

FOURIERANALYSE UND AKUSTIK

Versuch 3, Praktikum Signale, Systeme und Sensoren

In diesem Versuch wird die Fourieranalyse auf akustische Signale und Systeme angewandt. Wie immer sind die Vorüberlegungen, Berechnungen und Ergebnisse zum nächsten Praktikumstermin in Form eines Jupyter-Notebooks zu präsentieren. Bitte alle Programme in das Notebook einbauen und kommentieren.

Lernziele:

- Umgang mit Mikrofonen und Lautsprechern
- Praktisches Verständnis der Fourierreihe und der Fourieranalyse
- Messung des Frequenzgangs von Lautsprechern

1. Bestimmung der Tonhöhe eines akustischen Signals

Klangquellen:

- Musikinstrument (Mundharmonika)

Messaufgaben:

- Schreiben Sie ein Routine zum Auslesen eines Signals aus dem Oszilloskop und zum anschließenden Speichern als cvs- oder Numpy-File. Benutzen Sie dazu die Toolbox TekTDS2000 von M. Miller (Dokumentation s. Moodle).
- Stellen Sie das Signal so auf dem Oszilloskop dar, dass mehrere Perioden abgebildet werden. Stellen Sie den Triggerlevel so ein, dass Sie das Signal nur bei genügend hoher Amplitude aufnehmen. Die Triggerung muss dabei im "Single Sequence"-Modus eingestellt sein.
- Stellen Sie das Signal graphisch in Ihrem Notebook dar. Bestimmen Sie anhand des Plots die Grundperiode (in ms) und die Grundfrequenz (in Hz) des Signals. Wie groß sind Signaldauer (in s), Abtastfrequenz (in Hz), Signallänge M (Anzahl der Abtastzeitpunkte) und Abtastintervall Δt (in s)?

- Berechnen Sie mithilfe der Funktion `numpy.fft.fft()` die Fouriertransformierte des Signals. Bestimmen Sie daraus das Amplitudenspektrum und stellen es ebenfalls graphisch dar. Achtung: die Frequenzachse des numerisch berechneten Spektrums ist nicht in der Einheit Hertz angegeben, sondern in der Einheit *Anzahl Schwingungen innerhalb der gesamten Signaldauer*, d.h. der n -te Eintrag im Spektrum $f[n]$ entspricht n Schwingungen innerhalb der Gesamtlänge des Signals von $M \cdot \Delta t$ s. Die zugehörige Frequenz f in Hertz berechnet sich folglich aus

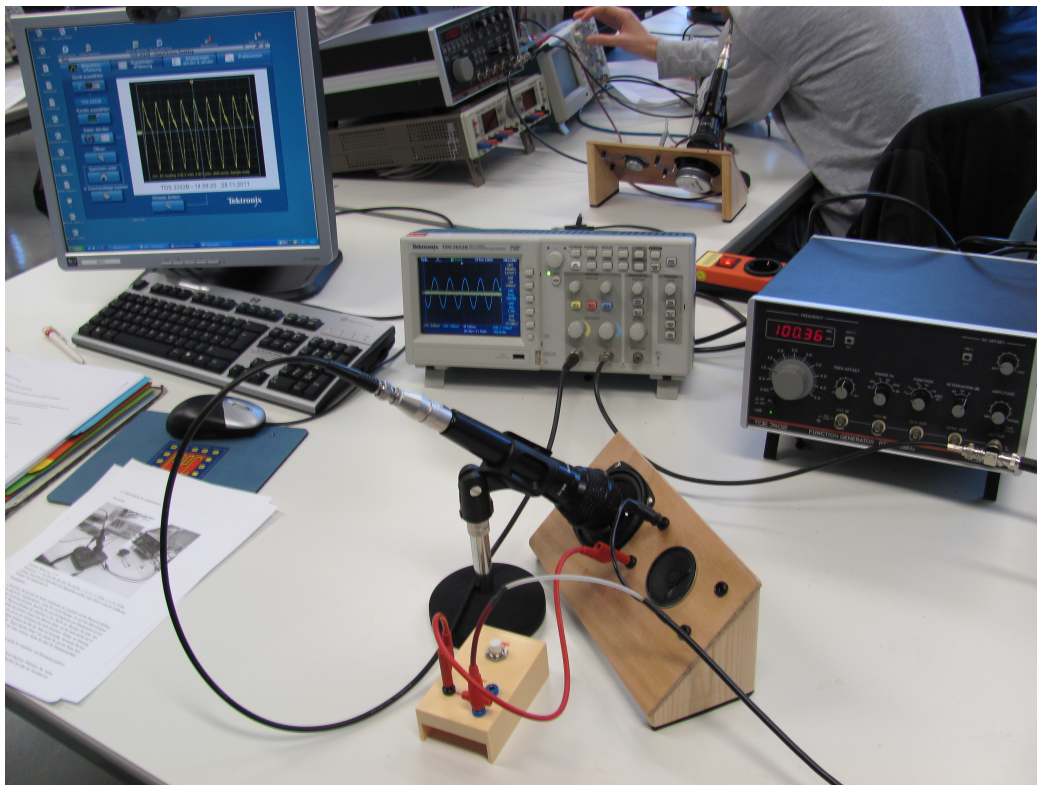
$$f = \frac{n}{M \cdot \Delta t}.$$

Stellen Sie mithilfe dieser Umrechnung das Amplitudenspektrum in Hertz dar.

- Identifizieren Sie die Grundfrequenz im Spektrum und berechnen Sie aus der gefundenen Wellenzahl die Frequenz in Hz. Welche Amplitude hat diese Fourierkomponente?

2. Frequenzgang von Lautsprechern

Messaufbau:



Generator: Sinus, $u_{1ss} = 1.5$ V

Frequenzen: $f = 100, 200, 300, 400, 500, 700, 850$ Hz, 1, 1.2, 1.5, 1.7, 2 kHz, 3, 4, 5, 6, 10 kHz

Achtung: Bauen Sie einen Schalter in eine der Zuführungsleitungen zum Lautsprecher ein.

Achten Sie beim Aufbau darauf, immer den Pluspol an die untere Lautsprecherklemme anzuschließen, damit bei allen Lautsprechern und Gruppen ein vergleichbarer Phasengang gemessen wird. Schalten Sie den Lautsprecher nur während der Messung ein.

Messaufgaben:

- Bestimmen Sie für jeden der beiden Lautsprecher die Amplitude und die Phasenverschiebung des akustischen Ausgangssignales, indem Sie sowohl Eingangs- als auch das Mikrofonsignal auf dem Oszilloskop darstellen. Speichern Sie eines der Diagramme zur Dokumentation in Ihrem Notebook ab und tragen Sie Phasenverschiebung und Amplitude in eine Tabelle ein. Beachten Sie dabei, dass beide Lautsprecher den gleichen Abstand zum Mikrofon haben, und dass beide Kanäle auf *AC coupling* gestellt sind, da uns der Gleichanteil hier nicht interessiert. Wichtig: zur Schonung der Nerven aller Beteiligten schalten Sie bitte den Lautsprecher nur kurzzeitig ein. Verwenden Sie zum Aufzeichnen des Signals den "Single Sequence Mode", d.h. Einschalten, dann den "Single-Seq"-Knopf drücken, dann wieder Ausschalten. Stellen Sie dabei das Eingangssignal konstant auf $u_{1ss} = 1.5 \text{ V}$ ein, d.h. überprüfen Sie bei jeder Frequenz mit dem Oszilloskop unter Belastung (d.h. Eingeschaltet!), ob die Amplitude noch stimmt, und regeln Sie ggf. nach.
- Übertragen Sie die Daten der Tabellen in Numpy-Arrays und stellen Sie Amplituden- und Phasengang graphisch dar.
- Erstellen Sie für beide Lautsprecher mithilfe von `matplotlib` ein Bode-Diagramm. Stellen Sie dazu beide Diagramme mit der Funktion `semilogx()` halblogarithmisch dar und berechnen Sie die zugehörigen Angaben in Dezibel nach der Formel aus der Vorlesung und den Phasenwinkel nach der Formel:

$$\varphi_H = -\Delta t \cdot f \cdot 360^\circ.$$

Beachten Sie hierbei, dass bei höheren Frequenzen die Phasenverschiebung größer als 360° wird, d.h. größer als eine Periode des Signals. Dieser Vorgang kann nur durch Vergleich mit der Phase der nächsttieferen Frequenz festgestellt werden, indem man annimmt, dass bei einem Lautsprecher keine plötzlichen Phasensprünge vorkommen (was zu hörbaren Verzerrungen führen würde).

Diskutieren Sie, warum die Bode-Diagramme die gefundene Form aufweisen. Beachten Sie dabei das Datenblatt des Mikrofons. Welcher Frequenzbereich ist dem Datenblatt zufolge überhaupt sinnvoll zu messen? Interpretieren Sie die Unterschiede beider Lautsprecher in dem von Ihnen gefundenen sinnvollen Messbereich.