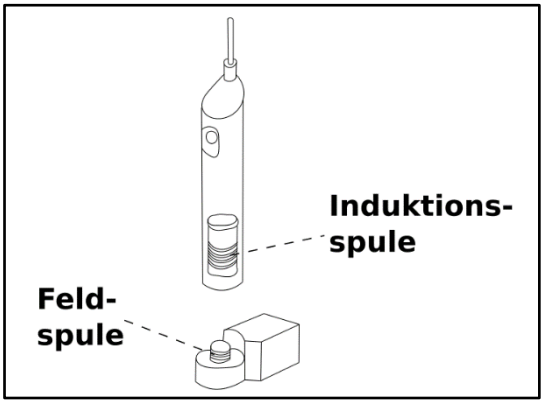
Aufgabenzettel – Induktionsgesetz



Zahlreiche Produzenten von Elektronikartikeln ermöglichen es, die Batterie eines Geräts drahtlos zu laden. Nachfolgend wird der Prozess des Aufladens einer elektrischen Zahnbürste analysiert, die für den Ladevorgang auf eine induktive Ladestation gestellt wird (vgl. Abbildung). Die Energieübertragung erfolgt mittels einer in der Ladestation integrierten Feldspule und einer Induktionsspule in der Zahnbürste. Diese Spulen sind elektrisch nicht direkt miteinander verbunden. Die Feldspule, die verwendet wird, zeichnet sich durch kreisförmige Windungen aus und ist mit Luft gefüllt. Sie wird im Folgenden durch eine Windungszahl von n = 50, einen mittleren Radius von R = 4,00 cm und eine Länge von L = 5,00 mm definiert. Dadurch ist die Länge der Spule im Verhältnis zum Radius als klein anzusehen. Basierend auf theoretischen Betrachtungen lässt sich die Beziehung zwischen der Stärke *B* des von der Spule erzeugten Magnetfeldes und der Stromstärke *I* wie folgt beschreiben:

$$B = \mu_0 \cdot \frac{n}{\sqrt{(2R)^2 + L^2}} \cdot I$$

In diesem Zusammenhang bezeichnet

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{N}{A^2}$$

die magnetische Feldkonstante.

a) Ermitteln Sie den Proportionalitätsfaktor

$$k = \mu_0 \cdot \frac{n}{\sqrt{(2R)^2 + L^2}}$$

für die theoretisch bestehende Beziehung.

Die Feldstärke einer (idealen) Spule mit der Länge $L = 0$ lässt sich mit der vereinfachten Formel

$$B = \mu_0 \cdot \frac{n}{2R} \cdot I$$

darstellen.

b) Bewerten Sie, ob die Vereinfachung dieser Formel im vorliegenden Kontext gerechtfertigt ist.

_____

_____

_____

_____

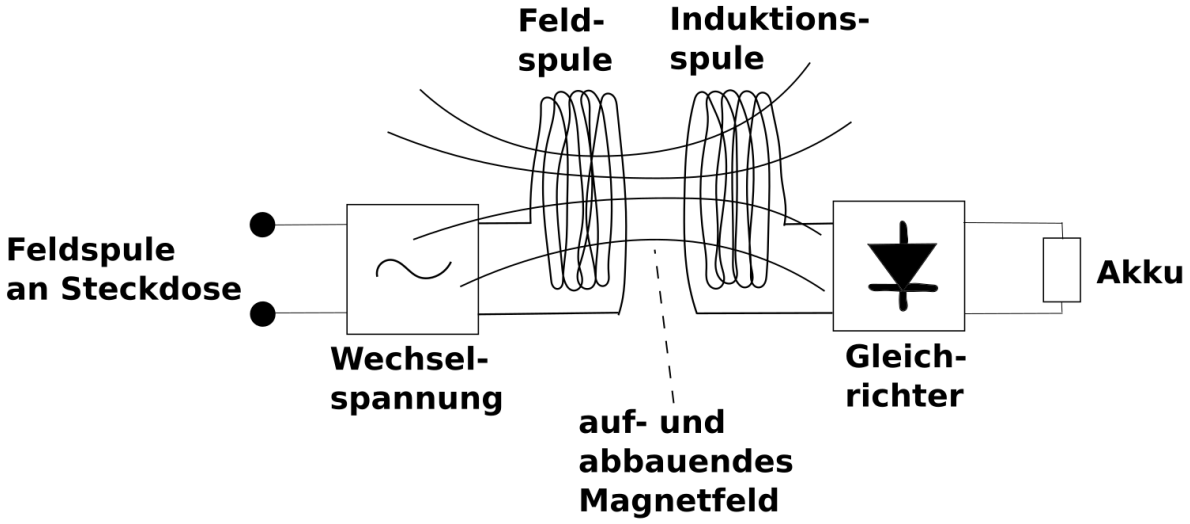
_____

_____

_____

_____

Die folgende Abbildung veranschaulicht das Basisprinzip der drahtlosen, induktiven Energieübertragung von der Feldspule zur Induktionsspule in der Zahnbürste.



Die induktive Übertragung von Energie gelingt mithilfe einer Wechselspannung, die in der Feldspule einen periodisch schwankenden Strom der Stärke I_1 erzeugt. An der Induktionsspule kann eine Spannung U_{Ind} festgestellt werden, die durch einen Gleichrichter derart verarbeitet wird, dass sie zum Laden eines Akkus geeignet ist.

c) Erörtern Sie, gestützt auf das allgemeine Prinzip der Induktion, die Ursache für die Messbarkeit einer Spannung U_{Ind} an der Induktionsspule.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

d) Erläutern Sie, weshalb eine induktive Energieübertragung nicht mit einem zeitlich unveränderlichen magnetischen Feld in der Feldspule realisiert werden kann.

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

_____

Die Spannung an der Induktionsspule lässt sich mit der Formel

$$U_{Ind} = -n \cdot A \cdot \dot{B}$$

ausdrücken.

e) Erläutern Sie die physikalischen Größen, die in der Formel auftreten, bezogen auf die vorherige Abbildung.

_____

_____

_____

_____

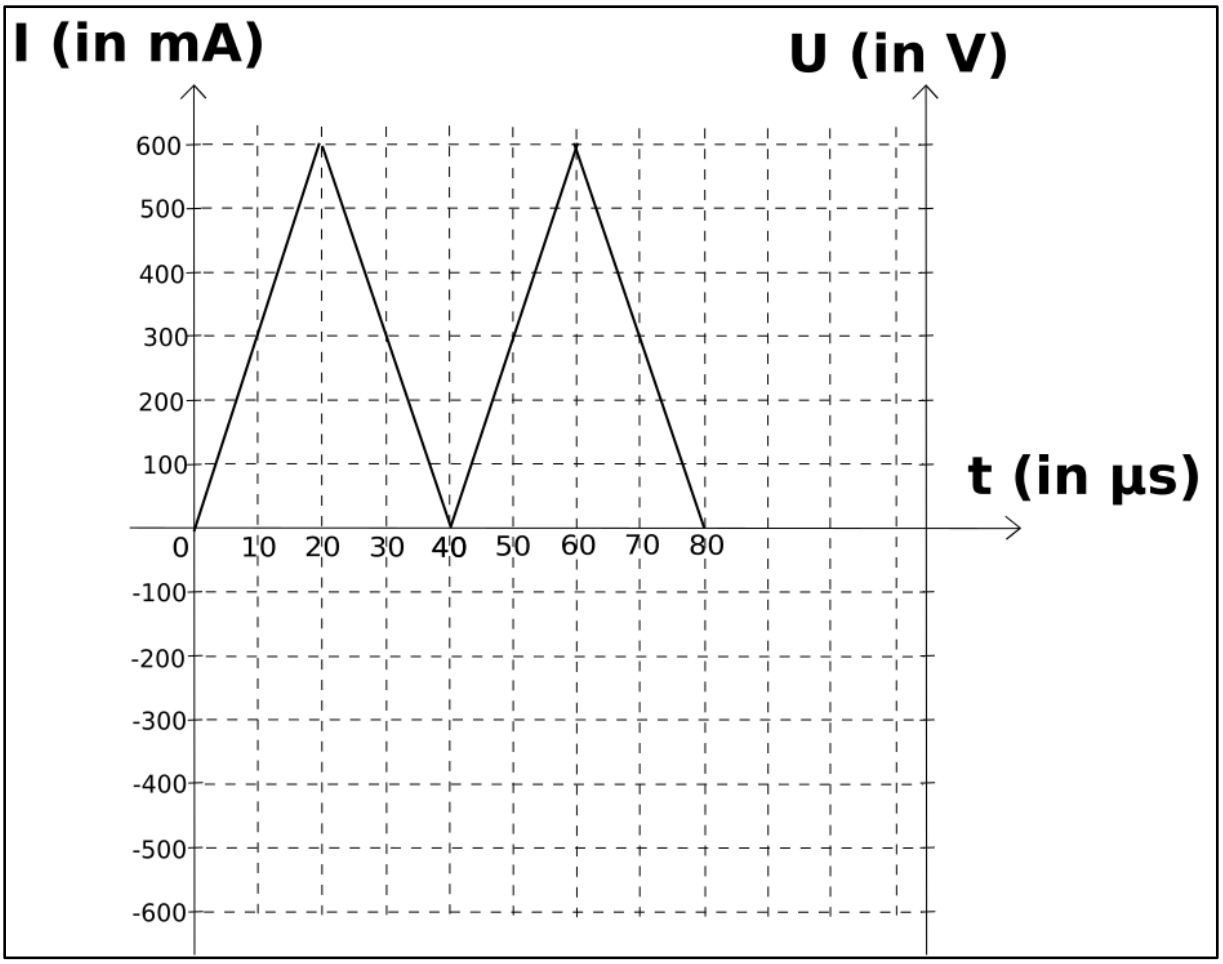
_____

_____

_____

_____

Innerhalb der Feldspule kann man durch spezielle Netzgeräte unterschiedliche zeitliche Verläufe der Stromstärke I realisieren. Unter anderem ein dreieckförmiger Stromstärkeverlauf in der Feldspule wie in der folgenden Abbildung.

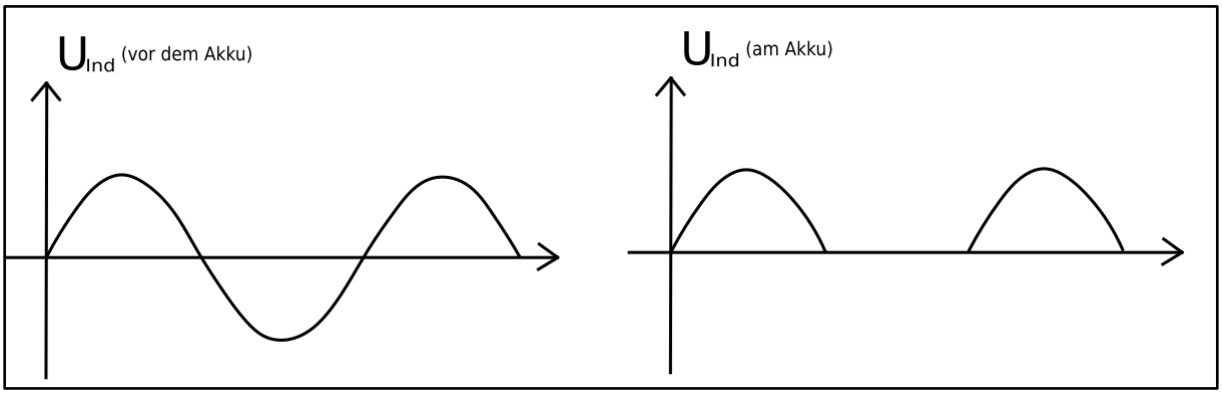
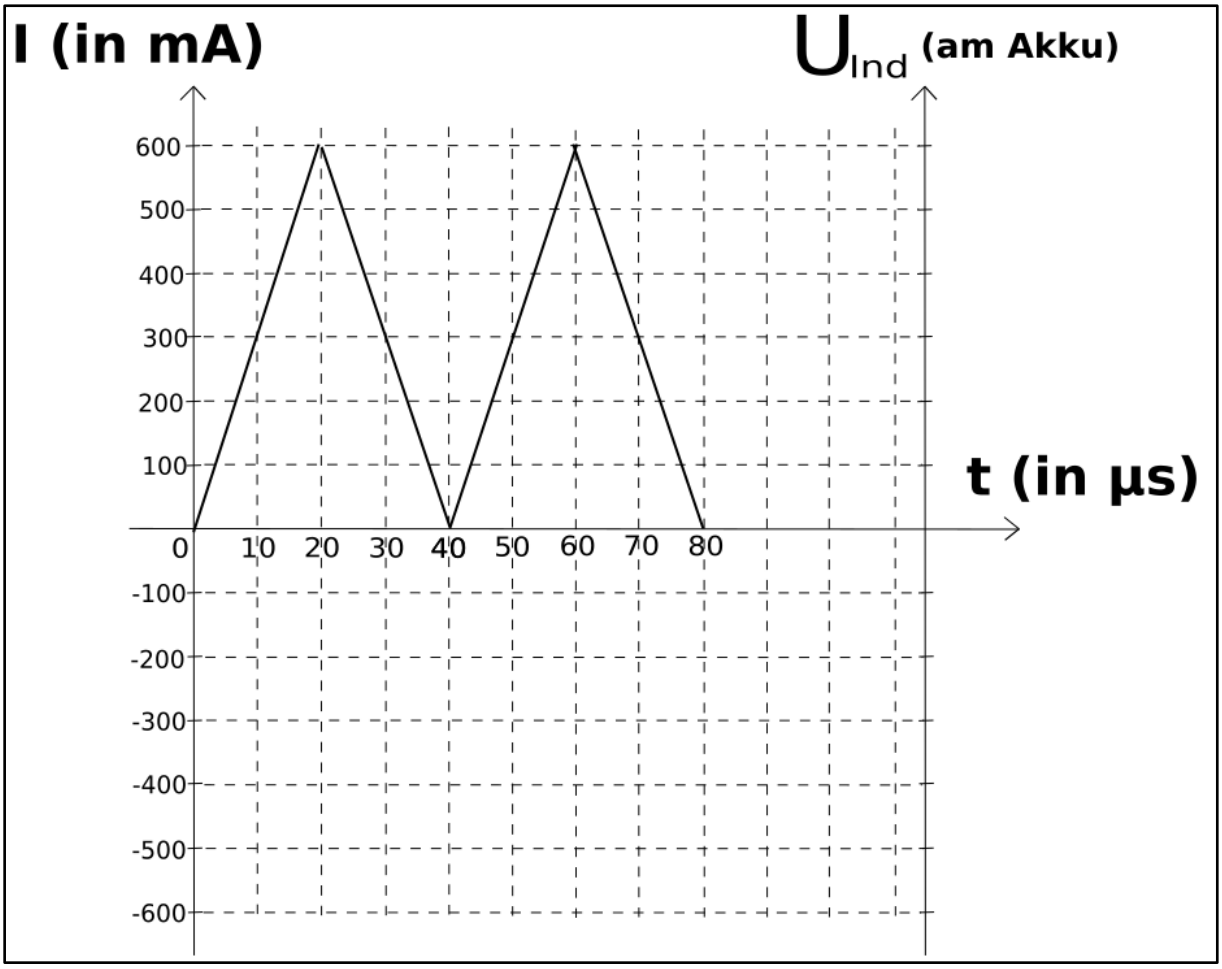


Daraus folgt, dass die Magnetfeldstärke B in der Feldspule gemäß den Spezifikationen aus Teil 1b) bestimmt wird. Die Induktionsspule verfügt über n = 30 Windungen und eine Querschnittsfläche von A = 60,0 cm^2.

f) Verwenden Sie die in Teil b) und d) bereitgestellten Formeln, um die Spannung U_{Ind} an der Induktionsspule während einer ansteigenden Flanke im vorherigen Diagramm zu berechnen.

g) Zeichnen Sie, basierend auf der im Diagramm rechts vorgegebenen Achsenbeschriftung, den zeitlichen Verlauf der Spannung U_{Ind} in das Diagramm ein. Hinweis: Die Achse rechts muss entsprechend skaliert werden.

Der Gleichrichter vor dem Akku auf Seiten der Induktionsspule, sorgt dafür, dass alle negativen Spannungen U_{Ind} keine Wirkung zeigen, was bedeutet, dass die am Akku anliegende Spannung in diesen Fällen Null beträgt. Positive Spannungen hingegen bleiben unverändert.



h) Wiederholen Sie die Aufgabe g) unter Berücksichtigung des Einflusses des Gleichrichters.