APPLICATION NOTE

ANE022 | Koaxialsteckverbinder
Elektrische Leistungsindikatoren

Olan Tsai

1. EINLEITUNG UND THEORETISCHER HINTERGRUND

HF-Steckverbinder sind wesentliche Komponenten in einer Vielzahl von elektronischen Geräten und Kommunikationssystemen. Sie sind für die Übertragung von Hochfrequenzsignalen, wie z. B. Hochfrequenz- und Mikrowellensignale, mit minimalem Signalverlust und hoher Zuverlässigkeit ausgelegt. Die koaxiale Struktur, die aus einem Innenleiter, einer Isolierschicht und einem Außenleiter besteht, verhindert wirksam elektromagnetische Störungen und eine Verschlechterung der Signale. Das Verständnis der elektrischen Leistungsindikatoren von HF-Steckverbindern, einschließlich ihrer maximalen Spannungs-, Strom- und Leistungswerte, ist unerlässlich. Diese Parameter sind entscheidend für den sicheren und zuverlässigen Betrieb der Steckverbinder, insbesondere in Szenarien mit hoher Leistung. Dieser Hinweis enthält typische Werte für die maximale Spannung, Stromstärke und Leistungsaufnahme verschiedener koaxialer Steckverbinder, um sicherzustellen, dass die Benutzer den geeigneten Steckverbinder für ihre Anforderungen auswählen können.

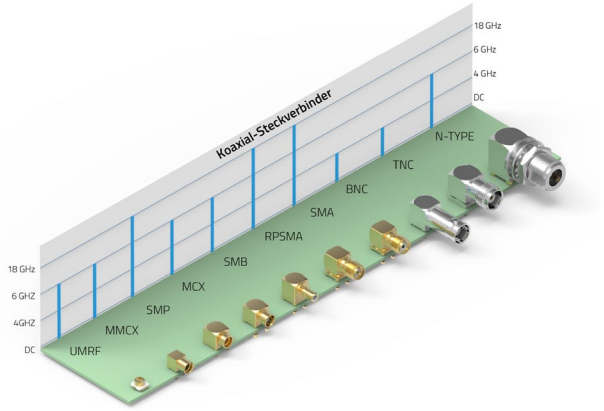

Abbildung 1: Frequenzbereich der Koaxialstecker.

1.1 Umgang mit Spannung

Die maximale Spannung, die ein Koaxialsteckverbinder aushalten kann, wird durch die dielektrische Spannungsfestigkeit definiert, d. h. die höchste Spannung, die das Isoliermaterial des Steckverbinders aushalten kann, ohne einen Durchschlag zu erfahren. Diese Spannung wird durch standardisierte Tests ermittelt und gewährleistet einen sicheren Betrieb unter bestimmten Bedingungen.

Durchschlagsfestigkeit

Dieser Parameter ist der Eckpfeiler der Spannungsbelastbarkeit und gibt die maximale Spannung an, der das Isoliermaterial ohne elektrischen Durchschlag standhalten kann.

Zu den gängigen Isoliermaterialien für HF-Steckverbinder gehören u. a. PTFE, POM und LCP. Die physikalische Konstruktion und der Aufbau des Steckverbinders, einschließlich der Abstände und der Geometrie der Leiter und Isolatoren, spielen eine wichtige Rolle bei der Spannungsfestigkeit. Darüber hinaus können Umgebungsfaktoren wie Temperatur, Feuchtigkeit und der Kontakt mit Verunreinigungen die Spannungsfestigkeit eines Steckverbinders beeinflussen. Die richtige Konstruktion und Materialauswahl sind entscheidend für die Optimierung der Spannungsfestigkeit in bestimmten Anwendungsumgebungen.

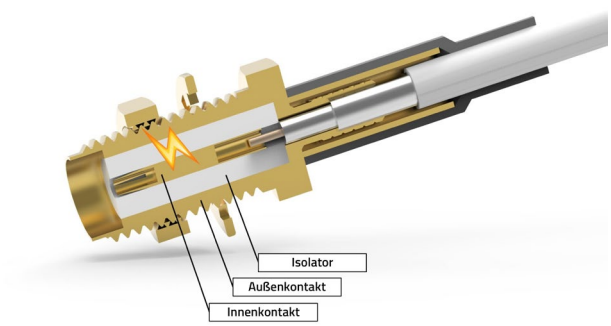

Abbildung 2: Querschnitt eines Koaxialsteckers mit einem Blitzsymbol, das die Prüfung der Spannungsfestigkeit des Dielektrikums anzeigt. Zwischen dem Innen- und dem Außenleiter wird eine Hochspannung angelegt, um sicherzustellen, dass die Isolierung der Spannung ohne Durchschlag standhält.

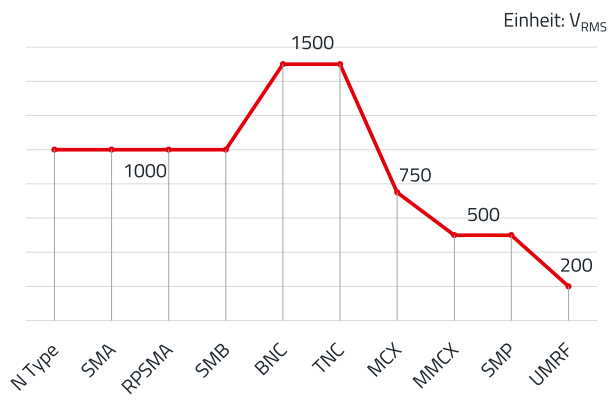

Abbildung 3: Maximale Spannung pro Steckertyp. Unterschiedliche Produktdesigns können unterschiedliche Maximalspannungen aufweisen. Die spezifischen Werte sind im Datenblatt angegeben.

1.2 Nennspannung

Die Nennspannung ist die maximale Dauerspannung, die ein Koaxialsteckverbinder bei normalem Betrieb ohne Beeinträchtigung oder Ausfallrisiko verarbeiten kann. Sie ist in der Regel niedriger als die Durchschlagsfestigkeit, um eine Sicherheitsmarge zu bieten. Die Nennspannung wird auf der Grundlage von Faktoren wie den dielektrischen Materialeigenschaften, der Steckverbinderkonstruktion und der Betriebsumgebung bestimmt. Die Sicherstellung, dass die Nennspannung nicht überschritten wird, ist entscheidend für die langfristige Zuverlässigkeit und Sicherheit des Steckverbinders.

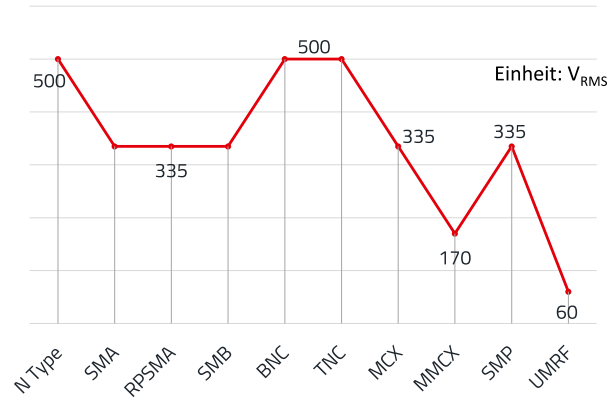

Abbildung 4: Steckverbinder und deren typische Nennspannungen.

1.3 Strombelastbarkeit

Die Strombelastbarkeit eines Koaxialsteckers ist durch die thermischen Eigenschaften seiner Materialien und seiner Konstruktion begrenzt. Ein übermäßiger Strom kann zu Überhitzung führen, was Materialbeschädigung und einem Ausfall des Steckverbinders zur Folge hat. Der Innenleiter und der Kontaktwiderstand des Steckers sind entscheidende Faktoren, die seine Strombelastbarkeit beeinflussen.

Bei der Festlegung des maximalen Stroms, den ein Koaxialsteckverbinder führen kann, ist es wichtig, nicht nur die Spannungsfestigkeit, sondern auch die maximale Leistung zu berücksichtigen. Die Beziehung zwischen Spannung, Strom und Leistung ist entscheidend für die Bestimmung der sicheren Betriebsgrenzen des Steckverbinders.

Der maximale Strom wird nach folgender Formel berechnet:

$$I_{max} = \frac{P_{max}}{V_{max}} \qquad (1)$$

Durch die Begrenzung des Stroms wird sichergestellt, dass der Steckverbinder innerhalb seiner thermischen und elektrischen Grenzen arbeitet, was Überhitzung und mögliche Ausfälle verhindert.

1.4 Maximal übertragbare Leistung

Die Leistungsbelasbarkeit eines Koaxialsteckers ist ein kritischer Parameter, insbesondere bei Hochfrequenzanwendungen.

Diese Belastbarkeit wird durch die Fähigkeit des Steckverbinders definiert, Leistung zu übertragen, ohne die Funktionalität oder Sicherheit zu beeinträchtigen.

Um die Belastbarkeit eines Koaxialsteckers über verschiedene Frequenzen hinweg genau zu bestimmen, muss der Einfluss der Einfügungsdämpfung berücksichtigt werden. Die Einfügedämpfung, die in der Regel in Dezibel (dB) gemessen wird, stellt den Verlust an Signalleistung dar, der durch das Einfügen eines Steckers in eine Übertragungsleitung entsteht. Dieser Verlust nimmt mit der Frequenz zu und verringert somit die effektive Leistungsaufnahme des Steckers.

Die allgemeine Formel zur Abschätzung der Belastbarkeit bei einer bestimmten Frequenz f lautet:

$$P(f) = V_{max} \cdot I \cdot 10^{-\frac{L_{dB/GHz} \cdot (f - 1)}{10}} \qquad (2)$$

- V_{max}: Maximale Spannung, die am Steckverbinder anliegt [V].
- I: Strom durch den Steckverbinder [A].
- L(F): Einfügedämpfung [dB].

Die Formel berücksichtigt die Übertragungsverluste L(f), indem die Leistung um den Faktor $10^{-(L(f)/10)}$ reduziert wird. Das Produkt $V_{max} \cdot I$ entspricht der Gesamtleistung ohne

Berücksichtigung von Verlusten. $10^{-(L(f)/10)}$ beschreibt die verbleibende Leistung nach der frequenzabhängigen Dämpfung. Diese Formel berücksichtigt jedoch nicht direkt die thermischen Effekte, die durch dielektrische und leitende Verluste bei hohen Frequenzen entstehen.

Die bei hohen Frequenzen entstehende Wärme hat erhebliche Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit des Steckverbinders. Insbesondere nehmen mit steigender Frequenz die Leiter- und dielektrischen Verluste zu, was zu einem Temperaturanstieg führt, der die Leistung und Zuverlässigkeit des Steckverbinders beeinträchtigt. Daher müssen bei der Berechnung der Leistung eines Steckverbinders bei hohen Frequenzen nicht nur die Einfügedämpfung, sondern auch die thermischen Auswirkungen berücksichtigt werden.

Um die Leistung eines Steckverbinders bei hohen Frequenzen genauer zu berechnen, müssen folgende Faktoren berücksichtigt werden:

- Leitungsverluste: Bei hohen Frequenzen konzentriert sich der Strom aufgrund des Skin-Effekts auf die Oberfläche des Leiters, wodurch der Widerstand und dadurch die Verluste des Leiters steigen.
- Dielektrischer Verlust: Bei hohen Frequenzen erhöht sich der Verlustfaktor des dielektrischen Materials, was dazu führt, dass im Isolationsmaterial mehr Energie in Wärme umgewandelt wird.
- Wärmemanagement: Die Wärmeleitfähigkeit des Materials und die Fähigkeit zur Wärmeableitung des Steckverbinders im System bestimmen, ob er bei hoher Leistung eine niedrige Temperatur halten kann.

Eine komplexere und präzisere Berechnungsmethode erfordert die Simulation thermischer Effekte unter Hochfrequenzbedingungen, wozu in der Regel eine elektromagnetische Feldanalyse und eine thermische Analyse verwendet werden.

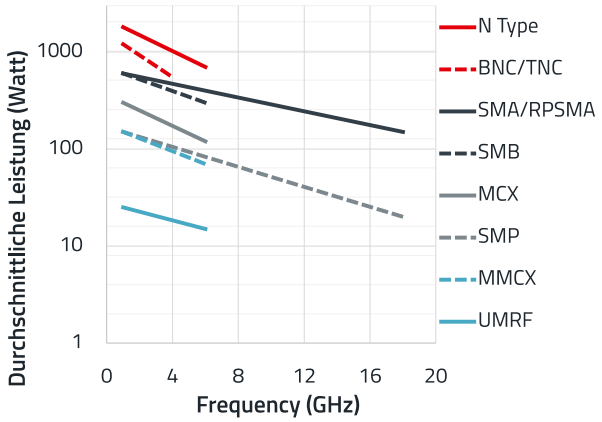

Abbildung 5: Die durchschnittliche Leistungsfähigkeit von Koaxialsteckverbindern unter Berücksichtigung von thermischen Hochfrequenzeffekten. Es ist wichtig zu beachten, dass die Werte der Belastbarkeit je nach Konstruktion des Produkts und der Betriebsumgebung variieren können.

2. FAZIT

Bei der Auswahl von Koaxialsteckverbindern ist es wichtig, ihre Spannungs-, Strom- und Leistungsaufnahmefähigkeit je nach Betriebsfrequenz und Verwendung zu berücksichtigen. Richtig ausgewählte Steckverbinder bieten folgende Vorteile:

- **Stabiler Betrieb**: Der Betrieb innerhalb der vorgegebenen Grenzen erhöht die Betriebsstabilität und verringert das Ausfallrisiko.
- **Signalqualität**: Die korrekte Handhabung von Spannung und Strom bewahrt die Signalintegrität und reduziert Verzerrungen.
- **Verlängerte Lebensdauer**: Durch die Vermeidung von Überlastungen und thermischen Schäden wird die Lebensdauer der Steckverbinder verlängert.
- **Verlässlichkeit**: Geringeres Risiko von Ausfällen und Überhitzung verbessert die Zuverlässigkeit des gesamten Systems.
- **Geringere Wartung**: Geeignete Steckverbinder verringern die Notwendigkeit eines häufigen Austauschs, was Kosten spart.
- **Erhöhte Leistung**: Garantiert eine stabile Leistung bei Hochfrequenzanwendungen.
- **Sicherheit**: Die Einhaltung der Stromrichtlinien verhindert Überlastungen und Kurzschlüsse und gewährleistet so die Sicherheit für das System und den Bediener.

Neben der Auswahl von Steckverbindern mit geeigneten elektrischen Eigenschaften kann sich auch die Haltbarkeit ihrer mechanischen Struktur - insbesondere beim Verbinden und Trennen - auf ihre elektrische Leistung auswirken. Zu den wichtigsten zu berücksichtigenden mechanischen Faktoren gehören:

- **Haltbarkeit und Abnutzung**: Häufiges Stecken und Lösen von Steckverbindungen kann die Oberflächenbeschichtung des Steckverbinders abnutzen, was den Kontaktwiderstand erhöhen und die elektrische Leistung beeinträchtigen kann.
- **Beschädigung oder Verformung des Steckers**: Mechanische Abnutzung oder Beschädigung kann die HF-Eigenschaften des Steckverbinders verändern und seine Fähigkeit beeinträchtigen, die ursprünglichen Sicherheits- und Durchschlagsfestigkeitswerte zu erfüllen.

Regelmäßige Inspektionen, Wartung und rechtzeitiger Austausch von Steckverbindern sind daher unerlässlich, um die elektrische Sicherheit und Leistung des Produkts zu gewährleisten.