LEHROSZILLOSKOP II

NACHWEIS DER UNGESTÖRTEN ÜBERLAGERUNG VON MAGNETFELDERN IM VAKUUM.

- **Überlagerung von magnetischen Wechselfeldern gleicher und unterschiedlicher Frequenz und Beobachtung der Verschiebung des Bildpunktes der Röhre.**
- **Erzeugung von geschlossenen Lissajous-Figuren.**
- **Überprüfung der Netzfrequenz.**

UE3070850

06/16 JöS

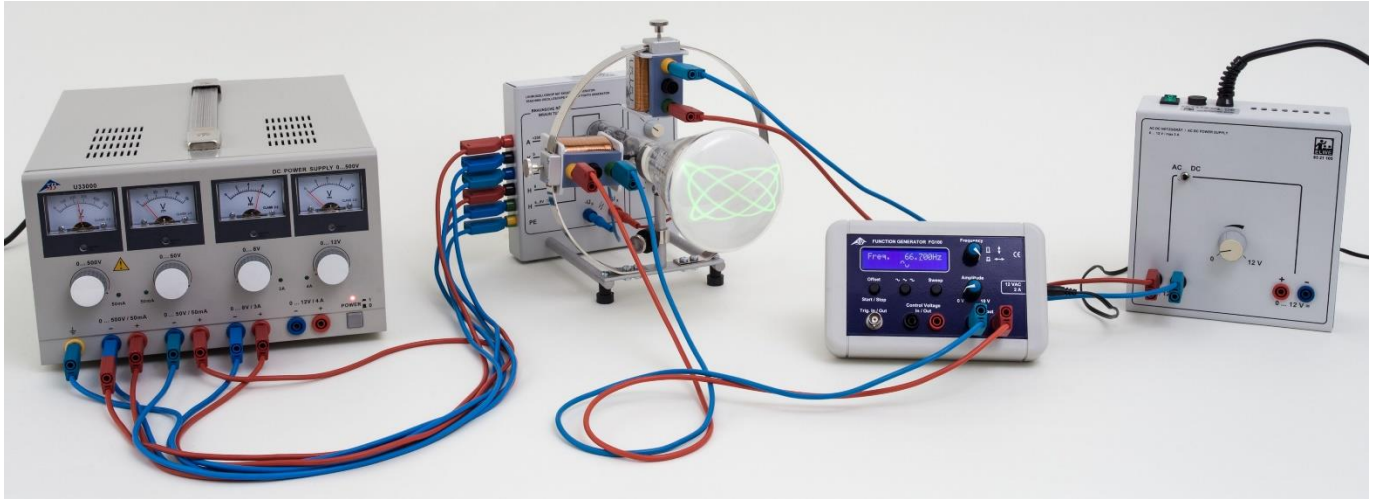

Fig. 1: Messanordnung.

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Mit Hilfe einer Braun'schen Röhre lässt sich das Superpositionsprinzip für Magnetfelder im Vakuum demonstrieren, in dem man die Ablenkung des Elektronenstrahls der Röhre im Magnetfeld untersucht. Die Untersuchung kann insbesondere auch für magnetische Wechselfelder durchgeführt werden, da der Elektronenstrahl den Magnetfelderänderungen nahezu trägheitslos folgt.

Im Experiment werden zwei baugleiche stromdurchflossene Spulen außerhalb der Braun'schen Röhre angebracht und die Ablenkung des Elektronenstrahls in den Magnetfeldern der Spulen auf dem Leuchtschirm der Röhre als Verschiebungen des Bildpunktes beobachtet. Während das Magnetfeld der horizontalen Spule eine vertikale Verschiebung bewirkt, ruft die vertikale Spule eine horizontale Verschiebung hervor.

Durch ein mit Netzfrequenz alternierendes Magnetfeld in einer der Spulen wird der Bildpunkt zu einem vertikalen oder einem horizontalen Strich auseinander gezogen. Schließt man beide Spulen parallel an die Wechselstromquelle, so erscheint ein gerader Strich unter 45°, bei antiparallelem Anschluss der Spulen unter -45° zur Vertikalen, da die Verschiebungen des Bildpunktes durch die beiden Magnetfelder überlagert werden.

Die Untersuchungen lassen sich auch auf alternierende Magnetfelder mit unterschiedlichen Frequenzen ausdehnen. Die nun auf dem Leuchtschirm zu beobachtenden Lissajous-Figuren hängen stark vom Frequenzverhältnis der beiden Magnetfelder und von deren Phasenlage ab. Wenn die Frequenzen in einem einfachen rationalen Verhältnis zueinander stehen, werden geschlossene Figuren erzeugt. Deren genaue Form hängt noch von der Phasendifferenz zwischen den Magnetfeldern ab, wie in Fig. 2 für Lissajous-Figuren mit dem Frequenzverhältnis 5:1 dargestellt ist.

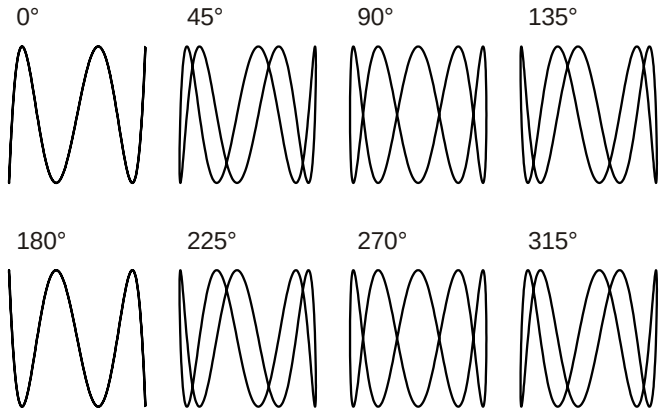

Fig. 2: Lissajous-Figuren zum Frequenzverhältnis 5:1 mit den Phasendifferenzen 0°, 45°, 90°, …

Weicht das Frequenzverhältnis nur geringfügig von einem einfachen rationalen Verhältnis ab, entsteht eine geschlossene Figur, die sich umso langsamer ändert, je kleiner die Abweichung vom rationalen Verhältnis ist. Dies wird im Experiment zur Überprüfung der Netzfrequenz ausgenutzt. Dazu wird eine Spule an einen mit Netzfrequenz arbeitenden Transformator und die zweite Spule an einen Funktionsgenerator angeschlossen, dessen Signalfrequenz mit hoher Genauigkeit abgelesen werden kann.

GERÄTELISTE

1	Lehroszilloskop	1000902 (U8481350)
1	DC-Netzgerät 0 – 500 V @230V	1003308 (U33000-230)
oder		
1	DC-Netzgerät 0 – 500 V @115V	1003307 (U33000-115)
1	Funktionsgenerator FG 100 @230V	1009957 (U8533600-230)
oder		
1	Funktionsgenerator FG 100 @115V	1009956 (U8533600-115)
1	AC/DC-Netzgerät 0 – 12 V @230V	1001007 (U8521105-230)
oder		
1	AC/DC-Netzgerät 0 – 12 V @115V	1001006 (U8521105-115)
1	Satz 15 Sicherheits-experimentierkabel 75 cm	1002843 (U138021)

AUFBAU

Sicherheitshinweise

Das Lehroszilloskop wird zum Teil mit Spannungen von über 60 V betrieben.

- Die Beschaltung nur bei ausgeschaltetem Netzgerät durchführen.
- Sicherheitskabel verwenden.

Da die Glasröhre evakuiert ist, besteht Implosionsgefahr.

- Röhre keinen Stößen und mechanischen Belastungen aussetzen.

Das Lehroszilloskop funktioniert, abhängig von der eingebauten Röhre, in der Regel bei Anodenspannungen bis ca. 300 V. Die Anodenspannung darf jedoch 350 V nicht überschreiten.

In Schulen und Ausbildungseinrichtungen ist der Betrieb des Gerätes durch geschultes Personal verantwortlich zu überwachen.

Inbetriebnahme

- Netzgerät ausschalten.
- Eingänge des Lehroszilloskops mit den Ausgängen des Netzgeräts gemäß Fig. 3 mit den angegebenen Spannungen verbinden.
- Netzgerät einschalten.
- Spannungsregler so einstellen, dass die Grenzwerte nicht überschritten werden.
- Sägezahngenerator auf „off“ stellen.

Nach 10-30 s erscheint auf dem Leuchtschirm ein grüner Fleck, der den auftreffenden Elektronenstrahl markiert. Um die Röhre für didaktische Zwecke möglichst einfach und übersichtlich zu halten, wurde auf zusätzliche Einrichtung zur Nachbeschleunigung und Fokussierung des Strahls verzichtet. Aus diesem Grund kann der Strahl in der Regel nicht so scharf wie in messtechnischen Oszilloskopen fokussiert werden.

- Wehneltspannung variieren, bis der Fleck seine minimale Ausdehnung erreicht.

Der Elektronenstrahl ist auch in der Röhre als rötlicher Faden sichtbar, jedoch aufgrund der geringen Helligkeit nur im abgedunkelten Raum.

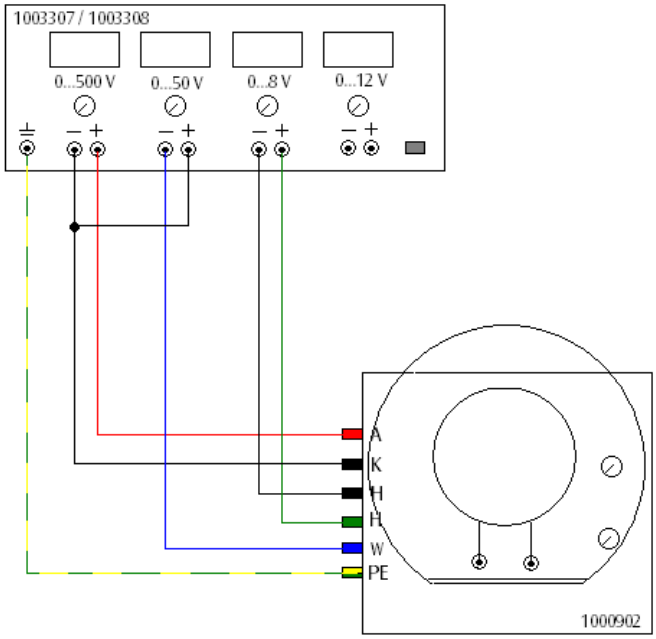

Fig. 3: Anschluss des Lehroszilloskops an das Netzgerät.

DURCHFÜHRUNG

Überlagerung von magnetischen Wechselfeldern

- Eine Spule gemäß Fig. 4 nach innen weisend mit horizontal ausgerichteter Achse am Metallring befestigen.
- Eingänge der Spule (grün, gelb) mit dem Funktionsgenerator (eingestellt auf eine 50 Hz-Sinusspannung) gemäß Fig. 4 verbinden. Amplitude so wählen, dass der auf dem Schirm erscheinende Strich etwa halb so lang ist wie der Durchmesser des Schirms.
- Mit dem Ringmagnet an der Röhrenhalterung den Strich möglichst mittig und vertikal ausrichten.
- Eine weitere Spule nach innen weisend mit vertikal ausgerichteter Achse am Metallring montieren.
- Eingänge der Spule (grün, gelb) mit dem AC/DC-Netzgerät verbinden.
- AC/DC-Netzgerät einschalten und Wechselspannung (AC) so einstellen, bis eine Ellipse erscheint.
- Frequenz des Funktionsgenerators auf Vielfache der Frequenz von 50 Hz einstellen und Bild beobachten.

Erzeugung von geschlossenen Lissajous-Figuren

- In Fortführung der Überlagerung magnetischer Wechselfelder (s.o.), den Funktionsgenerator erneut auf 50 Hz einstellen, bis wieder die Ellipse erscheint.

Je nachdem, wie gut die Frequenzen der Eingangssignale übereinstimmen, wird sich die Ellipse langsamer oder schneller verformen. Dabei wird pro Zyklus zweimal die Form einer geneigten Geraden angenommen.

- Amplitude des Funktionsgenerators so anpassen, dass die Neigung der Geraden 45° beträgt und während des Übergangs ein Kreis entsteht.
- Frequenz des Funktionsgenerators auf Vielfache der Frequenz von 50 Hz einstellen.

Überprüfung der Netzfrequenz

Weicht das Frequenzverhältnis nur geringfügig von einem einfachen rationalen Verhältnis ab, entsteht eine geschlossene Figur, die sich umso langsamer ändert, je kleiner die Abweichung vom rationalen Verhältnis ist. Dies wird zur Überprüfung der Netzfrequenz ausgenutzt. Dazu wird eine Spule an einen mit Netzfrequenz arbeitenden Transformator, und die zweite Spule an den Funktiongenerator angeschlossen, dessen Signalfrequenz mit hoher Genauigkeit abgelesen werden kann.

Passend zur Netzfrequenz ν wird diejenige Generatorfrequenz ν_5 gesucht, bei der sich die dem Frequenzverhältnis 5:1 zuzuordnende Lissajous-Figur am langsamsten ändert.

AUSWERTUNG

Überlagerung von magnetischen Wechselfeldern

Zwei magnetische Wechselfelder überlagern sich ungestört. Der Elektronenstrahl wird durch die zwei Spulen vertikal und horizontal abgelenkt.

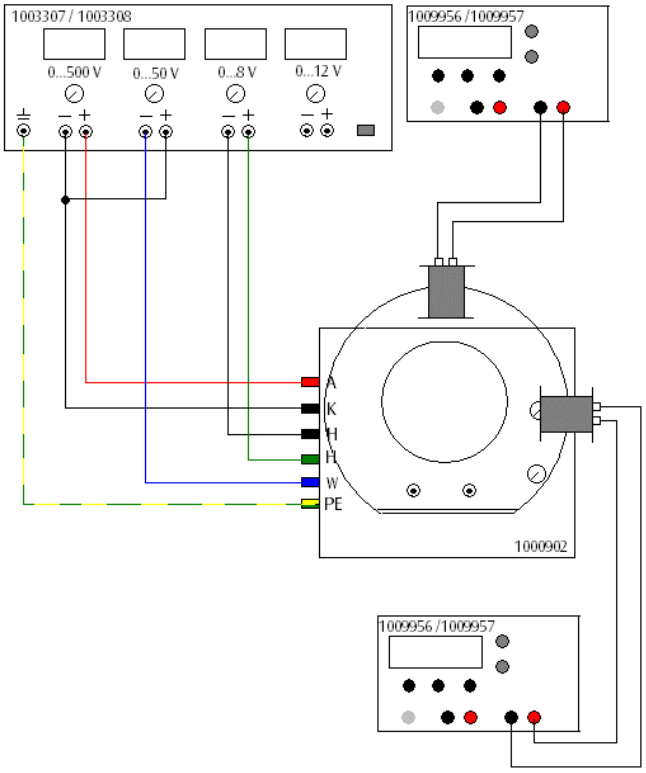

Fig. 4: Positionierung und Beschaltung der Spulen.

Erzeugung von geschlossenen Lissajous-Figuren

Es werden bereits die einfachsten Lissajous-Figuren beobachtet. Die Formen hängen vom Verhältnis der Frequenzen und von der Phasenverschiebung ab. Durch eine geringe Abweichung von der exakten Sollfrequenz beim Funktionsgeneratoren (in der Regel genügt schon die Ungenauigkeit der Geräte) läuft die Phasenverschiebung automatisch durch und alle Figuren zu einem Frequenzverhältnis können nacheinander betrachtet werden.

Wird die Frequenz des ersten Funktionsgenerators auf Vielfache der Horizontalfrequenz (50 Hz) eingestellt, sind die Lissajous Figuren zu den Frequenzverhältnissen 2:1, 3:1, 4:1,… zu beobachten.

Weitere Lissajous-Figuren entstehen bei gebrochenen Vielfachen der Horizontalfrequenz (z.B. 3:2 (75 Hz), 4:3 (66,7 Hz).

Überprüfung der Netzfrequenz

Die Netzfrequenz ν zum Beobachtungszeitpunkt berechnet sich aus ν_5 wie folgt:

$$(1) \quad \nu = \frac{\nu_5}{5} = \frac{249{,}95\ \text{Hz}}{5} = 49{,}99\ \text{Hz}\ .$$

Diese Bestimmung erfolgt mit einer Genauigkeit von 0,01 Hz, da ν_5 mit einer Genauigkeit von 0,05 Hz eingestellt werden kann.

© Copyright 2016 3B Scientific GmbH