Betreuer: Der Betreuer 13. November 2025

Messung der Ausbreitungsgeschwindigkeit von elektromagnetischen Wellen auf Kabeln

Moritz Langer Hannes Winkler

07.11.2025

Versuchsdurchführung: 06. November 2025
Protokollabgabe: 01. März 2006

1 Einleitung

2 Theorie

2.1 Wellenausbreitung auf Kabeln

2.1.1 Wellenwiderstand

Bei der Untersuchung von Kabeln gibt es zwei charakteristische Größen: Die relative Induktivität $L* = \frac{\text{Induktivität}}{\text{Längeneinheit}}$ und die relative Kapazität $C* = \frac{\text{Kapazität}}{\text{Längeneinheit}}$. Über deren Zusammenhang mit der Spannung

$$U_{\pm}(x,t) = \sqrt{\frac{L*}{C*}} \cdot I_{\pm}(x,t) = Z \cdot I_{\pm}(x,t)$$

lässt sich analog zu dem Ohmschen Gesetz der Wellenwiderstand Z des Kabels definieren. Wichtig zu beachten ist, dass es sich nicht um ein ohmschen Widerstand mit Verlusten handelt, sondern um einen Wellenwiderstand welcher das Verhältnis zwischen Spannung und Strom in dem Kabel angibt.

2.1.2 Reflexion

Sobald das Signal das Kabelende erreicht, wird es reflektiert. Die Art bzw. das Maß der Reflexion hängt hierbei von dem Widerstand R_v ab, welcher sich an dem Ende befindet. Dieses Maß nennt sich der Reflexionskoeffizient ρ welcher definiert ist über das Verhältnis zwischen der Amplitude der auslaufenden und der Amplitude der einlaufenden Welle und kann mithilfe des Ohmschen Gesetzes weiter vereinfacht werden als:

$$\rho = \frac{U_{-}(x,t)}{U_{+}(x,t)} = \frac{R_v - Z}{R_v + Z}$$

Anhand dieser Formel lassen sich drei Spezialfälle des Reflexionskoeffizient erkennen:

1. Kurzschluss der Leitung:
   Das reflektierte Signal entspricht dem einlaufenden Signal mit entgegengesetztem Vorzeichen. Die Wellen löschen sich am Kabelende aus
   Es gilt: $R_v = 0\Omega \Rightarrow \rho = -1$
2. Offenes Ende der Leitung:
   Das reflektiert Signal ist gleich dem einlaufenden Signal und diese addieren sich.
   Es gilt: $R_v = \infty \Rightarrow \rho = 1$
3. Reflexionsfreier Abschluss: Durch richtige Wahl des Abschlusswiderstandes bleibt die Reflexion aus und es gibt nur eine einlaufende Welle.
   Es gild $R_v = Z \Rightarrow \rho = 0$

2.1.3 Mathematische Beschreibung einer Welle

Im Fall 2.1.2.1 (Kurzschluss der Leitung) oder 2.1.2.2 (Offenes Ende der Leitung) kommt es am Ende des Signals zu einer Reflexion. Wenn zwei Wellen gleicher Frequenz und Amplitude sich überlagern entsteht eine stehende Welle, welche mathematisch als die Addition zweier gegenläufigen Wellen beschrieben wird:

$$\begin{aligned} y(x,t) &= A\sin(kx - \omega t) + A\sin(kx + \omega t) \\ &= 2A\sin(kx)\cos(\omega t) \end{aligned}$$

Die resultierende Welle zeigt (im Idealfall) Orte, an denen die Amplitude konstant 0 ist (sog. Knoten). Im Fall eines Koaxialkabels kommt es jedoch zu Dämpfung, weshalb die Knoten endliche Werte die jedoch ungleich 0 sind werden. In (HIER HYPERLINK ZU VERSUCH 2.1.2.2) wird mithilfe eines sinusförmigen Signals eine stehende Welle im Koaxialkabel erzeugt. Das Ende wird je nach Resonanzbedingung offen gelassen oder kurzgeschlossen.
Bei offenem Kabel gilt:

$$L = \frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \ldots$$

Bei kurzgeschlossenem Kabel gilt:

$$L = \frac{\lambda}{2}, \lambda, \frac{3\lambda}{2}, \ldots$$

3 Experiment

Abb. 1

4 Auswertung

Subshell	j values	Area ratio
s	$\frac{1}{2}$	—
p	$\frac{1}{2}, \frac{3}{2}$	$1:2$
d	$\frac{3}{2}, \frac{5}{2}$	$2:3$
f	$\frac{5}{2}, \frac{7}{2}$	$3:4$

Tabelle 1

5 Zusammenfassung

Literatur

[1]

[2]