

Elektronikpraktikum

Versuch 0: Einführung und Vorversuch

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

¹Uni Bonn

3. Mai 2025

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	6
3.3	Versuchsaufgabe 3: Leitungsabschluss, Verzögerungszeit	8
3.4	Versuchsaufgabe 4: Klippkabel, Dämpfung	14
4	Fazit	17

^{*}s87cpasc@uni-bonn.de

[†]s32amaro@uni-bonn.de

[‡]s64cheim@uni-bonn.de

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 L bestimmt dann nicht nur C und L , sondern hat auch 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 setzt sich aus der Zeitdifferenz der einlaufenden und reflektierten Welle zusammen. Und die Dämpfung ist gegeben mit der Dämpfungskonstante α durch:

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

Wellenausbreitung und Leitungsabschluss

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

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

und

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

Aus diesem Grund spielt der Leitungsabschluss und dessen Reflektionsgrad eine signifikante Rolle 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 die beiden Wellen sich destruktiv überlagern und die Spannung 0 V ergibt.

2 Voraufgaben

Aufgabe A

Um möglichst große Verzögerungszeiten zu bekommen, muss die Phasengeschwindigkeit verkleinert werden und die Leitungslänge l vergrößert werden. Außerdem haben weitere Parameter einen Einfluss auf die Vergrößerungszeit

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

Also 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

Der Wellenwiderstand kann durch folgende Formel beschrieben werden

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

Also hat die Veränderung der Verzögerungszeit durch die Parameter aus Aufgabe A, eine Auswirkung auf den Wellenwiderstand. Wenn die Induktivität oder Permeaktivität 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, falls das Kabel abgeschlossen ist und $R_A = Z$, da dann $R_A = Z = R_{in}$

Aufgabe D

Folgende Eigenschaften sind einem Leiter im Idealfall gegeben: $\frac{R_A}{R_i} = 2, 3$, $\epsilon_0 = 1, 5$, $\mu_0 = 1, 5$. Für die Phasengeschwindigkeit v_{ph} gilt:

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

Für den Wellenwiderstand gilt:

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

Somit ergibt sich für die Verzögerungszeit pro Meter: $t_v = 5 \cdot 10^{-9}$

3 Versuchsaufbau, -durchführung, Messwerte und Auswertung

Zunächst werden die Seriennummern der verwendeten Laborgeräte notiert.

3.1 Versuchsaufgabe 1: Differenzierglied

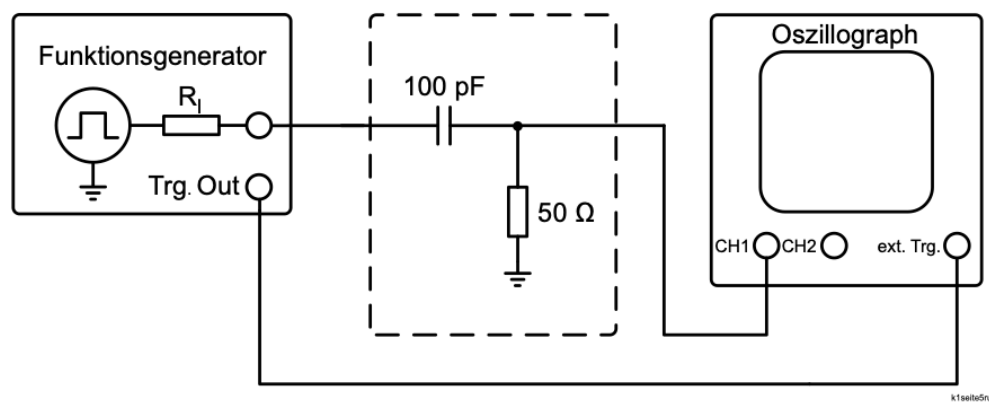


Abbildung 1: Schaltplan eines Differenzierglieds [?]

Ein RC-Glied wird (ohne 2.2kΩ 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 2.2kΩ Abschlusswiderstand wiederholt.

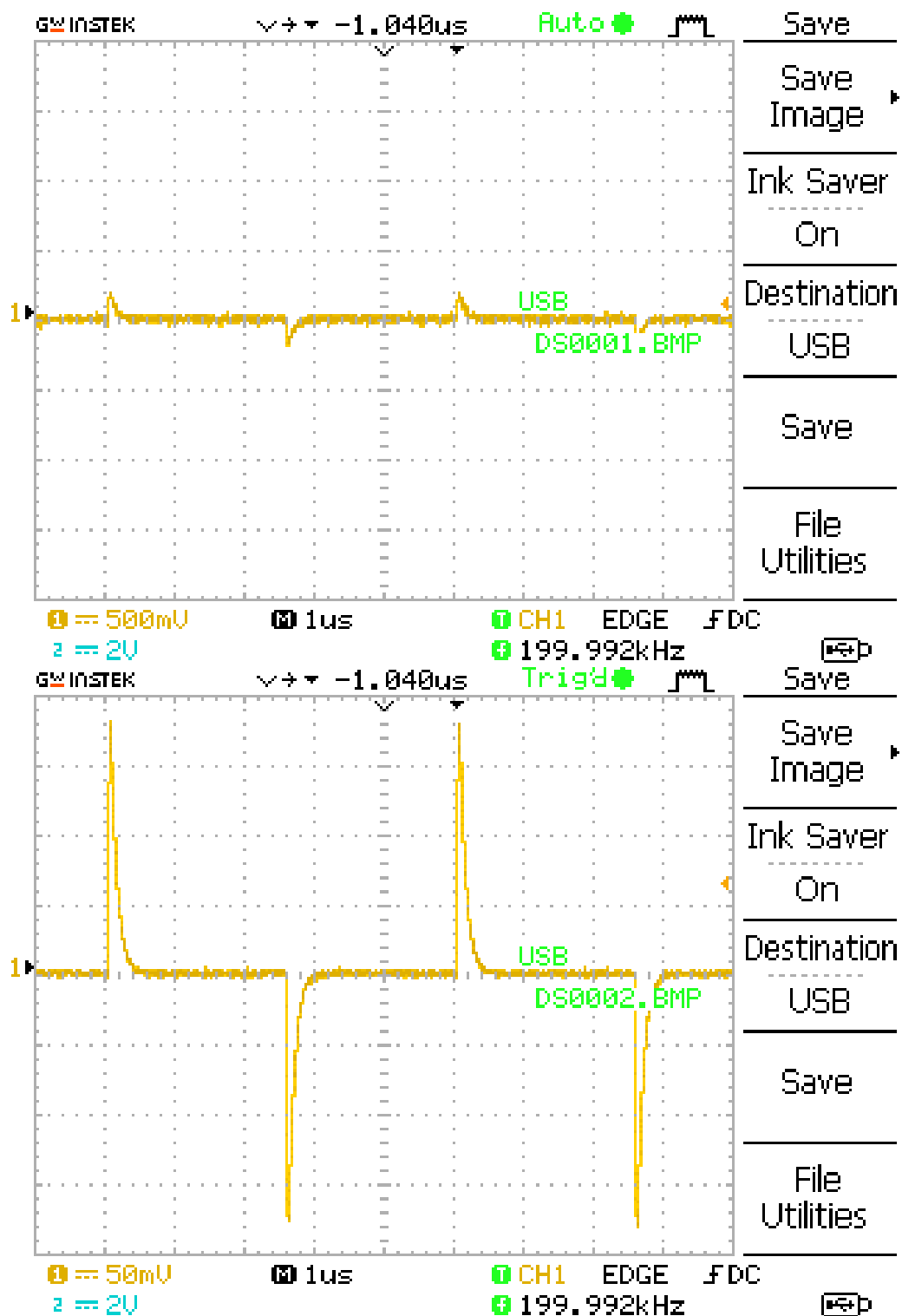


Abbildung 2: Differenzierglied mit Abschlusswiderstand (unten vergrößerte Ordinate)

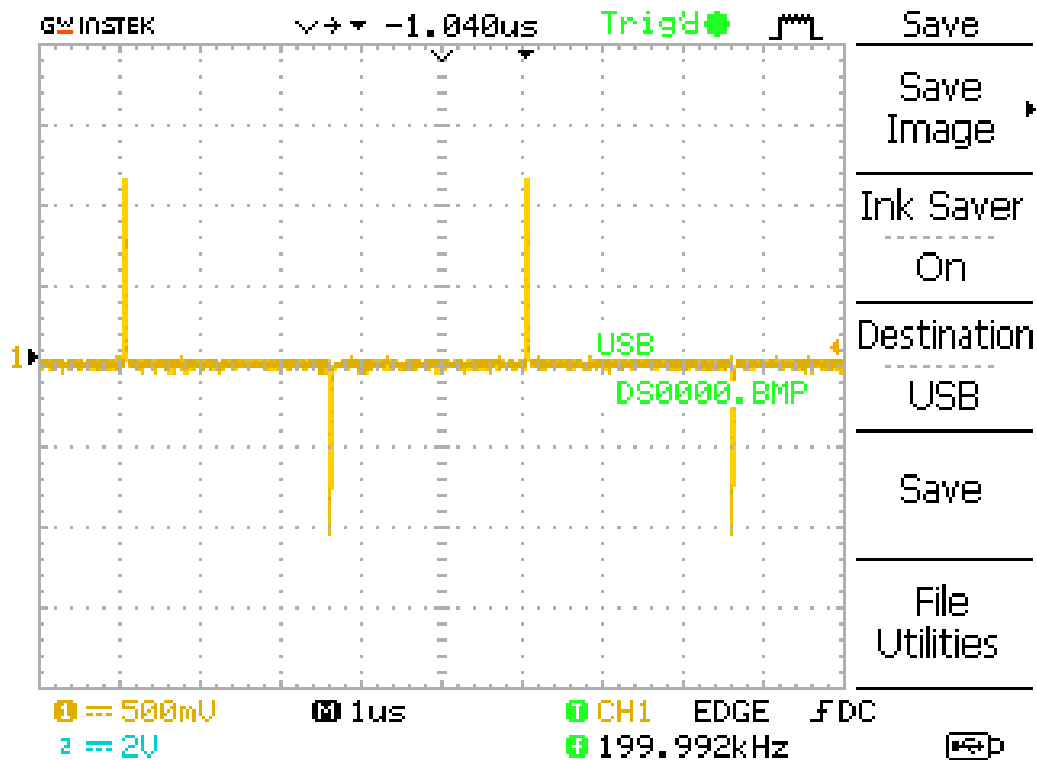


Abbildung 3: Differenzierglied ohne Abschlusswiderstand

Wie in 3 zu erkennen ist, wird das Rechtecksignal des Funktionsgenerators durch das Differenzierglied in ein Impulsignal umgewandelt. Die Spikes sind hierbei gut zu erkennen. Dies ist im Fall mit dem Abschlusswiderstand anders, dort "schluckt" das Differenzierglied die Impulse (vgl. 2 oben), diese sind nur noch wesentlich schwächer zu sehen (vgl. 2 unten). Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Abschlusswiderstand den Stromfluss behindert und somit die Impulse nicht mehr so stark ausgeprägt sind. Der Abschlusswiderstand hat also eine dämpfende Wirkung auf das Signal.

3.2 Versuchsaufgabe 2: Impulse auf Kabeln

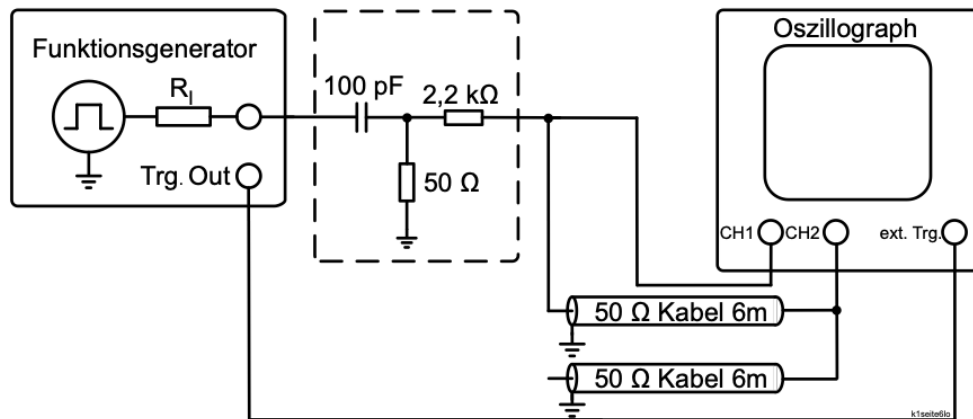
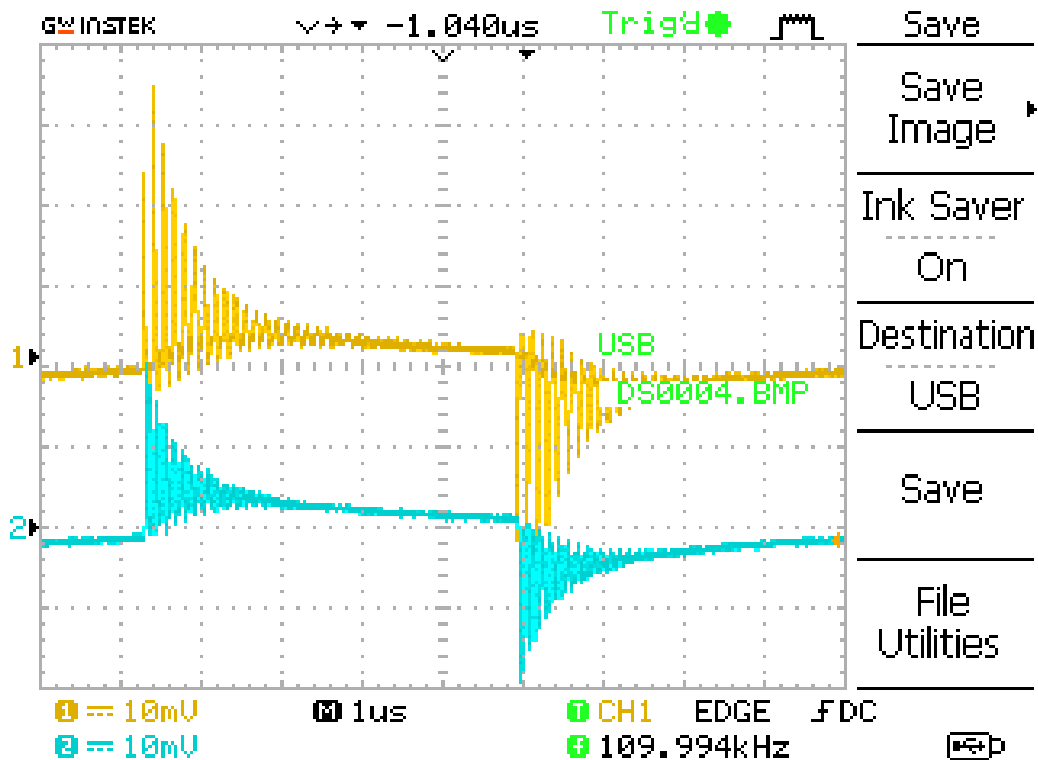
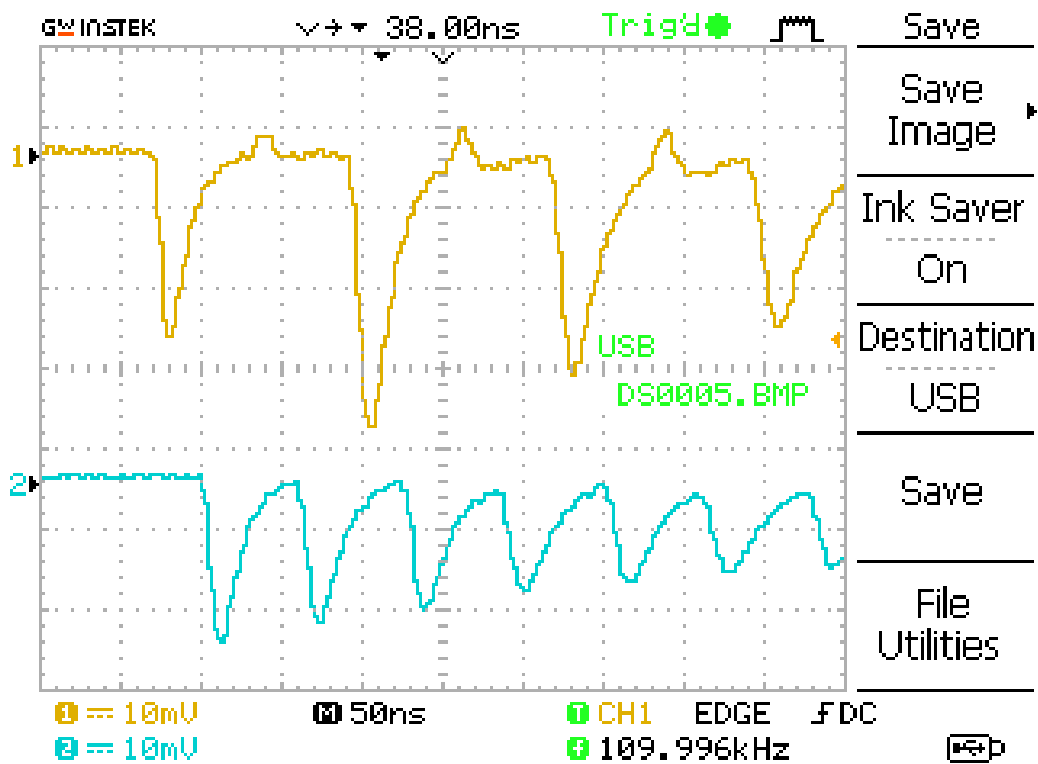


Abbildung 4: Schaltplan für ein Kabel mit zwei offenen Enden [?]

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 $50\text{ }\Omega$ 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. 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. 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

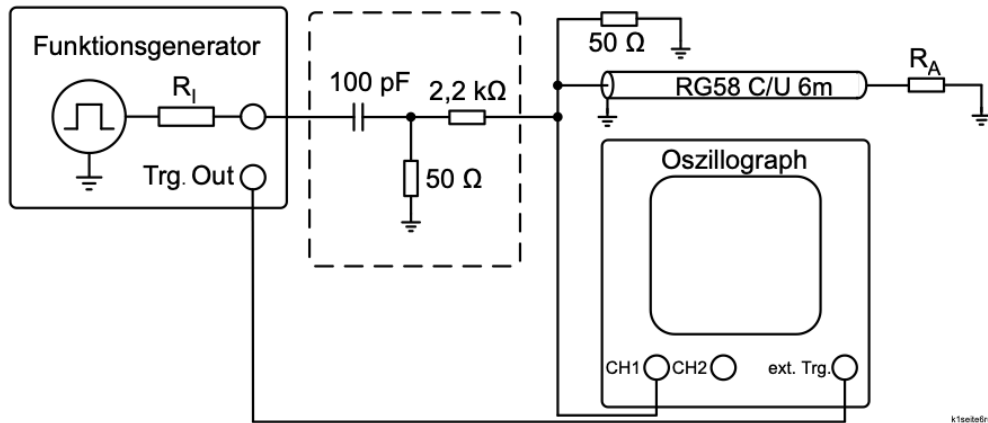


Abbildung 7: Schaltplan für ein Kabel mit einem offenen und einem geschlossenen Ende [?]

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 $0.2\,\mu\text{s cm}^{-1}$)

Durch den Mangel eines Widerstands treten Reflexionen auf, wodurch sich rücklaufende Wellen und hinlaufende Wellen überlagern. Dies lässt sich durch die Dämpfung der Kabel erklären.

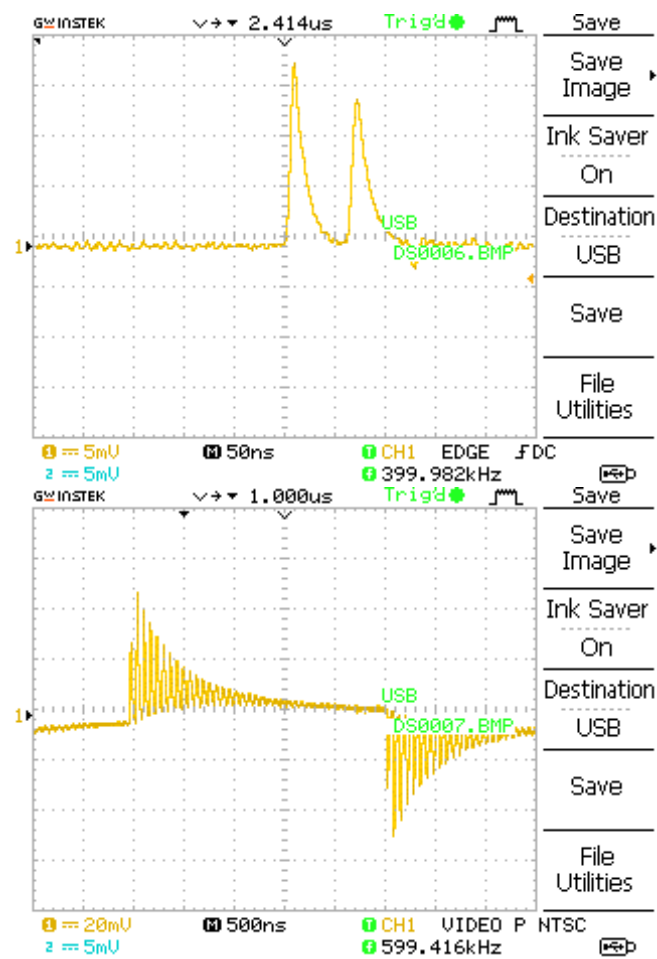


Abbildung 8: Leitungsabschluss offenes Ende (oben: mit Anpassungswiderstand, unten: ohne Anpassungswiderstand)

Mit der Abbildung 8 lässt sich die abgedämpften Peaks zu erkennen. Die Schi

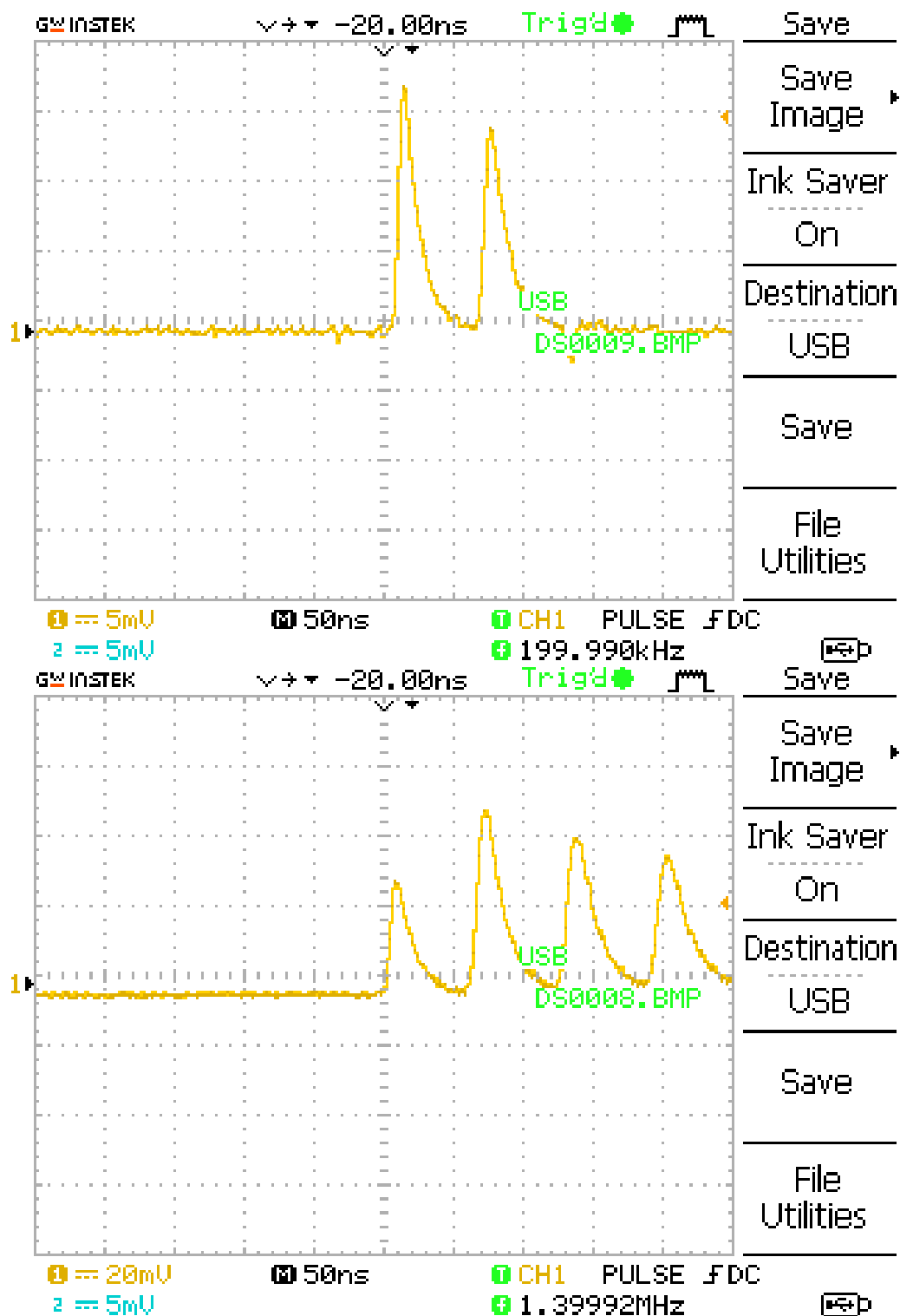


Abbildung 9: Leitungsabschluss offenes Ende (oben: mit Anpassungswiderstand, unten: ohne Anpassungswiderstand) vergrößert

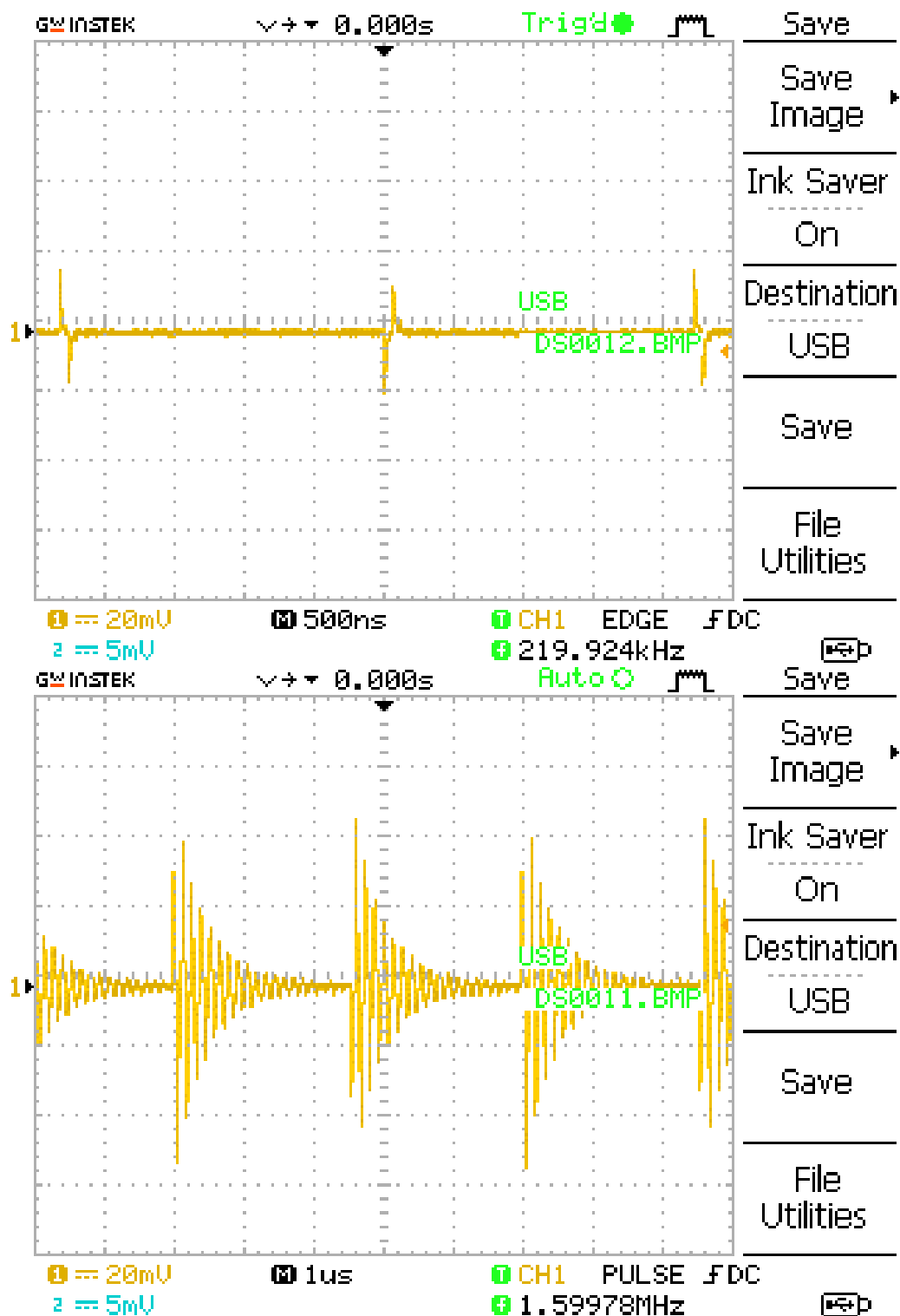


Abbildung 10: Leitungsabschluss kurzgeschlossenes Ende (oben: mit Anpassungswiderstand, unten: ohne Anpassungswiderstand)

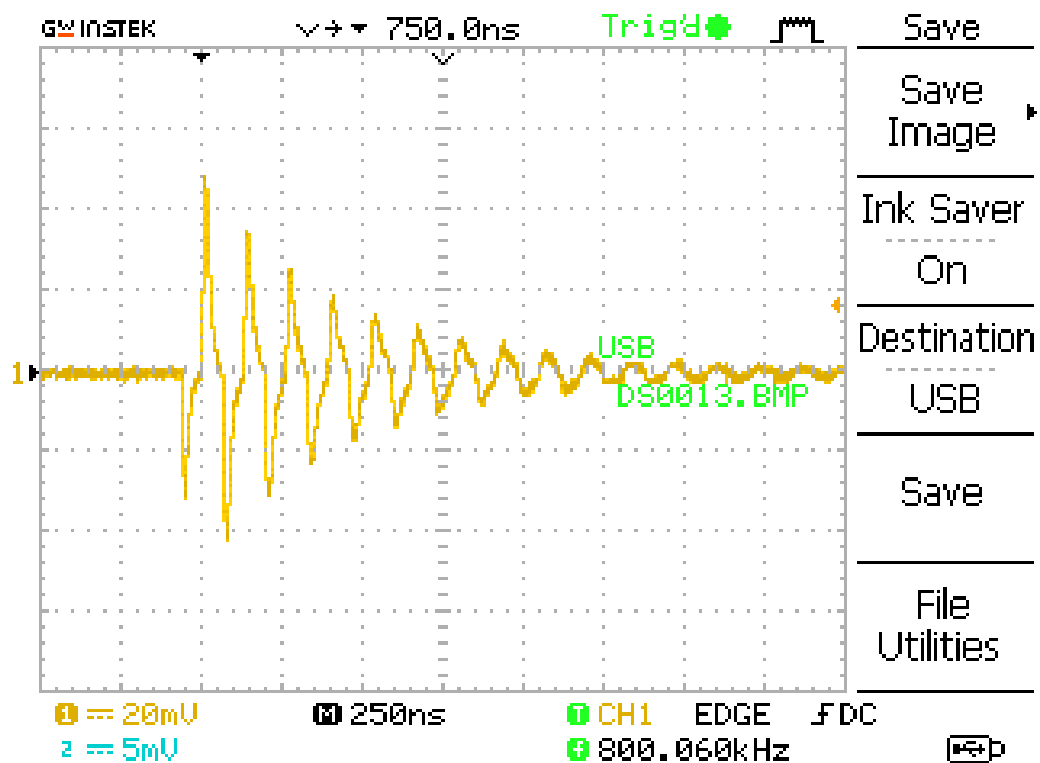


Abbildung 11: Leitungsabschluss kurzgeschlossenes Ende, Frequenz: 100 kHz

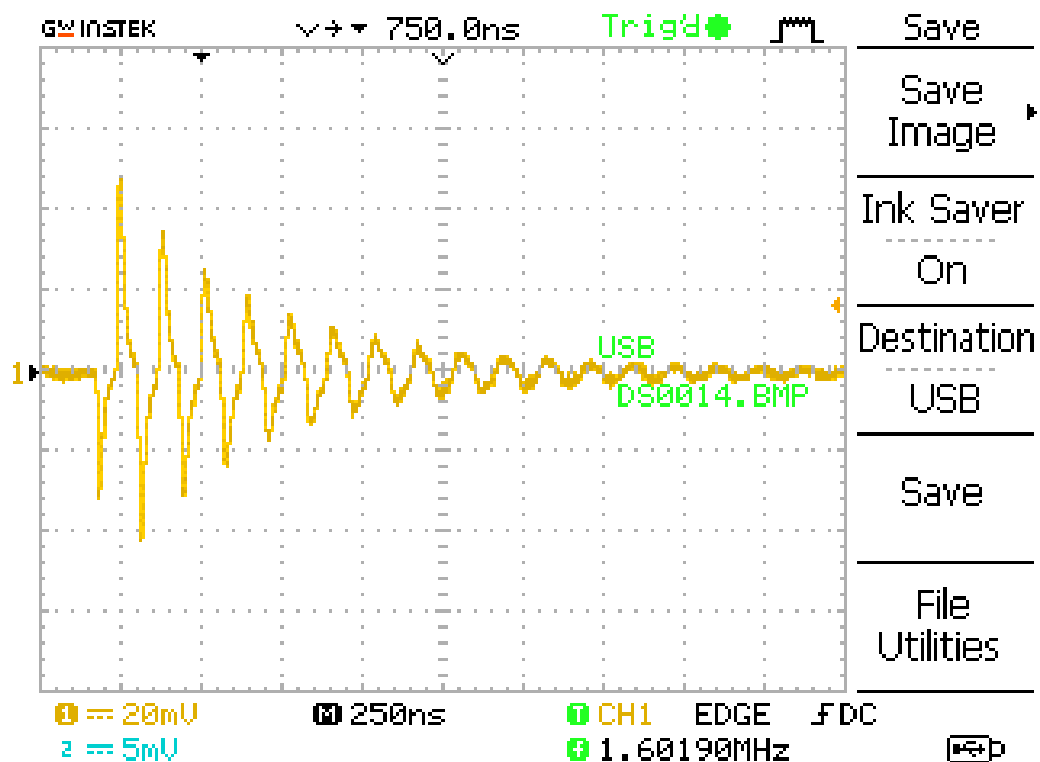


Abbildung 12: Leitungsabschluss kurzgeschlossenes Ende, Frequenz: 200 kHz

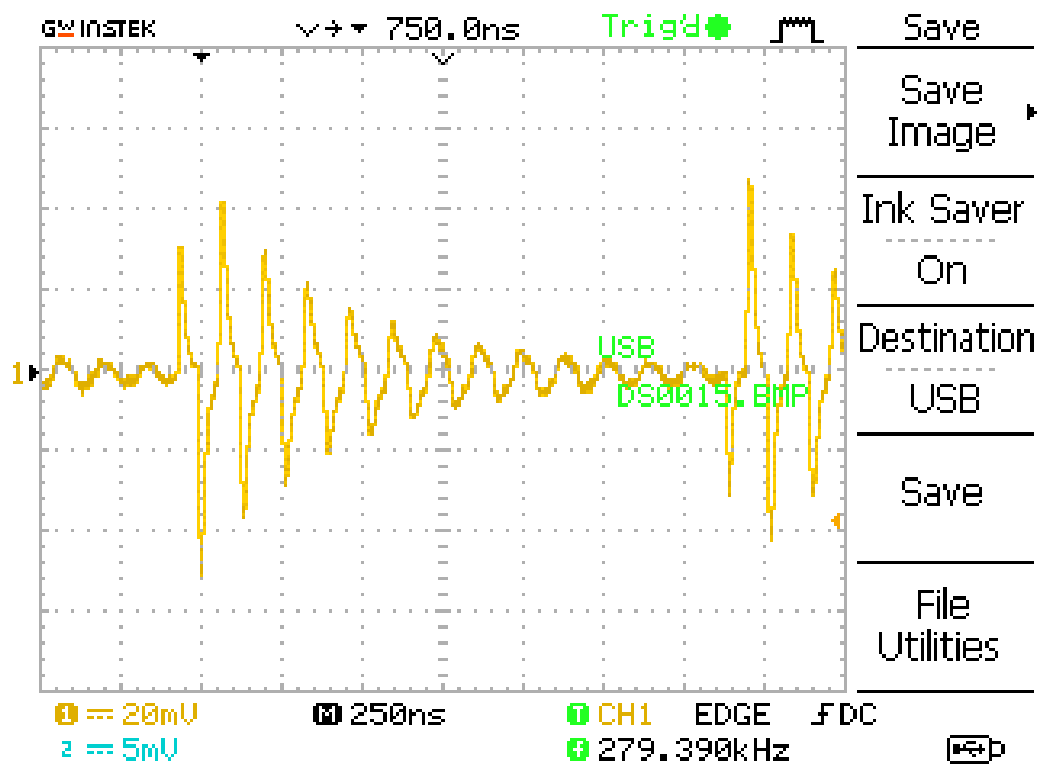


Abbildung 13: Leitungsabschluss kurzgeschlossenes Ende, Frequenz: 300 kHz

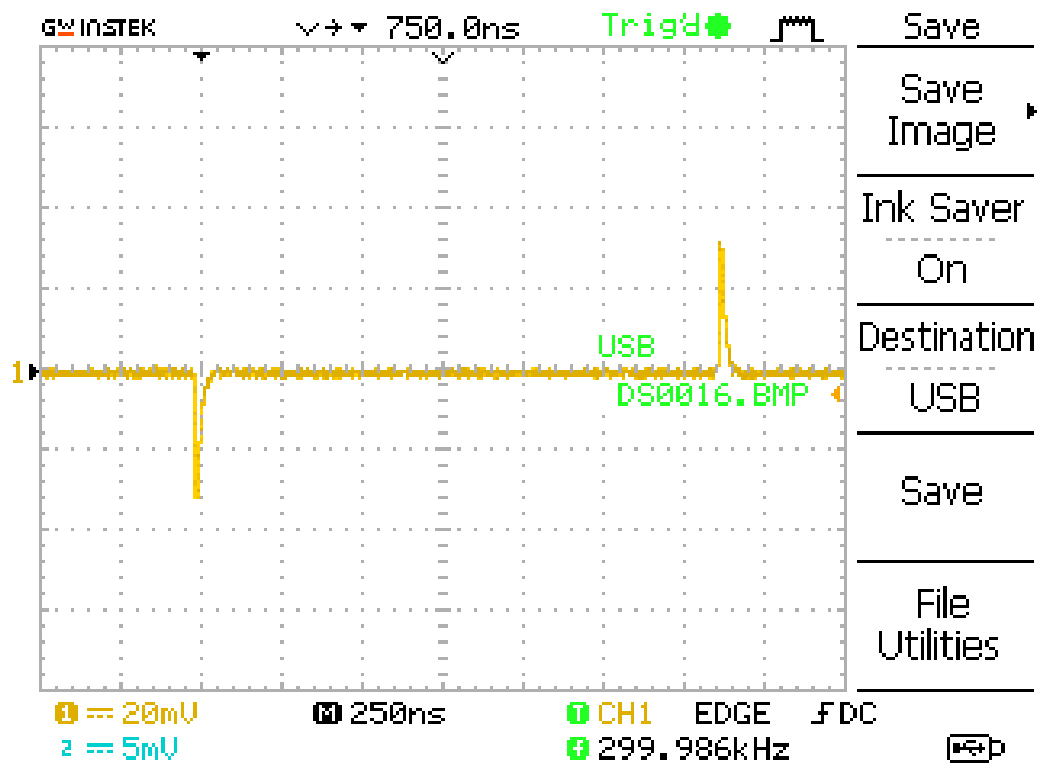


Abbildung 14: Leitungsabschluss mit Wellenwiderstand

3.4 Versuchsaufgabe 4: Klippkabel, Dämpfung

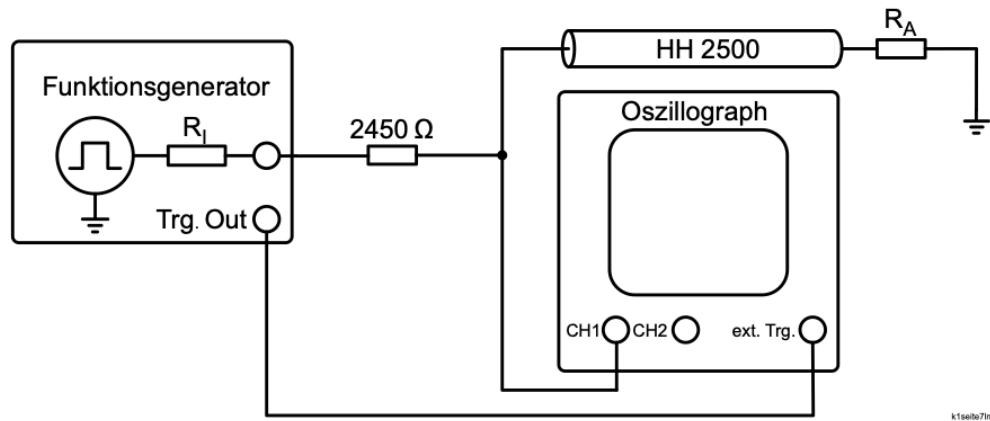


Abbildung 15: Schaltplan für ein Klippkabel [?]

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:

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

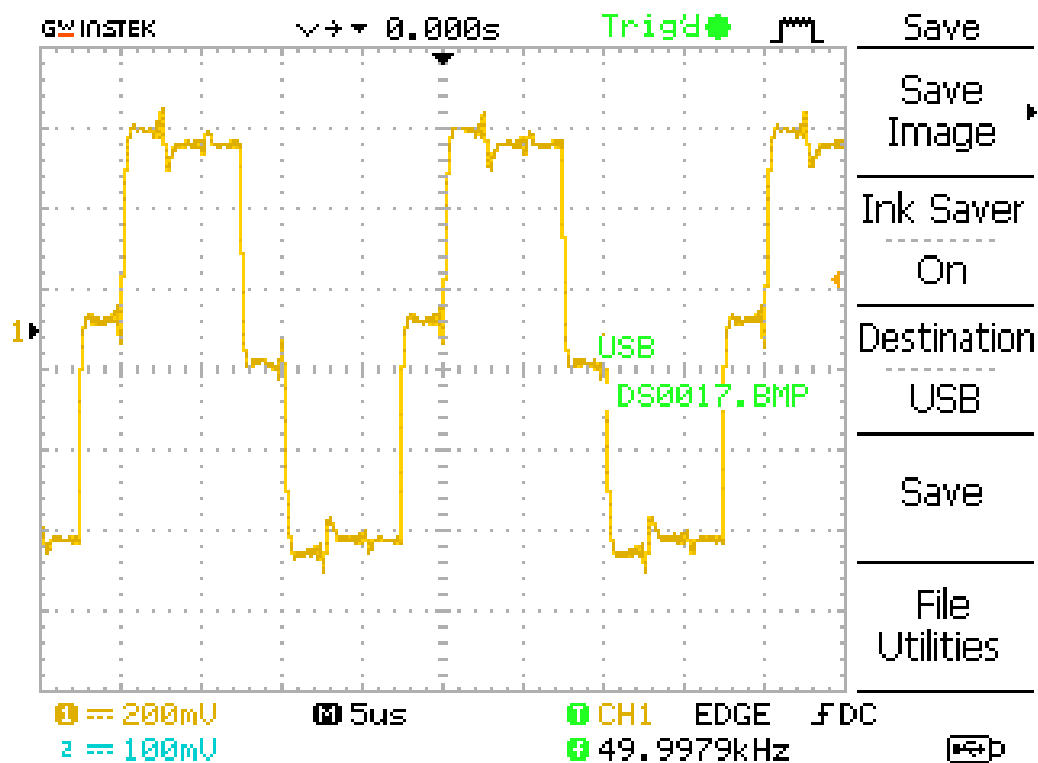


Abbildung 16: Klippkabel mit offenem Ende

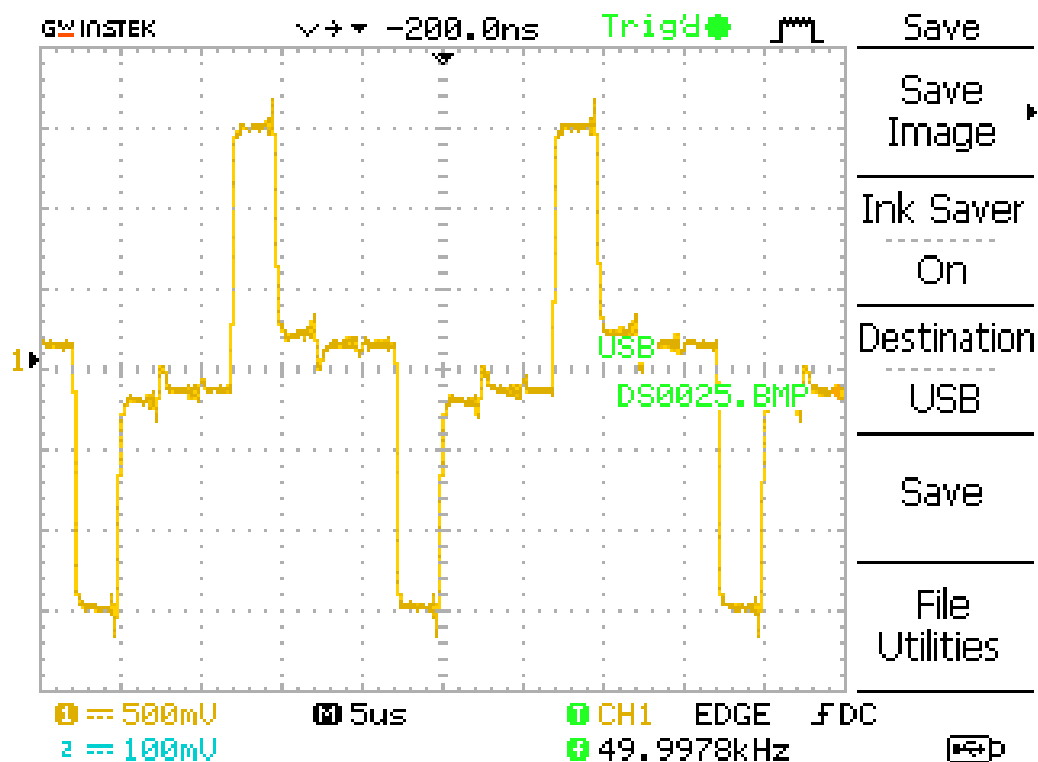


Abbildung 17: Klippkabel mit kurzgeschlossenem Ende

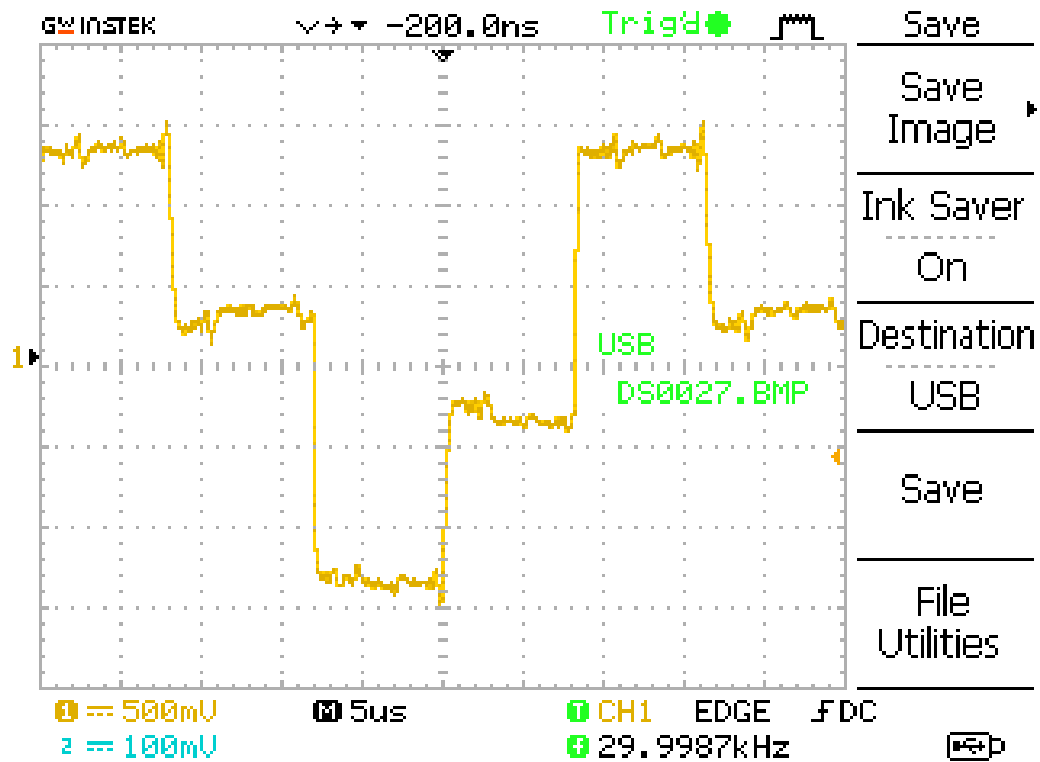


Abbildung 18: Klippkabel mit offenem Ende bei 30 kHz

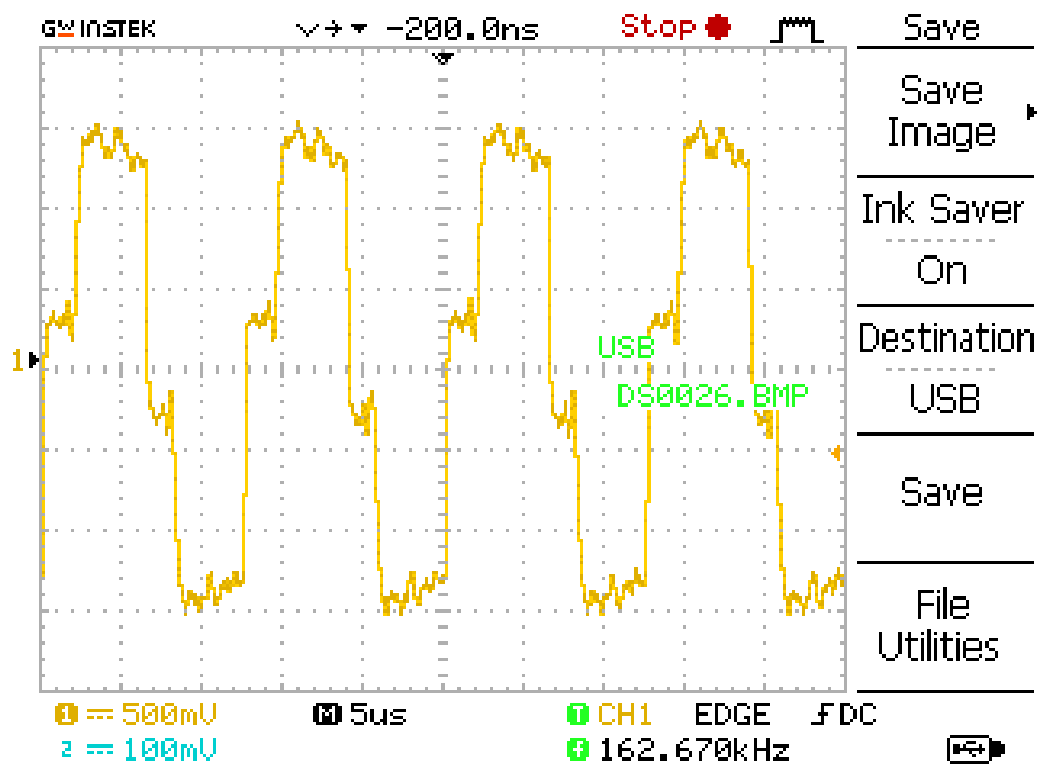


Abbildung 19: Klippkabel mit offenem Ende bei 80 kHz

4 Fazit