

IK - Induktion

Blockpraktikum Frühjahr 2005

Alexander Seizinger, Tobias Müller
Assistent René Rexer

Tübingen, den 29. März 2005

1 Einführung

In diesem Versuch geht es um die Abhängigkeit der Induktionsspannung von der Änderung der Stromstärke. Hierzu legt man an eine Feldspule eine dreiecksförmige Wechselfeldspannung an. Mit Hilfe eines Spannungsmessgerätes wird die induzierte Spannung U_{ind} an einer zweiten Testspule gemessen.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Erzeugung von Magnetfeldern / Gesetz von Biot-Savart

Siehe Protokoll des Versuchs LK - Lorentzkraft

2.2 Induktion

Ändert sich der durch eine Spule fließende Strom I , so bewirkt dies eine Änderung des Magnetfeldes der Spule. Man beobachtet, dass die Spule, um dieser Änderung entgegenzuwirken, eine Gegenspannung U_{ind} induziert (Lenzsche Regel). Aus den Maxwellgleichungen folgt:

$$U_{ind} = -\dot{\Phi}$$

Wobei ϕ der magnetische Fluss ist, mit

$$\Phi = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

Da \vec{A} bei der Spule konstant ist, also $d\vec{A} = 0$, folgt:

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A} \quad \dot{\Phi} = \dot{\vec{B}} \cdot \vec{A}$$

und somit für die Induktionsspannung U_{ind} bei n Windungen:

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

Für das \vec{B} -Feld einer dünnen Spule der Länge l gilt (vgl. Versuch Lorentzkraft):

$$\vec{B} = \mu_0 n \cdot \frac{I}{l} \quad \dot{\vec{B}} = \mu_0 n \cdot \frac{\dot{I}}{l}$$

Oben eingesetzt erhält man für die Induktionsspannung:

$$U_{ind} = -n \cdot \mu_0 n \frac{\dot{I}}{l} \cdot A$$

Dies lässt sich mittels der Induktivität L

$$L = \mu_0 A \cdot \frac{n^2}{l}$$

vereinfacht schreiben als:

$$U_{ind} = -L\dot{I}$$

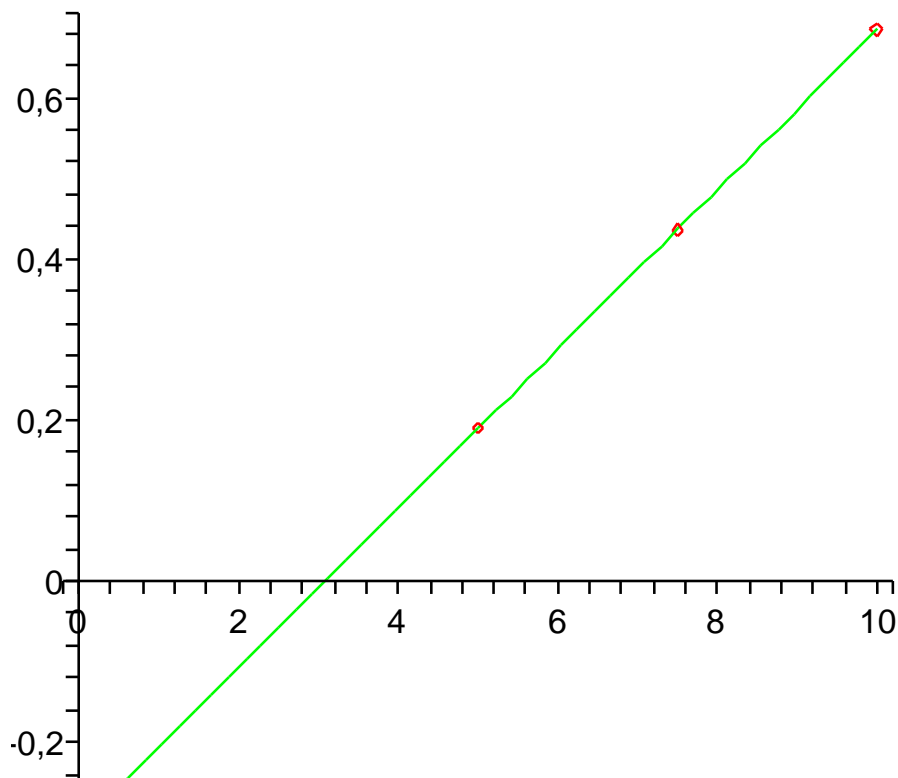
3 Versuchsdurchführung und Auswertung

3.1 Kalibrierung des Dreiecksstromgenerators

Zuerst muss der verwendete Dreiecksstromgenerator kalibriert werden. Zu diesem Zweck wird bei verschiedenen Skaleneinstellungen die Periodendauer des Dreiecksstroms mit einem Strommessgerät gemessen. Aus diesen Werten lässt sich anschließend die Änderung der Stromanstiegsgeschwindigkeit pro Skalenteil berechnen.

Skala	Zeit 1 [s]	Zeit 2 [s]	Zeit 3 [s]	Mittelwert [s]	Std.abw. W [s]	Std.abw. M [s]	Stroma.ges. [A/s]
5	26,4	26,3	26,2	26,3	0,1	0,057	0,19
7,5	11,3	11,6	11,5	11,47	0,15	0,088	0,43
10	7,2	7,3	7,3	7,26	0,06	0,033	0,68

Kalibrierung des Dreiecksstromgenerators



X-Achse: Generator-Skala, Y-Achse: Stromanstiegsgeschwindigkeit [A/s]

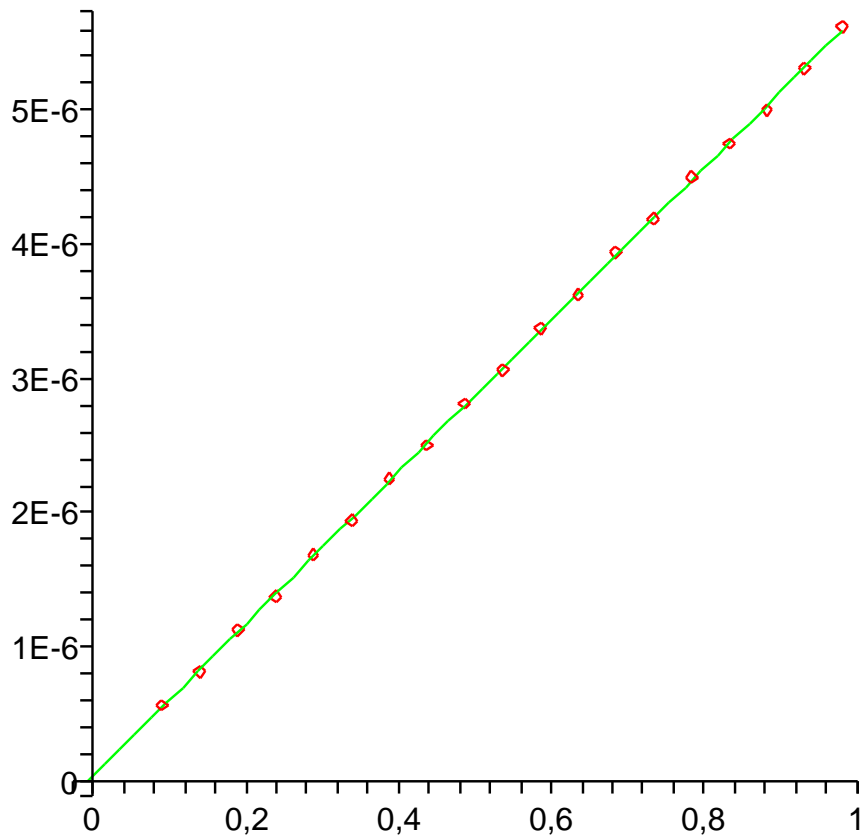
Für den Zusammenhang der Skalenwerte und der Stromanstiegsgeschwindigkeit gilt also folgende Beziehung:

$$y = 0,09896348730 \text{ A/s} \cdot x - 0,3052376992 \text{ A/s}$$

3.2 Abhängigkeit von Stromanstiegsgeschwindigkeit

Nun konnten wir im ersten Teil des Versuchs die Induktionsspannung einer zweiten Testspule, die um die an den Dreiecksstromgenerator angeschlossene Feldspule angeordnet war, mit einem Spannungsmessgerät messen. Mit dem oben hergeleiteten Zusammenhang zwischen U_{ind} und $\dot{I} = \frac{dI}{dt}$ lässt sich dann μ_0 bestimmen.

Induktion (Spulenwindung)



X-Achse: Stromanstiegsgeschwindigkeit [A/s], Y-Achse: Induktionsspannung U_{ind} [V]

Die im Schaubild gezeichnete Ausgleichsgerade hat die Steigung $m = 0,5609649123 \cdot 10^{-6} \text{Vs/A}$. Durch Mittelung der Messwerte und Berechnung der Standardabweichung erhalten wir für die Spule

$$L = \frac{U_{ind}}{\dot{I}} = 5,78 \cdot 10^{-6} \text{H} \pm 7,5 \cdot 10^{-8} \text{H (zuf.)}$$

Da für den Fluss unserer Spule gilt

$$\Phi = \mu_0 \frac{I \cdot N}{\sqrt{l^2 + D^2}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

und allgemein

$$\frac{\Phi}{I} = \frac{A \cdot B}{I} = \frac{A \mu_0 n I}{I l} = \frac{L}{n}$$

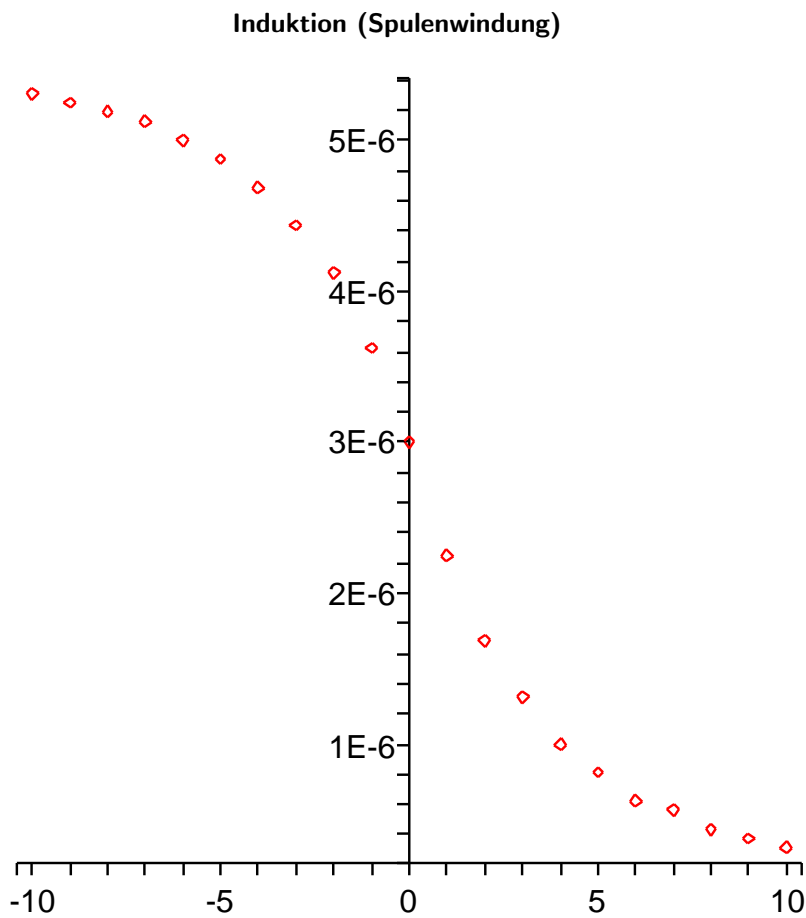
läßt sich μ_0 wie folgt berechnen:

$$\mu_0 = \frac{4L\sqrt{l^2 + D^2}}{\pi D^2 N}$$

Mit unseren Werten ergibt das für $\mu_0 = 1,254 \cdot 10^{-6} \text{Vs/Am} \pm 1,624 \cdot 10^{-8} \text{Vs/Am}$ (zuf.). Der zufällige Fehler wurde mit der Standardabweichung des Mittelwertes berechnet.

3.3 Abhängigkeit von der Position

Im dritten Teil des Versuches wurde nun noch die Induktionsspannung in Abhängigkeit der Position der Induktionsspule (Abstand von einem Randpunkt) gemessen.



X-Achse: Abstand zum Randpunkt der Spule (negative Achse zeigt zum Spulenmittelpunkt) [cm]
 Y-Achse: Induktionsspannung U_{ind} [V]

Man erkennt sofort, dass das Magnetfeld der Spule am Rand nicht mehr homogen ist und sehr stark abfällt.

4 Ergebnisse

Es ist sehr erstaunlich, wie genau mit diesem Versuch μ_0 bestimmt werden kann. Der ermittelte Wert

$$\mu_{0, gem} = 1,254 \cdot 10^{-6} \text{Vs/Am} \pm 1,624 \cdot 10^{-8} \text{Vs/Am (zuf.)}$$

stimmt sehr gut mit dem Literaturwert

$$\mu_{0, lit} = 1,257 \cdot 10^{-6} \text{Vs/Am}$$

überein.