

1.5 Galvanometer

1 Einführung

Galvanometer sind elektrische Messinstrumente für Ströme und Spannungen. Sehr hohe Empfindlichkeiten für kleine Ströme erreicht man durch die Bauform des Spiegelgalvanometers (Abb. 1). Für die Anzeige werden hier lange Lichtzeiger verwendet. In der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts wurden solche Instrumente noch überwiegend als Anzeigeeinstrumente für die verschiedensten Präzisionsmessungen herangezogen; heute spielen sie in der Messtechnik nur eine untergeordnete Rolle, da es inzwischen elektronische Messgeräte gibt, mit denen man ebenso große und auch noch größere Empfindlichkeiten erreichen kann.

Auf den ersten Blick erscheint es vielleicht etwas ungewöhnlich, dieses Messgerät im Rahmen der Mechanik-Aufgaben zu untersuchen. Der Grund dafür liegt darin, dass das Galvanometer ein einfach zu beschreibendes, schwingendes System darstellt (siehe Gl. 2), bei dem in überschaubarer Weise eine elektrische in eine mechanische Größe umgewandelt wird. Die dabei auftretenden Schwingungen des Zeigers sind so langsam, dass sie sich bequem beobachten und ausmessen lassen.

Da nun die Schwingungslehre zu einem sehr wichtigen Kapitel der Mechanik gehört, bietet das Galvanometer eine gute Möglichkeit, das Verhalten von Schwingungen experimentell zu untersuchen.

Das Messwerk des im Versuch behandelten Drehspulgalvanometers mit Spiegelablesung (Abb. 1) besteht aus einem starken Hufeisenmagneten, zwischen dessen Polschuhen sich eine drehbare, von dem zu messenden Strom durchflossene Spule befindet. Zwischen den zylindrisch ausgedrehten Polschuhen befindet sich ortsfest (nicht etwa mit der Spule drehbar) ein zylindrischer Weicheisenkern, der nur einen schmalen Spalt für die Drehung der Spule frei lässt. Er bewirkt, dass im Luftspalt ein radial gerichtetes, bei jeder Spulenstellung in der Spulenebene liegendes und überall gleich starkes magnetisches Feld herrscht (Abb. 2) und bildet zusammen mit dem Magneten einen nur durch den engen Luftspalt unterbrochenen magnetischen Kreis. So werden äußere Störfelder praktisch völlig unterdrückt, da das magnetische Feld im Luftspalt sehr viel größer ist. Die Spule des Galvanometers ist an einem dünnen Metallband aufgehängt. Mit der Spule ist ein Spiegel zur Ablesung der Drehung verbunden.

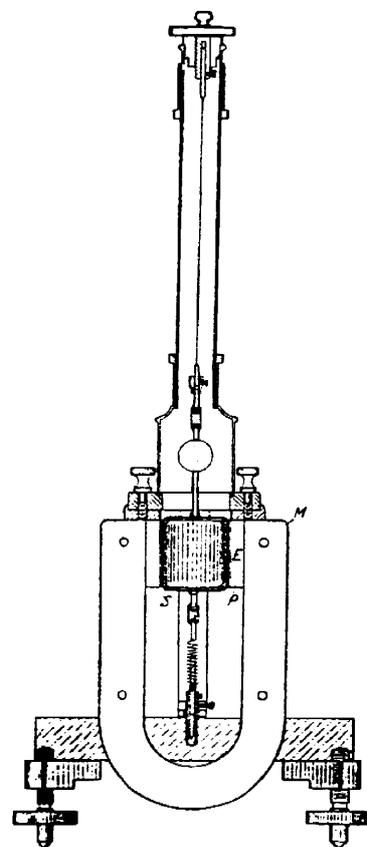


Abbildung 1:
Drehspulgalvanometer mit
Spiegelablesung

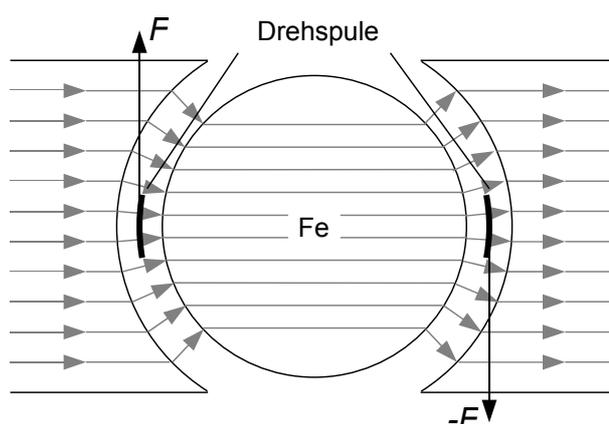


Abbildung 2: Feldverteilung im
Drehspulgalvanometer

Durch die Rückstellkraft des auf Torsion beanspruchten Metallbandes wird die Drehspule nach einem Anstoß aus ihrer Ruhelage wieder in diese zurückkehren. Wäre die Spule frei von jeder Dämpfung, so würde sie eine ungedämpfte Schwingung um die Ruhelage ausführen. Bei einem realen Aufbau besteht aber immer eine Dämpfung, die durch die beiden folgenden Effekte verursacht wird:

- Die Spule erfährt in dem engen Luftspalt, in dem sie sich dreht, eine Dämpfung durch die Luftreibung.
- Durch die bei der Drehung auftretende Änderung des magnetischen Flusses wird in der Spule eine Spannung induziert. Sind die Klemmen des Galvanometers durch einen äußeren Widerstand R_a leitend verbunden, so tritt in dem Leiterkreis aus Galvanometerspule und dem Widerstand ein Induktionsstrom auf. Die dadurch auf die Spule im magnetischen Feld wirkenden Kräfte sind nach der Lenzschen Regel so gerichtet, dass sie ihre Bewegung hemmen, also ein entgegengerichtetes Drehmoment an der Spule erzeugen und damit eine elektromagnetische Dämpfung verursachen.

Ist der Widerstand des Leiterkreises groß, so fließt nur ein kleiner Induktionsstrom, und die elektromagnetische Dämpfung ist gering. Bei einem kleinen elektrischen Widerstand ist der Induktionsstrom dagegen groß und entsprechend auch die Dämpfung des Galvanometers. Abhängig von der Stärke der Dämpfung führt die Spule des Galvanometers entweder eine periodische gedämpfte Schwingung oder eine aperiodische Kriechbewegung aus. Bei einem bestimmten wohldefinierten äußeren Widerstand, dem Grenzwiderstand R_{agr} des Galvanometers, gehen diese Bewegungen ineinander über (aperiodischer Grenzfall). Technisch ist der aperiodische Grenzfall besonders interessant, da für ihn die schnellste Rückkehr eines schwingungsfähigen Systems in die Ruhelage erfolgt.

Bei periodisch gedämpften Schwingungen ist das Verhältnis je zweier auf der gleichen Seite aufeinanderfolgender Schwingungsamplituden A_n und A_{n+1} konstant. Den natürlichen Logarithmus dieses Verhältnisses, bzw. die Differenz der Logarithmen der Amplituden nennt man das logarithmische Dekrement:

$$\Lambda = \ln \frac{A_n}{A_{n+1}} = \ln A_n - \ln A_{n+1} \quad (1)$$

Die Bewegungsgleichung eines Galvanometers lässt sich über die Differentialgleichung der an der Drehspule auftretenden Drehmomente bestimmen. Das Gesamtdrehmoment setzt sich aus dem mechanischen Drehmoment, hervorgerufen durch die Torsion der Aufhängung, dem Drehmoment durch die Luftreibung und dem elektrodynamischen Drehmoment zusammen. Eine äußere Strombelastung des Galvanometers bewirkt ein weiteres Drehmoment. Ist dieser Strom konstant, so ändert das Fließen des Stromes an der Bewegungsform der Drehspule nichts. Die Differentialgleichung für den Drehwinkel der Galvanometerspule lautet damit

$$J \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \left(r_1 + \frac{G^2}{R_g + R_a} \right) \frac{d\varphi}{dt} + D^* \varphi = G \cdot I \quad (2)$$

Dabei sind:

- | | | |
|-------|---|--|
| J | : | Trägheitsmoment des Galvanometers |
| r_1 | : | Dämpfungskonstante der Luftreibung |
| R_g | : | elektrischer Widerstand der Galvanometerspule |
| R_a | : | äußerer Dämpfungswiderstand |
| D^* | : | durch Torsion der Aufhängung erzeugtes Richtmoment |
| I | : | von außen angelegter Strom |
| G | : | elektromagnetische Konstante des Galvanometers |

G berechnet sich aus der Windungszahl n der Spule, ihrem Querschnitt A und der magnetischen

Induktion B :

$$G = n \cdot A \cdot B. \quad (3)$$

2 Aufgaben

2.1 Leiten Sie die Gleichung (2) schrittweise her und lösen Sie diese Differentialgleichung für den Schwingfall, den Kriechfall und den aperiodischen Grenzfall. Skizzieren Sie den Verlauf der drei Lösungen.

2.2 Messen Sie die Auslenkung in Abhängigkeit der Zeit für

2.2.1 eine schwache Dämpfung (Schwingfall, $R_a \approx 100 \text{ k}\Omega$)

2.2.2 eine starke Dämpfung (Kriechfall, $R_a = 0$)

Tragen Sie die Messwerte $\alpha = \alpha(t)$ grafisch auf und zeichnen Sie die Fehlerbalken ein.

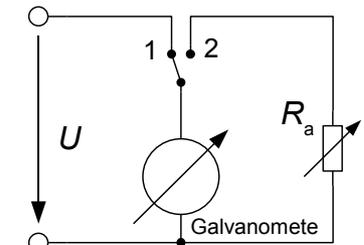


Abbildung 3: Versuchsaufbau

Hinweise zur Versuchsdurchführung:

- Der Nullpunkt wird durch Verdrehen der Skala eingestellt (**Nicht am Torsionsfaden drehen!**)
- Das Schwingungsverhalten wird wie folgt gemessen:
 - ◆ Schalter auf Stellung 1,
 - ◆ Potentiometer am Schalter so verdrehen, dass der Vollausschlag mit 100 Skalenteilen angezeigt wird,
 - ◆ Schalter von 1 auf 2 umschalten und gleichzeitig die Stoppuhr mitlaufen lassen. Die Zeit bis zur vorher gewählten Amplitude oder zum Umkehrpunkt messen.

2.3 Bestimmen Sie das logarithmische Dekrement durch grafische lineare Regression. Tragen Sie dazu den Logarithmus der Maximalausschläge über der Zeit auf und messen Sie die Steigung der Ausgleichsgeraden. Geben Sie auch den Fehler an.

Literatur:

Bergmann, Schaefer:	Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd. 1
Meschede:	Gerthsen Physik, Kap. 4.1.2
Krötzsch:	Physikalisches Praktikum, Kap. 4.1
Schwerdtfeger, Graßhof:	Elektrische Meßtechnik I, Kap. 7,8

Geräteliste:

Spiegelgalvanometer, Gleichspannungsnetzgerät, Vielfachmessinstrument, Stoppuhr, 4 Potentiometer, div. Kabel.