

# 1 | Ausbreitung von Signalen auf Leitungen

Angelo Brade, Jonas Wortmann

August 28, 2024

# Contents

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Voraufgaben</b>	<b>5</b>
3.1	A . . . . .	5
3.2	B . . . . .	5
3.3	C . . . . .	5
3.4	D . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>6</b>
4.1	Versuchsaufgabe 1: Differenzierglied . . . . .	6
4.2	Versuchsaufgabe 2: Impulse auf Kabeln . . . . .	6
4.3	Versuchsaufgabe 3: Leitungsabschluss, Verzögerungszeit . . . . .	7

# 1 Einleitung

In diesem Versuch werden Koaxialkabel behandelt und ihre Eigenschaften behandelt. Die Reflexionseigenschaften innerhalb von Koaxialkabeln sollen verstanden, sowie die Verzögerungszeit eines Kabels gemessen werden. Zudem soll das Rechtecksignal eines Hochpasses differenziert werden.

## 2 Theorie

Eine Doppelleitung (Hin- und Rückleiter), deren elektrische Eigenschaften längs der ganzen Strecke gleichbleiben, nennt man homogene Leitung. Koaxialkabel sind homogene Leitungen und bestehen aus einem leitenden Draht in der Mitte, darum ein Dielektrikum und wieder darum ein Geflecht aus einem leitenden Material welches Strahlung abschirmt. Das ganze Kabel ist isoliert.

Kabel können auch näherungsweise über eine Kette von LC-Gliedern dargestellt werden. Hier verteilt sich die gesamte Induktivität und Kapazität über das gesamte Kabel. Ein Ersatzschaltbild für die Wellenausbreitung in einem Leiter ist Der Wellenwiderstand eines

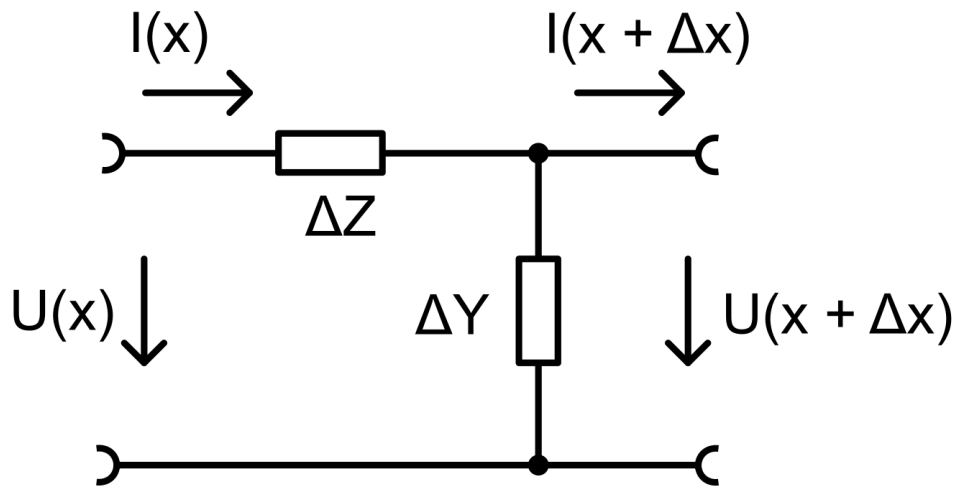


Figure 1: Ersatzschaltbild zur Wellenausbreitung; Abbildung 1.3 [1]

Kabels ist definiert als

$$Z = \frac{U_h(x)}{I_h(x)} = \frac{U_r(x)}{-I_r(x)}, \quad (2.1)$$

mit  $_h$  der Hinrichtung und  $_r$  der Rückrichtung. Im verlustfreien Fall ist  $Z = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$ , also rein reell. Für ein Koaxialkabel mit Innenradius  $R_i$  und Außenradius  $R_a$  gilt

$$Z = Z_{\text{frei}} \cdot \frac{\ln\left(\frac{R_a}{R_i}\right)}{2\pi}, \quad (2.2)$$

wobei  $Z_{\text{frei}} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = 120\pi \Omega$  der Wellenwiderstand des Vakuums ist.

Es existieren drei verschiedene wichtige Möglichkeiten für den Abschlusswiderstand in einer Leitung.

- Angepasster Abschluss:  $R_A = Z, r = 0, s = 1, m = 1$
- Offene Leitung:  $R_A = \infty, r = +1, s = \infty, m = 0$
- Kurzschluss:  $R_A = 0, r = -1, s = \infty, m = 0$

Hier beschreiben  $R_A$  den Abschlusswiderstand,  $r$  den Reflexionskoeffizienten,  $s$  das Stehwellenverhältnis und  $m$  den Anpassungsfaktor.

## 3 Voraufgaben

### 3.1 A

Um große Verzögerungszeiten zu erreichen muss eine kleine Phasengeschwindigkeit sichergestellt werden, entsprechend große Permeabilität und Permittivität.

### 3.2 B

Wird die Verzögerungszeit über die Phasengeschwindigkeit geändert, so ändert sich auch der Wellenwiderstand, da diese Größen verschiedene Proportionalitäten besitzen

$$v_{\text{ph}} \propto \frac{1}{\sqrt{L'C'}} \quad Z \propto \sqrt{\frac{L'}{C'}}. \quad (3.1)$$

Das Aufwickeln des Innenleiters um einen Ferritkern damit die Induktivität des Kabels gesteigert wird ändert den Wellenwiderstand nicht.

### 3.3 C

Sei ein Kabel abgeschlossen mit  $R_A = Z$ , findet keine Reflexion statt. Alle Energie, die am Eingang des Kabels einläuft, wird am Kabelende vollständig an den Verbraucher  $R_A$  abgegeben, da dieser wie eine Fortsetzung des Kabels aussieht. Der Eingangswiderstand ist hier also unabhängig von der Länge des Kabels.

### 3.4 D

Sei ein verlustfreier idealer Leiter mit den Eigenschaften  $\frac{R_A}{R_I} = 2.3$ ,  $\varepsilon_r = 1.5$  und  $\mu_r = 1.5$ . Dann ist die Phasengeschwindigkeit

$$v_{\text{ph}} = \frac{c_0}{\sqrt{\varepsilon_r \mu_r}} = \frac{c_0}{1.5} \approx 1.93 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}, \quad (3.2)$$

der Wellenwiderstand

$$Z = \sqrt{\frac{L'}{C'}} = \sqrt{\frac{\mu_r \mu_0}{\varepsilon_r \varepsilon_0} \frac{\ln^2(R_a/R_i)}{4\pi^2}} \approx 49.94 \Omega \quad (3.3)$$

und die Verzögerung

$$\Delta = \frac{1}{v_{\text{ph}}} = \frac{1.5}{c_0} \approx 5.2 \times 10^{-9} \text{ s m}^{-1} \approx 5.2 \text{ ns m}^{-1}. \quad (3.4)$$

## 4 Auswertung

### 4.1 Versuchsaufgabe 1: Differenzierglied

Wir erzeugen Impulse, indem wir ein Rechtecksignal mithilfe eines Differenzierglieds ableiten. Es sind 200 kHz bei 10 V eingestellt. Ein Ausschnitt ist in Abb. 2 gezeigt. Wenn wir nun den

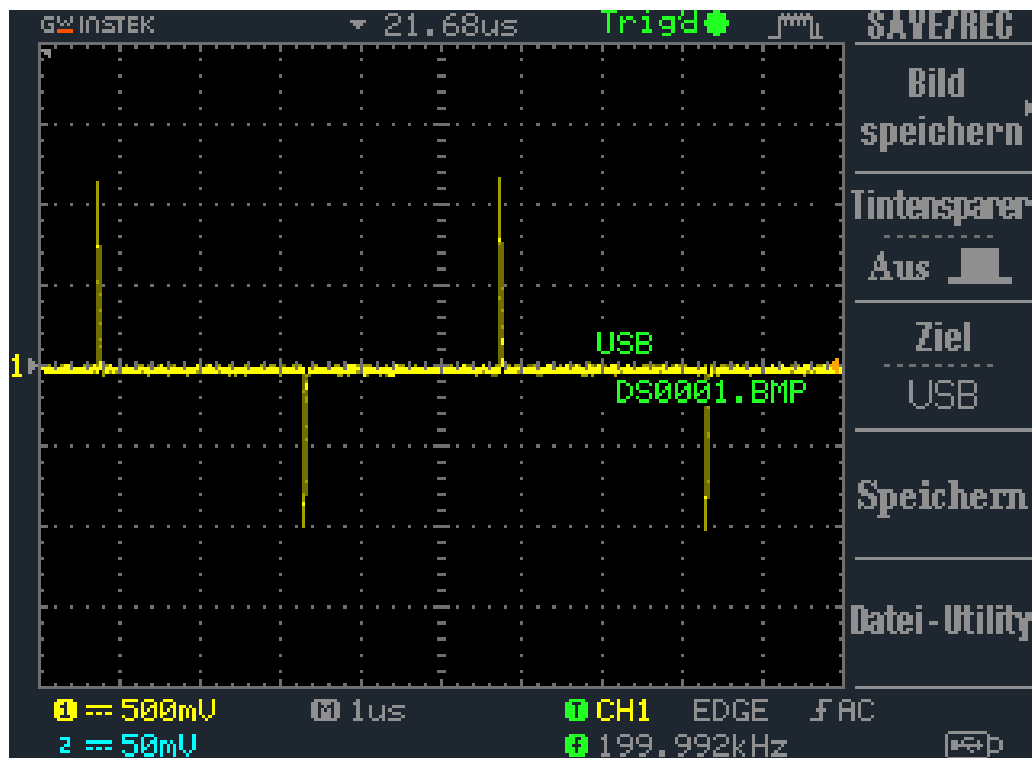


Figure 2: Impulse als Ableitung des Rechtecksignals

eingebauten 2.2 k $\Omega$  Widerstand verwenden, sehen wir eine deutliche Verkleinerung des Signals (betrachte die gelbe Skalar: 50 mV im Vergleich zu 500 mV von zuvor). Dieses ist wieder in Abb. 3 dargestellt. Zusätzlich können wir eine Abklingzeit beobachten. Dies ist auch plausibel, da Widerstände Dämpfen, sowie die Konstruktion nicht mehr annähernd verlustfrei machen und so eine sichtbare Verzögerung/Abklingzeit hinzukommt.

### 4.2 Versuchsaufgabe 2: Impulse auf Kabeln

Es wird eine Schaltung nach Abb. 4 aufgebaut, um Impulse an beiden Enden hin- und herlaufen zu lassen. An dem Signalgenerator stellen wir 100 kHz und 20V ein. Bei dem Ursprungssignal sehen wir, dass es mit einem größeren Peak und dann mit kleineren Peaks nachhallt. Das zweite Signal, welches durch die Kabel gedämpft wird, hier in blau in Abb. 5, zieht um einen Versatz dem Ursprungssignal nach und beinhaltet zusätzlich die rückläufige Welle. So lassen sich pro Ursprungssignal, zwei weitere Peaks dem blauen Signal entnehmen. Die rückläufige Welle entsteht aufgrund des offenen Leiter-Endes, welches als Glanzfläche, die einlaufende Welle phasengleich reflektiert. Einen Abstieg der Amplituden lässt sich aufgrund der Dämpfung - des Widerstands im Kabel - erklären.

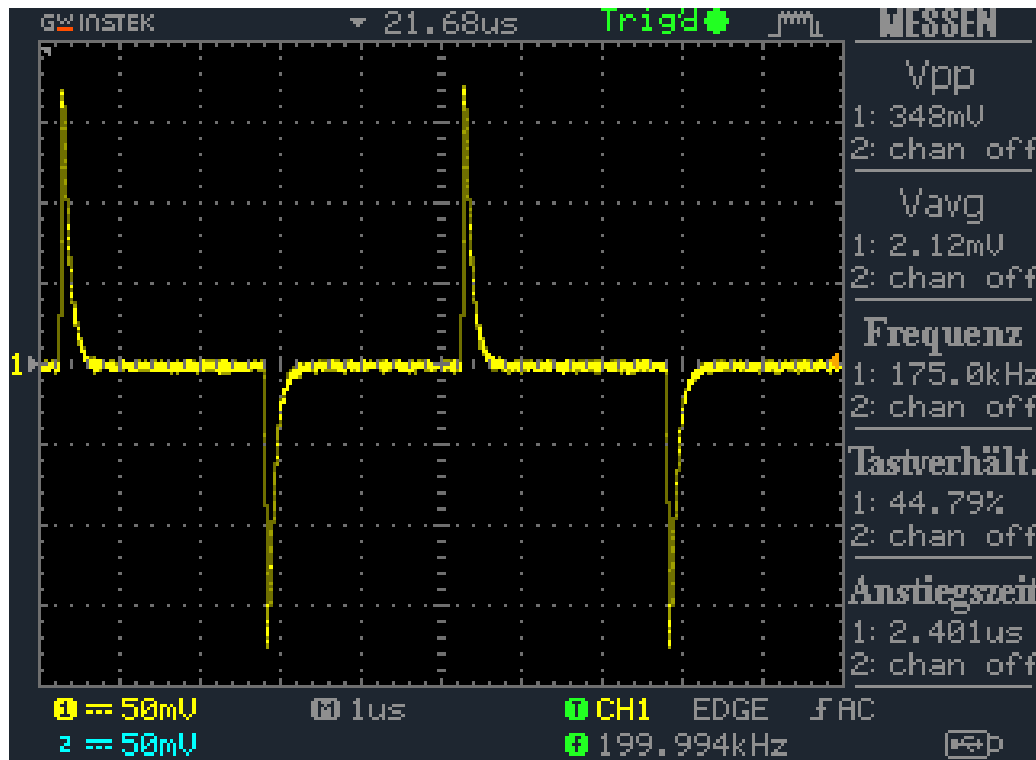


Figure 3: Impulse mit Widerstand

### 4.3 Versuchsaufgabe 3: Leitungsabschluss, Verzögerungszeit

Zur Untersuchung verschiedener Leitungsabschlüsse wird die Schaltung nach Abb. 6 konstruiert.

Vorerst ist hierbei das Verzögerungskabel offen. Wir erhalten die in Abb. 7 gezeigte Spannung. Hierbei ist klar der eigentliche Impuls, sowie die Nachschwingung (zweiter Peak) zu erkennen.

Schließen wir nun das Kabel mit einem  $50\ \Omega$  ab, so können wir in Abb. 9 erkennen, dass es keine Nachschwingung gibt und das Kabel aus der eigenen Sicht unendlich weitergeführt wird.

Lassen wir nun das Kabel in einem Kurzschluss enden, so kann man in Abb. 11 die rücklaufende gegenphasige Nachschwingung erkennen. Diese gegenphasige Nachschwingung ist aufgrund des kleineren Widerstandes zu erklären, da bei einem Kurzschluss der Widerstand praktisch Null und somit kleiner dem Wellenwiderstand ist.



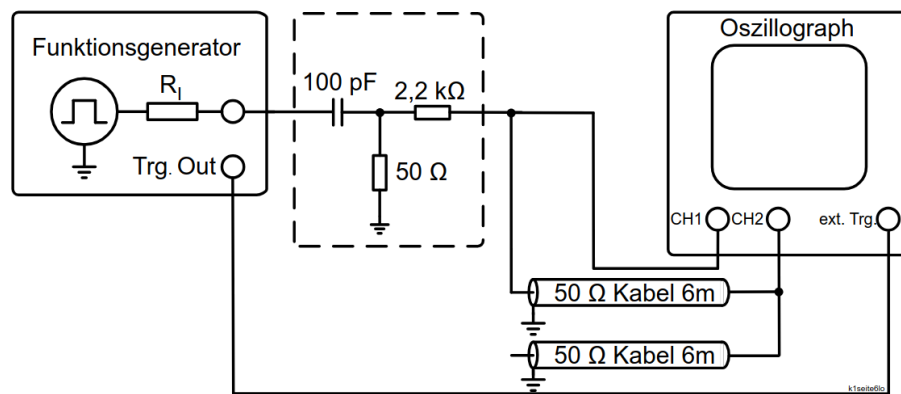


Figure 4: Schaltung mit offenen Enden

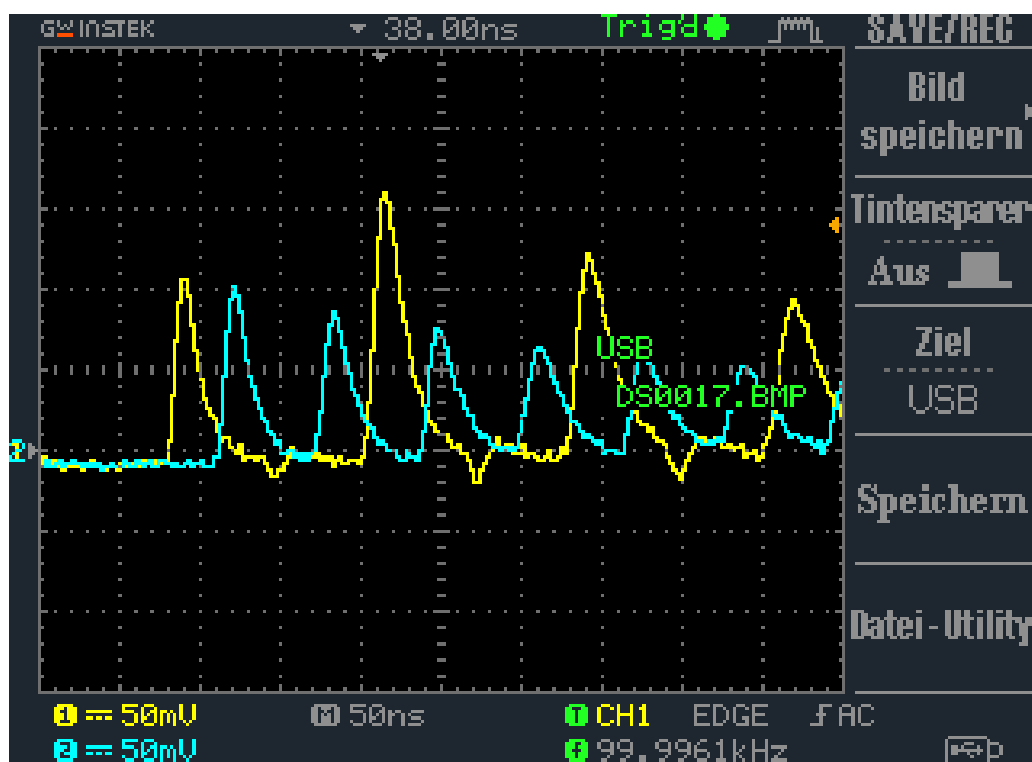


Figure 5: Schaltung mit offenen Enden

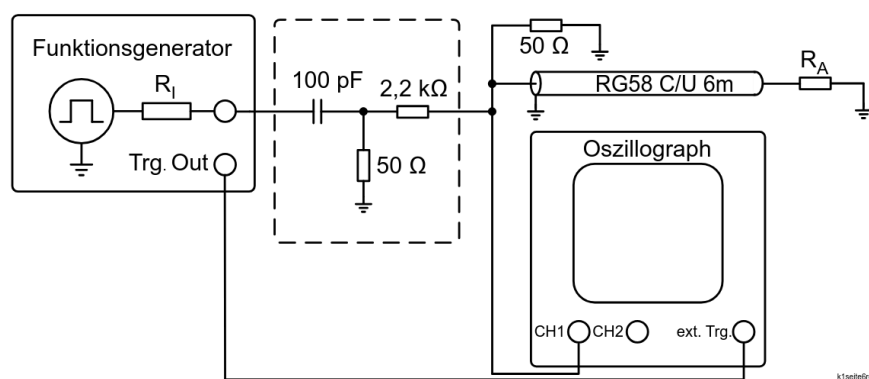


Figure 6: Schaltung mit offenen Enden

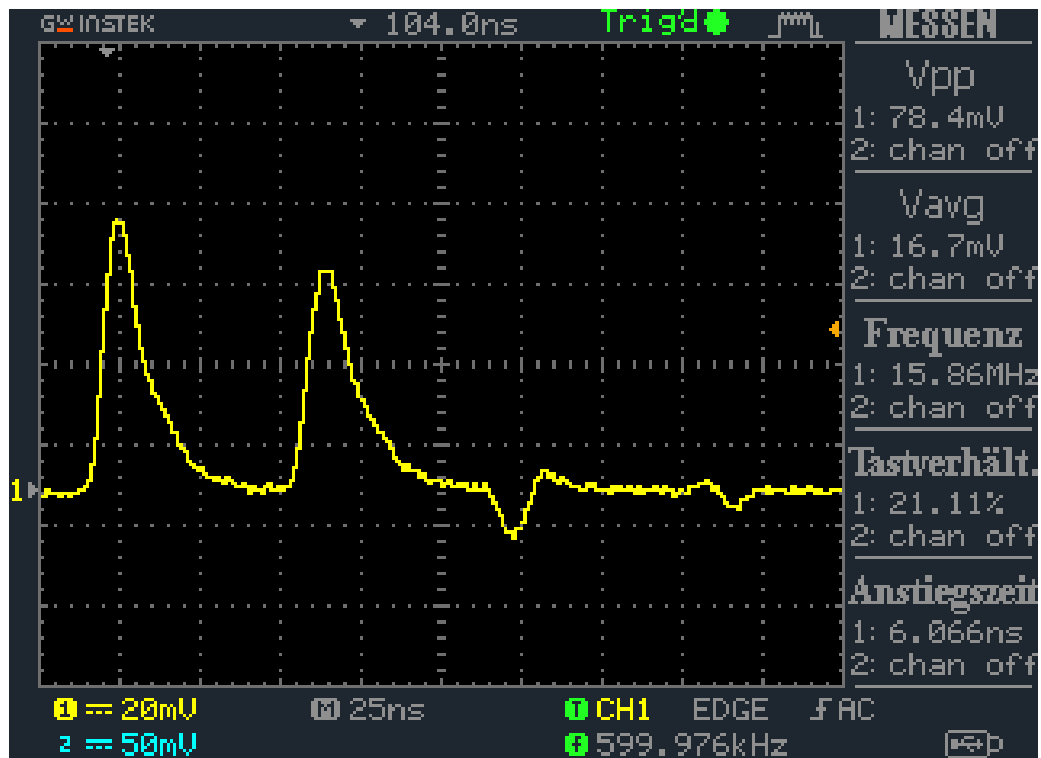


Figure 7: Einzelner Impuls mit Nachschwingung

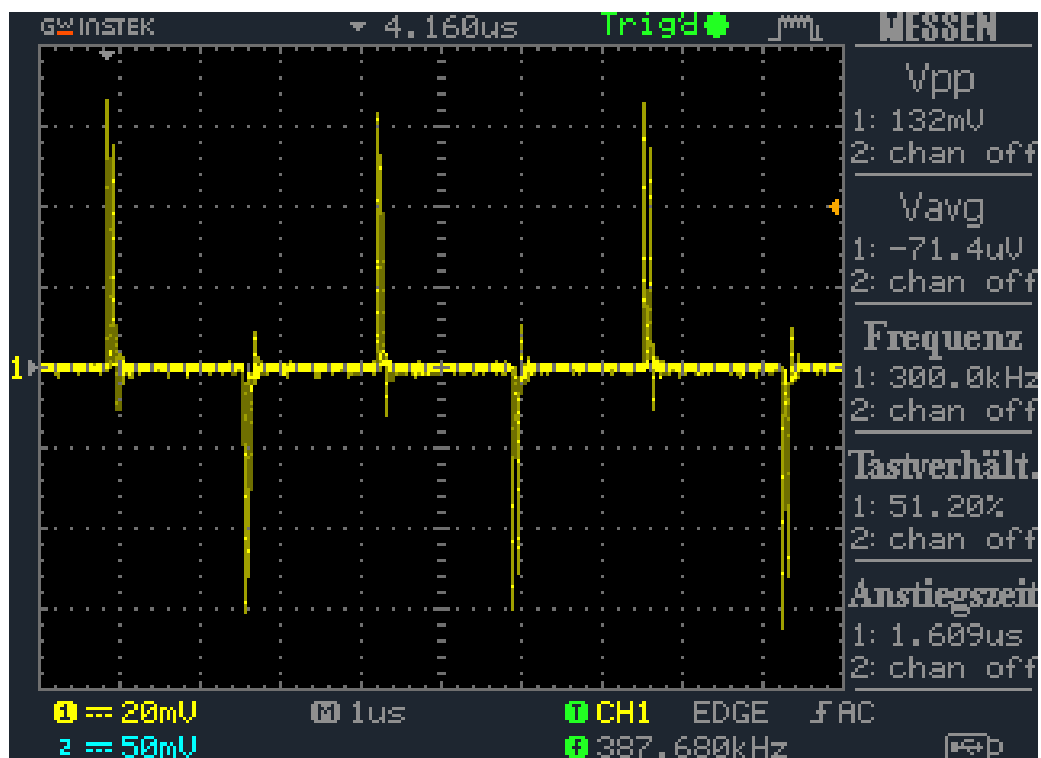


Figure 8: Mehrere Impulse mit Nachschwingung

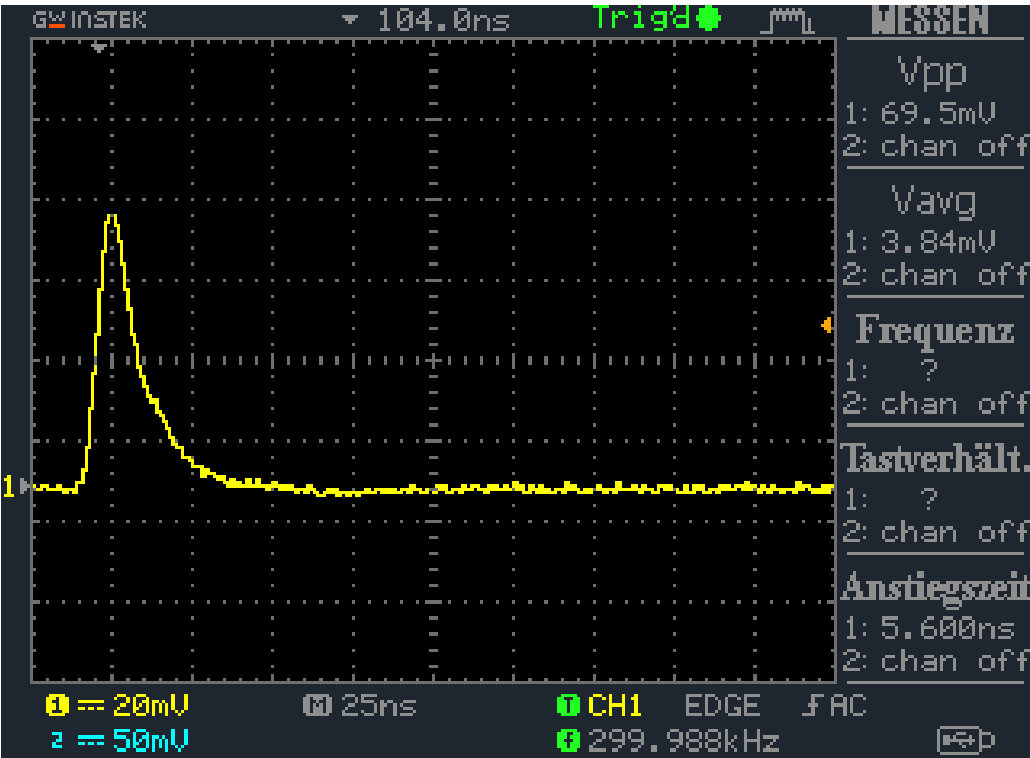


Figure 9: Einzelner Impuls ohne Nachschwingung

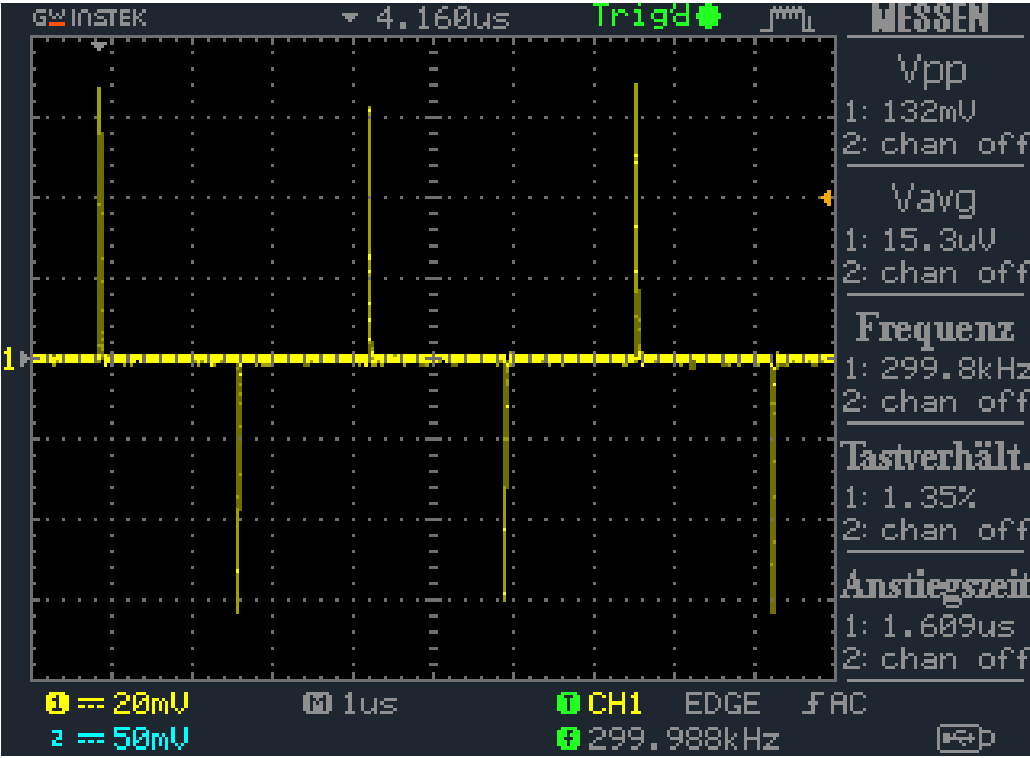


Figure 10: Mehrere Impulse ohne Nachschwingung

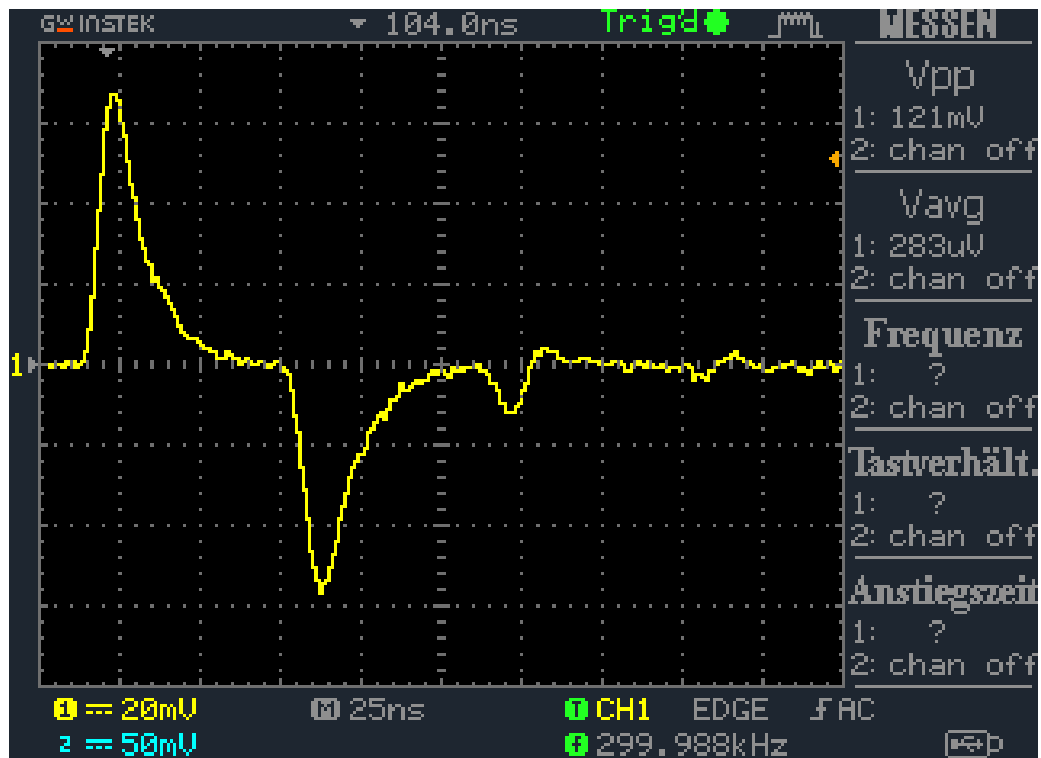


Figure 11: Einzelner Impuls mit gegenphasiger Nachschwingung

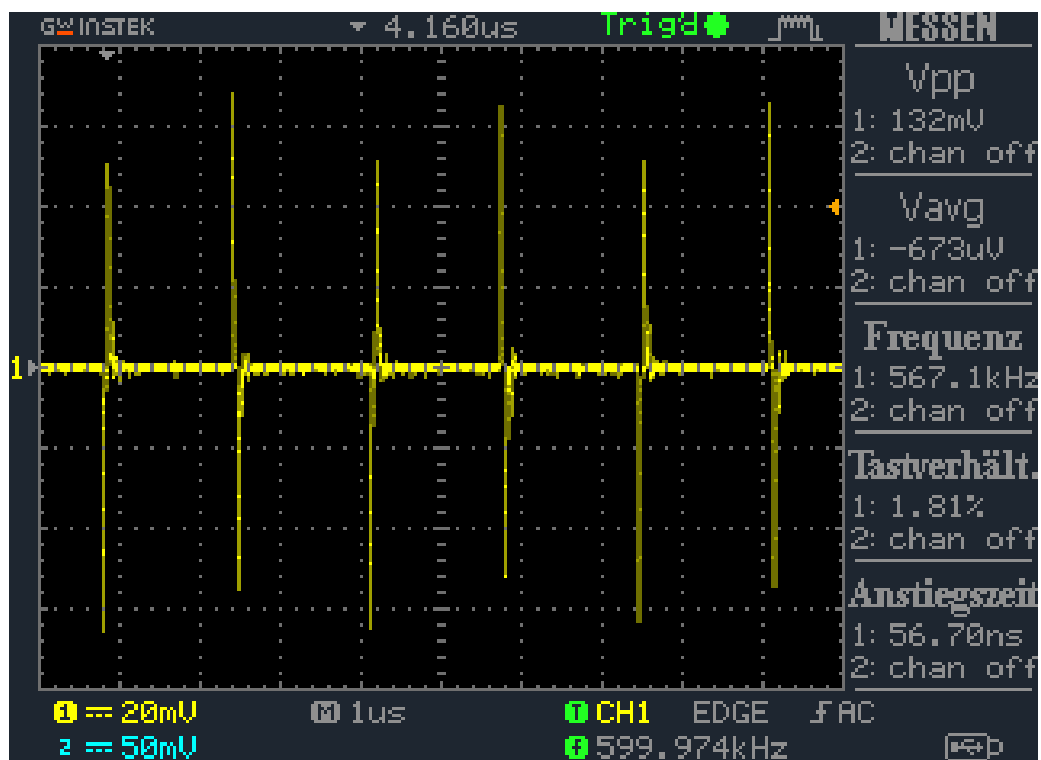


Figure 12: Mehrere Impulse mit gegenphasiger Nachschwingung

## List of Figures

1	Ersatzschaltbild zur Wellenausbreitung; Abbildung 1.3 [1] . . . . .	3
2	Impulse als Ableitung des Rechtecksignals . . . . .	6
3	Impulse mit Widerstand . . . . .	7
4	Schaltung mit offenen Enden . . . . .	8
5	Schaltung mit offenen Enden . . . . .	8
6	Schaltung mit offenen Enden . . . . .	8
7	Einzelner Impuls mit Nachschwingung . . . . .	9
8	Mehrere Impulse mit Nachschwingung . . . . .	9
9	Einzelner Impuls ohne Nachschwingung . . . . .	10
10	Mehrere Impulse ohne Nachschwingung . . . . .	10
11	Einzelner Impuls mit gegenphasiger Nachschwingung . . . . .	11
12	Mehrere Impulse mit gegenphasiger Nachschwingung . . . . .	11

## List of Tables

## Source

- [1] Fabian Hügging. *Elektronik–Praktikum Versuchsanleitung*. Universität Bonn, kurs b edition, 2024.