

11

elspec group
GmbH



Semi Rigid Kabel



11

Semi Rigid Kabel

Dipl. Ing. Thomas Weber | elspec group



Das Semi Rigid Koaxialkabel lässt sich leicht biegen, wickeln, abisolieren, maschinell bearbeiten und löten.

Semi Rigid Kabel (Festmantelkabel) werden in erster Linie bei Anwendungen in sehr hohen Frequenzbereichen (bis 110GHz) eingesetzt. Das Semi Rigid Kabel ist einzigartig, da es sich leicht in die fertige Form biegen lässt und auch nach dem Biegen noch seine Festigkeit behält. Diese Eigenschaft macht es ideal für den Einsatz bei automatisierten Biegemaschinen sowie für die Handbiegung.

Die Kabel von unseren Herstellern sind nach MIL-DTL-17 spezifiziert und können mit den entsprechenden Zertifikaten ausgeliefert werden. Lieferbare Kabeldurchmesser sind von 0,034 Zoll bis 0.500 Zoll. Lieferbarer Impedanzbereich von 10 Ohm bis 100 Ohm.

1 MIL-DTL-17 QPL

Unser vielfältiges Sortiment von 27 QPL-Kabeln umfasst Kupfer- und Aluminiummantelkabel mit den Durchmessern .034, .047, .086, .141 und .250inch. Diese sind in der Ausführung Kupfer, Kupfer verzinkt oder Kupfer versilbert erhältlich.

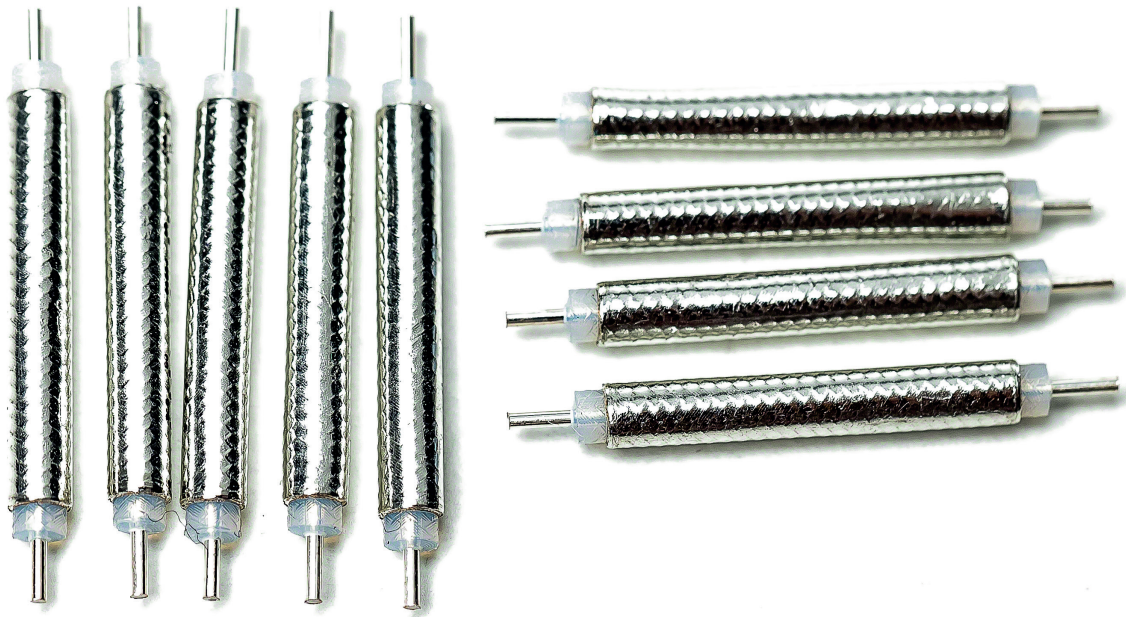
Low Loss 50 Ohm Kabel: Dämpfungsarme Semi Rigid Koaxialkabel übertragen eine höhere Leistung mit geringen Leitungsverlusten. Diese Kabel senken die Dämpfung um weitere 20% und verlängern die Betriebstemperatur auf bis zu 250°C. Bitte fragen Sie detaillierte Testreports an.

Edelstahlkabel 50 Ohm: Edelstahlkabel erfüllen kryogene oder medizinische Anwendungen, bei denen eine geringe Wärmeleitfähigkeit erforderlich ist.

Description	Shortterm	Impedance	External Diameter	Outer Conductor
M17/154-00001	CR-034-M17	50	0.034inch / 0.86mm	Copper
M17/154-00002	CR-034-M17-TP	50	0.034inch / 0.86mm	Tinned Copper
M17/151-00001	CR-047-M17	50	0.047inch / 1.2mm	Copper
M17/151-00002	CR-047-M17	50	0.047inch / 1.2mm	Tinned Copper
M17/133-RG405	CR-085-M17	50	0.085inch / 2,2mm	Copper
M17/133-00001	CR-085-M17-TP	50	0.085inch / 2,2mm	Tinned Copper
M17/130-RG402	CR-141-M17	50	0.141inch / 3.6mm	Copper
M17/130-00001	CR-141-M17-TP	50	0.141inch / 3.6mm	Tinned Copper

2 Innenleiter

Der Innenleiter ist massiver Draht, der als primärer elektrischer Signalträger für jedes Koaxialkabel dient. Die meiste Dämpfung tritt an der Oberfläche des Innenleiters auf, da der „Skin-Effekt“ von Mikrowellensignalen das Finish oder die Beschichtung zu einem sehr wichtigen Element macht. Litzenleiter werden in der Regel nur in flexiblen Kabelkonstruktionen für mehr Flexibilität eingesetzt. Im Vergleich dazu haben massive Innenleiter eine geringere Dämpfung und neigen dazu, bei Biegung amplitudenstabiler zu sein, während litzenförmige Innenleiter bei Biegung phasenstabiler sind. Historie: Bei größeren Semi Rigid Kabeln wurde früher ein rohrförmiger Innenleiter eingesetzt. Der rohrförmige Innenleiter reduziert Gewicht und Wärmeleitfähigkeit, ohne die elektrische Leistung zu beeinträchtigen.



- Versilbertes Kupfer (SPC) nach ASTM B-298 und versilberter kupferplattierter Stahl, nach ASTM B-501 auch als versilberte Kupferplattierung (SPCW) bezeichnet, sind die beiden gebräuchlichsten Innenleitermaterialien.
- Die Versilberung ist nicht nur ein hervorragender elektrischer Leiter, sondern verhindert auch die Oxidation während der Herstellung und verbessert die Lötbarkeit des fertigen Kabels.
- Edelstahl und Beryllium Kupfer werden auch dann eingesetzt, wenn eine geringe Wärmeleitfähigkeit im Vordergrund steht. Andere Werkstoffe, darunter viele Kupferlegierungen, sind auf Anfrage erhältlich.

3 Dielektrik

Das am häufigsten verwendete Dielektrikum für Semi-Rigid-Koaxialkabel ist Polytetrafluorethylen (PTFE), sowohl in voller Dichte als auch in geringer Dichte-Ausführung (bekannt als Low Loss, Micro-Pore PTFE, gewickeltes PTFE, PTFE-Tape verlustarme oder mikroporöse) Formen. PTFE ist aufgrund seiner geringen Reaktivität gegenüber Chemikalien, einer Betriebstemperatur, die der Hitze des Lötens standhält, eine ausgezeichnete Wahl für ein Kabeldielektrikum. Kabel mit einer niedrigen Dielektrizitätskonstante, die geringere Dielektrizitätsverluste bieten, benötigen auch einen größeren Mittelleiterdurchmesser, um die gleiche charakteristische Impedanz zu erhalten. Der größere Mittelleiter kann die gesamte Kabeldämpfung deutlich senken. Darüber hinaus bestimmt das Dielektrikum die Ausbreitungsgeschwindigkeit, den Temperaturbereich, die Leistungsstufe, die Phasen- und Amplitudenstabilität und trägt zur Kabelflexibilität bei.

Das Isoliermaterial zwischen Mittel- und Außenleiter hält den Abstand und die Geometrie des Kabels aufrecht und gewährleistet die mechanische Integrität während des Formens und Biegens. Die meisten Übertragungsverluste werden entweder direkt oder indirekt durch das Dielektrikum verursacht.



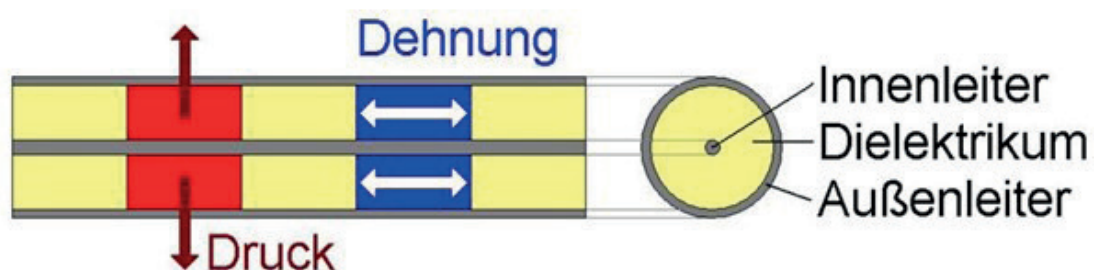
4 Außenleiter

Der Außenleiter dient vielen Zwecken. Es ist die elektrische Abschirmung, die zur Kabeldämpfung beiträgt und die HF-Leckage kontrolliert. Durch feinmechanische Toleranzen minimiert der Außenleiter den Return Loss (VSWR) durch Einhaltung eines konstanten Wellenwiderstandes ($50 \pm 1 \text{ Ohm}$). Der Außenleiter ist das primäre Verbindungselement, das die Steckverbinder fest mit dem Kabel verbindet. Er dient oft dem Umweltschutz und bestimmt die Flexibilität oder wie einfach das Kabel geformt oder gebogen werden kann.

Die am häufigsten verwendeten Materialien sind z.B. Rohre für Semi Rigid Kabel, verzinnte Geflechte für konforme Kabel oder eine Folie für flexible Koaxialkabel. Die Materialauswahl beinhaltet typischerweise Abstriche bei der elektrischen Leistung, Größe und Flexibilität.

5 Wie das Semi Rigid Kabel verwendet wird

Die für halbstarre Kabel spezifizierte elektromechanische Leistung wird durch eine Presspassung zwischen dem Außenleiter und dem dielektrischen Kern erreicht, was wiederum Fertigungsprozesse erfordert, die eine Verformung des Kerns durch Druck und Dehnung verursachen. Die daraus resultierende Spannung, die anfänglich ungleichmäßig ist, neigt dazu, sich durch Kaltfluss innerhalb weniger Wochen nach der Herstellung auszugleichen und führt zum Zurückziehen der Ader in das Kabel. Wenn dies bei Kabeln auftritt, die Teil einer Kabelbaugruppe geworden sind, kann die daraus resultierende Entwicklung eines Luftpolsters in der Kabel-Steckverbinder-Schnittstelle zu einem Anstieg des VSWR führen. Es ist daher vorteilhaft, eine Kernspannungsentlastung durch Vorkonditionierung des Kabels zu erreichen, bevor es zu einer Kabelbaugruppe wird.



6 Vorkonditionierungsverfahren

Die Vorkonditionierung ist bei großen Kabellängen nicht wirksam. Das Biegen von Kabeln, das normalerweise mit der Herstellung von Kabelbaugruppen verbunden ist, neigt dazu, ungleichmäßige Kernspannungen einzuführen; daher empfiehlt *CarlisleIT* eine Vorkonditionierung nach dem Biegen und vor dem Anbringen der Steckverbinder. Da die Vorkonditionierung dazu führt, dass das Dielektrikum in das Kabel zurückgezogen wird, sollte bei der Vorbereitung der Kabelbaugruppe eine Länge von $\frac{1}{4}$ Zoll an jedem Kabelende über die Konstruktionsabmessung hinaus berücksichtigt werden. Der Außenleiter und der Kern sollten erst nach Abschluss der Vorkonditionierung auf die endgültigen Abmessungen zugeschnitten werden.

- Erhitzen Sie die Probe auf die maximale Betriebstemperatur. Mindestens eine Stunde auf Temperatur halten.
- Die Probe auf Raumtemperatur bringen. Eventuell überstehenden Kern bündig mit dem Rand des Außenleiters abschneiden.
- Die Probe mindestens eine Stunde bei Raumtemperatur halten.
- Die Probe auf -45°C abkühlen lassen und mindestens eine Stunde lang bei dieser Temperatur halten.
- Die Probe auf Raumtemperatur bringen und mindestens eine Stunde lang aufbewahren.

Ein empfohlenes Vorkonditionierungsverfahren besteht aus folgenden Arbeitsschritten.

Dieses Verfahren sollte dreimal durchgeführt werden. Nach dem letzten Temperaturzyklus die Probe mindestens 24 Stunden bei Raumtemperatur halten, bevor mit der weiteren Verarbeitung begonnen wird. Es bewährt sich eine Checkliste zu erstellen bevor Sie die Kabelkonfektion herstellen, z.B. Zustand der Biegevorrichtung, Qualität der Abisolierungen (Gratbildung), Lötstellen, Sauberkeit der Oberfläche, Sauberkeit der Werkzeuge. Das Produkt Semi Rigid Kabel ist ein komplexes Kabelsystem. Es ist wichtig durch Prototypen den Serienstand zu überprüfen.

7 Assemblierungstechniken

Ablängen der Semi Rigid Koaxialkabel:

Semi Rigid Kabel mit Außenleitern aus Kupfer und Aluminium werden mit Kreissägen, die mit Metallsägeblättern aus Schnellarbeitsstahl oder Kobaltstahl ausgestattet sind, geschnitten. Für diese spezielle Aufgabe stehen mehrere Tischmaschinen zur Verfügung. Für Leiter aus kupferplattiertem Stahl, Edelstahl oder Kupferlegierungen können spezielle Schneidtechniken erforderlich sein. Schleiftrennscheiben mit geeigneter Dicke reichen in der Regel aus, wobei eine Entgratung erforderlich sein kann. Das Trockenschneiden ist dem Schneiden mit Flüssigkeitskühlung oder Schmierung vorzuziehen, um ein mögliches Eindringen der Flüssigkeiten in die Kabelenden zu verhindern.

Abisolieren:

Abschnitte von massiven rohrförmigen Außenleitern können wieder bewegt werden, indem man eine Umfangsrille oder Ritzmarkierung macht und den Leiter an dieser Markierung bricht. (Dies ist ähnlich wie das Schneiden von Glas, das Ritzen einer Linie und das Brechen auf derselben Linie). Die Ritzlinie sollte eine angemessene Tiefe haben, einzeln sein und die Enden sollten sich berühren. Der Grat am Außenumfang der Leiterkante sollte minimiert werden. Beim Einritzen in den Außenmantel nicht in das Dielektrikum eindringen. Ein Einritzen in das PTFE führt dazu, dass die äußere Leiterkante in das Dielektrikum gerollt wird. Dieses würde zu einer elektrischen Diskontinuität an dieser Stelle führen.

Das Schneiden des Außenleiters mit einer rotierenden Sägeblatt- oder einer Juweliersäge erfordert nachfolgende Planarbeiten und die sorgfältige Entfernung aller im Dielektrikum eingebetteten Späne. Diese Methode wird nicht für Anwendungen empfohlen, die eine höhere elektrische Leistung erfordern. Die Entfernung des abgerissenen Außenleiterabschnitts erfolgt durch schnelles Brechen an der Leitung (ähnlich dem Bruch eines Glasstücks) durch Biegen in zwei entgegengesetzte Richtungen. Biegen Sie nicht zu weit, da dies zu einer Verformung der Leiterkante führt. Das Stück kann dann mit einer Zange abgezogen werden. Wenn hier ein bündiger Streifen zum Mittelleiter erforderlich ist, kann mit einer Rasierklinge das Dielektrikum geschnitten werden. Eine Drehung entfernt gleichzeitig Leiter und Dielektrikum.

Beim Schneiden des Dielektrikums ist es wichtig, eine Führung zur Begrenzung der Durchdringung zu haben, um eine Beschädigung des Mittelleiters zu vermeiden. Eine solche Beschädigung würde nicht nur die elektrische Leistung beeinträchtigen, sondern auch mechanische Spannungen bei nachfolgenden Fertigungs- oder Betriebsbedingungen können zum Bruch des Leiters führen.

Biegen von Semi Rigid Koaxialkabel:

Beim Biegen von Semi Rigid sollte eine geeignete Vorrichtung verwendet werden, die eine Klemmvorrichtung für das Kabel und einen Dorn mit entsprechenden Abmessungen aufweist. Ein idealer Dorn sollte eine Profilierung besitzen, damit das Kabel fließen kann. Eine Kante im Biegedorn sollte unbedingt vermieden werden. Das Werkzeug zum Biegen des Kabels sollte ebenfalls profiliert werden, damit das Kabel am Biegetangentenpunkt vollständig fixiert ist.

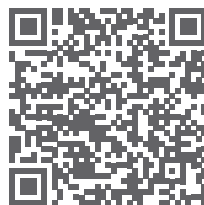
Biegungen mit großem Durchmesser können auf Flachdornen mit geringer oder keiner Verformung durchgeführt werden. Aufgrund der Komplexität der Formen können spezielle Werkzeuge erforderlich sein, aber es stehen automatisierte oder halbautomatische, universell programmierte Maschinen zur Verfügung. Um eine Faltenbildung des Kabels im Biegebereich zu vermeiden, muss an der Biegetangente Druck auf das Kabel ausgeübt werden, wodurch das Kabel gegen den Dorn gedrückt wird. Ein zu hoher Druck verursacht eine Wölbung im Außenleiter am Ende des Biegebereichs auf der Innenseite.

Das Kabel weist eine geringe Menge an „Rückfederung“ auf, so, dass der Dorn etwas kleiner als die angegebene Biegung sein muss. Dies ist kein vorhersehbares Verhalten, so dass einige Experimente notwendig sind (normalerweise je größer die Biegung, desto größer die Rückfederung). Bitte beachten Sie die Biegeradien im Datenblatt und unterschreiten Sie diese nicht. Andernfalls kommt es zu einer elektrischen und mechanischen Beeinträchtigung.



So formt man Semi Rigid Kabel richtig:

Zum Thema Semi Rigid Kabel haben wir viele hilfreiche Tipps und Tricks über die letzten Jahrzehnte gesammelt. Ein paar davon haben wir in einem praktischen Video zusammengestellt:





Impressum

©2020 by el-spec GmbH

Konzept, Text, Zeichnungen: Thomsa Weber, el-spec GmbH, Geretsried

Layout und Gestaltung: Monika Köteles Stephan, München

Fotos: Till Luz | Till Luz Photography

Udo Klünsch | kpr kommunikation

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

Lauterbachstraße 23c

82538 Geretsried

Geschäftsführer: Thomas Weber

www.elspecgroup.de

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