

Elektronikpraktikum

Versuch 1: Ausbreitung von Signalen auf Leitungen

Carlos Pascua ^{*1}, Anna Maróti^{†1}, and Cornelius Heiming^{‡1}

¹Uni Bonn

4. Mai 2025

^{*}s87cpasc@uni-bonn.de

[†]s32amaro@uni-bonn.de

[‡]s64cheim@uni-bonn.de

Inhaltsverzeichnis

1	Theorie	1
2	Voraufgaben	2
3	Versuchsaufbau, -durchführung, Messwerte und Auswertung	3
3.1	Versuchsaufgabe 1: Differenzierglied	3
3.2	Versuchsaufgabe 2: Impulse auf Kabeln	5
3.3	Versuchsaufgabe 3: Leitungsabschluss, Verzögerungszeit	7
3.4	Versuchsaufgabe 4: Klippkabel, Dämpfung	13
4	Fazit	16

1 Theorie

Einführung

In diesem Versuch wird die Ausbreitung von Signalen in verschiedenen Kabeln, wie beispielsweise in Koaxialkabeln, untersucht. Des Weiteren werden Wechselspannungssignale bei verschiedenen Widerständen und unterschiedlichen Leitungsenden analysiert, um ihr Verhalten zu verstehen.

Koaxialleiter

Ein Koaxialleiter setzt sich aus einem inneren und einem äußeren zylindrischen Leiter zusammen. Sie sind konzentrisch angeordnet und werden von einem Dielektrikum voneinander getrennt. Das Dielektrikum isoliert die Leiter voneinander, welches die Signalübertragung unterstützt, da es die elektrische Feldstärke zwischen den Leitern minimiert wird. Die Kapazität und Induktivität von einem Koaxialleiter entspricht:

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 l \frac{2\pi}{\ln \frac{R_a}{R_i}} \quad (1)$$

$$L = \mu_r \mu_0 \frac{\ln R_a/R_i}{2\pi} \quad (2)$$

wobei l Länge des Kabels, $R_{a/i}$ Radien der Leitern, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$ die elektrische Feldkonstante und $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$ die magnetischen Feldkonstante ist.

Den Kabel kann man auch als mehreren zusammenhängenden LC-Gliedern approximieren. Die Länge hat einen proportionalen Einfluss auf die Impedanz und Admittanz des Kabels. Eine Weitere wichtige Größe ist der Verlustleitwert (Ableitung) G . Dieser ist der ohmsche Leitwert zwischen dem Hin- und Rückleiter.

Des Weiteren gibt wird der Kabel noch über seine Übertragungsfähigkeit bestimmt, welches durch den Wellenwiderstand Z , der Verzögerungszeit und der Dämpfung definiert ist. Für den Wellenwiderstand gilt mit der Induktivität L' und Kapazität C' pro Längeneinheit:

$$Z = \sqrt{\frac{L'}{C'}} = \sqrt{\frac{\mu_r \mu_0}{\epsilon_r \epsilon_0}} \cdot \frac{\ln R_a/R_i}{2\pi}$$

Die Verzögerungszeit ist definiert als die Zeitdifferenz der einlaufenden und reflektierten Welle zusammen. Die rücklaufende Welle kann mit der Dämpfungskonstante α gedämpft werden:

$$\Upsilon = \alpha + i\beta$$

Wellenausbreitung und Leitungsabschluss

Anhand des Superpositionprinzips können Strom und Spannung durch eine Überlagerung einer hin- und rücklaufenden Welle beschrieben werden.

$$U(x, t) = U_h(x, t) + U_r(x, t) = (U_{h0}e^{-\Upsilon x} + U_{r0}e^{-\Upsilon x})e^{i\omega t}$$

sowie

$$I(x, t) = (U_{h0}e^{-\Upsilon x} + U_{r0}e^{-\Upsilon x}) \cdot \sqrt{\frac{G' + i\omega C'}{R' + i\omega L'}} e^{i\omega t} = I_h(x, t) + I_r(x, t)$$

Wegen dieser Überlagerung sind der Leitungsabschluss und dessen Reflektionsgrad sehr bedeutsam in der Elektrotechnik.

Angepasster Anschluss

$$R_A = Z$$

Der Abschlusswiderstand R_A entspricht dem Wellenwiderstand Z des Kabels. Hierdurch überträgt sich die gesamte Energie des Kabels an den Verbraucher und die Welle wird nicht reflektiert, da der Verbraucher wie eine Weiterführung des Kabels entspricht und die Welle weiter den Kabel durchdringt.

Offene Leitung

$$R_A = \infty$$

Es wird kein Strom an den Verbraucher übertragen, da der Abschlusswiderstand Unendlich entspricht. Hierdurch wird die gesamte Energie der Welle in gleicher Phase zurückreflektiert. Die rücklaufende Welle ist genau so groß wie die hinlaufende Welle.

Kurzschluss

$$R_A = 0\Omega$$

Bei einem Kurzschluss entspricht der der Abschlusswiderstand 0Ω . Hierdurch wird die rücklaufende Welle phasenverschoben reflektiert. Sie entspricht der Inversen der hinlaufenden Welle, weshalb es zu einer destruktiven Überlagerung kommt.

2 Voraufgaben

Aufgabe A

$$v_{ph} = \frac{1}{\sqrt{L'C'}} = \frac{1}{\epsilon_0\mu_0} \cdot \frac{1}{\epsilon_r\mu_r} = c_0 \cdot \frac{1}{\epsilon_r\mu_r} \quad (3)$$

Um möglichst große Verzögerungszeiten zu bekommen, muss die Phasengeschwindigkeit verkleinert werden und die Leitungslänge l vergrößert werden. Des Weiteren ist $t \propto L' \propto C'$. Außerdem kann man ableiten, dass man für eine große Verzögerungszeit das Kabel ein hohes Dielektrikum haben sollte, da dieses die Dielektrizität und Permeabilität erhöht wozu t auch proportional ist.

Aufgabe B

Für den Wellenwiderstand gilt:

$$Z = \sqrt{\frac{L'}{C'}} = \frac{\mu_0\mu_r}{\epsilon_0\epsilon_r} \cdot \frac{\ln \frac{R_a}{R_i}}{2\pi} \quad (4)$$

Somit löst die Veränderung der Verzögerungszeit durch die Parameter aus Aufgabe A, eine Veränderung für den Wellenwiderstand aus. Wenn die Induktivität oder Permeabilität erhöht wird, dann erhöht sich der Wellenwiderstand. Falls die Kapazität oder die Dielektrizität erhöht werden, verkleinert sich der Wellenwiderstand. Die Leitungslänge l hat keinen Einfluss auf den Widerstand.

Aufgabe C

Der Eingangswiderstand ist unabhängig vom Kabel. Also wenn der Kabel abgeschlossen ist $R_A = Z$, dann $R_A = Z = R_{in}$

Aufgabe D

Im Idealfall gelten folgende Eigenschaften für einen Leiter:

$$\frac{R_A}{R_1} = 2, 3, \epsilon_0 = 1, 5, \mu_0 = 1, 5.$$

Für die Phasengeschwindigkeit v_{ph} gilt:

$$v_{ph} = \frac{1}{\sqrt{L' \cdot C'}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \epsilon_0 \mu_r \mu_0}} = c_0 \cdot \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} = 2 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$$

Für den Wellenwiderstand gilt:

$$Z = \sqrt{\frac{L'}{C'}} = Z_{frei} \cdot \frac{\ln\left(\frac{R_A}{R_1}\right)}{2\pi} \approx 49,98\Omega \quad (5)$$

Also ist die Verzögerungszeit pro Meter: $t_v = 5 \cdot 10^{-9} \frac{s}{m}$

3 Versuchsaufbau, -durchführung, Messwerte und Auswertung

3.1 Versuchsaufgabe 1: Differenzierglied

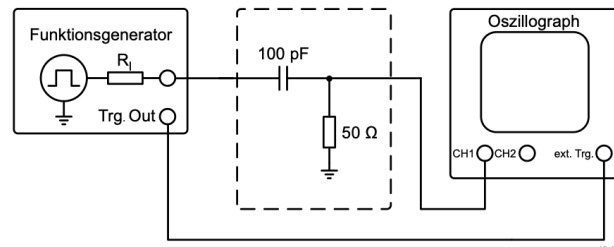


Abbildung 1: Schaltplan eines Differenzierglieds [1]

Ein RC-Glied wird (ohne $2.2\text{ k}\Omega$ Abschluss) zwischen einen Funktionsgenerator und einen Oszillographen geschaltet. Der Funktionsgenerator wird auf eine Frequenz von 200 kHz eingestellt. Dann wird das Oszillogramm gezeichnet und dasselbe mit dem $2.2\text{ k}\Omega$ Abschlusswiderstand wiederholt.

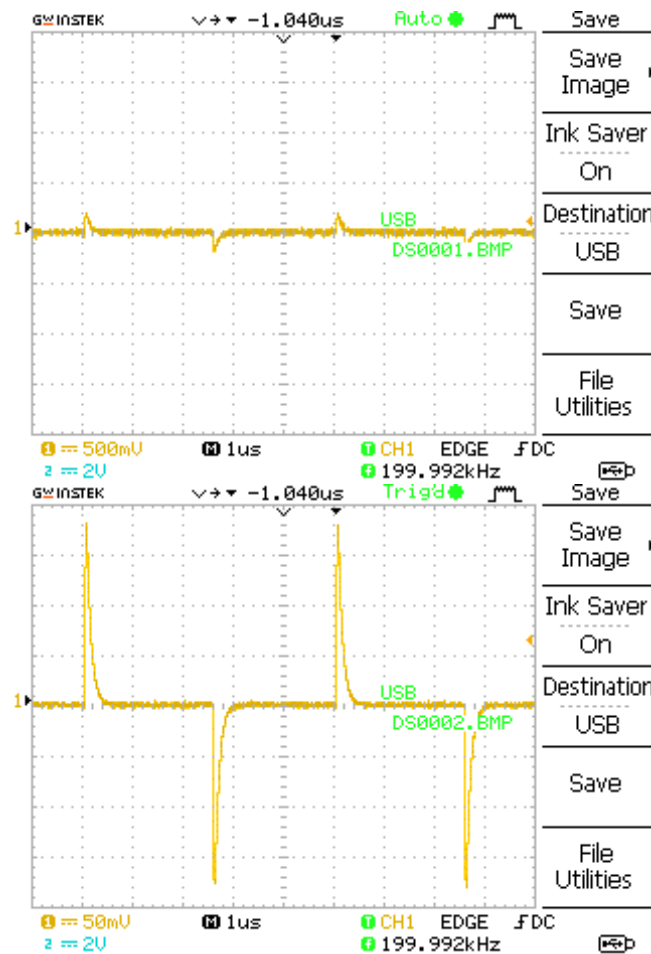


Abbildung 2: Differenzierglied mit Abschlusswiderstand (unten vergrößerte Ordinate)

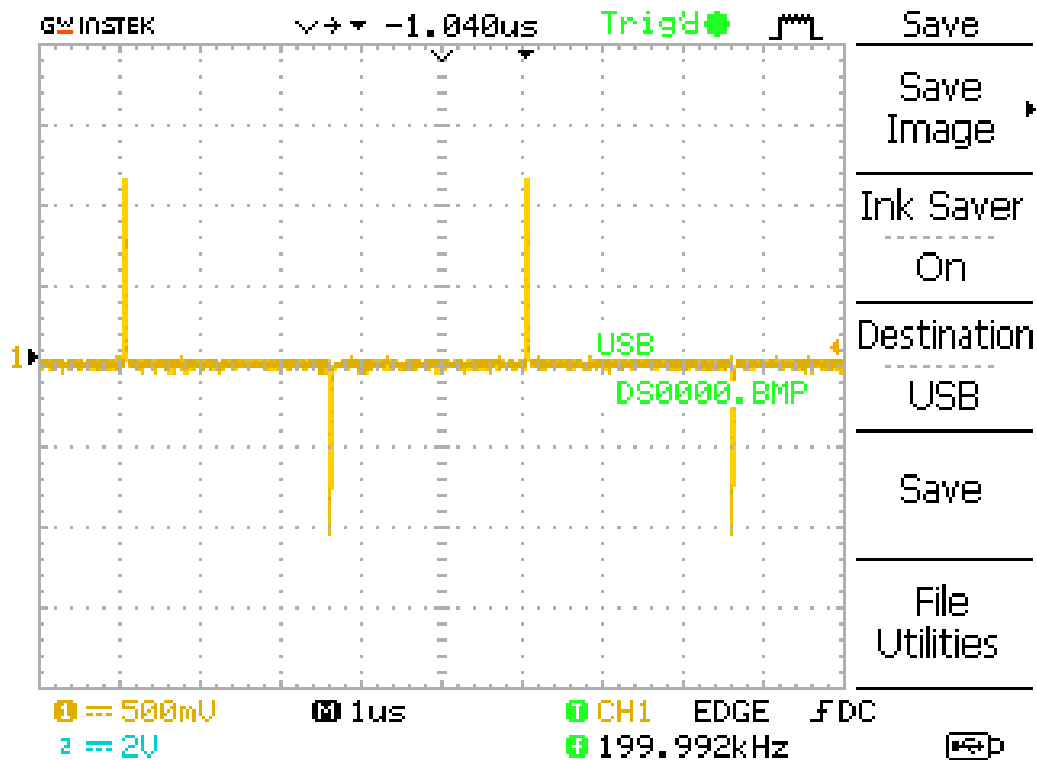


Abbildung 3: Differenzierglied ohne Abschlusswiderstand

Wie in Abbildung 3 zu erkennen ist, wird das Rechtecksignal des Funktionsgenerators durch das Differenzierglied in ein Impulsignal umgewandelt. Die Spikes sind hierbei gut zu erkennen. Das Rechtecksignal, was vom Signalgenerator ausgesandt wird, besteht aus Sinusfunktionen mit verschiedenen Frequenzen. Das RC-Glied, welches als Hochpass agiert, filtert nun die niedrige Frequenzen aus, woraus die Plateaus bestanden, aus. Aus diesem Grund wird das Signal differenziert und es bleiben nur noch die Peaks, die aus hohen Frequenzen bestehen übrig. Im Fall des Abschlusswiderstands, sind die Impulse schwächer (vgl. Abb. 2 oben) und deren Abfall ist flacher (vgl. Abb. 2 unten). Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Abschlusswiderstand den Stromfluss behindert und weil sich der Kondensator langsamer entlädt. Der Abschlusswiderstand hat also eine dämpfende Wirkung auf das Signal.

3.2 Versuchsaufgabe 2: Impulse auf Kabeln

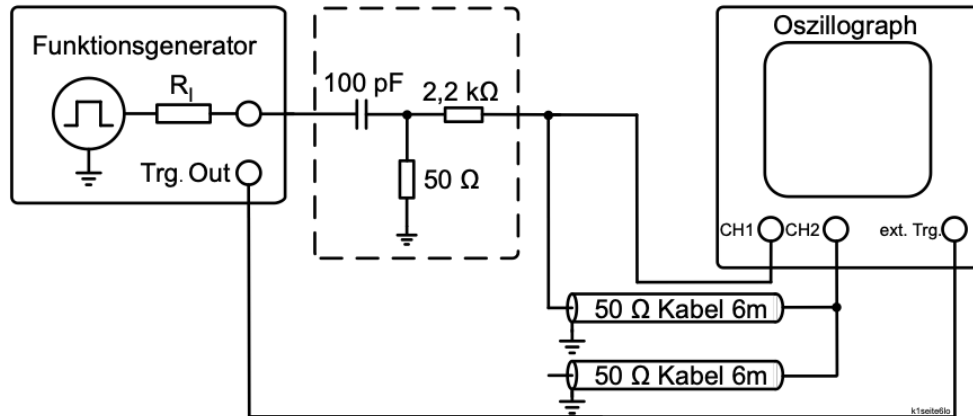
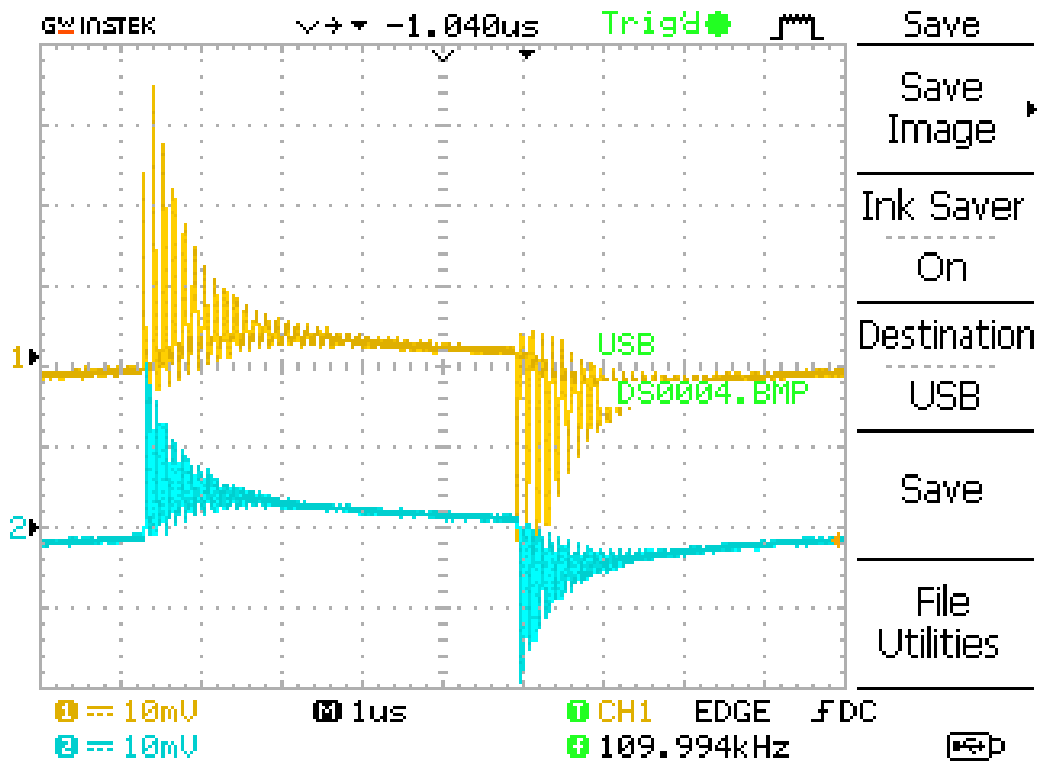
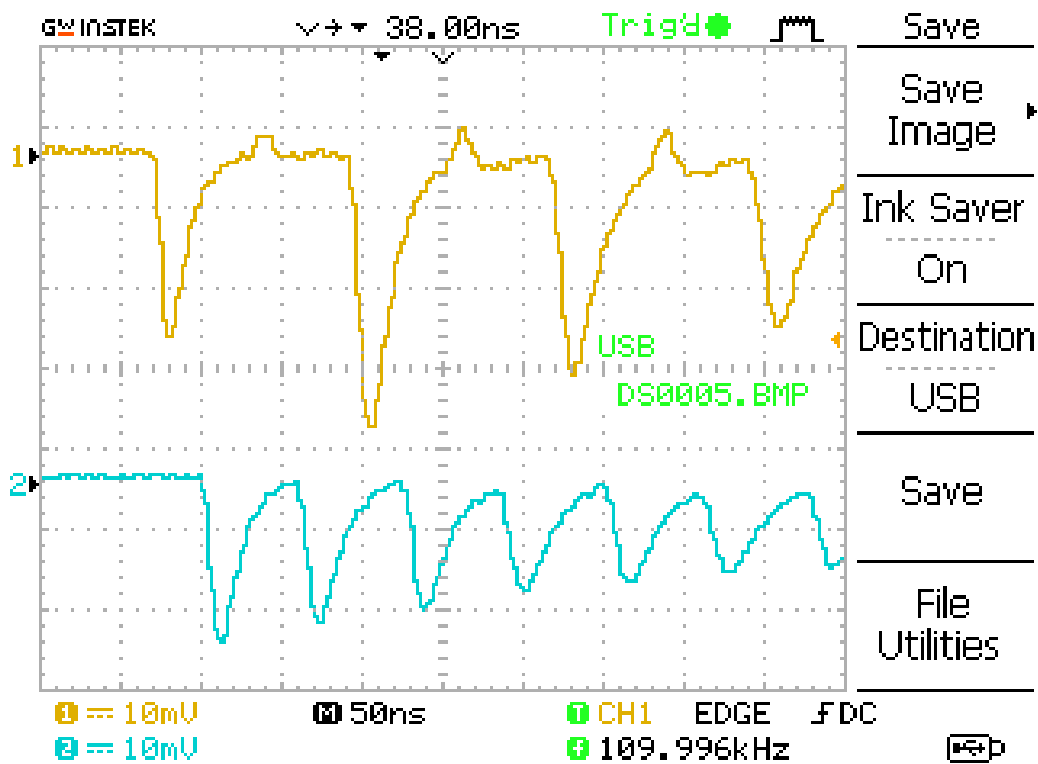


Abbildung 4: Schaltplan für ein Kabel mit zwei offenen Enden [1]

Jetzt sollen die Impulse auf einem an beiden Enden offenen Kabel untersucht werden. Dazu wird ein Funktionsgenerator, welcher im Rechteckmodus mit 100 kHz betrieben wird, vor ein RC-Glied mit Abschluss, welches als Impulsgeber dient, geschaltet. Diese Impulse werden einerseits im CH1 des Oszilloskops angezeigt, andererseits durch zwei hintereinandergeschaltete Kabel mit jeweils 50 Ω Wellenwiderstand geschickt. Zwischen den beiden Kabeln wird der Oszilloskop im CH2 geschaltet. Der Funktionsgenerator dient als externer Trigger für den Oszilloskop, die beiden Kanäle werden mit derselben Empfindlichkeit betrieben.

Auf der größeren Zeitachse (vgl. Abb. 5) kann man die Impulse des Funktionsgenerators wiedererkennen. Hier klingen diese nicht instantan durch die Darstellung im Oszilloskop ab, sondern wandern durch die beiden Kabel, sodass nur ein Teil der Amplitude im Oszilloskop ankommt. In der detaillierteren Darstellung (vgl. Abb. 6) kann man nun die einzelnen Durchläufe durch die beiden Kabel erkennen. Besonders gut dabei zu sehen ist, dass der Impuls den Punkt zwischen den beiden Kabeln doppelt so häufig passiert, wie den Punkt am Anfang des Kabels. Das macht also eine tatsächliche Bewegung des Signales über die Länge der Kabel deutlich. Dies kann man auch aus der Verzögerung der beiden Signale relativ zueinander erkennen, die in etwa der Hälfte der Periode vom Mittelpunkt bzw. einem Viertel der Periode vom Anfang des Kabels entspricht.

Abbildung 5: Impulse auf Kabeln (Übersicht ($1 \mu\text{s cm}^{-1}$))Abbildung 6: Impulse auf Kabeln (Detailansicht ($0.05 \mu\text{s cm}^{-1}$))

3.3 Versuchsaufgabe 3: Leitungsabschluss, Verzögerungszeit

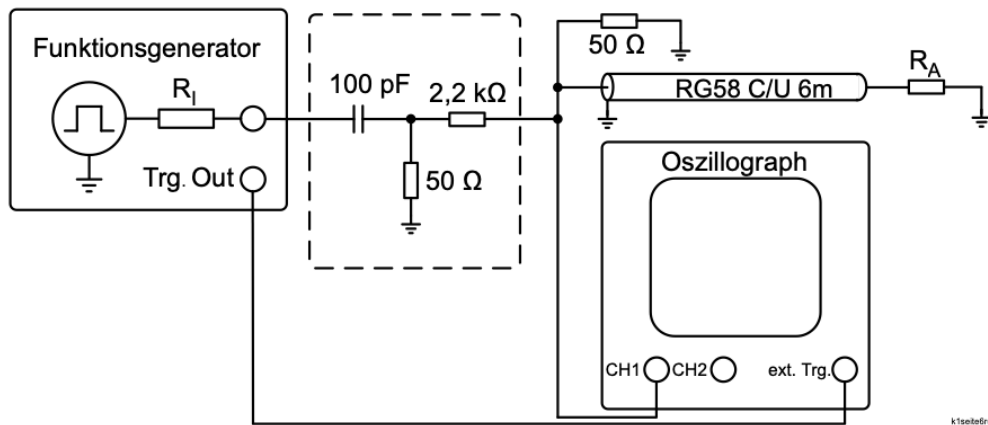


Abbildung 7: Schaltplan für ein Kabel mit einem offenen und einem geschlossenen Ende [1]

Nun wird die Auswirkung unterschiedlicher Leitungsabschlüsse auf die Impulse untersucht. Dazu wird weiterhin extern getriggert, der Impulsgenerator wird auch an CH1 angeschlossen. Statt der beiden Kabel wird jetzt mittels eines T-Stücks ein Verzögerungskabel mit $50\,\Omega$ Wellenwiderstand und 6 m Länge verwendet, welches am anderen Ende mit einem Widerstand $R_A = 50\,\Omega$ abgeschlossen ist. Es für jede der folgenden Anordnungen mit und ohne einem zusätzlichen Widerstand von $50\,\Omega$ parallel zum Kabel gemessen:

- Offenes Ende
- Offenes Ende im Detail ($\times 10$)
- Kurzgeschlossenes Ende
- Kurzgeschlossenes Ende & variierende Frequenzen (Zeitablenkung von $0.2\,\mu\text{s cm}^{-1}$)

Ist beim Aufbau kein Anpassungswiderstand vorhanden, wird das Signal in gleicher Phase reflektiert. Schließt man aber den Anpassungswiderstand ein, werden keine Reflexionen mehr sichtbar sein, sondern zwei getrennte Pulse. Mit Abbildung (/ref) lassen sich die gedämpften Peaks erkennen. Es ist ersichtlich, dass die Schwingungen deutlich schneller abklingen als ohne Anpassungswiderstand, was zu erwarten ist, da der Widerstand als Verbraucher wirkt und das Signal weiter dämpft.

Zudem ist zu erkennen, dass die Amplitude mit der Zeit abnimmt, was auf die Dämpfung der Leitung zurückgeführt werden kann.

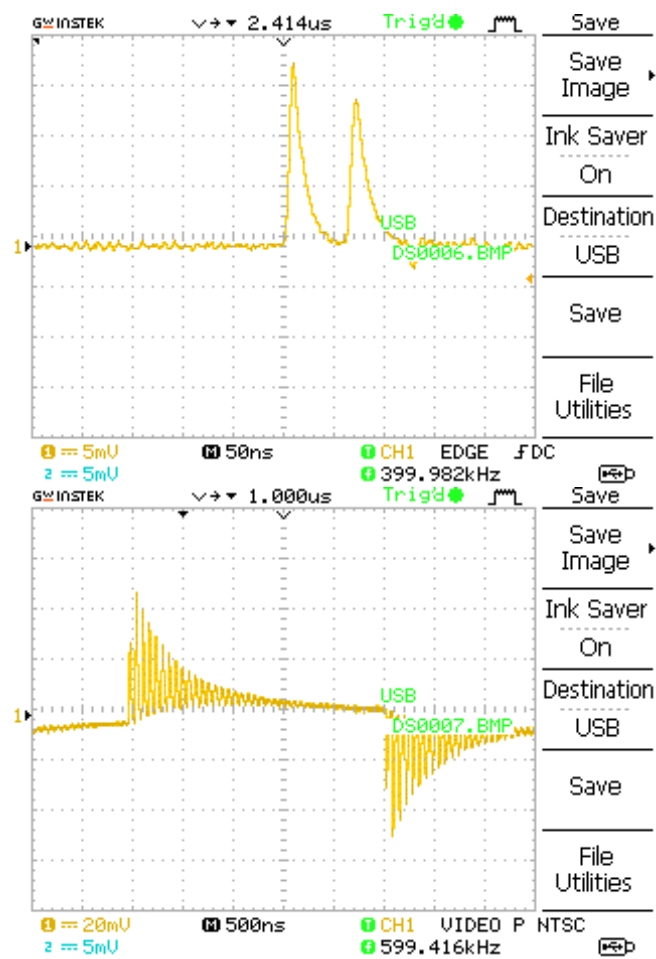


Abbildung 8: Leitungsabschluss offenes Ende (oben: mit Anpassungswiderstand, unten: ohne Anpassungswiderstand)

Zunächst ist eine genauere Untersuchung der Impulsen gewollt. Dies wird ermöglicht, indem eine schnellere Zeitablenkung des Oszillographen gewählt wird ($\times 10$ hereingezoomt).

Nun kann man in der Abbildung 9 die einzelnen Impulsen jeweils unterscheiden. Mit Anpassungswiderstand sieht man wieder genau 2 Impulse, die die reflektierte und echte Signale beschreiben. Es ist hier auch ersichtlich, dass die Zeit zwischen Amplituden, bzw. der Abstände dazwischen konstant bleibt.

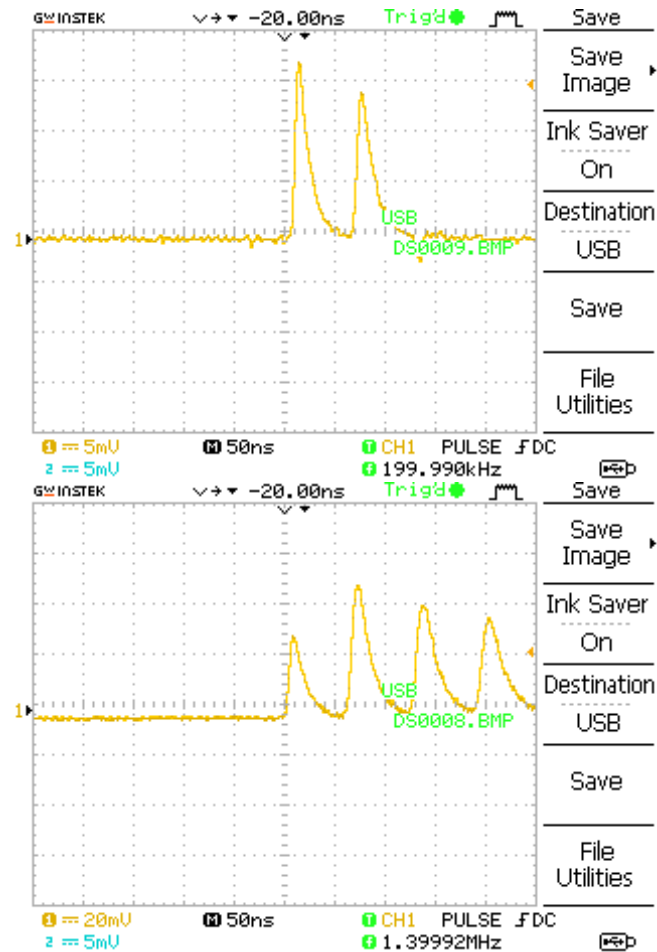


Abbildung 9: Leitungsabschluss offenes Ende (oben: mit Anpassungswiderstand, unten: ohne Anpassungswiderstand) vergrößert

Nun wird der ganze Vorgang wiederholt, mit der kleinen Änderung, dass das Kabel am Ende mit einem Kurzschlussstrecker angeschlossen wird. Dies erfolgt die folgenden Bilder:

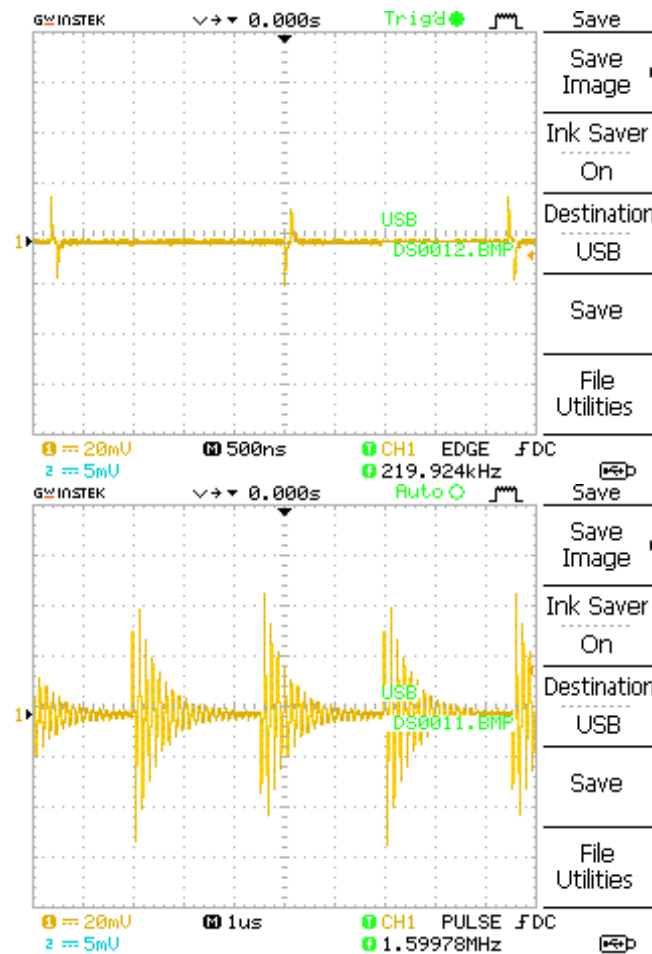


Abbildung 10: Leitungsabschluss kurzgeschlossenes Ende (oben: mit Anpassungswiderstand, unten: ohne Anpassungswiderstand)

In den Abbildungen 8 und 10 lässt sich der Unterschied zwischen offenem und kurzgeschlossenem Leitungsende sehr gut erkennen. Bei offenem Ende ohne Anpassungswiderstand (Abbildung 8 unten) treten deutliche gleichphasige Reflexionen auf. Wird hingegen ein Anpassungswiderstand verwendet (Abbildung 8 oben), wird die Reflexion stark gedämpft. Es bleibt nur ein einzelner, gedämpfter Impuls sichtbar. Im Gegensatz dazu zeigt das kurzgeschlossene Ende ohne Anpassung (Abbildung 10 unten) eine gegenphasige Reflexion auf, welches an den negativen Signalpeaks zu erkennen ist. Auch hier führt der Anpassungswiderstand (Abbildung 10 oben) zu einer starken Dämpfung und einem sauberen Signalverlauf. Diese Unterschiede lassen sich durch die Kabelanschlüsse erklären.

Zuletzt variiert man die Frequenz ein wenig und beobachtet das Oszillogrammgraphen bei einer festen Zeitablenkung von ungefähr $0,2\mu s/cm$. In unseren Fall haben wir uns für $250ns$ entschieden. Bei solcher Einstellung bekommt man die folgenden Bilder:

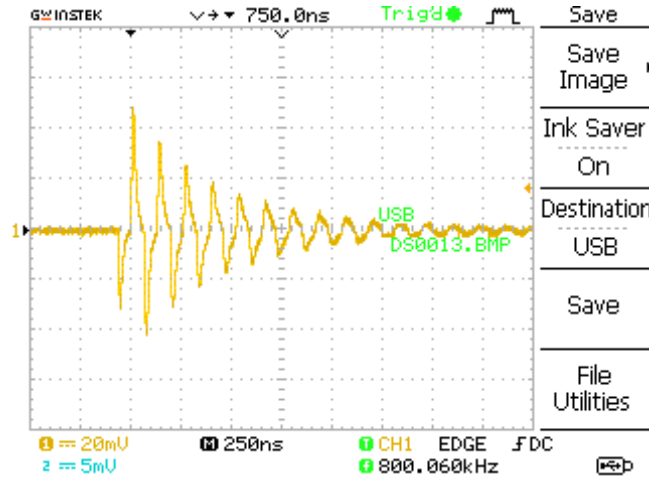


Abbildung 11: Leitungsabschluss kurzgeschlossenes Ende, Frequenz: 100 kHz

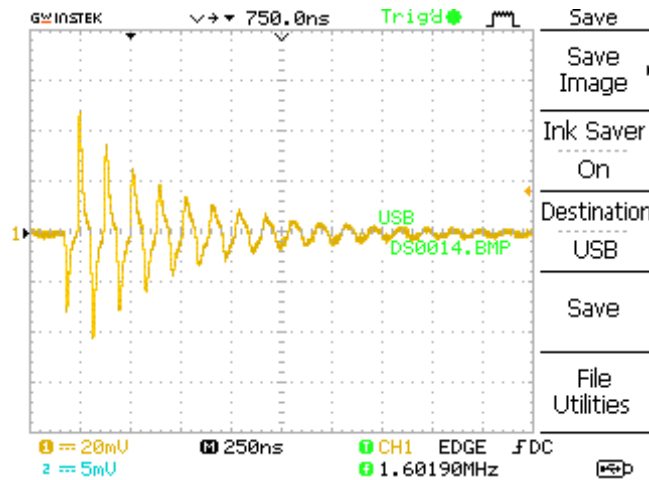


Abbildung 12: Leitungsabschluss kurzgeschlossenes Ende, Frequenz: 200 kHz

Für die Verzögerungszeit gilt:

$$t_{V,erz} = \frac{\Delta t}{2 \cdot l} = \frac{70 \text{ ns}}{2 \cdot 6 \text{ m}} = \frac{70 \text{ ns}}{12 \text{ m}} \approx 5,83 \frac{\text{ns}}{\text{m}}$$

Für die Fehlerrechnung wird die Gausschen Fehlerfortpflanzung angewendet, für $\Delta(\Delta t) = 10 \text{ ns}$ und $\Delta l = 0,1 \text{ m}$. Dies erfolgt:

$$\begin{aligned} \Delta t_{V,erz} &= \sqrt{\left(\frac{\partial t_{V,erz}}{\partial \Delta t} \cdot \Delta(\Delta t)\right)^2 + \left(\frac{\partial t_{V,erz}}{\partial l} \cdot \Delta l\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{2l} \cdot \Delta(\Delta t)\right)^2 + \left(\frac{\Delta t}{2l^2} \cdot \Delta l\right)^2} \\ &= \sqrt{\left(\frac{1}{2 \cdot 6 \text{ m}} \cdot 10 \text{ ns}\right)^2 + \left(\frac{70 \text{ ns}}{2 \cdot 6^2 \text{ m}^2} \cdot 0,1 \text{ m}\right)^2} \approx \sqrt{0,7034} \approx 0,84 \frac{\text{ns}}{\text{m}} \end{aligned}$$

Alles zusammen:

$$t_{V, \text{erz}} = (5,83 \pm 0,84) \frac{\text{ns}}{\text{m}}$$

Unser experimenteller Wert passt gut mit dem Literaturwert aus der Anleitung [1] von $V_{\text{theo}} = 5 \frac{\text{ns}}{\text{m}}$, da der Literaturwert in der Unsicherheit unseren errechneten Wertes liegt.

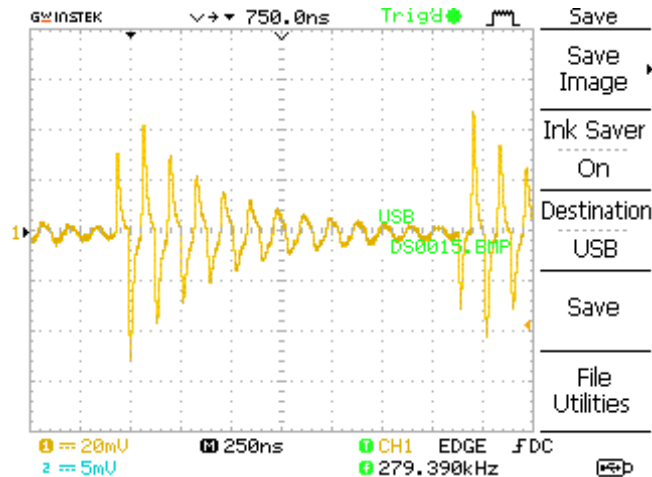


Abbildung 13: Leitungsabschluss kurzgeschlossenes Ende, Frequenz: 300 kHz

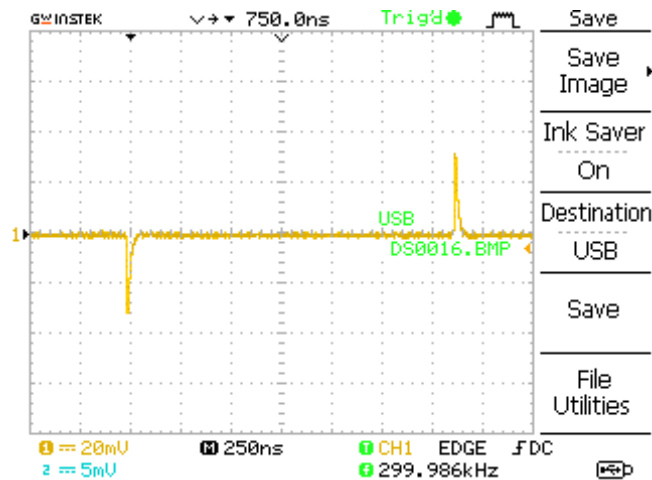


Abbildung 14: Leitungsabschluss mit Wellenwiderstand

Für den Fall, dass der Kabel mit seinem Wellenwiderstand abgeschlossen ist, würde man nur einen einzigen Peak erwarten, denn am Ende des Kabels wird das Signal nicht mehr reflektiert. Dies lässt sich gut in der Abbildung 14 erkennen.

3.4 Versuchsaufgabe 4: Klippkabel, Dämpfung

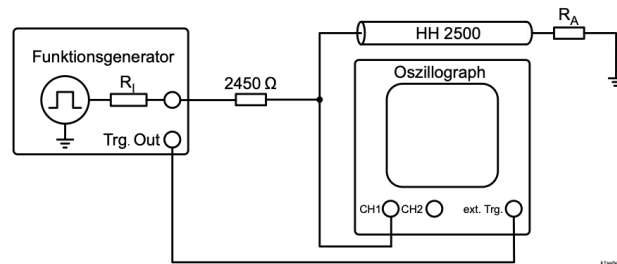


Abbildung 15: Schaltplan für ein Klippkabel [1]

Zuletzt wird das Verzögerungskabel mit einem kürzeren, sogenannten Klippkabel, mit 0.7 m Länge ersetzt. Anstatt des Differenzierglieds wird ein Widerstand von $2450\ \Omega$ eingebaut, der Widerstand vor dem Kabel wird entfernt. Der Funktionsgenerator wird auf eine Frequenz zwischen 10 kHz und 80 kHz eingestellt. Die Schaltverbindungen erfolgen mit $50\ \Omega$ Koaxialkabeln. Dann wird unter den folgenden Umständen am Oszillographen gemessen:

- Klippkabel mit $50\ \Omega$ Abschluss, d. h. offen
- Klippkabel kurzgeschlossen
- Klippkabel kurzgeschlossen mit variierter Frequenz
- 2 m Klippkabel kurzgeschlossen

Das Bild, das man bei einem offenen Vergrößerungskabelende bekommt, ist das folgende:

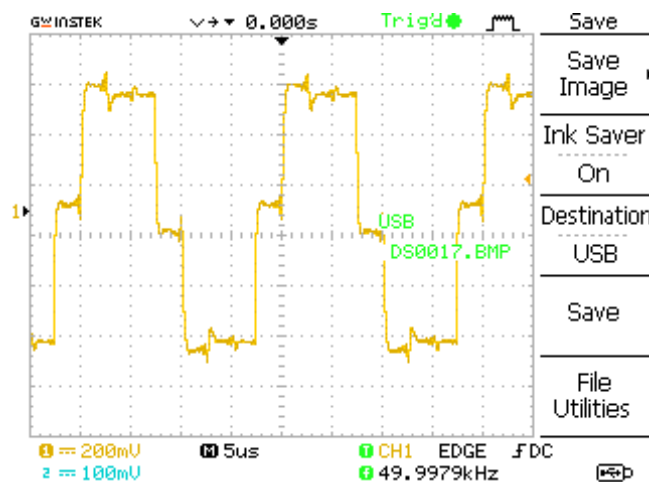


Abbildung 16: Klippkabel mit offenem Ende

Hier sind die Peaks verschwunden und sind nun Stufen zu erkennen, die sich wegen des destruktiven Interferenz der beiden Signale erklären lassen, weil das Signal am offenen Ende wieder reflektiert wird.

Nun schließt man das Vergrößerungskabel an und erhält die folgende Abbildung:

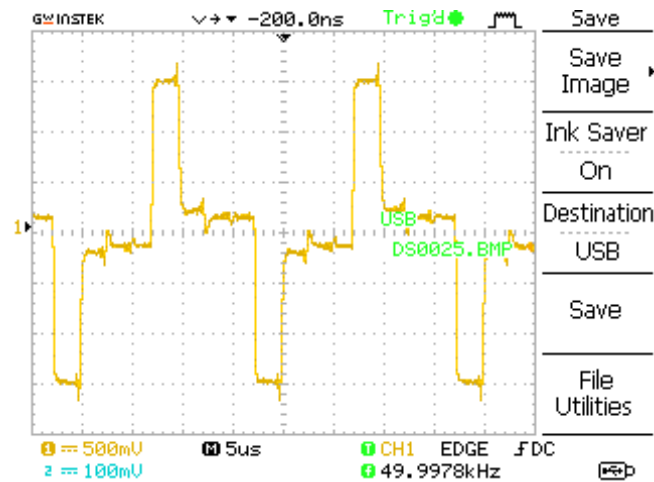


Abbildung 17: Klippkabel mit kurzgeschlossenem Ende

Hier sind die Plateaus wegen des Effekts der destruktiven Interferenz noch stärker beeinflusst, denn durch den Kurzschluss wird die rücklaufende Welle gespiegelt. Das zeigt sich, indem die oberen Plateaus kürzer sind und die mittlere Plateaus sich vergrößert.

Variiert man die Frequenz ein wenig, erhält man die folgenden Bilder:

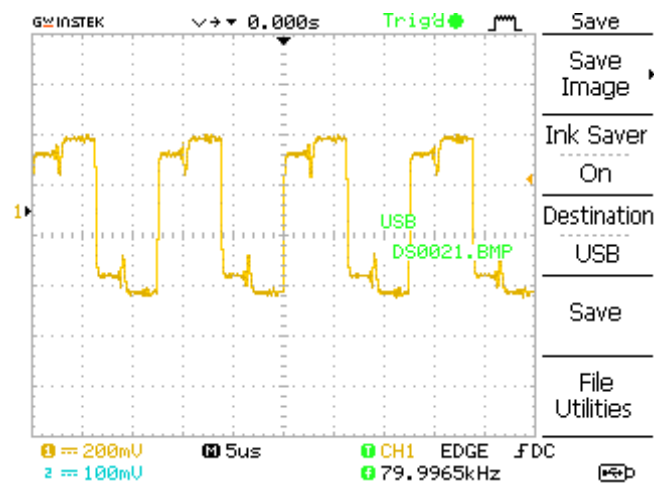


Abbildung 18: Klippkabel mit offenem Ende bei 80 kHz

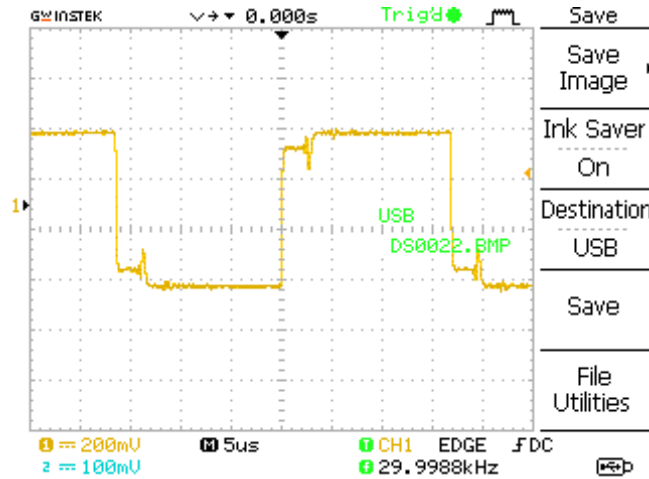


Abbildung 19: Klippkabel mit offenem Ende bei 30 kHz

Wobei sich erkennen lässt, dass bei größeren Frequenzen Bereich, wo destruktive Interferenz auftaucht, vergrößert. Es ist wichtig anzudeuten, dass der Dauer des Impulses unverändert bleibt, weil das von dem Verzögerungskabel abhängt.

Nun fügt man 2 weitere Klippkabel in dem Schaltsystem. Die Länge der geklippten Impulse wird durch Ausnutzung von der Linearität zwischen Verzögerungszeit und Kabellänge. Da 2 weitere Kabel angewendet werden, erwartet man eine dreifach-größerer Länge von Impuls.

Bei den geklippten Impulsen kommt es zu einer Dämpfung. Hierdurch ist die Amplitude der rückreflektierten Welle geringer, weshalb bei der destruktiven Interferenz der Impuls nicht vollständig auf 0V eliminiert wird. Die Dämpfung β berechnet sich aus der Eingangs- und Ausgangsspannung. Es gilt:

$$\beta = \frac{20 \cdot \log_{10} \left(\frac{U_{\text{out}}}{U_{\text{in}}} \right)}{2 \cdot l} = \frac{20 \cdot \log_{10} \left(\frac{U+U_2-U_1}{U+U_1-U_2} \right)}{2 \cdot l}$$

Aus Abbildung 21 liest man ab, dass die Spannung $U = 3V$, $U_1 = 0.21$ und $U_2 = -0.36$ sind. Es gilt also:

$$\beta = \frac{20 \cdot \log_{10} \left(\frac{U+U_2-U_1}{U+U_1-U_2} \right)}{2 \cdot l} = \frac{20 \cdot \log_{10} \left(\frac{2,35}{3,65} \right)}{2 \cdot 21 \text{ m}} = \frac{-3,834}{42} \approx -0,091 \text{ 1/m}$$

Die zugehörige Unsicherheit $\Delta\beta$ ergibt sich nach der Gaußschen Fehlerfortpflanzung:

$$\Delta\beta = \sqrt{\left(\frac{\partial\beta}{\partial U} \cdot \Delta U \right)^2 + \left(\frac{\partial\beta}{\partial U_1} \cdot \Delta U_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial\beta}{\partial U_2} \cdot \Delta U_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial\beta}{\partial l} \cdot \Delta l \right)^2}$$

Wobei $\Delta U_i = 0.1V$ und $\Delta l = 0.1m$ sind. Was zusammen ergibt:

$$\beta = (-0,091 \pm 0,020) \text{ 1/m}$$

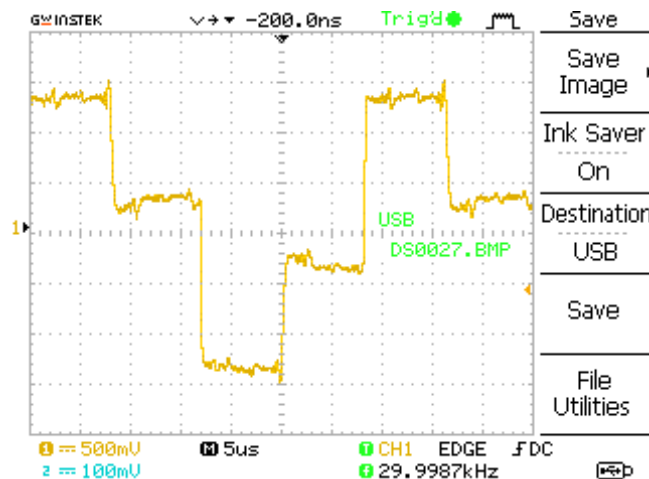


Abbildung 20: Klippkabel aus 3 Teilstücken mit offenem Ende bei 30 kHz

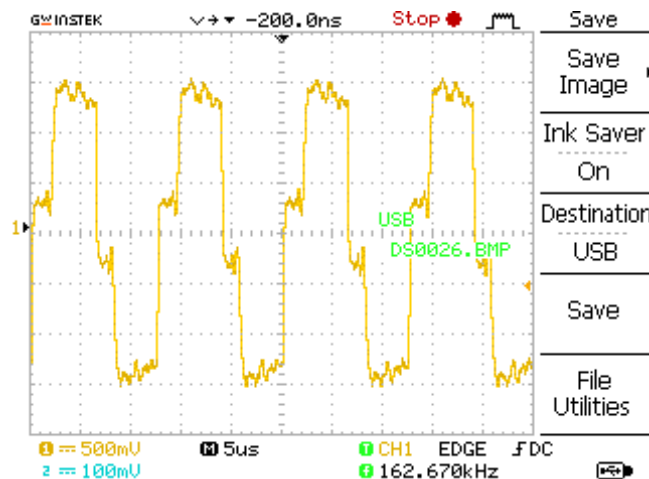


Abbildung 21: Klippkabel aus 3 Teilstücken mit offenem Ende bei 160 kHz

Dieser Wert ist unerwartet. Denn für den Kabel HH 2500 wäre die Dämpfung etwa $0.51/m$ in diesem Frequenzbereich. Also besitzt der experimentell bestimmte Wert eine totale Abweichung von 82.2%. Dieses ist eine große Abweichung, welches dadurch erklärt werden kann, dass die Messung in zu niedrigem Spannungsbereich aufgenommen wurde.

4 Fazit

In diesem Versuch wurde untersucht, wie verschiedene Faktoren einer Leitung die Signalausbreitung beeinflussen. Zunächst wurde mit einem Differenzierglied (ein Hochpass) ein Rechtecksignal abgeleitet, sodass nur noch seine Peaks zu sehen waren. Hieran konnte man feststellen, dass der eingebaute Widerstand eine abschwächende Wirkung auf das die Amplitude des Signals hatte und dass die Spannung flacher abgenommen hatte. Hiernach wurde das Verhalten der Impulse an verschiedenen Kabelabschlüssen betrachtet. Man konnte bestätigen, dass es zur Verzögerungszeiten kommt. Außerdem konnten die Überlagerungen der reflektierten Wellen untersucht werden. Hierzu wurde die Verzögerungszeit eines RG58C/U-Verzögerungskabels zu $5,83 \pm 0,84 \frac{ns}{m}$ bestimmt. Dieses stimmt mit dem Literaturwert von $5 \frac{ns}{m}$ überein und ist daher glaubwürdig. Und zuletzt wurde ein Klippkabel benutzt, um verschiedene Abschlüsse zu untersuchen, wo Reflektionen, Dämpfungen und Überlagerungen un-

tersucht werden konnten. Und die Dämpfung des Klippkabels wurde zu $\beta = (-0,091 \pm 0,020) \text{ 1/m}$ berechnet, welches eine hohe Abweichung zum Literaturwerte $0.51/m$ hat.

Literatur

- [1] *Elektronikpraktikum – Versuchsbeschreibungen*, Universität Bonn, 04.04.2025