



emv

Bernhard Mund
bda connectivity GmbH
Herborner Straße 61A
35614 Aßlar, Germany
bernhard.mund@bda-c.com



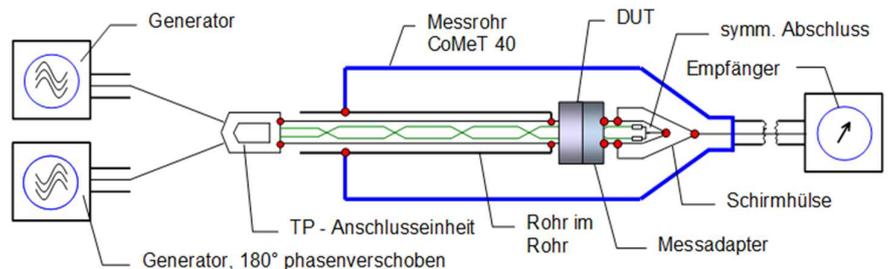
EMV-Messe Köln, 12. - 14. Juli 2022

In Zusammenarbeit mit
Holger Brosch, und Thomas Schmid,
Rosenberger Hochfrequenztechnik GmbH, Fridolfing
& Ralf Damm, bda connectivity GmbH, Aslar

EMV-Parameter von SPE Kabeln & Steckern

Inhalt

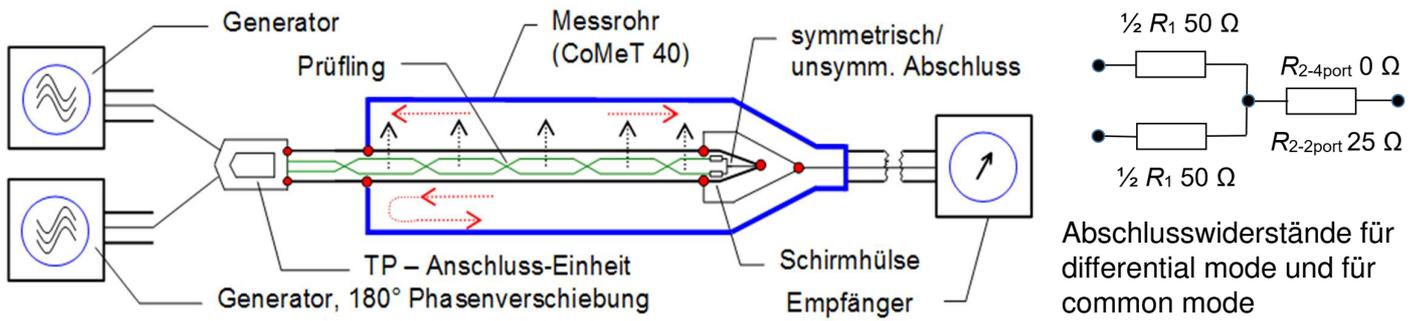
- Kopplungsdämpfung bei tiefen Frequenzen, LFCA
- Unsymmetriedämpfung bzw. Modenkonzersion
- Systemverifikation
- Normalisierung
- Messungen
 - SPE Kabel
 - SPE Stecker
- Ausblick & Diskussion



Abkürzungen:

SPE = Single Pair Ethernet, **CA** = Coupling Attenuation, **LFCA** = Low Frequency Coupling Attenuation

Kopplungs­dämpfung CA/LFCA

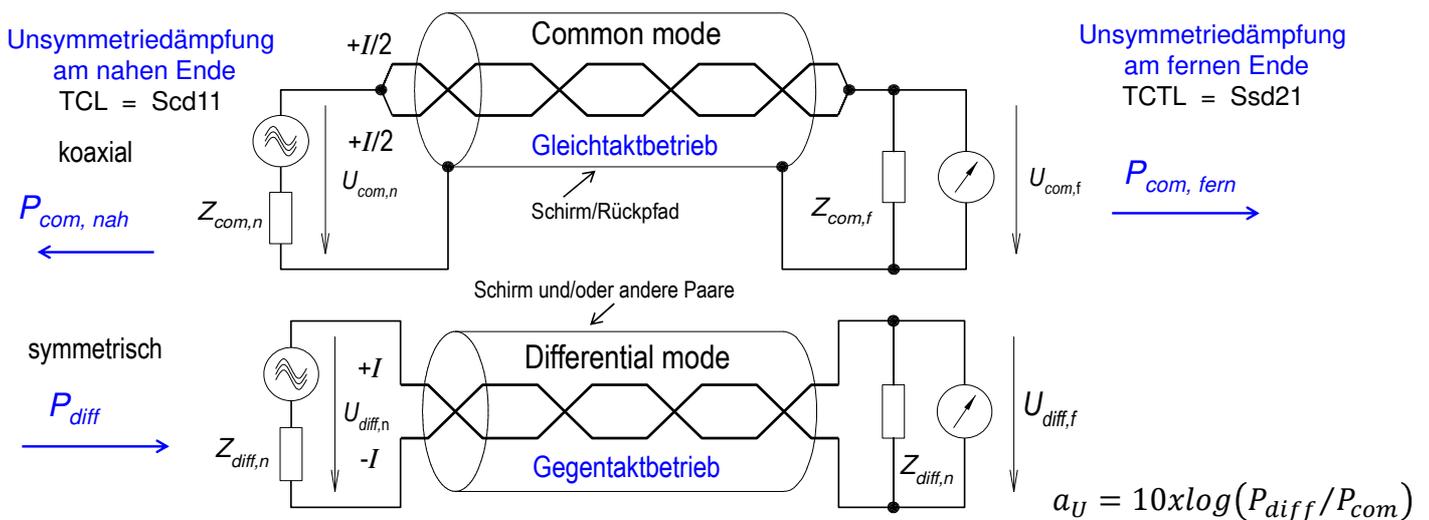


Das symmetrische Paar wird über zwei um 180° phasenverschobene Generatoren mit einem differentiellen 100 Ω Signal gespeist (**virtueller Balun**).

Energie koppelt zunächst aus dem "differential mode" in den "common mode" (**Modenkonversion**) und dann aus dem "common mode" in das Meßrohr (den Außenkreis). Durch den Kurzschluss am sendernahen Ende läuft die gesamte, in den Außenkreis gekoppelte Energie zum Empfänger.

Nach IEC 62153-4-9 kann die Kopplungs­dämpfung ab 30 MHz gemessen werden. Mit der Erweiterung IEC 62153-4-9Amd1 kann jetzt mit gleichem Messaufbau auch die "Kopplungs­dämpfung bei tiefen Frequenzen" (Low Frequency Coupling Attenuation, **LFCA**) ab 100 kHz gemessen werden. - Vorgeschlagene Messlänge 3 Meter.

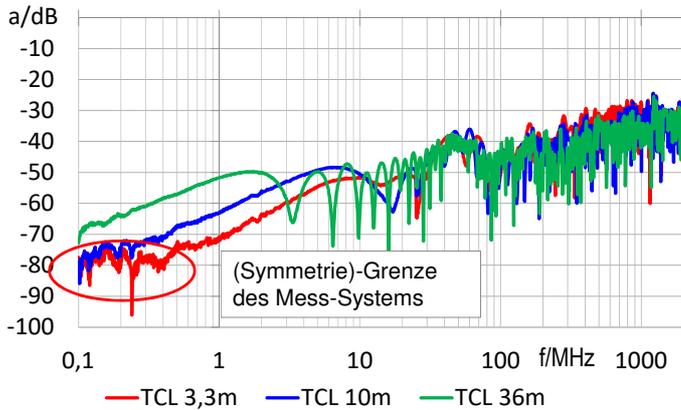
Unsymmetriedämpfung bzw. Modenkonversion



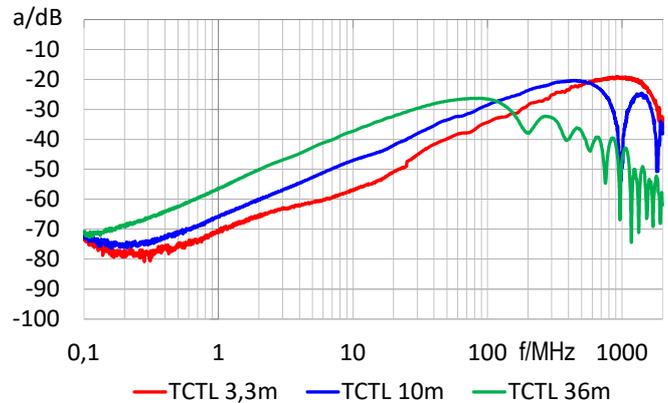
Die **Unsymmetriedämpfung** a_U eines symmetrischen Paares beschreibt im log. Maß, wie viel Leistung vom **Gegentaktsystem** in das **Gleichtaktsystem** überkoppelt (oder umgekehrt). Sie ist das log. Verhältnis von eingespeister Leistung im Gegentaktbetrieb P_{diff} zur in den Gleichtaktbetrieb übergekoppelten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

Unsymmetriedämpfung bei verschiedenen Längen

einpaarig geschirmtes AWG 23/1 Kabel bei verschiedenen Längen



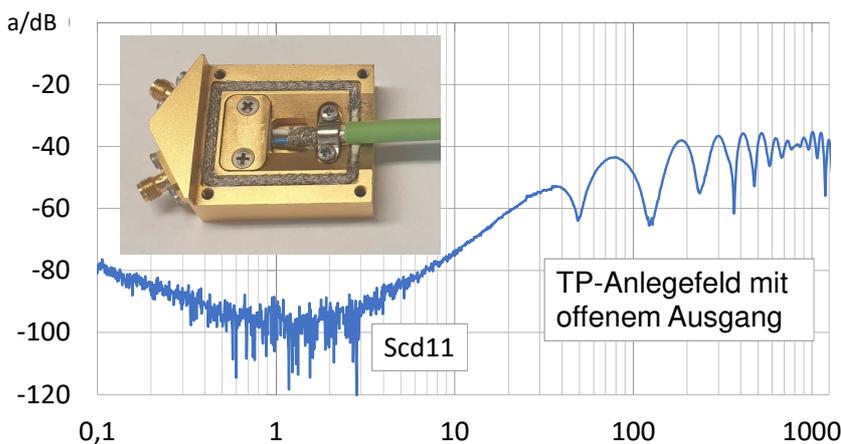
nahes Ende, TCL bzw. Scd11



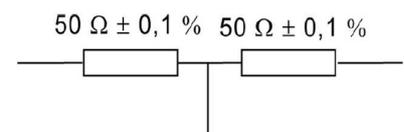
fernes Ende, TCTL bzw. Scd21

Bei hohen Frequenzen nähert sich die Unsymmetriedämpfung asymptotisch einem Grenzwert an (ca. -25 dB). Bei tiefen Frequenzen wird die Unsymmetriedämpfung höher (die Modenkonzersion wird geringer), ausserdem haben hier kürzere Längen eine höhere Unsymmetriedämpfung als große Längen. Im Bereich von ca. -80 dB wird die (Symmetrie)-Grenze des Mess-Systems erreicht.

System-Verifikation



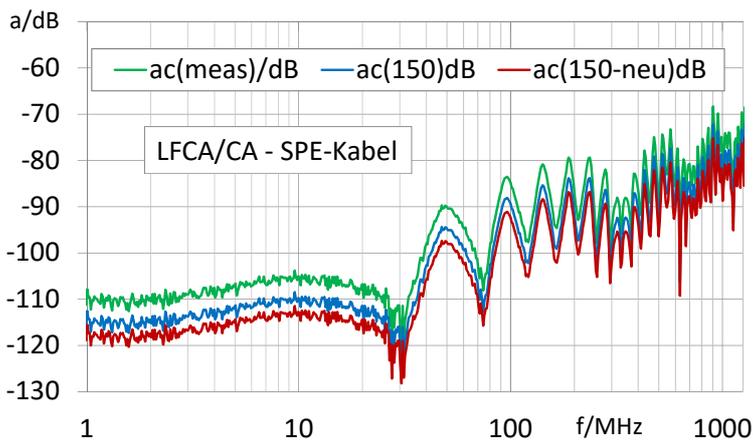
Eine Abschätzung der **System-Modenumwandlung** kann durch die Messung des Parameters **Scd11** eines **TP-Anlegefeldes** mit offenem Ausgang erfolgen. Die Moden-Umwandlung des **Mess-Systems** liegt bei niedrigen Frequenzen zwischen -80 und -70 dB und steigt zu hohen Frequenzen auf ca. -40 dB an.



R ₁	R ₂	R ₂ -R ₁	Unsymmetrie Scd11
50	50,1	0,1	-66,0
50	50,08	0,08	-68,0
50	50,06	0,06	-70,5
50	50,04	0,04	-74,0
50	50,02	0,02	-80,0
50	50,01	0,01	-86,0

Bei tiefen Frequenzen kann die Unsymmetrie der Abschlusswiderstände die Unsymmetrie der Prüflinge übersteigen und die Messergebnisse verfälschen. Eine Toleranz von 0,1 % wird für SPE-Messungen als ausreichend betrachtet.

Normalisierung, CA/LFCA eines SPE-Kabels



Um die Kopplungsdämpfung a_c mit Messungen mit Absorberzangen zu vergleichen, wurde in den Normen ein **willkürlich** eingesetzter **normalisierter** Wert $Z_S = 150 \Omega$ eingeführt.

Damit ergibt sich die Kopplungsdämpfung a_c zu: $a_c = 20 \log_{10} \left| \frac{U_{diff}}{U_{2,max}} \right| + 10 \log_{10} \left[\frac{2Z_S}{Z_{diff}} \right]$
 Mit $Z_S = 150 \Omega$ und $Z_{diff} = 100 \Omega$ ergibt sich ein **Korrekturwert** von **4,8 dB**.

NWAs geben allerdings **S-Parameter** anstelle von Spannungsverhältnissen an.

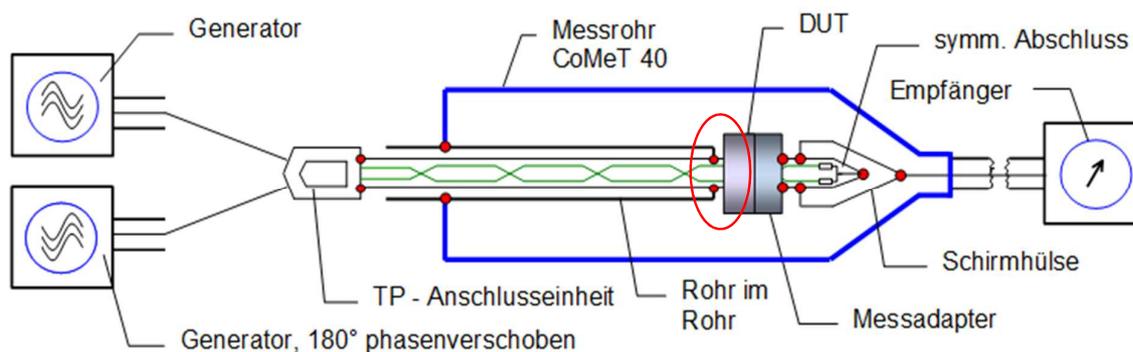
Da der Term $U_{diff}/U_{2,max}$ häufig als **S-Parameter** S_{sd21} interpretiert wird, wird von IEC TC 46/WG5 folgende neue Darstellung vorgeschlagen:

$$a_c = -20 \log_{10} |S_{sd21}| + 10 \log_{10} \left| \frac{Z_{diff}}{Z_0} \right| + 10 \log_{10} \left| \frac{2Z_S}{Z_{diff}} \right| \quad a_c = -20 \log_{10} |S_{sd21}| + 10 \log_{10} \left| \frac{2Z_S}{Z_0} \right|$$

Mit $Z_S = 150 \Omega$ und $Z_0 = 50 \Omega$ ergibt sich damit ein **Korrekturwert** von **7,8 dB**.

Die in diesem Bericht dargestellten Messwerte sind Rohwerte ohne Umrechnung

Kopplungsdämpfung eines SPE-Steckers



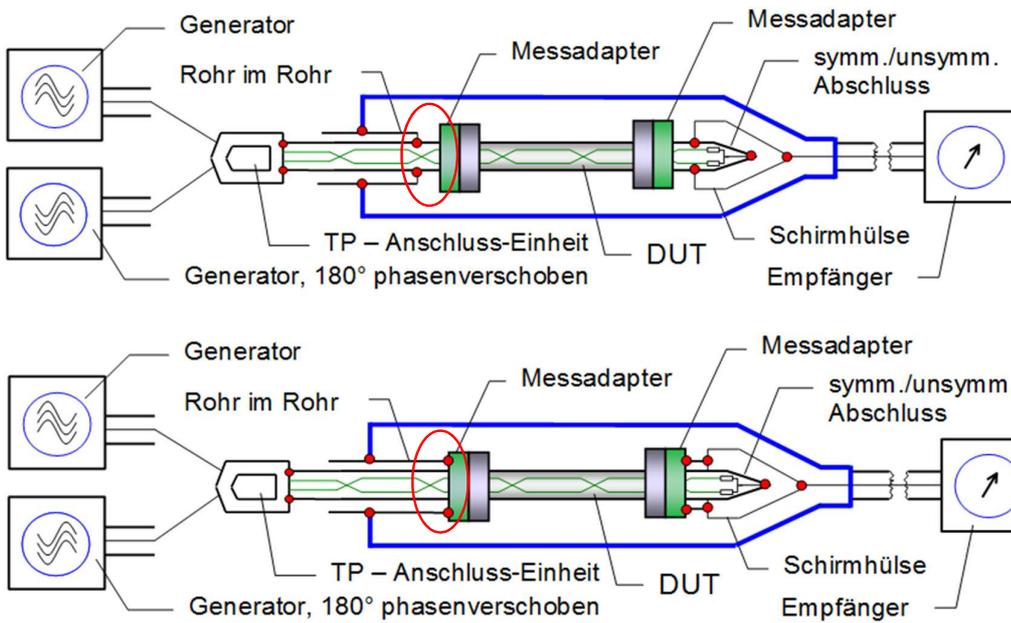
Messaufbau mit **selbst gefertigtem Adapter** aus SPE-Steckerpaar

Messung der **CA/LFCA** an einem SPE-Stecker mit **Rohr-in-Rohr** Verfahren nach IEC 62153-4-7Ed3

Stecker und Konfektionierung werden gemessen.

empfohlene Messlänge: 3 m (tbd)

Kopplungsdämpfung von SPE-Assemblies

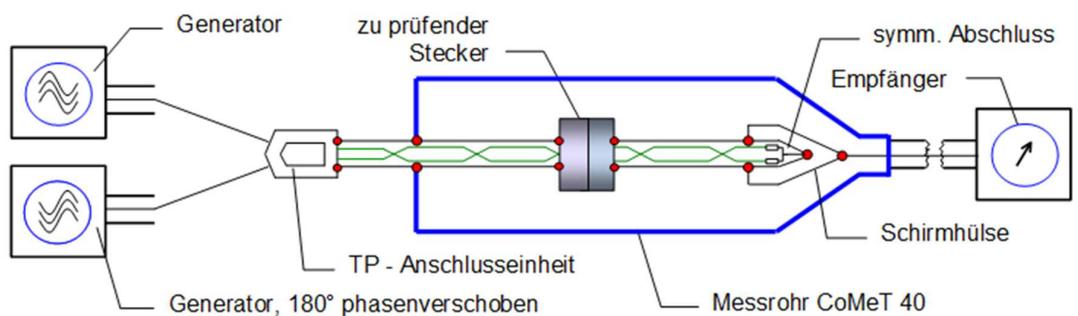
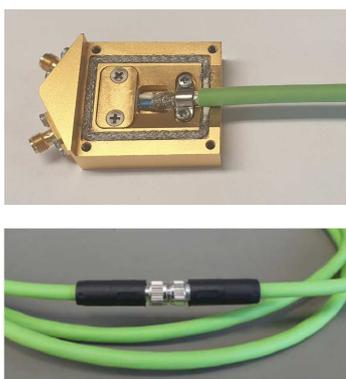


Messaufbauten für SPE Assemblies mit Rohr-in-Rohr.

Das Rohr-im-Rohr kann am Speisekabel kontaktiert sein um auch die Konfektionierung zu messen (Bild oben)

oder direkt am Messadapter (Bild unten)

Assembly mit gestecktem Steckerpaar

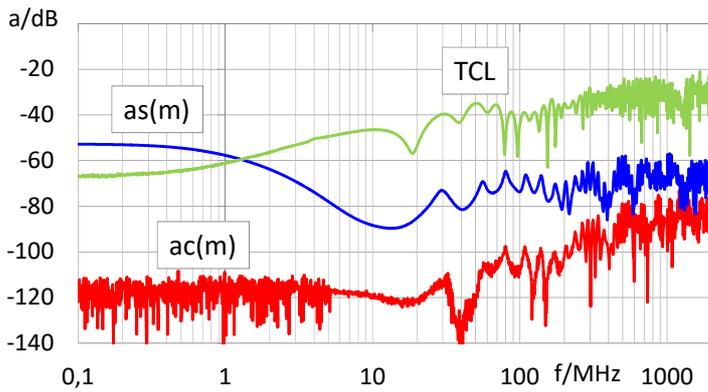


SPE-Assembly mit Steckerpaar in der Mitte des Messrohres.

Wenn das Assembly länger als das Messrohr ist, kann das Assembly in der Mitte getrennt und dann zusammengesteckt werden.
Die Messung erfolgt dann analog zur Messung von SPE-Kabeln

Empfohlene Messlänge: 3 m.

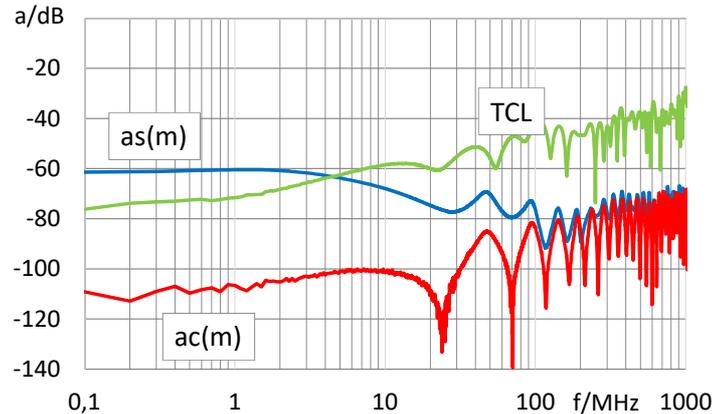
Messergebnisse verschiedener SPE-Kabel



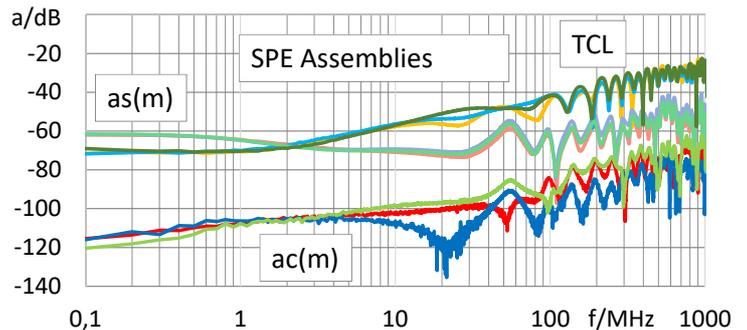
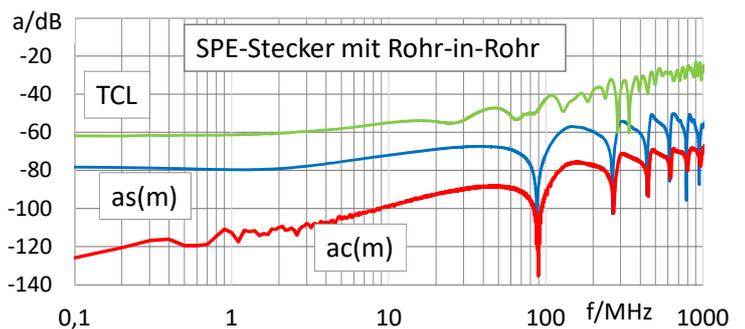
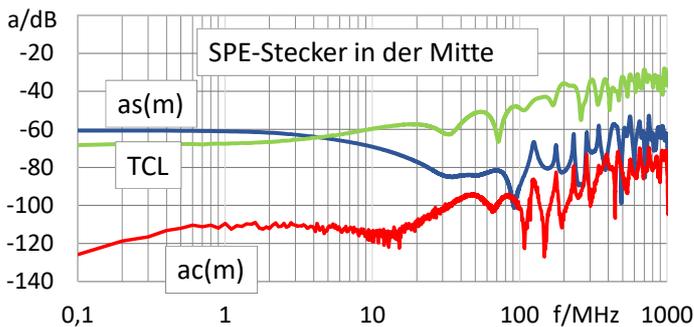
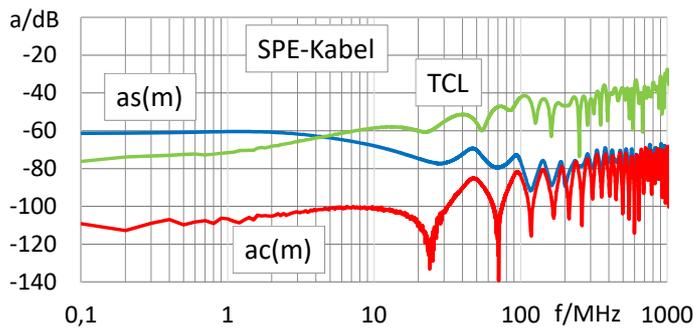
as(m) = gemessene Schirmdämpfung
 ac(m) = gemessene Kopplungsdämpfung
 jeweils ohne Korrektur bzw. ohne Normalisierung
 TCL = Unsymmetriedämpfung am nahen Ende,
 Scd11

Unsymmetriedämpfung, Schirmdämpfung & Kopplungsdämpfung verschiedener SPE-Kabel mit Folie und Geflecht als Schirm.

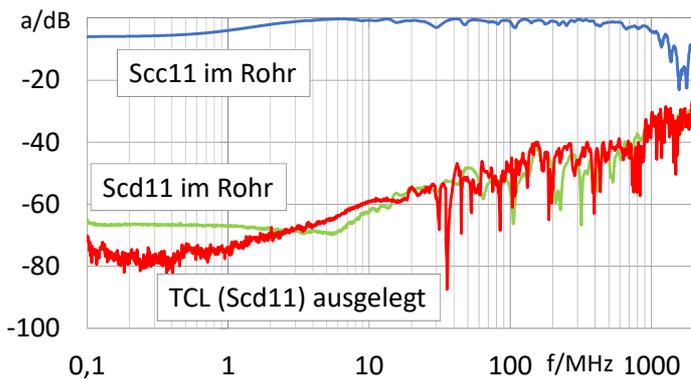
Die Kopplungsdämpfung ergibt sich aus dem Zusammenwirken von Unsymmetriedämpfung und Schirmdämpfung.



Messergebnisse SPE-Kabel & Stecker, 3 m Länge

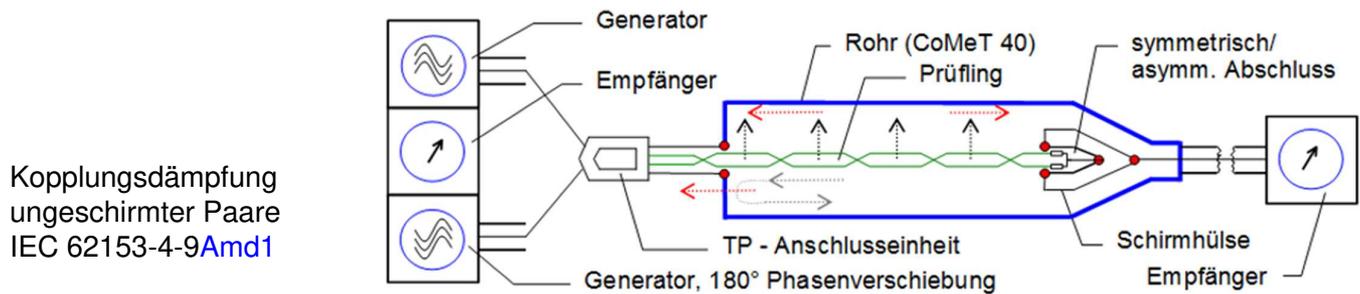


LFCA/CA an einem ungeschirmten Kabelmuster



Da es beim ungeschirmten Paar keinen Schirm gibt, entfällt der Kurzschluss am nahen Ende. Die Welle zum nahen Ende hin läuft zurück zu den Generatoren.

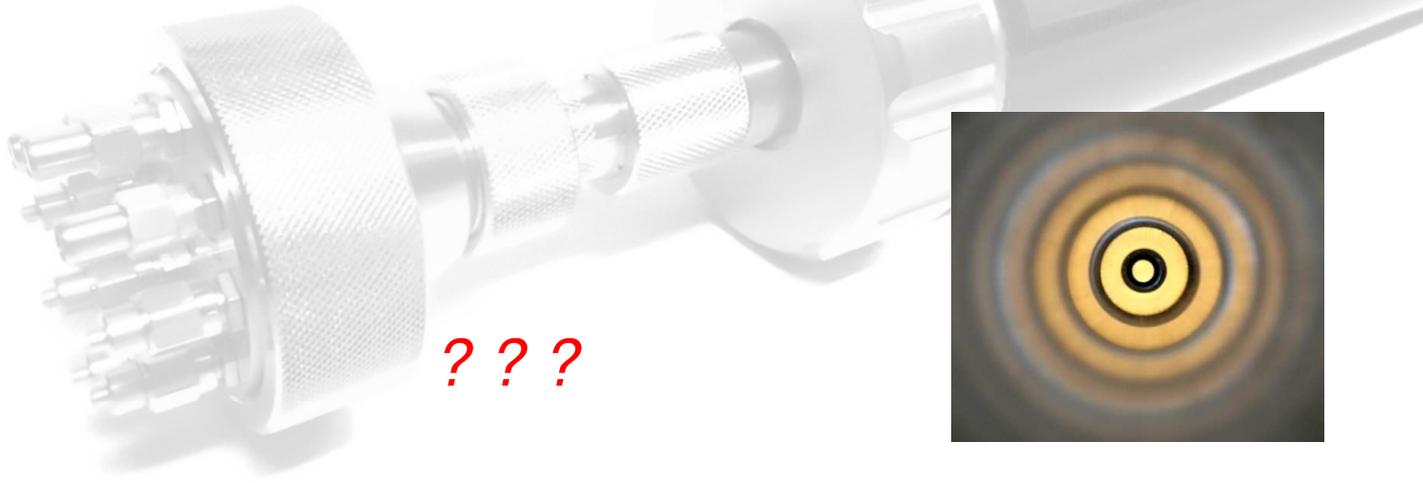
Daher können Kopplungsmessungen ungeschirmter Kabel und Stecker an beiden Enden durchgeführt werden. Die **Kopplungsdämpfung am nahen Ende** ergibt sich dabei als Scd11 was im Prinzip der Unsymmetrie bzw. dem TCL des Prüfobjektes am nahen Ende entspricht.



Zusammenfassung und Ausblick

- Die Unsymmetriedämpfung a_U eines symmetrischen Kabels beschreibt im log. Maß, wie viel Leistung vom **Gegentaktsystem** in das **Gleichtaktsystem** überkoppelt (oder umgekehrt).
- Mit der Ergänzung der IEC 62153-4-9Amd1 kann jetzt die Kopplungsdämpfung **LFCA** bei tiefen Frequenzen ab 100 kHz aufwärts gemessen werden.
- Die entsprechende Erweiterung der IEC 62153-4-7 für Stecker ist bei IEC TC 46/WG 5 in Vorbereitung.
- Messungen der Kopplungsdämpfung von SPE-Steckern weichen nur unwesentlich von den Werten des SPE-Kabels ab. Im Bereich bis 10 MHz liegen sie unterhalb von -100 dB und erreichen bei 1250 MHz einen Wert von ca. -70 dB. (-65 dB & -30 dB ungeschirmt)
- Zur Systemverifikation sollte der Parameter Scd11 am offenen Ausgang des Anlegefeldes gemessen werden. Eine Toleranz von 0,1 % ist für Abschlusswiderstände ausreichend.
- Zu diskutieren ist die erforderliche Messlänge für die LFCA sowie die Frage, ob für die LFCA ein **normalisierter** Wert $Z_S = 150 \Omega$ eingeführt werden soll.
- Die offenen Fragen fließen in die Überarbeitung der IEC 62153-4-7Ed3 ein.
- Weitere Messungen an SPE-Kabeln und Steckern sind hierzu erforderlich.

Danke fürs Zuhören



www.bda-c.com
bernhard.mund@bda-c.com

EMV-Messe Köln, 12. – 14. Juli 2022, Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, bernhard.mund@bda-c.com, www.bda-c.com

Literatur



- [1] Thomas Hähner, Bernhard Mund: Test methods for screening and balance of communications cables; Proceedings of EMC Zurich, 1999, pp. 533-538
- [2] Bernhard Mund, EMV von Kabeln, Steckern und HV-Komponenten mit dem Triaxialverfahren, 7. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel Verlag Würzburg, 18./19. Juni 2013
- [3] 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
- [4] Bernhard Mund & Thomas Schmid: Schirmwirkung ungeschirmter symmetrischer Paare, 13. Anwenderkongress Steckverbinder, Vogel Verlag Würzburg, 01. - 03. Juli 2019
- [5] T. Hähner, C. Pfeiler, B. Mund & T. Schmid: EMV – Parameter von einpaarigen Ethernet Kabeln, 28. ITG-Fachtagung Kommunikationskabelnetze - 14./15.12. 2021 in Köln

- [11] IEC TR 62153-4-1 – Introduction to electromagnetic (EMC) screening measurements
- [12] IEC 62153-4-7Ed3 – Test method for measuring of transfer impedance Z_T and screening attenuation a_S or coupling attenuation a_C of connectors and assemblies up to and above 3 GHz - Triaxial tube in tube method
- [13] IEC 62153-4-9Ed2 – Coupling attenuation of screened balanced cables, triaxial method
- [14] EN 50289-1-9 – Elektrische Prüfverfahren – Unsymmetriedämpfung

EMV-Messe Köln, 12. – 14. Juli 2022, Bernhard Mund, bda connectivity GmbH, bernhard.mund@bda-c.com, www.bda-c.com