfunkwiki.de/index.php/7-16-Stecker>

Impressum

©copyright 2016 by el-spec GmbH

Konzept, Text, Zeichnungen: Stefan Burger, DeltaGamma RF-Expert, Melbourne Australien

Layout und Gestaltung: Udo Klünsch | kpr kommunikation, Geretsried

Fotos: Udo Klünsch | kpr kommunikation

alle - außer Seiten: 8, 9 – ©Rohde und Schwarz, 12 unbekannt

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung ist ohne Zustimmung der Firma el-spec GmbH unzulässig und strafbar. Insbesondere gilt dies für Vervielfältigungen, Übersetzungen und Einspeicherung in elektronische Systeme.

el-spec GmbH

Lauterbachstr. 23c

82538 Geretsried-Gelting

T.: +49 81 71 43 57-21/-22

F.: +49 81 71 43 57-99

info@elspecgroup.de

Geschäftsführer: Thomas Weber

www.elspecgroup.de

Notes



Notes



Notes



Notes





el-spec GmbH
Lauterbachstr. 23c
82538 Geretsried-Gelting, Germany
Tel. +49 (0) 8171-4357-23
Fax +49 (0) 8171-4357-99
sales@elspecgroup.de
www.elspecgroup.de