Workshop EMV Messtechnik

11. Anwenderkongress Steckverbinder EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren





- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

Inhalt

- EMV Einführung
 - Begriffe und Definitionen, Systemtests, Übersicht
- Triaxialverfahren
 - Kopplungswiderstand, Schirm- & Kopplungdämpfung mit dem Triaxialverfahren
- Neuerungen der IEC 62153-4-n Serie
- Messadapter
- Triaxiale Absorberzelle & Zelle mit Schiebewand
- Messdynamik
- Diskussion

EMV, Definition

Was bedeutet der Begriff "EMV"

(Elektromagnetische Verträglichkeit)?

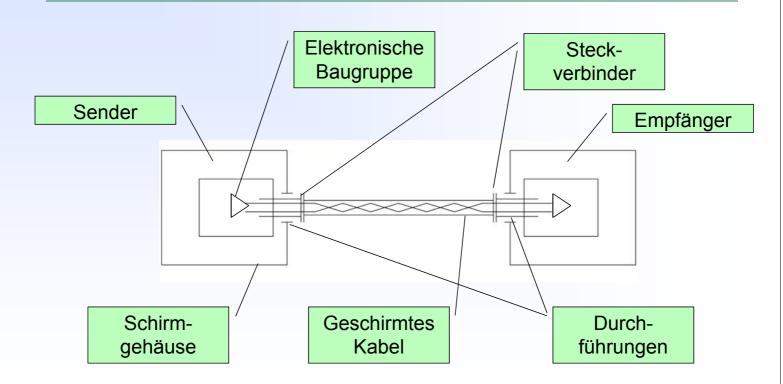
Definition nach VDE 0870:

"Fähigkeit einer elektrischen Einrichtung, in ihrer elektromagnetischen Umgebung zufriedenstellend zu funktionieren, ohne diese Umgebung, zu der auch andere Einrichtungen gehören, unzulässig zu beeinflussen."

- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

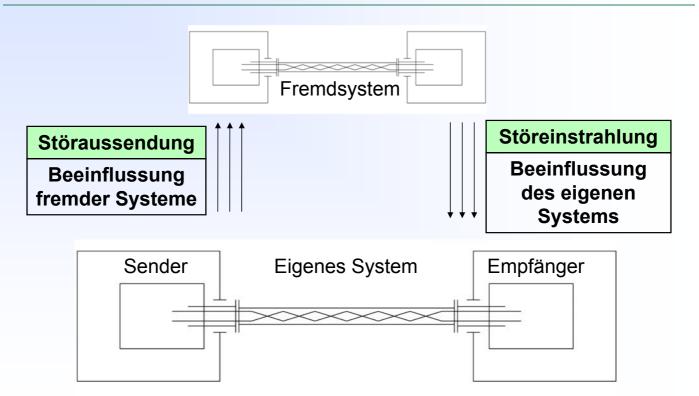
Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

Beispiel: Übertragungssystem



- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Störaussendung / Störeinstrahlung



- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

Sicherstellung der EMV

EMV-gerechtes Design

Reduzierung der Störungsanregung **Filterung Schirmung**

EMV-Tests

Emissionen / Immunität **Systemebene** Sub-Systemebene Komponentenebene

11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017

Beispiele für EMV-Tests auf Systemebene

Emissionsprüfungen (Störaussendung)

z.B. CISPR 25

- Antenne
- Stripline

Immunitätsprüfungen (Störfestigkeit)

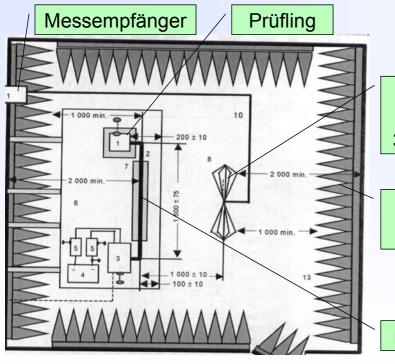
z.B. ISO 11452

- Antenne
- Bulk Current Injection
 - Stripline

- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

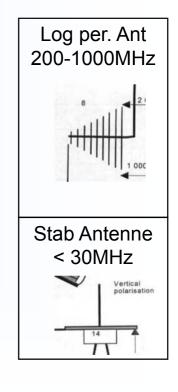
Emmisionsmessung mit Antenne



Bikonische **Antenne** 30-200MHz

Absorberraum

Kabelbaum

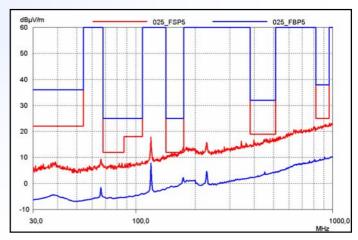


- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Emissionsmessung mit Antenne

Messung nach CISPR 25 Breitbandmessung erfordert Antennenwechsel

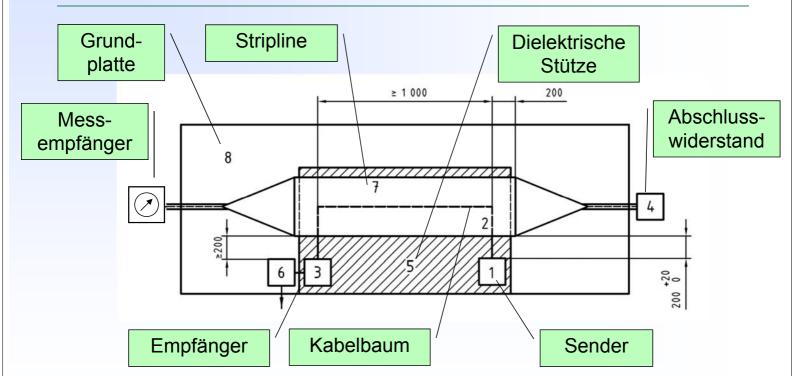
Spitzenwert-Messung (PEAK): rote Kurve (blaues Limit) Mittelwert-Messung (AVERAGE): blaue Kurve (rotes Limit)



- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

Stripline-Test



- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

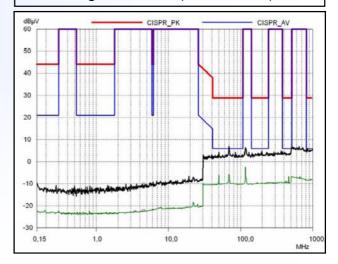
Emissionsmessung mit Stripline

Messung nach CISPR 25



Stripline im Absorberraum Schirmkabine reicht aus

Spitzenwert-Messung (PEAK): schwarze Kurve (rotes Limit) Mittelwert-Messung (AVERAGE): grüne Kurve (blaues Limit)



- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

Immunitätsprüfungen

Frequenzsweep mit spezifiziertem Feldstärkeverlauf

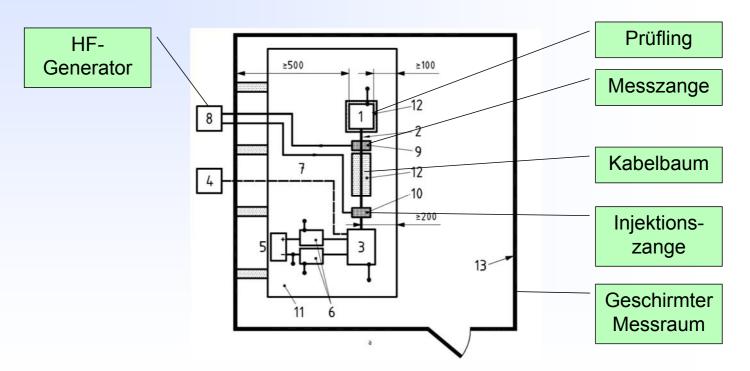
- z.B. ISO 11452-2: Antenne

- z.B. ISO 11452-5: Stripline

Frequenzsweep mit spezifiziertem Störstromverlauf:

- z.B. ISO 11452-4: Bulk Current Injection

Bulk Current Injection Test



- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

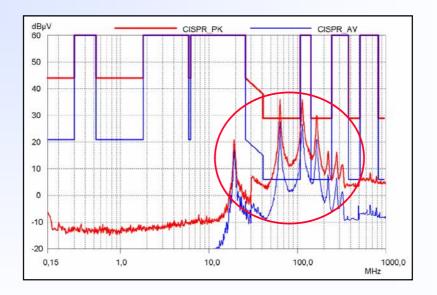
Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

Zusammenfassung EMV-Systemtest

- Geschirmte Kammer bzw. Absorberraum
- Ergebnisse abhängig vom Messaufbau
- Funktionierende Systeme erforderlich
- Hoher Aufwand

14

Was tun wenn die Limits überschritten werden?

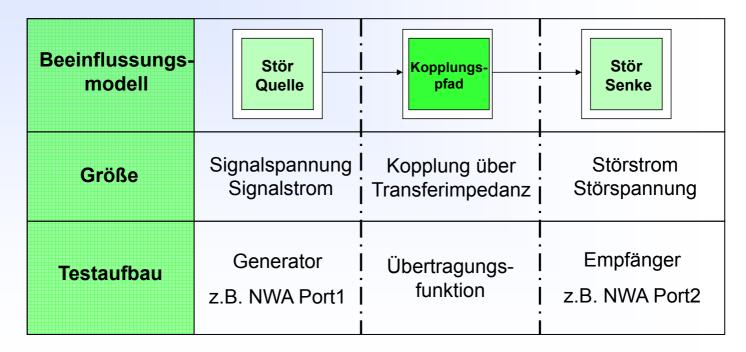


Messung der Einzelkomponenten des Systems!!!

- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

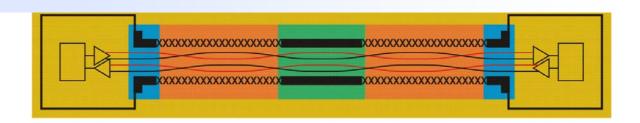
Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

Funktionsschema der Komponententests



11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017

Komponententest mit Kopplungsmessrohr CoMeT



Component **Tests**

IEC 62153-4-4 Kabel

IEC 62153-4-7 Steckverbinder IEC 62153-4-10 Durchführungen

CoMeT

Coupling **Measuring** Tube





- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

Mess-System CoMeT

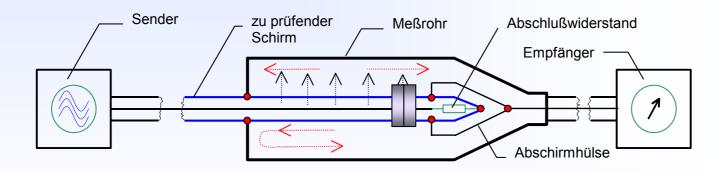


- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Messen mit dem Triaxial-Verfahren, Prinzip

Kopplungswiderstand & Schirmdämpfung

DC bis über 12 GHz mit einem Messaufbau

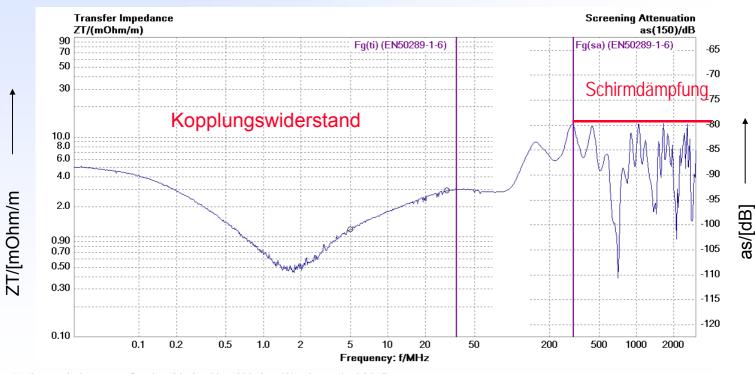


IEC 62153-4-3 & /-4-4Ed2 – Kopplungswiderstand/Schirmdämpfung, Triaxialverfahren IEC 62153-4-7Ed2 - Kopplungswiderstand & Schirmdämpfung von Steckern und von konfektionierten Kabeln - Rohr in Rohr Verfahren

- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

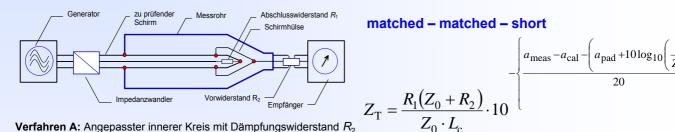
Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung



- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Änderungen der IEC 62153-4-3, Kopplungswiderstand



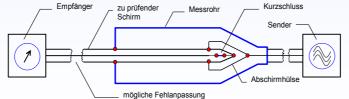
zu prüfende Empfänger

mögliche Fehlanpassung

mismatched - matched - short

$$Z_{T} = \frac{R_1 + Z_0}{2 \cdot L_c} \cdot 10^{-\left\{\frac{a_{\text{meas}} - a_{\text{cal}}}{20}\right\}}$$

Verfahren B: Innerer Kreis mit Abschlusswiderstand und äußerer Kreis ohne R2



mismatched - short - short

$$Z_{T} = \frac{Z_{0}}{2 \cdot L_{c}} \cdot 10^{-\left\{\frac{a_{\text{meas}} - a_{\text{cal}}}{20}\right\}}$$

21

Verfahren C: (Fehlangepasst)-Kurzschluss-Kurzschluss ohne Dämpfungswiderstand R₂

11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017

R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

Kopplungswiderstand mit WinCoMeT-software

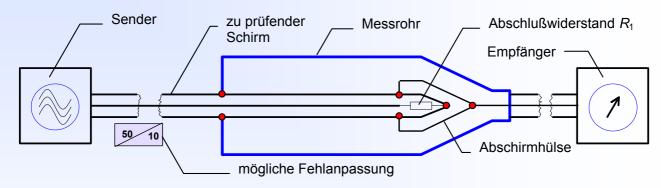


Verfahren A, B or C auswählen und ggf. die Widerstandswerte eintragen!

11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017

R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Änderungen der IEC 62153-4-4, Schirmdämpfung



Innerer Kreis mit Abschlusswiderstand $R_1 = Z_1$ und äußerer Kreis ohne Dämpfungswiderstand

$$a_{S} = 10 \cdot \log_{10} \left| \frac{P_{1}}{P_{r,\text{max}}} \right| = 10 \cdot \log_{10} \left| \frac{P_{1}}{P_{2,\text{max}}} \cdot \frac{2 \cdot Z_{S}}{Z_{1}} \right| = Env \left\{ -20 \cdot \log_{10} \left| S_{21} \right| + 10 \cdot \log_{10} \left| 1 - r^{2} \right| + 10 \cdot \log_{10} \left| \frac{300\Omega}{Z_{1}} \right| \right\}$$

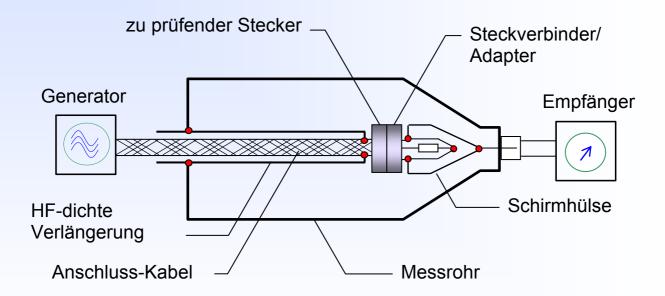
Der Term $|1 - r^2|$ stellt hier die Reflexionsdämpfung durch die Fehlanpassung zwischen Generator und Prüfling dar. Bei einer Fehlanpassung von 50 Ohm Generatorwiderstand auf z.B. 10 Ohm Wellenwiderstand des Prüflings ergibt sich damit ein Korrekturwert von ca. 2,5 dB!

Reflexions-koeffizient
$$r = \left| \frac{Z_0 - Z_1}{Z_0 + Z_1} \right|$$

- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

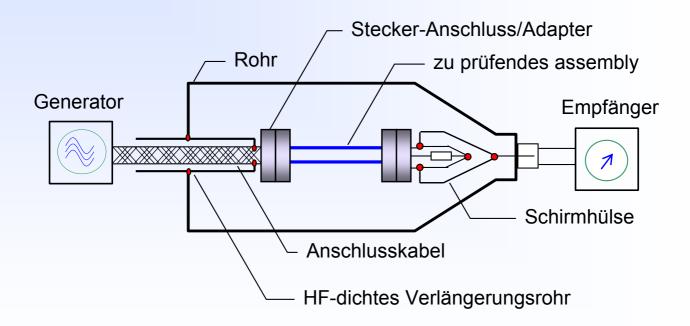
Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

Triaxialer Aufbau für Stecker mit "Rohr im Rohr"



"Rohr im Rohr"-Verfahren IEC 62153-4-7Ed2, Kopplungswiderstand, Schirmdämpfung und Kopplungsdämpfung von Steckern und Assemblies

Messen von konfektionierten Kabeln

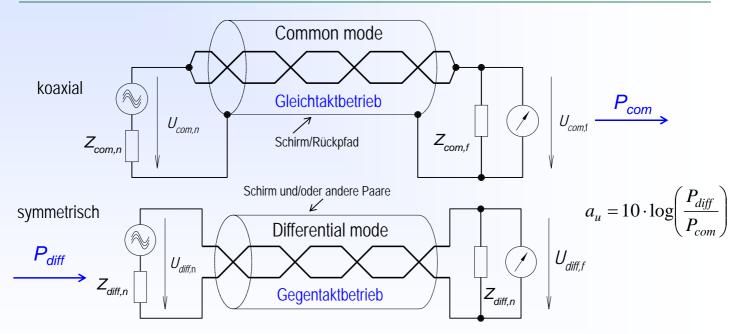


IEC 62153-4-7Ed2, "Rohr im Rohr" - Verfahren (Stecker & konfektionierte Kabel)

- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

Gegentakt- und Gleichtaktbetrieb



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

11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017

Kopplungsdämpfung symmetrischer Kabel

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

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

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

Die Schirmdämpfung as 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 $Z_{\rm S}$ = 150 Ohm ergibt sich:

bt sich:
$$a_S = 10 \cdot 1 g \left| \frac{P_1}{P_{r,\text{max}}} \right| = 10 \cdot 1 g \left| \frac{P_1}{P_{2,\text{max}}} \cdot \frac{2 \cdot Z_S}{R} \right|$$

$$= 10 \cdot 1 g \left| \frac{P_{2,\text{max}}}{P_{2,\text{max}}} \right| = 10 \cdot 1 g \left| \frac{P_1}{P_{2,\text{max}}} \cdot \frac{2 \cdot Z_S}{R} \right|$$

$$= 150 \text{ Ohm Wellenwiderstand im Aussenraum}$$

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

$$a_{\rm c} \approx a_{\rm u} + a_{\rm s}$$

$$a_{\rm c} = 10 \cdot \lg \left| \frac{P_{\rm diff}}{P_{\rm com}} \right| + 10 \cdot \lg \left| \frac{P_{\rm com}}{P_{\rm r, max}} \right|$$

es Paares.
$$a_{\rm c} \approx a_{\rm u} + a_{\rm s} \qquad a_{\rm c} = 10 \cdot \lg \left| \frac{P_{\rm diff}}{P_{\rm com}} \right| + 10 \cdot \lg \left| \frac{P_{\rm com}}{P_{\rm r, max}} \right| \qquad a_{\rm c} = 20 \cdot \lg \left| \frac{U_{\rm diff}}{U_{\rm 2,max}} \right| + 10 \cdot \lg \left[\frac{2 \cdot Z_{\rm S}}{Z_{\rm diff}} \right] \qquad (P_{\rm com} = P_{\rm 1})$$

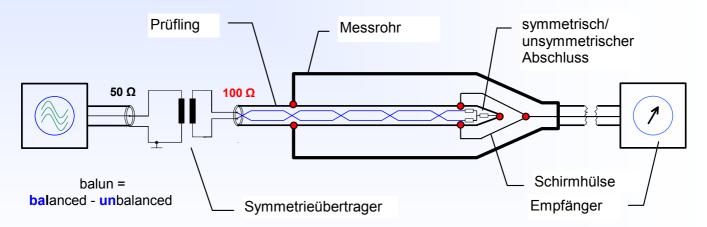
 U_{diff} = Eingangsspannung im Gegentaktbetrieb, $U_{2,\mathrm{max}}$ = max . Ausgangsspannung im Gleichtaktbetrieb, Z_{diff} = Wellenwiderstand im Gegentaktbetrieb 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017

R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

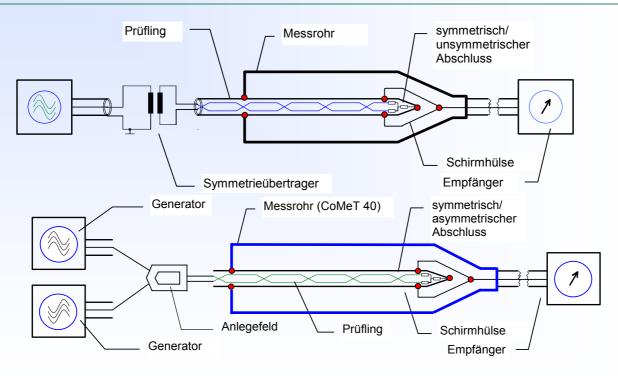
Kopplungsdämpfung mit Triaxialverfahren & Balun

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



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

Kopplungsdämpfung mit virtuellem Balun, IEC 62153-4-9



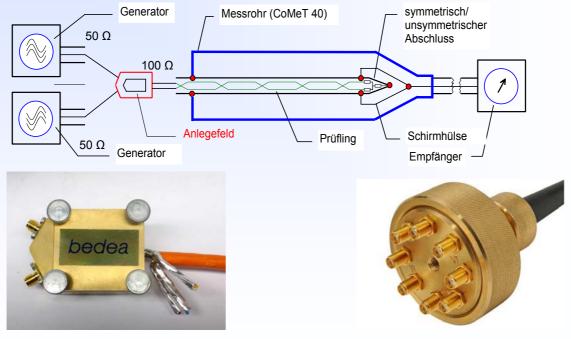
Messen der Kopplungsdämpfung mit Symmetrieübertrager und mit "virtuellem Balun" mit Standard-Messkopf

- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

Mixed mode mit Anlegefeld

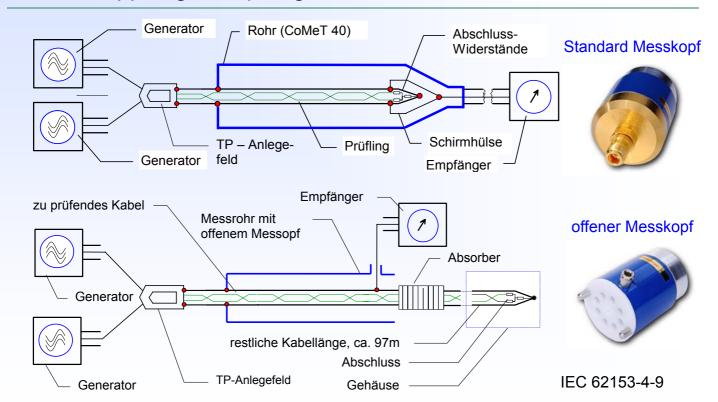
Zur Verbindung der beiden koaxialen 50 Ω Tore des NWA mit dem Prüfling wird ein Anlegefeld benötigt.



Das Anlegefeld verbindet die beiden 50-Ohm Ausgänge der Generatoren mit dem symmetrischen Paar

- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

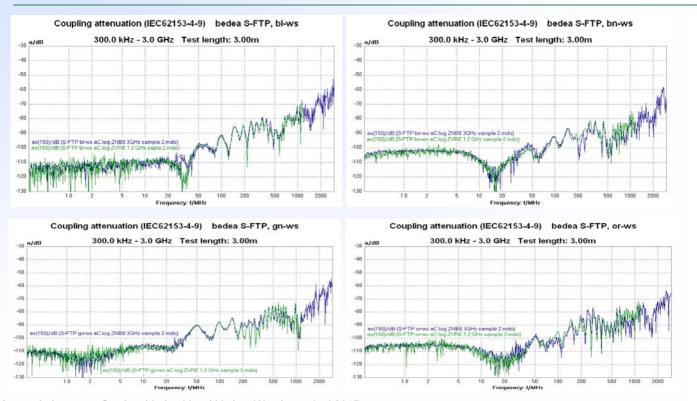
Kopplungsdämpfung bis 2 GHz mit virtuellem Balun



- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

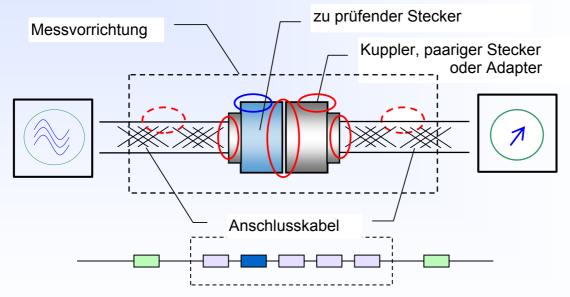
Balunless vs balun, S-FTP cable



- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Allgemeine Messprobleme bei Steckern

Stecker können nur in gestecktem Zustand gemessen werden!



Kopplungswiderstände addieren sich!

Übergänge sind daher von so geringer Impedanz wie möglich auszuführen.

- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

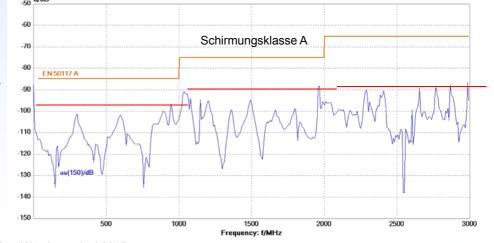
Mess-Adapter, IEC 61169-2 - Stecker



Mess-Adapter aus IEC 61169-2 - Stecker und IEC 61169-2 - Kuppler jeweils mit F- Kuppler (Gewinde) mit "Rohr im Rohr"- Verfahren

Der Mess-Adapter bestimmt die Grenze der Messempfindlichkeit Die eingesetzten Mess-Adapter müssen im Messprotokoll angegeben werden.

Der Abstand von der Kurve der Adapter sollte min. 10 dB betragen (es gelten nur die max-Werte !!)

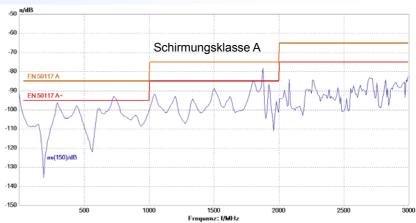


- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Messen von Anschlusskabeln ohne Adapter







- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Jun 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

Neue Adapter zur Messung von RJ 45 Assemblies





Adapter am nahen Ende, (Generator-Seite)



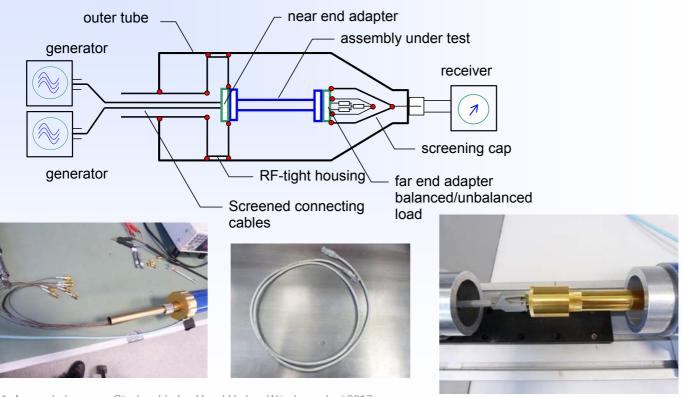


Adapter am fernen Ende, (Abschlusswiderstände), alle Kontakte sind angeschlossen

^{11.} Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017

R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

RJ 45 Messadapter, Prinzip



- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

Messung von geschirmten und ungeschirmten Kabeln













- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

verschiedene Triaxiale Zellen des CoMeT Systems

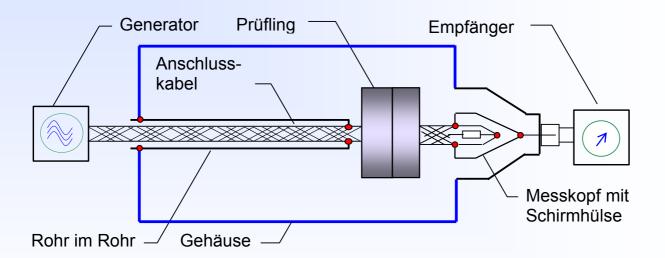


- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

verschiedene Ausführungen Triaxialer Zellen

Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

Triaxiale Zelle - IEC 62153-4-15 - Prinzip



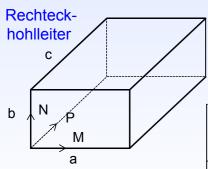
IEC 62153-4-15, Messung von Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung oder Kopplungsdämpfung mit der Triaxialen Zelle

Problem: Höhere Moden und Resonanzen

- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Höhere Moden und Resonanzen

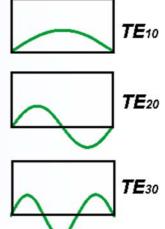
Das Triaxialverfahren arbeitet nach dem Prinzip der Transversalen Elektromagnetischen Wellenausbreitung (TEM - Wellen). Bei hohen Frequenzen wird die Triaxiale Zelle im Prinzip zu einer Kavität bzw. zu einem Rechteck-Hohlleiter mit entsprechenden Resonanzen in Abhängigkeit der Abmessungen. Oberhalb dieser Resonanzfrequenzen ist die Ausbreitung von TEM-Wellen gestört; Messungen mit dem Triaxialverfahren werden beeinträchtigt.



Die Grenzfrequenz f_c einer Kavität ergibt sich zu: Resonanzfrequenzen f, ergeben sich zu:

$$f_{mnp} = \frac{c_0}{2} \sqrt{\left(\frac{M}{a}\right)^2 + \left(\frac{N}{b}\right)^2 + \left(\frac{P}{c}\right)^2}$$

M,N,P	sind die Zahlen der Moden, wobei M und N für das
	transversale und P für das longitudinale Vielfache
	der halben Wellenlänge steht, (M,N,P = 1,2,3
	wobei M oder N zu Null gesetzt werden kann)
a,b,c	sind die Dimensionen der Kavität, wobei a und b
	mit der transversalen und c mit der longitudinalen
	Dimension gekoppelt ist.
C ₀	Ist die Lichtgeschwindigkeit im freien Raum



41

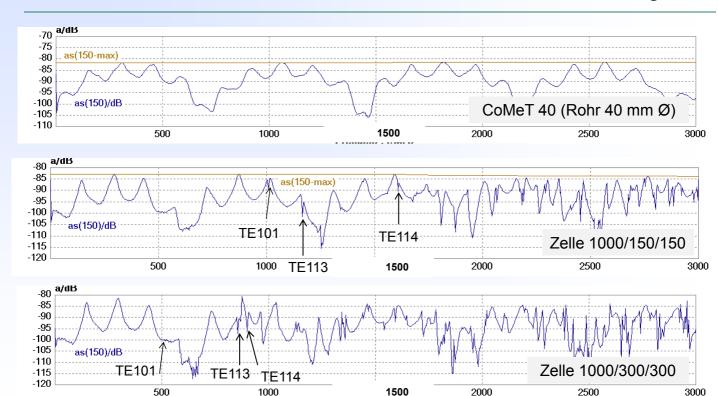
$$f_c = \frac{c_0}{2a}$$

11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017

R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

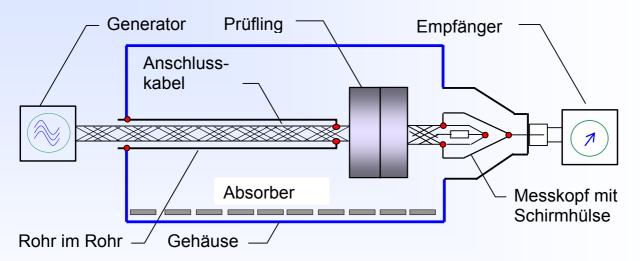
Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

Höhere Moden & Resonanzen in Triaxialen Prüfeinrichtungen



11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017

Triaxiale "Absorberzelle" IEC 62153-4-15Ed2



Durch Absorbermaterial können höhere Moden wirkungsvoll unterdrückt werden. Damit sind Messungen bis zu und über 3 GHz möglich. Geeignet sind Ferrit-Absorber, nanokristaline Absorber und magnetische Absorber

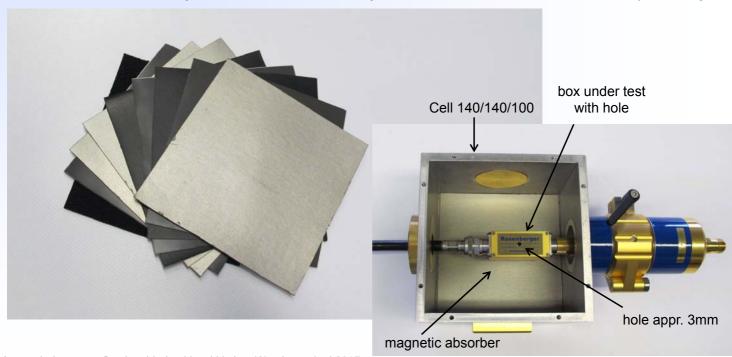
Triaxiale "Absorber-Zelle" nach IEC 62153-4-15Ed2 (Erweiterung der IEC 62153-4-15 mit Absorbern in Vorbereitung bei IEC TC 46/WG5)

- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

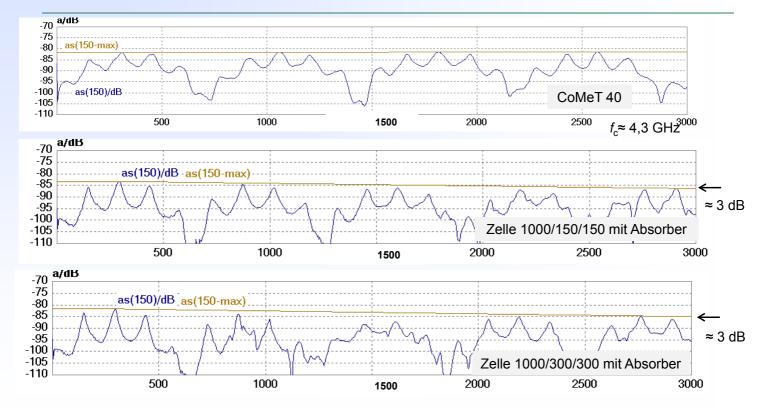
Magnetische Absorber

Although other absorber material like ferrites or nanocrystalline absorbers could be useful, measurements were performed with magnetic absorbers due to the good mechanical characteristics and easy handling.



- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

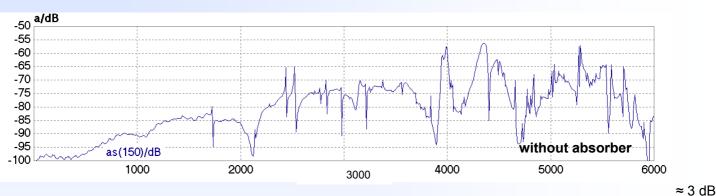
Übersicht Triaxialverfahren mit Absorber

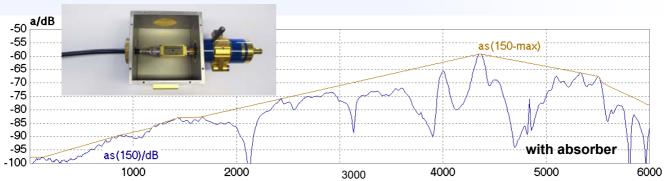


- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

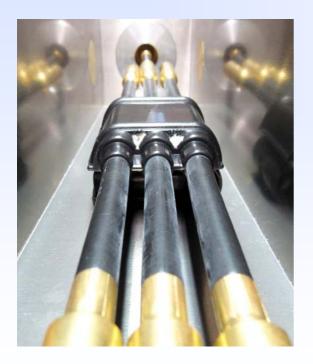
Box mit Loch in "Absorber-Zelle" 140/140/100

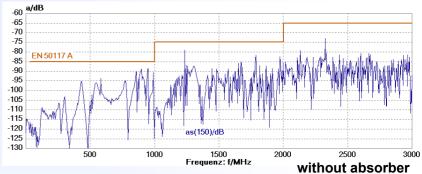


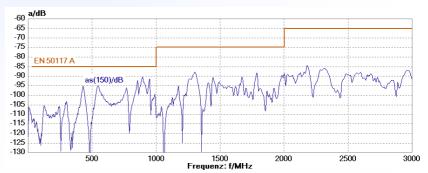


- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

CATV-Verteiler mit Triaxialer Zelle 1000/300/300







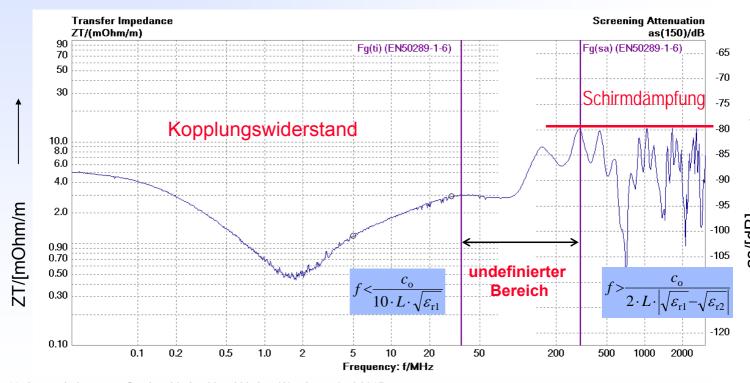
with absorber 3x30x30, 5mm

11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017

R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

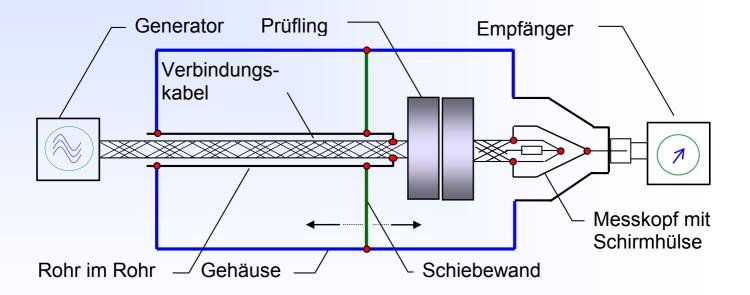
Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung



11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017

R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Triaxiale Zelle mit Rohr im Rohr und Schiebewand

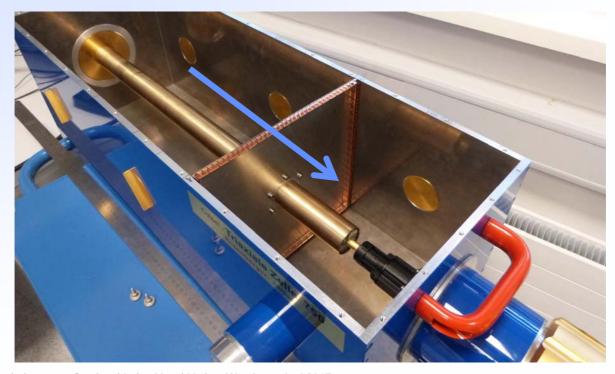


Kopplungswiderstand von HV-Steckern mit Triaxialer Zelle mit Schiebewand

- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

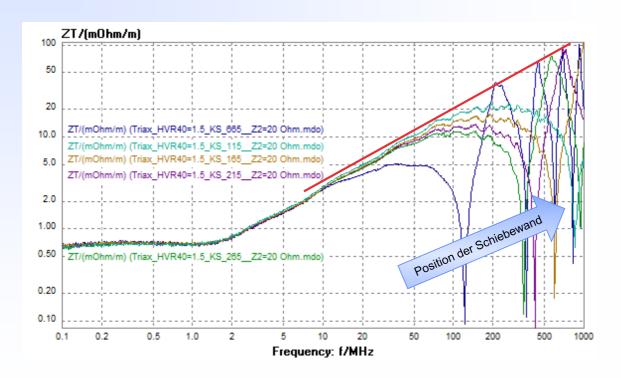
Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

Triaxiale Zelle mit Rohr im Rohr und Schiebewand



- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Triaxiale Zelle mit Rohr im Rohr und Schiebewand



- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

Internationale Normen für Triaxialverfahren, (CoMeT)

TR 62153-4-1 Ed2	Einführung in elektromagnetische Messungen der Schirmwirkung	published
62153-4-3 <mark>Ed2</mark>	Kopplungswiderstand - Triaxialverfahren	published
62153-4-4Ed2	Geschirmtes Messverfahren zur Messung der Schirmdämpfung "as" bis zu und über 3 GHz	published
62153-4-7Ed2	Kopplungswiderstand und Schirmdämpfung von Steckern und von konfektionierten Kabeln, Rohr in Rohr Verfahren	published
62153-4-9 <mark>Ed2</mark>	Kopplungsdämpfung geschirmter symmetrischer Kabel - Triaxialverfahren	46/642/CDV
62153-4-10Ed2	Geschirmtes Messverfahren zur Messung der Schirmwirkung von Durchführungen und elektromagnetischen Dichtungen	published
62153-4-15	Prüfverfahren zur Messung von Kopplungs-widerstand und der Schirmdämpfung oder der Kopplungsdämpfung mit der Triaxialen Zelle	published, Ed.2 in Vorbereitung
62153-4-16TR	Beziehung zwischen Kopplungswiderstandes und der Schirmdämpfung	46/615/FDIS
EN 50289-1-6	Elektrische Prüfverfahren; Elektromagnetisches Verhalten	wird zurückgezogen

- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

Literatur

- [1] R. Damm; B. Mund, T. Schmid et. al. - Higher Order Mode Suppression in Triaxial Cells, Proceedings of the 65nd IWCS Conference, Providence, RI, USA, pp 133 – 139, October 2016
- [2] 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.
- [3] Bernhard Mund & Thomas Schmid, Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit bei der Messung der EMV von Steckern und Kabeln mit dem Triaxialverfahren, 8. Anwenderkongress Steckverbinder 2014, Vogel Verlag, Würzburg
- [4] Lauri Halme & Bernhard Mund, Messen der Schirmwirkung elektrischer Kabel, Anwenderforum Elektrische Kabel, Technische Akademie Esslingen [TAE], 15. Oktober 2013
- [5] Bernhard Mund, EMV von Kabeln, Steckern und HV-Komponenten mit dem Triaxialverfahren, 7. Anwenderkongress Steckverbinder 2013, Vogel Verlag, Würzburg
- [6] Bernhard Mund & Thomas Schmid, EMC of HV-cables and Components with Triaxial Cell, Wire & Cable Technology International, January & March 2012
- [7] Bernhard Mund & Thomas Schmid, Schirmwirkung von HV-Leitungen mit der Triaxialen Zelle, 5. Anwenderkongress Steckverbinder 2011, Vogel Verlag, Würzburg
- [8] Bernhard Mund & Thomas Schmid: Messen der Schirmdämpfung von Steckverbindern, Kabeldurchführungen und EMV-Dichtungen, 3. Anwenderkongress Steckverbinder 2009, Vogel Verlag, Würzburg
- [9] Triaxiale Messtechnik CoMeT auf www.bedea.com/Messtechnik
- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017
- R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

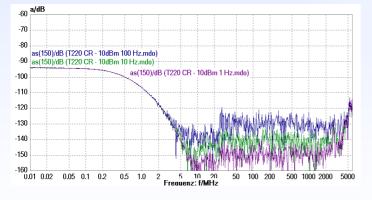
Workshop: EMV von Steckern & Komponenten mit dem Triaxialverfahren Rosenberger bedea

ZF-Bandbreite & Generatorleistung

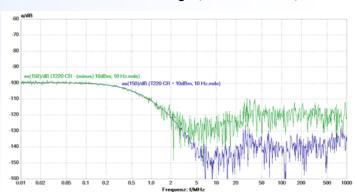


$$L_R = -174dBm + NF + 10\log(S_F)dB + 10\log\left(\frac{B_{ZF}}{Hz}\right)dB$$

verschiedene ZF-Bandbreiten, 100 Hz, 10Hz, 1 Hz



verschiedene Generatorleistungen, minus - 10 dBm, + 10 dBm

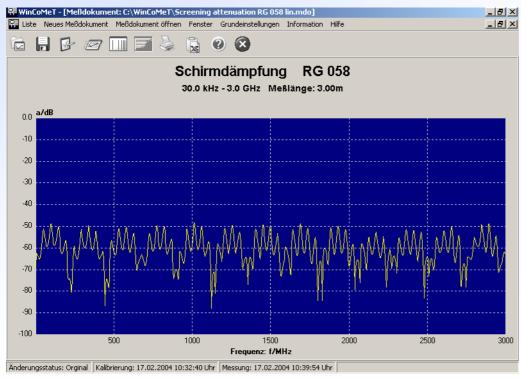


Eine Reduzierung der ZF-Bandbreite um den Faktor 10 erhöht die Mess-Empfindlichkeit um 10 dB

Eine Erhöhung der Generatorleistung um je 10 dBm erhöht die Mess-Empfindlichkeit um je 10 dB

11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017

Steuer- & Auswerte-Software WinCoMeT



- 11. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel-Verlag, Würzburg, Juni 2017 R. Damm & B.Mund, bedea, rdamm@bedea.com, bmund@bedea.com, Thomas Schmid, Rosenberger, thomas.schmid@rosenberger.de

- Steuerung des Netzwerkanalysators
- Auswertung der Messergebnisse
- Dokumentation
- Export der Daten nach MS-Excel
- Ausgabe auf Drucker
- Vollversion zur Messung der Übertragungsparameter von Kommunikationskabeln
- einschliesslich FFT
- und Gating-Funktion

Danke fürs Zuhören www.bedea.com bmund@bedea.com