Ferienkurs Experimentalphysik 2

Übungsblatt 3: Lösung

Tutoren: Julien Kollmann und Gloria Isbrandt

4 Aufgaben zu zeitlich veränderlichen Feldern

4.1 Induktion I

Es falle eine Leiterschleife durch ein Magnetfeld. Das Magnetfeld zeige dabei vom Beobachter weg und stehe senkrecht auf die Fläche der Leiterschleife. Machen Sie zunächst eine ausreichend große Skizze.
Es sollen drei Positionen während des Falls betrachtet werden: Während die Leiterschleife bereits zu einem Teil in das Magnetfeld eingedrungen ist, aber noch nicht vollständig (I); Während die Leiterschleife vollständig in das Magnetfeld eingedrungen ist (II); Und während ein Teil der Leiterschleife bereits nach unten hin wieder aus dem Magnetfeld ausgedrungen ist, aber noch nicht vollständig (III). Geben Sie für alle drei Positionen die Veränderung des magnetischen Flusses durch die Leiterschleife an (qualitativ) und Kennzeichnen Sie in ihrer Skizze in welche Richtung der induzierte Strom fließt.
Betrachten Sie Position II: Wie verändert sich hier die Geschwindigkeit der Leiterschleife?

Lösung

Der magnetische Fluss der Leiterschleife ändert sich mit der Fläche des Leiterschleifenquerschnitts, die vom Magnetfeld abgedeckt wird; nimmt also in I zu, bleibt in II konstant und nimmt in III ab. Entsprechend finden wir mithilfe der Lenz'schen Regel, dass der induzierte Strom in I gegen den UZS und in III mit dem UZS fließt. In II ändert sich der magnetische Fluss nicht und es wird kein Strom induziert. Entsprechend ist die Gravitation in II auch die einzige Kraft, die auf die Leiterschleife wirkt und ihre Geschwindigkeit erhöht sich somit.

4.2 Induktion II

Es werde eine quadratische Leiterschleife (in der Papierebene, Widerstand $1\,\Omega$) mit einer Seitenlänge von einem Meter betrachtet. Ein gleichförmiges magnetisches Feld bedecke die Leiterschleife halb und zeige aus der Papierebene heraus.

- Zur Zeit $t = 0$ sei das Magnetfeld $2\,\mathrm{T}$ stark. Berechnen Sie den magnetischen Fluss durch die Leiterschleife zu diesem Zeitpunkt.
- Zur Zeit $t = 1\,\mathrm{s}$ wird das Magnetfeld über die Dauer einer Sekunde gleichförmig abgeschaltet. Wie groß ist die induzierte Spannung zum Zeitpunkt $t = 1.5\,\mathrm{s}$? Was

ist die Richtung und was die Größe des zugehörigen Stroms? Wie groß ist die magnetische Kraft

Lösung

- $\Phi = B \cdot A = 1\,\mathrm{Wb}$
- $U = \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 1\,\mathrm{V}$ aufgrund der gleichförmigen Änderung. Daher: $I = \frac{U}{R} = 1A$. Da der magnetische Fluss durch die Leiterschleife abnimmt zeigt B_{ind} ebenfalls aus der Papierebene heraus (Regel von Lenz) und der Strom fließt im UZS durch das Quadrat.

4.3 Verschiebungsstrom

Es werde ein Kreisförmiger Kondensator (Radius R, Abstand d) werde mit einem Strom I aufgeladen.

- Wie groß ist die Änderung des elektrischen Flusses durch eine Fläche, die parallel zu den Kondensatorplatten und mittig im Kondensator ist?
- Wie groß ist das magnetische Feld in einem Punkt der oben beschriebenen Fläche, der sich im Abstand R vom Mittelpunkt des Kondensators befindet?

Lösung

Flussänderung:

$$\frac{Q}{U} = C = \frac{\varepsilon_0 A}{d} \tag{1}$$

$$Q = CU = \frac{\varepsilon_0 A U}{d} \tag{2}$$

$$I = C\frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}U}{\mathrm{d}t}\frac{\varepsilon_0 A}{d} = \left(d\frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}t}\right)\frac{\varepsilon_0 A}{d} = \frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t}\varepsilon_0 \tag{3}$$

$$\frac{\mathrm{d}\Phi}{\mathrm{d}t} = \frac{I}{\varepsilon_0} \tag{4}$$

Magnetische Flussdichte:

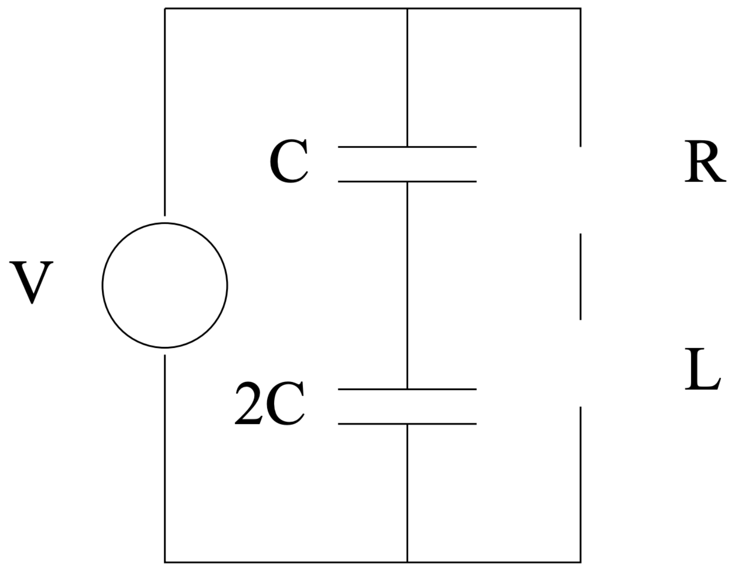
$$\oint \vec{B} \cdot \mathrm{d}\vec{l} = \mu_0 I \tag{5}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \tag{6}$$

5 Aufgaben zu Wechselstromkreisen

5.1 LR-Kreis

Ein LR-Kreis bestehe (im UZS) aus einer Gelichstromquelle ($10\,\mathrm{V}$), einer Spule (Eigeninduktivität $0.1\,\mathrm{H}$), einem Widerstand ($10\,\Omega$), einem Strommessgerät und einem Schalter. Der Plus-Pol der Spannungsquelle sei der Spule zugewandt und das Strommessgerät zeigt positive Werte für einen Strom im UZS. Der Schalter sei für einen langen Zeitraum geschlossen gewesen und werde zum Zeitpunkt $t = 0$ geöffnet. Berechnen Sie den Strom, der nach einer hundertstel Sekunde am Strommessgerät angezeigt wird.



Lösung

Der Strom fließt im UZS und nimmt exponentiell ab:

$$I = I_0 \mathrm{e}^{-\frac{R}{L}t} = \frac{U_0}{R} \mathrm{e}^{-\frac{R}{L}t} . \tag{7}$$

Einsetzen ergibt $I(0.01\,\mathrm{s}) = \frac{1}{e}$A.

5.2 LRC-Kreis I

Vergleichen Sie die Schwingung eines LRC-Schwingkreises mit der eines Masse-Feder-Systems. Identifizieren Sie analoge Komponenten. Betrachten Sie die entsprechenden Differentialgleichungen.

Lösung

Mechanisches System:

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + Kx = 0 \tag{8}$$

LRC:

$$L\ddot{q} + R\dot{q} + \frac{q}{C} = 0 \tag{9}$$

Es entsprechen sich also L und m, R und b und K und $1/C$.

5.3 LRC-Kreis II

Die Abbildung zeigt einen RLC-Schwingkreis, der von einer sinus-förmigen Spannung angetrieben wird.

- Berechnen Sie die gesamte Admittanz.
- Gibt es eine Frequenz für die diese Admittanz rein real wird? Wenn ja, welche?
- Bestimmen Sie die maximale Amplitude (ohne Phase) des Stroms durch alle Bauteile.

Lösung

- Impedanz der Kondensatoren: $Z_K = \frac{3}{2i\omega C}$
  Impedanz von R und L: $Z_{RL} = R + i\omega L$
  Daraus folgt für die *Admittanz* (parallelgeschaltet):

$$Y_{tot} = \frac{2i\omega C}{3} + \frac{1}{R + i\omega L} \tag{10}$$

- Obige Form nach $a + ib$ umstellen und Nullsetzen des imaginären Teils liefert:

$$\frac{2C}{3} = \frac{L}{R^2 + \omega^2 L^2} \tag{11}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{3}{2LC} - \frac{R^2}{L^2}}\,. \tag{12}$$

  Also gibt es eine solche Frequenz und sie ist durch die obige Form gegeben.

- Die Ströme durch die einzelnen Bauteile:

  - Durch die beiden Kondensatoren:

$$I_C = I_{2C} = \left|\frac{1}{Z_K}\right| V_0 = \frac{2}{3}\omega C V_0 \tag{13}$$

  - Durch die Spule und den Widerstand:

$$I_L = I_R = \left|\frac{1}{Z_{LR}}\right| V_0 = \frac{1}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} V_0 \tag{14}$$