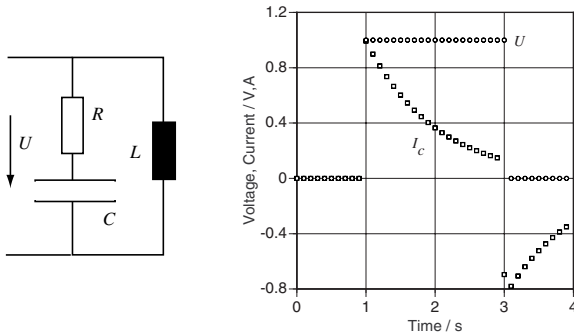
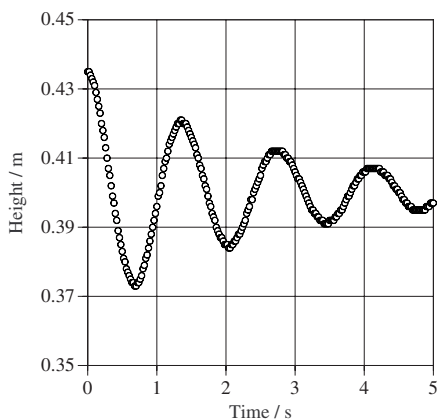


PHYSICS EXAM

1. Die Spannung über den beiden parallelen Zweigen im Stromkreis springt bei $t = 1$ s auf 1 V und bei $t = 3$ s zurück auf 0 V. Der Strom durch den Ast mit dem Kondensator ist im Diagramm dargestellt. Widerstand, Kapazität und Induktivität betragen 1Ω , 1 F und 1 H .
- Wie gross ist die Spannung über dem Kondensator zum Zeitpunkt 2 s?
 - Wie gross ist die Änderungsrate der Energie des Kondensators zum Zeitpunkt 2 s?
 - Bestimmen Sie den Strom durch den Induktor als Funktion der Zeit. Am Anfang ist der Strom Null.
 - Wie gross ist die Leistung der Spannungsquelle zum Zeitpunkt 2 s?



2. Das Diagramm zeigt die Messungen der Wasserhöhe in einem Arm eines U-Rohrs während einer hydraulischen Schwingung. Der Durchmesser des U-Rohrs ist 9.5 mm.



- Die hydraulische Kapazität des U-Rohrs ist halb so gross wie die Kapazität eines der Schenkel. Wie gross ist die Kapazität also?

- Der Zusammenhang zwischen hydraulischer Kapazität, hydraulischer Induktivität und der Kreisfrequenz der Schwingung ist

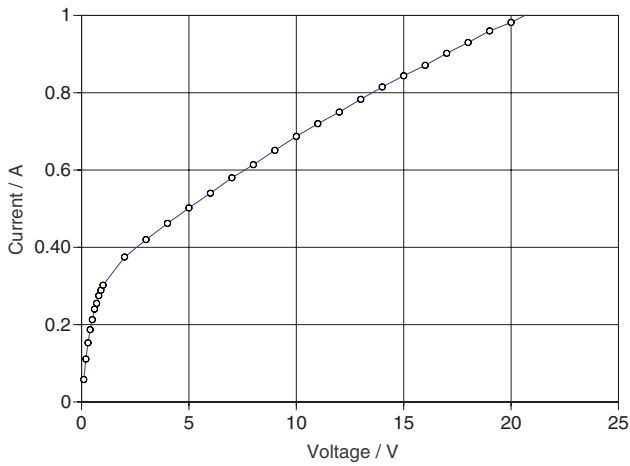
$$\omega^2 = \frac{1}{K_V L_V}$$

Bestimmen Sie aus der Messung der Schwingungsperiode die Induktivität und die Länge der Wassersäule.

- Bestimmen Sie die mit dem Wasser in den beiden Schenkeln gespeicherte Energie ganz am Anfang und am Ende der ersten Schwingungsperiode. Hinweis: Nehmen Sie den Ruhepunkt der Flüssigkeit als Nullpunkt für die Bestimmung der Energie.
 - Wieviel Energie wurde während der ersten vollen Schwingungsperiode dissipiert? Zeigen Sie, wie sie mit Hilfe des Ergebnisses aus c die Antwort erhalten.
3. Zwei Oeltanks mit je einem Querschnitt von 1.0 m^2 enthalten Öl mit einer Dichte von 1000 kg/m^3 und einer Viskosität von $0.080 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Der eine Tank steht auf dem Boden, der andere 1.0 m höher. Ein Rohr mit einer eingebauten Pumpe verbindet die Böden der Tanks. Das Rohr hat eine Länge von 2.0 m und einen Radius von 8.0 mm. Am Anfang steht das Öl im ersten Tank (in dem, der auf dem Boden steht) 2.0 m hoch. Das Öl fliesst nicht, obwohl das Rohr offen ist und die Pumpe nicht läuft.
- Wie hoch steht das Öl im zweiten Tank über dem Boden des Tanks? Warum?
 - Wie gross ist der Strömungswiderstand des Öls im Rohr?
 - Mit Hilfe der Pumpe wird ein konstanter Volumenstrom von 1.0 Liter/s vom tiefer in den höher gelegenen Tank eingestellt. Wie hoch sind die Ölniveaus nach 200 s in den beiden Tanks?
 - Das Öl soll genau gleich weiter fließen. Mit welcher Druckdifferenz muss man die Pumpe zu diesem Zeitpunkt (200 s nach dem Anfang) betreiben?
 - Wie gross muss dann die elektrische Leistung der Pumpe sein, wenn ihr Wirkungsgrad 80% beträgt?

4. Eine Glühlampe mit der im Diagramm gegebenen Charakteristik wird an eine Spannungsquelle angeschlossen, die eine Leerlaufspannung (Spannung der idealen Quelle) von 21 V halt. Die Spannungsquelle ist aber nicht ideal, sondern hat einen Innenwiderstand von 7.0Ω .

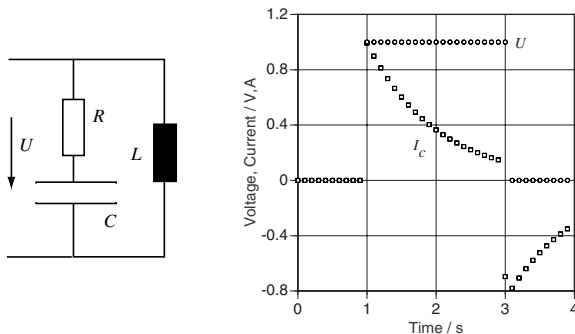
IU characteristic of bulb



- Zeichnen Sie das Schaltungsschema (mit idealer Quelle, Innenwiderstand und Glühlampe als Lastwiderstand).
- Wie gross wäre die elektrische Stromstärke durch die Lampe, wenn der Innenwiderstand der Spannungsquelle gleich Null wäre?
- Wie gross wäre so die Rate, mit der Energie in der Lampe frei gesetzt würde (ohne Innenwiderstand)? Wie gross wäre in diesem Fall die Leistung der Spannungsquelle?
- Bestimme Sie die tatsächliche Stromstärke durch die Lampe so genau wie möglich.

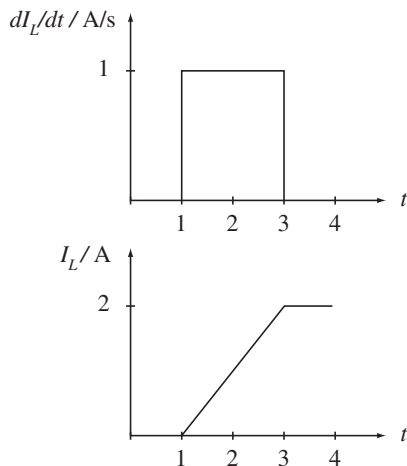
SOLUTIONS

1. Die Spannung über den beiden parallelen Zweigen im Stromkreis springt bei $t = 1$ s auf 1 V und bei $t = 3$ s zurück auf 0 V. Der Strom durch den Ast mit dem Kondensator ist im Diagramm dargestellt. Widerstand, Kapazität und Induktivität betragen 1Ω , 1 F und 1 H.
- Wie gross ist die Spannung über dem Kondensator zum Zeitpunkt 2 s?
 - Wie gross ist die Änderungsrate der Energie des Kondensators zum Zeitpunkt 2 s?
 - Bestimmen Sie den Strom durch den Induktor als Funktion der Zeit. Am Anfang ist der Strom Null.
 - Wie gross ist die Leistung der Spannungsquelle zum Zeitpunkt 2 s?



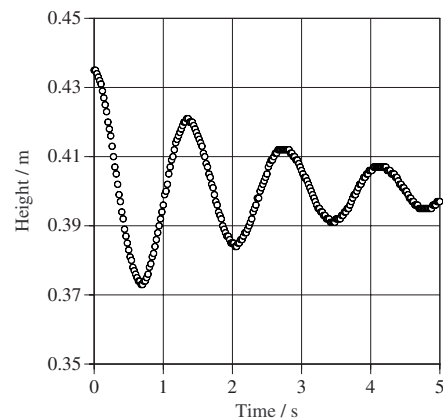
SOLUTION

- $U_C + U_R = U$, $U_R(2) = R \cdot I_C(2) = 1.0 \cdot 0.38 \text{ V} = 0.38 \text{ V}$.
Therefore $U_C(2) = 0.62 \text{ V}$.
- $dW_C/dt = I_{W,C} \cdot U_C$, $I_{W,C} = U_C \cdot I_C = 0.62 \cdot 0.38 \text{ W}$.
Therefore $dW_C/dt(2) = 0.236 \text{ W}$.
- $U_L = U$, $U_L = L \cdot dI_L/dt$. Therefore $dI_L/dt = U_L/L$



- $P_S = P_R + P_C + P_L$ or $P_S = U \cdot I_{Q,tot}$
 $I_{Q,tot}(2) = I_C(2) + I_L(2) = 0.38 \text{ A} + 1.0 \text{ A} = 1.38 \text{ A}$
Therefore $P_S(2) = 1.0 \cdot 1.38 \text{ W} = 1.38 \text{ W}$

2. Das Diagramm zeigt die Messungen der Wasserhöhe in einem Arm eines U-Rohrs während einer hydraulischen Schwingung. Der Durchmesser des U-Rohrs ist 9.5 mm.



- Die hydraulische Kapazität des U-Rohrs ist halb so gross wie die Kapazität eines der Schenkel. Wie gross ist die Kapazität also?
- Der Zusammenhang zwischen hydraulischer Kapazität, hydraulischer Induktivität und der Kreisfrequenz der Schwingung ist

$$\omega^2 = \frac{1}{K_V L_V}$$

Bestimmen Sie aus der Messung der Schwingungsperiode die Induktivität und die Länge der Wassersäule.

- Bestimmen Sie die mit dem Wasser in den beiden Schenkeln gespeicherte Energie ganz am Anfang und am Ende der ersten Schwingungsperiode. Hinweis: Nehmen Sie den Ruhepunkt der Flüssigkeit als Nullpunkt für die Bestimmung der Energie.
- Wieviel Energie wurde während der ersten vollen Schwingungsperiode dissipiert? Zeigen Sie, wie sie mit Hilfe des Ergebnisses aus c die Antwort erhalten.

SOLUTION

a.

$$K_V = \frac{1}{2} \frac{A}{\rho g} = \frac{1}{2} \frac{\pi r^2}{\rho g} = \frac{3.14 \cdot 0.00475^2}{2 \cdot 1000 \cdot 9.81} \frac{\text{m}^3}{\text{Pa}}$$

$$= 3.61 \cdot 10^{-9} \frac{\text{m}^3}{\text{Pa}}$$

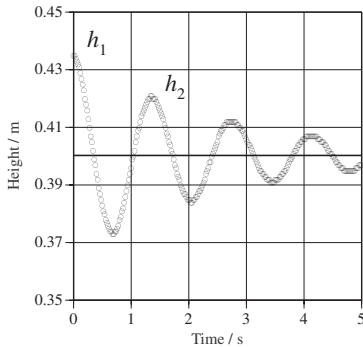
b. Period $T \approx 1.38$ s (from the graph)

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 4.54 \text{s}^{-1}$$

$$L_V = \frac{1}{K_V \omega^2} = 1.34 \cdot 10^7 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}^2}{\text{m}^3}$$

$$L_V = \frac{\rho l}{A} \Rightarrow l = \frac{L_V A}{\rho} = 0.952 \text{m}$$

c.



The water levels in the two branches of the U-tube are symmetrical about the equilibrium level. Therefore, the energy stored in both is two times the energy stored in one of them:

$$W_1 = 2 \frac{1}{2} \rho g A h_1^2$$

$$= 1000 \cdot 9.81 \cdot \pi \cdot 0.00475^2 \cdot 0.037^2 \text{ J} = 0.952 \text{ mJ}$$

$$W_2 = 2 \frac{1}{2} \rho g A h_2^2$$

$$= 1000 \cdot 9.81 \cdot \pi \cdot 0.00475^2 \cdot 0.020^2 \text{ J} = 0.278 \text{ mJ}$$

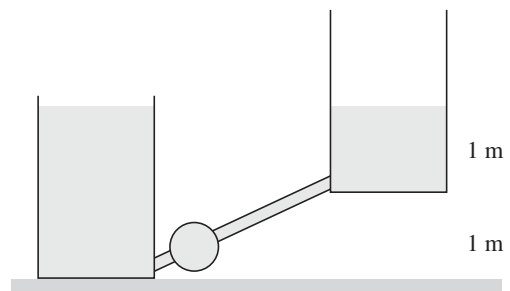
d. At the beginning and the end of the first period, the fluid does not move (no energy in the inductive element, or no kinetic energy). All the energy is stored in the capacitive elements. Therefore, the difference of the energy stored is equal to the energy dissipated:

$$W_{diss} = -\Delta W_{stored} = 0.674 \text{ mJ}$$

3. Zwei Oeltanks mit je einem Querschnitt von 1.0 m^2 enthalten Öl mit einer Dichte von 1000 kg/m^3 und einer Viskosität von $0.080 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Der eine Tank steht auf dem Boden, der andere 1.0 m höher. Ein Rohr mit einer eingebauten Pumpe verbindet die Böden der Tanks. Das Rohr hat eine Länge von 2.0 m und einen Radius von 8.0 mm . Am Anfang steht das Öl im ersten Tank (in dem, der auf dem Boden steht) 2.0 m hoch. Das Öl fließt nicht, obwohl das Rohr offen ist und die Pumpe nicht läuft.

- Wie hoch steht das Öl im zweiten Tank über dem Boden des Tanks? Warum?
- Wie gross ist der Strömungswiderstand des Öls im Rohr?
- Mit Hilfe der Pumpe wird ein konstanter Volumenstrom von 1.0 Liter/s vom tiefer in den höher gelegenen Tank eingestellt. Wie hoch sind die Öl-niveaus nach 200 s in den beiden Tanks?
- Das Öl soll genau gleich weiter fließen. Mit welcher Druckdifferenz muss man die Pumpe zu diesem Zeitpunkt (200 s nach dem Anfang) betreiben?
- Wie gross muss dann die elektrische Leistung der Pumpe sein, wenn ihr Wirkungsgrad 80% beträgt?

SOLUTION



a. $h_{20} = 1.0 \text{ m}$.

The levels (measured above ground) in the tanks must be equal for the fluid not to flow. In this case the pressure difference across the inlet and the outlet of the pipe is balanced by the gravitational pressure difference in the pipe.

b.

$$R_V = \frac{8\eta l}{\pi r^4} = \frac{8 \cdot 0.080 \cdot 2.0}{\pi \cdot 0.0080^4} \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^3} = 1.0 \cdot 10^8 \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{m}^3}$$

c. $I_V = 1.0 \text{ l/s} = 1.0 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

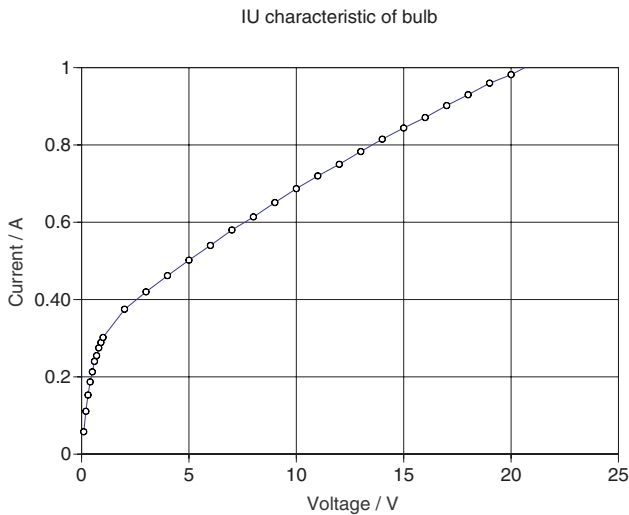
As a consequence, 0.20 m^3 of oil flow from the first to the second tank. This changes the fluid level in Tank 1 to 1.80 m , and in Tank 2 to 1.20 m .

d. Pressure difference across the pipe at 200 s is $(1.20 - 1.80) \cdot 1000 \cdot 9.81 \text{ Pa} = -5.89 \cdot 10^3 \text{ Pa}$

$$\begin{aligned}\Delta P_{AB} &= \Delta P_{pump} + \Delta P_R + \Delta P_{Grav} \\ \Delta P_{pump} &= \Delta P_{AB} - \Delta P_R - \Delta P_{Grav} \\ &= \Delta P_{AB} - (-R_V I_V) - (-(h_B - h_A)) \rho g \\ &= -5.89 \cdot 10^3 \text{ Pa} + 1.0 \cdot 10^8 \cdot 1.0 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \\ &\quad + 1.0 \cdot 1000 \cdot 9.81 \text{ Pa} \\ &= 1.039 \cdot 10^5 \text{ Pa}\end{aligned}$$

d. $\mathcal{P}_{hydr} = 0.80 \cdot \mathcal{P}_{el}$, $\mathcal{P}_{hydr} = \Delta p_{pump} I_V = 104 \text{ W}$
Therefore $\mathcal{P}_{el} = 130 \text{ W}$.

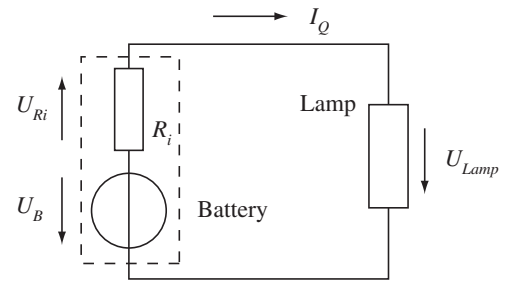
4. Eine Glühlampe mit der im Diagramm gegebenen Charakteristik wird an eine Spannungsquelle angeschlossen, die eine Leerlaufspannung (Spannung der idealen Quelle) von 21 V halt. Die Spannungsquelle ist aber nicht ideal, sondern hat einen Innenwiderstand von 7.0 Ω .



- Zeichnen Sie das Schaltungsschema (mit idealer Quelle, Innenwiderstand und Glühlampe als Lastwiderstand).
- Wie gross wäre die elektrische Stromstärke durch die Lampe, wenn der Innenwiderstand der Spannungsquelle gleich Null wäre?
- Wie gross wäre so die Rate, mit der Energie in der Lampe frei gesetzt würde (ohne Innenwiderstand)? Wie gross wäre in diesem Fall die Leistung der Spannungsquelle?
- Bestimme Sie die tatsächliche Stromstärke durch die Lampe so genau wie möglich.

SOLUTION

a.



b. In this case, $U_{Lamp} = U_B = 21 \text{ V}$. Therefore $I_Q = 1.0 \text{ A}$ (taken from the graph for 21 V).

c. $\mathcal{P}_{Lamp} = U_{Lamp} I_Q = 21 \cdot 1.0 \text{ W} = 21 \text{ W}$.

d. Since the resistance of the lamp is not constant, we get a nonlinear systems with equations that cannot be solved directly. However, we can get a solution in steps starting with an estimated solution.

Step 1: Estimated solution: $I_Q = 1.0 \text{ A}$. This makes $U_{Ri} = 7.0 \text{ V}$ and $U_{Lamp} = 21 \text{ V} - 7.0 \text{ V} = 14 \text{ V}$. This leads to a new value of the current of 0.82 A.

Step 2: Estimated solution: $I_Q = 0.82 \text{ A}$. This makes $U_{Ri} = 5.7 \text{ V}$ and $U_{Lamp} = 21 \text{ V} - 5.7 \text{ V} = 15.3 \text{ V}$. This leads to a new value of the current of 0.85 A.

Step 3: Estimated solution: $I_Q = 0.85 \text{ A}$. This makes $U_{Ri} = 6 \text{ V}$ and $U_{Lamp} = 21 \text{ V} - 6 \text{ V} = 15 \text{ V}$. This leads to a new value of the current of 0.845 A.

...and so on...

