

Leitungen

Praktikumsversuch am 03.11.2010

Gruppe: 3

Thomas Himmelbauer
Daniel Weiss

Abgegeben am: 10.11.2010

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Vorbemerkungen	2
2.1	Fehlerrechnung	2
2.2	Diagramme	2
3	Tastkopfmodell	2
4	Reflexionen	4
4.1	Spannungsreflexionen	4
4.1.1	Ohne Abschlusswiderstand	4
4.1.2	Mit festem Abschlusswiderstand	5
4.1.3	Mit variablem Abschlusswiderstand	6
4.2	Strommessung am reflektierten Impuls	6
4.2.1	ohne Abschlusswiderstand	6
4.2.2	mit Abschlusswiderstand	7
4.2.3	Kurzschluss	7
5	Kenngroßen	8
5.1	RG58 Koaxialkabel	8
5.1.1	Wellenwiderstand	8
5.1.2	Ausbreitungsgeschwindigkeit	8
5.1.3	Kapazität und Induktivität pro Meter	9
5.1.4	Dielektrizitätszahl	10
5.1.5	Dämpfung	10
5.2	Unbekanntes Koaxialkabel	11
5.2.1	Wellenwiderstand	11
5.2.2	Ausbreitungsgeschwindigkeit	12
5.2.3	Kapazität und Induktivität pro Meter	12
5.2.4	Dielektrizitätszahl	12
5.2.5	Dämpfung	12
6	Impedanzanpassung	12
6.1	Impedanzübergang	12
6.2	Impedanzverteilung	13

1 Einleitung

Ziel dieses Versuchs ist es, das Verhalten von Signalen in Koaxialkabeln zu messen. Mit verschiedenen Versuchsaufbauten werden Spannungs- und Stromreflexionen an Kabelenden und Kabelverzweigungen gemessen und versucht diese zu minimieren.

2 Vorbemerkungen

2.1 Fehlerrechnung

Da während des Versuches jeweils nur eine Messung durchgeführt wurde, können keine statistischen Fehler angegeben werden. Systematische Fehler wie etwa des Oszilloskops oder des Ohmmeters wurden nicht berücksichtigt, da sie uns nicht bekannt sind.

2.2 Diagramme

Sämtliche Diagramme in dieser Ausarbeitung sind *Skizzen*, die händisch vom Oszilloskop abgezeichnet und anschließend in den Computer übertragen wurden. Der Verlauf und die Abstände sind deshalb nicht exakt wie vom Oszilloskop angezeigt, sondern so gut es geht dem tatsächlichen Oszilloskop-Bild nachempfunden.

3 Tastkopfmodell

Das gegebene Tastkopfmodell soll für Messungen möglichst gut abgeglichen werden. Der Tastkopf besteht aus einem Widerstand, einem parallel dazu geschalteten regelbaren Kondensator und einem Schalter, welcher beide Dazuschalten bzw. aus dem Stromkreis nehmen kann (Abb. 1). Dabei stellt der Tastkopf zusammen mit dem Oszilloskop einen komplexen Spannungsteiler dar. Dieser ist genau dann frequenzunabhängig abgeglichen, wenn das Verhältnis der Kapazitäten dem Verhältnis der Widerstände entspricht (Gl. 1).

$$\frac{R}{R_i} = \frac{C_i}{C} \quad (1)$$

Bei einer Änderung der Kapazität des regelbaren Kondensators wird die Schaltung entweder zu einem Hochpass oder einem Tiefpass.

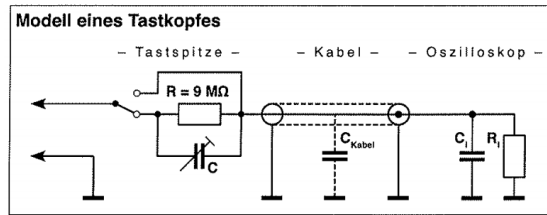


Abbildung 1: Schaltungsplan des verwendeten Tastkopfmodells. Entnommen aus der Versuchsanleitung[MS08].

Um den Abgleich für alle Frequenzen vorzunehmen, wird ein Rechtecksignal mit dem Funktionsgenerator angelegt. Dieses Rechtecksignal besteht aus einer Überlagerung unendlich vieler Sinuskurven mit verschiedenen Frequenzen (Fouriertransformation). Die sich auf dem Oszilloskop ergebenden Schaubilder für den abgeglichenen Zustand, sowie den Hochpass- und Tiefpassfall sind in den Abbildungen 2,3 und 4 dargestellt.

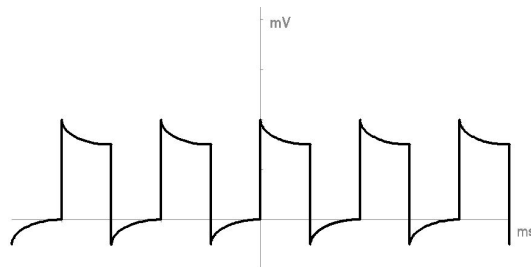


Abbildung 2: Schaubild auf Oszilloskop bei Hochpassschaltung des Tastkopfes. Der Anteil der hohen Frequenzen ist in den Spitzen deutlich zu sehen.

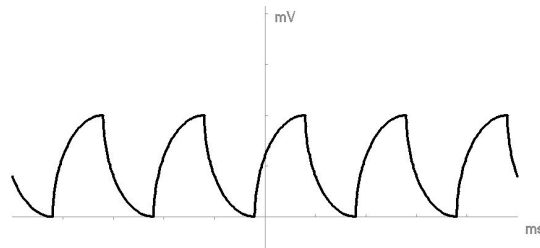


Abbildung 3: Schaubild auf Oszilloskop bei Tiefpassschaltung des Tastkopfes. Der fehlende Anteil der hohen Frequenzen führt zu einer Abflachung der „ersten Spitze“.

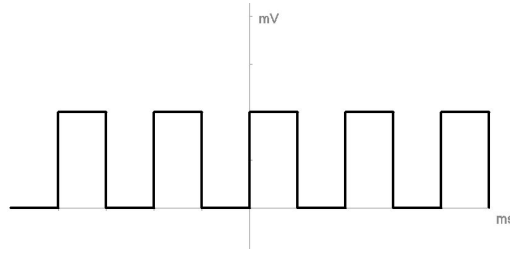


Abbildung 4: Schaubild auf Oszilloskop bei abgeglichenem Tastkopf.

4 Reflexionen

4.1 Spannungsreflexionen

Die Schaltung wird wie in der Versuchsanleitung beschrieben aufgebaut [MS08]. Gemessen wird der Signalverlauf von Impulsen mit 8ns Dauer vor Durchlaufen der 30m-Leitung und am Ende dieser Leitung. Am Ende der Leitung werden nacheinander kein Abschlusswiderstand, ein 50Ω Widerstand und ein variabler Widerstand angebracht.

4.1.1 Ohne Abschlusswiderstand

Ohne Abschlusswiderstand wird der Spannungspuls am Ende des Kabels reflektiert und somit am Anfang des Kabels (Kanal 1) zweimal detektiert (Abb. 5). Der zweite Puls ist kleiner (geringere Spannung) als der erste, d.h. das Signal hat beim zweimaligen Durchlaufen des Kabels und bei der Reflexion Energie an die Umgebung abgegeben. Auf Kanal 2 ist das Signal, wie es am Ende des Kabels ankommt, aufgetragen. Auffällig ist der Zeitunterschied zwischen den einzelnen Signalen. Dieser resultiert aus der endlichen Laufzeit (Ausbreitungsgeschwindigkeit) des Signals im Kabel und ist erwartungsgemäß derselbe zwischen der ersten Spitze auf Kanal 1 und der auf Kanal 2 und der zweiten auf Kanal 1 und der auf Kanal 2.

Die Differenz beträgt bei dieser Messung $\Delta t = 150\text{ns}$ (am Oszilloskop gemessen).

Die Stärke des Signals, welches am Ende des Kabels gemessen wird ist größer als die des anfangs in das Kabel gesendete Signal. Dies liegt daran, dass ankommendes Signal und reflektiertes Signal sich aufsummieren und beide als ein einziges Signal gemessen werden.

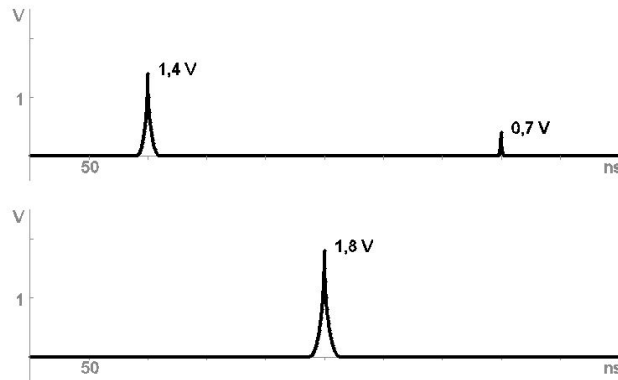


Abbildung 5: Schaubild des Oszilloskops bei Versuchsaufbau nach 2.1 der Anleitung[MS08] ohne Abschlusswiderstand. Kanal 1 (oben) ist an den Anfang des Kabels angeschlossen und Kanal 2 (unten) an das Ende des Kabels.

4.1.2 Mit festem Abschlusswiderstand

Mit einem angeschlossenen Abschlusswiderstand der Stärke $R = 50\Omega$ zeigt sich ein deutlicher Unterschied zur vorigen Messung ohne Abschlusswiderstand (Abb. 6). Es ist kein reflektiertes Signal mehr zu erkennen. Dies liegt daran, dass der Abschlusswiderstand dieselbe Größe hat wie die Impedanz des Kabels.

Das am Kabelende gemessene Signal ist nun kleiner (geringere Spannung) als das in das Kabel hineingeschickte Signal, da der Reflexionsanteil entfällt.

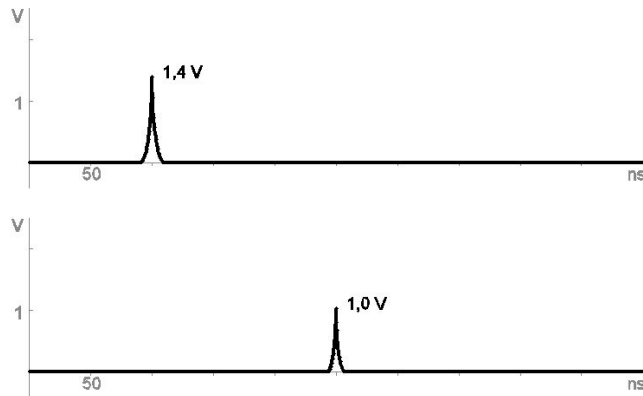


Abbildung 6: Schaubild des Oszilloskops bei Versuchsaufbau nach 2.1 der Anleitung[MS08] mit 50Ω -Abschlusswiderstand. Kanal 1 (oben) ist an den Anfang des Kabels angeschlossen und Kanal 2 (unten) an das Ende des Kabels.

4.1.3 Mit variablem Abschlusswiderstand

Der Widerstandswert wird solange geändert, bis die Reflexionen minimiert sind. Anschließend wird der Widerstandswert mit dem Multimeter bestimmt. Erwartungsgemäß beträgt er bei Abgleich $R = 49,8\Omega \approx 50\Omega$. Das Schaubild des Oszilloskops entspricht dem des ersten Kanals in Abbildung 6.

4.2 Strommessung am reflektierten Impuls

Der Versuchsaufbau wird entsprechend der Anleitung umgebaut[MS08].

4.2.1 ohne Abschlusswiderstand

Ohne Abschlusswiderstand werden Spannung und Stromstärke (als Spannung mit einer Strommessspule) am Ende des 30m-Kabels reflektiert (Abb. 7). Die Spannungspulse am

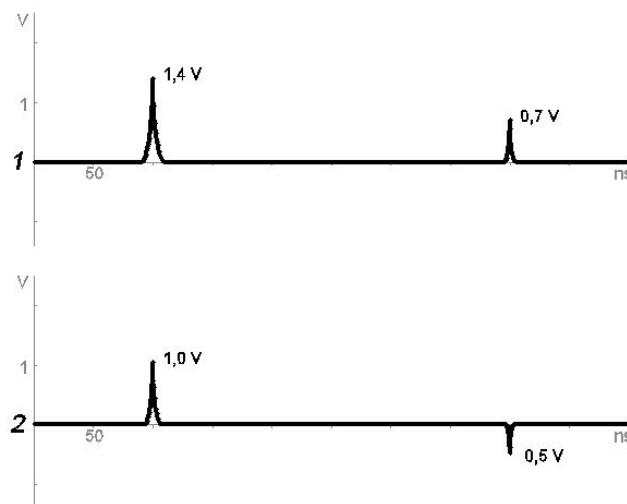


Abbildung 7: Schaubild des Oszilloskops bei Versuchsaufbau nach 2.2 der Anleitung[MS08] ohne Abschlusswiderstand. Kanal 1 (oben) zeigt den Strom und Kanal 2 (unten) die Stromstärke (genauer: eine dazu proportionale Spannung) jeweils am Anfang des Kabels.

Anfang des Kabels sind identisch zu den im vorigen Versuch Gemessenen (Abb. 5). Die Stromstärke ist nach der Reflexion invertiert. Dies liegt daran, dass der Puls nach der Reflexion in die entgegengesetzte Richtung läuft.

Am Ende des Kabels zeigt sich für die Spannung wieder ein ähnliches Bild wie im vorigen

Versuch, die Stromstärke ist allerdings kaum messbar (Abb. 8, Kanal 4). Genauso wie sich die beiden Spannungspulse (hinlaufend und reflektiert) überlagern und addieren, so überlagern sich auch die gegenläufigen Stromstärken und heben sich nahezu auf. Die dennoch zu sehende sehr kleine Spitze resultiert aus der durch die Reflexion bedingten leicht geringeren Stromstärke des rücklaufenden Pulses.

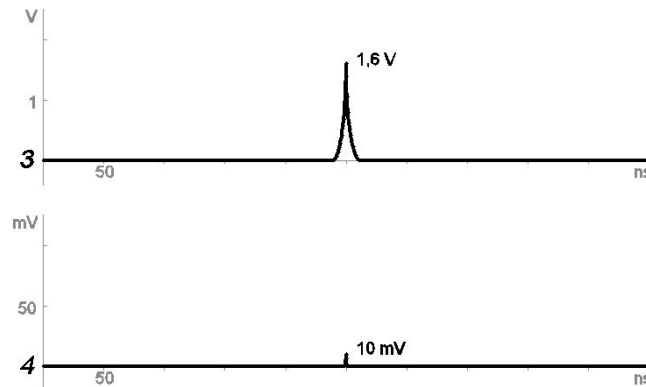


Abbildung 8: Schaubild des Oszilloskops bei Versuchsaufbau nach 2.2 der Anleitung[MS08] ohne Abschlusswiderstand. Kanal 3 (oben) zeigt die Spannung und Kanal 4 (unten) eine zur Stromstärke direkt proportionale Spannung; beides jeweils am Ende des Kabels.

4.2.2 mit Abschlusswiderstand

Im abgeglichenen Zustand sieht der Spannungsverlauf des Signals genauso aus wie beim Versuch zur Spannungsreflexion. Die Stromstärke nimmt - wie die Spannung auch - von Anfang bis Ende des Kabels ab (Abb. 9,10). Reflexionen treten keine auf.

Der Ausschlag des Stroms am Ende des Kabels ist sehr gering im Vergleich zu dem am Anfang des Kabels. Das ist uns nicht ganz klar. Es könnte sich um einen Messfehler handeln oder um Verluste in der Leitung, wobei uns die kleine Größe des Wertes komisch erscheint.

4.2.3 Kurzschluss

Schließt man das Ende des Kabels kurz (veränderbarer Abschlusswiderstand auf Minimalwert eingestellt), so wird der Spannungspuls negativ reflektiert. Die reflektierte Stromstärke ist ebenfalls negativ, da das reflektierte Signal dem Ursprungssignal entgegen läuft (Abb. 11,12). Dieser Fall ist vergleichbar mit dem eines Seils, welches am Ende fest eingespannt ist.

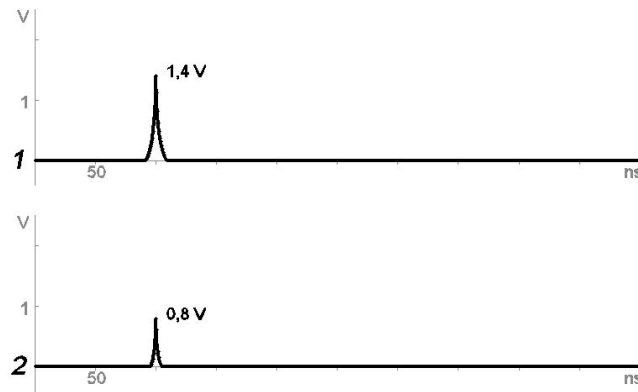


Abbildung 9: Schaubild des Oszilloskops bei Versuchsaufbau nach 2.2 der Anleitung[MS08] mit Abschlusswiderstand. Kanal 1 (oben) zeigt die Spannung und Kanal 2 (unten) eine zur Stromstärke direkt proportionale Spannung; beides jeweils am Anfang des Kabels.

5 Kenngrößen

Es werden zum bekannten 30m-Koaxialkabel und dem unbekanntem Kabel einige Kenngrößen ermittelt.

5.1 RG58 Koaxialkabel

5.1.1 Wellenwiderstand

Der Wellenwiderstand eines Kabels kann dadurch bestimmt werden, dass ein variabler Abschlusswiderstand an das Ende angeschlossen und so lange verändert wird, bis die Reflexionen minimiert sind. Diesen Zustand bezeichnet man als Abgeglichen. Im vorigen Versuch wurde der Wellenwiderstand des Kabels bereits zu

$$Z = 50\Omega \quad (2)$$

bestimmt.

5.1.2 Ausbreitungsgeschwindigkeit

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit lässt sich aus den Diagrammen ablesen. Die Kabellänge dividiert durch die Zeitdifferenz zwischen Signalregistrierung an Anfang und Ende des

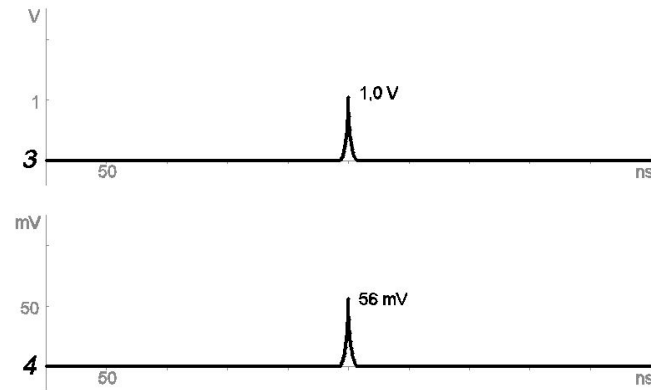


Abbildung 10: Schaubild des Oszilloskops bei Versuchsaufbau nach 2.2 der Anleitung[MS08] ohne Abschlusswiderstand. Kanal 3 (oben) zeigt die Spannung und Kanal 4 (unten) eine zur Stromstärke direkt proportionale Spannung; beides jeweils am Ende des Kabels.

Kabel ergibt die Ausbreitungsgeschwindigkeit. Diese ist bei diesem Kabel:

$$v = \frac{s}{t} = 2 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{2}{3}c \quad (3)$$

5.1.3 Kapazität und Induktivität pro Meter

Aus der Versuchsanleitung werden folgende Formeln entnommen:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\hat{L}\hat{C}}} \quad (4)$$

$$Z = \sqrt{\frac{\hat{L}}{\hat{C}}} \quad (5)$$

Daraus ergeben sich folgende 2 Gleichungen für die Kapazität pro Meter und die Induktivität pro Meter.

$$\hat{L} = \frac{Z}{v} = 2,5 \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}} = 250 \frac{\text{nH}}{\text{m}} \quad (6)$$

$$\hat{C} = \frac{1}{Zv} = 10^{-10} \frac{\text{F}}{\text{m}} = 100 \frac{\text{pF}}{\text{m}} \quad (7)$$

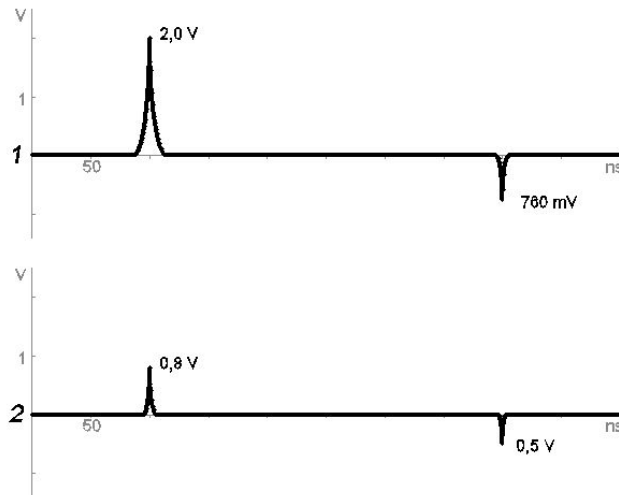


Abbildung 11: Schaubild des Oszilloskops bei Versuchsaufbau nach 2.2 der Anleitung[MS08] mit sehr geringem Abschlusswiderstand (Kurzschluss). Kanal 1 (oben) zeigt die Spannung und Kanal 2 (unten) eine zur Stromstärke direkt proportionale Spannung; beides jeweils am Anfang des Kabels.

5.1.4 Dielektrizitätszahl

Aus der Anleitung:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon\mu}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\epsilon_r\mu_0\mu_r}} \quad (8)$$

Durch Umstellen und mit der Annahme $\mu_r = 1$ und der Beziehung $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0\mu_0}}$ kann ϵ_r bestimmt werden:

$$\epsilon_r = \frac{c^2}{v^2} = \frac{9}{4} = 2,25 \quad (9)$$

5.1.5 Dämpfung

Aus der Anleitung:

$$D = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{U_1}{U_2} \right) \quad (10)$$

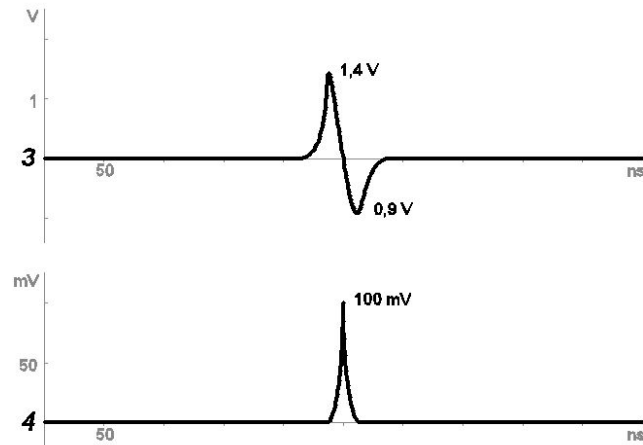


Abbildung 12: Schaubild des Oszilloskops bei Versuchsaufbau nach 2.2 der Anleitung[MS08] mit sehr geringem Abschlusswiderstand (Kurzschluss). Kanal 3 (oben) zeigt die Spannung und Kanal 4 (unten) eine zur Stromstärke direkt proportionale Spannung; beides jeweils am Ende des Kabels.

Setzt man die Werte vom Anfang und Ende des Kabels ein, so erhält man die Dämpfung pro 30m. Dies muss noch auf 100m hochgerechnet werden. Es folgt:

$$D_5 = 3,53 \frac{\text{dB}}{100\text{m}} \quad (11)$$

$$D_{50} = 5,25 \frac{\text{dB}}{100\text{m}} \quad (12)$$

wobei bei 50MHz bzw. 5MHz gemessen wurde.

5.2 Unbekanntes Koaxialkabel

Diesselben Messungen werden für ein unbekanntes Kabel durchgeführt. Erklärungen zu den einzelnen Messungen sind im vorigen Abschnitt zu finden.

5.2.1 Wellenwiderstand

Der Wellenwiderstand wurde nach Abgleichen zu

$$Z = 56,8\Omega \quad (13)$$

gemessen.

5.2.2 Ausbreitungsgeschwindigkeit

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist:

$$v = 2,4 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (14)$$

5.2.3 Kapazität und Induktivität pro Meter

Die Kapazität pro Meter und die Induktivität pro Meter sind:

$$\hat{L} = \frac{Z}{v} = 2,4 \cdot 10^{-7} \frac{\text{H}}{\text{m}} = 240 \frac{\text{nH}}{\text{m}} \quad (15)$$

$$\hat{C} = \frac{1}{Zv} = 7,3 \cdot 10^{-11} \frac{\text{F}}{\text{m}} = 73 \frac{\text{pF}}{\text{m}} \quad (16)$$

5.2.4 Dielektrizitätszahl

$$\epsilon_r = \frac{c^2}{v^2} = 1,56 \quad (17)$$

5.2.5 Dämpfung

$$D_5 = 3,53 \frac{\text{dB}}{100\text{m}} \quad (18)$$

$$D_{50} = 7,91 \frac{\text{dB}}{100\text{m}} \quad (19)$$

6 Impedanzanpassung

6.1 Impedanzübergang

Bei diesem Experiment werden zwei Kabel verschiedener Wellenwiderstände hintereinandergeschaltet. Es zeigt sich, dass das Signal an der Übergangsstelle teilweise reflektiert wird. Setzt man einen Impedanzwandler dazwischen, verschwindet diese Reflexion. Der Impedanzwandler funktioniert durch geschicktes Parallelschalten von Widerständen, so dass das erste Kabel mit 50Ω abgeschlossen ist und das zweite mit einem passenden Abschlusswiderstand abgeschlossen werden kann.

6.2 Impedanzverteilung

Um die Reflexionen an dem T-Stück zu vermeiden, werden Widerstände zugeschaltet, die es erlauben alle drei Kabel mit dem passenden Abschlusswiderstand von 50Ω abzuschließen.

Literatur

[MS08] M. SCHAFHAUSER, W. H.: *Leitungen*, 2008