

Anhang AK: Akustische Leitungen

Die Differentialgleichungen für ebene, akustische Wellen mit Schwingungsrichtung in Ausbreitungsrichtung und TEM-Wellen auf Leitungen sind im verlustlosen Fall gleich. Allen elektrischen Größen und Einheiten sind nachfolgend die korrespondierenden akustischen Größen gegenübergestellt, die zum besseren Verständnis genauso heißen, aber zusätzlich einen hochgestellten Querstrich erhalten. Das Hauptproblem dabei sind die *Einheiten*.

1. Korrespondenzen zwischen elektrischen und akustischen Leitungen

Dgl.	Schalleitung elektr. Leitung	$\frac{\partial \bar{U}}{\partial z} = -\bar{L}' \frac{\partial \bar{i}}{\partial t}$ $\frac{\partial U}{\partial z} = -L' \frac{\partial i}{\partial t}$	$\frac{\partial \bar{i}}{\partial z} = -\bar{C}' \frac{\partial \bar{U}}{\partial t}$ $\frac{\partial i}{\partial z} = -C' \frac{\partial U}{\partial t}$
		Definition	Einheit
Strom i	entspricht	$\bar{i}(z,t)$	$\bar{A} = \text{m} / \text{s}$
Spannung U	entspricht	$\bar{U}(z,t)$	$\bar{V} = \text{N} / \text{m}^2 = \text{Pa}$
primäre Leitungs-konstanten	L' entspricht R',G' klein C' entspricht	\bar{L}' $\bar{C}' = \begin{cases} 1/E \\ K \\ 1/\kappa p_u \end{cases}$	$\bar{H} / \text{m} = \text{kg} / \text{m}^3$ $\bar{F} / \text{m} = \text{m}^2 / \text{N}$
			\bar{i} = Teilchengeschw. v_z \bar{U} = Druck p_z in z-Richtung \bar{L}' = Stoffdichte ρ \bar{C}' = „Elastizität“ (s.u.) E=Elastizitätsmodul <small>Stoff: fest</small> K=Kompressibilität <small>flüssig</small> κ =Adiabatexponent, <small>gas-</small> p_u =Umgebungsdruck <small>förmig</small>
sekundäre Leitungs-konstanten		$\bar{Z}_0 = \sqrt{\bar{L}' / \bar{C}'}$ $\beta = \omega \sqrt{\bar{L}' \bar{C}'}$	$\bar{\Omega} = \bar{V} / \bar{A} = \text{Ns} / \text{m}^3$ 1/m
Geschwindigkeit		$v_{\text{ph}} = \frac{\omega}{\beta(\omega)} = 1/\sqrt{\bar{L}' \bar{C}'}$	m/s
Wellenlänge		$\lambda = 2\pi/\beta = 1/[f \sqrt{\bar{L}' \bar{C}'}]$	m
Scheinleistung		$\bar{U} \bar{I}^*$	$\frac{\text{Nm} / \text{s}}{\text{m}^2} = \text{W} / \text{m}^2$
DC-Umgebungsdruck bei 0° C und Höhe=NN		$p_u = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 1,013 \cdot 10^5 \bar{V} = 1013 \text{ mbar} = 760 \text{ Torr}$ $1 \bar{V} = 1 \text{ Pa} = 1 \text{ Pascal}$	
Konz. Elemente ($\beta L < 0,3$) Leitung der Länge L mit KS am Ende		Induktivität gegen Masse mit $L^* = \frac{\bar{Z}_0 L}{v_{\text{ph}}}$ nach (2.34)	
Leitung der Länge L mit LL am Ende		Kapazität gegen Masse mit $C = \frac{L}{\bar{Z}_0 v_{\text{ph}}}$ nach (2.36)	

Für bekannte Stoffdichte ρ und Elastizität lassen sich alle Größen ebenso wie bei gewöhnlichen Leitungen ausrechnen. Am besten bleibt man in den mechanischen Grundeinheiten und schreibt anstelle der hier eingeführten Einheiten mit hochgestelltem Querstrich (z.B. „ \bar{A} “) einfach wieder V, A und Ω , so wie man es aus der Elektronik gewohnt ist. Damit ist die wichtige Frage nach den Einheiten geklärt. Die Gleichungen folgen auch aus Kapitel 1.

Beispiel:

Im folgenden werden alle Querstriche wieder weggelassen. Bild AK.1 zeigt eine Membran, die eine ebene Schallwelle in Richtung einer Holzplatte sendet. Die Welle transmittiert zum Teil durch das Holz und reflektiert. Eine $\lambda/4$ -Schicht paßt den Wellenwiderstand der Membran an den der Luft an. Das Z_0 der $\lambda/4$ -Schicht ist nach (1.23) das geometrische Mittel dieser beiden Widerstände. Bei A sieht man dann nach links den Innenwiderstand Z_{01} und eine Generatorspannung \underline{U}_G' .

Wir interessieren uns für die Dämpfung der Platte, wobei der Begriff „Dämpfung“ etwas näher zu erläutern ist: Die Platte verhält sich wie ein verlustloses LC-Filter mit einem Gewinn nach (2.46). Die im Nenner stehende maximal verfügbare Generatorleistung $P_{G \max} = |\underline{U}_G'|^2 / [4 \operatorname{Re}(Z_{01})]$

erhielte man genau dann, wenn die Platte weggezogen würde. Im Zähler von (2.46) steht andererseits diejenige Leistung, die man *mit* Platte im Lastwiderstand mißt. Der Lastwiderstand ist der Eingangswiderstand der rechten Leitung, der gleich dem Wellenwiderstand ist, wenn von rechts keine Reflexionen kommen. Das nehmen wir an. Damit ist der Gewinn G der uns interessierende Bruchteil, der durch die Platte transmittiert.

An der Stelle B sieht man in Teilbild b) nach links den Innenwiderstand Z_{01} . Aufgabe 6 aus Kap. 1.2 zeigt, daß sich bei einem Generator über eine angepaßte Leitung nur die Phase ändert. Der Betrag bleibt in Teilbild c) mit $|\underline{U}_G'| = |\underline{U}_G|$ daher gleich. Folglich muß man für das Ersatzbild c) nur noch Z_{01} der Luftleitung und Z_{02} und $\gamma_2 L_2$ der Holzleitung ermitteln. Die unbekannte Generatorspannung, die in Wirklichkeit einen Druck darstellt, geht in den Gewinn G nie ein. Es mögen nun die folgenden Daten gelten:

- 1) **Luftleitung** gegeben ist: 1) Stoffdichte $\rho = L' = 1,29 \text{ kg/m}^3 = 1,29 \text{ H/m}$.
 2) Adiabatenexponent $\kappa = 1,4$ bei 0° C , so daß sich bei NN $C' = 1/\kappa p_u = 7,05 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{N} = 7,06 \text{ }\mu\text{F/m}$ errechnet.

Mit Glg. (1) folgt $Z_{01} = 427,5 \text{ }\Omega$ und mit (1.39) sowie (1.49) $v_{\text{ph1}} = 1/\sqrt{L'C'} = 331,3 \text{ m/s}$.

- 2) **Holzleitung** gegeben ist: 1) $v_{\text{ph2}} = 4180 \text{ m/s}$ (Tannenholz)
 2) $Z_{02} = 2 \cdot 10^5 \text{ Ns/m}^3 = 200 \text{ k}\Omega$

Für die Holzleitung ist $\gamma_2 L_2$ zu ermitteln. Ohne Verluste ($\alpha_2 = 0$) gilt dann $\gamma_2 L_2 = j\beta_2 L_2$ und mit (1.59) $\gamma_2 L_2 = j \omega \tau_{\text{ph2}} = j \omega L / v_{\text{ph2}}$. Als Beispiel wählen wir die Frequenz $f = 1 \text{ kHz}$ und eine Dicke $L_2 = 1 \text{ cm}$ der Holzplatte. Dann wird $\gamma_2 L_2 = j 0,015$. Damit sind in Teilbild c) alle Größen bekannt. Für den Gewinn nach (2.47) benötigt man die Spannungsverstärkung v (komplexe Druckübersetzung). Den Wert berechnen wir mit TWOP:

ZG=ZL = $Z_{01} = 427,5$ einspeichern

DATL Holzleitung: ZW= $2 \cdot 10^5$ und GAL= $j 0,015$ setzen

AMP CALC liefert die komplexe Druckübersetzung $v = 0,137 / -74,1^\circ$.

Wegen $Z_G = Z_L = \text{reell}$ wird nach (2.47) der Gewinn $G = 4 |v|^2 = 0,0751$. In Dezibel ergibt sich ein Gewinn von $10 \log 0,0751 \text{ dB} = -11,2 \text{ dB}$ oder eine **Dämpfung von 11,2 dB**.

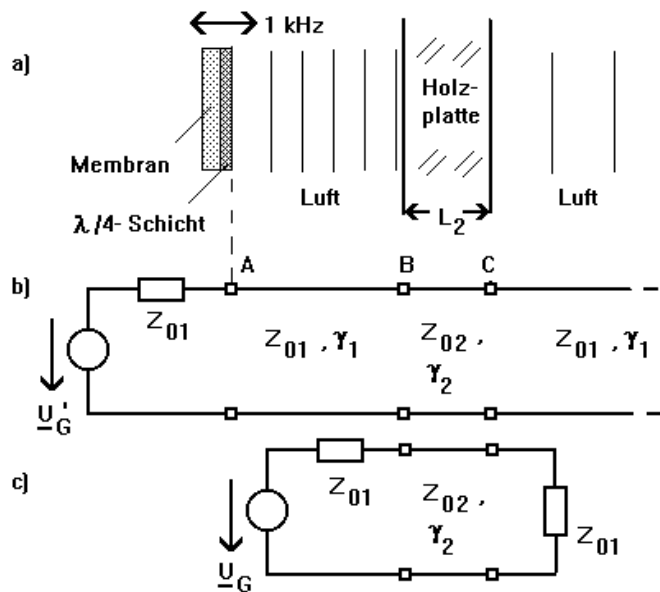


Bild AK.1 a) Membran mit $\lambda/4$ -Anpaßschicht
 b) Leitungersatzbild
 c) Ersatzbild ohne Reflexionen am Ende