

Faraday'sches Induktionsgesetz

ERZEUGUNG EINES SPANNUNGSSTOßES IN EINER LEITERSCHLEIFE MIT HILFE EINES BEWEGTEN PERMANENTMAGNETEN

- Beobachtung der Bewegung eines Permanentmagneten durch mehrere in Reihe geschaltete Induktionsspulen.
- Messung des zeitlichen Verlaufs der induzierten Spannung.
- Berechnung des zeitlichen Verlaufs des magnetischen Flusses.

UE3040100

12/23 UD

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Jede Änderung des magnetischen Flusses durch eine geschlossene Leiterschleife induziert in dieser eine elektrische Spannung. Eine solche Änderung wird z.B. hervorgerufen, wenn ein Permanentmagnet durch eine feststehende Leiterschleife bewegt wird (Fig. 2).

In diesem Fall ist es lehrreich, neben der zeitabhängigen induzierten Spannung

$$(1) \quad U(t) = -\frac{d\Phi}{dt}(t),$$

Φ : Magnetischer Fluss

auch den sogenannten Spannungsstoß

$$(2) \quad \int_{t_1}^{t_2} U(t) \cdot dt = \Phi(t_1) - \Phi(t_2)$$

zu betrachten. Er entspricht der Differenz des magnetischen Flusses am Anfang (t_1) und am Ende (t_2) eines betrachteten Vorgangs.

Im Experiment fällt ein Permanentmagnet durch ein Rohr mit sechs baugleichen, in Reihe geschalteten Induktionsspulen. Aufgezeichnet wird der zeitliche Verlauf der induzierten Spannung (grüne Kurve in Fig. 3).

Deren Amplitude wird mit von Spule zu Spule fortschreitender Bewegung des Magneten größer, da die Geschwindigkeit des Magneten immer mehr zunimmt.

Die Flächen unter allen positiven und negativen Spannungssignalen sind dem Betrage nach gleich. Sie entsprechen dem maximalen Fluss Φ des Permanentmagneten im Inneren einer einzelnen Spule.



Fig. 1: Messanordnung

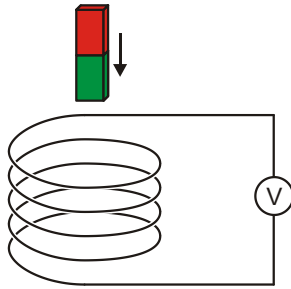


Fig. 2: Messprinzip

GERÄTELISTE

1	Fallröhre mit 6 Induktionsspulen	1001005 (U8511200)
1	Spannungssensor 500 mV, differenziell	1021681 (UCMA-BT32i)
1	Sensorkabel	1021514 (UCMA-BTsc1)
1	Datenlogger WiLab	1022284
1	Software Coach 7	

Weitere Informationen zum digitalen Messen sind auf der Webseite des Experiments im 3B Webshop zu finden.

AUFBAU UND INBETRIEBNAHME

Fallröhre

Hinweis:

Schläge und Stöße, sowie seitlich wirkende Kräfte auf die Fallröhre können zur Beschädigung führen.

- Die Fallröhre keinen mechanischen Belastungen aussetzen.
- Den Sockel auf einer horizontalen, ebenen Arbeitsfläche platzieren.
- Die Fallröhre unter leichtem Druck in den Sockel einsetzen.
- Die Korkplatte unter den Sockel legen.

Datenlogger, Spannungssensor und Software

- Die Software auf dem Messrechner installieren.
- Den Datenlogger an den Messrechner anschließen.
- Den Spannungssensor mit Hilfe des roten und schwarzen 4-mm-Experimentierkabels an die entsprechenden 4-mm-Buchsen der Fallröhre und mit Hilfe des Sensorkabels an den Datenlogger anschließen.
- Die Software starten. Die Schaltfläche anklicken, in dem sich öffnenden Fenster „Anmelden“ den Benutzernamen „Autor“ aus dem Drop-down-Menü auswählen, das Autorenpasswort eingeben und mit OK bestätigen.
- Die Schaltfläche anklicken. In dem sich öffnenden Fenster „Einstellungen für Aktivitäten“ die Vor-Auswahlen durch Anklicken von OK bestätigen.

Die Software stellt die Verbindung zum Datenlogger her. Ein Bild des Datenloggers mit dem Piktogramm des angeschlossenen Spannungssensors erscheint im linken unteren der vier Fenster.

- In dem Fenster, das den Datenlogger zeigt, das Piktogramm für den Spannungssensor mit der rechten

Maustaste anklicken. In dem sich öffnenden Menü „Null setzen“ anklicken und mit „OK“ bestätigen.

- Die Schaltfläche anklicken, folgende Parameter eingeben und anschließend mit OK bestätigen:

Methode

Art: Zeitgesteuert

Messdauer: 0,3 Sekunden

Frequenz: 1000 pro Sekunde

Anzahl Messungen: 300

Triggerung

Triggerkanal: Differentialvoltmeter

Triggerschwelle: 0,1 mV

Richtung: aufwärts

Vortriggerzeit: 0,01 Sekunden

Hinweis:

Im Hinblick auf die Auswertung ist es wichtig, insbesondere die Messdauer (hier: 0,3 s) schon bei der Eingabe der Messparameter optimal zu wählen.

- Die Schaltfläche anklicken.

Die Datentabelle erscheint im rechten oberen Fenster. Sie enthält (noch leere) Spalten für die Zeit t und die Spannung U .

- Die Schaltfläche anklicken. In dem sich öffnenden Menü „Neu hinzufügen“ auswählen, den Mauszeiger in das linke obere Fenster bewegen und in das Fenster klicken.

Im Fenster erscheint ein (noch leeres) Diagramm.

- In der Datentabelle das Zeitsymbol „t(s)“ in der Überschrift der ersten Spalte anklicken, mit gedrückter Maustaste in die untere Diagramm-Schaltfläche ziehen, und bei Erscheinen eines blauen Rahmens in den Rahmen klicken. Das Spannungssymbol „U(mV)“ in der Überschrift der zweiten Spalte anklicken, mit gedrückter Maustaste in die linke Diagramm-Schaltfläche ziehen, und bei Erscheinen eines blauen Rahmens in den Rahmen klicken.

Der x-Achse des Diagramms ist jetzt die Zeit, der y-Achse die Spannung zugeordnet.

Datenlogger und Software sind jetzt fertig für die Messung konfiguriert.

DURCHFÜHRUNG

Das Vorzeichen der Spannung wird so festgelegt, dass während der Eintauchphase des Magneten in die Leiterspule eine positive Spannung induziert wird. Dazu muss der im Folgenden beschriebene Messablauf ggf. zwei Mal durchgeführt werden, da das Vorzeichen der Spannung davon abhängt, wie herum der Magnet in die Röhre fallen gelassen wird, d.h. mit dem Nord- oder dem Südpol voran (Fig. 2).

- Die Messung in der Software durch Anklicken der Schaltfläche starten. Es öffnet sich ein Fenster „Warte auf Triggerung“.
- Den Magnet in die obere Öffnung der Röhre halten und loslassen. Die Messung startet automatisch, wenn die eingestellte Triggerschwelle erreicht ist und stoppt automatisch nach der eingestellten Messdauer.

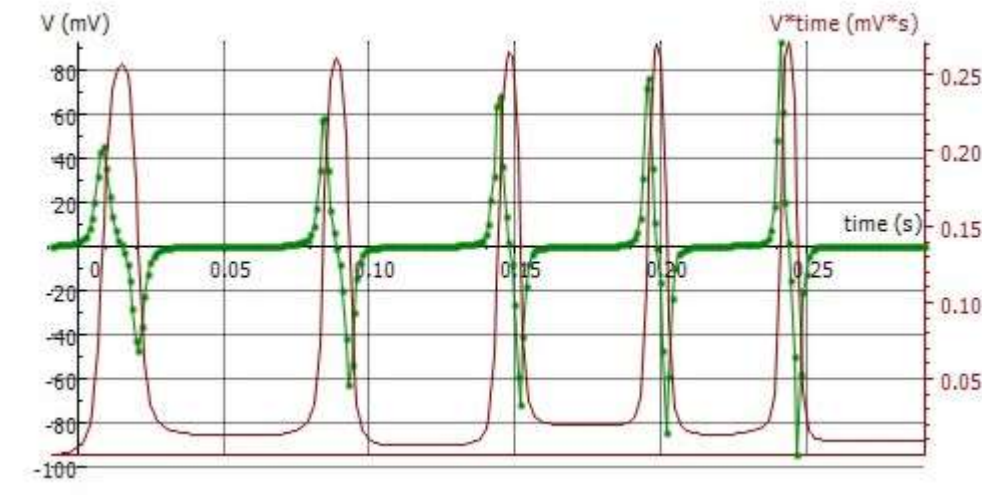


Fig. 3: Zeitliche Verläufe der induzierten Spannung U und des magnetischen Flusses Φ


MESSBEISPIEL UND AUSWERTUNG

Induktionsspannung

Die grüne Kurve in Fig. 3 zeigt den aufgenommenen Spannungsverlauf.


Wie in der Durchführung festgelegt, wird während der Eintauchphase des Magneten in die Leiterspule eine positive Spannung induziert. Die induzierte Spannung geht auf Null zurück, wenn der Magnet das Zentrum der Spule erreicht. Während der anschließenden Austrittsphase des Magneten wird eine negative Spannung induziert. Da die Geschwindigkeit des Magneten mit von Spule zu Spule fortschreitender Bewegung immer mehr zunimmt, werden die Spannungssignale einerseits dem Betrage nach immer höher, andererseits immer schmäler, d.h. die Flächen unter allen positiven und negativen Spannungssignalen sind dem Betrage nach gleich.

Magnetischer Fluss

- Im Diagramm die Schaltfläche  anklicken, und in dem sich öffnenden Menü „Integrieren“ wählen. In dem sich öffnenden Fenster „Integral“ auf die Schaltfläche „Start“ klicken.

In dem Diagramm im Fenster „Integral“ wird die Größe „ $U \cdot t$ “ in der Einheit „ $mV \cdot s$ “ dargestellt (violette Kurve in Fig. 3). Diese entspricht nach Gleichung (2) dem magnetischen Fluss Φ .

- Das Fenster „Integral“ durch Klicken auf „OK“ schließen.

In der Datentabelle erscheint eine dritte Spalte „ $U \cdot t$ ($mV \cdot s$)“, und am Cursorpfeil das Symbol  „ $U \cdot t$ “.

- In das noch leere der vier Fenster rechts unten klicken.

Die Zeitabhängigkeit der Größe „ $U \cdot t$ ($mV \cdot s$)“ wird als Diagramm dargestellt. Für die gemeinsame Darstellung von Induktionsspannung und magnetischem Fluss in dem Diagramm im Fenster links oben wie folgt vorgehen:

- In der Datentabelle die Größe „ $U \cdot t$ ($mV \cdot s$)“ in der Überschrift der dritten Spalte anklicken, mit gedrückter Maustaste in die rechte Diagramm-Schaltfläche ziehen, und bei Erscheinen eines blauen Rahmens in den Rahmen klicken.

Der rechten y-Achse des Diagramms ist jetzt der magnetische Fluss zugeordnet. Zur optimalen Darstellung der zugehörigen Kurve wie folgt vorgehen:

- Rechtsklick in den Diagrammhintergrund und in dem sich öffnenden Menü „Auschnitt anpassen“ wählen.

Die Achsenskalierung wird automatisch so gewählt, dass die Kurve optimal dargestellt wird. Bei weiteren Messungen werden sowohl die Induktionsspannung als auch der magnetische Fluss automatisch im Diagramm dargestellt.

Der magnetische Fluss nimmt seinen Maximalwert an, wenn die induzierte Spannung auf Null zurückgeht (Fig. 3), d.h. der Magnet das Zentrum der Spule erreicht hat. Die Flächen unter allen positiven und negativen Spannungssignalen sind dem Betrage nach gleich (siehe oben). Sie entsprechen dem maximalen magnetischen Fluss Φ des Permanentmagneten im Inneren einer einzelnen Spule. Der maximale magnetische Fluss erreicht deshalb für alle Spulen im Rahmen der Messgenauigkeit den gleichen Wert $\Phi_{\max} \approx 250 \mu Vs$.