

Impedanz von Koaxialkabeln

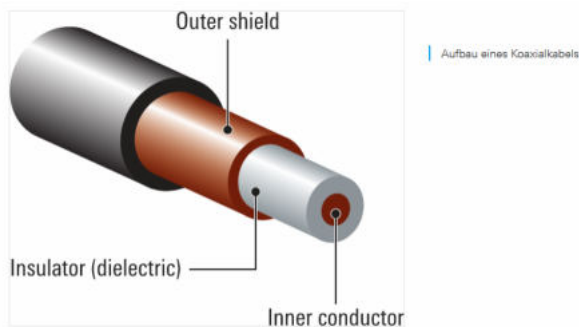
Ein **Koaxialkabel**, gerne kurz als „Koax“ bezeichnet, besteht aus drei Hauptkomponenten:

- **Innenleiter:** Die Mittelader, die das Signal überträgt.
- **Dielektrischer Isolator:** Eine Schicht aus Isoliermaterial, die den Innenleiter umgibt.
- **Außenleiter:** Eine metallische Abschirmung, welche die dielektrische Schicht einschließt. Der Außenleiter dient einerseits als Signaleückweg und schützt andererseits vor externen elektromagnetischen Störungen.

In der Regel sind diese Kernkomponenten noch von einer zusätzlichen Kunststoffisolierung umgeben. Die **Wellenimpedanz** eines Koaxialkabels ist eine Funktion des Innen- und Außenleiterdurchmessers sowie der Dielektrizitätszahl des Isoliermaterials dazwischen.

Die meisten Koaxialkabel weisen eine Wellenimpedanz von entweder **50 oder 75 Ohm** auf. Die Impedanz ist häufig auf dem Außenmantel des Kabels angegeben.

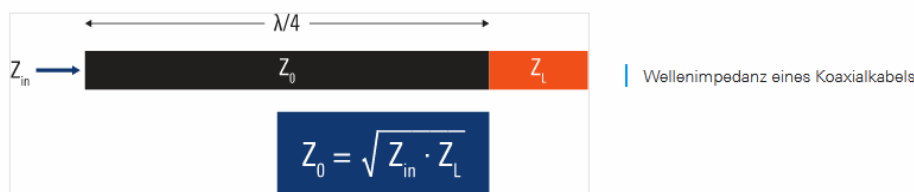
Wenn nicht, kann sie mit einem VNA gemessen werden.



Messen der Wellenimpedanz eines Koaxialkabels mit einem VNA

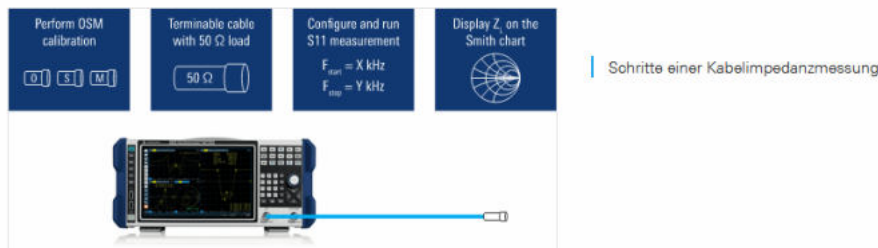
Ein VNA kann die Wellenimpedanz eines Koaxialkabels auf dem Weg einer sogenannten **$\lambda/4$ -Transformation** bestimmen. Hierbei kommt eine Übertragungsleitung zum Einsatz, die eine Viertel Wellenlänge ($\lambda/4$) lang ist und eine bekannte Impedanz Z_L besitzt.

Die Wellenimpedanz Z_0 kann aus dem bekannten Wert von Z_L und der mit dem VNA gemessenen Eingangsimpedanz Z_{in} berechnet werden.



Der Messvorgang umfasst vier Schritte:

- **Kalibrierung des VNA:** Führen Sie eine Open-Short-Match-(OSM)-Kalibrierung am VNA durch. Dieser Schritt dient der Genauigkeit. Geht es nur um die Bestimmung, ob die Kabelimpedanz 50 oder 75 Ohm beträgt, ist er nicht unbedingt erforderlich.
- **Anschließen des Kabels:** Schließen Sie das Koaxialkabel an den VNA an und schließen Sie es mit einer 50-Ohm-Last ab.
- **Durchführen einer S11-Messung:** Konfigurieren und führen Sie eine Reflexionsmessung (S11) am VNA durch. Die Start- und Stoppfrequenzen des Sweeps müssen entsprechend eingestellt werden.
- **Interpretieren der Ergebnisse mittels Smith-Diagramm:** Tragen Sie die Messergebnisse in ein Smith-Diagramm ein, um die Impedanz zu bestimmen. Wenn sowohl die Kabel- als auch die Lastimpedanz 50 Ohm betragen, zeigt das Smith-Diagramm im Zentrum einen Punkt oder kleinen Kreis. Wenn die Kabel- und Lastimpedanz unterschiedlich sind, bildet die Messlinie unvollständige oder mehrere Kreise.



Einstellen der richtigen Sweep-Frequenzen

Um die Impedanz genau messen zu können, müssen die **Sweep-Frequenzen** richtig konfiguriert werden:

- Die **Startfrequenz** sollte niedrig sein, normalerweise 100 kHz oder weniger.
- Die **Stoppfrequenz** darf nicht zu niedrig eingestellt werden – die Messlinie sollte die Widerstandsachse genau einmal kreuzen. Als Schätzung für die ideale Stoppfrequenz (in MHz) kann 75 geteilt durch die ungefähre Kabellänge (in Metern) verwendet werden. Diese Schätzung basiert auf der Viertelwellenlänge der Signalgeschwindigkeit im Kabel.

Aufgrund der langsameren Signalausbreitungsgeschwindigkeit in einem Kabel im Vergleich zum Vakuum kann die berechnete Stoppfrequenz im Smith-Diagramm zu einem leichten Überschwingen führen. Die Ergebnisse können jedoch trotzdem brauchbar sein.



Bestimmung der Kabelimpedanz

Wenn eine „ideale“ Messlinie erhalten wurde, verwenden Sie einen Marker, um den Punkt zu finden, an dem die Messlinie die Wirkwiderstandsachse kreuzt. Dieser Wert entspricht der Eingangsimpedanz Z_{in} .

Fällt kein Messkurvenpunkt genau auf die Wirkwiderstandsachse, kann auch der nächstgelegene Punkt verwendet werden, um gute Ergebnisse zu erzielen.

Berechnen Sie abschließend die Wellenimpedanz des Kabels mit Hilfe des gemessenen Werts von Z_{in} und der bekannten Lastimpedanz Z_L .

Fazit

- Die meisten Koaxialkabel besitzen eine Nennimpedanz von 50 oder 75 Ohm.
- Die Impedanz ist häufig auf dem Kabelmantel angegeben.
- Die Impedanzen können auch gemessen werden – mit einem [VNA](#) und dem [Smith-Diagramm](#).
 - Führen Sie eine reguläre Eintor-OSM-Kalibrierung durch.
 - Schließen Sie das Kabel an den VNA an und schließen Sie es mit einer 50-Ohm-Last ab.
 - Führen Sie eine S11-Messung mit entsprechend eingestellten Start- und Stoppfrequenzen durch.
 - Interpretieren Sie die Ergebnisse mit Hilfe eines Smith-Diagramms. Wenn die Messlinie in der Nähe des Zentrums ist, beträgt die Impedanz 50 Ohm. Andernfalls ist der Punkt zu finden, an dem die Messlinie die Wirkwiderstandsachse schneidet.
 - Verwenden Sie die gemessene Impedanz Z_{in} und die bekannte Lastimpedanz Z_L , um die Wellenimpedanz zu berechnen.
- Diese Methode ist neben Koaxialkabeln auch auf einige weitere Kabeltypen anwendbar.