

Schwingkreis, Schallwellen und Schwebung**Aufgaben**

- 1 Ein Schwingkreis besteht aus einem Kondensator mit der Kapazität $C = 100 \text{ nF}$ und einer Spule mit der Induktivität $L = 35 \text{ mH}$. Zum Zeitpunkt $t = 0 \text{ s}$ ist der Kondensator vollständig geladen und der Schwingkreis beginnt mit seiner Eigenfrequenz $f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$ harmonisch zu schwingen.

- 1.1 Die Schwingung sei zunächst ungedämpft. Berechnen Sie die Eigenfrequenz f_0 und die Schwingungsdauer T des Schwingkreises. Beschreiben Sie die Energieumwandlungen, die im Laufe einer halben Schwingungsperiode im Schwingkreis stattfinden. Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der auftretenden Energieformen und der Gesamtenergie im genannten Zeitraum.

(8 BE)

- 1.2 In der Realität sind Schwingungen stets gedämpft. In Material 1 ist die zeitliche Abhängigkeit der Amplitude der Spannung \hat{U} des Kondensators angegeben. Weisen Sie nach, dass die Abnahme der Amplitude der Spannung exponentiell verläuft. Stellen Sie mithilfe der Werte aus Material 1 die gedämpfte Schwingung über zwei Schwingungsperioden in einem t - U -Diagramm dar.

(6 BE)

- 1.3 Der Schwingkreis wird nun von einem Frequenzgenerator zu einer erzwungenen sinusförmigen Schwingung mit der Frequenz f_E angeregt. In Material 2 ist die Resonanzkurve, also die Abhängigkeit der Amplitude der Stromstärke \hat{I} von der Erregerfrequenz f_E , für verschiedene Ohm'sche Widerstände R des Schwingkreises dargestellt.

- 1.3.1 Erläutern Sie anhand der Skizze den physikalischen Effekt der Resonanz und den Begriff der Resonanzkatastrophe. Skizzieren Sie einen möglichen Verlauf der Resonanzkurve für den Fall $R = 0 \Omega$ (ungedämpfter Fall) in Material 2.

(5 BE)

- 1.3.2 Die sich bei der erzwungenen Schwingung einstellende Amplitude der Stromstärke \hat{I} ist abhängig von der Erregerfrequenz f_E , der maximalen Spannung des Frequenzgenerators U_E und den Eigenschaften der weiteren Bauteile des Schwingkreises (Ohm'scher Widerstand R , Induktivität L der Spule und Kapazität C des Kondensators). Der genaue Zusammenhang lautet:

$$\hat{I} = \frac{U_E}{\sqrt{R^2 + \left(2\pi \cdot f_E \cdot L - \frac{1}{2\pi \cdot f_E \cdot C}\right)^2}}.$$

Zeigen Sie mithilfe dieser Formel, dass für den Fall $R = 0 \Omega$ und $f_E \rightarrow f_0$ die Amplitude der Stromstärke \hat{I} gegen unendlich geht.

(6 BE)

- 1.4 Eine Antenne zur Aussendung elektromagnetischer Strahlung kann vereinfacht als ein Schwingkreis angesehen werden, dessen Eigenfrequenz f_0 sehr groß ist. In Material 3 ist in fünf Abbildungen gezeigt, wie ein Schwingkreis schrittweise in eine Antenne transformiert wird. Begründen Sie anhand der Abbildungen 1 bis 3 des Materials und unter Verwendung entsprechender Formeln, dass die Kapazität C des Kondensators und die Induktivität L der Spule durch die Transformation sehr klein und in der Folge die Eigenfrequenz f_0 der Antenne sehr groß wird. Der Kondensator soll dabei durchgehend wie ein Plattenkondensator und die Spule wie eine lange Zylinderspule betrachtet werden.
- (6 BE)
- 2 Ein Frequenzgenerator erzeugt eine Wechselspannung mit der Frequenz f . An den Frequenzgenerator ist ein Lautsprecher angeschlossen. Die Wechselspannung wird außerdem mithilfe eines Oszilloskops visualisiert (Material 4). Ein Oszilloskop ist ein elektronisches Messgerät, welches den zeitlichen Verlauf einer Spannung darstellen kann. Unmittelbar gegenüber dem Lautsprecher befindet sich ein Mikrofon, dessen Ausgangssignal zusätzlich mithilfe desselben Oszilloskops angezeigt wird. In Material 5 sind beide Signale auf dem Schirm des Oszilloskops dargestellt.
- 2.1 Bestimmen Sie mithilfe von Material 5 die Frequenz der Schallwellen.
[zur Kontrolle: $f = 2,5 \text{ kHz}$]
- (2 BE)
- 2.2 Die Distanz zwischen Mikrofon und Lautsprecher wird um 51 mm vergrößert. Dabei verschiebt sich das vom Mikrofon aufgezeichnete Signal relativ zum Signal des Lautsprechers um weitere 1,5 Skalenteile nach rechts. Erklären Sie qualitativ, wie es zu dieser Verschiebung der Signale kommt, und berechnen Sie aus den gegebenen Daten die Schallgeschwindigkeit c und die Wellenlänge λ der Schallwellen.
- (6 BE)
- 2.3 Der Lautsprecher erzeugt nun einen Ton mit der Frequenz f_1 . Ein zweiter Lautsprecher erzeugt phasengleich einen Ton mit gleicher Amplitude s_{\max} , aber leicht geringerer Frequenz f_2 .
- 2.3.1 In Material 6 ist das vom Mikrofon bei Überlagerung der beiden Töne gemessene Signal dargestellt. Es handelt sich um eine Schwebung. Die Frequenz dieses Schwebungstons beträgt $f = \frac{f_1 + f_2}{2}$. Die Schwebungsfrequenz lässt sich mit der Formel $f_s = f_1 - f_2$ berechnen. Erläutern Sie mithilfe von Material 6, welchen Höreindruck ein Mensch wahrnimmt, und ermitteln Sie mithilfe des Materials die Frequenzen f_1 und f_2 der überlagerten Töne.
[zur Kontrolle: $f_1 = 61 \text{ Hz}$, $f_2 = 59 \text{ Hz}$]
- (6 BE)
- 2.3.2 Die Schwingung $s(t)$ der Luftmoleküle am Mikrofon kann durch die Gleichung $s(t) = 2 \cdot s_{\max} \cdot \cos\left(2\pi \cdot \left(\frac{f_1 - f_2}{2}\right) \cdot t\right) \cdot \sin\left(2\pi \cdot \left(\frac{f_1 + f_2}{2}\right) \cdot t\right)$ beschrieben werden. Geben Sie an, welcher der beiden trigonometrischen Terme für die periodische Änderung der Amplitude verantwortlich ist. Berechnen Sie mithilfe dieser Gleichung den ersten Zeitpunkt (nach $t = 0 \text{ s}$), bei welchem die Amplitude der in Material 6 dargestellten Schwebung minimal wird.
- (5 BE)

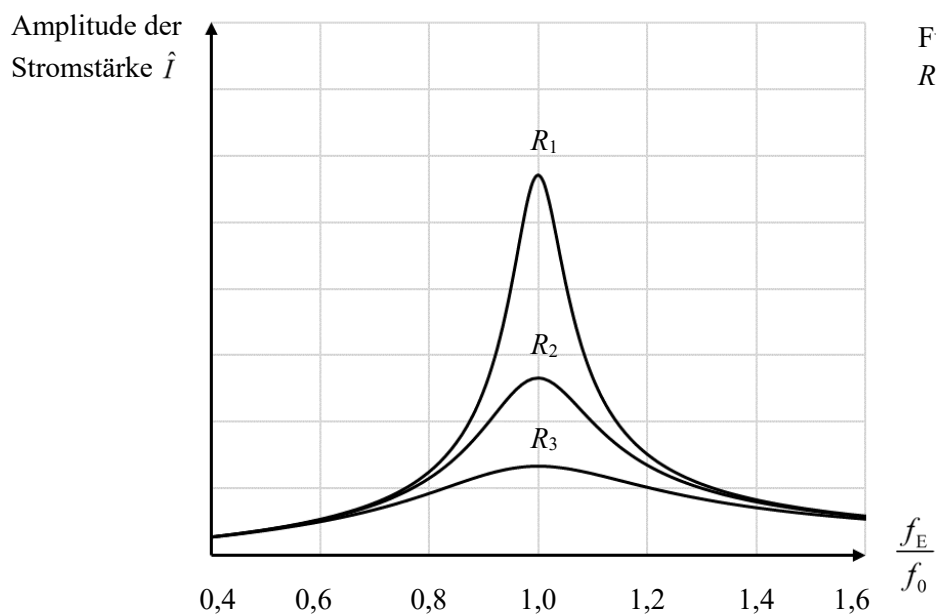
Material 1

Amplitude der Spannung am Kondensator

Zeit t	0	$T/2$	T	$3T/2$	$2T$
Amplitude der Spannung \hat{U} in V	10,00	8,94	8,00	7,16	6,40

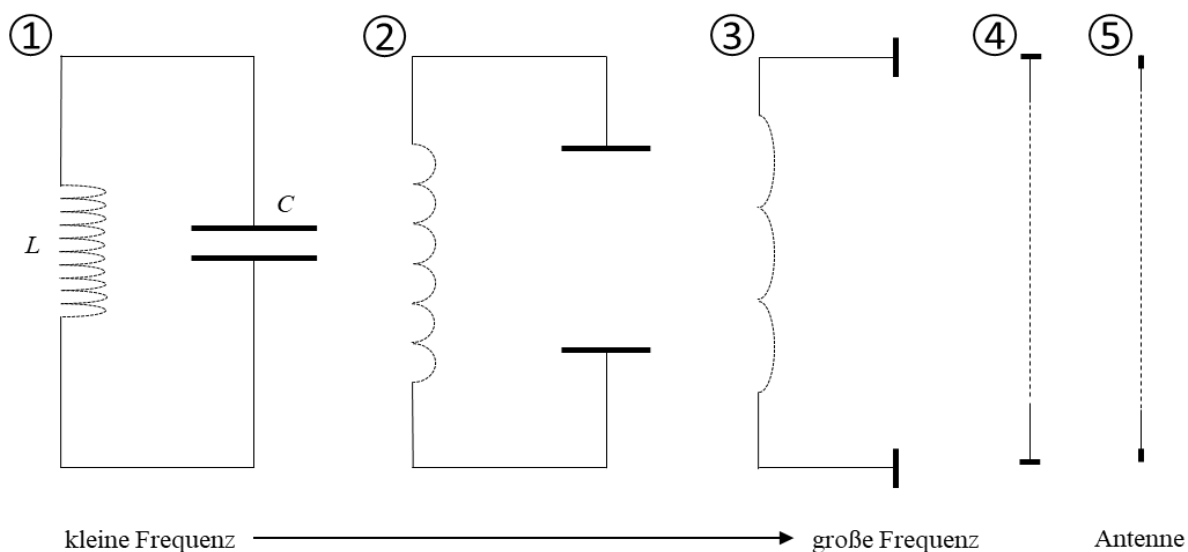
Material 2

Resonanzkurve Schwingkreis



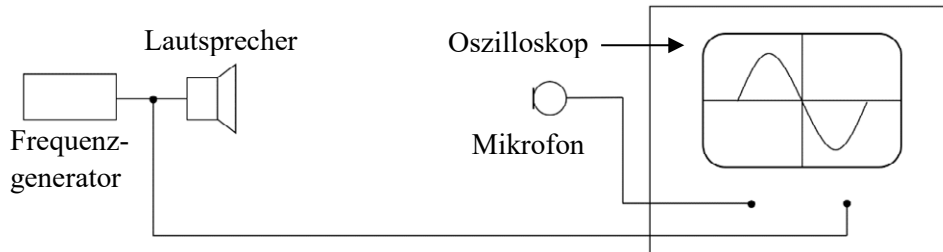
Material 3

Übergang vom Schwingkreis zur Antenne



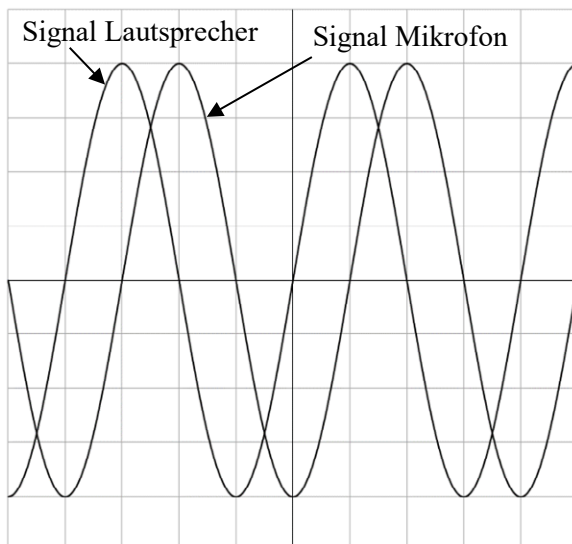
Material 4

Versuchsaufbau zur Vermessung von Schallwellen



Material 5

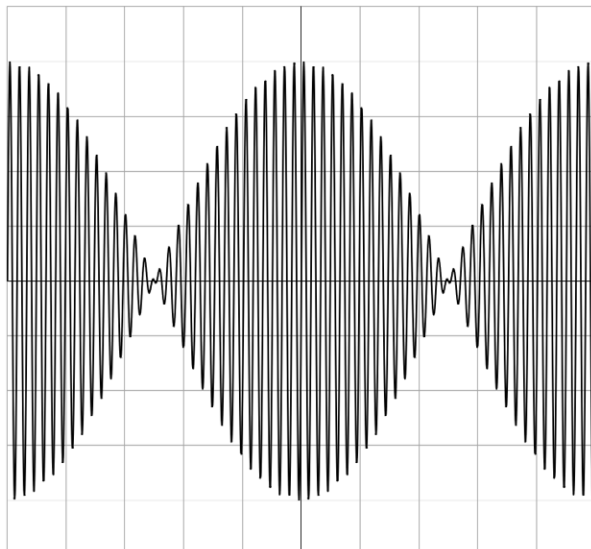
Darstellung der Signale auf dem Oszilloskop



Skalierung x -Achse:
0,1 ms pro Skalenteil

Auf eine Skalierung der
 y -Achse wurde verzichtet.

Material 6

Überlagerung der Schallwellen mit Frequenz f_1 und f_2 

Skalierung x -Achse:
0,1 s pro Skalenteil

Auf eine Skalierung der
 y -Achse wurde verzichtet.