

Übung 18 Schwingungen Drehschwingungen, Elektrische Schwingungen, Dämpfung

Lernziele

- sich aus dem Studium eines schriftlichen Dokumentes neue Kenntnisse erarbeiten können.
- die Analogie zwischen einer Drehschwingung und einer linearen Schwingung kennen und verstehen.
- die Analogie zwischen einer elektrischen Schwingung und einer mechanischen Schwingung kennen und verstehen.
- wissen und verstehen, welche Grössen und mit welcher Gesetzmässigkeit diese Grössen die Periodendauer einer Drehschwingung beeinflussen.
- wissen, was ein elektrischer Schwingkreis ist.
- eine Anwendung von elektrischen Schwingkreisen kennen.
- wissen und verstehen, welche Grössen und mit welcher Gesetzmässigkeit diese Grössen die Periodendauer einer elektrischen Schwingung beeinflussen.
- verstehen, wie eine Schwingung gedämpft werden kann.
- verstehen, wie ein mechanischer Dämpfer funktioniert.
- verstehen, dass alle natürlich ablaufenden Schwingungen gedämpft sind.
- wissen, wie die Stärke der Dämpfung die Bewegung eines Schwingers beeinflusst.
- die bei einer mechanischen, gedämpften Schwingung auftretenden Impuls- und Energieflüsse verstehen.
- mit dem Computerprogramm VENSIM ein einfaches systemdynamisches Modell erstellen und abändern können.
- mit dem Computerprogramm VENSIM einfache Simulationen und Parameterstudien ausführen können.
- aus einem Experiment neue Erkenntnisse gewinnen können.

Aufgaben

1. Studieren Sie im Buch KPK 3 die folgenden Abschnitte:
 - 1.7 Drehschwingungen: Hin- und herfliessender Drehimpuls (Seiten 15 und 16)
 - 1.8 Elektrische Schwingungen: Hin- und herfliessende elektrische Ladung (Seiten 16 und 17)
 - 1.9 Die Dämpfung von Schwingungen (Seiten 17 bis 20)
2. **Experiment Posten 1: Drehhantel**

Eine gut gelagerte vertikale Achse ist mit dem inneren, frei beweglichen Ende einer Spiralfeder verbunden. Das äussere Ende der Spiralfeder ist fest montiert.

Auf die vertikale Achse ist eine Hantel (Stange mit zwei Gewichtsstücken) montiert. Wird die Hantel horizontal ausgelenkt und losgelassen, führt sie (zusammen mit der vertikalen Achse) eine Drehschwingung aus.

Das Trägheitsmoment der Hantel kann verändert werden, indem der Abstand der Gewichtsstücke von der Drehachse variiert wird bzw. indem die Gewichtsstücke ganz abmontiert werden.

Untersuchen Sie, ob und allenfalls wie die Periode T der Drehschwingung ...

 - a) ... von der Amplitude $\hat{a}$ des Auslenkwinkels a abhängt.
 - b) ... vom Trägheitsmoment J des schwingenden Körpers abhängt.

Es genügt, wenn Sie die Abhängigkeiten qualitativ angeben, d.h. in der Form "Je grösser ..., desto grösser bzw. kleiner ...".

3. Experiment Posten 2: Elektrischer Schwingkreis

Der vorliegende elektrische Schwingkreis besteht aus einer Serieschaltung eines Kondensators ($C = 40 \text{ nF}$) und einer Spule ($L = 250 \text{ H}$ oder 500 H , je nach benütztem Steckanschluss) (vgl. Buch KPK 3, Abb. 1.24, Seite 16).

Der Kondensator kann mit Hilfe eines Netzgerätes ($U_0 = 30 \text{ V}$) über ein Widerstandselement ($R = 10 \text{ kW}$) aufgeladen werden (vgl. Buch KPK 3, Abb. 1.26, Seite 16). Dazu muss der Schalter am Kondensatorelement (Kästchen mit orangem Aufsatz) nach rechts gekippt werden.

Wird der Schalter nach links gekippt, entsteht eine elektrische Schwingung, indem elektrische Ladung zwischen den beiden Kondensatorplatten hin- und herfliesst.

Der zeitliche Verlauf der entsprechenden elektrischen Ladungsstromstärke I_Q wird indirekt beobachtet: Auf einem Kathodenstrahl-Oszilloskop (KO) wird die Spannung U über einem zusätzlichen, in Serie geschalteten ohm'schen Widerstandselement ($R \approx 10 \text{ W}$) aufgezeichnet. I_Q ist dann proportional zu U .

- a) Beobachten Sie den zeitlichen Verlauf von I_Q und stellen Sie fest, dass es sich um eine Schwingung handelt.

Hinweis:

Wegen des zusätzlich in Serie geschalteten Widerstandselementes und der elektrischen Widerstände von Kondensator und Spule ist die Schwingung gedämpft.

- b) Untersuchen Sie, ob und allenfalls wie die Periode T der elektrischen Schwingung ...

i) ... von der zu Beginn im Kondensator gespeicherten elektrischen Ladung abhängt.

ii) ... von der Induktivität L der Spule abhängt.

Es genügt, wenn Sie die Abhängigkeiten qualitativ angeben, d.h. in der Form "Je grösser ..., desto grösser bzw. kleiner ...".

Hinweise:

- Die Anfangsladung des Kondensators kann durch Variieren der Spannung am Netzgerät verändert werden.

- Durch Umstecken eines gelben Kabels am Spulenelement können zwei Werte für L eingestellt werden (5100 oder 10200 Windungen).

4. Experiment Posten 3: Drehpendel

Wird das Drehpendel von Hand etwas aus der Ruhelage ausgelenkt und losgelassen, so führt es eine Drehschwingung aus.

Am Fusse des Drehpendels sind seitlich zum Pendelkörper zwei Spulen angebracht. Fliesst elektrische Ladung durch die Spulen, wird im Pendelkörper ein Wirbelstrom induziert (Wirbelstrombremse). Auf diese Weise kann die Drehschwingung des Pendels gedämpft werden. Die Stärke der Dämpfung kann über die Stärke des elektrischen Ladungsstromes variiert werden.

Beobachten Sie Drehschwingungen für verschiedene Dämpfungsstärken:

- a) Versuchen Sie, die im Buch KPK 3, Abb. 1.32, Seite 19, dargestellten Fälle nachzustellen.

- b) Messen Sie für drei verschiedene kleine Dämpfungsstärken, d.h. für Fälle, wo es sich bei der Pedelbewegung noch um eine Schwingung handelt, die Periodendauer der Drehschwingung.

Beurteilen Sie, ob und allenfalls wie die Periodendauer von der Stärke der Dämpfung abhängt.

Hinweis:

Beachten Sie die maximal zulässige elektrische Ladungsstromstärke für die Wirbelstrombremse (siehe Angaben auf dem Sockel des Drehpendels).

5. (siehe Seite 3)

5. Modellieren und simulieren Sie mit **VENSIM** den folgenden gedämpften Federschwinger:
Buch KPK 3, Abb. 1.29, Seite 17

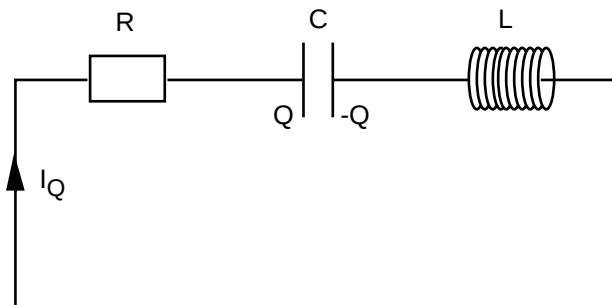
Gehen Sie vom Modell aus, das Sie in der Übung 17, Aufgabe 9, erstellt haben, und ergänzen Sie das Modell mit den Grössen, die die Dämpfung beschreiben.

Vorgaben:

- Die zentrale mengenartige Grösse des Modells soll der im Pendelkörper gespeicherte Impuls sein.
- Das Modell soll den zeitlichen Verlauf der folgenden Grössen aufzeigen:
 - Impuls, der im Pendelkörper gespeichert ist
 - Geschwindigkeit des Pendelkörpers
 - Ort des Pendelkörpers
 - Energie, die im Pendelkörper gespeichert ist
 - Energie, die in der Feder gespeichert ist

Simulieren Sie die Schwingung für verschiedene Dämpfungsstärken (vgl. Buch KPK 3, Abb. 1.32, Seite 19).

6. Modellieren und simulieren Sie mit **VENSIM** den folgenden elektrischen Schwingkreis (vgl. Buch KPK 3, Abb. 1.24, Seite 16):



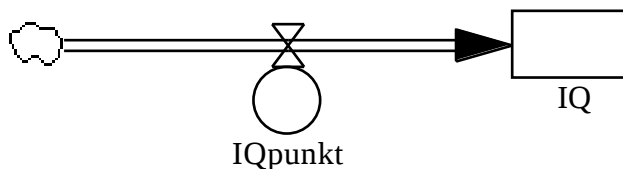
Vorgaben:

- Die zentrale mengenartige Grösse des Modells soll die im Kondensator gespeicherte elektrische Ladung sein.
- Das Modell soll den zeitlichen Verlauf der folgenden Grössen aufzeigen:
 - Elektrische Ladung, die im Kondensator gespeichert ist
 - Elektrische Ladungsstromstärke

Simulieren Sie die elektrische Schwingung für verschiedene Werte der Parameter R, L und C.

Hinweise:

- Maschensatz
- Widerstandsgesetz, Kapazitätsgesetz
- Induktivitätsgesetz: Aus dem Induktionsgesetz kann man einen Zusammenhang zwischen der Spannung U_L über der Spule, der Induktivität L der Spule und der Änderungsrate $\dot{I}_Q$ der elektrischen Ladungsstromstärke I_Q herleiten.
- Der Zusammenhang zwischen der Ladungsstromstärke I_Q und ihrer Änderungsrate $\dot{I}_Q$ kann wie folgt modelliert werden:



7. (siehe Seite 4)

7. In dieser Aufgabe sollen Sie die Differentialgleichung für die gedämpfte Schwingung eines Federschwingers herleiten und die im Unterricht erwähnte Lösung der Differentialgleichung nachprüfen.

Betrachten Sie also noch einmal den gedämpften Federschwinger (Buch KPK 3, Abb. 1.29, Seite 17)

- a) Formulieren Sie für den Schwingkörper das Grundgesetz der Mechanik. Drücken Sie dabei die am Schwingkörper angreifenden Kräfte durch Ort x und Geschwindigkeit v aus.
- b) Setzen Sie in die Gleichung, die Sie in a) formuliert haben, die folgenden Beziehungen für die Geschwindigkeit v und die Beschleunigung a ein:

$$v = \dot{x}$$
$$a = \dot{v} = \ddot{x}$$

Sie erhalten dann eine sogenannte Differentialgleichung für die unbekannte Funktion

$$x: \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, t \mapsto x = x(t)$$

- c) Überprüfen Sie, dass die in b) hergeleitete Differentialgleichung die folgende Lösung hat (vgl. Unterricht):

$$x(t) = \hat{x} e^{-dt} \sin(\omega_d t + j)$$

$$\text{wobei: } d := \frac{k}{2m}$$

$$\omega_0 := \sqrt{\frac{D}{m}}$$

$$\omega_d := \sqrt{\omega_0^2 - d^2}$$

Lösungen

1. ...
Lösungen zu den Aufgaben siehe kopierte Blätter
2. a) T unabhängig von $\hat{a}$
b) T abhängig von J
Je grösser J, desto grösser T (genau: $T \sim \sqrt{J}$)
3. a) ...
b) i) T unabhängig von Q_0
ii) T abhängig von L
Je grösser L, desto grösser T (genau: $T \sim \sqrt{L}$)
4. a) ...
b) Je stärker die Dämpfung, desto grösser T (Effekt jedoch minim und kaum beobachtbar)
5. Ein VENSIM-Muster-File "Gedämpfter Federschwinger (gedfedschw.mdl)" finden Sie im Internet unter:
[http://telecom.tlab.ch/~borer/Æ Physik/Æ Unterlagen \(...\)](http://telecom.tlab.ch/~borer/Æ Physik/Æ Unterlagen (...))
6. Ein VENSIM-Muster-File "Elektrischer Schwingkreis (elektrschw.mdl)" finden Sie im Internet unter:
[http://telecom.tlab.ch/~borer/Æ Physik/Æ Unterlagen \(...\)](http://telecom.tlab.ch/~borer/Æ Physik/Æ Unterlagen (...))
7. a) $F_F + F_D = m \cdot a$
 $F_F = -D \cdot x$
 $F_D = -k \cdot v$

fi $-D \cdot x - k \cdot v = m \cdot a$
b) $-D \cdot x - k \cdot \dot{x} = m \cdot \ddot{x}$
c) ...