

Lösungen zum Übungsblatt 5

Physik für Biologen / Chemiker

Anmerkung

Die Lösung der Verständnisaufgaben sind keine Musterlösungen. Sie sollen nicht auswendig gelernt werden. Die Fragen in der Klausur werden von denen der Übungszettel abweichen.

Lösung der Fragen zum Verständnis:

Aufgabe 1

Ein Transformator wird benutzt um Wechselspannung zu erhöhen oder zu erniedrigen. Er besteht aus zwei Spulen, einer Primär- und einer Sekundärspule, die induktiv miteinander gekoppelt sind, so daß praktisch der gesamte magnetische Fluß der Primärspule auch durch die Sekundärspule geht. Die Primärspule erzeugt eine Flußänderungsrate gegeben durch $U_1 = n_1 \dot{\Phi}$. Nach dem Faradayschen Gesetz ist die induzierte Spannung in der Sekundärspule $U_2 = n_2 \dot{\Phi}$, wobei n_1 bzw. n_2 die Zahl der Windungen ist. Also ist die Spannung in der Sekundärspule gegeben durch das Verhältnis der Spulenwindungen: $U_2 = (n_2/n_1)U_1$.

Aufgabe 2

Durch die Einkerbungen können sich keine großflächigen Wirbelströme ausbilden. Dadurch kann das gemäß der Lenzschen Regel induzierte Gegenfeld nicht so groß ausfallen, wie bei einer durchgehenden Metallplatte und der Effekt der Wirbelstrombremse tritt deutlich schwächer auf.

Aufgabe 3

Eine von Wechselstrom durchflossene, drehbar gelagerte Leiterschleife erfährt in einem statischen Magnetfeld eine Lorentzkraft. Dadurch wird auf die Leiterschleife ein Drehmoment erzeugt, das diese im Magnetfeld ausrichtet. Damit die Leiterschleife sich weiterdreht, muss sich die Lorentzkraft und daher die Stromrichtung umgedreht werden. Daher ist ein Betrieb mit Wechselstrom nötig. Bei Gleichstrom kann die Umschaltung durch halbringförmige Kontakte auf der Drehachse erfolgen, an die abwechselnd über Bürsten positive/negative Spannung angelegt wird.

Aufgabe 4

Für den Transport elektrischer Energie über weite Entfernungen ist es günstig, möglichst hohe Spannungen U und entsprechend niedrige Stromstärken zu wählen, da dann bei vorgegebener zu übertragender Leistung der Leitungsverlust durch Joulesche Wärme infolge des Ohmschen Widerstandes R möglichst klein wird: $P_{\text{verlust}} = I^2 R$.

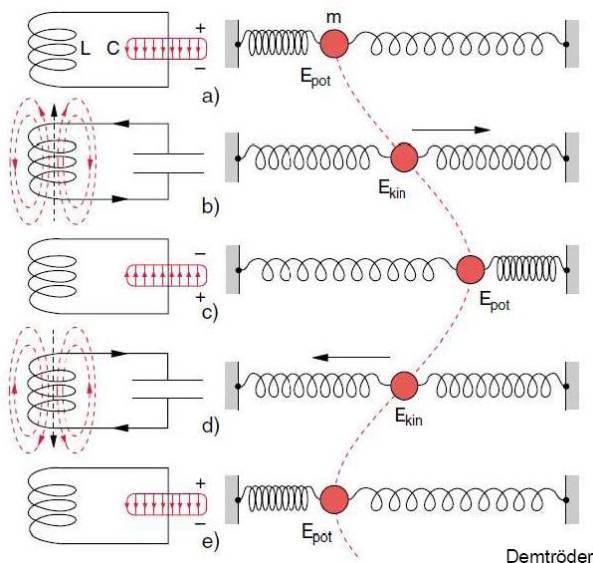
Aufgabe 5

Die Formel für Selbstinduktivität – $L = \mu_0 \mu_r N^2 A / l$ – liefert die vier Möglichkeiten: (1.) μ_r erhöhen, z.B. durch Ausfüllen des Spuleninneren mit einem Eisenkern, (2.) Erhöhung der Windungszahl N , (3.) Verkürzen der Spulenlänge l (bei gleichbleibender Zahl der Spulenwindungen), und (4.) Vergrößern der Spulenquerschnittsfläche.

Aufgabe 6

Im elektrischen Schwingkreis sei anfangs die gesamte Energie im Kondensator gespeichert ($W = (1/2)CU^2$, analog zur pot. Energie im Fadenpendel $W = mgh$). Der Kondensator entlädt sich (die dortige Energie nimmt ab), indem die Ladungen durch die Spule fließen und dort ein magnetisches Feld induzieren, die Energie verlagert sich in zur Spule ($W = (1/2)LI^2$, analog zur kinet. Energie im Fadenpendel $W = (1/2)mv^2$). Der entladene Kondensator kann nun keinen Strom mehr erzeugen, wohl aber das Magnetfeld in der Spule, das versucht gemäß der Lenzschen Regel dem Stromrückgang entgegenzuwirken. Dadurch fließt der Strom zunächst weiter und lädt den Kondensator in entgegengesetzter Richtung auf, die Energie ist nun wieder auf den Kondensator übergegangen (analog zum Fadenpendel, das auf die andere Seite geschwungen ist). Im Bild ist dies mit einem Federstatt Fadenpendel dargestellt.

Der Widerstand dämpft das System (Energieverlust durch Joulesche Wärme) analog zu Reibungsverlusten im Fadenpendel.



Aufgabe 7

Die Schwingungsperiode im elektr. Schwingkreis ist $T = 2\pi/\omega_0 = 2\pi\sqrt{LC}$. Die „typische“ Zeit, nach der die Schwingung gedämpft wird ist $\tau = 2\pi/\gamma = 2\pi(2L/R)$. D.h. wenn $\tau < T$ und somit $R > 4L/C$ wird das System bereits nach einer Periode so stark gedämpft, dass es nicht mehr schwingt.

Eine genaue Betrachtung der Differentialgleichung für den Schwingkreis, $\ddot{I} + (R/L)\dot{I} + 1/(LC)I = 0$, zeigt ebenfalls, dass es für $R \geq 4L/C$ zu keiner Schwingung mehr kommt.

Lösung der Rechenaufgaben:

Aufgabe 8

Es gilt für die Spannungen und Windungszahlen zwischen den beiden Spulen: $U_1/U_2 = n_1/n_2$. Somit ist:

$$n_2 = n_1 \frac{U_2}{U_1} = 500 \frac{8500 \text{ V}}{150 \text{ V}} = 28333 \text{ Windungen}$$

Aufgabe 9

Die Induktionsspule (Fläche $A_2 = 5 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, Windungszahl $N_2 = 2000$) spürt die Änderung des Magnetfeldes B_1 der Feldspule und induziert eine Spannung entsprechend dem Induktionsgesetz:

$$U_{\text{ind}} = -N_2 \frac{d}{dt}(B_1 A_2) = N_2 A_2 \dot{B}_1 \quad \text{da die Spulenfläche konst. bleibt.}$$

Das Magnetfeld, das die Feldspule (Länge $l = 0,3 \text{ m}$, Windungszahl $N_1 = 600$) durch den Strom I erzeugt ist ($\mu_r = 1$):

$$B_1 = \mu_0 N_1 \frac{I}{l}$$

also ist die induzierte Spannung

$$U_{\text{ind}} = N_2 A_2 \dot{B}_1 = \mu_0 \frac{N_1 N_2 A_2}{l} \dot{I} \quad \text{da nur der Strom sich zeitl. ändert}$$

Der Strom steigt in $1/40 \text{ s} = 0,025 \text{ s}$ auf 5 A an, die zeitl. Änderung des Stroms ist also $\dot{I} = \Delta I / \Delta t = 5 \text{ A} / (0,025 \text{ s}) = 200 \text{ A/s}$. Also:

$$U_{\text{ind}} = \mu_0 \frac{N_1 N_2 A_2}{l} \dot{I} = 4\pi \times 10^{-7} \text{ V s/(A m)} \frac{600 \times 2000 \times 5 \times 10^{-4} \text{ m}^2}{0,3 \text{ m}} 200 \text{ A/s} = 0,5 \text{ V}$$

Aufgabe 10

Die Kreisfrequenz ist $\omega = \sqrt{1/(LC)} = \sqrt{1/(20 \times 10^{-3} \text{ H } 5 \times 10^{-6} \text{ F})} = 3160 \text{ s}^{-1}$.

Die Periodendauer ist $T = 2\pi/\omega = 2\pi/(3160 \text{ s}^{-1}) = 2 \text{ ms}$.

Die Amplitude der Stromstärke des Schwinkreises fällt exponentiell ab: $\hat{I}(t) = \hat{I}_0 \exp(-\gamma t)$, mit $\gamma = R/(2L)$. Nach der Halbwertszeit $t_{1/2}$ ist also $\hat{I}(t_{1/2}) = (1/2)\hat{I}(t = 0)$. Einsetzen liefert: $I_0 \exp(-\gamma t_{1/2}) = (1/2)I_0$. Auflösen nach $t_{1/2}$:

$$t_{1/2} = -\frac{1}{\gamma} \ln \frac{1}{2} = \frac{2L}{R} \ln 2 = \frac{2 \times 20 \times 10^{-3} \text{ H}}{2 \Omega} \ln 2 = 13,9 \text{ ms}$$

(Es kommen bis dahin also $t_{1/2}/T \approx 7$ Schwingungen zustande.)