

# 4



## Return Loss

### **Zum Autor Stefan Burger**

erhielt 1986 sein Diplom als Ingenieur (FH) von der University of Applied Science, Offenburg. Bis 1990 blieb er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität und wechselte dann in die Forschungs- und Entwicklungsabteilung von Endress + Hauser in Maulburg.

Dort war er bis 2001 in die Entwicklung der Füllstandmessgeräte auf RADAR Basis eingebunden und unter anderem für die Betreuung der RADAR Module, die Entwicklung von Antennen und druckfesten HF-Durchführungen verantwortlich.

Danach arbeitete er von 2001 bis 2011 bei Panasonic Electronic Devices in Lüneburg an Filtern und Duplexern für Basis Stationen, SAW Filtern und war für die Life Time und Power Durability Simulation zuständig.

Im Jahr 2012 gründete er in Hampton, Australien, sein eigenes Unternehmen Delta Gamma Consultant ([www.delta-gamma.com](http://www.delta-gamma.com)). Seit 2014 ist er als exklusiver Berater im Bereich HF- und Mess-Technik für das Unternehmen el-spec GmbH, Geretsried tätig.

# 4

## Return Loss

Dipl. Ing. (FH) Stefan Burger | Delta Gamma RF-Expert

### Inhalt

Einführung.....	5
Impedanzstandard.....	6
Messunsicherheit.....	7
Imprint.....	11



## Einführung

Eines der wesentliche Merkmale von Hochfrequenz Bauteilen und Systemen ist die Anpassung der Ports. Um sie zu bestimmen, wird im allgemeinen ein Vectorial Network Analyser (VNA) verwendet. Mit ihm ist es ohne weiteres möglich Anpassungen von 60dB zu messen. Diese hohen Anpasswerte können nicht dadurch gemessen werden, dass der VNA noch bessere Werte hat, sondern weil seine systematischen Fehler durch die Kalibrierung mit einem bekannten Kalibrier-Kit herausgerechnet werden. Jedoch bringen die einzelnen Teile des Kalibrier-Kits auch Unsicherheiten mit, die ebenfalls zur Limitierung der Messgenauigkeit beitragen. Auch stellt sich die Frage, ob eine Anpassung von 60 dB der wahre Wert ist.

Eines der am meisten gebrauchten Kalibrier-Kits für Anpassungsmessungen besteht aus einem Open, Short und Load. Relevant ist die Systemimpedanz mit meistens 50 $\Omega$ , Systeme für Rundfunkanwendungen haben dagegen meistens 75 $\Omega$ .

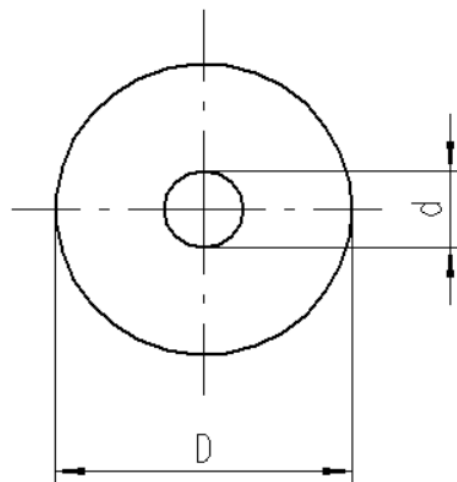


Abbildung 1: Abmessung einer Koaxial-Leitung

## Impedanzstandard

Als Standard für die Impedanz werden stützenlose Koaxial-Luft-Leitungen verwendet. Die Impedanz kann analytisch mit Gleichung (1) berechnet werden, wenn die Abmessung der Leitung bekannt ist.

$$Z_0 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r}} \cdot \ln \frac{D}{d} \quad (1)$$

$$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 \cdot c^2} \quad (2)$$

$$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2} \quad (3)$$

$Z_0$  : Impedanz

$\epsilon_0$  : Elektrische Feldkonstante

$\mu_0$  : Magnetische Feldkonstante

$c$  : Lichtgeschwindigkeit 299 792 458 m/s

$\epsilon_r$  : Relative Permittivität von Luft 1.00059

$D$  : Durchmesser des Schirms

$d$  : Durchmesser des Innenleiters

Diese Leitungen werden sehr aufwendig mit höchster Präzision hergestellt. Einfluss auf die Impedanz haben:

- Toleranz des Schirm Durchmesser
- Toleranz des Innenleiter Durchmesser
- Luftfeuchtigkeit
- Oberflächen Rauigkeit zu höheren Frequenzen

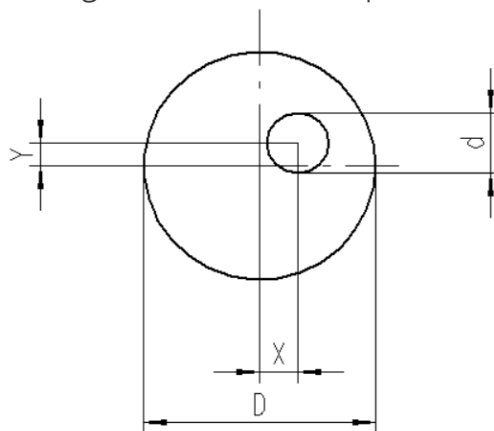


Abbildung 2: Koaxial-Leitung mit exzentrischer Innenleiter Position

Weiterhin wird der Innenleiter nicht exakt zentrisch sein. Diesen Einfluss kann mit der Gleichung (4) berechnet werden.

Den größten Einfluss der Atmosphäre auf die Impedanz hat – solange man nicht bei extremen Temperaturen oder großer Höhe die Messungen durchführt – die Luftfeuchtigkeit. Um den Einfluss abzuschätzen, wurden die berechneten Werte der Permittivität von trockener und 100% gesättigter Luft aus [1] zur Berechnung der Impedanz verwendet.

In Tabelle 1 sind für den 7 mm und 1.0 mm Stecker die sich ergebende Werte berechnet worden, wenn eine Messunsicherheit von 1m angenommen wurde. Wie erwartet nimmt die erreichbare Anpassung mit kleiner werdenden Koaxial-Systemen ab, da die Unsicherheit mit 1m konstant bleibt. Die Exzentrizität hat fast keinen Einfluss und kann sogar die durch Durchmesserfehler entstehenden Auswirkungen kompensieren. Die Luftfeuchtigkeit hat dagegen bei dem 7 mm Stecker einen kleinen, wenn auch sichtbaren Einfluss. Dies gilt nur, wenn einer der Extremwerte mit 0% oder 100% auftritt, was vermieden werden sollte. Bei kleiner werdenden Systemen tritt der Einfluss der Luftfeuchtigkeit in den Hintergrund, da die mechanische Toleranz den dominanten Anteil bildet.

Tabelle 1: Erzielbarer Return Loss abhängig verschiedener Einflussgrößen

Type	D mm	d mm	Z nominal $\Omega$	RL Toleranz dB	RL excentric dB	RL Luftfeuchte dB
7 mm	7.0	3.0397	50.00	70.879	70.876	69.862
1.0 mm	1.0	0.434	50.03	52.732	52.745	52.675

## Messunsicherheit

Bei der Messung der Anpassung mit dem VNA vergrößern weitere Ursachen die Unsicherheit der Messung. Diese sind:

- Reproduzierbarkeit beim Anschließen des Messobjekts
- Frequenzdrift
- Rauschen
- Temperaturdrift
- Phasen und Dämpfungsänderung der Messkabel – wenn sie bewegt werden
- Dynamikbereich des VNA
- Linearität
- etc.

Der Hersteller spezifiziert für seine Messgeräte die Unsicherheit, welche sie durch Messung mit Messgeräten garantieren, die auf die nationale Standards zu-





rückgeführt werden. In Deutschland ist die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig für die Standards verantwortlich. Beim Bureau International des Poids et Mesures ([kcdb.bipm.org](http://kcdb.bipm.org)) sind die Unsicherheiten der angeschlossenen Nationalen Institute hinterlegt und können dort eingesehen werden.

Die PTB [2] garantiert eine Messunsicherheit für die Reektion Messung von 0.003 bei einem Reektionsfaktor von 0.0 bis 0.2 mit einem Überdeckungsbereich von 95% entspricht -48.0 dB. Das Federal Institute of Metrology, Schweiz, [3] garantiert eine Messunsicherheit von 0.002 bei einem Reektionsfaktor von 0.0 bis 0.4 mit einem Überdeckungsbereich von 95%, das entspricht -50.5 dB.

Mit steigender Frequenz nimmt die Genauigkeit ab und erreicht bei 67 GHz noch einen garantierten Wert von -35.9 dB. Er ist nur gültig, wenn direkt am Port vom VNA gemessen wird, da ansonsten weitere Unsicherheiten durch das Messkabel hinzukommen.

Wie man an diesem Vergleich sehen kann, gibt es Unterschiede zwischen den einzelnen Ländern. Wenn es sehr genau sein soll, ist es empfehlenswert, die Werte zu vergleichen. VNA's werden normalerweise bei einem akkreditierten Labor kalibriert, das im Normalfall nicht diese Genauigkeit anbieten kann.

Sie können in Deutschland bei der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAkkS) [4] hinsichtlich ihrer Messmöglichkeiten und der erzielten Genauigkeit gefunden werden. Z. B. gibt Rhode & Schwarz GmbH & Co. KG, Graf Zeppelin-Straße 18, 51147 Köln, eine Messunsicherheit von -47.1 dB an, wogegen die Rosenberger Hochfrequenztechnik GmbH & Co. KG, Hauptstraße 1, 83413 Fridolng, eine Unsicherheit von -43.1 dB im besten Fall angeben (November 2016). Weiterhin geben die Hersteller der Messgeräte typische Unsicherheiten der VNA's an. Das ist z. B. beim ZVB von Rohde & Schwarz 0.009 entsprechend -40.0 dB. Der ZVA von Rohde & Schwarz wird im besten Fall mit 0.005 (-44.4 dB) angegeben.

## Messwert mit Messunsicherheit

Wie steht hierzu die in der Einleitung erwähnte Messung von 60 dB? Wird eine VNA kalibriert und danach der Kalibrier-Load angeschlossen, so können, wenn ein Kalibrier-Kit verwendet wird, Anpasswerte von 60 dB gemessen werden, bei dem der Load nicht charakterisiert ist. Hier wird bei der Kalibrierung für den Load 50Ω zur Berechnung genommen, auch wenn er z.B. 50,05Ω hat. Was angezeigt wird, ist die Anpassung zum tatsächlichen Wert und nicht zu 50Ω. Zu diesem Wert ist die Unsicherheit hinzu zu rechnen, um den Bereich zu erhalten, in dem der tatsächliche Wert liegt.



## Imprint

©copyright 2016 by el-spec GmbH

Konzept, Text, Zeichnungen: Stefan Burger, Delta Gamma RF-Expert, Melbourne Australien  
und Dr. Michael Kuntzsch, Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf

Layout und Gestaltung: Udo Klünsch | kpr kommunikation, Geretsried

Fotos: Udo Klünsch | kpr kommunikation

alle - außer Seiten: 10 – ©TSM

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung ist ohne Zustimmung der Firma el-spec GmbH unzulässig und strafbar. Insbesondere gilt dies für Vervielfältigungen, Übersetzungen und Einspeicherung in elektronische Systeme.

### **el-spec GmbH**

Lauterbachstr. 23c

82538 Geretsried-Gelting

T.: +49 81 71 43 57-21/-22

F.: +49 81 71 43 57-99

info@elspecgroup.de

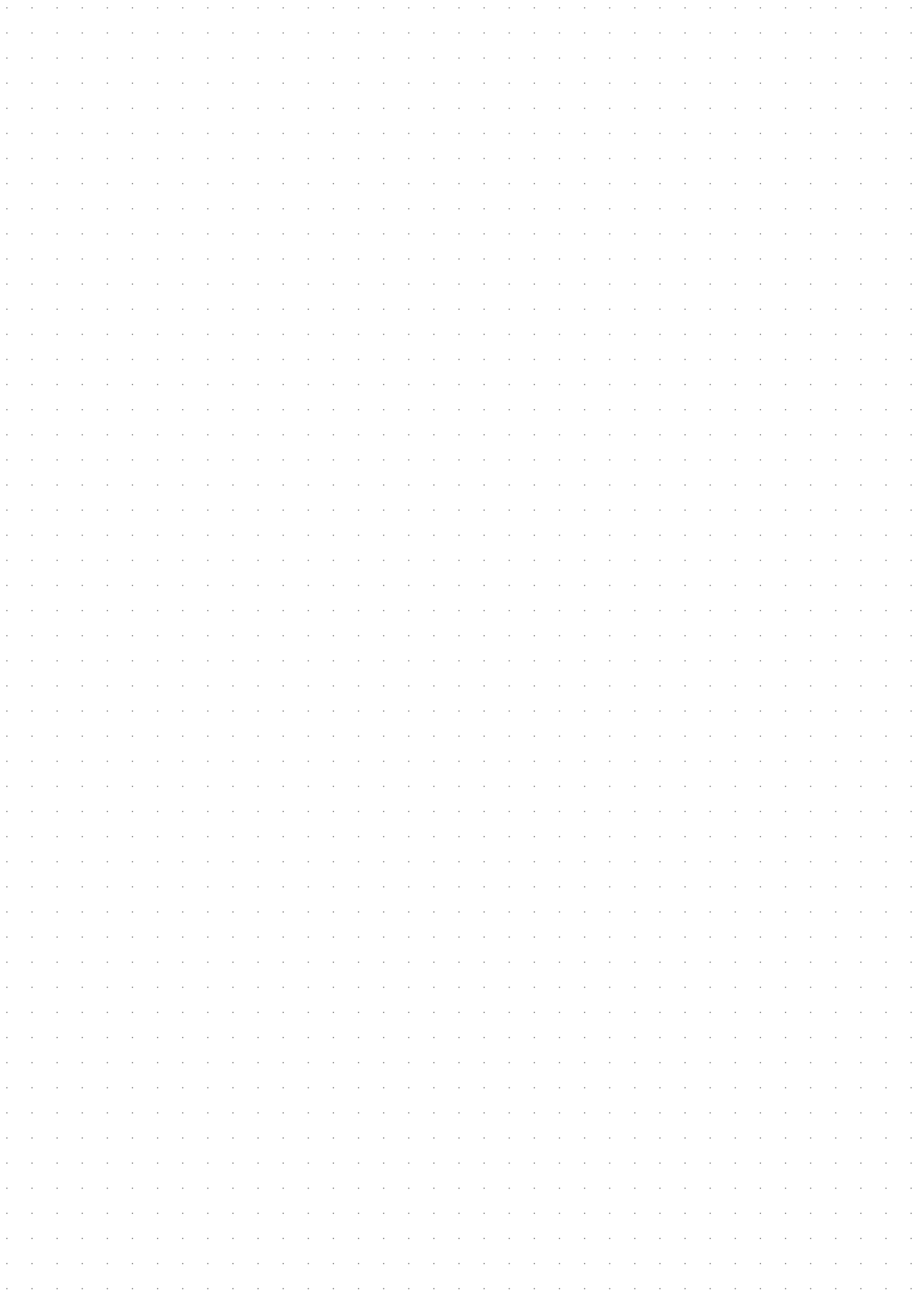
Geschäftsführer: Thomas Weber

**www.elspecgroup.de**

## Notes



## Notes



## Notes



## Notes





el-spec GmbH  
Lauterbachstr. 23c  
82538 Geretsried-Gelting, Germany  
Tel. +49 (0)8171-4357-21/-22  
Fax +49 (0)8171-4357-99  
E-Mail: [info@elspecgroup.de](mailto:info@elspecgroup.de)  
[www.elspecgroup.de](http://www.elspecgroup.de)