

Schirmwirkung ungeschirmter symmetrischer Paare

emv-Messe Köln, 17. – 19. März 2020



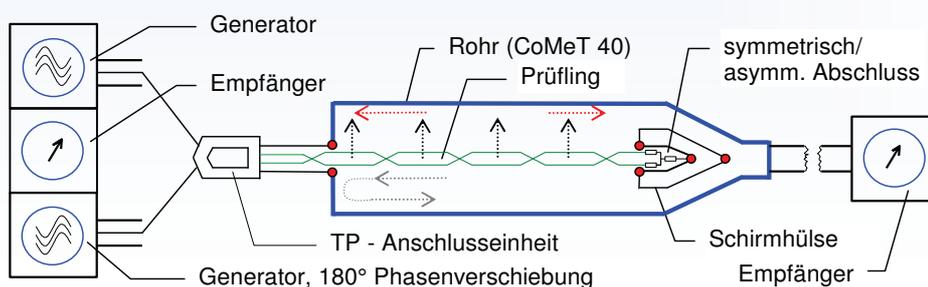
emv – Messe Köln 17. – 19. März 2020

bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, ralf.damm@bda-c.com - bernhard.mund@bda-c.com

1

Inhalt

- Triaxialverfahren
 - ◆ Kopplungswiderstand & Schirmdämpfung
- Kopplungsdämpfung symmetrischer Kabel
 - ◆ Gegentakt- & Gleichtaktbetrieb
- Kopplungsdämpfung ungeschirmter symmetrischer Kabel
- Kopplungsdämpfung bei tiefen Frequenzen
- Diskussion



emv – Messe Köln 17. – 19. März 2020

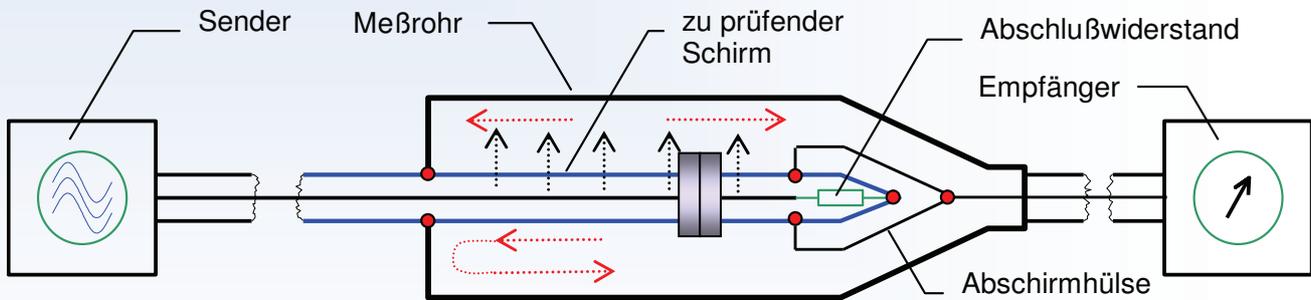
bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, ralf.damm@bda-c.com - bernhard.mund@bda-c.com

2

Messen mit dem Triaxial-Verfahren, Prinzip

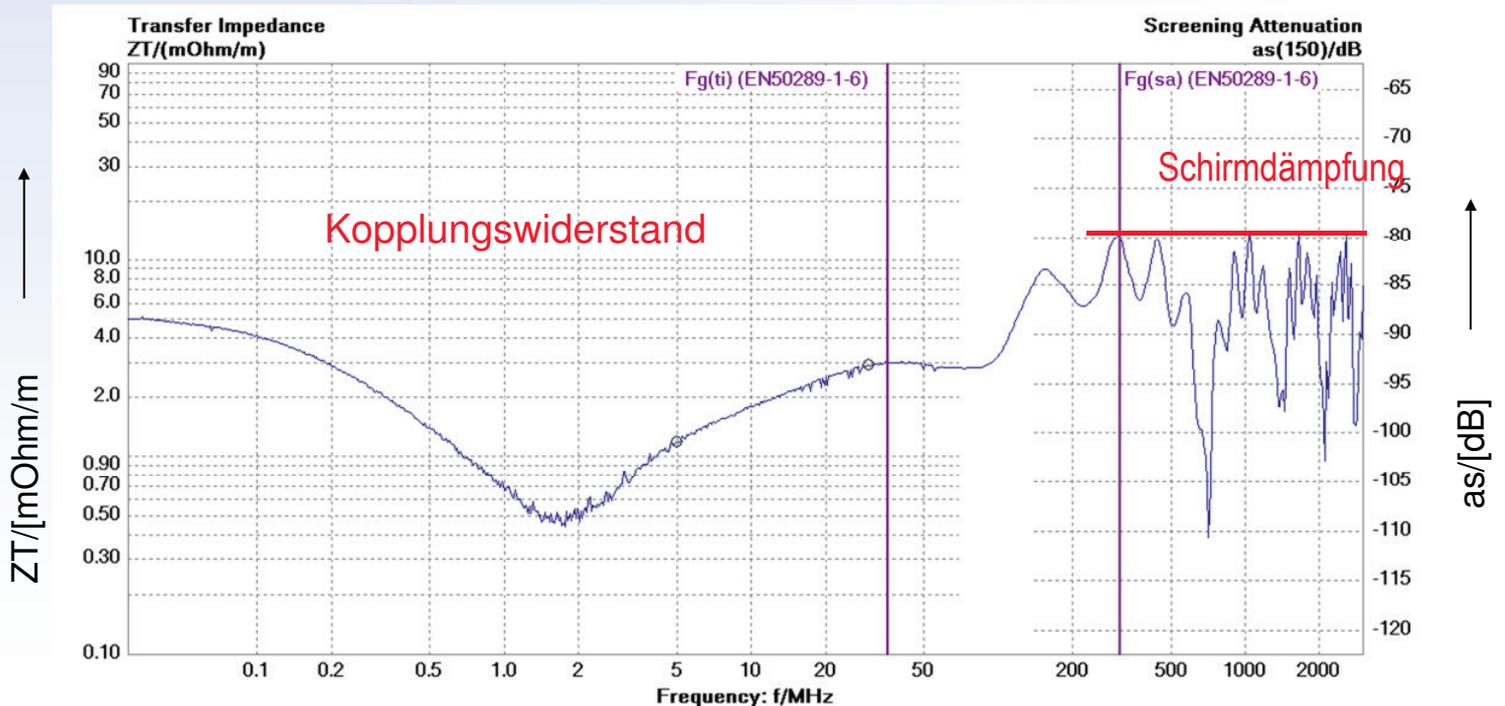
Kopplungswiderstand & Schirm- oder Kopplungsdämpfung

DC bis über 9 GHz mit einem Messaufbau

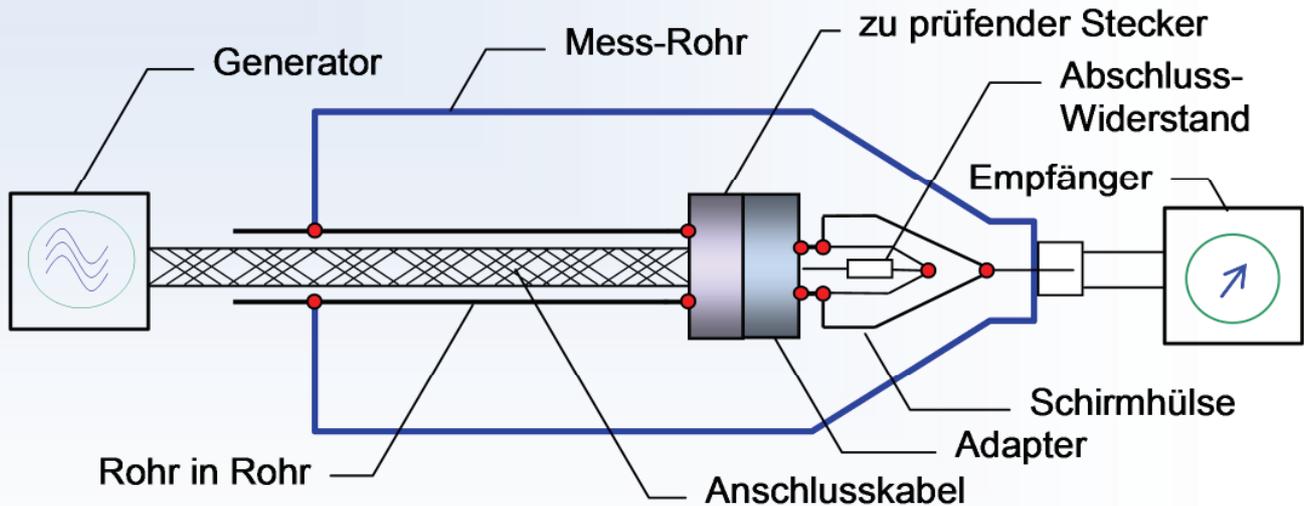


- IEC 62153-4-3 & /-4-4 - Kopplungswiderstand, Schirmdämpfung, Triaxialverfahren
- IEC 62153-4-7 - Kopplungswiderstand & Schirmdämpfung von Steckern und von konfektionierten Kabeln – Rohr in Rohr Verfahren
- IEC 62153-4-9 - Kopplungsdämpfung symmetrischer Kabel

Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung RG 214



Triaxialer Aufbau für Stecker mit "Rohr im Rohr"



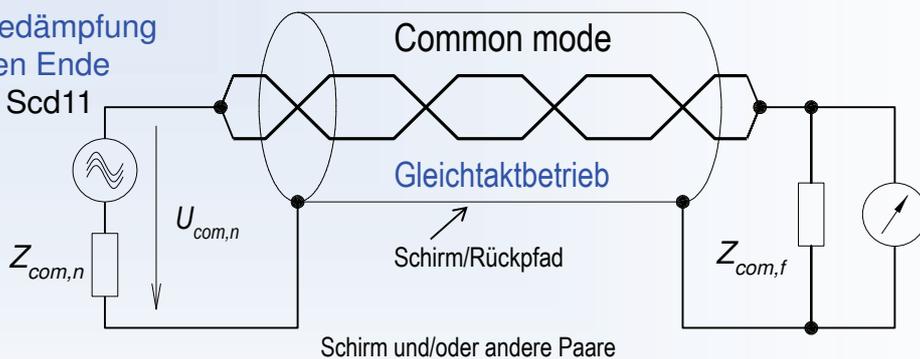
Stecker direkt mit dem Rohr im Rohr bzw. mit dem Adapter verbunden !
IEC 62153-4-7Ed2, Rohr in Rohr Verfahren, Amendment 1

Gegentakt- und Gleichtaktbetrieb

Unsymmetriedämpfung am nahen Ende

TCL = Scd11

koaxial



Unsymmetriedämpfung am fernen Ende

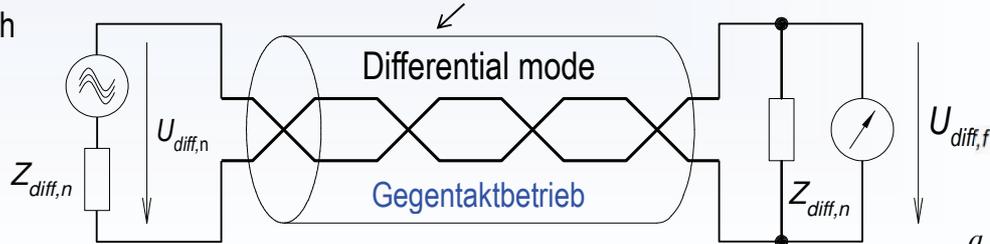
TCTL = Ssd21

P_{com}



symmetrisch

P_{diff}



$$a_u = 10 \cdot \log(P_{diff} / P_{com})$$

Die **Unsymmetriedämpfung** a_u eines Kabels beschreibt im log. Maß, wie viel Leistung vom **Gegentakt**system in das **Gleichtakt**system überkoppelt (oder umgekehrt). Sie ist das log. Verhältnis von eingespeister Leistung im Gegentaktbetrieb P_{diff} zu der in den Gleichtaktbetrieb übergekoppelten Leistung P_{com} .

Kopplungs­dämpfung symmetrischer Kabel

Die **Unsymmetriedämpfung** a_u eines symmetrischen Kabels ist das log. Verhältnis von eingespeister Leistung im Gegentaktbetrieb P_{diff} zu der in den Gleichtaktbetrieb übergekoppelten Leistung P_{com} .

$$a_u = 10 \cdot \lg \left(\frac{P_{diff}}{P_{com}} \right)$$

P_{diff} = Leistung im Gegentaktbetrieb
 P_{com} = Leistung im Gleichtaktbetrieb

Die **Schirmdämpfung** a_s eines Kabelschirms ist das logarithmische Verhältnis von eingespeister Leistung P_1 zu abgestrahlter maximaler Leistung $P_{r,max}$ bzw. $P_{2,max}$. Mit dem Normalisierungs-Wert $Z_S = 150$ Ohm ergibt sich:

$$a_s = 10 \cdot \lg \left| \frac{P_1}{P_{r,max}} \right| = 10 \cdot \lg \left| \frac{P_1}{P_{2,max}} \cdot \frac{2 \cdot Z_S}{R} \right|$$

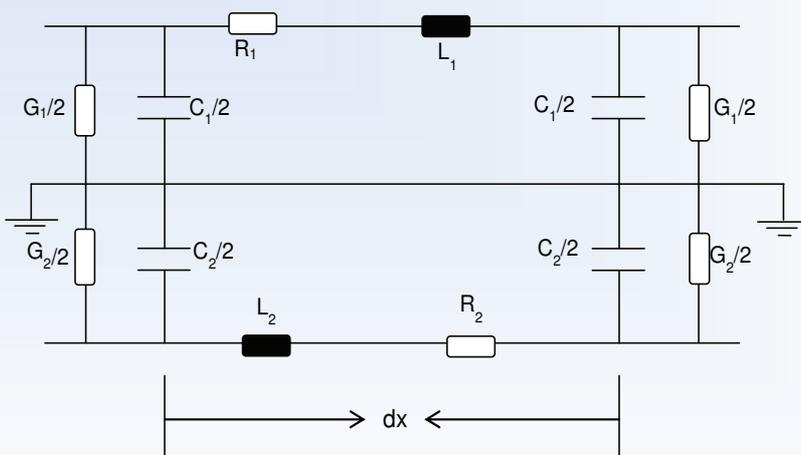
$P_{2,max}$ = maximal abgestrahlte Leistung
 R = Wellenwiderstand
 $Z_S = 150$ Ohm Wellenwiderstand im Aussenraum

Die **Kopplungs­dämpfung** a_c beschreibt die gesamte Effektivität gegen elektromagnetische Beeinflussung (EMB) und berücksichtigt sowohl die Wirkung des Schirms als auch die Symmetrie des Paares.

$$a_c \approx a_u + a_s \quad a_c \approx 10 \cdot \lg \left| \frac{P_{diff}}{P_{com}} \right| + 10 \cdot \lg \left| \frac{P_{com}}{P_{r,max}} \right| \quad a_c \approx 20 \cdot \lg \left| \frac{U_{diff}}{U_{2,max}} \right| + 10 \cdot \lg \left[\frac{2 \cdot Z_S}{Z_{diff}} \right] \quad (P_{com} = P_1)$$

U_{diff} = Eingangsspannung im Gegentaktbetrieb, $U_{2,max}$ = max. Ausgangsspannung im Gleichtaktbetrieb,
 Z_{diff} = Wellenwiderstand im Gegentaktbetrieb

Berechnung der Unsymmetriedämpfung symmetrischer Paare



Quer-Unsymmetrie

$$T_A = (G_2 + j\omega C_2) - (G_1 + j\omega C_1)$$

Längs-Unsymmetrie

$$L_A = (R_2 + j\omega L_2) - (R_1 + j\omega L_1)$$

Unsymmetrie-Kopplungsfunktion

$$T_{u,n} = (T_A \cdot Z_{unbal.}^2 \pm L_A) \cdot \frac{1}{Z_{unbal.}} \cdot \frac{l}{4} \cdot S_{n,f}$$

Summenfunktion:

Bei hohen Frequenzen nähert sich der asymptotische Wert:

$$\left| S_{n,f} \right| = \frac{2}{(\beta_{diff} \pm \beta_{com}) \cdot l}$$

und bei tiefen Frequenzen wird die Summenfunktion zu:

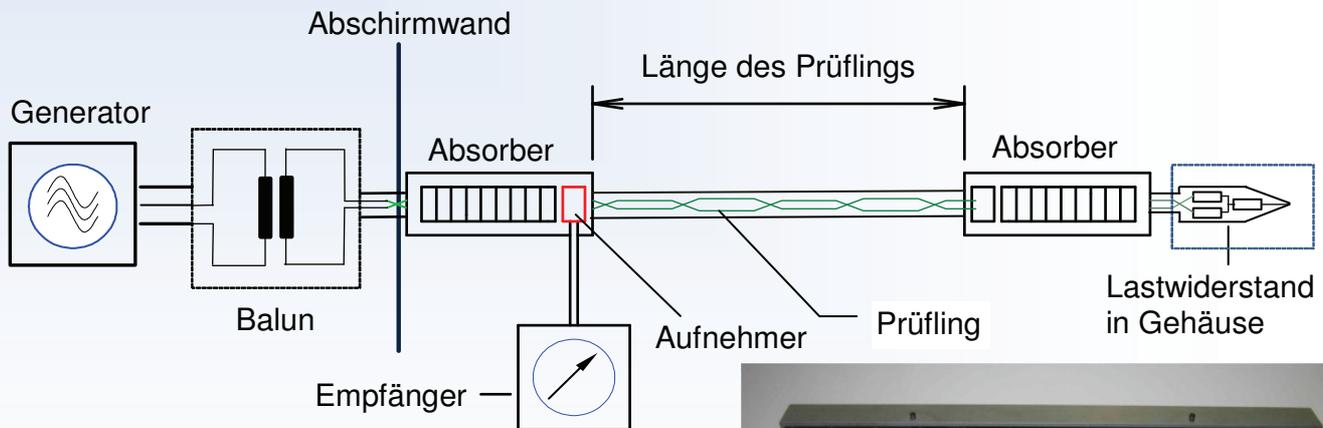
$$\left| S_{n,f} \right| \rightarrow 1$$

setzt man die **Summenfunktion** in die Gleichung für die Unsymmetrie-Kopplungsfunktion ein, kürzt sich die Länge l bei hohen Frequenzen aus der Gleichung, bei tiefen Frequenzen bleibt l im Zähler, d.h. es ergibt sich eine Längenabhängigkeit nur bei tiefen Frequenzen.

Daher kann nach IEC 62153-4-9 mit offenem Messkopf als auch mit Standard-Messkopf gemessen werden.

Kopplungs­dämpfung mit Absorberzangen

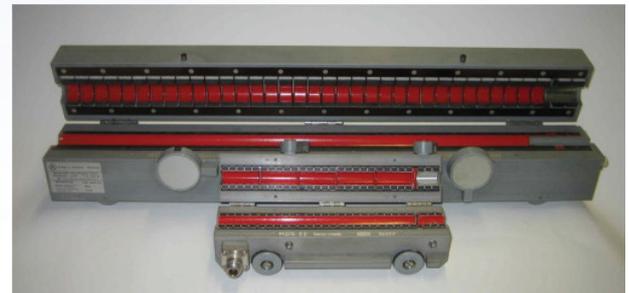
Die Kopplungs­dämpfung ist die **Überlagerung** aus der **Unsymmetriedämpfung** des Paares und der **Schirmdämpfung** des Schirmes (bzw. der Schirme)



MDS 21 von (30) MHz bis 1000 MHz

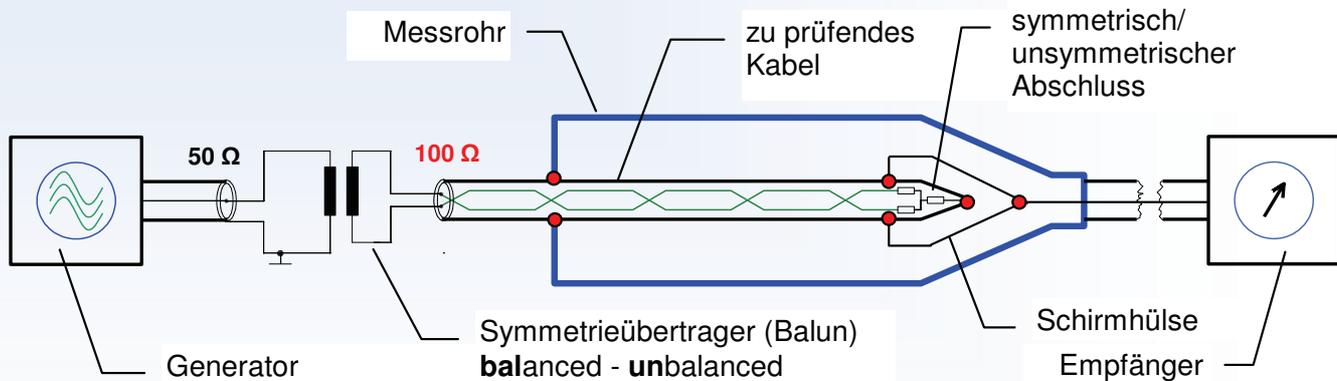
MDS 22 von 500 MHz bis 2500 MHz

IEC 62153-4-5



Kopplungs­dämpfung mit Triaxialverfahren & Balun

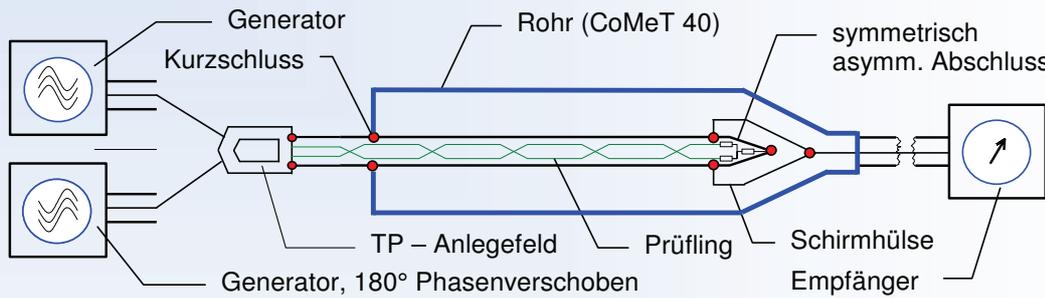
Die Kopplungs­dämpfung ist die **Interaktion** aus der **Unsymmetriedämpfung** des Paares und der **Schirmdämpfung** des Schirmes (bzw. der Schirme)



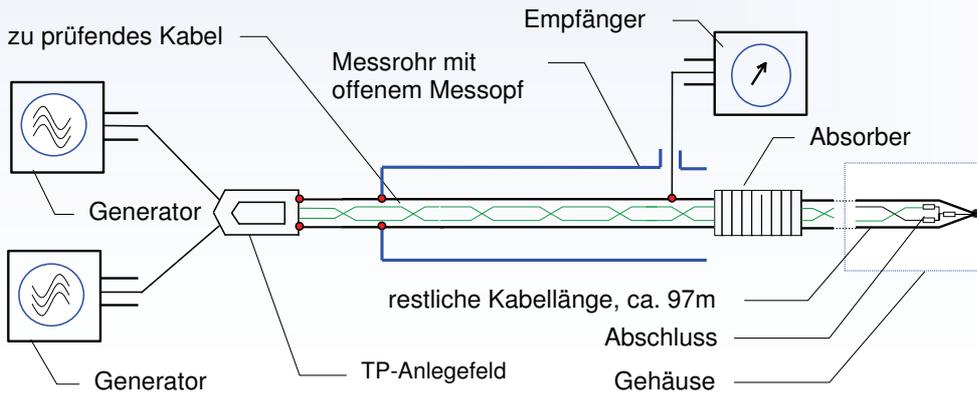
IEC 62153-4-9Ed2

Zur Anpassung des (unsymmetrischen) 50-Ohm Ausgangs des Generators an die 100 Ohm des symmetrischen Paares ist ein **Symmetrieübertrager** bzw. ein **Balun** erforderlich. Geeignete Symmetrieübertrager sind allerdings nur bis ca. **1,2 GHz** verfügbar.

Kopplungsdämpfung bis 2 GHz mit "virtuellem Balun"



Standard Messkopf

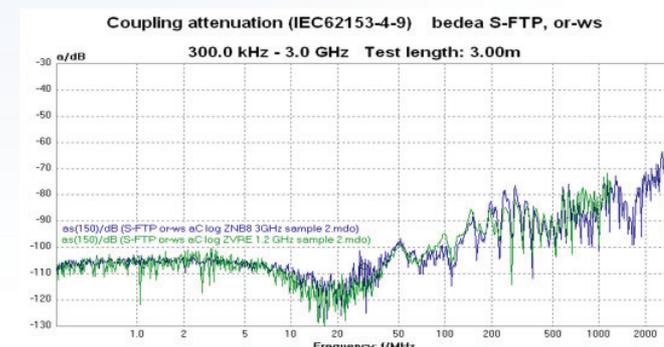
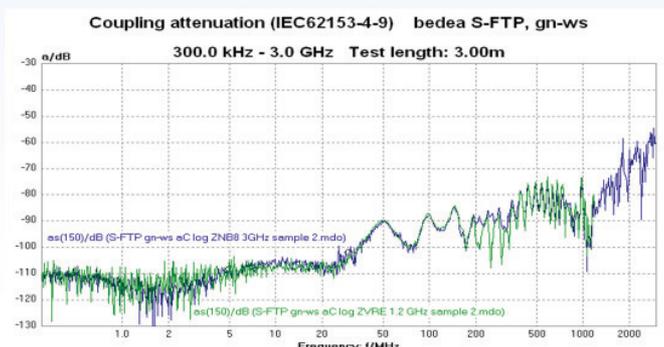
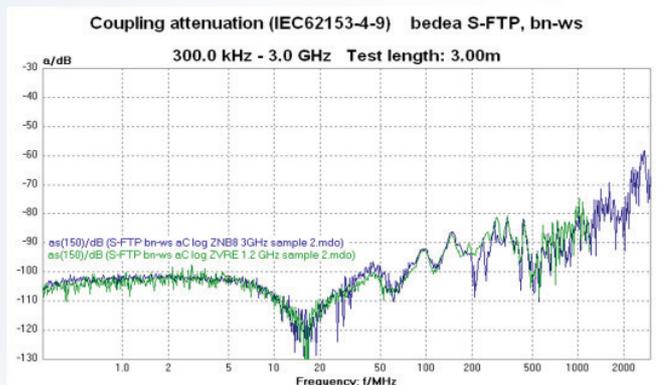
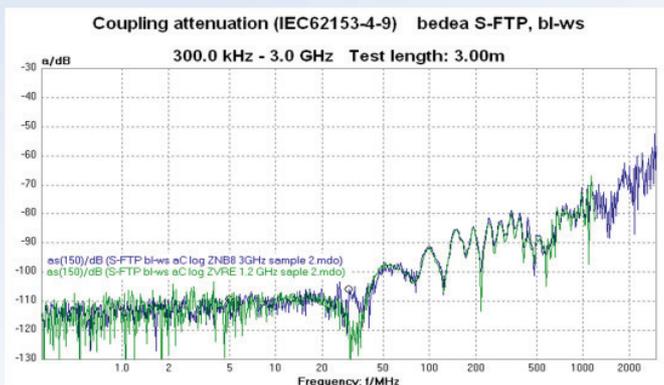


offener Messkopf

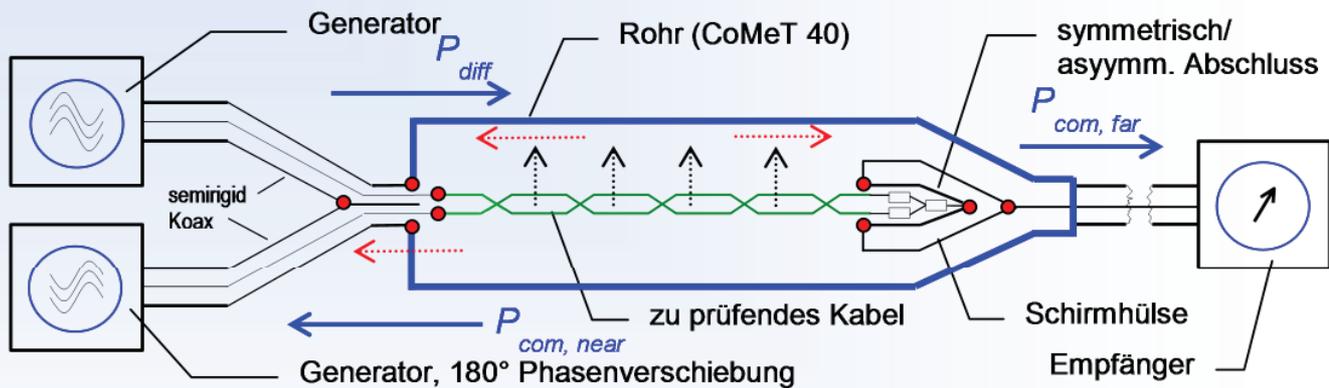


IEC 62153-4-9Ed2

Vergleich: Balun mit "virtuellem Balun", S-FTP Kabel



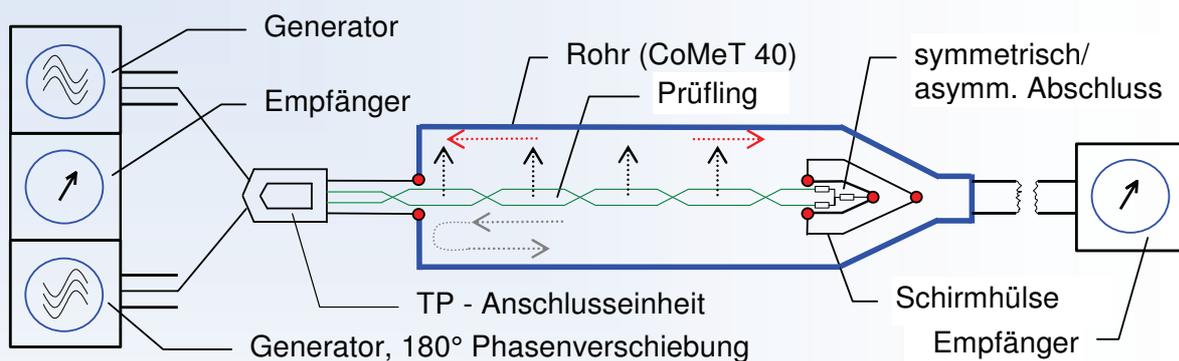
Ungeschirmte Paare mit Triaxialverfahren - Prinzip



Diese Abbildung zeigt den prinzipiellen Aufbau für **ungeschirmte symmetrische Paare**. Das Signal wird im Gegentaktbetrieb (differenziell) über zwei parallele "semirigid" Koaxialkabel gleicher Länge in den Prüfling eingespeist.

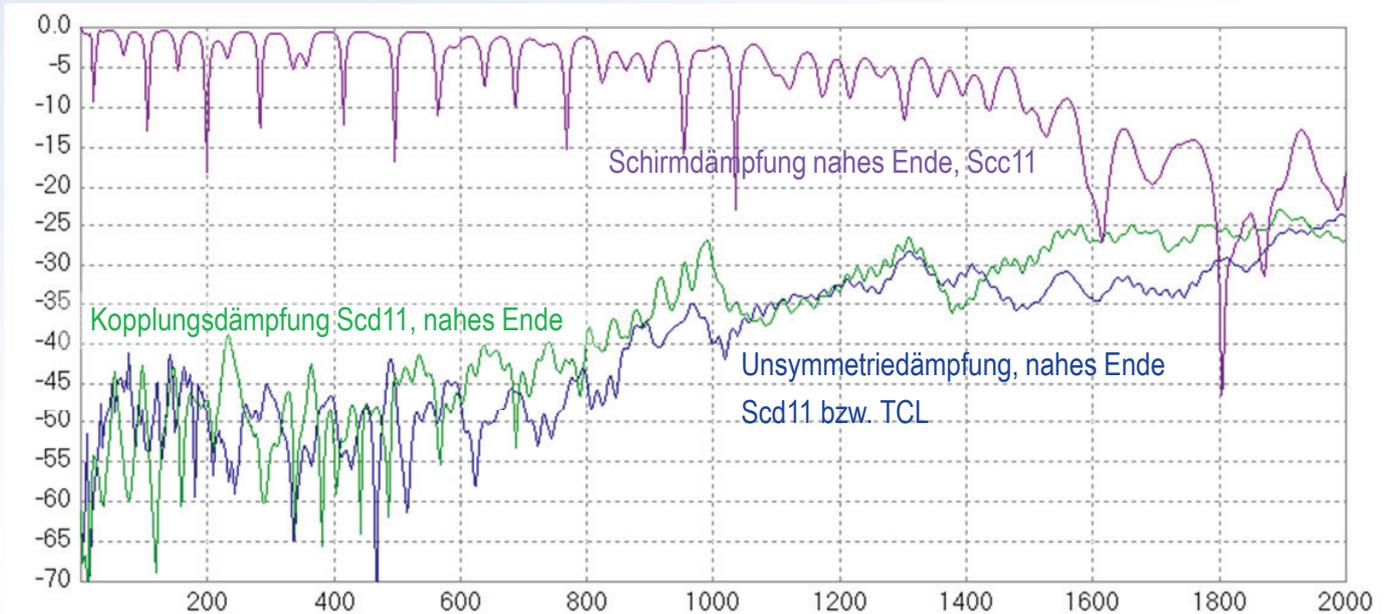
Aufgrund der "Kopplung" vom Gegentakt- in den Gleichtaktbetrieb (ins Messrohr) bewegt sich eine Welle im Mess-Abschnitt in beide Richtungen. Da sich auf dem ungeschirmten Paar kein Schirm befindet, gibt es am nahen Ende **keinen Kurzschluss** wie beim triaxialen Grundprinzip gem. zu Abb. 6; ein Teil der Energie läuft zurück zum Netzwerkanalysator; daher können Kopplungsmessungen an beiden Enden durchgeführt werden.

Kopplungsdämpfung ungeschirmter Paare



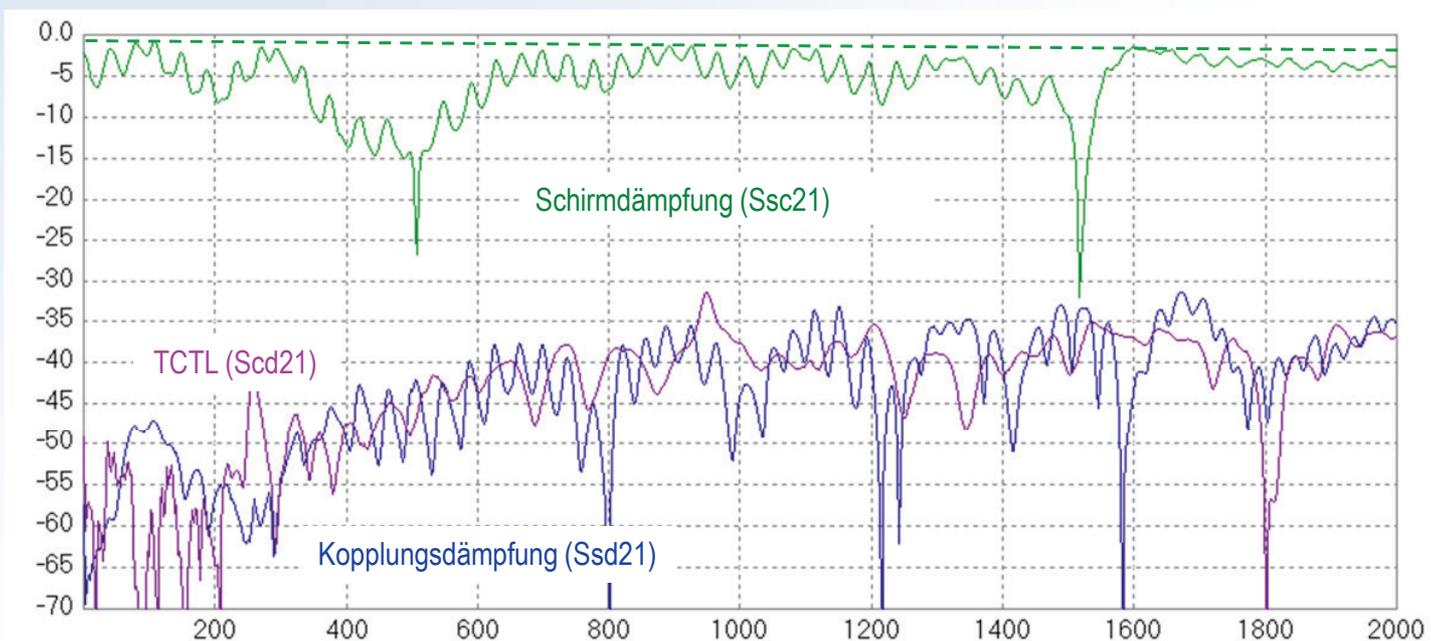
Kopplungs­dämpfung - ungeschirmtes Paar, nahes Ende

Unsymmetriedämpfung (TCL) eines 5m langen ungeschirmten Paares, auf einem Holztisch ausgelegt und Messung der Kopplungs­dämpfung am nahen Ende (Scd11) im Messrohr



Die Kopplungs­dämpfung eines "einzelnen" ungeschirmten Paares am nahen Ende = **TCL** !

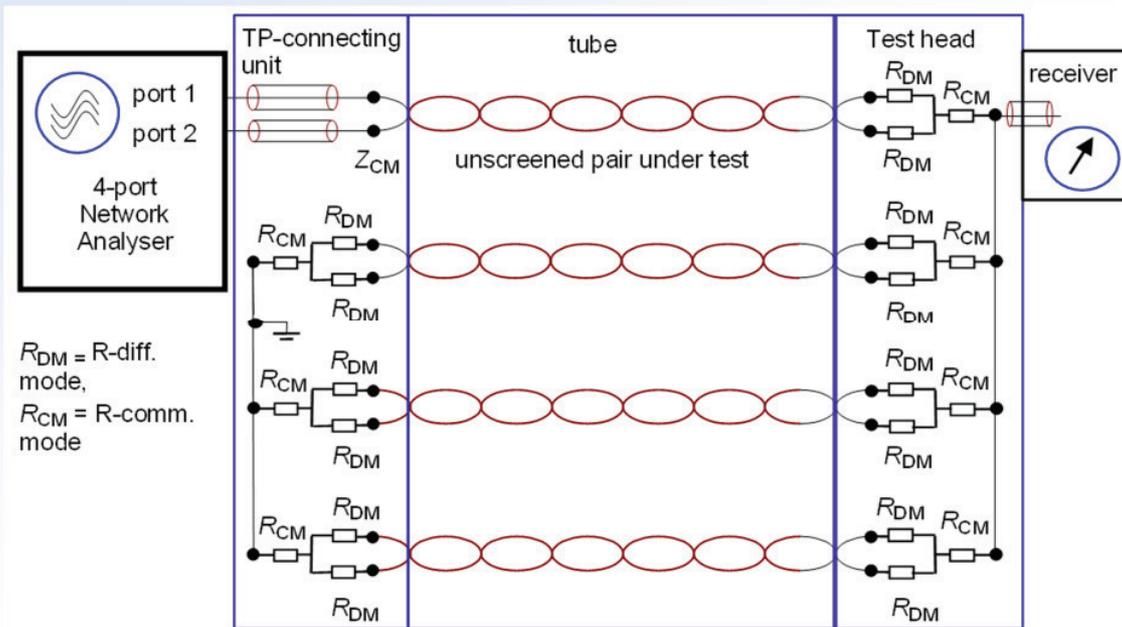
Kopplungs­dämpfung - ungeschirmtes Paar, fernes Ende



Die Schirmdämpfung eines einzelnen ungeschirmten Paares am fernen Ende = ca. null

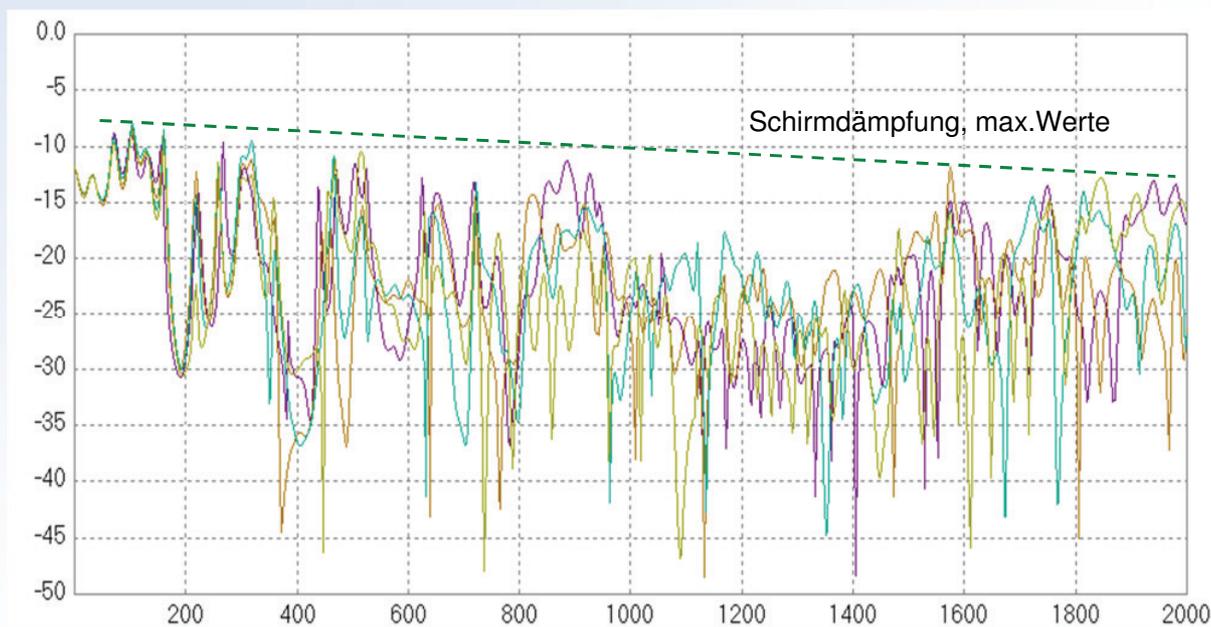
Die Kopplungs­dämpfung eines einzelnen ungeschirmten Paares am fernen Ende = ca. (TCTL)

Schirm- und Kopplungsdämpfung mehradriger Paare



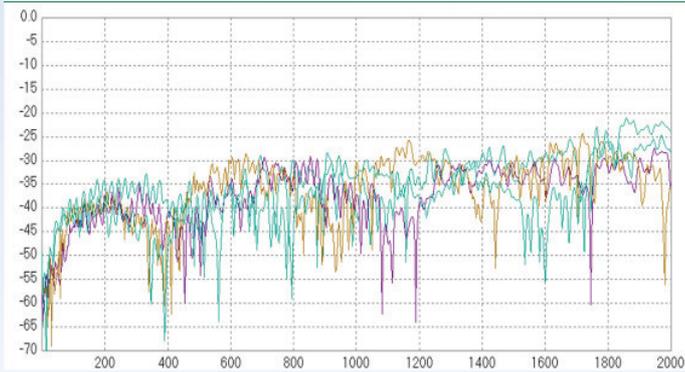
Prinzipieller Messaufbau zur Messung der Kopplungsdämpfung mehradriger ungeschirmter Paare. Die nicht an der Messung beteiligten Paare wirken als "innerer Schirm"

Schirmdämpfung eines ungeschirmten Cat5e am fernen Ende

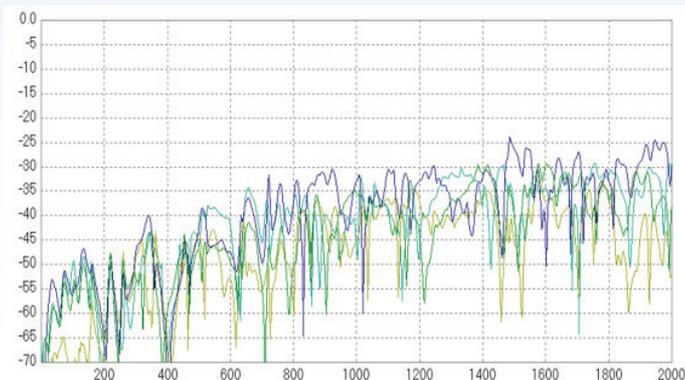


Die gemessenen Schirmdämpfung (S_{sc21}) von ca. 8 bis 12 dB der ungeschirmten Paare kann durch die Schirmwirkung der nicht an der Messung beteiligten Paare erklärt werden.

Unsymmetrie- & Kopplungsämpfung eines Cat5e



Unsymmetriedämpfung (Scd21) eines ungeschirmten Cat5e am fernen Ende)

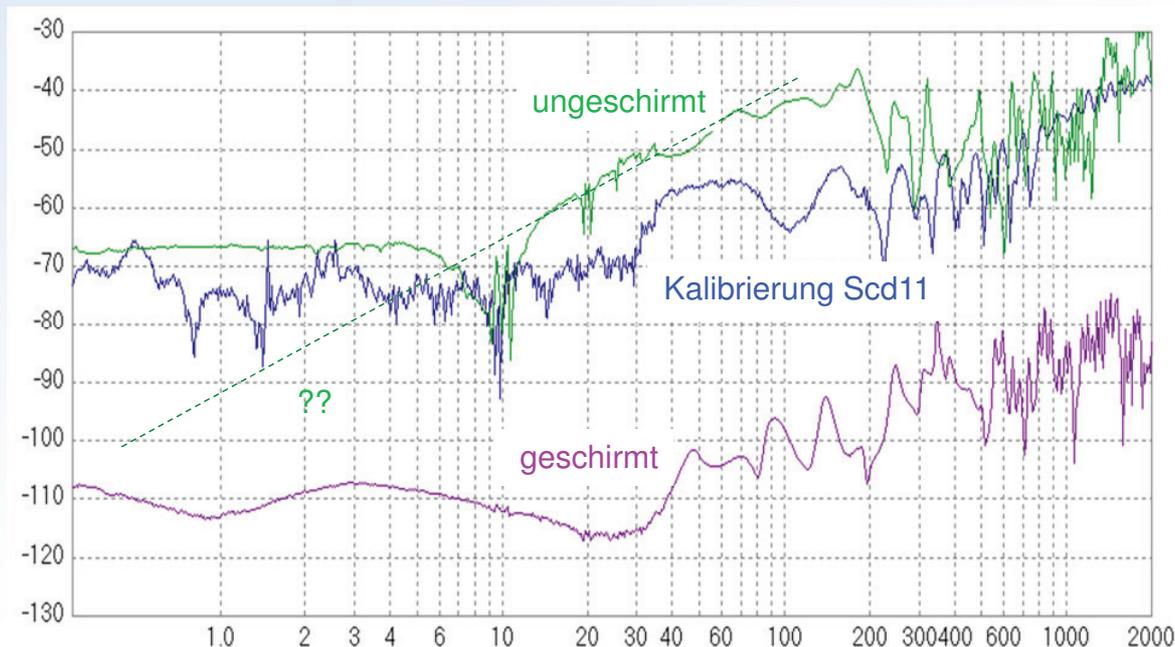


Kopplungsämpfung (Ssd21) eines ungeschirmten Cat5e am fernen Ende)

Durch die Schirmwirkung der nicht an der Messung beteiligten Paare ist die Kopplungsämpfung (Ssd21) am fernen Ende um ca. 5 bis 10 dB besser als die Unsymmetriedämpfung (Scd21) am fernen Ende, mit dem Trend zu etwa gleichen Werten bei höheren Frequenzen.

Kopplungsämpfung bei tiefen Frequenzen

Die Kopplungsämpfung bei tiefen Frequenzen ungeschirmter Paare kann ab ca. 9 kHz mit dem gleichen Messaufbau wie zur Messung der Kopplungsämpfung ab 30 MHz gemessen werden



Die Unsymmetriedämpfung des TP-Anlegefeldes ist zu beachten; Messlänge 3m, Ssd21

Mess-Unsicherheit bzw. Systemverifikation

Bei der Messung von **Unsymmetrie- oder Kopplungsdämpfung** ist die Unsymmetriedämpfung des Prüfaufbaus zu berücksichtigen

Selbst optimal kalibrierte und phasenstabilisierte Messgeräte (VNA, Messleitungen und Anschlusseinheiten) zeigen einen bestimmten frequenzabhängigen Verlauf bei einer Systemmodenumwandlung.

Dieser Wert liegt bei niedrigen Frequenzen zwischen -80 und -70 dB und steigt mit ansteigenden Frequenzen auf etwa -60 bis -40 dB an. Je nach Phasenlage überlagert sich diese Systemmodusumwandlung der Modusumwandlung des Prüflings konstruktiv oder destruktiv.

Das Ergebnis der Messung wird dadurch verfälscht und insbesondere dann sehr stark, wenn der Betrag der Modusumwandlung des Testobjekts sich dem Betrag der Systemmodusumwandlung nähert oder sogar unterschreitet.

Alle Messungen der Kopplungsdämpfung bei tiefen Frequenzen können Opfer solcher Überlagerungen sein. Die Systemwerte sollten daher aufgezeichnet und in die Analyse der Messunsicherheiten einbezogen werden.

Eine Schätzung der Systemmodusumwandlung kann z.B. durch Aufzeichnen des reflektierten Modusumwandlungsparameters S_{cd11} eines TP-Anlegfeldes mit einer offenen Schleife erfolgen;

Internationale Normen für Triaxialverfahren,

TS 62153-4-1	Introduction to electromagnetic (EMC) screening measurements	2014-01	published
62153-4-3Ed2	Surface transfer impedance - Triaxial method	2013-10	published
62153-4-4Ed2	Shielded screening attenuation, test method for measuring of the screening attenuation a_s up to and above 3 GHz	2015-04	published
62153-4-7Ed2	Shielded screening attenuation test method for measuring the Transfer impedance Z_T and the screening attenuation a_s or the coupling attenuation a_c of RF-Connectors and assemblies up to and above 3 GHz, Tube in tube method	2015-12	published
62153-4-9Ed2	Electromagnetic Compatibility (EMC) – Coupling attenuation, triaxial method	2018-04	published
62153-4-10Ed2	Shielded screening attenuation test method for measuring the Screening Effectiveness of Feedtroughs and Electromagnetic Gaskets	2015-11	published
62153-4-15 (Ed2)	Test method for measuring transfer impedance and screening attenuation - or coupling attenuation with Triaxial Cell	2015-12	46/712/CD
62153-4-16	Relationship between surface transfer impedance and screening attenuation, Conversion a_s and Z_T	2016-10	published

Literatur

- [1] T. Hähner, B. Mund, & T. Schmid, Screening effectiveness of unshielded balanced pairs, Proceedings of the 2019 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC Europe 2019), Barcelona, Spain, September 2 - 6, 2019
- [2] T. Hähner, B. Mund, & T. Schmid, History and recent trends of Triaxial test procedure, Proceedings of the 67th IWCS Conference, Providence, RI, US, October 2018
- [3] Ralf Damm, Bernhard Mund & Thomas Schmid - EMV von Steckverbindern mit Triaxialer Absorberzelle bis 3 GHz, 11. Anwenderkongress Steckverbinder 2017, Vogel Verlag, Würzburg,
- [4] Bernhard Mund & Thomas Schmid, EMC of HV-cables and Components with Triaxial Cell, Wire & Cable Technology International, January & March 2012
- [5] B. Mund & C. Pfeiler, " Balunless measurement of coupling attenuation of screened balanced cables up to 2 GHz", Proceedings of the 64th IWCS Conference, Atlanta, US, October 2015
- [6] R. Damm, B. Mund, Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit bei der Messung der EMV von Steckern und Kabeln mit dem Triaxialverfahren, 8. Anwenderkongress Steckverbinder 2014, Vogel Verlag, Würzburg
- [7] Lauri Halme & Bernhard Mund, EMC of Cables, Connectors and Components with Triaxial Test set-up, IWCS, 62th International Wire & Cable Symposium, Charlotte, Nov. 2013
- [8] Thomas Hähner, Bernhard Mund: Test methods for screening and balance of communication cables; Proceedings of EMC Zurich, 1999, pp. 533-538
- [9] Thomas Hähner, Bernhard Mund: EMV-Verhalten symmetrischer Kabel – EMC Journal 4/1997
- [10] IEC TR 62153-4-1 Metallic Communication Cable Test Methods – Part 4-1: Introduction to Electromagnetic (EMC) Test Methods

emv – Messe Köln 17. – 19. März 2020

bda connectivity GmbH, Herborner Str. 61a, 35614 Asslar, Germany, www.bda-connectivity.com, ralf.damm@bda-c.com - bernhard.mund@bda-c.com

23

Danke fürs Zuhören



???



www.bda-c.com

bernhard.mund@bda-c.com