HF-Koaxialsteckverbinder und Kabel in der Anwendung

Es gibt eine Vielzahl von Koaxialstecker-Typen sowie Kabeln für den Gebrauch im HF- und Mikrowellen-Spektrum. Häufig werden diese Komponenten eher stiefmütterlich behandelt, obwohl sich durch eine Fehlentscheidung bei der Auswahl unerwünschte Veränderungen der Geräte- oder Systemeigenschaften ergeben können.

Michael J. Hannon
Product Applications Engineer
Pat Malloy
Sr. Applications Engineer
Rf/microwave instrumentation
www.ar-worldwide.com

Da typische HF-Anlagen meist aus einer Reihe von Geräten, wie zum Beispiel HF-Generatoren, Verstärkern, Abschwächer, Leistungsmessinstrumente, Signalkopplern, Antennen, usw. bestehen, ist es nicht selten, dass viele Überlegungen zu diesen Geräten angestellt werden, während Bereiche wie Stecker und Kabel zur Nebensache werden.

HF-Koaxialstecker

HF-Koaxialstecker sorgen für die grundlegend wichtigen HF-Verbindungen in der Nachrichtenübermittlung, beim EMC-Test, im kommerziellen und im militärischen Bereich sowie im Prüf- und im Messbereich. Obwohl es eine Vielzahl von HF-Steckern gibt, werden alle durch einige gemeinsame Schlüsselparameter gekennzeichnet. Die offensichtlichste Eigenschaft eines Steckers ist seine körperliche Größe. Andere Überlegungen betreffen die Leistungs-Belastbarkeit und den Frequenzbereich. Für maximale Leistungsübertragung sollte die charakteristische Impedanz des Steckers mit der Impedanz der Quelle und der Last übereinstimmen. Alle diese Eigenschaften zusammen mit der Haltbarkeit des Steckers und seinen Kosten müssen im Licht der jeweiligen spezifischen Anwendung betrachtet werden. Beginnen wir daher mit der Vorstellung der in HF-Applikationen meist verbreiteten Stecker. Diese überall vorhandenen „traditionellen" Stecker gibt es sowohl in Steck- als auch in Kupplungsausführungen, in Standard- und Präzisionsgraden, in Hochfrequenz- und in einigen Fällen auch in Hochleistungsversionen.

BNC

Der BNC-Stecker ist möglicherweise einer der meistbenutzten Stecker im Prüf- und Messbereich. Er wurde von Bell Labs in den frühen fünfziger Jahren entwickelt. Die zugehörigen Buchsen finden sich am häufigsten an Oszillographen, Empfängern, Analysatoren und ähnlichen Labor-Testgeräten.

Sie wird gewöhnlich für Low-Power-Verbindungen von HF-Test-Ausrüstung, wie Audio- und Signalgeneratoren, Oszillographen und Verstärker, verwendet. Der preiswerte BNC-Stecker verwendet einen Bajonett-Rückhaltering, um schnelles Verbinden und Trennen zu ermöglichen bzw. eine unbeabsichtigte Trennung zu verhindern.

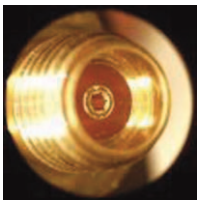
Der BNC-Stecker gibt es für eine charakteristische Impedanz von 50 oder 75 Ohm, abhängig von der Anwendung. BNC-Stecker sind im Allgemeinen für den Gebrauch im Frequenzbereich von DC- 4 GHz konzipiert, werden jedoch selten über 500 MHz benutzt. Obwohl sie bis 1 GHz mit 80 – 100 W durchschnittlicher Leistung belastbar sind, haben sie gewöhnlich keine spezifizierte maximale Nennleistung, ihre maximale Spannungsverträglichkeit ist mit ungefähr 500 V festgelegt.

TNC

Der TNC-Stecker ist eine Variante des BNC-Steckers. Er sorgt für einen sicheren, stabilen Anschluss und verringert dadurch die Vibrationseffekte, die beim BNC festgestellt wurden. Der TNC ist auch bei höheren Frequenzen verwendbar, zusätzlich gibt es auch High-Power-TNC-Versionen.

SMA

Der Subminiatur-Typ-A-Stecker wurde in den sechziger Jahren entwickelt und ist eine sehr populäre Wahl in HF-Anwendungen mit niedriger Leistung. Er war ursprünglich für die Verwendung an semirigiden Kabeln vom Typ 141 bestimmt, bei denen der Mittelleiter des Kabels gleichzeitig als Center-Pin des Steckers diente. Sein Einsatz wurde später hin zum flexiblen Koaxkabel mit aufgelöteten Center-Pins ausgedehnt. Er besteht aus einem inneren Kontaktring und einer Sechskant-Mutter, die über einen Sicherungsring angebracht werden. Spezielle Sechskant-Schlüssel werden bei der Montage benutzt, um das korrekte Anziehdrehmoment zu erzielen. Es gibt verschiedene Versionen, z.B. für Hochfrequenz, selbstsichernde und Präzisionsausführungen. Der SMA-Verbinder, der bis 18 GHz einsetzbar ist, wird allgemein für Interboard-Verbindungen sowie für Mikrowellenfilter und Abschwächer verwendet. Präzisionsversionen erweitern seine obere Frequenzbegrenzung bis auf 26,5 GHz. Obgleich die SMA-Buchse mit den 2,92-mm- und 3,5-mm-Steckern zusammenpasst, wird die Verwendung von APC-3.5- und k-Steckern nicht empfohlen, da geringfügige Maßunterschiede zu Beschädigungen der Stecker führen können.



3,5 mm

Der „3,5 mm" ist ein Präzisionsstecker, der primär von Hewlett

Packard entwickelt wurde (jetzt Keysight Technologies). Er ist in der Auslegung dem SMA ähnlich, hat aber ein Luft-Dielektrikum für höhere Leistung. Diese Stecker sind prinzipiell bis 34 GHz gut einsetzbar, im größeren Umfang findet man sie bei 26,5 GHz. Ein 3,5-mm-Stecker kann Leistungspegel handhaben, die mit seinem SMA-Gegenstück vergleichbar sind. Da der 3,5-mm ein Präzisionsstecker ist, ist er teurer als ähnliche Ausführungen und wird folglich häufiger in Kalibrierungssätzen und in Metrologie-Anwendungen eingesetzt.

2,4 mm

Entwickelt Mitte der 80iger Jahre durch Hewlett Packard (jetzt Keysight Technologies), verwendet dieser 50-GHz-Stecker einen äußeren 4,7-mm-Leiter, der um einen 2,4-mm-Mittelleiter angeordnet wird. Der 2,4-mm-Steckverbinder wird in drei Graden angeboten: für universelle Verwendung, Instrumente und Metrologie. Da diese Stecker nicht direkt mit der SMA-Familie kompatibel sind, müssen Präzisionsadapter verwendet werden, um einen 2,4-mm-Stecker mit einem SMA zusammenzufügen.

2,92 mm/K-Typ

Dieser Stecker wurde von Wiltron entwickelt (jetzt Anritsu Corporation). Seine Leistung ist vergleichbar mit dem "2,4", obwohl seine maximale Frequenz auf 40 GHz beschränkt ist. Die Bezeichnung „K-Typ" deutet auf seine Einsatzmöglichkeit auf allen K-Band-Frequenzen hin.

N-Typ

Dies ist einer der am häufigsten verwendeten HF-Stecker weltweit. Der Hochleistungstecker wurde von Bell Labs in den vierziger Jahren entwickelt und mit einer internen Dichtung ausgestattet, um Umwelteinflüsse abzuhalten. Der N-Stecker ist robust und verhältnismäßig preiswert, die Standardversion ist bis zu 11 GHz einsetzbar. Präzisionsversionen erweitern die obere Frequenzbegrenzung auf bis zu 18 GHz. Der häufig an Instrumenten wie Verstärkern, Richtkopplern, Leistungsmessern und Koaxialabschwächern verwendete, haltbare Stecker, sorgt für einen sehr sicheren Anschluss. Es gibt 50- und 75-Ohm-Versionen, wobei die letzteren allgemein in der CATV-Industrie verwendet werden.

C-Stecker

Der C-Stecker wurde von Amphenol für Leistungsanwendungen sowie schnelle Handhabung der Steckverbindung beim Schließen und Öffnen entwickelt. Er verwendet einen Zweifach-Dual-stud-Bajonett-Zurückhaltering, der in der Auslegung dem BNC-Stecker ähnlich ist. Die Popularität des C-Steckers hat sich in den Jahren vermindert, er ist bei den meisten Lieferanten aber noch erhältlich. Der 7-16 DIN wird in vielen Fällen wegen seiner ähnlichen Frequenz- und Leistungsspezifikation als Ersatz verwendet. Es gibt 75-Ohm-Versionen sowie eine „SC"-Version, die für einen besonders sichereren Anschluss sorgt.

7-16 DIN

Der 7-16 DIN wurde durch das Deutsche Institut für Normung entwickelt. Der numerische Teil seines Namens gibt die Größe des inneren und des äußeren Leiters an; 7 mm für den inneren Leiter und 16 mm für den äußeren Leiterdurchmesser. Der 7-16 benutzt eine M29 x 1,5 mm Kupplungsmutter. Der Stecker des 7-16 DIN wurde für niedrige Intermodulation im Hinblick auf die Benutzung in Kommunikationsanwendungen ausgelegt. Weitere gebräuchliche Anwendungen sind der Antennenanschluss, Basisstationsanschlüsse, HF-Kabel, Satcom und Blitzschutzanlagen. Leistung und Frequenz werden auf ungefähr 1500 W durchschnittlich sowie 7,5 GHz bei der Standardversion begrenzt. Es gibt Versionen mit höherer Leistung, die FLH-Dielektrika verwenden.

EIA-Serie

Die EIA-Koaxialsteckerserie gibt es in den Ausführungen EIA 7/8", EIA 1 5/8", EIA 3 1/8", in EIA 4 1/2" und EIA 6 1/8", die für HF-Anwendungen geeignet sind. Sie wurden entwickelt um Kabel mit Schaum- oder Luft-Dielektrikum zu unterstützen. Sie bestehen aus einem Hauptrumpf, dem Anbauflansch und gewöhnlich auswechselbaren Mittelleiter-Einsätzen.

EIA-Stecker sind in Anwendungen mit hoher Leistung z.B. an Richtkopplern, Koaxialkabeln und Endverstärkerausgänge zu finden und schalten auf Fernsehtürmen Antennen zusammen. Die geläufigsten Größen, die bei allgemeinen Prüfungs- und Maßanwendungen eingesetzt werden, sind der 1 5/8 und der 7/8 EIA. Es gibt eine Vielzahl von Adaptern um die EIA-Serie an einige der größeren HF-Stecker anzupassen, wie z.B. den 7-16- und den N-Stecker.

Alles zusammenfügen

Nachdem wir uns zuvor noch einmal die populärsten HF-Koaxial-Steckverbinder angesehen haben, befassen wir uns nun mit den Überlegungen, die für eine intelligente Steckerauswahl erforderlich sind. Zunächst legt die spezifische Anwendung den Frequenzbereich und die Leistungsbelastbarkeit des Steckers fest. Das zusammenfassende Diagramm „Stecker-Leistungsbelastbarkeit vs. Frequenz" gibt Hilfe bei der Auswahl eines passenden Steckertyps, der die Systemleistung bei der höchsten benötigten Frequenz verträgt.

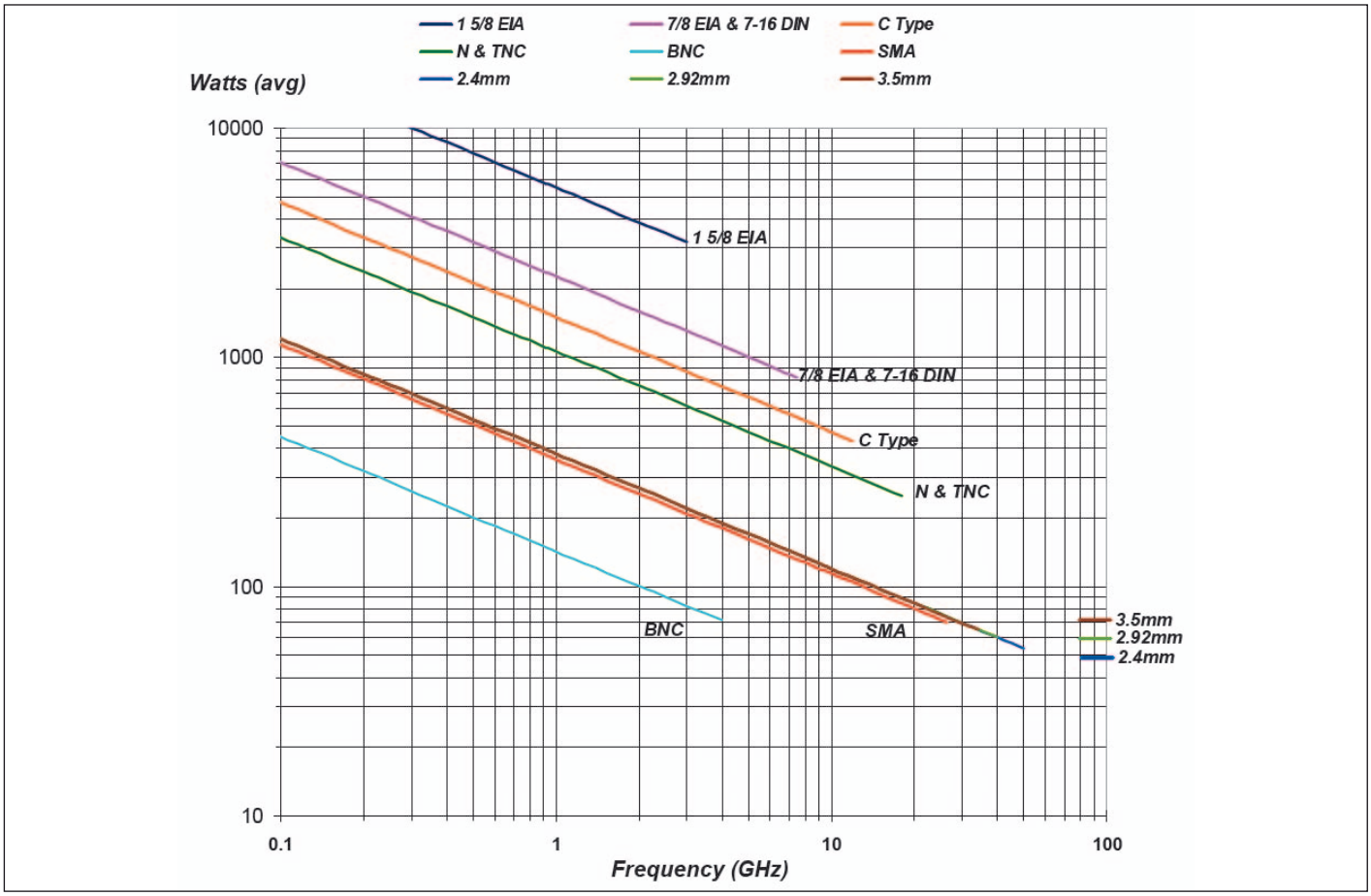
Das Leistungsdiagramm ist die theoretische Darstellung eines Anschlusses mit angepasster Impedanz (50 Ohm) und einem VSWR < 1,35: 1. Unter diesen Umständen werden ungefähr 97,7% der vorlaufenden Leistung an die Last abgegeben, was zu minimaler reflektierter Leistung führt. Die Handhabung der Leistung kann abhängig von VSWR, Umgebung, Steckerhersteller usw. stark schwanken. Die tatsächlichen maximalen Leistungspegel bei niedrigen Frequenzen hängen von der internen Durchbruchsspannung im Steckverbinder ab.

Dieser Wert wird durch die Gleichung

$$P = k/VF$$

ermittelt, in der k eine Konstante, P die Leistung in Watt und F die Frequenz in MHz ist. Dies geht davon aus, dass bei einer gegebenen Frequenz eine maximale Leistung akzeptiert wird. Ein Beispiel: der N-Stecker ist mit 1000 W @ 1 GHz belastbar.

Die folgende Tabelle „Maximale Frequenz, Leistung und Kupplungs-Anziehdrehmoment" definiert wichtige Parameter für die



Stecker-Leistungsbelastbarkeit vs. Frequenz

HF-Stecker, die in dieser Anwendungsschrift vorgestellt werden.

Maximale Frequenz, Leistung und Kupplungs-Anziehdrehmoment

Wenn Sie den HF-Steckverbinder mit Hilfe der obigen Auswahlhilfe gefunden haben, ist der nächste logische Schritt die Auswahl passender Koaxialkabel. Es gibt Myriaden von Koaxialkabelbaumustern, aus denen man wählen kann. Wie bei den HF-Koaxialsteckern, werden auch Koaxialkabel aufgrund ihre physischen Merkmale sowie der elektrischen Parameter eingestuft. Es gibt flexible und semi-flexible sowie steife, gepanzerte Kabel. Elektrische Parameter wie charakteristische Impedanz (50 und 75 Ohm sind üblich), Einfügungsverlust, maximale Spannung und maximal verträgliche HF-Leistungsfähigkeit müssen berücksichtigt werden. Die Anwendung bestimmt die Auswahl des korrekten Koaxkabels. Einige Anwendungen benötigen dämpfungsarme Kabel, um die Leistungsübertragung zu maximieren. Andere Anwendungen erfordern flexible Kabel, möglicherweise ohne einschränkende Armierung, für höhere Benutzerfreundlichkeit. Koaxialkabel tragen zur Gesamtleistung eines HF-Systems bei, können aber ein Begrenzungsfaktor sowohl für die maximale Frequenz als auch die Leistungsbelastbarkeit sein. Berücksichtigen Sie immer, dass jedes mögliches Kabel eine Frequenz- und Leistungsbegrenzung hat, die durch den Stecker mit den niedrigsten Leistungs- und Frequenzspezifikationen verursacht wird, der damit das schwächste Glied in der Kette ist.

Um die Kabelauswahl zu erleichtern hat AR/HF Microwave Instrumentation eine Reihe von Koaxkabeln hoher Qualität entwickelt, die auf Bestellung produziert werden. Diese dämpfungsarmen Kabel sind durch ein sehr niedriges VSWR gekennzeichnet und werden entsprechend den Anforderungen des Endbenutzers hergestellt. Es gibt vier grundlegende Serien:

CCxxxx – Diese Kabelserie enthält eine breite Auswahl an Kabeln, die mit den AR-Breitbandverstärkern der Serien A, S, W und T kompatibel sind. Es werden Kabel mit einem Frequenzbereich von DC bis 18 GHz und einer Leistungsbelastbarkeit 70 bis 15 KW angeboten.

CC1 Serie – Dies sind gepanzerte, dämpfungsarme Kabel für Anwendungen bis 18 GHz, die mit SMA-, TNC-, N- oder 7-16-Steckern vorhanden sind.

CC2 Serie - Gepanzerte, dämpfungsarme Kabel für Anwendungen bis 40 Gigahertz. Sie sind mit 2.4-mm-, 2.92-mm-, 3.5-mm-, SMA-, TNC- oder N-Steckern lieferbar.

CC3 Serie - Dämpfungsarme Kabel für Anwendungen mit höherer Leistung im Frequenzbereich bis zu 12,4 GHz. Sie sind mit N- oder 7-16-Steckern erhältlich. ◄

Fazit

HF-Koaxialstecker und Koaxkabel sind häufig die „vergessenen“ Komponenten in HF-Anlagen.Da so viel Zeit für die Auswahl der grundlegenden Ausrüstung dieser Anlagen verwendet wird, neigen Anlageningenieure häufig dazu, durch die Phase der Zubehörspezifikation zu „hetzen“. Diese Applikation soll auf diese Bereiche hinweisen, in der Hoffnung, dass ihre Bedeutung hinreichend demonstriert worden ist.