

Labor Nachrichtentechnik

Versuch 2: Übertragungsleitungen

Modul/Unit-Nr. TELN3002.2

Kurs-Nr. TEL..... GR.....

Name der/s Studierenden:

-
- Laborausarbeitung in Ordnung.
 - Laborausarbeitung ungenügend.

Betreuer:.....

Ort/Datum:

Unterschrift:

I. Vorbereitende Fragen

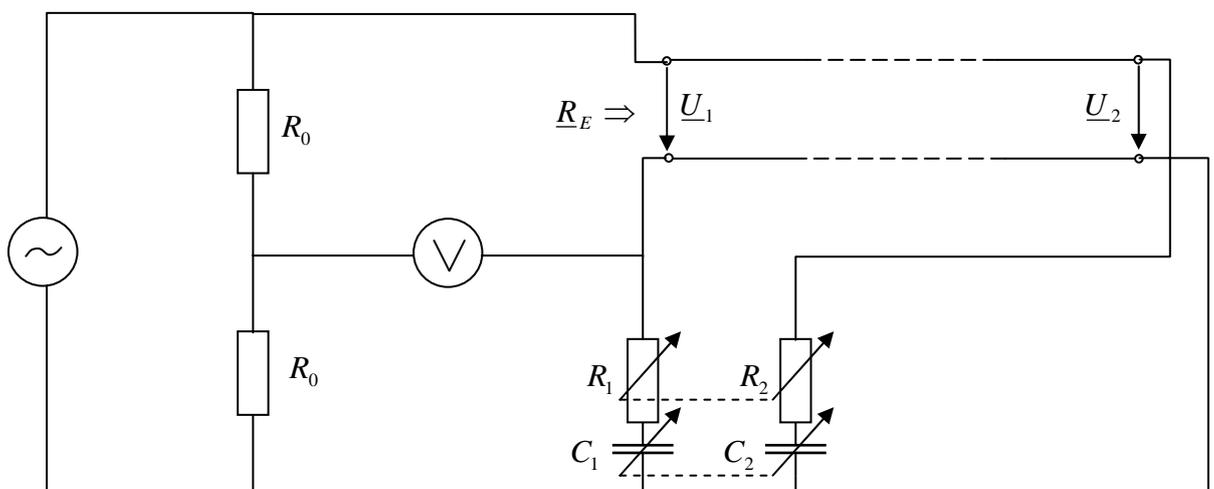
1. In welcher Form wird die elektromagnetische Energie über eine Leitung transportiert? Mit welcher Geschwindigkeit geschieht dies?
2. Was versteht man unter dem Ausbreitungskoeffizienten γ , dem Dämpfungskoeffizienten β und dem Phasenkoeffizienten α ?
3. Wie ist die Wellenlänge definiert?
4. Was versteht man unter einer elektrisch kurzen, was unter einer elektrisch langen Leitung?
5. Was ist eine homogene Leitung? Worin können Inhomogenitäten bestehen?
6. Was versteht man unter der Laufzeit einer Leitung? Wodurch ist sie bedingt?
7. Warum treten Reflexionen der hinlaufenden Spannungs- und Stromwelle am Abschlusswiderstand einer Leitung auf, wenn dieser nicht identisch mit dem Wellenwiderstand ist?

II. Erläuterungen

1. Messung von Leitungskennwerten

Messen des Wellenwiderstandes durch Messung des Eingangswiderstandes bei Abschluss durch den Wellenwiderstand

Der Eingangswiderstand einer Leitung ist identisch mit dem Wellenwiderstand, wenn die Leitung mit demselben abgeschlossen ist. Hierauf beruht das in Bild 1 dargestellte Messverfahren



Die Widerstände R_1 und R_2 sowie die Kondensatoren C_1 und C_2

werden synchron geändert, sodass stets $R_1 = R_2 = R$ und $C_1 = C_2 = C$ ist.

Ist die Brücke abgeglichen, so ergibt der eingestellte Wert von R und C den Wellenwiderstand

$$\underline{Z}_w = R + \frac{1}{j\omega C}$$

Das Messverfahren kann vorteilhaft nur bei Leitungsschleifen durchgeführt werden.

Aufgabe 1:

- a) Wieso kann man mit diesem Verfahren den Wellenwiderstand Z_w messen? Man erläutere den Messvorgang!
- b) Warum ist bei abgeglicherer Brücke der Dämpfungskoeffizient

$$\alpha = \frac{1}{l} \ln \left| \frac{U_1}{U_2} \right| ?$$

1) Messen des Wellenwiderstandes durch Messung von Kurzschluss- und Leerlaufwiderstand

Es sei \underline{W}_K der Eingangswiderstand der am Leitungsende kurzgeschlossenen Leitung und entsprechend \underline{W}_L der Leerlaufwiderstand der am Leitungsende offenen Leitung, Aus der Messung von \underline{W}_K und \underline{W}_L ergibt sich dann der Wellenwiderstand zu

$$\underline{Z}_w = \sqrt{\underline{W}_K \cdot \underline{W}_L}$$

Zur Ermittlung des Wellenwiderstands gemäß dieser Beziehung ist es vorteilhaft, \underline{W}_K und \underline{W}_L nach Betrag und Phase zu messen, also in der Form:

$$\underline{W}_K = |W_K| \cdot e^{j\varphi_K} ; \underline{W}_L = |W_L| \cdot e^{j\varphi_L}$$

Damit vereinfacht sich die Berechnung von \underline{Z}_w

$$\underline{Z}_w = |\underline{Z}_w| \cdot e^{j\varphi_w} = \sqrt{|W_K| \cdot |W_L|} e^{j(\varphi_K + \varphi_L)/2}$$

Aufgabe 2:

Aus der Vorlesung "Grundlagen der E-Technik" sind die folgenden Beziehungen bekannt:

$$\underline{W}_K = \underline{Z}_w \cdot \frac{1 - e^{-2\gamma l}}{1 + e^{-2\gamma l}} \quad \text{und} \quad \underline{W}_L = \underline{Z}_w \cdot \frac{1 + e^{-2\gamma l}}{1 - e^{-2\gamma l}}$$

- a) Man weise nach, dass $\underline{Z}_w = \sqrt{\underline{W}_K \cdot \underline{W}_L}$ gilt.
- b) Wie kann man aus den gemessenen Werten für \underline{W}_K und \underline{W}_L den Ausbreitungskoeffizienten γ und damit auch den Dämpfungskoeffizienten α und den Phasenkoeffizienten β berechnen?

- c) Man bestimme aus den bekannten Werten für \underline{Z}_w und γ die Leitungsbeläge R', L', C' und G' .
- d) Für Leitungen mit großer Dämpfung gilt näherungsweise für den Wellenwiderstand

$$\underline{Z}_w \approx \frac{1}{2} \cdot (\underline{W}_K + \underline{W}_L)$$

Man zeige die Richtigkeit dieser Behauptung. (Hinweis: Für komplexe Zahlen \underline{z} mit $|\underline{z}| \ll 1$ gilt:

$$\frac{1}{1 + |\underline{z}|} \approx 1 - \underline{z} \quad \text{und} \quad \frac{1}{1 - |\underline{z}|} \approx 1 + \underline{z}$$

2. Messung der Laufzeit-(und der Ausbreitungsgeschwindigkeit) sowie Untersuchung der Ab- schlussverhältnisse an Leitungen

Im Folgenden seien homogene verlustlose Leitungen betrachtet, bei denen der Wellenwiderstand reell ist:

$$\underline{Z}_w = Z_w = \sqrt{L'/C'}$$

Auf ihnen breiten sich Impulse, die am Eingang eingespeist werden, unverformt aus. Am Leitungsende erfolgt, sofern die Leitung nicht mit ihrem Wellenwiderstand \underline{Z}_w abgeschlossen ist, eine Reflexion der Impulse.

Speist man mit einem Generator, dessen Innenwiderstand gleich dem Wellenwiderstand ist, Impulse in die Leitung ein und beobachtet mit Hilfe eines Oszilloscops die Spannung am Leitungseingang, so kann man aus dem Zeitunterschied zwischen Sendeimpuls und reflektiertem Impuls auf die Laufzeit und zusammen mit der Leitungslänge auf die Ausbreitungsgeschwindigkeit schließen. Aus der Größe und der Polarität des reflektierten Spannungsimpulses sind Rückschlüsse auf die Abschlußverhältnisse am Leitungsende möglich.

Die Beobachtung von Impulsreflexion eignet sich bei bekannter Ausbreitungsgeschwindigkeit gut zum Aufsuchen von Fehlstellen in langen Kabeln.

Aufgabe 3:

Bei einem Kabel der Länge $l = 100$ m wurde zwischen Sendeimpuls und reflektiertem Impuls eine Zeitdifferenz von $\Delta t = 1 \mu s$ gemessen.

- a) Wie groß ist die Laufzeit T_l und die Ausbreitungsgeschwindigkeit v ?
- b) Man zeige, dass zwischen der auf den reellen Abschlusswiderstand Z_A einer verlustlosen Leitung zulaufenden Spannungswelle $u_h(l, t)$ und der reflektierten Spannungswelle $u_r(l, t)$ folgende Beziehung besteht:

$$u_r(l,t) = \frac{Z_A - Z_W}{Z_A + Z_W} u_h(l,t) \text{ bez. } r_A = \frac{u_r(l,t)}{u_h(l,t)} = \frac{Z_A - Z_W}{Z_A + Z_W}$$

Wie groß ist r_A für die folgenden Betriebsfälle?

- $\alpha)$ $Z_A = \infty$ (leerlaufende Leitung)
- $\beta)$ $Z_A = 0$ (kurzgeschlossene Leitung)
- $\gamma)$ $Z_A = R_A < Z_W$ (Unteranpassung)
- $\delta)$ $Z_A = R_A > Z_W$ (Überanpassung)

c) Welche Beziehung gilt zwischen der auf den Leitungsabschluss hinlaufenden Stromwelle $i_h(x,t)$ und der reflektierten Stromwelle $i_r(x,t)$?

Wird eine Leitung am Eingang von einem Generator gespeist, dessen Innenwiderstand nicht identisch mit dem Wellenwiderstand ist, kommt es auch hier zu Reflexionen. Die reflektierten Impulse überlagern sich den vom Generator gelieferten Impulsen, was unter Umständen zu einer Verformung der Sendeimpulse führt.

Verformungen der Impulse treten auch auf, wenn eine Leitung Verluste besitzt.

Aufgabe 4:

An eine homogene verlustlose Leitung werde zur Zeit $t = 0$ eine Gleichspannungsquelle mit der Leerlaufspannung U_0 und dem Innenwiderstand R_1 geschaltet (Bild 2).

Man skizziere jeweils den Spannungs- und Stromverlauf am Leitungsanfang und am Leitungsende für die folgenden Betriebsfälle der Leitung:

a) Leerlauf am Leitungsende ($R_2 = \infty$)

$$\alpha) R_1 = Z_W; \quad \beta) R_1 = 0; \quad \gamma) R_1 \gg Z_W$$

b) Kurzschluss am Leitungsende ($R_2 = 0$)

$$\alpha) R_1 = Z_W; \quad \beta) R_1 = 0; \quad \gamma) R_1 \gg Z_W$$

b) Kurzschluss am Leitungsende ($R_2 = 0$)

(Hilfsmittel: Reflektionsdiagramm $0 \leq x \leq l$ und $0 \leq t \leq 5T_1$)

III. Laborübungen

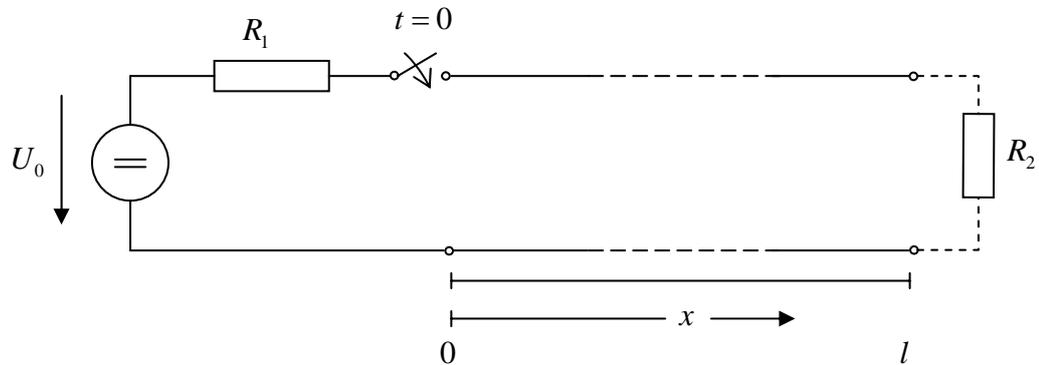


Bild 2

1. Leitungskennwerte

- Man messe im Frequenzbereich von 50 Hz bis 500 kHz den Kurzschluss- und Leerlaufwiderstand nach Betrag und Phase.
- Man stelle Betrag und Phase von Kurzschluss- und Leerlaufwiderstand als Funktion der Frequenz grafisch dar,
- Man bestimme aus den Messwerten den Wellenwiderstand $\underline{Z}_w(f)$ und stelle ihn als Ortskurve dar. Wie ist sein Verlauf zu erklären?
- Man bestimme aus den Messwerten für $f = 1 \text{ kHz}$ den Wert von $\gamma = \alpha + j\beta$

sodann berechne man für $f = 1 \text{ kHz}$ aus \underline{Z}_w und γ die Leitungskonstanten R' , G' , L' und C' .

2. Impulsübertragung auf Leitungen

2.1 Ein Generator mit dem Innenwiderstand 50Ω speist in eine Leitung eine Rechteckimpulsfolge mit der Frequenz $f_0 = 100 \text{ kHz}$ und der Impulsbreite $\tau = 0,2 \mu\text{s}$

- Man betrachte die Spannung am Eingang der Leitung, wenn am Leitungsende Kurzschluss bzw. Leerlauf vorliegt, und erkläre den Spannungsverlauf.
- Man bestimme die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Impulse im Kabel. Die Kabellänge beträgt 100m !

c) Man schlieÙe die Leitung mit einem variablen Widerstand $R \approx 0\Omega \dots 100\Omega$ ab und betrachte die Eingangsspannung für verschiedene Werte von R . Man gebe eine Erklärung für den Spannungsverlauf. Wann liegt Anpassung vor? Wie groß ist der Wellenwiderstand?

2.2 Der Innenwiderstand des Generators wird auf etwa 500Ω erhöht. Es wird wiederum in die Leitung die in 2.1 angegebene Rechteck-Impulsfolge eingespeist.

a) Man betrachte die Eingangsspannung der Leitung bei Kurzschluss und Leerlauf am Leitungsende und gebe eine Erklärung für den Spannungsverlauf.

b) Man schlieÙe die Leitung mit dem Wellenwiderstand ab und betrachte die Spannung am Leitungsanfang und Leitungsende. Man erkläre die Spannungsverläufe.

Welche Schlussfolgerungen kann man für die störungsfreie Übertragung von Impulsen aus den bisherigen Untersuchungen ziehen?

2.3 Aus einem Generator wird eine symmetrische Rechteckschwingung der Frequenz $f_0 = 100\text{kHz}$ in die Leitung eingespeist.

a) Man betrachte die Spannung am Leitungseingang, wenn am Leitungsausgang Kurzschluss bzw. Leerlauf herrscht und der Generatorinnenwiderstand 50Ω bzw. 500Ω beträgt. Man erkläre wiederum die Spannungsverläufe.

b) Die Leitung ist mit ihrem Wellenwiderstand abgeschlossen. Man betrachte die Spannung am Leitungseingang und Leitungsausgang, wenn der Innenwiderstand des Generators 50Ω bzw. 500Ω beträgt.

Wiederum gebe man eine Erklärung für die Spannungsverläufe.

2.4 Wie kann man die Dämpfung der Leitung aus den Spannungsverläufen entnehmen? Man bestimme die Leitungsdämpfung.

Hinweis: Von allen Spannungsverläufen ist jeweils ein typisch Oszillogramm zu skizzieren und in die Ausarbeitung aufzunehmen!

Benötigte Geräte für Laborversuch: "Übertragungsleitungen"

1 Oszilloskop	(HP	1741A)
1 Pulsgenerator	(WAVETEK	166)
1 Impedanzmesser	(HP	4800A)
2 T-Stücke		
2 Koaxialkabel		