

Ziel:

Es soll die Ausbreitung einer elektromagnetischen Welle auf einer Leitung untersucht werden. Dabei wird der Zusammenhang zwischen Strom und Spannung untersucht, die Reflexion erklärt und die Anpassung von verschiedenen Abschlüssen diskutiert.

Methoden:

Die elektromagnetische Welle wird von einem Hochfrequenzsender ausgesandt und beritet sich auf einem LEcherleitungssystem aus (Leiterpaar). Strom und Spannung werden mit induktiver bzw. kapazitiver Kopplung im Feld um die Leiter gemessen. Die Ausgangsleistung und auch die Rücklaufleistung bei reflektierten Wellen kann am Grundgerät gemssen werden.

Erläuterungen:

Bei Messungen am Lechersystem ist darauf zu achten, dass nicht durch Metallsteben im Tisch bzw. durch den Körper des Experimetators das Feld gestört wird.

Theorie:

Elektrizitätslehre, Schwingungen und Wellen, elektromagnetische Welle

Literatur:

Lehrbuch: Metzler S. 276 ff.

Geräte:

- 1 UHF-Sendestation SO-4100-1A, 433.92 MHz
- 1 Lecherleitung SO 4100-1C
- 2 Kurzschlussbügel SO 4100-1D
- 2 Lampenindikatoren SO 4100-1E
- 1 Anpasssymmetriergleid SO 4100-1F
- 1 Abschlusswiderstand 47Ω SO 4100-1G
- 1 Abschlusswiderstand 220Ω SO 4100-1H
- 1 Abschlusswiderstand komplex 220Ω SO 4100-1J
- 1 Handsonde für Stromanzeige SO 4100-3D
- 1 Handsonde für Spannungsanzeige SO 4100-3E
- 1 Mess- und Führungsschiene SO 4100-1L
- 1 Messkabel BNC/BNC LM 9034

Name: Klasse: **TC 3** Datum:

Beurteilung:

Auswertung

Genauigkeit

Fehlerrechnung/Fehlerdiskussion

Protokollführung

Summe

Grundlagen:

Elektromagnetische Wellen können auch auf Leitungen übertragen werden (Zweidrahtleitungen, Koaxialleitungen, Streifenleitungen, Hohlleiter). Mit der Leitungstheorie werden die Vorgänge auf den Leitungen erklärt. Beim Lechersystem handelt es sich um zwei parallele Leitungen. Ein Sender erzeugt sinusförmige Schwingungen mit der Frequenz von 433,92 MHz. Wird an die Zweidrahtleitung eine Wechselspannung angelegt, wird ein Wechselstrom "in die Leitung fließen". Man bezeichnet diese Erscheinung auch als "Hineinlaufen oder Vorlaufen einer Welle". Es gelten folgende Gleichungen:

(1) $u(t) = \hat{u} \sin \omega t$

(2) $U_F = Z_L \cdot I_F$

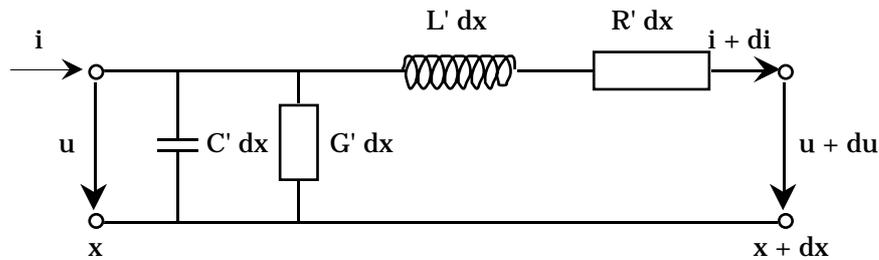
U_F = Spannung am Eingang der Leitung

I_F = Strom durch die Leitung

Z_L = Wellenwiderstand oder charakteristischer Widerstand der Leitung

Der Wellenwiderstand der Leitung ist kein reiner ohmscher Widerstand, er hängt auch vom Induktivitätsbelag L' und vom Kapazitätsbelag C' ab. Es gilt:

(3) $Z_L = \sqrt{\frac{L'}{C'}}$ (verlustlose Leitung)



Ersatzbild eines Leitungsstücks von x bis x + dx

$R', L', C', G' \dots$ Leitungsbeläge

$R = R' dx$ = Leitungswiderstand

$G = G' dx$ = Ableitung

$L = L' dx$ = Induktivität

$C = C' dx$ = Kapazität

Treten Längsverluste ΔR und Querableitverluste ΔG auf, so kann Z_L folgendermassen berechnet werden:

(4) $Z_L = \sqrt{\frac{R' + j\omega L'}{G' + j\omega C'}}$

Bei Hochfrequenzleitungen werden die Leitungsbeläge auf 1m Leiterlänge bezogen.

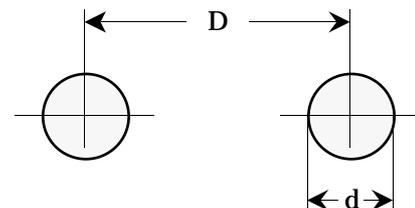
Für Leitungen ohne Verluste (meist bei kurzen Leiterstücken, wie im vorliegenden Experiment) ist der Wellenwiderstand frequenzunabhängig. Bei luftgefüllten Zweidrahtleitungen können die Leitungsbeläge L' und C' und der Wellenwiderstand aus den geometrischen Abmessungen berechnet werden. Es gilt:

(5) $Z_L = 120\Omega \cdot \ln \frac{2D}{d}$

D = Abstand der Leitungen

d = Durchmesser der Leitung

($D/d \geq 2,5$)



Der Wert von 120Ω ergibt sich bei einer "luftgefüllten Zweidrahtleitung" mit den Normabmessungen $\frac{2D}{d} = e = 2,71828$.

In der Praxis sind Leitungen endlich. Deshalb werden Wellen am Ende reflektiert, sofern nicht die vorhandene Energie in einem Widerstand abgeleitet wird (Anpassung der Leitung).



Leitung mit Verbraucher

Der Verbraucher Z_2 ist "angepasst", wenn $Z_L = Z_2$ ist. Dann wird die Energie der Welle voll in Z_2 aufgenommen. Bei Kurzschluss am Ende der Leitung wird die Welle reflektiert, und es kann am Ende ein Strommaximum beobachtet werden. Ist die Leitung offen ($Z_2 = \infty$), wird am Ende die Spannung maximal und der Strom zu Null. Die Welle wird ebenfalls reflektiert.

Je nach Grösse des Abschlusswiderstandes Z_2 (im Vergleich zum Leitungswiderstand Z_L) ergibt sich ein Reflexionsanteil, der zu einer rücklaufenden Welle mit der Spannung U_R und dem Strom I_R führt. Für die Grössen der rücklaufenden Welle gilt ebenso die Bedingung:

$$(6) \quad U_R = Z_L \cdot I_R$$

Hinlaufende und rücklaufende Welle überlagern sich und es entsteht eine stehende Welle. Der Reflexionsfaktor r wird folgendermassen definiert:

$$(7) \quad r = \frac{U_R}{U_F} = \frac{I_R}{I_F} = \frac{Z_2 - Z_L}{Z_2 + Z_L}$$

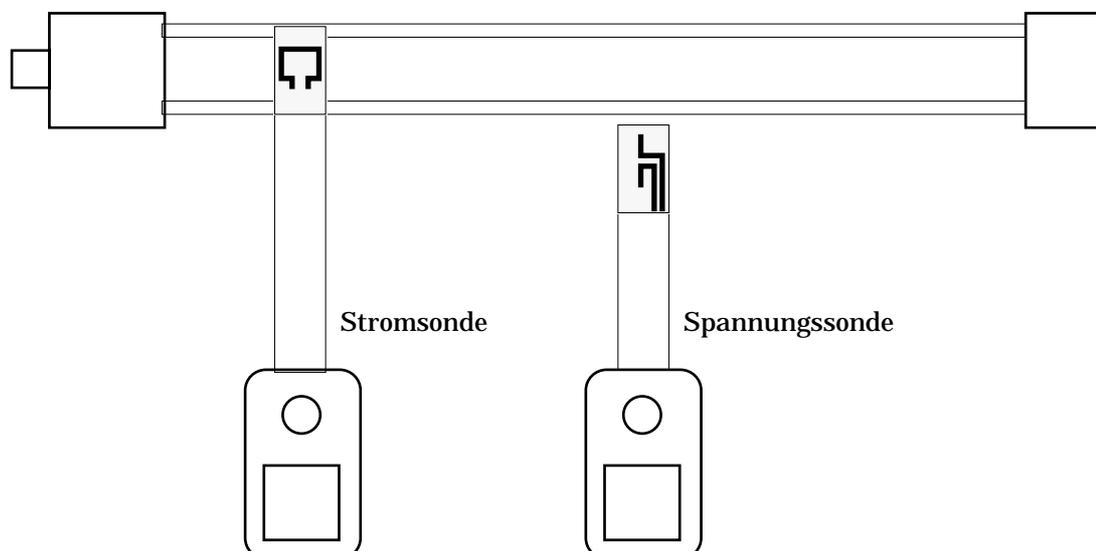
Als Mass für den Anpassungsgrad eines Abschlusses wird in der Praxis das Verhältnis von U_{\max} : U_{\min} definiert und als Welligkeit (Voltage Standing Wave Ratio = VSWR) angegeben:

$$(8) \quad \text{VSWR} = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{U_F + U_R}{U_F - U_R} = \frac{1 + r}{1 - r}$$

Messmethoden und Messgeräte:

Messungen an der Leitung:

Beim Aufbau ist darauf zu achten, dass keine Metallstrebe unterhalb der Tischplatte die Lecherleitung schneidet. Der Sender wird seitlich angeordnet, sodass bei der Bedienung nicht über die Leitung gefasst werden muss. Die Stromsonde wird ca. 0,5 cm parallel oberhalb oder unterhalb der Lecherleitung, die Spannungssonde wird in einem Abstand von 0,5 cm seitlich der Lecherleitung geführt. Zur Messung wird ein Strom- bzw. Spannungsmaximum aufgesucht und die Senderleistung so eingestellt, dass beide Sonden im Maximum Vollausschlag anzeigen (Drehknopf auf den Messgeräten).



Messeinrichtung am Sender:

Zwischen Endstufe des Senders und den Ausgangsbuchsen befindet sich ein Richtkoppler mit zwei Messzweigen. Der Messzweig U_F koppelt einen Teil der Energie aus, die vom Sender zur Lecherleitung fließt. Der Messzweig U_R koppelt einen Teil der zurücklaufenden Energie aus. In der Schalterstellung P_{OUT} und U_F wird am Messgerät die vorlaufende Leistung (bezogen auf einen reellen 50Ω -Abschluss) angezeigt. Mit SWR und U_F wird die vorlaufende Energie gemessen. Um die rücklaufende Leistung bzw. energie zu messen, muss nur auf U_R umgestellt werden.

Bei den Messungen von U_F und U_R ist dem Messwerk der Sensitivity-Einsteller vorgeschaltet. Wird U_F mit dem Sensitivity-Einsteller auf 100% eingestellt, kann man nach dem Umschalten auf U_R direkt die VSWR ablesen. Ebenfalls kann man die prozentuale Reflexion ablesen und daraus den Reflexionsfaktor bestimmen.

$$(9) \quad r = \frac{\text{prozentuale Reflexion } [U_R]}{100}$$

Achtung: vorher U_F auf 100% einstellen!

Durchführung des Experiments:

- 1. Vorlaufende Welle bei Anpassung:**
Bestimmen Sie aus den Abmessungen der Leitung den Wellenwiderstand. Schliessen Sie die Lecherleitung mit dem annähernd angepassten Lastwiderstand (220Ω) ab. Speisen Sie die Leitung mit einer vorlaufenden Leistung von etwa 1W. Tasten Sie mit der Spannungs- und Stromsonde den Spannungsverlauf und mit der Stromsonde den Stromverlauf längs der Leitung ab und zeichnen Sie beide Größen im selben Diagramm ein.
Messen Sie die reflektierte Spannung U_R und berechnen Sie den Reflexionsfaktor r aus dem abgelesenen Wert für VSWR.
Warum ist in der vorgegebenen Anlage der Reflexionsfaktor doch nicht gleich Null?
- 2. Messungen an der am Ende offenen Lecherleitung (Leerlauf):**
Die Ausgangsleistung wird auf 0,5W eingestellt. Strom- und Spannungsverlauf werden abgetastet und in einem Diagramm dargestellt. Ermitteln Sie den Reflexionsfaktor r und die Welligkeit VSWR.
Welcher Zusammenhang besteht zwischen dem Abstand zweier abgetasteter Spannungsminima und der Wellenlänge?
Welchen Abstand haben Spannungsminima und Strommaxima voneinander?
- 3. Messungen an der kurzgeschlossenen Lecherleitung:**
Wie Punkt 2 mit Kurzschluss am Ende.
Welche Unterschiede in der Spannungsverteilung können Sie gegenüber der leerlaufenden Leitung feststellen?
Können Sie aus den Messungen die Frequenz des Generators ermitteln?
- 4. Lecherleitung mit beliebigem Abschlusswiderstand:**
Als Abschlusswiderstand wird ein Drahtwiderstand mit starker induktiver Komponente eingesetzt (Normwert 220Ω). Messungen und Berechnungen wie in Punkt 2 und 3.
Welche Wirkleistung nimmt der Abschlusswiderstand im Vergleich mit dem angepassten Abschluss auf?