

Aufgaben:

- (1.) Die Induktionsspannung an einer Spule im veränderlichen Magnetfeld ist in Abhängigkeit von -- (a) der Fläche A , -- (b) der Windungszahl n und -- (c) dem Cosinus des Anstellwinkels α zwischen Spulenachse und Magnetfeldrichtung (= Richtung der Feldlinien) zu bestimmen.
- (2.) Das Galvanometer ist zu kalibrieren.
- (3.) Die Äquivalenz verschiedener Arten der Induktionsspannungserzeugung ist nachzuprüfen: (a) Ein- bzw. Ausschalten des Magnetfeldes, (b) Drehen der Probepule und (c) Herausnehmen der Probepule aus dem Magnetfeld.

Grundlagen:

Durch die zeitliche Änderung des magnetischen Flusses Φ wird an einer Spule mit n Windungen die Spannung

$$U_{ind} = -n \frac{d\Phi}{dt} \quad (1)$$

induziert. Der magnetische Fluss Φ ist definiert als

$$\Phi = A \cdot \cos \alpha \cdot B \quad (2)$$

A = Spulenquerschnitt wenn die Spule sich vollständig in einem ausgedehnten homogenen Magnetfeld befindet; B = magnetische Flussdichte; α = Winkel zwischen B und der Spulenachse.

Wird die magnetische Flussdichte B geändert, so beträgt die induzierte Spannung:

$$U_{ind} = -n \cdot A \cdot \cos \alpha \frac{dB}{dt}$$

Wird die Spule im konstanten Magnetfeld gedreht, so beträgt die induzierte Spannung:

$$U_{ind} = -n \cdot A \cdot B \frac{d(\cos \alpha)}{dt}$$

Die induzierte Spannung U_{ind} ruft im Leiterkreis einen Strom:

$$I = \frac{U_{ind}}{R_{ges}}$$

hervor. R_{ges} setzt sich aus allen im Leiterkreis vorhandenen Widerständen zusammen. Insgesamt tritt die Ladung:

$$Q = \int_0^t I dt = -\frac{n}{R_{ges}} \int_0^t \frac{d\Phi}{dt} dt = \frac{n}{R_{ges}} (\Phi_1 - \Phi_2) \quad (3)$$

auf, wobei

$\Phi_1 = A \cdot \cos \alpha_1 \cdot B_1$ und $\Phi_2 = A \cdot \cos \alpha_2 \cdot B_2$ ist.

Q kann mit einem ballistischen Galvanometer gemessen werden. Ballistisch heißt, daß die Eigenschwingzeit τ des Galvanometers groß gegen die Änderungszeit t sein muß. Unter dieser Voraussetzung ist dann der Ausschlag s des Galvanometers proportional der nachzuweisenden Ladung Q .

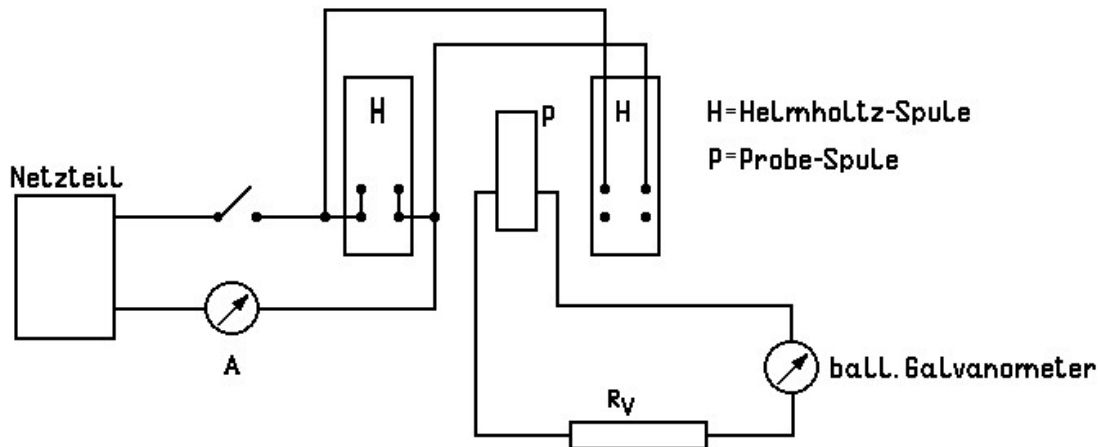


Abb.1: Schaltbild zur Induktionsmessung

Durchführung:

Zu Aufgabe 1a: Die beim Ein- und Ausschalten des Magnetfeldes durch die Spulen 1, 2 und 5 fließende Ladung Q ist unter Beibehaltung des Anstellwinkels $\alpha = 0$ (Ritzmarkierungen auf Rahmen und Probespulen stimmen überein) auszumessen. Von $s = f(A)$ ist ein Schaubild anzufertigen.

Zu Aufgabe 1b: Da die Querschnitte A der Spulen 2, 3 und 4 etwas verschieden sind, müssen die Ausschläge auf eine Einheitsfläche (z. B. 100cm^2) normiert werden. Dann soll in einem Schaubild die Kurve $s = f(n)$ dargestellt werden.

Zu Aufgabe 1c: Für die Spulen 1 und 3 ist ein Schaubild $s = f(\cos \alpha)$ anzufertigen.

Zu Aufgabe 2 : Unter Verwendung der Formel (3) ist das Galvanometer zu kalibrieren. Hierzu werden die Meßwerte aus Aufgabe 1 für $\cos \alpha_1 = \cos \alpha_2 = 1$ verwendet. B_2 und damit auch Φ_2 ist Null, d.h. es fließt kein Strom durch die Magnetspulen. $B_1 = B = 29 \cdot 10^{-4} \text{ T}$ bei $I = 4,55 \text{ A}$. Es soll die Ladungsempfindlichkeit E_b des Galvanometers berechnet werden:

$$E_b = \frac{\text{Zeigerausschlag}}{\text{Ladung}} = \frac{s}{Q}$$

Mitteln Sie aus den Einzelergebnissen der Spulen 2 bis 5. (Spule 1 würde wegen ihres kleinen Durchmessers mit einem besonders großen relativen Fehler eingehen).

Zu Aufgabe 3: Der mit der Spule 2 bei $\alpha = 0$ durch Ein- oder Ausschalten des Magnetfeldes hervorgerufene Galvanometerausschlag s ist mit den Galvanometerausschlägen zu vergleichen, die entstehen bei: (i) eingeschaltetem Magnetfeld durch Drehen der Probespule um 90° (Drehzeit $< \tau$; Anfangsanstellwinkel entweder 0° oder 90°); (ii) eingeschaltetem Magnetfeld durch Herausnehmen der Probespule aus dem Feld. Die gemessenen Galvanometerausschläge müßten innerhalb der Fehlergrenzen gleich sein.

Angaben:

- Daten der zur Verfügung stehenden Spulen:

Spule	$A[\text{cm}^2]$	n	$R_s[\Omega]$
1	38,5	400	10
2	132,5	400	15
3	98,5	620	20
4	124,5	800	30
5	227,0	400	20

- Innenwiderstand des Galvanometers: $R_i = 28\Omega$
- $R_V = 8,42k\Omega$, $\tau = 5,0\text{sec}$
- $B = 29 \cdot 10^{-4} T$ bei $I = 4,55 A$ $\left(1T = 1 \frac{Vs}{m^2}\right)$.

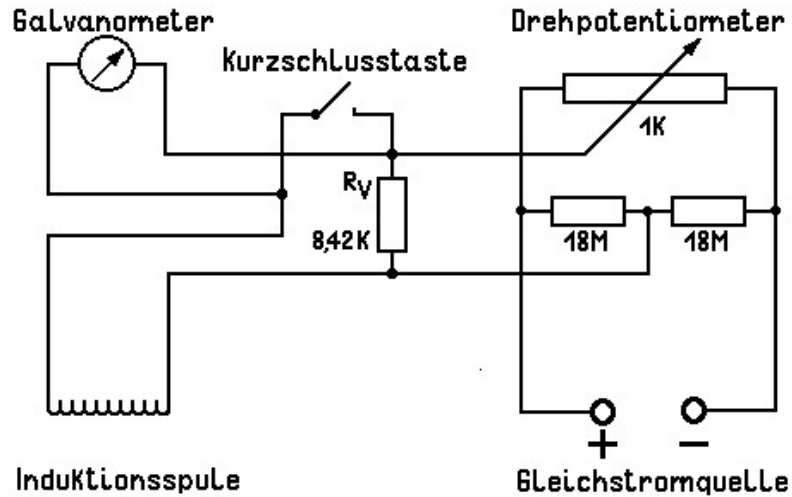


Abb.2: Schaltbild des Galvanometers mit Hilfsschaltung zur Feineinstellung des Nullpunktes

Bedienung des ballistischen Galvanometers:

1. Der Schalter für den Lichtzeiger befindet sich unmittelbar unter der Skala auf der rechten Seite des Skalensockels. Wegen der Erschütterungsempfindlichkeit des Galvanometers ist der Schalter sehr vorsichtig zu bedienen. Der Lichtzeiger bleibt während der Arbeit am Versuch ständig eingeschaltet.
2. Die Nullpunktgrobeinstellung - die nur selten notwendig ist - erfolgt durch den Praktikumstechniker.
3. Die Nullpunktfeineinstellung erfolgt am Drehpotentiometer. Damit wird eine sehr kleine Kompensationsspannung am Vorwiderstand R_V geregelt. Hierdurch werden zugleich Störspannungen kompensiert. Bei diesen Störspannungen handelt es sich in diesem Fall um Thermospannungen, die durch geringe Temperaturdifferenzen entstehen und sich der zu messenden Spannung überlagern. Dadurch würden Meßfehler entstehen. Da bei Temperaturänderungen sich auch die Thermospannungen ändern, muß der Nullpunkt im Lauf des Experiments mehrfach kontrolliert und gegebenenfalls nachgeregelt werden. Dies ist nur möglich, wenn der Stromkreis geschlossen, d. h. wenn die Induktionsspule, mit der gemessen werden soll, bereits angeschlossen ist.
4. Vor einer Nullpunktkontrolle und vor einer Messung muß das Galvanometer in Ruhestellung gebracht werden. Zur Dämpfung der Galvanometerschwingungen dient die Kurzschlußstaste. Während einer Nullpunktkontrolle und während einer Messung darf die Kurzschlußstaste selbstverständlich nicht gedrückt werden.
5. Am Galvanometer darf nichts verstellt werden.
6. Der Galvanometertisch darf während der Messungen nicht berührt werden. Das Galvanometer ist sehr erschütterungsempfindlich.

Literatur:

Gerthsen-Kneser-Vogel, Physik;
Theorie des Galvanometers: Westphal, Physikalisches Praktikum

