

DIN EN 62153-4-3

ICS 33.100.01; 33.120.10

Einsprüche bis 2011-12-04

Ersatz für

E DIN IEC 62153-4-3:2004-05

Entwurf**Prüfverfahren für metallische Kommunikationskabel –
Teil 4-3: Elektromagnetisches Verhalten (EMV) –
Kopplungswiderstand – Triaxialverfahren
(IEC 46/371/CD:2011)**

Metallic communication cable test methods –
Part 4-3: Electromagnetic Compatibility (EMC) –
Surface transfer impedance – Triaxial method
(IEC 46/371/CD:2011)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2011-10-04 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses
Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an dke@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann
im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter
www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im
DIN und VDE (Hausanschrift: Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten
Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 65 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Prinzip	9
5 Prüfverfahren	9
5.1 Allgemeines	9
5.2 Prüfeinrichtung	9
5.3 Kalibrierverfahren	10
5.4 Vorbereiten des Prüflings	10
5.5 Prüfeinrichtung	11
5.6 Prüf-Konfigurationen	12
5.7 Darstellen der Ergebnisse	13
6 Prüfverfahren A: Angepasster innerer Kreis mit Dämpfungswiderstand im Außenkreis	14
6.1 Allgemeines	14
6.2 Dämpfungswiderstand R_2	14
6.3 Grenzfrequenz	14
6.4 Blockschaltbild der Prüfeinrichtung	15
6.5 Messverfahren	15
6.6 Darstellen der Prüfergebnisse	15
7 Prüfverfahren B: Innerer Kreis mit Abschlusswiderstand und äußerer Kreis ohne Dämpfungswiderstand	16
7.1 Allgemeines	16
7.2 Grenzfrequenz	16
7.3 Blockschaltbild der Prüfeinrichtung	16
7.4 Messverfahren	17
7.5 Darstellen der Prüfergebnisse	17
8 Prüfverfahren C: (Fehlangepasst)-Kurzschluss- Kurzschluss ohne Dämpfungswiderstand	17
8.1 Grenzfrequenz	18
8.2 Blockschaltbild der Prüfeinrichtung	18
8.3 Messverfahren	18
8.4 Darstellen der Prüfergebnisse	19
Anhang A (normativ) Bestimmung des Wellenwiderstandes des inneren Systems	20
A.1 Wellenwiderstand des inneren Schaltkreises	20
Anhang B (normativ) Schaltkreis zur Impedanzanpassung	21
B.1 Gestaltung des Schaltkreises zur Impedanzanpassung	21
B.1.1 Allgemeines	21
B.1.2 Wellenwiderstand des Sekundärkreises niedriger als der Wellenwiderstand des Primärkreises	21

B.1.3	Wellenwiderstand Z_2 des Sekundärkreises höher als der Wellenwiderstand Z_1 des Primärkreises	22
B.2	Frequenzantwort des Schaltkreises zur Impedanzanpassung	22
B.2.1	Allgemeines	22
B.2.2	Messung mit zwei Impedanzwandlern	22
B.2.3	Messung mit dem Offen/Kurzschluss-Verfahren	23
Anhang C (informativ)	Beispiel Vorbereitung für Verfahren mit „übergestülptem Geflecht“	25
C.1	Allgemeines	25
C.2	Koaxialkabel	25
C.3	Symmetrische Kabel und Kabel mit mehreren Leitern.....	27
C.4	Verifikation der Vorbereitung des Prüfmusters mit einem Zeitbereichsreflektometer (TDR).....	29
Anhang D (Informativ)	Triaxiale Prüfeinrichtung, als T-Glied dargestellt	31
D.1	Allgemeines	31
D.2	Streuparameter S_{21} des T-Gliedes	31
Bild 1	Begriff von Z_T	7
Bild 2	Begriff von Z_F	8
Bild 3	Vorbereiten des Prüflings bei koaxialen Kabeln.....	10
Bild 4	Vorbereiten des Prüflings für symmetrische Kabel	11
Bild 5	Anschluss des Prüflings im Messrohr	11
Bild 6	Prüfeinrichtung mit einem Netzwerkanalysator mit S-Parameter Test Set.....	12
Bild 7	50 Ω Leistungsteiler, Typen mit 2 und mit 3 Widerständen	12
Bild 8	Prüfeinrichtung mit einem Netzwerkanalysator und einem Leistungsteiler.....	13
Bild 9	Prüfeinrichtung mit einem Signalgenerator und einem Empfänger	13
Bild 10	Prüfeinrichtung mit einem Signalgenerator und einem Empfänger mit Speisewiderstand	13
Bild 11	Prüfeinrichtung (Prinzip)	15
Bild 12	Prüfeinrichtung (Prinzip)	16
Bild 13	Prüfeinrichtung (Prinzip)	18
Bild C.1	Koaxialkabel: Vorbereiten der A-Seite.....	26
Bild C.2	Koaxialkabel: Vorbereiten der B-Seite.....	27
Bild C.3	Symmetrische Kabel: Vorbereiten der A-Seite	28
Bild C.4	Symmetrische Kabel: Vorbereiten der B-Seite	29
Bild C.5	Typische Antwort der A-Seite	30
Bild C.6	Typische Antwort der B-Seite	30

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 46/371/CD:2011 „Metallic communication cable test methods – Part 4-3: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Surface transfer impedance – Triaxial method“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 46 „Cables, wires, waveguides, R.F. connectors, R.F. and microwave passive components and accessories“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium UK 412.3 „Koaxialkabel und -Leitungen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Änderungen gegenüber Ausgabe 1

Die Prüfverfahren wurden überarbeitet, die Fehler der 1. Ausgabe wurden korrigiert.

Besondere Berücksichtigung findet jetzt die Messung von Kabeln mit „nicht standardisierten“ Wellenwiderständen bzw. von Prüflingen mit Fehlanpassung, wie z. B. von HV-Leitungen für Elektromobile mit Wellenwiderständen von ca. 10 Ω sowie von geschirmten Energiekabeln.

Durch die Messung mit Fehlanpassung kann der Prüfaufbau vereinfacht werden, ein Impedanzwandler zwischen Generator und Prüfling ist nicht erforderlich.

Es gibt jetzt drei Verfahren:

Matched-Matched-Short with damping resistor	Angepasster innerer Kreis mit Dämpfungswiderstand im Aussenkreis
(Mismatched)-Matched-Short without damping resistor	Innerer Kreis mit Abschlusswiderstand und äußerer Kreis ohne Dämpfungswiderstand
(Mismatched)-Short-Short without damping resistor	(Fehlangepasst)-Kurzschluss- Kurzschluss ohne Dämpfungswiderstand

Die neuen Verfahren und die Problematik Anpassung/Fehlanpassung werden in den Anhängen A bis D ausführlich erklärt.

Mit einer allgemein gültigen Gleichung für alle beschriebenen Verfahren kann der gemessene Streuparameter S_{21} in den Kopplungswiderstand umgerechnet werden;

Prüfverfahren für metallische Kommunikationskabel – Teil 4-3: Elektromagnetisches Verhalten (EMV) – Kopplungswiderstand – Triaxialverfahren

1 Anwendungsbereich

Diese Prüfung bestimmt die Schirmwirkung eines geschirmten Kabels durch Anwenden einer genau definierten Spannung und eines genau definierten Stromes auf den Kabelschirm und Messung der induzierten Spannung, um den Kopplungswiderstand zu bestimmen. Mit dieser Prüfung wird nur die magnetische Komponente des Kopplungswiderstandes erfasst.

ANMERKUNG Um die elektrostatische Komponente, (die kapazitive Kopplungsimpedanz) zu messen, kann das Verfahren nach IEC 62153-4-8²⁾ eingesetzt werden.

Das triaxiale Messverfahren ist geeignet für den Frequenzbereich bis zu 30 MHz für Prüflinge mit 1 m Länge und bis 100 MHz für Prüflinge mit 0,3 m Länge. Diese Längen korrespondieren mit einer elektrischen Länge, die weniger als 1/6 der Wellenlänge des Prüflings beträgt.

2 Normative Verweisungen

Die nachfolgend aufgeführten Dokumente sind erforderlich zur Anwendung dieses Dokumentes. Bei datierten Verweisungen ist nur die zitierte Ausgabe anzuwenden. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation (einschl. Änderungen).

IEC 62153-4-1, *Metallic communication cable test methods – Part 4-1: Electromagnetic Compatibility (EMC) – Introduction to electromagnetic (EMC) screening measurements*

IEC 60050-581, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Electromechanical components for electronic equipment*

IEC 61196-1:2005, *Coaxial communication cables – Part 1: Generic specification – General, definitions and requirements*

3 Begriffe

Zur Anwendung dieses Teils der IEC 61196 gelten die Begriffe des Kapitels 581 der IEC 60050 sowie die folgenden.

3.1

innerer Kreis

der innere Kreis besteht aus den Schirmen und dem/der Leiter des Prüflings; seine Werte werden mit dem Index 1 bezeichnet

3.2

äußerer Kreis

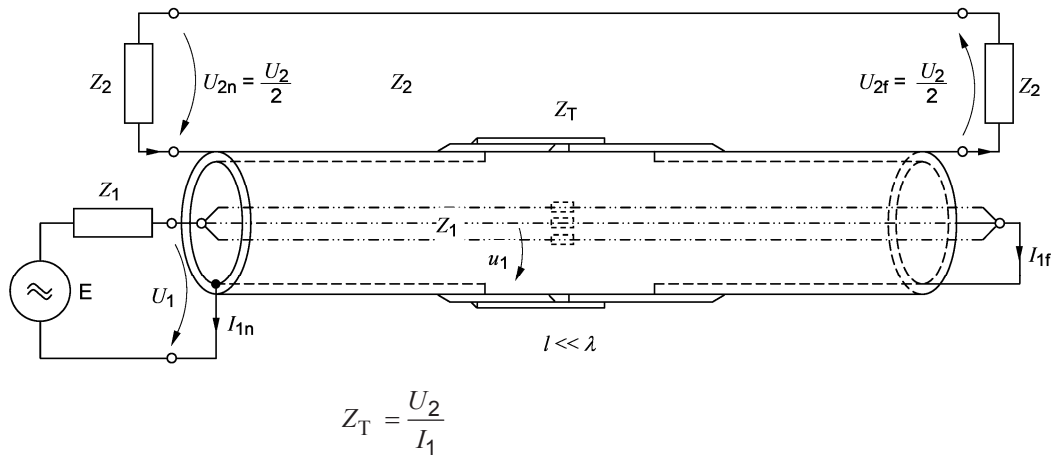
der äußere Kreis besteht aus der Oberfläche des Schirms und der inneren Oberfläche einer Prüfeinrichtung, die den Prüfling umgibt; seine Werte werden mit dem Index 2 bezeichnet

²⁾ IEC 62153-4-8, ____ *Metallic communication cable test methods – Part 4-8: Electromagnetic compatibility (EMC) – Capacitive coupling admittance*.

3.3

Kopplungswiderstand Z_T

der Kopplungswiderstand Z_T [$\text{m}\Omega/\text{m}$], eines elektrisch kurzen, gleichförmigen Kabels ist definiert als der Quotient der Längsspannung, welche in den äußeren Kreis induziert wird, zum Strom im inneren Kreis (Kabel) oder umgekehrt (siehe Bild 1) [$\text{m}\Omega/\text{m}$].



mit:

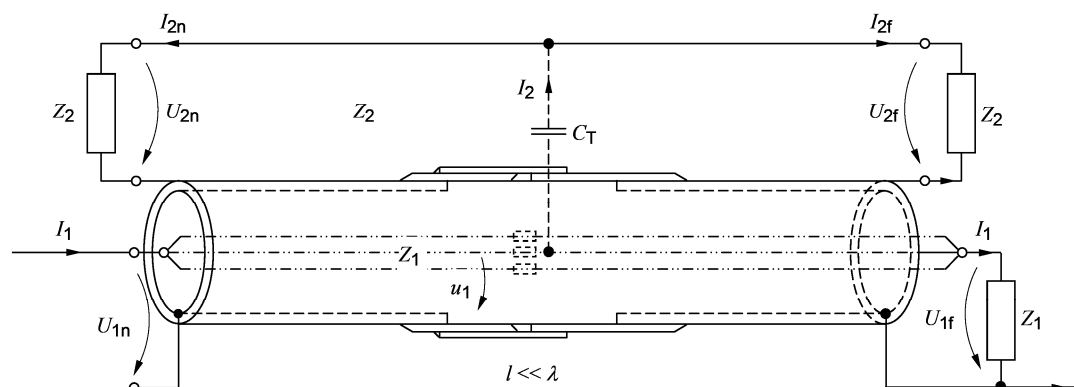
- Z_1, Z_2 Wellenwiderstand des inneren und des äußeren Kreises
- U_1, U_2 Spannungen im inneren und im äußeren Kreis, (n: nahes Ende, f: fernes Ende)
- I_1 Strom im inneren Kreis, (n: nahes Ende, f: fernes Ende)
- l Länge des Kabels bzw. Länge des Prüflings
- λ Wellenlänge im freien Raum

Bild 1 – Begriff von Z_T

3.4

kapazitive Kopplungsimpedanz Z_F

Quotient der zweifachen Spannung, die im Abschlusswiderstand Z_2 des angepassten äußeren Systems induziert wird, der durch einen Strom I_1 gespeist wird, (ohne über den Schirm zurück zu fließen), oder umgekehrt (siehe Bild 2) [$\text{m}\Omega/\text{m}$]



$$I_{2n} = I_{2f}$$

$$U_{1n} = U_{1f}$$

$$I_{2n} = I_{2f} = (1/2) \times I_2 = I_2/2$$

$$I_2 = I_{2n} + I_{2f}$$

$$Z_F = \frac{U_{2n} + U_{2f}}{I_1} = \frac{2U_{2f}}{I_1} = Z_1 Z_2 \times j\omega C_T \quad (1)$$

wobei

Z_1, Z_2	Wellenwiderstand des inneren und des äußeren Kreises
U_1, U_2	Spannungen im inneren und im äußeren Kreis, (n: nahes Ende, f: fernes Ende)
I_2	Strom im äußeren Kreis, (n: nahes Ende, f: fernes Ende)
C_T	Kopplungskapazität
l	Länge des Kabels bzw. Länge des Prüflings
λ	Wellenlänge im freien Raum

Bild 2 – Begriff von Z_F

3.5

effektive Transferimpedanz Z_{TE}

maximaler Absolutwert aus der Summe oder der Differenz von Z_F und Z_T bei jeder Frequenz [Ω]

$$Z_{TE} = \max |Z_F \pm Z_T| \quad (2)$$

Ausgedrückt in dB (Ω):

$$Z_{TE} [\text{dB}(\Omega)] = +20 \cdot \log_{10} \left(\frac{|Z_{TE}|}{1\Omega} \right) \quad (3)$$

3.6

Kopplungslänge L_C

die Länge des Kabels, welche sich innerhalb der Prüfeinrichtung befindet, wird mit Kopplungslänge L_C bezeichnet. Die maximal zulässige Kopplungslänge L_C , max bei der höchsten Frequenz beträgt. Eine ausführliche Beschreibung befindet sich im Anhang A der IEC 62153-4-1.

3.7

Grenzfrequenz

die maximale Frequenz, bis zu der der Kopplungswiderstand gemessen werden kann. Sie variiert mit der Kopplungslänge und dem eingesetzten Prüfverfahren. Eine ausführliche Beschreibung befindet sich im Abschnitt 9 der IEC 62153-4-1.

4 Prinzip

Mit der Prüfung wird die Schirmwirkung eines geschirmten Kabels durch Anwenden eines gut definierten Stroms und einer gut definierten Spannung auf den Kabelschirm und Messen der induzierten Spannung, um den Kopplungswiderstand zu bestimmen. Mit dieser Prüfung wird nur die magnetische Komponente des Kopplungswiderstandes bestimmt. Um die elektrostatische Komponente, (die kapazitive Kopplungsimpedanz) zu messen, kann das Verfahren nach IEC 62153-4-8 werden.

Das triaxiale Messverfahren ist geeignet für den Frequenzbereich bis zu 30 MHz für Prüflinge mit 1 m Länge und bis 100 MHz für Prüflinge mit 0,3 m Länge. Diese Längen korrespondieren mit einer elektrischen Länge, die weniger als 1/6 der Wellenlänge des Prüflings beträgt. Eine ausführliche Beschreibung findet sich im Anhang A der IEC 62153-4-1.

5 Prüfverfahren

5.1 Allgemeines

Die Prüfungen sind bei einer Temperatur von $(23 \pm 3) ^\circ\text{C}$ durchzuführen.

Das Prüfverfahren bestimmt den Kopplungswiderstand eines Kabels durch Messung des Kabels in einer triaxialen Prüfeinrichtung. Die triaxiale Prüfeinrichtung kann entweder durch ein massives Rohr oder durch übergestülptes Geflecht ausgeführt werden. Es sind verschiedene Verfahren mit unterschiedlichen Lastbedingungen möglich, die weiter unten beschrieben sind. Alle Verfahren führen bis zu Ihrer jeweiligen Grenzfrequenz zu den gleichen Ergebnissen.

5.2 Prüfeinrichtung

Die Messungen können mit einem Netzwerkanalysator oder alternativ mit getrenntem Generator und einem selektiven Messempfänger durchgeführt werden.

Die Prüfeinrichtung besteht aus:

a) einem Netzwerkanalysator (mit S-Parameter Prüfeinrichtung) oder alternativ aus:

• einem Mess-Sender mit dem gleichen Wellenwiderstand wie das quasi-koaxiale System des zu prüfenden Kabels oder mit einem Impedanzwandler; ergänzt durch einen Leistungsverstärker, falls für sehr hohe Schirmdämpfungen erforderlich.

• Einem Messempfänger mit kalibrierter, schaltbarer Eichleitung; ergänzt durch einen rauscharmen Vorverstärker, falls für sehr hohe Schirmdämpfungen erforderlich.

Generator und Empfänger müssen den gleichen System-Wellenwiderstand aufweisen:

$$Z_G = Z_R = Z_0$$

b) einem Impedanzwandler, falls erforderlich,

- Primärseite: Nenn-Innenwiderstand des Generators;
- Sekundärseite: Nenn-Wellenwiderstand des zu prüfenden Kabels, (siehe 7.2.4.2).
- Rückflusdämpfung: $> 10 \text{ dB}$.

Optionale Ausrüstungen sind:

- c) Zeitbereichsreflektometer (TDR) mit einer Anstiegszeit von weniger als 50 ps oder ein Netzwerkanalysator (mindestens 3 GHz), der die Messung der Rückflusdämpfung in den Zeitbereich transformiert.
- d) Drucker

5.3 Kalibrierverfahren

Die Kalibrierung muss mit den gleichen Frequenzpunkten durchgeführt werden, bei denen auch die Messung des Kopplungswiderstandes durchgeführt wird, d. h. mit logarithmischem Ablauf über den gesamten, für den Kopplungswiderstand festgelegten Frequenzbereich.

Bei Anwendung eines Netzwerkanalysators mit S-Parameter Prüfeinrichtung muss eine vollständige Zweitor-Kalibrierung durchgeführt werden, einschließlich der Messkabel zum Anschluss an den Netzwerkanalysator. Die Referenzebenen für die Kalibrierung sind die Grenzflächen der Stecker der Messkabel.

Bei Anwendung eines Netzwerkanalysators ohne S-Parameter Prüfeinrichtung, z. B. bei Anwendung eines Leistungsteilers, muss eine THRU-Kalibrierung einschließlich der Messkabel zum Anschluss an den Netzwerkanalysator durchgeführt werden.

Bei Anwendung eines getrennten Signalgenerator und eines Empfängers ist die Betriebsdämpfung der Verbindungskabel zu messen. Die Daten des Kalibrierens sind zu speichern, um die Ergebnisse korrigieren zu können.

$$a_{\text{cal}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = 20 \log_{10} (S_{21}) \quad (4)$$

mit

P_1 Speiseleistung während des Kalibrierens

P_2 Leistung am Empfänger während des Kalibrierens.

Falls Vorverstärker eingesetzt werden, muss die Verstärkung über den gesamten, oben beschriebenen Frequenzbereich gemessen werden; die Daten müssen gespeichert werden.

Falls ein Impedanzwandler eingesetzt wird, muss die Dämpfung über den gesamten, oben beschriebenen Frequenzbereich gemessen werden; die Daten müssen gespeichert werden, (siehe Anhang B).

5.4 Vorbereiten des Prüflings

Das Prüfmuster darf um nicht mehr als 50 % länger als die Kopplungslänge sein.

Koaxiale Kabel werden vorbereitet, wie in Bild 3 dargestellt.

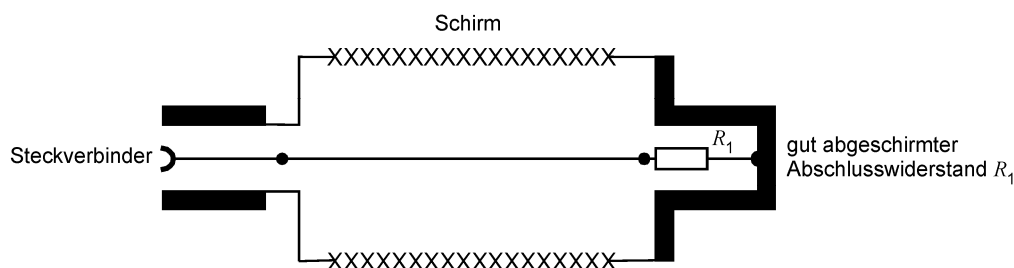


Bild 3 – Vorbereiten des Prüflings bei koaxialen Kabeln

Ein Ende des koaxialen oder quasi-koaxialen Systems wird mit einem gut geschirmten Widerstand, R_1 , abgeschlossen. Der Wert des Widerstandes R_1 hängt vom jeweiligen Messverfahren (wie unten beschrieben) ab. Er kann entweder ein Kurzschluss sein, gleich dem Wellenwiderstand des inneren Kreises Z_1 oder gleich dem Wellenwiderstand des Generators. Der Widerstand R_1 , ist ein Standard Widerstand, dessen Wert nahe am Widerstand Z_1 liegt, (innerhalb von 10 %).

Das andere Ende wird mit einem Steckverbinder versehen um die Verbindung zum Generator herzustellen. Alle Verbindungen sind so auszuführen, dass hochfrequente Kontaktwiderstände in Bezug auf die Ergebnisse vernachlässigt werden können.

Geschirmte symmetrische Kabel werden als ein quasi-koaxiales System betrachtet. Daher müssen alle Leiter aller Paare an beiden Enden zusammengeschaltet werden (andere Konfigurationen der Verbindungen der Leiter sind in Beratung). Alle Schirme, auch die der einzeln abgeschirmten Paare oder Vierer müssen an beiden Enden zusammengeschaltet werden. Die Schirme müssen über den gesamten Umfang kontaktiert werden.

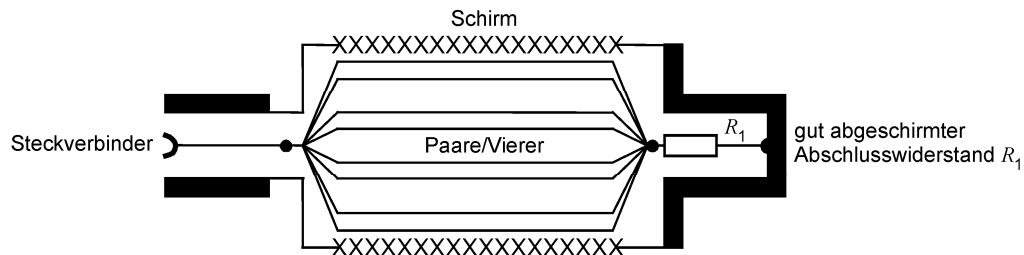


Bild 4 – Vorbereiten des Prüflings für symmetrische Kabel

5.5 Prüfeinrichtung

Der Prüfling ist in die Prüfeinrichtung einzubauen. Die Prüfeinrichtung bildet mit dem Prüfling ein triaxiales System. Der Kabelschirm bildet dabei sowohl den Außenleiter des inneren Systems als auch den Innenleiter des äußeren Systems.

Bei der Prüfeinrichtung mit einem massiven Rohr besteht der Außenleiter des äußeren Systems aus einem gut leitenden Rohr aus einem nichtmagnetischen Metall, (z. B. Messing oder Kupfer) mit einem Kurzschluss an der Speiseseite, (siehe Bild 5).

In der flexiblen Prüfeinrichtung besteht der Außenleiter des äußeren Systems aus einem verzinkten Kupfergeflecht mit einer optischen Bedeckung von $> 70\%$ und einem Flechtwinkel von $< 30^\circ$. Dieses Geflecht wird über die gesamte Länge über das zu prüfende Kabel geschoben, (siehe Anhang C).

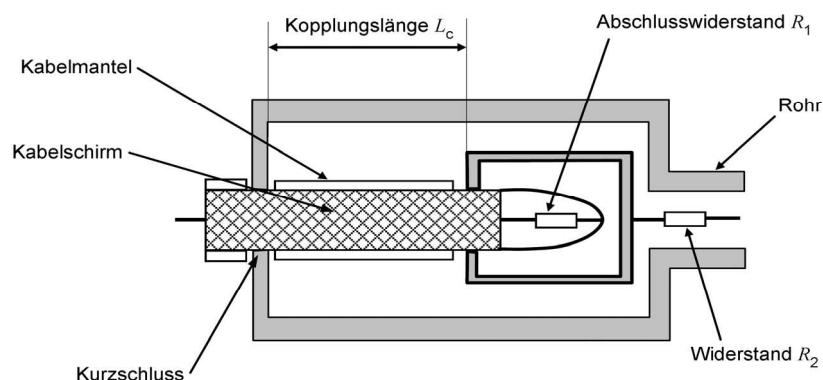


Bild 5 – Anschluss des Prüflings im Messrohr

mit

R_1 ist der Abschlusswiderstand. Der Wert des Widerstandes R_1 hängt vom jeweiligen Messverfahren ab, d. h. er kann entweder ein Kurzschluss sein oder gleich dem Wellenwiderstand Z_1 des inneren Kreises, wie in dem jeweiligen Verfahren beschrieben.

R_2 ist der Vorwiderstand. Der Wert des Widerstandes R_2 hängt vom jeweiligen Messverfahren ab, d. h. er kann entweder ein Kurzschluss sein oder einen Wert als Funktion des äußeren Kreises aufweisen, wie in dem jeweiligen Verfahren beschrieben.

5.6 Prüf-Konfigurationen

5.6.1 Allgemeines

Abhängig von der verfügbaren Prüfeinrichtung sind verschiedene Prüf-Konfigurationen möglich, die, abhängig vom jeweiligen Prüfverfahren, einen Einfluss auf die Art und Weise haben, wie die gemessenen Werte in den Kopplungswiderstand zu konvertieren sind.

5.6.2 Vektorieller Netzwerkanalysator mit S-Parameter Prüfeinrichtung

Heutzutage besteht die allgemeine Prüf-Konfiguration in der Anwendung eines vektoriellen Netzwerkanalysators mit S-Parameter Prüfeinrichtung.

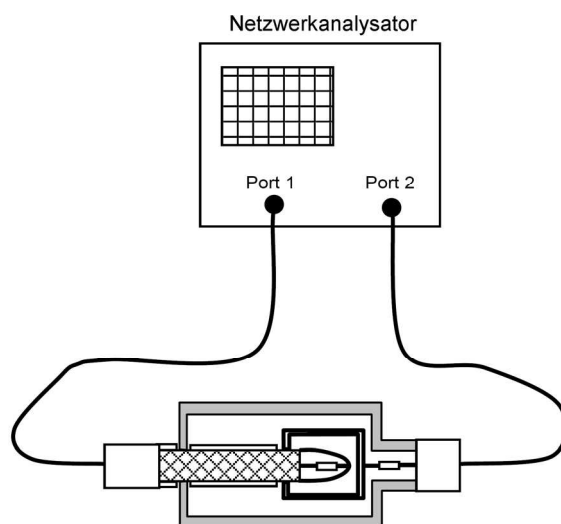


Bild 6 – Prüfeinrichtung mit einem Netzwerkanalysator mit S-Parameter Test Set

5.6.3 Vektorieller Netzwerkanalysator mit Leistungsteiler

Falls eine S-Parameter Prüfeinrichtung nicht zur Verfügung steht, kann ein Leistungsteiler eingesetzt werden. Leistungsteiler können entweder aus zwei oder aus drei Widerständen bestehen. Wenn das Prüfverfahren "Speisung auf einen Kurzschluss" (Prüfverfahren C: Fehlangepasst-Kurzschluss-Kurzschluss ohne Vorwiderstand), dann hängt die Umwandlung der gemessenen Streuparameter S_{21} vom Typ des eingesetzten Leistungsteilers ab.

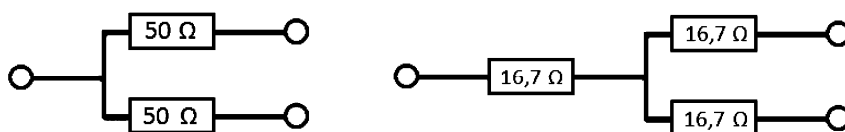


Bild 7 – 50 Ω Leistungsteiler, Typen mit 2 und mit 3 Widerständen

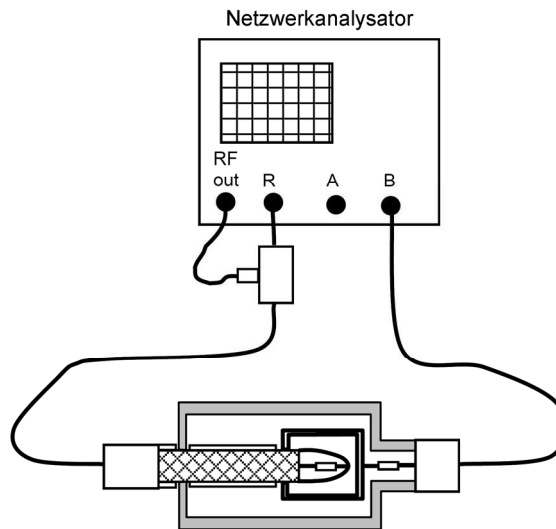


Bild 8 – Prüfeinrichtung mit einem Netzwerkanalysator und einem Leistungsteiler

5.6.6 Getrennter Signalgenerator und Empfänger

Bei der Messung von hochwertigen Schirmen mit einem niedrigen Kopplungswiderstand können die Prüfergebnisse bei tiefen Frequenzen durch Erdschleifen anfällig für Fehler sein. Um solche Erdschleifen zu vermeiden, kann man getrennte Sender und Empfänger einsetzen, die entweder von Batterien gespeist werden oder durch das Netz mit Trenntransformatoren.

Bei dem Prüfverfahren bei dem die Leistung auf einen Kurzschluss eingespeist wird, (Prüfverfahren C, Fehlangepasst-Kurzschluss-Kurzschluss, ohne Vorwiderstand) sollte man die Leistung über einen Speisewiderstand einspeisen, (mit einem Widerstandswert, der gleich dem Generatorwiderstand ist), um den Generator nicht zu zerstören.

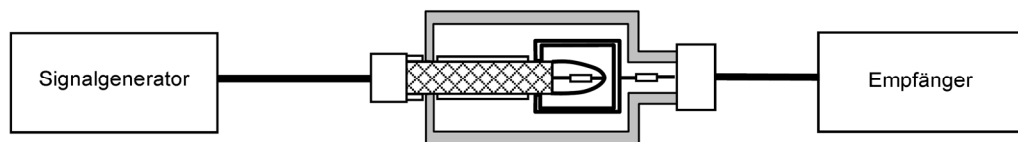


Bild 9 – Prüfeinrichtung mit einem Signalgenerator und einem Empfänger

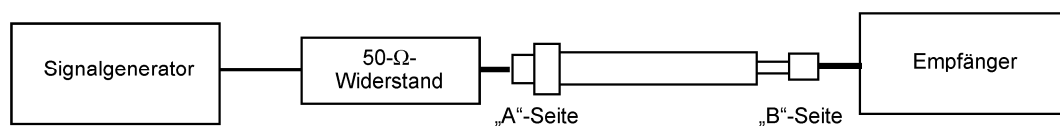


Bild 10 – Prüfeinrichtung mit einem Signalgenerator und einem Empfänger mit Speisewiderstand

5.7 Darstellen der Ergebnisse

5.7.1 Darstellung

Die Werte des Kopplungswiderstandes werden in $\text{m}\Omega/\text{m}$ ausgedrückt, bei den Frequenzen, für die Grenzwerte in den entsprechenden Kabelspezifikationen festgelegt sind.

5.7.2 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss die Prüfergebnisse enthalten und festlegen, ob die Grenzwerte in der entsprechenden Kabelspezifikation eingehalten wurden.

6 Prüfverfahren A: Angepasster innerer Kreis mit Dämpfungswiderstand im Außenkreis

6.1 Allgemeines

Bei diesem Verfahren wird der innere Kreis (Kabel) mit einem angepassten Abschlusswiderstand abgeschlossen ($R_1 = Z_1$); der innere Kreis wird als der störende Kreis angesehen; d. h. er wird vom Generator gespeist). Falls der Wellenwiderstand des inneren Kreises unbekannt ist, kann er, wie in Anhang A beschrieben, gemessen werden.

Der äußere Kreis ist am nahen Ende mit dem Schirm des Kabels kurzgeschlossen und am fernen Ende über einen Dämpfungswiderstand R_2 an den Empfänger angeschlossen.

Falls der Wellenwiderstand des inneren Kreises vom Wellenwiderstand des Generators abweicht, wird ein Impedanzwandler eingesetzt, (siehe Anhang B).

Der Vorteil des Verfahrens liegt in der hohen Grenzfrequenz. Allerdings wird der Dynamikbereich durch den Dämpfungswiderstand und durch den Impedanzwandler eingeschränkt.

ANMERKUNG dieses Verfahren wird üblicherweise mit der starren Prüfeinrichtung durchgeführt.

6.2 Dämpfungswiderstand R_2

Um die maximale Bandbreite der Prüfeinrichtung im Bereich des flachen Verlaufs der Kurve durch die kritische Dämpfung zu erreichen, sollte der Dämpfungswiderstand R_2 am fernen Ende in den äußeren Kreis eingeschaltet werden. Der Wert dieses Widerstandes beträgt:

$$R_2 = A \times 60 \ln\left(\frac{D}{d}\right) - 50 \quad (5)$$

$$A = \sqrt{2} \text{ or } A = \sqrt{\frac{\epsilon_{r1}}{\epsilon_{r2}}}$$

mit

D ist der Innendurchmesser des Rohres ;

d ist der Außendurchmesser des Kabelschirms;

ϵ_{r1} ist die Dielektrizitätskonstante des inneren Kreises;

ϵ_{r2} ist die Dielektrizitätskonstante des äußeren Kreises.

6.3 Grenzfrequenz

Das Produkt der Länge der Grenzfrequenz ist (Einzelheiten siehe IEC 62152-4-1 Abschnitt 9):

$$f_{\text{cut}} \times 1 \approx 80 \text{ MHz} \times m \quad (6)$$

d. h. für eine Kopplungslänge von 0,5 m beträgt die maximale Frequenz, bis zu der der Kopplungswiderstand gemessen werden kann 160 MHz.

6.4 Blockschaltbild der Prüfeinrichtung

Ein Blockschaltbild der Prüfeinrichtung ist in Bild 11 dargestellt.

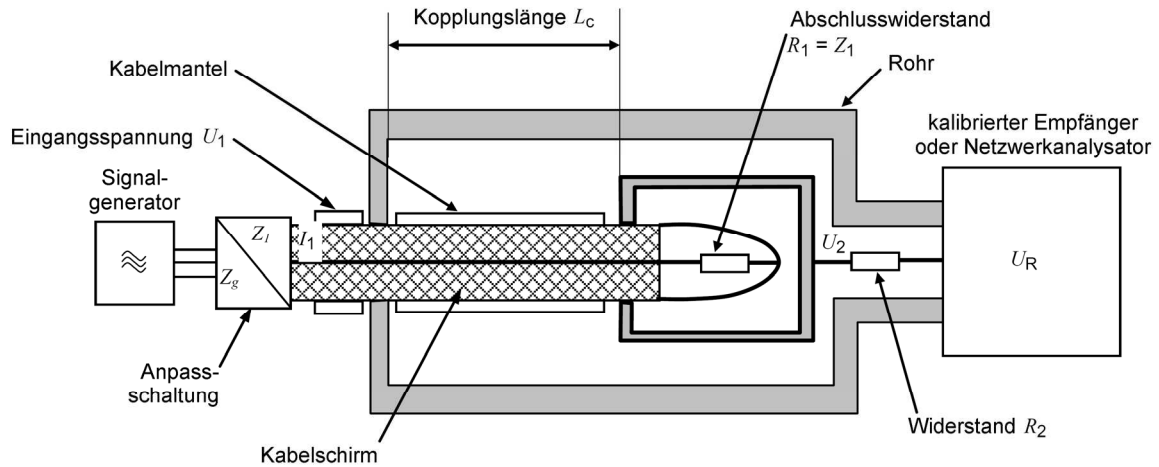


Bild 11 – Prüfeinrichtung (Prinzip)

6.5 Messverfahren

Der Prüfling ist mit dem Generator, der äußere Kreis (Messrohr) mit dem Messempfänger zu verbinden.

Die Dämpfung a_{meas} ist mit logarithmischer Frequenzachse über den gesamten, für den Kopplungswiderstand festgelegten Frequenzbereich und an den gleichen Punkten wie während des Kalibrierens zu messen.

$$a_{\text{meas}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = -20 \log_{10} (S_{21}) \quad (7)$$

mit

P_1 ist die Leistung, die in den inneren Kreis eingespeist wird;

P_2 ist die Leistung im äußeren Kreis.

6.6 Darstellen der Prüfergebnisse

Die Umwandlung der gemessenen Dämpfung in den Kopplungswiderstand ist mit folgender Gleichung durchzuführen:

$$Z_T = \frac{R_1 (Z_0 + R_2)}{Z_0 L_c} 10^{\left[\frac{a_{\text{meas}} - a_{\text{cal}} - \left(a_{\text{pad}} + 10 \log_{10} \left(\frac{Z_0}{Z_1} \right) \right)}{20} \right]} \quad (8)$$

mit

Z_0 ist der Systemwellenwiderstand (üblicherweise 50 Ω);

Z_1 ist der Wellenwiderstand des inneren Kreises;

Z_T ist der Kopplungswiderstand;

a_{meas} ist die gemessene Dämpfung;

- a_{cal} ist die Dämpfung der Verbindungskabel, falls nicht während des Kalibrierens der Prüfeinrichtung eliminiert;
- a_{pad} ist die Dämpfung des Impedanzwandlers;
- L_c ist die Kopplungslänge;
- R_1 ist der Abschlusswiderstand im inneren Kreis;
- R_2 ist der Serienwiderstand im äußeren Kreis

7 Prüfverfahren B: Innerer Kreis mit Abschlusswiderstand und äußerer Kreis ohne Dämpfungswiderstand

7.1 Allgemeines

Dieses Verfahren ist das gleiche wie Verfahren A: Angepasster innerer Kreis mit Dämpfungswiderstand; allerdings mit einem Impedanzwandler und ohne den Dämpfungswiderstand R_2 . Dieses Verfahren hat eine höhere Dynamik.

Der Lastwiderstand kann entweder gleich dem Wellenwiderstand des inneren Kreises sein, oder gleich dem Wellenwiderstand des Generators. Der zweite Fall ist von Interesse, wenn ein Netzwerkanalysator mit Leistungsteiler anstelle einer S-Parameter Prüfeinrichtung eingesetzt wird.

7.2 Grenzfrequenz

Das Produkt der Länge der Grenzfrequenz dieses Verfahrens ist:

$$f_{\text{cut}} \times l \approx 25 \text{ MHz} \times m \quad (9)$$

d. h. für eine Kopplungslänge von 0,5 m beträgt die maximale Frequenz, bis zu der der Kopplungswiderstand gemessen werden kann 50 MHz.

7.3 Blockschaltbild der Prüfeinrichtung

Ein Blockschaltbild der Prüfeinrichtung ist in Bild 12 dargestellt.

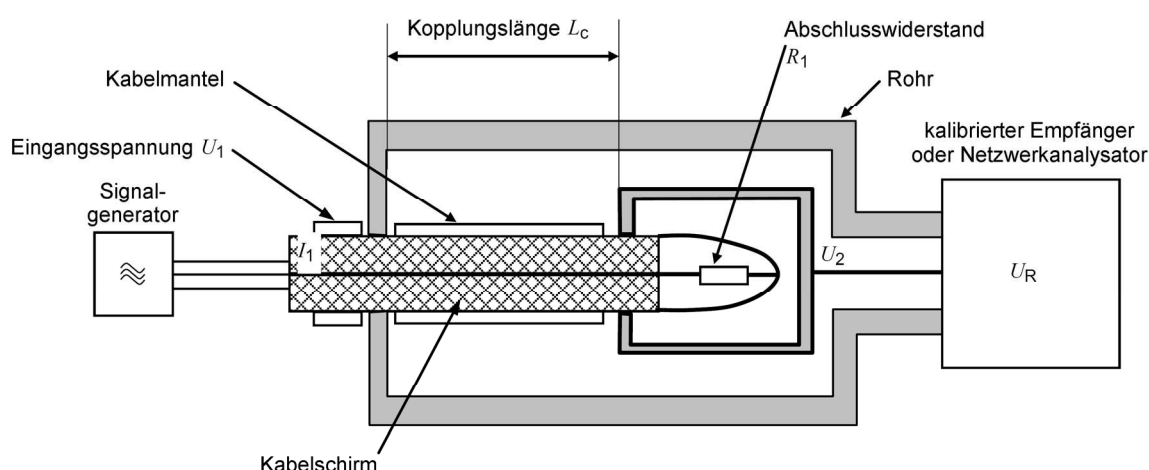


Bild 12 – Prüfeinrichtung (Prinzip)

7.4 Messverfahren

Der Prüfling ist mit dem Generator, der äußere Kreis (Messrohr) mit dem Messempfänger zu verbinden.

Die Dämpfung a_{meas} ist mit logarithmischer Frequenzachse über den gesamten, für den Kopplungswiderstand festgelegten Frequenzbereich und an den gleichen Punkten wie während des Kalibrierens zu messen.

$$a_{\text{meas}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = -20 \log_{10} (S_{21}) \quad (10)$$

mit

P_1 ist die Leistung, die in den inneren Kreis eingespeist wird;

P_2 ist die Leistung im äußeren Kreis.

7.5 Darstellen der Prüfergebnisse

Die Umwandlung der gemessenen Dämpfung in den Kopplungswiderstand ist mit folgender Gleichung durchzuführen:

$$Z_T = \frac{R_1 + Z_0}{2L_c} 10^{-\left\{ \frac{a_{\text{meas}} - a_{\text{cal}}}{20} \right\}} \quad (11)$$

mit

Z_T ist der Kopplungswiderstand;

Z_0 ist der Systemwellenwiderstand (üblicherweise 50 Ω);

a_{meas} ist die gemessene Dämpfung;

a_{cal} ist die Dämpfung der Verbindungskabel, falls nicht während des Kalibrierens der Prüfeinrichtung eliminiert;

L_c ist die Kopplungslänge;

R_1 ist der Abschlusswiderstand im inneren Kreis (entweder gleich dem Wellenwiderstand des inneren Kreises oder gleich dem Wellenwiderstand des Generators).

8 Prüfverfahren C: (Fehlangepasst)-Kurzschluss- Kurzschluss ohne Dämpfungswiderstand

Bei diesem Verfahren sind sowohl der innere als auch der äußere Kreis an einem Ende kurzgeschlossen; d. h. der Dämpfungswiderstand R_2 und der Abschlusswiderstand R_1 (siehe Bild 5) werden durch Kurzschlüsse ersetzt. Ein Impedanzwandler wird nicht eingesetzt.

Der Generator speist den äußeren Kreis am nahen Ende und der innere Kreis (das zu prüfende Kabel) wird am fernen Ende an den Empfänger angeschlossen. Bei dieser Prüfeinrichtung wird der Einfluss der kapazitiven Kopplung durch die Kurzschlüsse im inneren und im äußeren Kreis unterdrückt. Das Verfahren ist sehr empfindlich und daher geeignet, sehr niedrige Kopplungswiderstände zu messen, (bis zu 1 $\mu\Omega/\text{m}$ und niedriger). Mit dem Verfahren mit übergestülptem Geflecht, wie weiter unten beschrieben, ist es möglich, den Kopplungswiderstand vor, während und nach mechanischen Prüfungen zu messen.

ANMERKUNG Dieses Verfahren kann entweder mit der starren Prüfeinrichtung oder mit dem flexiblen dem Verfahren mit übergestülptem Geflecht angewendet werden.

8.1 Grenzfrequenz

Das Produkt der Länge der Grenzfrequenz des Verfahrens mit starrer Prüfeinrichtung ist:

$$f_{\text{cut}} \times 1 \approx 30 \text{ MHz} \times m \quad (12)$$

d. h. für eine Kopplungslänge von 0,5 m beträgt die maximale Frequenz, bis zu der der Kopplungswiderstand gemessen werden kann 60 MHz.

Das Produkt der Länge der Grenzfrequenz des Verfahrens mit flexibler Prüfeinrichtung mit übergestülptem Geflecht ist:

$$f_{\text{cut}} \times 1 \approx 20 \text{ MHz} \times m \quad (13)$$

d. h. für eine Kopplungslänge von 0,5 m beträgt die maximale Frequenz, bis zu der der Kopplungswiderstand gemessen werden kann 40 MHz.

8.2 Blockschaltbild der Prüfeinrichtung

Ein Blockschaltbild der Prüfeinrichtung ist in Bild 13 dargestellt.

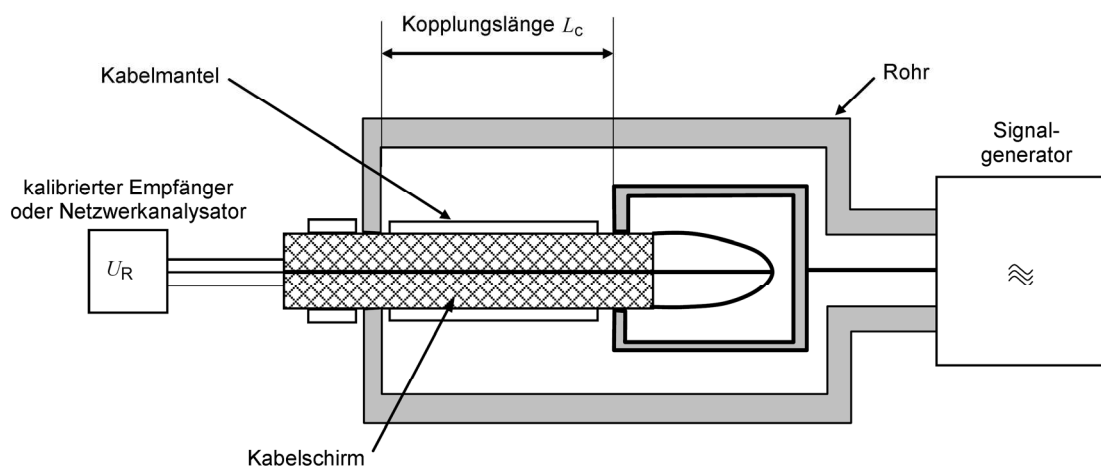


Bild 13 – Prüfeinrichtung (Prinzip)

8.3 Messverfahren

Der äußere Kreis (Messrohr) ist mit dem Generator und der innere Kreis (Prüfling) ist mit dem Messempfänger zu verbinden. Bei dem Verfahren mit flexibler Prüfeinrichtung mit übergestülptem Geflecht korrespondiert der äußere Kreis mit dem Ende A und der innere Kreis mit dem Ende B.

Die Dämpfung a_{meas} ist vorzugsweise mit logarithmischer Frequenzachse über den gesamten, für den Kopplungswiderstand festgelegten Frequenzbereich und an den gleichen Punkten wie während des Kalibrierens zu messen

$$a_{\text{meas}} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = -20 \log_{10} (S_{21}) \quad (14)$$

mit

P_1 ist die Leistung, die in den inneren Kreis eingespeist wird;

P_2 ist die Leistung im äußeren Kreis.

8.4 Darstellen der Prüfergebnisse

Die Umwandlung der gemessenen Dämpfung in den Kopplungswiderstand hängt von der Prüfkongfiguration ab:

Vektorieller Netzwerkanalysator mit S-Parameter Prüfeinrichtung ohne zusätzliche Speisewiderstände:

$$Z_T = \frac{Z_0}{2L_c} 10^{-\left\{ \frac{a_{\text{meas}} - a_{\text{cal}}}{20} \right\}} \quad (15)$$

Vektorieller Netzwerkanalysator mit Leistungsteiler mit 2 Widerständen an der Generatorseite:

$$Z_T = \frac{Z_0}{2L_c} 10^{-\left\{ \frac{a_{\text{meas}} - a_{\text{cal}}}{20} \right\}} \quad (16)$$

Vektorieller Netzwerkanalysator mit Leistungsteiler mit 2 Widerständen an der Generatorseite:

$$Z_T = \frac{Z_0}{4L_c} 10^{-\left\{ \frac{a_{\text{meas}} - a_{\text{cal}}}{20} \right\}} \quad (17)$$

Einspeisung der Leistung mit einem Speisewiderstand (mit einem Wert gleich dem Wellenwiderstand des Generators), entweder mit getrenntem Sender und Empfänger oder mit einem Netzwerkanalysator mit S-Parameter Prüfeinrichtung oder mit Leistungsteiler

$$Z_T = \frac{Z_0}{L_c} 10^{-\left\{ \frac{a_{\text{meas}} - a_{\text{cal}}}{20} \right\}} \quad (18)$$

mit

Z_T ist der Kopplungswiderstand;

Z_0 ist der Systemwellenwiderstand (üblicherweise 50 Ω);

a_{meas} ist die gemessene Dämpfung;

a_{cal} ist die Dämpfung der Verbindungskabel, falls nicht während des Kalibrierens der Prüfeinrichtung eliminiert;

L_c ist die Kopplungslänge;

Anhang A (normativ)

Bestimmung des Wellenwiderstandes des inneren Systems

A.1 Wellenwiderstand des inneren Schaltkreises

Falls der Wellenwiderstand Z_1 des inneren Systems nicht bekannt ist kann er mit einem Zeitbereichsreflektometer (TDR) oder mit nachfolgend beschriebenen Verfahren mit einem (vektoriellen) Netzwerkanalysator (VNA) bestimmt werden:

Ein Ende des vorbereiteten Prüflings wird mit einem VNA verbunden, welcher an der Referenzebene seines Anschluss-Steckers für Impedanzmessungen kalibriert ist. Die Prüffrequenz muss etwa die Frequenz sein, bei der die Länge des Prüflings $1/8 \lambda$ beträgt, wobei λ die Wellenlänge ist.

$$f_{\text{test}} \approx \frac{c}{8 \times L_{\text{sample}} \times \sqrt{\epsilon_r}} \quad (19)$$

mit

- f_{test} Prüffrequenz;
 c Lichtgeschwindigkeit, 3×10^8 m/s;
 L_{sample} Länge des Prüflings.

Der Prüfling wird am fernen Ende kurzgeschlossen. Die Kurzschlussimpedanz Z_{short} wird gemessen. Anschließend wird bei offenem Ende des Prüflings die Impedanz Z_{open} gemessen.

Z_1 ergibt sich dann zu:

$$Z_1 = \sqrt{Z_{\text{short}} \times Z_{\text{open}}} \quad (20)$$