

EMV von Steckverbindern und Verbindungskabeln

4. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel Verlag Würzburg am 29. und 30. Juni 2010

Bernhard Mund, [bedea](http://bedea.com) Berkenhoff & Drebes GmbH,
Herbornerstraße 100, D-35614 Asslar, Germany, bmund@bedea.com

1 Zusammenfassung und Einleitung

Das Maß für Schirmwirkung von Kabeln und Steckern hängt von der Länge des Prüflings bzw. vom Frequenzbereich ab. Bei tiefen Frequenzen bzw. bei elektrisch kurzen Prüflingen ist der Kopplungswiderstand das Maß für die Schirmung; bei höheren Frequenzen bzw. bei elektrisch langen Prüflingen wird die Schirmdämpfung gemessen.

Die Messverfahren der Schirmwirkung für Stecker basieren im Allgemeinen auf den Messverfahren für Kabel und müssen den speziellen Anforderungen der Stecker entsprechend angepasst werden.

Für die Messung der Schirmwirkung von Kabeln und Steckern gibt es drei grundsätzliche Messprinzipien, das Zangenverfahren, das Speisedrahtverfahren und das Triaxiale Verfahren.

Der folgende Beitrag gibt einen Überblick über die verschiedenen Messverfahren und beschreibt die Unterschiede dieser Verfahren bei der Messung des Kopplungswiderstandes und der Schirmdämpfung von Kabeln und Steckern.

2 Kopplungswiderstand und kapazitive Kopplung

Der Kopplungswiderstand bzw. die Transferimpedanz ist das Maß für die Schirmwirkung geschirmter elektrischer Leitungen und Komponenten bei Frequenzen bis ca. 30 MHz.

Durch äußere magnetische Felder wird im Kabelschirm ein Störstrom induziert, welcher an der inneren Oberfläche des Schirms einen Spannungsabfall verursacht. Dieser Spannungsabfall wirkt nun im, vom Kabelschirm geschützten Leitungssystem und beeinflusst die in diesem Leitungssystem übertragenen Signale.

Je kleiner der Spannungsabfall am Schirm ist, um so besser ist die Schirmwirkung gegen von außen wirkende Störfelder. Ein Maß hierfür ist der Kopplungswiderstand R_K , im Englischen Transferimpedanz Z_T genannt.

Der Kopplungswiderstand Z_T ist definiert als das Verhältnis des Spannungsabfalls U_2 längs des Schirmes auf der gestörten Seite zu dem Störstrom I_1 auf der anderen Seite des Schirmes. Die Dimension des Kopplungswiderstandes ist Ohm pro Meter bzw. Milliohm pro Meter

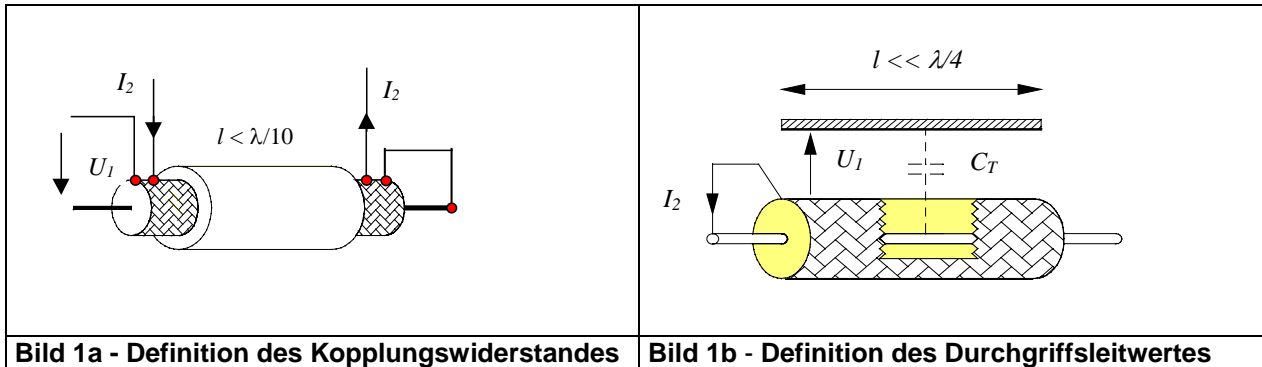
$$Z_T \cdot l = \frac{U_1}{I_2} \quad (1a)$$

In der aktuellen Normung wird der Kopplungswiderstand zum Teil auch als logarithmisches Verhältnis in Dezibel, bezogen auf 1Ω , angegeben.

$$Z_T \text{ dB}(\Omega) = +20 \cdot \log_{10} \left(\frac{|Z_T|}{1\Omega} \right) \quad (1b)$$

Der Kopplungswiderstand kann nur an elektrisch kurzen Elementen gemessen werden. Nach EN 50289-1-6 gilt für elektrisch kurz:

$$f \leq \frac{c_0}{10 \cdot l \cdot \sqrt{\epsilon_{r1}}} \quad \text{bzw. elektrisch lang:} \quad f \geq \frac{c_0}{2 \cdot l \cdot \left| \sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}} \right|} \quad (2a, 2b)$$



Obleich der Kopplungswiderstand demnach nur die galvanische und magnetische Kopplung umfaßt, ist es üblich ihn auch als eine Größe zu benutzen, welche die Wirkung der Kopplungskapazität C_T durch den Kabelschirm einschließt. In diesem Fall spricht man vom äquivalenten Kopplungswiderstand Z_{TE} , der die Wirkung der galvanischen, magnetischen und kapazitiven Kopplung umfaßt.

Wenn man den kapazitiven Durchgriff getrennt erfassen will, gibt es als kennzeichnende Größe den Durchgriffsleitwert Y_T . Er ist, für ein elektrisch kurzes Stück Kabel, definiert als Verhältnis des Stroms, den die kapazitive Kopplung im gestörten Stromkreis verursacht, zur Spannung im störenden Kreis, bezogen auf die Längeneinheit.

$$Y_T = \frac{I_2}{U_1 \cdot l} = j\omega \cdot C_T \quad (3)$$

Bei elektrisch kurzen Kabellängen, wo die Wellenausbreitung unbeachtet bleiben kann, können die auf die Längeneinheit bezogenen Größen der Schirmung unmittelbar für die Berechnung einer Störspannung herangezogen werden. Im Bereich höherer Frequenzen werden die Zusammenhänge jedoch ähnlich verwickelt wie bei den Übertragungseigenschaften einer einfachen Leitung in Abhängigkeit von Widerstands- und Ableitungsbelag und von den Abschlußwiderständen [1].

3 Messverfahren für die Schirmwirkung

3.1 Allgemeines

Die Messverfahren zur Messung der Schirmwirkung von Steckern sind im Allgemeinen von den Messverfahren zur Messung der Schirmwirkung von Kabelschirmen abgeleitet. Der Kopplungswiderstand von Kabelschirmen wird dabei üblicherweise auf die Länge bezogen und in Milliohm pro m ($m\Omega/m$) angegeben.

Bei der Messung des Kopplungswiderstandes bis ca. 30 MHz kann der Prüfling am senderfernen Ende kurzgeschlossen werden. Bei der Messung der Schirmdämpfung bei Frequenzen ab ca. 30 MHz muss der zu prüfende Stecker angepasst werden, d.h. mit seinem Wellenwiderstand abgeschlossen sein.

Bei koaxialen Systemen ist der Nennwellenwiderstand üblicherweise bekannt und die Anpassung mit dem entsprechenden Wellenwiderstand relativ einfach.

Bei Kabeln oder Steckern mit mehreren Leitungen bzw. Kontakten muss zunächst der Wellenwiderstand der zu prüfenden Kombination ermittelt werden.

Bei symmetrischen bzw. bei mehrpaarigen Kabeln und Steckern gibt es darüber hinaus verschiedene Betriebsarten, der Gleichtaktbetrieb (common mode) und der Gegentaktbetrieb (differential mode).

Bei symmetrischen Komponenten oder bei Multipin-Komponenten ist daher zunächst zu entscheiden, für welches Paar bzw. mit welcher Pin-Kombination gemessen werden soll. Weiterhin ist die Frage zu klären, ob der Kopplungswiderstand, die Kopplungsdämpfung oder die Schirmdämpfung gemessen werden soll.

Diese Problematik ist in den meisten Normen zur Messung der Schirmwirkung von Steckern bisher nicht ausreichend berücksichtigt.

3.2 Verfahren mit Absorberzangen

Der Prüfling wird auf einer Länge von ca. 5 Metern zwischen zwei Absorberzangen frei aufgespannt und vom Generator mit HF-Energie beaufschlagt. Die Ferritringe der einen Zange dienen als Absorber, die andere Zange wirkt sowohl als Absorber als auch als Aufnehmer.

Es wird jeweils eine Messung am nahen und am fernen Ende durchgeführt und der schlechtere Wert als Messwert genommen.

Mit dem Zangenverfahren IEC 62153-4-5 und EN 50289-1-6 kann nur die Schirmdämpfung bzw. die Kopplungsdämpfung im Frequenzbereich von 30 MHz bis 1 GHz (MDS 21) bzw. von 500 MHz bis 2,5 GHz (MDS 22) gemessen werden. Zur Messung des Kopplungswiderstandes ist das Zangenverfahren nicht geeignet.

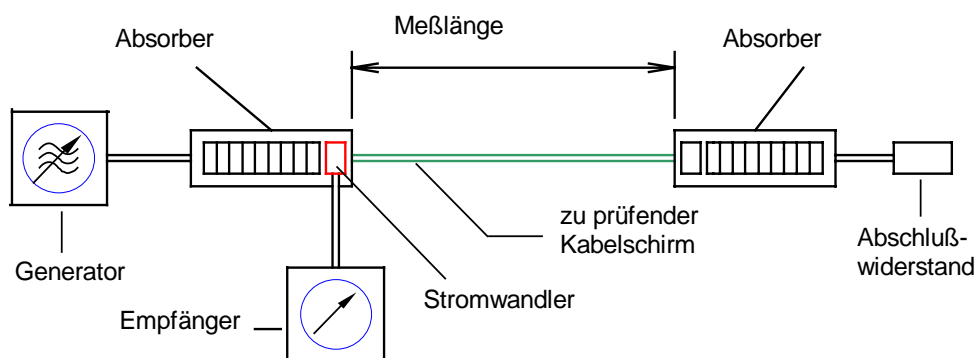


Bild 2 - Schirmdämpfung bzw. die Kopplungsdämpfung mit Absorberzangen

Das Zangenverfahren ist bisher nur zur Messung von koaxialen und symmetrischen Kabeln genormt, es kann im Prinzip jedoch auch zur Messung von Steckern und konfektionierten Kabeln eingesetzt werden. Dazu muss der Prüfling in die Kabelstrecke zwischen den Zangen eingefügt werden.

Das Zangenverfahren ist ein "offenes" System und anfällig gegen Störungen. Zur Messung von hohen Schirmdämpfungen > 75 dB ist eine Messkabine erforderlich.

3.3 Speisedrahtverfahren

Beim Speisedrahtverfahren nach IEC 62153-4-6 und EN 50289-1-6 wird über den sogenannten Speisedraht das Signal in den Prüfling eingekoppelt.

Der über eine Koaxleitung an den Generator angeschlossene Speisedraht beaufschlagt den Prüfling mit HF-Energie. Die vom Prüfling aufgenommene Energie wird vom Empfänger gemessen.

Kritisch ist hier insbesondere die breitbandige Anpassung des Speisedrahtes an den Generator.

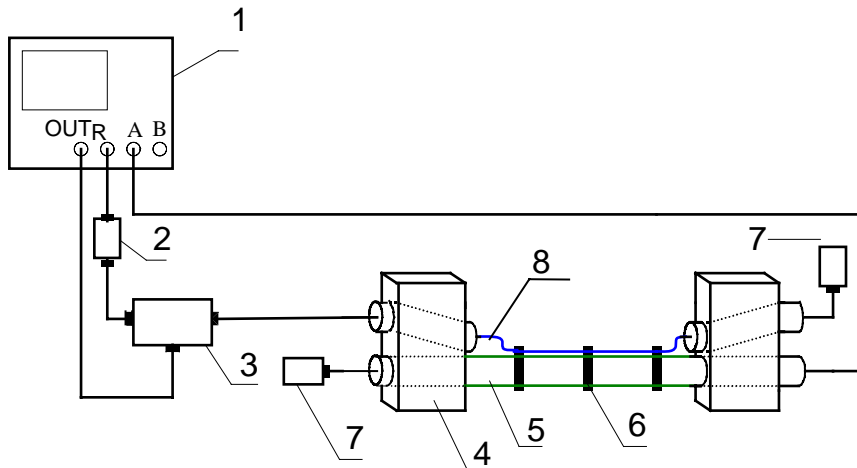


Bild 3 - Prinzipdarstellung des Speisedrahtverfahrens

- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1 Netzwerkanalysator | 5 Prüfling |
| 2 Dämpfungsglied 20 dB | 6 Klebeband |
| 3 Leistungsteiler | 7 Abschlusswiderstand |
| 4 Anpassglieder | 8 Speisedraht |

Der Kopplungswiderstand Z_T ergibt sich aus dem logarithmischen Verhältnis A_T der Speisespannung U_1 zur eingekoppelten Spannung U_2 zu:

$$Z_T = \frac{2}{l} \cdot \sqrt{Z_1 \cdot Z_2} \cdot 10^{\frac{A_T}{20}}$$

Dabei ist: $A_T = U_2/U_1$

Die obere Frequenzgrenze, bis zu der der Kopplungswiderstand gemessen werden kann, hängt von der Länge des Prüflings und von den Unterschieden der Ausbreitungsgeschwindigkeiten des Prüflings und des Aussenraumes ab. Theoretisch reicht diese Grenze bis zu 3 GHz. In der Praxis lässt sich diese Grenze kaum erreichen, da die geforderte, breitbandige Anpassung des Speisedrahtes von mindestens 10 dB Probleme bereitet.

Zu Berechnung der Schirmdämpfung aus dem gemessenen Spannungsverhältnis U_1/U_2 müssen die Wellenwiderstände von Prüfling und Aussenraum bekannt sein.

Auch das Speisedrahtverfahren ist ein offenes System und damit anfällig gegen Störungen von Außen. Anschlussleitungen und Abschlusswiderstände müssen sorgfältig geschirmt werden. Zur Messung von niedrigen Kopplungswiderständen ($< 50 \text{ m}\Omega/\text{m}$) ist eine Messkabine erforderlich. Die Anwendung des Speisedrahtverfahrens erfordert einige Erfahrung.

3.4 Verfahren nach IEC 60512-23-7

Das Verfahren nach IEC 60512-23-7 ist im Prinzip ein triaxiales Verfahren. Der Prüfling mit den angeschlossenen Kabeln bildet den inneren Kreis. Der äussere Kreis wird durch den Aussenleiter des Prüflings und den angeschlossenen Zuleitungen und der Prüfeinrichtung gebildet. Der prinzipielle Prüfaufbau ist in Bild 4 dargestellt. Es wird sowohl am nahen als auch am fernen Ende gemessen.

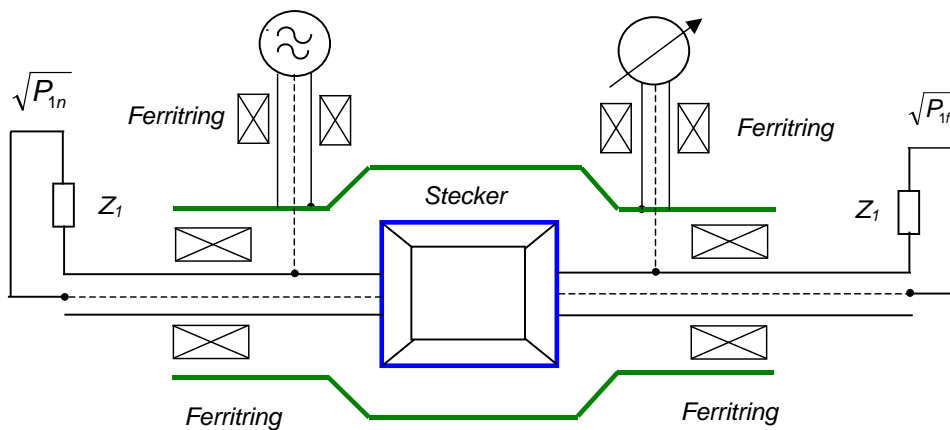


Bild 4 - Verfahren nach IEC 60512-23-7

Ein Verfahren zur Verifizierung des Messaufbaus ist beschrieben. Dazu wird ein 1 Ω Widerstand in Reihe zum Prüfling geschaltet und in die Prüfvorrichtung eingebaut.

Kritisch ist hier u.a. der Einsatz der Ferritringe, die das Auftreten von Erdschleifen verhindern sollen.

3.5 Zusammenstellung der Messverfahren

Tabelle 1 - Messverfahren von Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung für metallische Kommunikationskabel

1.1.1 Norm	Kurz-Titel	Prinzip	Frequenzbereich
EN 50289-1-6	Elektromagnetisches Verhalten von Kommunikationskabeln Deutsche Fassung vier verschiedene Verfahren	Zangenverfahren, Speisedrahtverfahren, Triaxialverfahren (2 x)	
IEC 62153-4-2	Schirm- und Kopplungsdämpfung - Verfahren mit gespeister Zange	Zangenverfahren, gespeiste Zange	Schirmdämpfung 30 MHz bis 1 GHz
IEC 62153-4-3 (EN 50289-1-6)	Kopplungswiderstand Triaxialverfahren (IEC 61196-1, DIN 47250-4, VG 95373-15)	Triaxialverfahren	Kopplungswiderstand bis 100 MHz (1 GHz)
IEC 62153-4-4 (EN 50289-1-6)	Geschirmtes Messverfahren zur Messung der Schirmdämpfung "as" bis zu und über 3 GHz	Triaxialverfahren	Schirmdämpfung 30 MHz bis 20 GHz
IEC 62153-4-5 (EN 50289-1-6)	Kopplungsdämpfung oder Schirmdämpfung - Verfahren mit Absorberzangen	Zangenverfahren, Zange als Aufnehmer	Schirmdämpfung 30 MHz bis 2,5 GHz (2 x 2 Zangen)
IEC 62153-4-6 (EN 50289-1-6)	Kopplungswiderstand - Speisedrahtverfahren	Speisedrahtverfahren	Kopplungswiderstand bis 100 MHz (1 GHz)
VG 95373 Teil 41	Elektromagnetische Verträglichkeit - Elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten - Teil 41: Meßverfahren für geschirmte Kabel und schirmende Kabelschutzschläuche	Triaxialverfahren, Speisedrahtverfahren und Verfahren mit Helmholtz-Spule	Kopplungswiderstand bis MHz
IEC 61726	Strahlenkammer, (Reverberation chamber or mode-stirred chamber)	Verfahren mit Antennen	bis 40 GHz

Tabelle 2 - Messverfahren für Schirmwirkung von Steckern und Assemblies

Norm	Titel	Prinzip	Frequenzbereich
IEC 62153-4-7	Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung oder Kopplungsdämpfung (an Steckern und Assemblies) – Rohr-im-Rohr-Verfahren	Triaxialverfahren,	Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung, 10 kHz bis 12 GHz
IEC 60512-23-3	Prüfung 23c, Schirmwirkung von Steckverbindern und Zubehör verweist auf zurückgezogene IEC 60096-4-1, durch IEC 62153-4-6 , Kopplungswiderstand, Speisedrahtverfahren, ersetzt.	Speisedrahtverfahren, auch für Anschluss auf Leiterplatten	Kopplungswiderstand bis 1 GHz (3 GHz) Umrechnung in Schirmdämpfung ohne Längenbezug (veraltet)
IEC 60512-23-7	Prüfung 23g, Effektive Transferimpedanz von Steckverbindern	angelehnt an IEC 62153-4-3, Triaxialverfahren	Effektiver Kopplungswiderstand (Z_{TE}) bis 1 GHz,
60603-7-7	Teil 7-7: Bauartspezifikation für geschirmte freie und feste Steckverbinder, 8polig, für Datenübertragungen bis 600 MHz, Anhang I: Kopplungswiderstand	Triaxialverfahren nach IEC 62153-4-3,	Kopplungswiderstand bis 100 MHz (1 GHz)
61169-1	Hochfrequenz-Steckverbinder - Teil 1: Fachgrundspezifikation; Allgemeine Anforderungen und Meßverfahren	Triaxialverfahren mit Anpassung	Kopplungswiderstand bis 10 GHz (aufwändig)
60966-1	Konfektionierte Koaxial- und Hochfrequenz-Kabel - Teil 1: Fachgrundspezifikation; Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren (IEC 60966-1:1999); Deutsche Fassung EN 60966-1:1999	Speisedrahtverfahren	Kopplungswiderstand bis 1 GHz (3 GHz)
VG 95373 Teil 40	Elektromagnetische Verträglichkeit - Elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten - Teil 40: Meßverfahren für geschirmte Steckverbinder	Triaxialverfahren	Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung bis 400 MHz
IEC 62153-4-10	Geschirmtes Messverfahren zur Messung der Schirmwirkung von Durchführungen und elektromagnetischen Dichtungen	Doppel-Koaxialverfahren (Triaxialverfahren)	Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung bis 3 GHz

4 Triaxialverfahren

Das Triaxialverfahren zur Messung des Kopplungswiderstandes ist eines der klassischen Verfahren zur Ermittlung der Schirmwirkung von Kabeln und Steckern. Mit einem Messaufbau kann sowohl der Kopplungswiderstand als auch die Schirmdämpfung gemessen werden.

Für Kabel ist das Triaxialverfahren in IEC 62153-4-3 (ehem. IEC 61196-1 bzw. DIN 47250 Teil 4) und in EN 50289-1-6 beschrieben. Für die Schirmdämpfung von Kabeln gilt das Triaxialverfahren nach IEC 62153-4-4 bzw. EN 50289-1-6.

Die Messung des Kopplungswiderstandes und der Schirmdämpfung von Steckern mit dem Triaxialverfahren ist in IEC 62153-4-7 beschrieben. Um auch bei tieferen Frequenzen anstelle des Kopplungswiderstandes die Schirmdämpfung von Steckern messen zu können, wurde hier das "Rohr im Rohr"-Verfahren eingeführt.

Mit einem HF-dichten Verlängerungsrohr wird der elektrisch kurze Stecker verlängert und die Grenzfrequenz des Überganges von Kopplungswiderstand zur Schirmdämpfung zu tieferen Frequenzen hin verschoben [1].

Variationen bei der Messung des Kopplungswiderstandes mit dem Triaxialverfahren sind u.a. die Art des Abschlusses des Prüflings, (Anpassung mit dem Wellenwiderstand oder Kurzschluss), die Art der Speisung (inneres oder äußeres System gespeist) und die Messung mit oder ohne Vorwiderstand. Jede dieser Variationen hat bestimmte Vor- und Nachteile, die in IEC 62153-4-1 ausführlich beschrieben sind. Vorwiderstände, die früher u.a. zum Schutz der Generatoren dienten, können bei modernen, kurzschlussfesten Netzwerkanalysatoren entfallen.

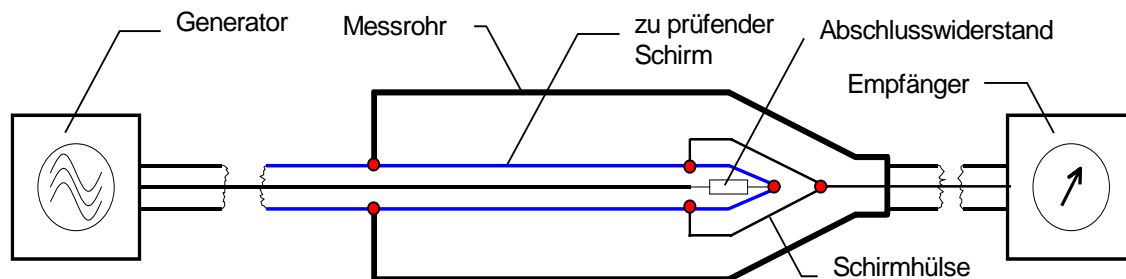


Bild 5 – Triaxialverfahren mit Abschlusswiderstand

4.1 Triaxial-Verfahren mit Kurzschluss (short/short)

Bei der Messung des Kopplungswiderstandes mit dem Triaxialverfahren bis ca. 30 MHz braucht der Prüfling nicht angepasst werden, es kann mit einem Kurzschluss am senderfernen Ende gemessen werden.

Dies ist insbesondere bei Kabeln mit Mehrfachleitern und bei Multipin-Steckern vorteilhaft, da die aufwändige Messung des Wellenwiderstandes und die Anpassung des Prüflings entfällt. Ein Vorwiderstand ist für die Messung nicht erforderlich.

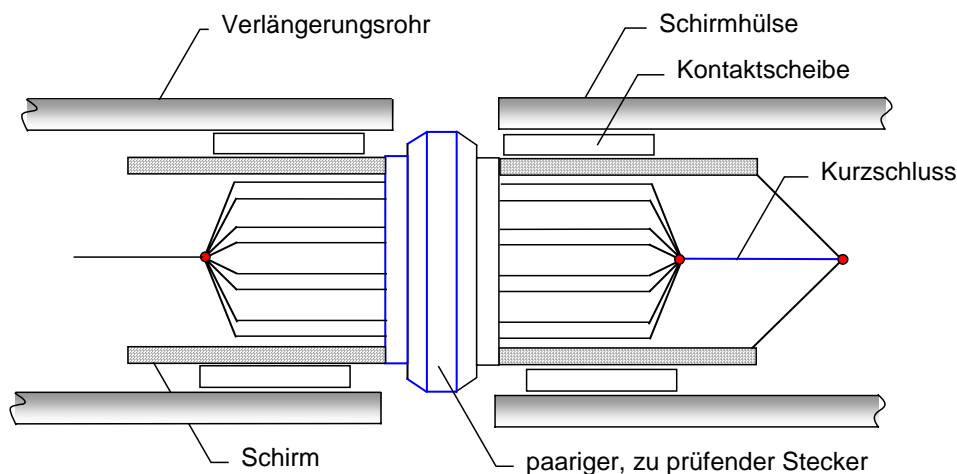


Bild 6 – Vorbereitung eines 4-paarigen Datensteckers mit Kurzschluss als Abschluss für Triaxialverfahren

4.2 Triaxialverfahren mit Anpassung (short/matched)

Zur Messung der Schirmdämpfung bzw. bei höheren Frequenzen muss der Prüfling angepasst abgeschlossen werden.

Beim short-matched-Verfahren (Kurzschluss-Anpassung) wird der Prüfling mit seinem Wellenwiderstand abgeschlossen. Dies hat den Vorteil, dass mit einem Messaufbau sowohl der Kopplungswiderstand als auch die Schirmdämpfung gemessen werden kann. Ein Vorwiderstand ist nicht erforderlich. Bei symmetrischen Systemen, z.B. bei Datenkabeln und Steckern kann sowohl der Gleichtakt als auch der Gegentaktbetrieb abgeschlossen werden.

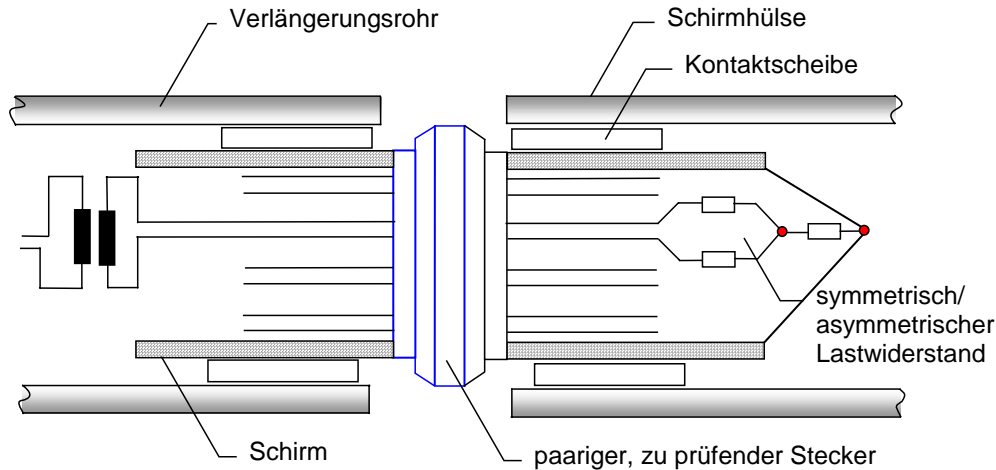


Bild 7 – Vorbereitung eines 4-paarigen Datenstecker mit symmetrisch- asymmetrischem Abschluss für Triaxialverfahren

Mit dem symmetrisch-asymmetrischen Abschluss kann je nach Speisung (koaxial oder symmetrisch) der Kopplungswiderstand und die Schirmdämpfung oder die Kopplungsdämpfung gemessen werden. Der Messaufbau muss dazu nicht geändert werden.

4.3 Rohr im Rohr-Verfahren nach IEC 62153-4-7

Zur Messung des Kopplungswiderstandes von Steckern und konfektionierten Kabeln gibt es das, von den Normen für die Kabel abgeleitete Verfahren IEC 62153-4-7. Mit dem gleichen Prüfaufbau kann nach IEC 62153-4-7 der Kopplungswiderstand, die Schirmdämpfung und die Kopplungsdämpfung von Steckern und konfektionierten Kabeln gemessen werden.

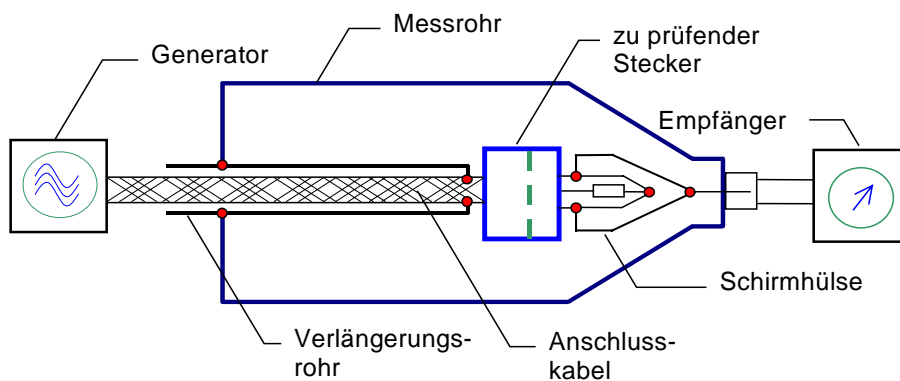


Bild 8 - Rohr im Rohr-Verfahren nach IEC 62153-4-7

Durch das "Rohr im Rohr" kann der elektrisch kurze Stecker verlängert werden und Grenzfrequenz zwischen Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung zu tieferen Frequenzen hin verschoben werden.

4.4 Vorteile des Triaxialverfahrens:

- Messen von Kopplungswiderstand, Schirmdämpfung und Kopplungsdämpfung mit einem Messaufbau,
- einfacher und schneller Messaufbau,
- Frequenzbereich von 10 KHz bis zu 12 GHz,
- Geschlossenes System und damit keine Abstrahlung und keine Störungen von Aussen,
- Hohe Dynamik bzw. Messempfindlichkeit > 130 dB, (wird nur durch die Empfindlichkeit des Netzwerkanalysators begrenzt),
- hohe Reproduzierbarkeit.

4.5 Schirmwirkung von Steckern und Anschlusskabeln für Elektrofahrzeuge

Für die Schirmwirkung von Steckern und Anschlusskabeln für Elektrofahrzeuge gelten die gleichen Grundlagen wie für Kabel, Stecker und Anschlusskabel für die Kommunikationstechnik. Durch die größeren Querschnitte der Leitungen und der größeren Gehäuse der Steckverbinder passen diese oft nicht in vorhandene triaxiale Messeinrichtungen. IEC 62153-4-7 beschreibt ein Gehäuse für größere Bauteile und Stecker.

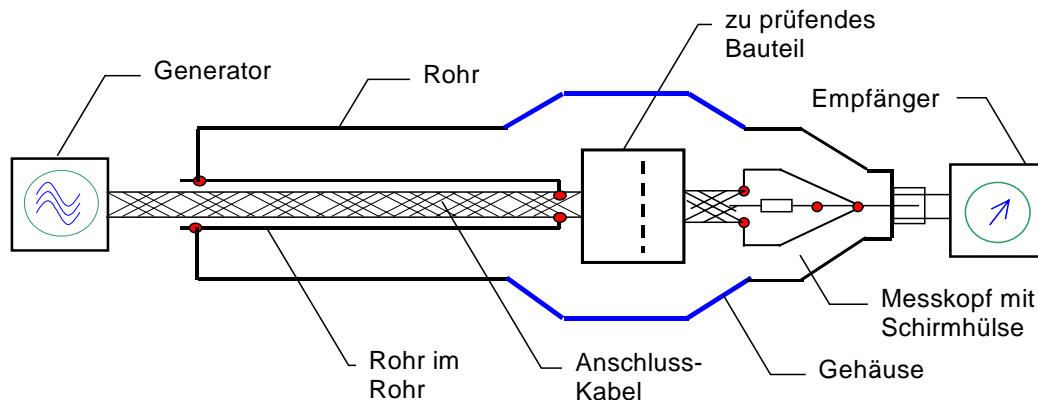


Bild 9 – Rohr im Rohr Verfahren nach IEC 62153-4-7 mit Gehäuse

An den Übergängen vom Messrohr zum Gehäuse entstehen hier zusätzliche Reflexionen. Auf die Messung des Kopplungswiderstandes haben diese Reflexionen keinen Einfluß, die Schirmdämpfung kann bis ca. 2 GHz ohne Korrekturen gemessen werden.

5 Umrechnung von Kopplungswiderstand in Schirmdämpfung

Üblicherweise haben HF-Stecker mechanische Dimensionen in der Längsachse im Bereich von 20 mm bis maximal 50 mm. Mit der Definition elektrisch kurzer Elemente erhalten wir Grenzfrequenzen für den Übergang von elektrisch kurz zu elektrisch lang von ca. 3 GHz oder höher für übliche HF-Stecker, (2a, 2b).

Im Frequenzbereich bis zu den Grenzfrequenzen, wo der Prüfling elektrisch kurz ist, kann nur der Kopplungswiderstand des Prüflings gemessen werden. Erst bei Frequenzen oberhalb der Grenzfrequenz, bei denen der Prüfling elektrisch lang ist, kann die Schirmdämpfung gemessen werden, [1]. Die Grenzfrequenzen $f_{cn,f}$ können durch Verlängern des zu prüfenden Steckers mit den Anschlusskabeln oder dem Rohr im Rohr nach unten erweitert werden.

Da die Kunden im allgemeinen die Angabe der Schirmdämpfung bevorzugen, ist es wünschenswert, den Kopplungswiderstand in die Schirmdämpfung umzurechnen. Dabei ist die Wellenwiderstand Z_1 des Prüflings und der Wellenwiderstand Z_2 des Aussenraumes zu beachten. Weiterhin ist die Länge und die Ausbreitungsgeschwindigkeit v_1 des Prüflings sowie die Ausbreitungsgeschwindigkeit v_2 des Außenraumes bei der Umrechnung zu berücksichtigen.

Allgemein gilt für die Umrechnung von Kopplungswiderstand in die Schirmdämpfung die Näherung:

$$a_s = -20 \cdot \log_{10} \left| \frac{\sqrt{Z_1 \cdot Z_2}}{Z_T \cdot l} \right| \quad (4)$$

wobei Z_1 und Z_2 die Wellenwiderstände der gekoppelten Leitungen darstellen und wenn diese nicht stark voneinander abweichen.

Mit größerer Genauigkeit unter Bezug auf die Länge und bei hohen Frequenzen, wenn der Kopplungswiderstand Z_T und der äquivalente Kopplungswiderstand $Z_{TE,n,f} = Z_F \pm Z_T$ um 6 dB je Oktave ansteigen, ist deren Beziehung zur Schirmdämpfung a_S frequenzunabhängig und kann nach IEC 62153-4-0 wie folgt geschrieben werden:

$$a_{s_{n,f}} = -20 \cdot \log_{10} \left| T_{n,f} \right| \quad (5a)$$

$$= -20 \cdot \log_{10} \frac{Z_T}{\sqrt{Z_1 Z_2} \omega \left| \frac{l}{v_2} \pm \frac{l}{v_1} \right|} = -20 \cdot \log_{10} \frac{Z_T c_0}{\sqrt{Z_1 Z_2} \omega \left| \sqrt{\epsilon_{r2}} \pm \sqrt{\epsilon_{r1}} \right|} \quad (5b)$$

und

$$T_{n,f} = \frac{U_{2n,f} / \sqrt{Z_2}}{U_1 / \sqrt{Z_1}} \quad (5c)$$

dabei ist:

l	Länge des zu prüfenden Kabels;	c_0	Lichtgeschwindigkeit im Vakuum;
$T_{n,f}$	Kopplungsübertragungsfunktion	v_1	Ausbreitungsgeschwindigkeit im inneren Kreis;
n, f	n für das nahe Ende und f für das ferne Ende;	v_2	Ausbreitungsgeschwindigkeit im äußeren Kreis;
Z_1	Wellenwiderstand des Kabels;	Z_F	kapazitiver Kopplungswiderstand;
Z_2	Impedanz des äußeren Kreises;	Z_T	Kopplungswiderstand;
ϵ_{r1}	Dielektrizitätskonstante des Kabels;	$Z_{TE,n,f}$	effektiver Kopplungswiderstand.
ϵ_{r2}	Dielektrizitätskonstante des äußeren Kreises;		

6 Probleme bei der Messung des Kopplungswiderstandes von Steckern

Der Kopplungswiderstand eines einzelnen Steckers oder einer einzelnen Kupplung kann normalerweise nicht direkt gemessen werden, da das Bauteil sowohl zur Messung als auch in der Anwendung mit den entsprechenden Verbindungskabeln versehen werden muss. Weiterhin muss der Stecker zur Messung angeschlossen sein, im einfachsten Fall mit der passenden Kupplung, an die ein entsprechendes Kabel angeschlossen ist.

Dadurch entstehen in der Messeinrichtung neben dem Kopplungswiderstand des Prüflings an den Übergängen weitere Kopplungswiderstände. Da sich die einzelnen Kopplungswiderstände addieren, ergibt sich als Gesamtwert ein höherer Kopplungswiderstand als der Wert des einzelnen, zu prüfenden Steckers.

Die Schirmwirkung eines Steckers ist daher üblicherweise mit den geeigneten Anschlusskabeln und den passenden Kupplungen oder Adaptionen, z.B. auf Leiterplatten, zu betrachten. Die Verbindungsstelle bzw. die Verbindungstechnik vom Kabel zum Stecker hat einen wesentlichen Einfluss auf den Kopplungswiderstand bzw. die Schirmwirkung.

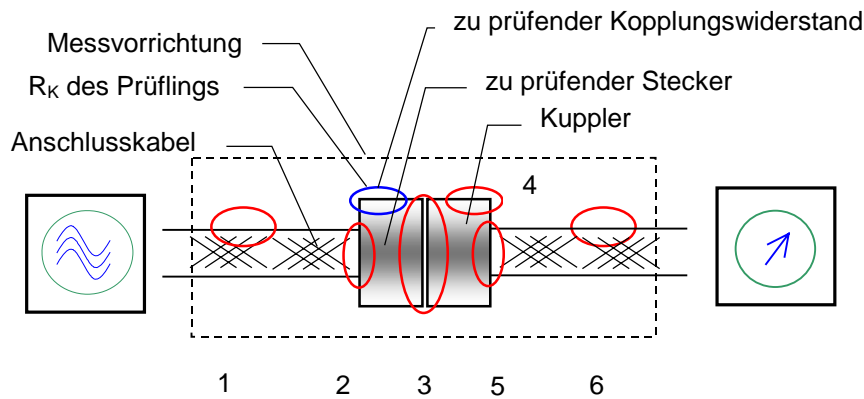


Bild 8 – Zusätzliche Kopplungswiderstände bei der Messung von Steckern

- | | |
|-----|--|
| 1,6 | Kopplungswiderstände der Speisekabel |
| 2,5 | Anschluss vom Speisekabel zum Steckverbinder |
| 3 | Kopplungswiderstand vom Stecker zur Kupplung |
| 4 | Kopplungswiderstand der Kupplung |

Der Kopplungswiderstand der Anschlusskabel (1 und 6) kann durch eine getrennte Messung ermittelt und vom Messwert abgezogen werden.

Das Eliminieren der Kopplungswiderstände an den Anschluss-Stellen vom Kabel zum Stecker (2 und 5) sowie der Kopplungswiderstand von Stecker zur Kupplung sowie der Wert des Kopplungswiderstandes der Kupplung selbst lassen sich nicht ohne weiteres eliminieren.

Der Einfluss dieser zusätzlichen Kopplungswiderstände ist Gegenstand weiterer Untersuchungen und sollte bei der Messung des Kopplungswiderstandes und der Schirmdämpfung von Steckern berücksichtigt werden.

7 Literatur

- [1] Bernhard Mund, Thomas Schmid: Messen der Schirmdämpfung von Steckverbindern, Kabeldurchführungen und EMV-Dichtungen, 3. Anwenderkongress Steckverbinder 2009, Vogel Verlag, Würzburg
- [2] Bernhard Mund: EMC of Cables & Connectors & Test methods, EMC Zurich 2007
- [3] Bernhard Mund: Measuring the EMC on RF-connectors and connecting hardware, Tube in tube test procedure, IWCS (International wire and cable symposium) 2004,
- [4] Thomas Hähner und Bernhard Mund: Measurement of the screening effectiveness of connectors and cable assemblies: International Wroclaw Symposium on Electromagnetic Compatibility, EMC 2002
- [5] Thomas Hähner und Bernhard Mund: Background, content and future of the EMC measurement standard prEN 50289-1-6, Open / shielded test methods, International Wroclaw Symposium on Electromagnetic Compatibility, EMC 2000
- [6] Otto Breitenbach, Thomas Hähner und Bernhard Mund: Kabelschirmung im Frequenzbereich von MHz bis GHz, erweiterte Anwendung eines einfachen Meßverfahrens, Frequenz 1-2/1999 S. 18-28.
- [7] Lauri Halme, Rauno Kytönen, "Background and introduction to EM screening (shielding) behaviours and measurements of coaxial and symmetrical cables, cable assemblies and connectors", Colloquium on screening effectiveness measurements, Savoy Place London, 6 May 1998, Reference No:1998/452.

8 Normen:

- EN 50289-1-6 EMV von Kommunikationskabeln, (Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung mit dem Triaxialverfahren, Kopplungswiderstand mit Speisedrahtverfahren, Schirmdämpfung mit Absorberzangen).
- IEC 62153-4-0 Beziehung zwischen Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung, empfohlene Grenzwerte.
- IEC 62153-4-1 Einführung in die elektromagnetische Messungen der Schirmwirkung.
- IEC 62153-4-3 Kopplungswiderstand, Triaxialverfahren.
- IEC 62153-4-4 Schirmdämpfung, Triaxialverfahren.
- IEC 62153-4-5 Kopplungsdämpfung oder Schirmdämpfung - Verfahren mit Absorberzangen.
- IEC 62153-4-6 Kopplungswiderstand – Speisedrahtverfahren.
- IEC 62153-4-7 Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung an Steckern und konfektionierten Kabeln, Rohr im Rohr-Verfahren.
- IEC 62153-4-9 Kopplungsdämpfung, -Triaxial-Verfahren
- IEC 62153-4-10 Geschirmtes Messverfahren zur Messung der Schirmwirkung an Durchführungen und EMV-Dichtungen.
- IEC 60512-23-3 Schirmwirkung von Steckverbindern und Zubehör.
- IEC 60512-23-7 Prüfungen der Schirmung und Dämpfung - Prüfung 23g: Effektive Transferimpedanz von Steckverbindern.
- 60603-7-7 Bauartspezifikation für geschirmte freie und feste Steckverbinder, 8polig, für Datenübertragungen bis 600 MHz.
- 61169-1 Hochfrequenz-Steckverbinder - Teil 1: Fachgrundspezifikation; Allgemeine Anforderungen und Meßverfahren
- 60966-1 Konfektionierte Koaxial- und Hochfrequenz-Kabel - Teil 1: Fachgrundspezifikation; Allgemeine Anforderungen und Prüfverfahren.