

Schirmwirkung ungeschirmter symmetrischer Paare

Bernhard Mund, bda connectivity GmbH Asslar, Germany

Thomas Schmid, Rosenberger Hochfrequenztechnik, Fridolfing, Germany

Kurzfassung

Die Schirmwirkung geschirmter symmetrischer Paare wird durch den Kopplungswiderstand Z_T im unteren Frequenzbereich und durch die Schirmdämpfung a_S und/oder die Kopplungsdämpfung a_C bei höheren Frequenzen beschrieben. Für ungeschirmte symmetrische Paare wird die Kopplungsdämpfung bei tiefen Frequenzen eingeführt. Die Schirmwirkung ungeschirmter symmetrischer Paare kann im Prinzip mit dem gleichen Messaufbau wie für geschirmte symmetrische Paare gemessen werden, allerdings getrennt als Kopplung am nahen und am fernen Ende.

Es wird gezeigt, dass die Schirmwirkung eines Kabels mit einem einzigen ungeschirmten symmetrischen Paar gleich seiner Unsymmetriedämpfung ist. Die Kopplungsdämpfung geschirmter einzelner Paare ist die Summe aus Unsymmetriedämpfung und Schirmdämpfung. Die Schirmwirkung mehrpaariger ungeschirmter Kabel, wie z.B. für die Datenübertragung eingesetzt, ist die Summe der Unsymmetriedämpfung des einzelnen Paares plus der Schirmwirkung der zusätzlich vorhandenen Paare im Kabel.

1 Einleitung

Der Begriff "elektromagnetische Verschmutzung" beschreibt den ständigen Anstieg gewünschter und unerwünschter elektromagnetischer Strahlung in unserer Umgebung. Datenetze mit symmetrischen Kabeln werden in verschiedenen Umgebungen betrieben, z. B. in Bürogebäuden, Industriefabriken oder in Fahrzeugen der Automobilindustrie. Um zu gewährleisten, dass sich komplexe Systeme nicht gegenseitig stören, ist eine Abschirmung der Systeme dringend zu empfehlen; die Messung des EMV-Verhaltens sowohl der Komponenten als auch der gesamten Systeme ist zwingend erforderlich.

Andererseits wird die Abschirmung symmetrischer Kabel als teuer empfunden; außerdem erhöht der Kabelschirm das Gewicht des Gesamtsystems.

Es stellt sich daher die Frage, wie gut die Schirmwirkung von nicht geschirmten symmetrischen Paaren ist und welche Prüfverfahren geeignet sind, eine entsprechende Schirmwirkung nachzuweisen. Neuere Systeme wie Single Pair Ethernet können das Frequenzband bis in den kHz-Frequenzbereich verwenden, sodass das Verhalten ungeschirmter symmetrischer Kabel auch bei niedrigen Frequenzen bewertet und geeignete Testmethoden definiert werden müssen.

Der folgende Bericht beschreibt den physikalischen Hintergrund der Schirmwirkung von geschirmten und ungeschirmten symmetrischen Paaren sowie geeignete Messverfahren basierend auf IEC 62153-4-9 [5]. Die Erweiterung der IEC 62153-4-9 zur Messung der Schirmwirkung von nicht geschirmten symmetrischen Paaren wird beschrieben und diskutiert.

2 Schirmungsparameter

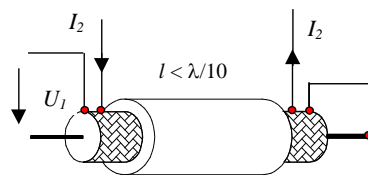
2.1 Allgemeines

Um eine Leitung gegen äußere elektromagnetische Beeinflussungen zu schützen, bzw. um Abstrahlung in die Umgebung zu vermeiden, wird diese mit Schirmen aus Metallfolien und/oder Geflechtem umgeben. Für besonders stör anfällige Umgebungen verwendet man auch aufwendigere Schirmkonstruktionen aus mehreren Lagen oder mit magnetischen Werkstoffen. Im Fall, dass zur Signalübertragung Leiterpaare verwendet werden, trägt auch deren Symmetrie zusätzlich zum Schirm zur gesamten Schirmwirkung der Konstruktion bei.

Die alleinige Wirkung des Schirmes wird durch den Kopplungswiderstand und die Schirmdämpfung beschrieben. Der Einfluss der Symmetrie wird durch die Unsymmetriedämpfung erfasst. Die Gesamtwirkung von Schirm und Symmetrie (im Fall symmetrischer Prüflinge) wird durch die Kopplungsdämpfung beschrieben.

2.2 Kopplungswiderstand

Der Kopplungswiderstand Z_T ist gemäß Bild 1 definiert als das Verhältnis des Spannungsabfalls U_1 längs des Schirmes auf der gestörten Seite zu dem Störstrom I_2 auf der anderen Seite des Schirmes. Die Dimension des Kopplungswiderstandes ist Milliohm pro Meter. Er ist nach der Definition messbar an elektrisch kurzen Prüflingen [1].



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

Bild 1: Definition des Kopplungswiderstandes

2.3 Schirmdämpfung

Die Schirmdämpfung ist ein Maß für die Güte des Schirms und ist anwendbar für elektrisch lange Prüflinge. Sie ist das logarithmische Verhältnis von eingespeister Leistung P_1 zu abgestrahlter Leistung P_2 .

$$a_s = 10 \cdot \log(P_1 / P_2) \quad (2)$$

Einzelheiten zur Messung der Schirmdämpfung sind in IEC 62153-4-4 [2] beschrieben.

2.4 Unsymmetriedämpfung

Geschirmte symmetrische Paare können auf verschiedene Arten betrieben werden. Im symmetrischen Betrieb (Gegentaktbetrieb, Differential Mode) fließt dabei durch den einen Leiter der Strom $+I$ und durch den anderen der Strom $-I$. Durch den Schirm fließt hierbei kein Strom. Im unsymmetrischen Betrieb (Gleichtaktbetrieb, Common Mode) fließt durch beide Leiter jeweils der halbe Strom $+I/2$. Durch den Schirm fließt der gesamte rücklaufende Strom $-I$, ähnlich wie bei einem Koaxialkabel [6, 7, 8].

Bei einem idealen Kabel sind beide Betriebsarten voneinander unabhängig, bei realen Kabeln finden aufgrund von Kabelasymmetrien jedoch Wechselwirkungen zwischen den beiden Betriebsarten statt.

Die Unsymmetriedämpfung a_u eines Kabels beschreibt im logarithmischen Maß, wie viel Leistung vom Gegentaktsystem in das Gleichtaktsystem (oder umgekehrt) überkoppelt. Sie ist das logarithmische Verhältnis von eingespeister Leistung im Gegentaktsystem P_d zu der in den Gleichtaktsystem übergekoppelten Leistung P_c .

$$a_u = 10 \cdot \log(P_d / P_c) \quad (3)$$

Unterschiedliche Leiterwiderstände, Isolationsdurchmesser, Aderkapazitäten, ungleichmäßige Verseilung und wechselnde Abstände der Innenleiter zum Schirm sind Ursachen für die Unsymmetrie.

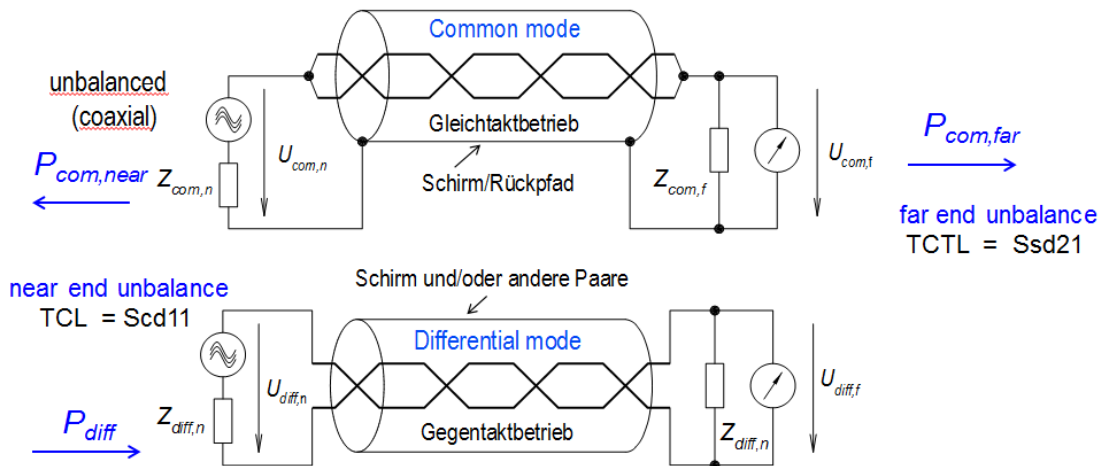


Bild 2: Gleichtakt- und Gegentaktsystem

Für tiefe Frequenzen nimmt die Unsymmetriedämpfung mit der Länge ab. Mit steigender Frequenz und/oder Länge nähert sich die Unsymmetriedämpfung - ähnlich wie die Schirmdämpfung - asymptotisch einem Grenzwert an. Die Unsymmetrie lässt sich sowohl für das sendernahe als auch für das senderferne Ende eines Kabels ermitteln [10].

2.5 Kopplungsdämpfung

Die Kopplungsdämpfung geschirmter symmetrischer Paare beschreibt die globale Wirkung gegen elektromagnetische Interferenz (EMI) und berücksichtigt sowohl die Wirkung des Schirms als auch die Symmetrie bzw. die Unsymmetriedämpfung des Paares. In erster Näherung und bei niedrigen Frequenzen wird die Kopplungsdämpfung a_c eines einzelnen symmetrischen Paares als die Summe der Unsymmetriedämpfung a_u des verseilten Paares und der Schirmungsdämpfung a_s des Schirms betrachtet.

$$a_c = a_u + a_s \quad (4)$$

Dabei wird die Schirmdämpfung nach IEC 62153-4-4 als Maximalwert der Messkurve innerhalb des relevanten Frequenzbereichs definiert. Daher sollte Gl. (5) $a_c = a_u + a_{s,max}$ lauten.

3 Prüfverfahren

3.1 Triaxialverfahren

Das Grundprinzip des Triaxialen System besteht aus zwei gekoppelten Systemen; wobei das innere System vom Prüfling und das äußere System vom Messrohr und dem äußeren Leiter des Prüflings gebildet wird; (der innere Leiter des äußeren Systems ist der äußere Leiter des inneren Systems).

Am nahen Ende ist der Schirm des Prüflings durch einen Kurzschluss mit dem Messrohr verbunden. Dieses Prinzip gilt sowohl für koaxiale als auch für geschirmte symmetrische Kabel.

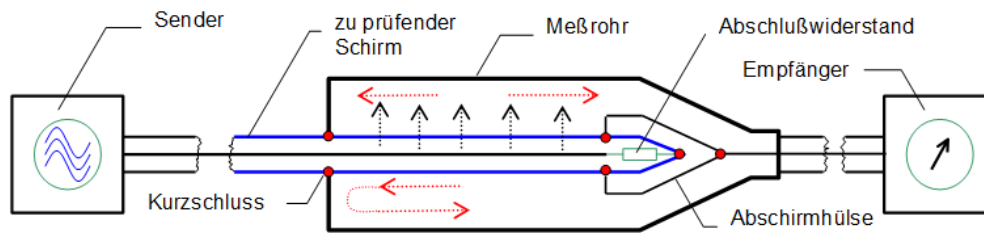


Bild 3: Grundprinzip des Triaxialverfahrens

Das Prinzip des Triaxialen Systems ist als IEC 62153-4-3 (Kopplungswiderstand) als IEC 62153-4-4 (Schirmdämpfung) und IEC 62153-4-9 (Kopplungsdämpfung) genormt [1, 2, 4].

3.2 Messung der Kopplungsdämpfung mit Mehrtor-VNA

Die Messung der Kopplungsdämpfung von symmetrischen Leitungen erfolgt bisher entweder mit Absorberzangen [3] oder einem triaxialen Messaufbau [5]. Die Messung mit Absorberzangen hat einige Nachteile gegenüber der Messung mit dem triaxialen Aufbau [10].

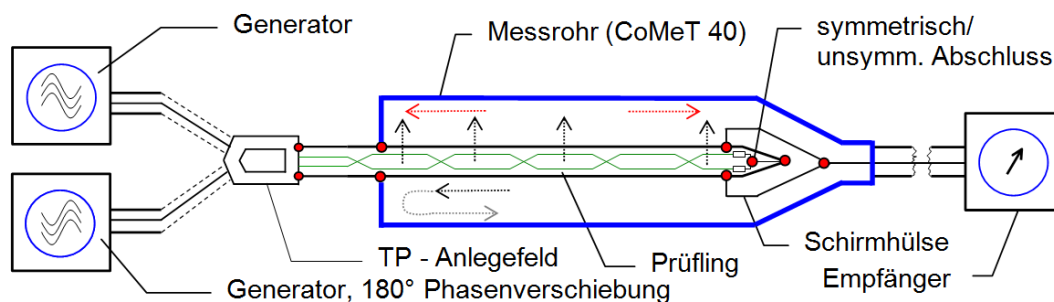


Bild 4: Kopplungsdämpfung mit Standard-Messkopf und Multiport NWA, IEC 62153-4-9

In Bild 4 ist der prinzipielle Messaufbau zur Messung der Schirmdämpfung und der Kopplungsdämpfung geschirmter symmetrischer Paare dargestellt. Wie beim Grundprinzip des Triaxialverfahrens nach Bild 3 ist auch hier der Schirm des zu prüfenden Kabels am sendernahen Ende mit dem Rohr kurzgeschlossen [5].

3.3 Schirmwirkung ungeschirmter symmetrischer Paare

Das Triaxialverfahren hat sich als Referenzmethode für die Messung von geschirmten symmetrischen Kabelpaaren bewährt. Daher die Idee, es auch für ungeschirmte symmetrische paarige Kabel zu verwenden. Dies würde das triaxiale Verfahren zum Referenzverfahren für die Abschirmung und Kopplungsdämpfung von koaxialen, geschirmten und ungeschirmten symmetrischen Paarkabeln machen. Dabei sollte grundsätzlich zwischen einzelnen nicht geschirmten Paaren und mehreren nicht geschirmten Paaren unterschieden werden.

Bei mehreren ungeschirmten Paaren hängt das EMV-Verhalten bzw. das Prüfergebnis von der Behandlung der verbleibenden Paare ab, d.h. auch von den Lastbedingungen.

Bild 5 zeigt den prinzipiellen Messaufbau für ungeschirmte symmetrische Paare. Der Prüfling wird im Gegentaktbetrieb über zwei halbstarre 50 Ohm Koaxialkabel mit den beiden Generatoren und dem Messrohr verbunden.

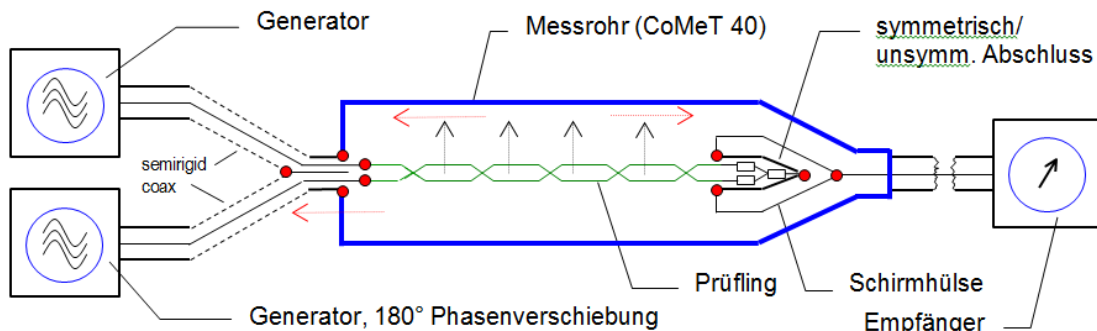


Bild 5: Messen der Kopplungsdämpfung ungeschirmter Paare, Prinzip

Aufgrund der Signalumwandlung vom Gegentakt- in den Gleichtaktbetrieb wandert eine Welle in der Prüfsektion des Messrohres in beide Richtungen. In dem grundlegenden Triaxialsystem gemäß Bild 4 ist am nahen Ende der Schirm der Prüfling durch einen Kurzschluss mit dem Messrohr verbunden. Dieses Prinzip gilt sowohl für koaxiale als auch geschirmte symmetrische Paare (Bild 3 & 4).

Bei ungeschirmten symmetrischen Paaren besteht das innere System aus dem ungeschirmten Prüfling, der im differentiellen Modus gespeist wird. Das äußere System wird von dem Messrohr und dem Gegentaktbetrieb des Prüflings (common mode) gebildet. Da es beim ungeschirmten Paar keinen äußeren Schirm gibt, kommt es am nahen Ende nicht zu einem Kurzschluss wie beim Grundprinzip des Triaxialverfahrens, (Bilder 3 & 4). Die Welle am nahen Ende läuft zurück zu den Generatoren. Daher können Kopplungsmessungen an beiden Enden durchgeführt werden.

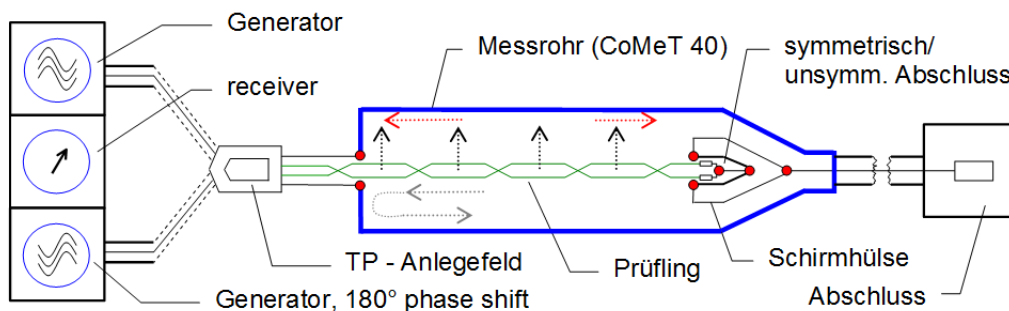


Bild 6: Messen der Kopplungsdämpfung eines ungeschirmten Paares, nahes Ende

Die Welle, die sich in Bild 6 zum nahen Ende hin ausbreitet, wird als Kopplung am nahen Ende betrachtet. Sie kann als Scd11 gemessen werden, wobei Scd11 im Bereich der Kabelnormung auch als die Unsymmetriedämpfung am nahen Ende (TCL) des ungeschirmten Kabels definiert ist [6].

Bild 7 zeigt das Ergebnis der Messung der Unsymmetriedämpfung (TCL bzw. Scd11) eines auf einem Holztisch ausgelegten einzelnen Paares von 5m sowie die Messung der Kopplungsdämpfung (Scd11) des gleichen Prüflings am nahen Ende mit dem Triaxialverfahren nach Bild 6. Da der Prüfling im Rohr gut zentriert ist und der Abstand der Rohrwand vom Prüfling etwa 20 mm beträgt, ist der Einfluss des Rohres auf die Unsymmetriedämpfung des Prüflings vernachlässigbar. Die Kurven beider Messungen (Prüfling im Rohr und außerhalb) sind nahezu gleich.

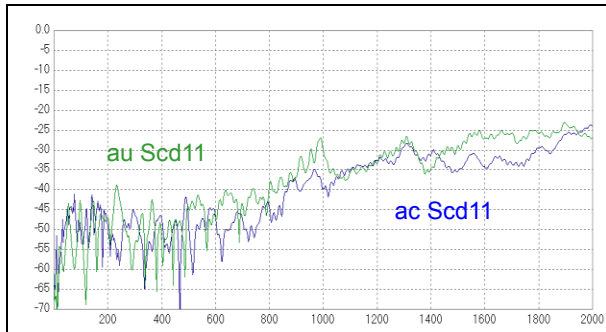


Bild 7 – Kopplungsdämpfung ac und Unsymmetriedämpfung au (Scd11) eines ungeschirmten symmetrischen Paares am nahen Ende

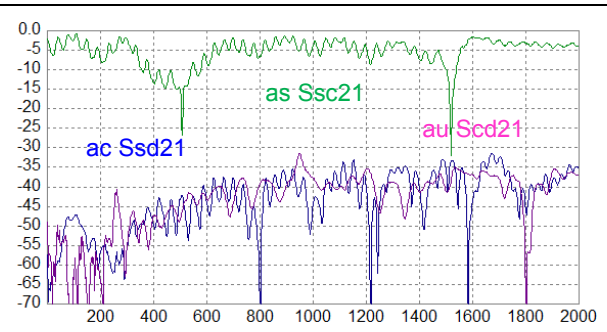


Bild 8 – Schirmdämpfung as (Ssc21), Kopplungsdämpfung ac (Ssd21) und Unsymmetriedämpfung au (Scd21) eines ungeschirmten symmetrischen Paares am fernen Ende

Bild 9 zeigt den triaxialen Aufbau für die Messung der Schirmwirkung am fernen Ende (Ssc21) und die Messung der Kopplungsdämpfung am fernen Ende (Ssd21) eines nicht geschirmten symmetrischen Paares.

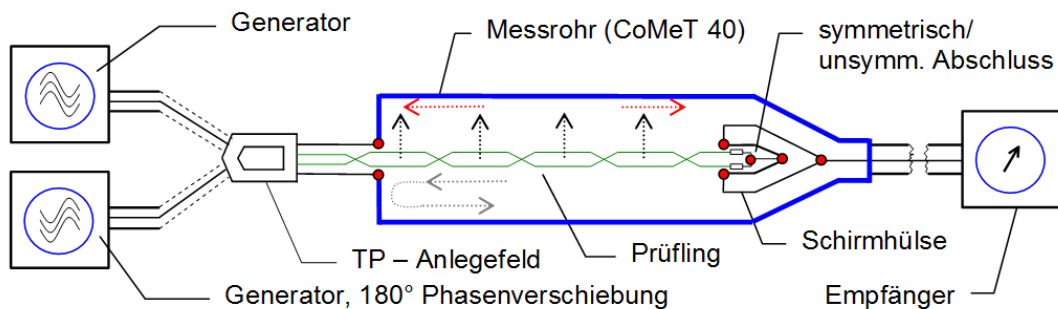


Bild 9: Kopplungsdämpfung eines ungeschirmten Paare, fernes Ende

Der Prüfling ist mit 50/50/0 Ohm-Widerständen abgeschlossen. Das ergibt Impedanzen von 100 Ohm für den Gegentakt- und 25 Ohm für den Gleichtaktmodus (50//50). Der 25-Ohm-Gleichtaktwiderstand ist in Reihe zum Eingangswiderstand des Empfängers des Netzwerkanalysators geschaltet, der 50 Ohm besitzt. Die Messergebnisse, die mit der in Bild 9 dargestellten Anordnung erzielt werden, sind in Bild 8 zu sehen. Nach Anwendung einer Korrektur von 3 dB aufgrund des 50 Ohm-Serienwiderstands (Eingangswiderstand des Empfängers) sind die max. Werte der gemessenen Schirmdämpfung Ssc21 des ungeschirmten Paares nahezu null. Das Bild 8 zeigt auch die Unsymmetriedämpfung Scd21 am fernen Ende und die Kopplungsdämpfung Ssd21 am fernen Ende des gleichen Prüflings mit einer Länge von 3,5 m. Die Hüllkurve der Kopplungsdämpfung am fernen Ende und der Unsymmetriedämpfung am fernen Ende zeigen eine gute Übereinstimmung.

Gemäß obiger Darstellung ist nachgewiesen, dass die Schirmdämpfung (Ssc21) eines einzelnen nicht geschirmten Paares nahezu null ist, während die Kopplungsdämpfung (Ssd21) der Unsymmetriedämpfung TCTL am fernen Ende entspricht.

Die Messung der Unsymmetriedämpfung von nicht geschirmten Paaren selbst erwies sich als schwierig. Es ist darauf zu achten, dass an der Einspeisestelle bzw. am Anschluss an die TP-Anschlusseinheit keine weiteren Asymmetrien entstehen, siehe dazu auch Abschnitt 6.

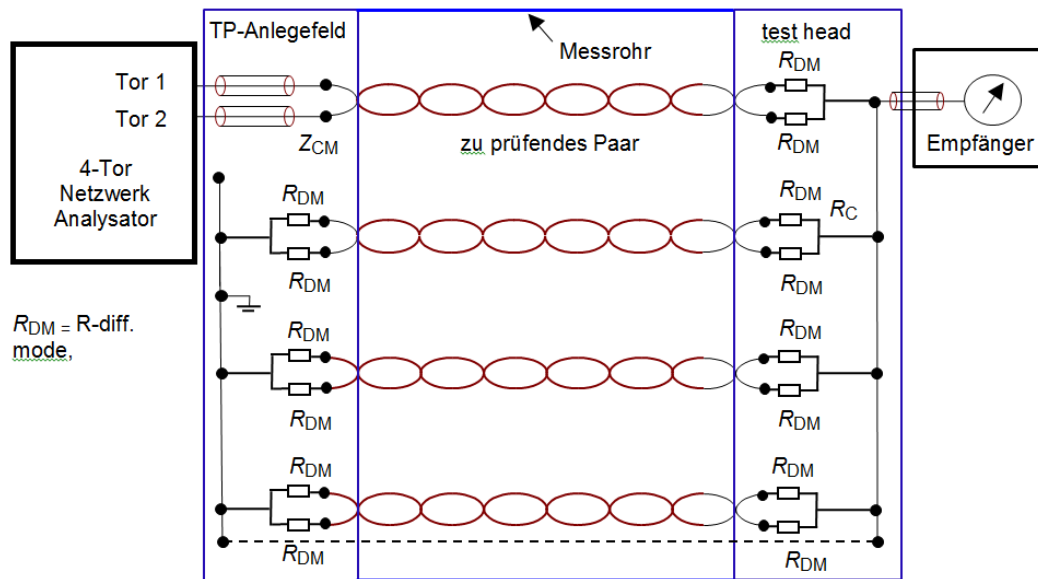


Bild 10: Kopplungsdämpfung ungeschirmter mehradriger Paare, fernes Ende

Bild 10 zeigt die Grundkonfiguration zum Messen der Kopplungsdämpfung mehrerer nicht abgeschirmter Paare. Alle Paare werden am fernen Ende mit einer Leiterplatte mit 50/50/25 Ohm-Widerständen abgeschlossen und am nahen Ende mit einem TP-Anlegefeld gemäß Abschnitt 4 verbunden. Das TP-Anlegefeld ist mit Erdpotential verbunden. Messungen eines ungeschirmten Cat5e-Kabels mit dem Triaxialen Aufbau gemäß den Abbildungen 6 und 9 sind in den Abbildungen 11 bis 14 dargestellt. Die Schirmdämpfung (S_{sc21}) von etwa 10 bis 15 dB kann durch den Einfluss der nicht an der Messung beteiligten, zusätzlich vorhandenen Paare erklärt werden, die somit als innere Abschirmung wirken.

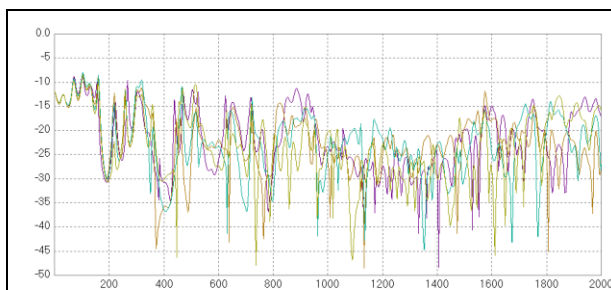


Bild 11 – Schirmdämpfung (S_{sc21}) ungeschirmter symmetrischer Paare eines Cat5e-Kabels am fernen Ende

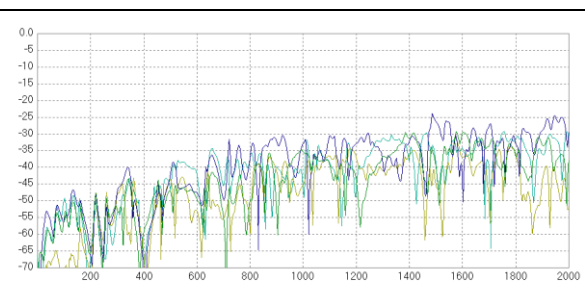
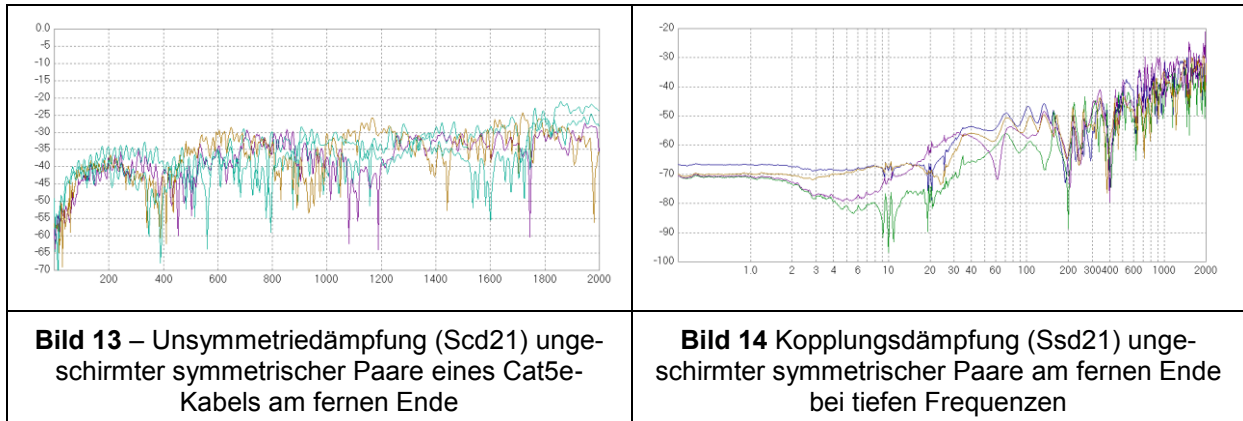


Bild 12 Kopplungsdämpfung (S_{sd21}) ungeschirmter symmetrischer Paare eines Cat5e-Kabels am fernen Ende

Dies kann durch die Tatsache erklärt werden, dass ein Teil der Energie, die aus dem Differentialmodus in den Gleichtaktmodus des getesteten Paares koppelt, auch mit dem Gleichtaktmodus und dem Differentialmodus der verbleibenden Paare gekoppelt ist.

Die Kopplungsdämpfung (S_{sc21}) ist etwa 10 bis 15 dB besser als die Unsymmetriedämpfung am fernen Ende, wahrscheinlich auch aufgrund des Abschirmeffekts der verbleibenden Paare mit einem Trend, bei höheren Frequenzen gleiche Werte zu erhalten.



4 Messadapter und Anlegefeld

Bei der Messung des Kopplungswiderstandes und der Schirm- oder Kopplungsdämpfung von Steckern oder von konfektionierten Kabeln nach IEC 62153-4-7 [4] sind geeignete Adapter bzw. Anlegefelder erforderlich, um den Prüfling mit dem Messaufbau zu verbinden.

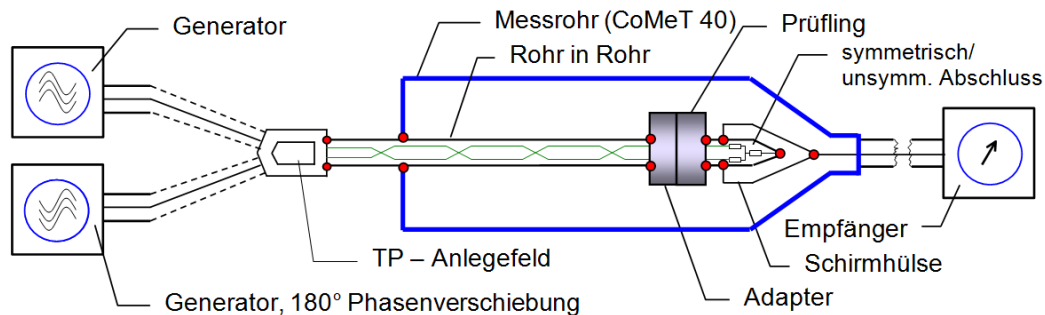
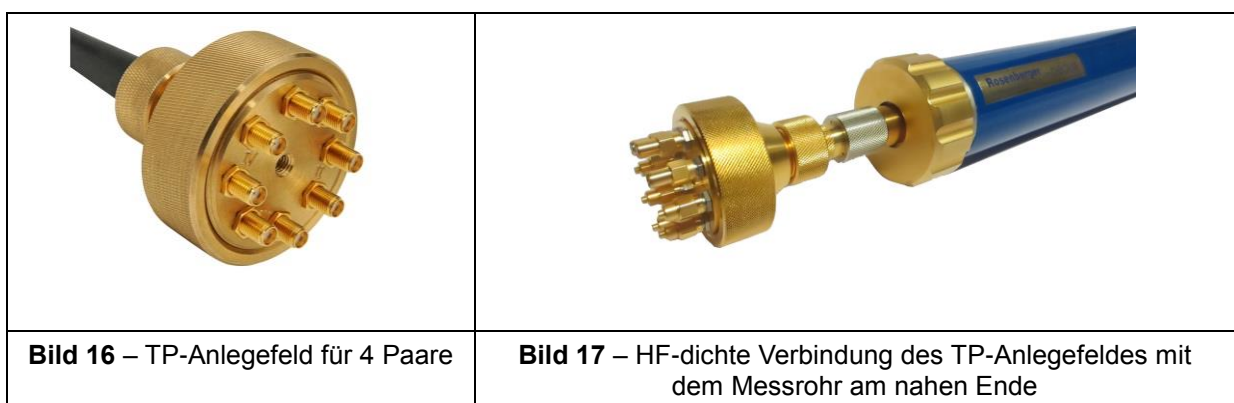


Bild 15: Kopplungsdämpfung eines symmetrischen Steckers, Prinzipdarstellung

In Bild 15 ist der prinzipielle Messaufbau zur Messung eines geschirmten symmetrischen Steckers einschließlich Anlegefeld und Messadapter dargestellt.



Während die Adaption von koaxialen Prüflingen durch die Verwendung von allgemein verfügbaren Koaxialadaptern eine einfache Aufgabe ist, muss mehr Aufwand für die Anpassung von symmetrischen Kabeln und Steckern aufgewendet werden. Da Prüfadapter die Messergebnisse beeinflussen können, müssen Qualifizierungsprüfungen an den primären Parametern durchgeführt werden. Für symmetrische und unsymmetrische Anlegefelder und Adapter ist offensichtlich die Dämpfung und die Rückflussdämpfung ein wichtiger Parameter.

Bei der Verwendung von symmetrischen Anlegefeldern und Adaptern zur Messung der Kopplungsdämpfung ist die Unsymmetriedämpfung ein weiterer wichtiger Parameter.

Ein Beispiel eines 8-poligen Anlegefeldes, welches für 4-paarige Kabel geeignet ist, ist in Bild 16 dargestellt. Das gleiche Anlegefeld ist in der Anwendung mit dem Messrohr in Bild 17 dargestellt. Dabei ist die Verbindung vom Anlegefeld zum Messrohr durchgehend geschirmt. In [11] ist das Design und die Funktionsweise ausführlich beschrieben.

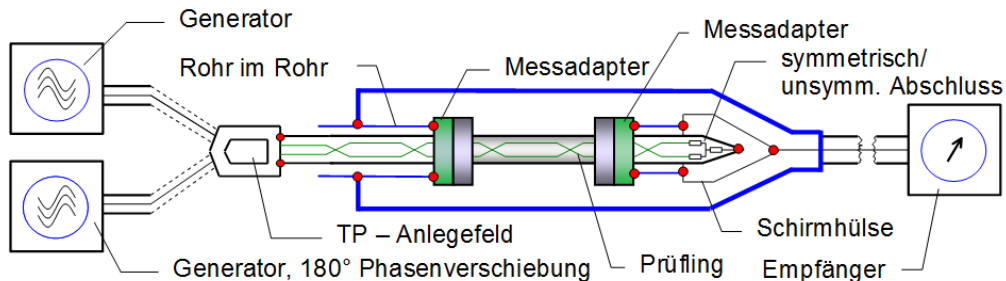


Bild 18: Kopplungsdämpfung eines symmetrischen Assemblies, Prinzipdarstellung

Bild 18 zeigt die Messung der Kopplungsdämpfung eines geschirmten symmetrischen Assemblies mit Rohr im Rohr Verfahren nach IEC 62153-4-7 [4] einschließlich TP-Anlegefeld und Messadaptern.

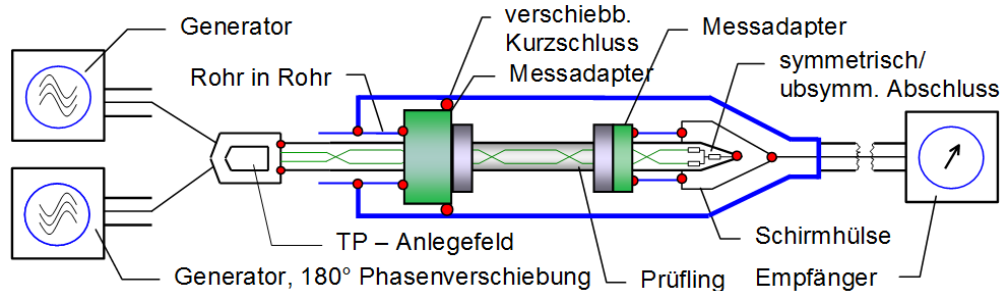


Bild 19: Kopplungsdämpfung eines symmetrischen Assemblies mit verschiebbarer Kurzschluss-Ebene

Bild 19 zeigt den prinzipiellen Messaufbau zur Messung der Kopplungsdämpfung eines symmetrischen Assemblies mit verschiebbarer Kurzschluss-Ebene. Dieser Messaufbau ist u.a. geeignet für Assemblies mit größerem Platzbedarf. Die Messung der Schirmwirkung geschirmter symmetrischer Stecker und Assemblies, wie oben beschrieben, ist Bestandteil der Überarbeitung der IEC 62153-4-7. Die Messung der Schirmwirkung ungeschirmter symmetrischer Stecker und Assemblies ist in der Diskussion bei IEC TC 46/WG 5.

5 Kopplungsdämpfung bei tiefen Frequenzen

Die untere Grenzfrequenz zur Messung der Kopplungsdämpfung nach IEC 62153-4-9Ed2 ist gegeben durch:

$$f > \frac{c_0}{2 \times l \times \left| \sqrt{\epsilon_{r1}} - \sqrt{\epsilon_{r2}} \right|} \quad (5)$$

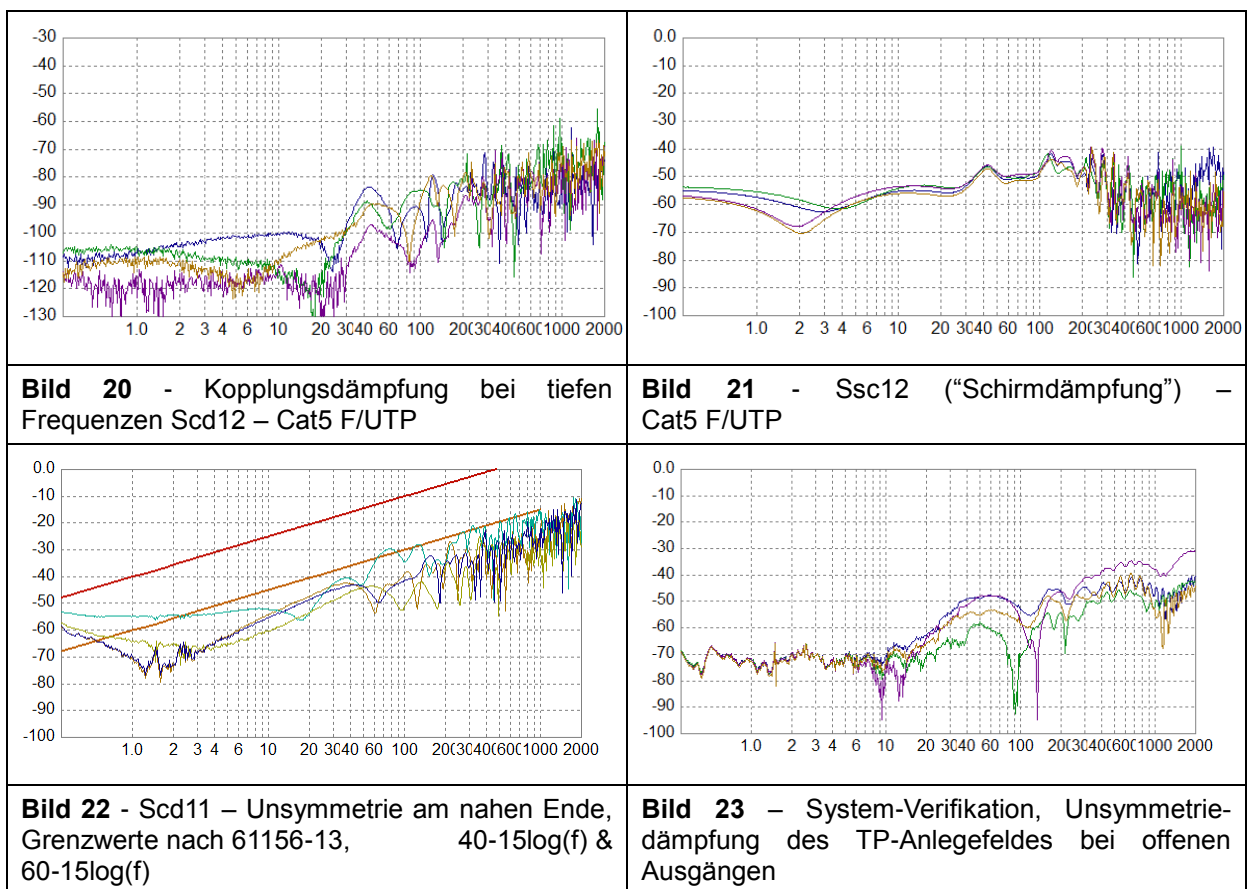
c_0 Lichtgeschwindigkeit
 l Länge des Prüflings
 $\epsilon_{r1}, \epsilon_{r2}$ Dielektrizitätskonstante des inneren und des äußeren Kreises

Das heißt, die Kopplungsdämpfung an geschirmten symmetrischen Paaren mit 3 m Länge kann erst ab etwa 30 MHz gemessen werden.

Daher ist ein Messverfahren für das EMV-Verhalten abgeschirmter symmetrischer Kabel bei niedrigeren Frequenzen erforderlich. Die EMV bei niedrigeren Frequenzen von geschirmten symmetrischen Paaren könnte durch die differentielle Übertragungsimpedanz Z_{Tdiff} beschrieben werden, die den Kopplungswiderstand des Schirms und die Unsymmetrie des Paares berücksichtigt.

Der Kopplungswiderstand Z_T eines Kabelschirms wird jedoch in der Regel als unveränderlich für das verwendete Messverfahren und die Messlänge angesehen. Der "differentielle Kopplungswiderstand" würde jedoch von der Symmetrie des Paares abhängen und ist daher eine Variante der Länge und der Symmetrie des Prüflings. Um Anwender und Kunden nicht zu verwirren, sollte Z_{Tdiff} daher nicht für symmetrische Kabel verwendet werden. Zudem ist der Parameter Z_{Tdiff} für Paare ohne Schirm ungeeignet.

Die Kopplungsdämpfung bei tiefen Frequenzen bzw. der Parameter Scd12 eines Cat5 F/UTP – Kabels ist in Bild 20 dargestellt. Die Kurve ist im Prinzip die Summe des max. Wertes des Parameters Ssc12 (Bild 21) und der Unsymmetriedämpfung am nahen Ende (Bild 22).



6 System-Verifikation

Selbst optimal kalibrierte und phasenstabilisierte Messgeräte (VNA, Messleitungen und Anschlusseinheiten) zeigen einen bestimmten frequenzabhängigen Verlauf bei einer Systemmoden-Umwandlung. 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-Anlegefeldes mit einer offenen Schleife erfolgen (Bild 23).

7 Ausblick

Vorliegende Untersuchungen zeigen die prinzipielle Anwendbarkeit des Triaxialverfahrens zur Messung der Schirmeigenschaften auch von Kabeln und Steckern mit ungeschirmten Paaren und schließen damit die letzte Lücke, um das Triaxialverfahren als Referenzverfahren anzuerkennen. Weitere Messungen an ungeschirmten differentiellen Kabeln sollten z.B. im Rahmen eines Round Robin Tests durchgeführt werden, um eine größere Datenbasis zu erlangen und die vorliegenden Ergebnisse zu bestätigen. Die Arbeitsgruppe WG5 des TC46 der IEC arbeitet derzeit an der Erweiterung der bestehenden Normung [5] bzw. 46/710/CD, um die Kopplungsdämpfung und die von ungeschirmten differentiellen Kabeln die "Kopplungsdämpfung bei tiefen Frequenzen" mit dem Triaxialverfahren zu messen. Inwieweit sich die Messungen der Schirmwirkung von ungeschirmten symmetrischen Kabeln auf ungeschirmte symmetrische Stecker und Assemblies anwenden lassen, ist zurzeit in der Diskussion bei IEC TC 46/WG 5.

8 Literatur

- [1] IEC 62153-4-3, Metallic communication cable test methods - Part 4-3: Electromagnetic compatibility (EMC) - Surface transfer impedance - Triaxial method
- [2] IEC 62153-4-4, Metallic communication cable test methods - Part 4-4: Electromagnetic compatibility (EMC) – Screening attenuation - Triaxial method
- [3] IEC 62153-4-5, Metallic communication cables test methods - Part 4-5: Electromagnetic compatibility (EMC) - Coupling or screening attenuation - Absorbing clamp method"
- [4] IEC 62153-4-7, Metallic communication cable test methods - Part 4-9: Electromagnetic compatibility (EMC) - 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
- [5] IEC 62153-4-9, Metallic communication cable test methods - Part 4-9: Electromagnetic compatibility (EMC) - Coupling att. of screened balanced cables, triaxial method
- [6] EN 50289-1-9, Teil 1-9: Elektrische Prüfverfahren – Unsymmetriedämpfung
- [7] T. Hähner, B. Mund – EMV-Verhalten symmetrischer Kabel – EMC Journal 4/1997
- [8] Thomas Hähner, Bernhard Mund: Test methods for screening and balance of communications cables; Proceedings of EMC Zurich, 1999, pp. 533-538
- [9] Ahmad Hamadeh, Bernhard Mund, Christian Pfeiler, Messung der Kopplungsdämpfung an geschirmten symmetrischen Kabeln bis 2 GHz mit virtuellem Balun - Anwenderforum Elektrische Kabel, [TAE], 21. Oktober 2014
- [10] 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
- [11] M. Kotzev, T. Schmid, M. Schwaiger, Time and frequency domain analysis of an 8-port adapter for multiconductor cable screening measurements, EMC Europe 2018