

Laborübungen II

im Wintersemester 2016L A B O R P R O T O K O L L

	Name	Pur	nkte
Gruppe	Helmut Hörner		
[9	Kassandra Kunz		
		Prüfung	Protokoll
Titel der Übung			

Leitungen

Datum

|--|

(Name in Blockbuchstaben und Unterschrift)

Inhalt

1	E	Einleitun	g	. 3
2	ŀ	Abgleich	eines Tastkopfes	. 3
	2.1	Ver	suchsaufbau	. 3
	2.2	Mes	smethode	. 3
	2	2.2.1	Allgemeines	. 3
	2	2.2.2	Messverfahren	. 5
	2.3	Mes	sergebnisse	. 5
3	S	Spannun	gsreflexionen	. 6
	3.1	Mes	sung mit fixem Abschlusswiderstand	. 6
	3	3.1.1	Versuchsaufbau	. 6
	3	3.1.2	Messmethode	. 6
	3	3.1.3	Messergebnis	. 7
	3	3.1.4	Interpretation	. 7
	3.2	Mes	sung mit variablem Abschlusswiderstand	. 8
	3	3.2.1	Versuchsaufbau	. 8
	3	3.2.2	Messmethode	. 8
	3	3.2.3	Messergebnis	. 8
	3	3.2.4	Interpretation	. 9
4	S	Spannun	gs- und Strommessung am reflektierten Impuls	10
	4.1	Ver	suchsaufbau	10
	4.2	Mes	smethode	10
	4.3	Mes	sergebnis	10
	4.4	Inte	rpretation	12
5	F	Bestimm	ung von Kenngrößen	13
	5.1	Ver	suchsaufbau	13
	5.2	Mes	smethode	13
	5	5.2.1	Wellenwiderstand	13
	5	5.2.2	Ausbreitungsgeschwindigkeit	13
	5	5.2.3	Kapazität und Induktivität pro Meter	13
	5	5.2.4	Dielektrizitätszahl	14
	5	5.2.5	Dämpfung	14
	5.3	Mes	sergebnisse	15
	5	5.3.1	Bekanntes Kabel	15
	5	5.3.2	Unbekanntes Kabel	15
6	Ι	mpedan	zanpassung	16

Helmut Hörner, Kassandra Kunz: Laborprotokoll "Leitungen" Rev.	: 1.0 Seite 2 von 22

	6.1	Versuchsaufbau	. 16
	6.2	Messmethode	. 16
	6.3	Messergebnis	. 17
	6.4	Interpretation	. 18
7	Imp	edanzverteilung	. 18
	7.1	Versuchsaufbau	. 18
	7.2	Messmethode	. 19
	7.3	Messergebnis	. 19
	7.4	Interpretation	. 20
8	Anh	ang	. 21
	8.1	Verwendetes Equipment	. 21
	8.2	Tabellenverzeichnis	. 21
	8.3	Abbildungsverzeichnis	. 21
	8.4	Literaturliste	. 22

1 Einleitung

Die in diesem Protokoll beschriebenen Experimente wurden am 18.1.2017 an der TU Wien im Rahmen des Praktikums *Laborübungen II (134.124)* von *Kassandra Kunz* und *Helmut Hörner* durchgeführt. Sie beschäftigen sich mit der Signalausbreitung in Koaxialleitungen und deren Eigenschaften, mit Signalüberlagerung aufgrund Reflexionen und den Auswirkungen verschiedener Abschlusswiderstände.

2 Abgleich eines Tastkopfes

In diesem Experiment wurden die Signaleigenschaften eines abgeglichenen bzw. nicht abgeglichenen Tastkopfes gemessen.

2.1 Versuchsaufbau

Das Modell eines Tastkopfes (siehe Abbildung 1) wurde eingangsseitig mit dem im Oszilloskop [OSZI] eingebauten 1kHz Rechteckgenerator, und ausgangsseitig an Kanal 1 des Oszilloskops verbunden.



Abbildung 1: Modell eines Tastkopfes

2.2 Messmethode

2.2.1 Allgemeines

Das Gesamtsystem Tastkopf/Kabel/Oszilloskop kann als kapazitiver Spannungsteiler mit folgender Ersatzschaltung aufgefasst werden:



Abbildung 2: Komplexer Spannungsteiler; aus [Hofer et al, 2008], S. 10

Es gilt folgende Spannungsteilergleichung:

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_1 \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} \tag{1}$$

wobei:

$$\underline{Z}_{i} = R_{i} || \underline{Z}_{Ci} = \frac{1}{\frac{1}{R_{i}} + i\omega C_{i}} = \frac{R_{i}}{1 + i\omega R_{i} C_{i}}; \ i = 1, 2$$
(2)

Setzt man Gleichung (2) in Gleichung (1) ein, so ergibt sich:

$$\underline{U}_{2} = \underline{U}_{1} \frac{\frac{R_{2}}{1+i\omega R_{2}C_{2}}}{\frac{R_{1}}{1+i\omega R_{1}C_{1}} + \frac{R_{2}}{1+i\omega R_{2}C_{2}}}$$
(3)

Offensichtlich ist der Spannungsteiler im allgemeinen Fall frequenzabhängig. Wählt man jedoch die Werte für R_1, R_2, C_1 und C_2 gemäß der Abgleichbedingung

$$R_1 C_1 = R_2 C_2 = RC \tag{4}$$

dann verändert sich Gleichung (3) zu

$$\underline{U}_2 = \underline{U}_1 \frac{\frac{R_2}{1+i\omega RC}}{\frac{R_1}{1+i\omega RC} + \frac{R_2}{1+i\omega RC}} = \underline{U}_1 \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$
(5)

Der Spannungsteiler ist nun frequenzunabhängig.

Je nach Tastkopfeinstellung (1:1 bzw. 1:10) ändern sich sowohl der Eingangswiderstand, als auch die kapazitive Belastung durch den Tastkopf. Die Impedanz eine Kapazität berechnet sich mit

$$\left|\underline{Z}_{\mathcal{C}}(f)\right| = \frac{1}{\omega c} = \frac{1}{2\pi f c} \tag{6}$$

Bei einer angenommenen Kapazität von C = 40pF ergeben sich beispielsweise für f=1 kHz, f=100 kHz und f=5 MhZ folgende Impedanzen:

Frequenz	Impedanz
<i>f</i> [<i>Hz</i>]	$\underline{Z}_{\mathcal{C}}\left[\Omega\right]$
$1 \cdot 10^{3}$	4 · 10 ⁶
$100 \cdot 10^{3}$	$4\cdot 10^4$
$5 \cdot 10^{6}$	796

Tabelle 1: Impedanz eine Kapazität C=40pF bei verschiedenen Frequenzen

Es ist deutlich zu erkennen, dass die kapazitive Belastung bei höheren Frequenzen zunimmt, und daher die Verhältnisse in der zu messenden Schaltung verfälschen könnte. Die Verwendung eines Tastkopfes ist daher bei hohen Frequenzen angezeigt.

2.2.2 Messverfahren

- Die abgleichbare Kapazität am Tasktopfmodell wird zunächst so eingestellt, das die Abgleichbedingung nicht erfüllt ist (zu klein, zu groß). Das resultierende Signal wird fotografisch dokumentiert.
- Die abgleichbare Kapazität am Tasktopfmodell schließlich so eingestellt, dass am Oszilloskop ein Rechtecksignal ohne Ein- und Überschwingen beobachtet wird. Das saubere Rechtecksignal wird fotografisch dokumentiert.

Anmerkung: Der Abgleich mit einem Rechtecksignal eine einzogen Frequenz ist ausreichend, da sich jedes Rechtecksignal gemäß Fourieranalyse aus unendlich vielen Sinusschwingungen zusammensetzt:

$$f(t) = \frac{4A}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin((2k-1)\omega t)}{2k-1}$$
(7)

Daher genügt der Abgleich mit einer einzigen Rechteckfrequenz.

2.3 Messergebnisse



Abbildung 3: 1 kHz Rechtecksignal am nicht abgeglichenen Tastkopf (Hochpassverhalten)



Abbildung 4: 1 kHz Rechtecksignal am nicht abgeglichenen Tastkopf (Tiefpassverhalten)



Abbildung 5: 1 kHz Rechtecksignal am abgeglichenen Tastkopf

3 Spannungsreflexionen

In diesem Experiment wurde das Verhalten von Spannungsimpulsen an einem abgeschlossenen und nicht abgeschlossenen 30m-Koaxialkabel beobachtet, sowie Laufzeit und Wellenwiderstand ermittelt.

3.1 Messung mit fixem Abschlusswiderstand

3.1.1 Versuchsaufbau

Der 8ns Rechteck-Impulsausgang von [FGEN] wurde über ein 1 Meter langes Koaxialkabel über ein T-Stück an den Eingang CH1 des Oszilloskops [OSZI] geleitet, und weiter über ein 30 Meter langes Koaxialkabel und ein weiteres T-Stück an Eingang CH3 des Oszilloskops. Das offene Ende des T-Stücks wurde mit einem 50Ω-Abschlusswiderstand abgeschlossen.



Abbildung 6: Erster Versuchsaufbau "Spannungsreflexionen", aus [Hofer et al], S. 5

3.1.2 Messmethode

- Die Signalamplituden und der Signalverlauf an CH1 und CH3 werden bei angeschlossenem 50Ω -Abschlusswiderstand dokumentiert.
- Die Signallaufzeit wird gemessen.
- Der 50 Ω -Abschlusswiderstand wird entfernt.
- Die Signalamplituden und der Signalverlauf an CH1 und CH3 werden erneut dokumentiert.

3.1.3 Messergebnis



Abbildung 7: Spannungsverlauf mit 50Ω-Abschluss



Abbildung 8: Spannungsverlauf ohne 50Ω-Abschluss

3.1.4 Interpretation

Bei angeschlossenem 50Ω-Abschlusswiderstand sind keine Reflexionen sichtbar (siehe Abbildung 7). Die Signallaufzeit im 30m-Kabel beträgt 150ns. Daraus ergibt sich die Signalgeschwindigkeit mit

$$v = \frac{s}{t} = \frac{30}{150 \cdot 10^{-9}} = \boxed{2 \cdot 10^8 \frac{m}{s} = \frac{2}{3}c}$$
(8)

Bei entferntem 50 Ω -Abschlusswiderstand (R= ∞) sind deutlich Reflexionen zu erkennen (siehe Abbildung 8). Die Amplitude am Ende des Kabels hat sich verdoppelt. Dies liegt daran, dass bei unendlich hohem Abschlusswiderstand eine Signalreflektion mit Phase $\varphi = 0^{\circ}$ auftritt, und sich ursprüngliches und reflektiertes Signal am Kabelende konstruktiv überlagern.

3.2 Messung mit variablem Abschlusswiderstand

3.2.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau wurde wie folgt verändert: Die Verbindung mit CH3 wurde getrennt und das 30m-Kabel wurde mit einem variablen Abschlusswiderstand $0-1k\Omega$ abgeschlossen.



Abbildung 9: Zweier Versuchsaufbau "Spannungsreflexionen", aus: [Hofer et al], S. 5

3.2.2 Messmethode

- Der variable Abschlusswiderstand wird auf 0Ω eingestellt.
- Der Signalverlauf an CH1 wird dokumentiert.
- Der Abschlusswiderstand wird so eingestellt, dass die Reflexionen verschwinden.
- Der Abschlusswiederstand wird abgehängt und der genaue Widerstandswert mit [MMETER] gemessen. Dieser entspricht dem Wellenwiderstand des Koaxialkabels.

3.2.3 Messergebnis



Abbildung 10: Reflexionen bei 0Ω Abschlusswiderstand.



Abbildung 11: Abgeglichener Zustand

Der Widerstandswert des Abschlusswiderstands im abgeglichenen Zustand, der dem Wellenwiderstand entspricht, wurde mit

$$R_{Abschluss} = Z_{Kabel} = 48, 5\Omega \pm 1\%$$
(9)

ermittelt.

3.2.4 Interpretation

Ist der Abschlusswiderstand zu klein, kommt es zu Reflexionen mit 180° Phasenverschiebung, welche in Abbildung 10 als zum ursprünglichen Signal entgegengesetzte Spannungsspitzen erkennbar sind. Diese Phasenverschiebung folgt auch unmittelbar aus der Formel für den Reflexionsfaktor:

$$\rho(R=0) = \lim_{R=0} \frac{R-Z}{R+Z} = -1 = e^{-i\pi}$$
(10)

Im abgeglichenen Zustand (Abbildung 11) verschwinden die Reflexionen.

Der gemessene Wellenwiderstand von 48,5 Ω entspricht innerhalb der Toleranzen dem Nominalwert von 50 Ω .

4 Spannungs- und Strommessung am reflektierten Impuls

In diesem Experiment wurde das Verhalten von Spannungs- und Stromimpulsen an einem abgeglichenen und nicht abgeglichenen 30m-Koaxialkabel beobachtet.

4.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau wurde, wie in folgender Abbildung gezeigt, erweitert:



Abbildung 12: Versuchsaufbau "Spannungs- und Strommessung", aus: [Hofer et al], S. 5

4.2 Messmethode

- Die Signalverläufe und Signalamplituden werden im abgeglichenen Zustand dokumentiert.
- Die Signalverläufe, Amplituden und Polaritäten werden bei $R=0\Omega$ dokumentiert.
- Die Signalverläufe, Amplituden und Polaritäten werden bei $R=1k\Omega$ dokumentiert.
- Die Signalverläufe, Amplituden und Polaritäten werden bei $R=\infty$ dokumentiert.

4.3 Messergebnis



Abbildung 13: Spannungs- und Stromimpulse im abgeglichenen Zustand (CH1: Spannung am Anfang; CH2: Strom am Anfang; CH3: Spannung am Ende; CH4: Strom am Ende)



Abbildung 14: Spannungs- und Stromimpulse bei Kurzschluss am Ende (R=0Ω) (CH1: Spannung am Anfang; CH2: Strom am Anfang; CH3: Spannung am Ende; CH4: Strom am Ende)



Abbildung 15: Spannungs- und Stromimpulse bei R=1kΩ (CH1: Spannung am Anfang; CH2: Strom am Anfang; CH3: Spannung am Ende; CH4: Strom am Ende)



Abbildung 16: Spannungs- und Stromimpulse bei offenem Ende (R=∞) (CH1: Spannung am Anfang; CH2: Strom am Anfang; CH3: Spannung am Ende; CH4: Strom am Ende)

4.4 Interpretation

- Im abgeglichenem Zustand (Abbildung 13) gibt es keine Reflexionen.
- Wenn das Ende des Kabels mit 0Ω abgeschlossen wird (Kurzschluss), dann wird der Spannungsimpuls mit 180° Phasenverschiebung reflektiert (siehe Gleichung (10)), was in Abbildung 14 im Signal CH1 und CH3 deutlich erkennbar ist. Da im reflektierten Spannungsimpuls sowohl Signalrichtung als auch Polarität umgedreht sind, ist der in der Strommessspule induzierte Impuls positiv, was zu einer Verstärkung des angezeigten Stromimpulses am Kabelende (CH4) führt. Ebenso werden die reflektierten Stromimpulse am Anfang der Leitung (CH2) positiv angezeigt.
- Wenn das Ende des Kabels mit 1kΩ abgeschlossen wird, dann wird der Spannungsimpuls ohne Phasenverschiebung reflektiert, was in Abbildung 15 im Signal CH1 und CH3 deutlich erkennbar ist. Der Spannungspuls am Ende der Leitung verstärkt sich aufgrund konstruktiver Überlagerung. Da im reflektierten Spannungsimpuls nur die Signalrichtung, aber nicht die Polarität umgedreht ist, wird der in der Strommessspule induzierte Impuls negativ, was zu Abschwächung des angezeigten Stromimpulses am Kabelende (CH4) führt. Ebenso werden die reflektierten Stromimpulse am Anfang der Leitung (CH2) negativ angezeigt.
- Wenn das Ende des Kabels offen gelassen wird (R=∞), dann gilt sinngemäß das zuvor gesagte. Der Stromimpuls am Ende der Leitung wird durch den reflektierten Impuls völlig ausgelöscht (siehe Abbildung 16).

5 Bestimmung von Kenngrößen

Wellenwiderstand, Ausbreitungsgeschwindigkeit, Kapazität und Induktivität pro Meter, Dielektrizitätszahl und Dämpfung sowohl eines bekannten, als auch eines unbekannten Koaxialkabels wurden ermittelt.

5.1 Versuchsaufbau

Es wurden die Versuchsaufbauten aus Kapitel 3.1.1 und 3.2.1 verwendet.

5.2 Messmethode

5.2.1 Wellenwiderstand

Die Ermittlung des Wellenwiderstandes Z erfolgte wie in Kapitel 3.2 beschrieben.

5.2.2 Ausbreitungsgeschwindigkeit

Die Ermittlung der Ausbreitungsgeschwindigkeit v_{ph} erfolgte wie in Kapitel 3.1 beschrieben.

5.2.3 Kapazität und Induktivität pro Meter

Für den Wellenwiderstand Z gilt:

$$Z = \sqrt{\frac{\hat{L}}{\hat{C}}} \tag{11}$$

Daraus folgt:

$$\hat{L} = Z^2 \hat{C} \tag{12}$$

Weiters gilt:

$$v_{ph}^2 = \frac{1}{\hat{L}\hat{C}} \tag{13}$$

Gleichung (12) eingesetzt in Gleichung (13) liefert:

$$v_{ph}^2 = \frac{1}{\hat{z}^2 \hat{c}^2} \tag{14}$$

Woraus man letztlich die Kapazität pro Meter wie folgt berechnen kann:

$$\hat{C} = \frac{1}{v_{ph}Z} \tag{15}$$

Mit Hilfe von Gleichung (12) kann danach auch die Induktivität pro Meter berechnet werden.

5.2.4 Dielektrizitätszahl

Es gilt:

$$v_{ph} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_{\mu}}} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_{0}\mu_{0}\varepsilon_{r}\mu_{r}}}$$
(16)

Unter der Annahme $\mu_r = 1$ folgt daraus:

$$v_{ph}^2 = \frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0 \varepsilon_r} \tag{17}$$

Zwischen ε_0 , μ_0 und der Lichtgeschwindigkeit *c* besteht folgender Zusammenhang:

$$c^2 = \frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0} \tag{18}$$

Gleichung (18) eingesetzt in Gleichung (17) ergibt:

$$v_{ph}^2 = \frac{c^2}{\varepsilon_r} \tag{19}$$

Daraus folgt unmittelbar:

$$\varepsilon_r = \frac{c^2}{v_{ph}^2} \tag{20}$$

5.2.5 Dämpfung

Mit dem Versuchsaufbau gem. Kapitel 3.1.1 wird ein Sinussignal mit einer Frequenz f=5MHz und anschließend f=50MHz in das Kabel eingespeist. Die Amplitude U_1 am Kabelanfang und U_2 werden mit dem Oszilloskop gemessen, und in die Dämpfung über 30 Meter umgerechnet:

$$D_{30} = 20 \log_{10} \left(\frac{U_1}{U_2} \right)$$
(21)

Die Dämpfung über 100 Meter kann wie folgt berechnet werden:

$$D_{100} = D_{30} \frac{100}{30} = 20 \frac{100}{30} \log_{10} \left(\frac{U_1}{U_2}\right)$$
(22)

5.3 Messergebnisse

5.3.1 Bekanntes Kabel

Kenngröße	Wert	Formel
Wellenwiderstand	$Z = 48,5 \ \Omega$	-
Laufzeit	$\Delta t = 150 ns$	-
Signalgeschwindigkeit	$v_{ph} = \frac{2}{3}c$	(7)
Kapazität pro Meter	$\hat{C} = 103 \frac{pF}{m}$	(15)
Induktivität pro Meter	$\hat{L} = 0,243 \frac{\mu H}{m}$	(12)
Dielektrizitätszahl	$\varepsilon_r = 2,25$	(20)
Dämpfung 100m, 5 MHz	$D_{100}(5MHz) = 5,84$	(22)
Dämpfung 100m, 50 MHz	$D_{100}(50MHz) = 13,4$	(22)

Tabelle 2: Kenngrößen bekanntes Kabel

5.3.2 Unbekanntes Kabel

Kenngröße	Wert	Formel
Wellenwiderstand	$Z = 73,2 \ \Omega$	-
Laufzeit	$\Delta t = 150 ns$	-
Signalgeschwindigkeit	$v_{ph} = \frac{2}{3}c$	(7)
Kapazität pro Meter	$\hat{C} = 68 \frac{pF}{m}$	(15)
Induktivität pro Meter	$\hat{L} = 0,366 \frac{\mu H}{m}$	(12)
Dielektrizitätszahl	$\varepsilon_r = 2,25$	(20)
Dämpfung 100m, 5 MHz	$D_{100}(5MHz) = 2,85$	(22)
Dämpfung 100m, 50 MHz	$D_{100}(50MHz) = 6,46$	(22)

Tabelle 3: Kenngrößen unbekanntes Kabel

6 Impedanzanpassung

In diesem Experiment wurde der Effekt einer Impedanzanpassungsschaltung gemessen.

6.1 Versuchsaufbau

Der folgende Versuchsaufbau wurde realisiert.



Abbildung 17: Versuchsaufbau "Impedanzanpassung", aus: [Hofer et al, 2008], S. 5



Abbildung 18: $50\Omega/75\Omega$ -Impedanzwandler, aus: [Hofer et al, 2008], S. 17

6.2 Messmethode

- An das 10 cm lange Koaxialkabel, das nach CH3 an das 30m-Kabel anschließt, wird ein 6m langes Kabel mit gleichem Wellenwiederstand (50Ω) angeschlossen. Dieses wird mit einem variablen Abschlusswiderstand abgeschlossen.
- Der Abschlusswiederstand wird abgeglichen, bis an Oszilloskop [OSZI] keine Reflexionen mehr erkennbar sind.
- Der Signalverlauf wird dokumentiert.
- Abschließend wird das $6m/50\Omega$ -Kabel gegen ein $6m/75\Omega$ -Kabel ausgetauscht.
- Der Signalverlauf wird dokumentiert.
- Der Abschlusswiederstand wird abgeglichen, bis die Reflexionen minimal sind.
- Der Signalverlauf wird dokumentiert.
- Vor das ein $6m/75\Omega$ -Kabel wird ein Impedanzwandler geschaltet.
- Der Abschlusswiederstand wird abgeglichen, bis die Reflexionen verschwinden
- Der Signalverlauf wird dokumentiert.

6.3 Messergebnis







Abbildung 20: Übergang $50\Omega/75\Omega$, ohne Impedanzwandler



Abbildung 21: Übergang 50Ω/75Ω, mit Impedanzwandler und abgeglichenem Abschlusswiderstandes

6.4 Interpretation

- In Abbildung 19 ist zunächst, wie erwartet, zu erkennen, dass sich die durchgehende 50 Ω -Leitung mit einem 50 Ω Widerstand so abschließen lässt, dass keine Reflexionen auftreten.
- In Abbildung 20 ist zu erkennen, wie es am nicht angepassten Übergang zwangsläufig zu Reflexionen kommt.
- Durch Einbringen des Impedanzwandlers ist ein Abgleich ohne Reflexionen wieder möglich (siehe Abbildung 21).

Funktionsweise des Impedanzwandlers:

Aus Sicht des 50 Ω -Kabels ist die in Abbildung 18 dargestellte Impedanzwandlerschaltung eine Parallelschaltung des 86 Ω -Widerstandes mit der Serienschaltung (43 Ω +75 Ω Wellenwiderstand). Damit ergibt sich aus Sicht des 50 Ω -Kabels ein Abschluss von

$$R_{links} = \frac{1}{\frac{1}{86} + \frac{1}{43 + 75}} = 49,7\Omega \tag{23}$$

Aus Sicht des 75 Ω -Kabels hingegen ist die in Abbildung 18 dargestellte Impedanzwandlerschaltung eine Serienschaltung des 43 Ω -Widerstandes mit der Parallelschaltung (86 Ω ||50 Ω Wellenwiderstand). Damit ergibt sich aus Sicht des 75 Ω -Kabels ein Abschluss von

$$R_{rechts} = 43 + \frac{1}{\frac{1}{86} + \frac{1}{50}} = 74,6\Omega$$
(24)

7 Impedanzverteilung

In diesem Experiment wurde der Effekt einer Impedanzverteilungsschaltung gemessen.

7.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau wurde wie folgt angepasst:



Abbildung 22: Versuchsaufbau "Impedanzverteilung", aus [Hofer et al, 2008], S. 5



Abbildung 23: 50Ω-Impulsverteiler, aus [Hofer et al, 2008], S. 17

7.2 Messmethode

- Das 4 Meter lange und das 6m lange Kabel werden, wie in Abbildung 22 gezeigt, ohne Impulsverteiler am T-Stück angeschlossen.
- Der Signalverlauf wird ohne Abgleich der Endwiderstände dokumentiert
- Die Endwiderstände werden so justiert, dass die Reflexionen minimal werden
- Der Signalverlauf wird erneut dokumentiert
- Das T-Stück wird, wie in Abbildung 22 gezeigt, durch den Impulsverteiler ersetzt.
- Die Endwiderstände werden so justiert, dass die Reflexionen verschwinden
- Der Signalverlauf wird erneut dokumentiert

7.3 Messergebnis



Abbildung 24: Komplexe Signalüberlagerung bei Kabelaufsplittung ohne Impulsverteiler und ohne Abgleich der Endwiderstände



Abbildung 25: Verbleibende Reflexionen bei Kabelaufsplittung ohne Impulsverteiler



Abbildung 26: Durch Einbringen des Impulsverteilers verschwinden die Reflexionen

7.4 Interpretation

- In Abbildung 24 ist zu erkennen, wie sich die Reflexionen, die sowohl an den nicht abgeschlossenen Kabelenden der ungleich langen Kabel, als auch am T-Stück auftreten, zu einem komplexen Signalgemisch überlagern.
- Abbildung 25 zeigt, wie durch Abgleich der Endwiderstände zwar die Reflexionen an Kabelenden eliminiert werden können; die Reflexion am T-Stück aber erhalten bleibt. Da am T-Stück ein zu kleiner Abschlusswiderstand herrscht, sind die Reflexionen 180° phasengedreht.
- Abbildung 26 zeigt, wie durch Einbringen des Impulsverteilers alle Reflexionen zum Verschwinden gebracht werden können.

Funktionsweise des Impulsverteilers:

Der in Abbildung 23 dargestellte Impulsverteiler stellt für jedes Kabel eine Parallelschaltung von zwei in Serie geschalteten Widerständen (17Ω + 50Ω Wellenwiderstand) dar, welche insgesamt in Serie mit einem 17Ω Widerstand liegt. Damit ergibt sich für jedes Kabel ein Abschluss von

$$R_{links} = 17 + \frac{1}{\frac{1}{17+50} + \frac{1}{17+50}} = 50,5\Omega$$
⁽²⁵⁾

8 Anhang

8.1 Verwendetes Equipment

[OSZI]	4-Kanal-Oszilloskop Tektronix TDS 2024 200MHz
[FGEN]	Funktions generator 0-5MHz mit zusätzlichem Impulsausgang 8ns Rechteck 1,4V 50 Ω und zusätzlichem Ausgang 50Hz Sinus 200mV, 50 Ω
[MMETER]	Multimeter Voltcraft VC 160

8.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Impedanz eine Kapazität C=40pF bei verschiedenen Frequenzen	4
Tabelle 2: Kenngrößen bekanntes Kabel	15
Tabelle 3: Kenngrößen unbekanntes Kabel	15

8.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modell eines Tastkopfes	3
Abbildung 2: Komplexer Spannungsteiler; aus [Hofer et al, 2008], S. 10	3
Abbildung 3: 1 kHz Rechtecksignal am nicht abgeglichenen Tastkopf (Hochpassverhalten)	5
Abbildung 4: 1 kHz Rechtecksignal am nicht abgeglichenen Tastkopf (Tiefpassverhalten)	5
Abbildung 5: 1 kHz Rechtecksignal am abgeglichenen Tastkopf	6
Abbildung 6: Erster Versuchsaufbau "Spannungsreflexionen", aus [Hofer et al], S. 5	6
Abbildung 7: Spannungsverlauf mit 50Ω-Abschluss	7
Abbildung 8: Spannungsverlauf ohne 50Ω-Abschluss	7
Abbildung 9: Zweier Versuchsaufbau "Spannungsreflexionen", aus: [Hofer et al], S. 5	8
Abbildung 10: Reflexionen bei 0Ω Abschlusswiderstand.	8
Abbildung 11: Abgeglichener Zustand	9
Abbildung 12: Versuchsaufbau "Spannungs- und Strommessung", aus: [Hofer et al], S. 5 1	0
Abbildung 13: Spannungs- und Stromimpulse im abgeglichenen Zustand (CH1: Spannung am Anfang; CH2: Strom an Anfang; CH3: Spannung am Ende; CH4: Strom am Ende)	m 0
Abbildung 14: Spannungs- und Stromimpulse bei Kurzschluss am Ende (R=0Ω) (CH1: Spannung am Anfang; CH2: Stron am Anfang; CH3: Spannung am Ende; CH4: Strom am Ende)	m 1
Abbildung 15: Spannungs- und Stromimpulse bei R=1kΩ (CH1: Spannung am Anfang; CH2: Strom am Anfang; CH3 Spannung am Ende; CH4: Strom am Ende)	3: 1
Abbildung 16: Spannungs- und Stromimpulse bei offenem Ende (R=∞) (CH1: Spannung am Anfang; CH2: Strom an Anfang; CH3: Spannung am Ende; CH4: Strom am Ende)	m 1
Abbildung 17: Versuchsaufbau "Impedanzanpassung", aus: [Hofer et al, 2008], S. 5	6
Abbildung 18: 50Ω/75Ω-Impedanzwandler, aus: [Hofer et al, 2008], S. 171	6
Abbildung 19: Übergang 50Ω/50Ω mit 50Ω-Abschlusswiderstand1	7
Abbildung 20: Übergang 50 Ω /75 Ω , ohne Impedanzwandler	7
Abbildung 21: Übergang $50\Omega/75\Omega$, mit Impedanzwandler und abgeglichenem Abschlusswiderstandes 1	7
Abbildung 22: Versuchsaufbau "Impedanzverteilung", aus [Hofer et al, 2008], S. 5 1	8
Abbildung 23: 50Ω-Impulsverteiler, aus [Hofer et al, 2008], S. 17	8
Abbildung 24: Komplexe Signalüberlagerung bei Kabelaufsplittung ohne Impulsverteiler und ohne Abgleich de Endwiderstände	er 9
Abbildung 25: Verbleibende Reflexionen bei Kabelaufsplittung ohne Impulsverteiler 1	9
Abbildung 26: Durch Einbringen des Impulsverteilers verschwinden die Reflexionen	0

Helmut Horner, Kassandra Kunz: Laborprotokoll "Leitungen" Rev.: 1.	.0	Seite 22 von 22
--	----	-----------------

8.4 Literaturliste

[Hofer et al, 2008] W. Hofer, M. Schafhauser: Leitungen. Skriptum Physikpraktikum Laborübungen, TU-Wien, 2008