

Versuch 1: Ausbreitung von Signalen auf Leitungen

Cornelius Heiming

29.04.2025

1 Einleitung

2 Theorie

3 Voraufgaben

Voraufgabe A: Was muss man tun, um große Verzögerungszeiten zu erreichen?

Für große Verzögerungszeiten muss die Phasengeschwindigkeit $v_{\text{ph}} = \frac{1}{\sqrt{L'C'}}$ klein sein. Dies ist der Fall, wenn die Induktivität L' und die Kapazität C' pro Längeneinheit groß sind. Gemäß der Formel $v_{\text{ph}} = \frac{1}{\sqrt{L'C'}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}}$ ist dies der Fall, wenn die Leitung große relative Permittivität ϵ_r und große relative Permeabilität μ_r hat.

Voraufgabe B: Welche Konsequenz für den Wellenwiderstand haben die verschiedenen Möglichkeiten, die Verzögerungszeiten zu verändern?

Die Verzögerungszeit ist abhängig von den Leitungskonstanten L' und C' . Gemäß der Formel $Z = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$ im Idealfall verändert sich der Wellenwiderstand Z mit der Induktivität L' und entgegen der Kapazität C' . Im realen Fall ist die Beziehung zwischen Wellenwiderstand und Leitungskonstanten komplizierter, da auch die Widerstandsverluste R' und die Leitungsverluste G' eine Rolle spielen. Vom qualitativen Verhalten sollten allerdings ähnliche Aussagen wie im Idealfall gelten.

Voraufgabe C: Sei ein Kabel abgeschlossen mit $R_A = Z$. Wie hängt der Eingangswiderstand R_{in} des Kabels von seiner Länge ab?

Da das Kabel am Ende abgeschlossen ist, finden keine Reflexionen statt ($r = 0$). Also gleicht der Eingangswiderstand R_{in} gerade dem Wellenwiderstand Z , ist also unabhängig von der Länge des Kabels.

Voraufgabe D: Berechnen Sie die Phasengeschwindigkeit sowie den Wellenwiderstand eines Leiters mit den Eigenschaften $R_A/R_I = 2.3$, $\epsilon_r = 1.5$ und $\mu_r = 1.5$ unter Annahme eines verlustfreien Idelfalls. Was für eine Verzögerungszeit pro Meter ergibt sich daraus?

Im verlustfreien Fall gelten für die Phasengeschwindigkeit v_{ph} und den Wellenwiderstand Z die Formeln:

$$v_{ph} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r \mu_r}} = \frac{1}{\sqrt{1.5 \cdot 1.5}} = \frac{1}{\sqrt{2.25}} = \frac{2}{3},$$
$$Z = \sqrt{\frac{R_A/R_I}{\epsilon_r \mu_r}} = \sqrt{\frac{2.3}{1.5 \cdot 1.5}} = \frac{\sqrt{2.3}}{1.5} \approx 1.01.$$

Daraus ergibt sich für die Verzögerungszeit pro Meter:

$$\tau = \frac{1}{v_{ph}} = \frac{1}{\frac{2}{3}} = \frac{3}{2} = 1.5.$$

4 Versuchsaufbau, -durchführung, Messwerte und Auswertung

Zunächst werden die Seriennummern der verwendeten Laborgeräte notiert.

Versuchsaufgabe 1: Differenzierglied


Ein RC-Glied wird (ohne 2,2 k Ω 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 k Ω Abschlusswiderstand wiederholt.

Versuchsaufgabe 2: Impulse auf Kabeln

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 Oszillographen angezeigt, andererseits durch zwei hintereinandergeschaltete Kabel mit jeweils 50 Ω Wellenwiderstand geschickt. Zwischen den beiden Kabeln wird der Oszillograph im CH2 geschaltet. Der Funktionsgenerator dient als externer Trigger für den Oszillographen, die beiden Kanäle werden mit derselben Empfindlichkeit betrieben.

Versuchsaufgabe 3: Leitungsabschluss, Verzögerungszeit

Nun wird die Auswirkung unterschiedlicher Leitungsabschlüsse auf die Impulse untersucht.



Aufbau_1_1_Differenzierglied.png

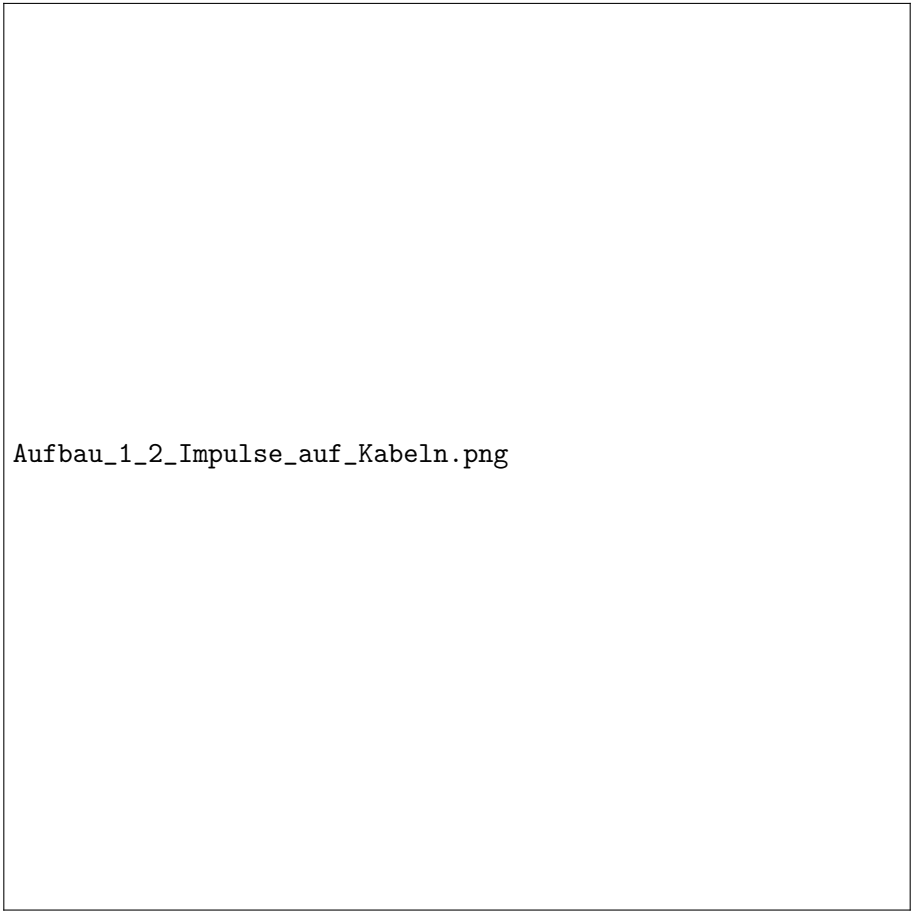
Abbildung 1: Aufbau des Differenzierglieds [**anleitung**]

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:

- (a) Offenes Ende
- (b) Offenes Ende im Detail ($\times 10$)
- (c) Kurzgeschlossenes Ende
- (d) Kurzgeschlossenes Ende bei verschiedenen Frequenzen (Zeitablenkung von $0,2\,\mu\text{s cm}^{-1}$)

Versuchsaufgabe 4: Klippkabel, Dämpfung

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:



Aufbau_1_2_Impulse_auf_Kabeln.png

Abbildung 2: Schaltplan für ein Kabel mit zwei offenen Enden [**anleitung**]

- (a) Klippkabel mit 50Ω Abschluss, d.h. offen
- (b) Klippkabel kurzgeschlossen
- (c) Klippkabel kurzgeschlossen mit variierter Frequenz
- (d) 2 m Klippkabel kurzgeschlossen

5 Fazit



Aufbau_1_3_Leitungsabschluss.png

Abbildung 3: Schaltplan für ein Kabel mit einem offenen und einem geschlossenen Ende
[anleitung]



Abbildung 4: Schaltplan für ein Klippkabel [**anleitung**]