

Strömungsakustik I WS 07/08, Übungsaufgaben Blatt 1

Abgabetermin: 21. Dez. 2007

Aufgabe 1: Rohr mit Wasser gefüllt

(4 Punkte)

In einem mit Wasser gefüllten Rohr (ruhendes Medium) breitet sich eine ebene Ultraschallwelle aus. Der Durchmesser des Rohres beträgt 0.5 m, und die Frequenz der Welle ist 40 kHz. Im zeitlichen Mittel bewirkt die Welle 100 Watt akustische Leistung durch das Rohr

Aufgabe:

Berechne folgende Größen im Rohr:

- die Wellenlänge
- den Schalldruckpegel in dB
- die maximale Teilchengeschwindigkeit und
- die maximale Auslenkung der Teilchen in der Welle.

Hinweis:

Die Dichte des Wassers im Rohr beträgt 1000 kg/m^3 und die Schallgeschwindigkeit ist 1450 m/s .

Aufgabe 2: Überlagerte Töne

(4 Punkte)

Ein Geräusch wird erzeugt indem 80 reine Töne (sinusförmige Druckschwingung) unterschiedlicher Frequenz überlagert werden. Jeder reine Ton bewirkt einzeln einen Schalldruckpegel von 60 dB an einem bestimmten Punkt.

Frage:

Wie groß ist der Schalldruckpegel des resultierenden Geräusches an diesem Punkt?

Hinweis:

Im ersten Schritt berechnet man das Quadrat des überlagerten Signals. Davon kann dann der zeitliche Mittelwert gebildet werden, um den Effektivwert des überlagerten Signals zu bestimmen. Die Regel

$$\cos(\alpha) \cos(\beta) = \frac{1}{2} [\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)]$$

könnte dabei nützlich sein.

Aufgabe 3: Membran im Rohr

(4 Punkte)

In einem gasgefüllten Rohr breitet sich eine ebene harmonische Welle aus, die auf eine Membran trifft. Auf beiden Seiten der Membran herrschen die gleichen Bedingungen. Die Membran ist zwar gasdicht, jedoch ist sie sehr flexibel befestigt. Die Dynamik der Membran kann vereinfacht durch die Bewegung eines Kolbens beschrieben werden, die durch eine Rückstellkraft (Federkraft) und die Kolbenmasse bestimmt wird. Die Reibung kann vernachlässigt werden. An der Membran wird die eintreffende Welle teilweise reflektiert. Zusätzlich entsteht auf der anderen Seite im Rohr eine transmittierte Welle.

Aufgaben:

- Leite einen Ausdruck für die Impedanz Z der Membran her.
- Leite Ausdrücke für den Reflexionsfaktor $R(\omega)$ und den Transmissionsfaktor $T(\omega)$ her. Diskutiere den Verlauf der beiden Größen (mit Skizze). Bei welcher Frequenz wird $R = 0$? Was passiert im Grenzfall $\omega \rightarrow \infty$?

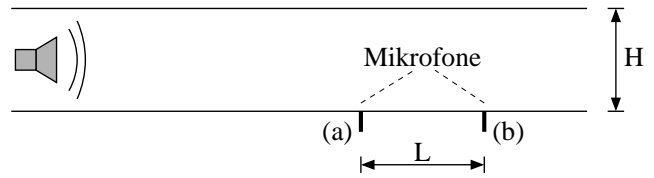
Hinweis:

Es soll die Impedanz Z als Funktion der Größen wie zum Beispiel die Frequenz ω , die Masse des (gedachten Kolbens) M , dessen Federkonstante D und die Querschnittsfläche Q ausgedrückt werden. Z , R und T können komplex sein. Bei der Auftragung sollte beide Anteile, Real- und Imaginärteil, betrachtet werden. Die Skizze des Verlaufs sollte in den interessanten Frequenzbereich abdecken. Es sollte beginnend mit $\omega = 0$ in jedem Fall deutlich über die Frequenz hinausgehen, bei der $R = 0$ wird. Die Frequenzskala könnte zum Beispiel mit dieser Frequenz normiert werden.

Aufgabe 4: Zerlegung in Moden

(4 Punkte)

In einem ebenen Kanal (zweidimensional) mit schallharten Wänden befindet sich eine Lautsprecher, der Schallwellen mit einer Frequenz von $f = 220$ Hz anregt. Die Schallwellen breiten sich im Kanal aus. Der Kanal ist mit Luft unter Normalbedingungen gefüllt ($c = 340$ m/s). Die



Breite des Kanals beträgt $H = 1$ m. So können sich bei den gegebenen Bedingungen nur die Grundmode und die erste höhere Mode ausbreiten. In einiger Entfernung vom Lautsprecher sind in einer Kanalwand zwei Drucksensoren im Abstand von $L = 1.2$ m eingelassen. Die beiden Sensoren messen Signale $p'_a(t)$ und $p'_b(t)$, die sich in der Form $p'(t) = C \cos(2\pi f t + \varphi)$ darstellen lassen. Die Signale müssen beide die gleiche Frequenz f besitzen, jedoch unterscheiden sie sich in der Amplitude C und der Phase φ . Die Druckmessungen ergeben einen Phasenunterschied von $\varphi_b - \varphi_a = -160^\circ$. Die Amplituden werden mit $C_a = 3.02$ Pa und $C_b = 4.16$ Pa bestimmt. Dabei steht der Index (a) für den Sensor, der (wie in der Abbildung skizziert) dichter an der Quelle liegt. Es wird angenommen, dass alle nicht ausbreitungsfähigen Moden an den Sensoren vollständig abgeklungen sind. Das heißt, die Signale $p'_a(t)$ und $p'_b(t)$ werden ausschließlich durch eine Überlagerung der beiden ausbreitungsfähigen Moden erzeugt.

Fragen:

- Ab welcher Frequenz f kann sich die erste, zweite und dritte höhere Mode in dem Kanal ausbreiten?
- Zerlege das gemessene Schallfeld in seine modalen Anteile. Wie stark sind die beteiligten Moden (welche maximale Druckschwankung würden die beteiligten Moden an den Sensoren bewirken, wenn sie isoliert vorliegen würden)?

Hinweis:

Im Prinzip gibt es vier Unbekannte. Dies sind die beiden (reellen) Amplitude und die beiden Phase der beiden beteiligten Moden (Grundmode und erste höhere Mode). Diese vier Unbekannten können auch in zwei komplexe Amplituden zusammengefasst werden (komplexe Darstellung!). In der Aufgabenstellung sind drei Größen gegeben. Das sind die beiden Amplituden an den Mikrofonpositionen und die Phasendifferenz. Daraus lassen sich drei Bedingungen an die Unbekannten ableiten. Es ist also nicht möglich, die vier Unbekannten vollständig zu bestimmen. Es wird allerdings auch nur nach zwei Größen gefragt: die Stärke der Moden, was den Beträgen der komplexen Amplituden entspricht. Nach der absoluten Phase der Moden ist nicht gefragt!