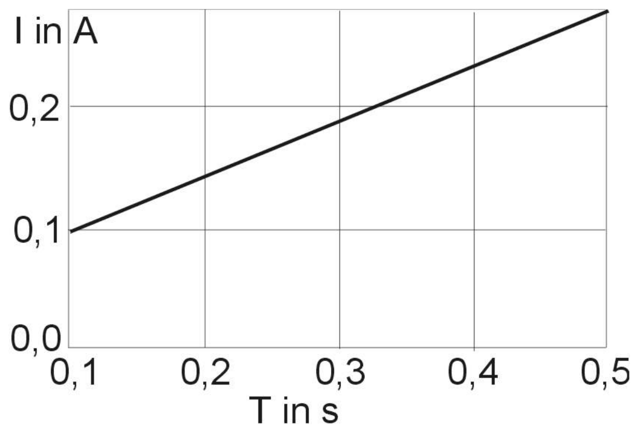
Aufgaben zur Induktion

1.
Das Diagramm zeigt den zeitlichen Verlauf der Stromstärke in einer Spule. Die während der Stromstärkeänderung auftretende Selbstinduktionsspannung beträgt 1 V. Berechnen Sie die Induktivität der Spule.

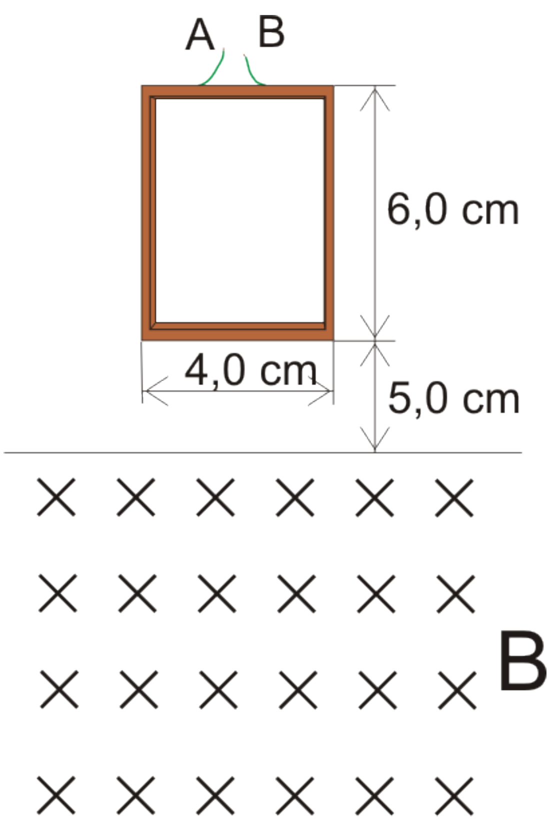


2. In einer langen zylindrischen Spule (Feldspule) der Länge 0,3 m, dem Querschnitt 6 cm² und 600 Windungen befinde sich eine deutlich kürzere Spule (Induktionsspule) mit 2000 Windungen und einer Querschnittsfläche 5 cm². Die Spulenachsen seien parallel zueinander. Durch die Feldspule fließe ein Strom I, der in 1/40 s gleichmäßig von null auf 5 A anwächst. Welche Induktionsspannung wird an den Enden der Induktionsspule erzeugt? Das Medium in den Spulen sei Luft.

3. Wie groß ist die Selbstinduktionsspannung, die beim Ausschalten einer Spule der Induktivität 0,2 H auftritt, wenn die Stromstärke von 2 A innerhalb von 10^{-4} s linear auf Null absinkt?

4. Eine Leiterschleife rotiert gleichförmig in einem homogenen und zeitlich konstanten Magnetfeld. Die Rotationsachse ist senkrecht zu den Feldlinien gerichtet.
Begründen Sie, dass mit dieser Anordnung eine Wechselspannung erzeugt werden kann.

5. Eine rechteckige Spule mit 100 Windungen befindet sich 5,0 cm oberhalb eines homogenen, nach oben begrenzten Magnetfeldes. Die Anschlüsse A und B der Spule sind mit einem hochohmigen Spannungsmesser verbunden.
Die Spule wird mit der konstanten Geschwindigkeit 2,0 cm/s senkrecht nach unten in das Magnetfeld hinein bewegt. Dabei steht die Querschnittsfläche der Spule senkrecht auf den Feldlinien des Magnetfeldes, die in die Zeichenebene hineingehen.



Das Messgerät zeigt während des Eintauchvorgangs die Spannung 36 mV an.
a) Erklären Sie, warum eine Spannung auftritt und welche Polung an den Anschlüssen A und B vorhanden ist.

b) Zeigen Sie, dass der Betrag der magnetischen Flussdichte 0,45 T beträgt.

c) In einem zweiten Experiment befindet sich die Spule wieder 5,0 cm oberhalb des Magnetfeldes. Die Spule wird zur Zeit t_0=0s aus der Ruhe heraus losgelassen und fällt frei in das Magnetfeld hinein.
Stellen Sie für die Zeit von 0s bis 0,20s die am Messgerät angezeigte Spannung in einem t-U-Diagramm dar. Begründen Sie den Verlauf der Spannung.

Lösungen

1.

geg.:	$U_{ind} = 1\,V$ $\Delta I = 0{,}2\,A$ $\Delta t = 0{,}5\,s$	ges.:	L
Lösung:	Das Induktionsgesetz lautet: $U_{ind} = -L\dfrac{\Delta I}{\Delta t}$ Die Gleichung wird nach L umgestellt und berechnet: $L = \dfrac{U_{ind} \cdot \Delta t}{\Delta I}$ $L = \dfrac{1\,V \cdot 0{,}5\,s}{0{,}2\,A}$ $L = 2{,}5\,H$		
Antwort:	Die Spule hat eine Induktivität von 2,5 H.		

2.

geg.:	$l_F = 0{,}3\,m$ $A_F = 0{,}6\,cm^2$ $N_F = 600$ $I_F = 5\,A$ $A_I = 5\,cm^2$ $N_I = 2000$ $\Delta t = \dfrac{1}{40}\,s$	ges.:	U_{ind}
Lösung:	Die Induktionsspule spürt die Änderung des Magnetfeldes der Feldspule und induziert eine Spannung entsprechend dem Induktionsgesetz: $U_{ind} = -N_I \dfrac{\Delta(B_F \cdot A_I)}{\Delta t}$ Da die Fläche der Spule konstant bleibt, kann man schreiben: $U_{ind} = -N_I \cdot A_I \dfrac{\Delta B_F}{\Delta t}$ Es fehlt noch eine Aussage über die Änderung des Magnetfeldes der Feldspule $\Delta B_F = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot N \cdot \dfrac{I_F}{l_F}$ $\Delta B_F = 1{,}256637 \cdot 10^{-6}\,V \cdot s \cdot A^{-1} \cdot m^{-1} \cdot 600 \cdot \dfrac{5\,A}{0{,}3\,m}$ $\Delta B_F = 0{,}0126\,T$ Damit kann die Induktionsspannung berechnet werden: $U_{ind} = -N_I \cdot A_I \dfrac{\Delta B_F}{\Delta t}$ $U_{ind} = -2000 \cdot 5 \cdot 10^{-4}\,m^2 \cdot \dfrac{0{,}0126\,T}{0{,}025\,s}$ $u_{ind} = 0{,}5\,V$		
Antwort:	In der Induktionsspule wird eine Spannung von 0,5 V induziert.		

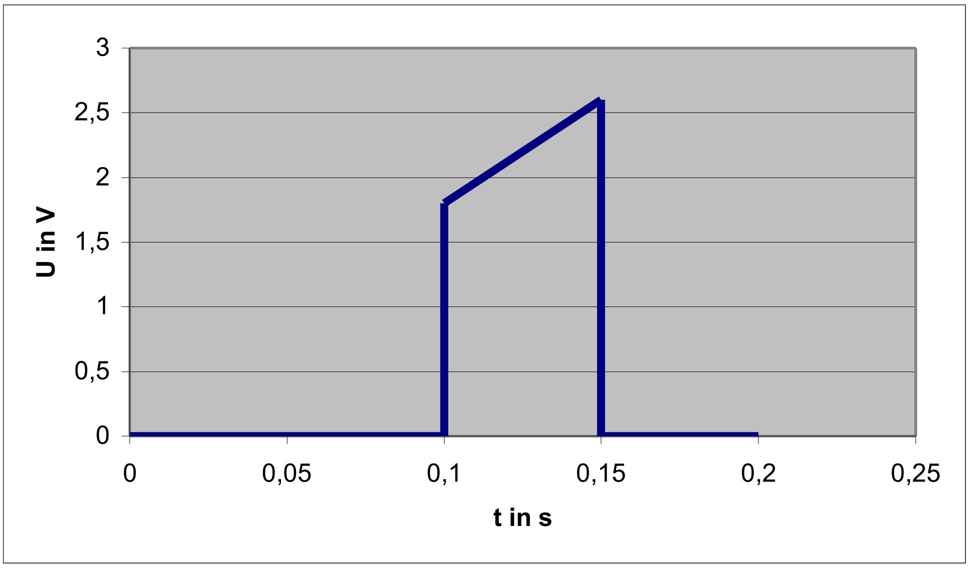
3.

geg.:	$L = 0{,}2\,H$ $\Delta I = 2\,A$ $\Delta t = 1 \cdot 10^{-4}\,s$	ges.:	U_{ind}
Lösung:	Es wird die Gleichung zur Berechnung der Selbstinduktionsspannung verwendet: $U_{ind} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$ $U_{ind} = -\,0{,}2\,H \cdot \frac{2\,A}{1 \cdot 10^{-4}\,s}$ $U_{ind} = -\,4000\,V$		
Antwort:	In der Spule entsteht eine Spannung von 4000 V.		

4. Es gilt das Induktionsgesetz U = -N d(Phi)/dt
d(Phi) = dA*dB
B = konst.
U = -NBdA/dt
A ändert sich periodisch, die projizierte Fläche ergibt sich aus A*cos(Alpha), Alpha = Drehwinkel
U=-NBAd(cos(Alpha))/dt
Alpha = Winkelgeschwindigkeit ω * t
U = -NBAd(cos(ω *t))/dt
differenziert liefert das
U = -NBAω sin(ω *t) = Wechselspannung.

5.
a) Wenn die Spule in das Magnetfeld eintaucht, bewegen sich die Elektronen der unteren Seite des Rechtecks senkrecht zu den Magnetfeldlinien. Dabei spüren sie die Lorentzkraft.
Mit der Linke-Hand-Regel kann die Richtung der Kraft bestimmt werden:
Daumen = Richtung der Elektronen = nach unten
Zeigefinger = Magnetfeld = in die Zeichenebene hinein
Mittelfinger = Richtung der Kraft = links
Damit entsteht am Anschluss A ein Elektronenüberschuss, also Minus und am Anschluss B ein Elektronenmangel, also Plus.
Die Elektronen in den senkrechten Teilen der Spule spüren zwar auch die Lorentzkraft und bewegen sich nach links, da das aber quer zum Draht erfolgt, tragen sie zur Spannung nicht bei.
Wenn die Spule vollständig eingetaucht ist, bewegen sich die Elektronen im oberen, waagerechten Teil der Spule auch nach links und heben den Effekt des unteren Teils auf. Damit verschwindet die Spannung wieder.

geg.:		ges.:	
	Solange die Spule außerhalb des Magnetfeldes ist, wird keine Spannung induziert. Nach 5,0 cm Fallweg tritt die Spule in das Magnetfeld ein und im unteren Teil wird eine Spannung induziert. $U_{ind} = n \cdot B \cdot d \cdot v_1$ Außer der Geschwindigkeit ist alles bekannt. Die lässt sich mit den Gesetzen des freien Falls berechnen: $s = \frac{g}{2} \cdot t^2$ und $v = g \cdot t$ Daraus wird: $t_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot s}{g}}$ $t_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot 0{,}05\,m}{9{,}81\,\frac{m}{s^2}}}$ $t_1 = 0{,}10\,s$ Mit dieser ersten Fallzeit kann die Geschwindigkeit beim Eintritt ins Magnetfeld berechnet werden: $v_1 = g \cdot t_1$ $v_1 = 9{,}81\,\frac{m}{s^2} \cdot 0{,}10\,s$ $v_1 = 0{,}981\,\frac{m}{s}$ Damit wir die Spannung genau zu Beginn des Eintauchvorgangs berechnet: $U_{ind1} = 100 \cdot 0{,}45\,T \cdot 0{,}04\,m \cdot 0{,}981\,\frac{m}{s^2}$ $U_{ind1} = 1{,}8\,V$ Diese Spannung steigt aber sofort weiter an, da die Geschwindigkeit der Spule größer wird. Die Geschwindigkeit wächst proportional mit der Zeit, so dass nur die Endspannung berechnet werden muss. Dazwischen steigt die Spannung ebenfalls proportional zur Zeit. Die Spannung steigt bis die obere Spulenkante das Magnetfeld erreicht hat. Dann wird im oberen Spulenteil eine Spannung induziert, die die untere Spannung kompensiert. $t_2 = 0{,}15\,s$ $v_2 = 1{,}47\,\frac{m}{s}$ Damit lässt sie die Endspannung berechnen: $U_{ind2} = 2{,}6\,V$		



3
2,5
2
1,5
1
0,5
0
U in V
0
0,05
0,1
0,15
0,2
0,25
t in s