

Aufgabe 1 (Elektrische Zahnbürste)

Anordnungen zur Übertragung elektrischer Energie beinhalten meistens Metallkontakte, an welche z.B. Kabel als elektrische Leitungen angeschlossen werden. In bestimmten Anwendungen, wie z.B. Elektrozahnbürsten o.Ä., ist dies jedoch unpraktikabel, da Metallkontakte durch Verunreinigungen unbrauchbar werden können. Hier sind die elektromagnetischen Eigenschaften von Strom durchflossenen Spulen nützlich. Das Kernstück der Ladestation einer elektrischen Zahnbürste besteht aus zwei Spulen, die auf einen gemeinsamen Eisenkern gesteckt werden (vgl. Abbildung 1).

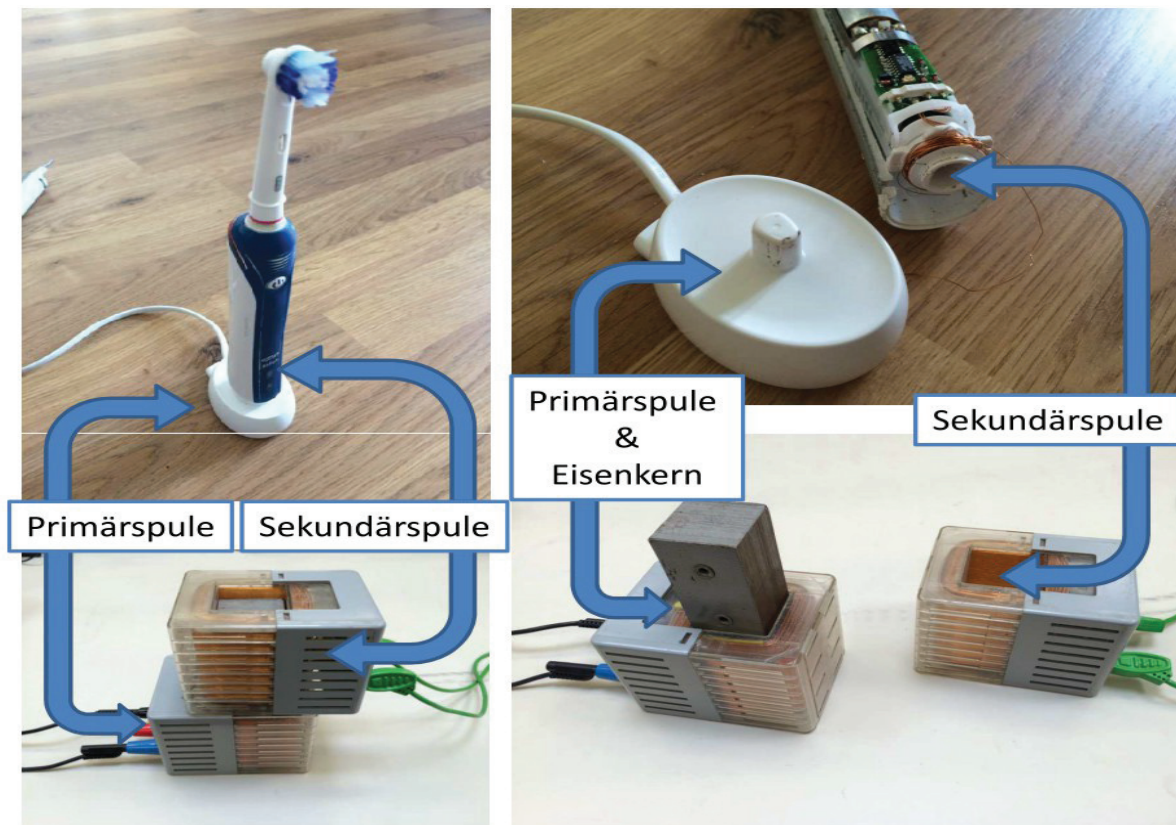


Abbildung 1: In dem linken Bild (oben) sieht man eine Ladestation mit der dazugehörigen Zahnbürste. Diese wurde an der Unterseite geöffnet, um die in der Zahnbürste selbst untergebrachte Sekundärspule sichtbar zu machen, wie das rechte Bild (oben) zeigt. Die Primärspule mit dem Eisenkern liegt nicht sichtbar in der Ladestation und wird mit Hilfe der Netzleitung versorgt. Der in der Zahnbürste untergebrachte Akku ist ebenfalls nicht sichtbar; er spielt für diese Aufgabe keine Rolle. In den unteren Bildern ist eine Experimentier-Anordnung aus zwei Spulen mit Eisenkern dargestellt, die dem Prinzip der Vorrichtung entspricht. Die Doppelpfeile bringen die entsprechenden Spulen in Beziehung.

Mit Hilfe der Experimentieranordnung (vgl. Abbildung 1) wurde ein Modell für die Ladevorrichtung der elektrischen Zahnbürste aufgebaut. Gehen Sie bei der Bearbeitung der Aufgaben davon aus, dass die Stärke B des Magnetfeldes einen sinusförmigen Verlauf hat. Ergebnisse der Messungen sind in Abbildung 2 dargestellt.

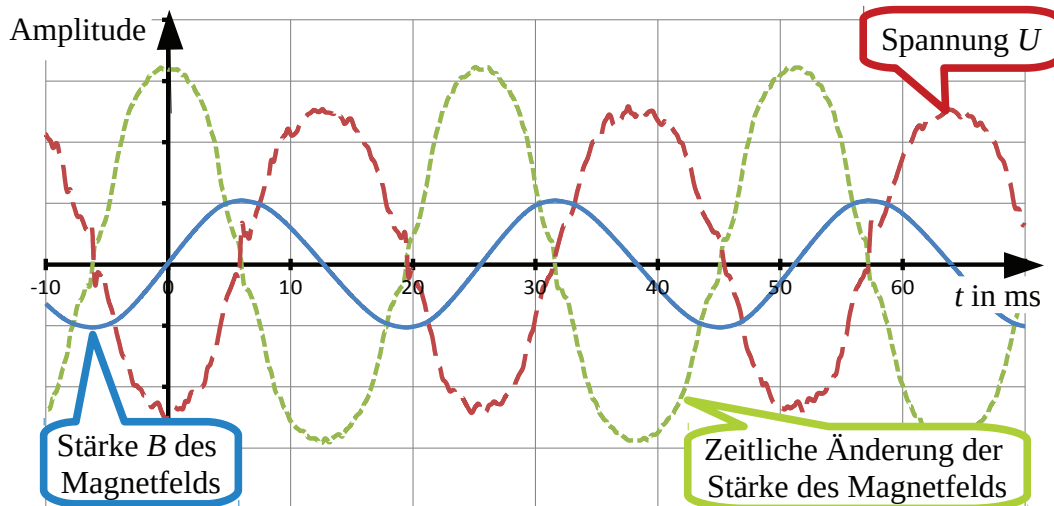


Abbildung 2: Ergebnisse der Messungen an der Sekundärspule. Die drei gemessenen Größen werden in einem gemeinsamen Diagramm dargestellt, um die zeitlichen Zusammenhänge erkennbar zu machen.

- 1.1 Geben Sie eine mathematische Formulierung des Induktionsgesetzes (in allgemeiner Form) an und erläutern Sie die in der Formel vorkommenden physikalischen Größen.
- 1.2 Beschreiben Sie zwei (prinzipiell) unterschiedliche Prozesse, durch die Induktionsspannungen erzeugt werden können, und geben Sie dazu jeweils ein (einfaches) Beispiel an.
- 1.3 In dem gezeigten Video aus der Sendung „Kopfball“ soll die Funktionsweise der Ladevorrichtung einer elektrischen Zahnbürste erklärt werden. In dieser Erklärung finden sich jedoch einige grundlegende physikalische Fehler und/oder Ungenauigkeiten. (vgl. <http://www.wdr.de/tv/kopfball/sendungsbeitraege/2010/1017/stromuebertragung.jsp>)

Benennen Sie einen Fehler oder eine Ungenauigkeit aus dem Video und erklären Sie den von Ihnen benannten Sachverhalt physikalisch korrekt.

- 1.4 Erläutern Sie, wie die gemessene Spannung zwischen den Anschlüssen der Sekundärspule entsteht und erklären Sie den Verlauf der Graphen in Abbildung 2 jeweils mit Bezug auf das allgemeine Induktionsgesetz.

Geben Sie für diesen Versuch einen allgemeinen Funktionsterm für die Stärke des $B(t)$ des Magnetfeldes an und leiten Sie, ausgehend vom allgemeinen Induktionsgesetz, daraus den Term

$$U_{\text{ind}}(t) = -N \cdot A_0 \cdot B_0 \cdot \frac{2\pi}{T} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$$

für die Zeit-Induktionsspannungs-Funktion her und erklären Sie die Bedeutung der enthaltenen Variablen und Konstanten. Gehen Sie bei der Herleitung vereinfachend davon aus, dass $B(0)=0$ ist.

- 1.5 Durch elektronisch gesteuerte Bauteile wird die Netzspannung bereits in den Netzteilen herunter transformiert. Für die elektrische Zahnbürste gilt also am Netzteil 10V/5A und 600 Windungen, der in der Zahnbürste enthaltene Akku ist für 1,2V ausgelegt.

Bestimmen Sie die Windungszahl der Sekundärspule in der Zahnbürste.

- 1.6 Wenn man keinen sinusförmigen elektrischen Strom in der Primärspule verwendet, kann man ein Messergebnis wie in Abbildung 3 erhalten.

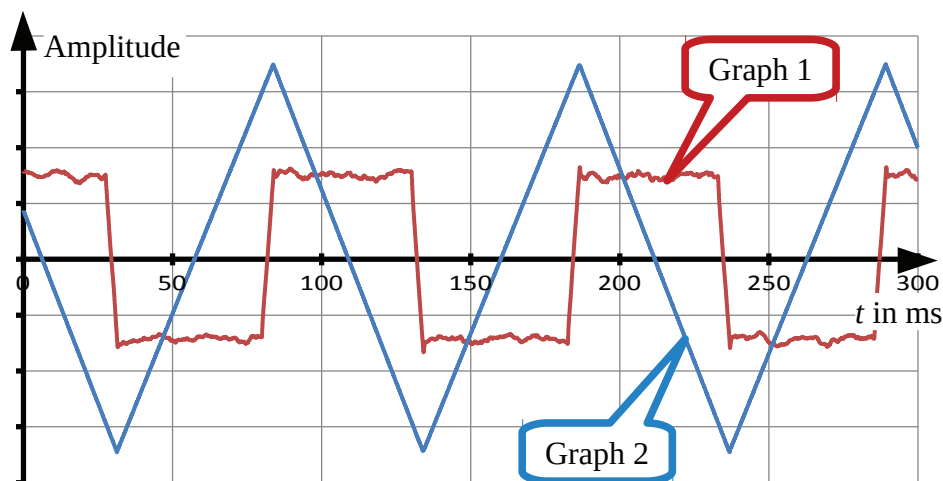


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf von Magnetfeldstärke B in der Primärspule und Spannung U an der Sekundärspule in einem gemeinsamen Koordinatensystem.

Begründen Sie, welcher der beiden Graphen die Stärke B des Magnetfeldes und welcher die Spannung U an der Sekundärspule darstellt, indem Sie den Begriff Steigung verwenden.

- 1.7 In Europa, Asien, Australien, den Großteil von Afrika und Teilen von Südamerika wird für das allgemeine Stromnetz, in sogenannten Verbundnetzen, eine Netzfrequenz von 50 Hz verwendet. In Nordamerika verwendet man im öffentlichen Stromnetz eine Netzfrequenz von 60 Hz.

Diskutieren Sie, welche Auswirkungen es für eine Ladestation haben könnte, wenn man diese zugleich in Deutschland und in den USA einsetzen möchte.

Bestimmen Sie anhand der Daten aus Abbildung 2, welche Frequenz in der dort untersuchten Ladestation verwendet wurde.