

### Allgemeine Hinweise:

- Kommentieren Sie Ihre Lösungen! (Erläuterungen, Begründungen, Folgerungen)
- Rechnen Sie in SI-Einheiten (kg, m, s etc.)!
- Überprüfen Sie die physikalischen Einheiten in Ihren Rechenschritten und Lösungen! (Vor allem bei längeren Rechenwegen!)
- Lesen Sie die Aufgaben zunächst alle einmal und beginnen Sie dann mit der für Sie einfachsten Aufgabe!

Erlaubte Hilfsmittel: Taschenrechner, Formelsammlung, Schreibutensilien

**Aufgabe 1: Der elektromagnetische Schwingkreis** Schwingkreise sind die Grundlage für die Erzeugung elektromagnetischer Wellen. Im einfachsten Fall besteht ein Schwingkreis aus einer Spule und einem Kondensator, zwischen denen Energie periodisch ausgetauscht wird. Im idealen elektromagnetischen Schwingkreis haben die Spule und alle leitenden Verbindungen keinen ohmschen Widerstand.

1.1.

a) Leite für die Ladung  $Q(t)$  auf dem Kondensator die Differentialgleichung der ungedämpften Schwingung her:  $L \cdot \ddot{Q}(t) + \frac{1}{C} \cdot Q(t) = 0$

b) Leite her, welcher Zusammenhang zwischen den Größen  $L$ ,  $C$  und  $\omega$  bestehen muss, damit

$$Q(t) = \hat{Q} \cdot \cos(\omega t)$$

eine Lösung der Differentialgleichung ist.

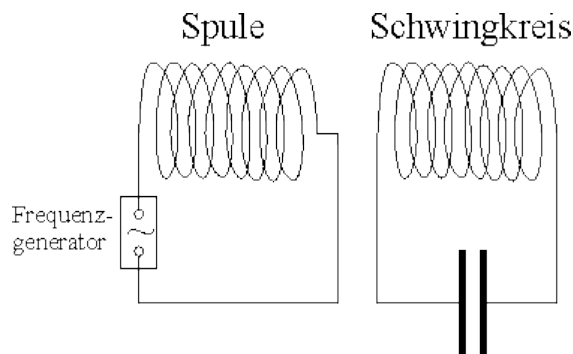
c) Stelle mit der Lösung aus c) die elektrische und die magnetische Energie jeweils als Funktion der Zeit dar und überprüfe die Gültigkeit des Energieerhaltungssatzes: die Gesamtenergie ist zu jedem Zeitpunkt konstant. (Tipp: Dabei kann dir sicherlich der „trigonometrische Pythagoras“ eine Hilfe sein.)

d) Aus einem Kondensator der Kapazität  $60 \mu F$  und einer Spule der Induktivität  $250 mH$  wird ein Schwingkreis gebaut, dessen Schwingungen als ungedämpft betrachtet werden sollen. Am Anfang liegt die maximale Spannung  $90 V$  am Kondensator. Nach welcher Zeit ist die Kondensatorspannung zum ersten Mal auf  $30 V$  gesunken? Wie groß ist dann die Stromstärke im Schwingkreis?

1.2. Eine elektromagnetischer Schwingkreis wird durch induktive Kopplung mit Hilfe eines Frequenzgenerators zu sinusförmigen Schwingungen angeregt.

a) Beschreibe, wie man mit dem Versuchsaufbau und geeigneten Messgeräten experimentell die Eigenfrequenz des Schwingkreises ermitteln kann.

b) Nun wird der Frequenzgenerator so eingestellt, dass der Schwingkreis mit seiner Eigenfrequenz  $f_0 = 0,33 kHz$  schwingt. Als Effektivwert der Kondensatorspannung misst man  $32 V$ , die effektive Stromstärke in der Schwingkreisspule beträgt  $0,67 A$ . Welche Induktivität und welche Kapazität hat der Schwingkreis? Der ohmsche Widerstand des Schwingkreises kann vernachlässigt werden.



Natürlich darf nicht bei allen Berechnungen der ohmsche Widerstand vernachlässigt werden. In der Regel fasst man alle ohmschen Widerstände im Schwingkreis zu einem mit Kondensator und Spule in Reihe befindlichen (ohmschen) Ersatzwiderstand zusammen. Im folgenden seien folgende Bauteilgrößen gegeben:

$$R = 10 \Omega, L = 23 mH, C = 10 \mu F$$

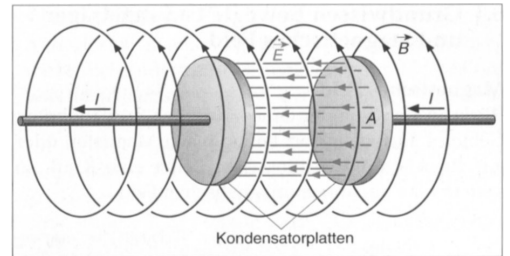
c) Berechne mittels des Gesamtwiderstandes  $X_{LCR}$  die Maximalstromstärken für Frequenzen von  $230$  bis  $470 Hz$  und trage diese in ein  $\hat{I}(f)$ -Diagramm ein ( $1 cm \triangleq 20 Hz$ ,  $1 cm \triangleq 1 A$ ), dabei sei die Maximalspannung  $\hat{U} = 100 V$ . Interpretiere das Diagramm.

**Aufgabe 2: Die Maxwellschen Gleichungen** Die Maxwellschen Gleichungen stellen die Krönung der Elektrodynamik, der Theorie der bewegten Ladungen und den damit verbundenen elektrischen und magnetischen Feldern, dar. Trotz ihrer Komplexität sind sie auch in einfachen Situationen anwendbar, z.B. liefert das Amperesche auf einfache Weise Aufschluß über das magnetische Feld eines Drahtes, einer langen Spule etc. Aus den Maxwell-Gleichungen läßt sich ebenfalls die Existenz elektromagnetischer Wellen herleiten, wobei die Vorhersage des sogenannten Verschiebungsstromes ( $\epsilon_0 \frac{d(\vec{E} \cdot \vec{A})}{dt}$ ) zeigt, dass sich solche Wellen auch im Vakuum, also in Abwesenheit von „materiellen“ Ladungen, ausbreiten.

2.1. Zeige, dass für den Verschiebungsstrom im Zwischenraum eines Plattenkondensators  $I_V = C \dot{U}$  gilt.

2.2. Leite mit Hilfe des Ampereschen Gesetzes her, dass das elektrische Wechselfeld eines Plattenkondensators von einem Magnetfeld umgeben sein muss.

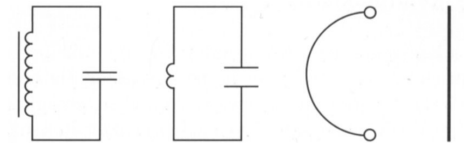
(Tipp: Zeichne in der Abb. einen Integrationsweg, der sowohl den Leiter, als auch den ladungsfreien Innenraum teilweise umschließt und auf dem  $\oint B ds = 0$  gilt.)



257.1 Durch den bei der Aufladung eines Kondensators fließenden Strom wird ein magnetisches Feld erzeugt. Auch das sich ändernde elektrische Feld im Kondensator ist von einem Magnetfeld umgeben.

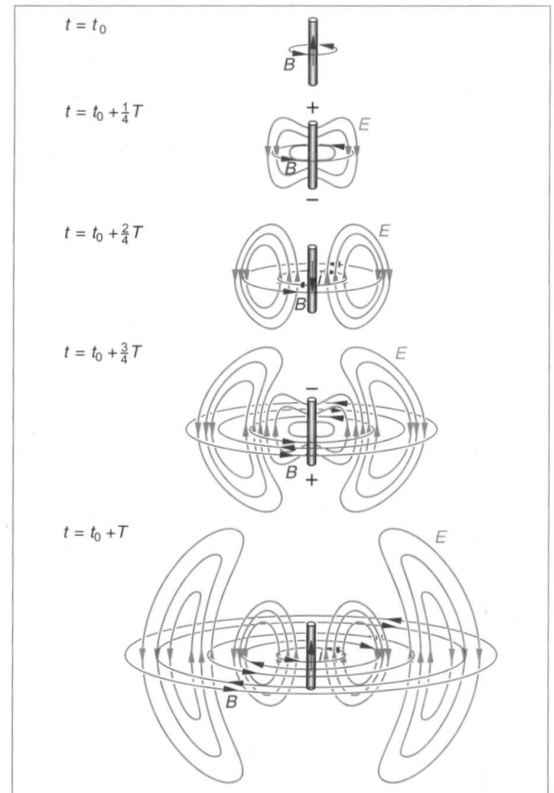
2.3. Ein Metallstab, in dem elektrische Schwingungen erzeugt werden, heißt Hertzscher Dipol. Man bezeichnet ihn auch als offenen oder entarteten Schwingkreis (vgl. Abb.).

Schätze physikalisch sinnvoll die Eigenfrequenz eines 35 cm langen Dipols ab.



2.4. Auf dem Dipol aus 2.3. wird ein Wechselstrom mit  $f = 434 \text{ MHz}$  erzeugt. Es bildet sich auf dem Dipol eine stehende Welle analog zum Demonstrationsexperiment. Der veränderliche Strom erzeugt ein sich zeitl. änderndes Magnetfeld, dieses wiederum ein wechselndes E-Feld usw.: es breitet sich eine elektromagnetische Welle mit derselben Wellenlänge im Raum aus (siehe Abb. unten). Berechne deren Ausbreitungsgeschwindigkeit.

(Hinweis: Hier ist nicht gemeint, aus den Maxwellgleichungen die Ausbreitungsgeschwindigkeit von elektromagn. Wellen herzuleiten und diese auszurechnen:  $c = 1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$  .)



287.2 Abstrahlung einer elektromagnetischen Welle durch einen Hertz'schen Dipol im zeitlichen Abstand von  $\frac{1}{4}$ -Schwingungsdauer. Die Bilder sind rotationssymmetrisch zur Dipolachse.

- siehe Formelsammlung