

Versuchsvorbereitung P1-80: Magnetfeldmessung

Kathrin Ender
Gruppe 10

5. Januar 2008

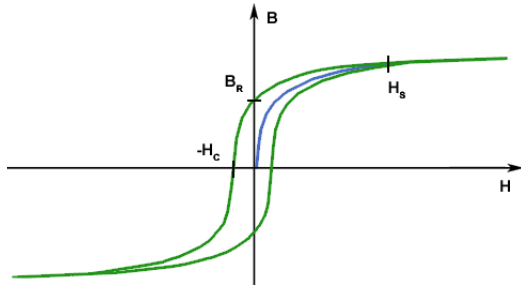
Inhaltsverzeichnis

1	Induktivität einer Spule	2
1.1	Entmagnetisieren des Kerns	2
1.2	Induktiver Widerstand	2
1.3	1.2 mit Luftspalt	3
2	Hysteresisschleifen	3
3	Magnetfeldmessung mit einer Hallsonde	3
3.1	Eichen der Hallsonde	3
3.2	Magnetfeld einer Zylinderspule	4
4	Magnetische Eigenschaften von Stoffen	4

1 Induktivität einer Spule

1.1 Entmagnetisieren des Kerns

Für die in zwei zu bestimmenden Hysteresisschleifen ist eine Entmagnetisierung des Spulenkerns wichtig. Um den Kern zu entmagnetisieren wird die Spule bei geschlossenem Kern mit dem maximalen Wechselstrom durchflossen, der dann langsam bis auf Null heruntergeregelt wird.



Die Funktionsweise dieses Verfahrens zur Entmagnetisierung des Kern lässt sich mit der Hysterese erklären. Durch den Wechselstrom wird das äußere Magnetfeld H (also das der Spule) immer wieder umgepolt, so dass die Hysteresiskurve durchlaufen wird. Regelt man den Wechselstrom nun langsam runter bis auf Null, so wird das remanente Feld B_R (also allein durch den Kern erzeugte Feld bei $H = 0T$) immer kleiner bis es nahezu verschwindet.

Den Erfolg der Entmagnetisierung kann man prüfen, in dem man z.B.:

- testet, ob mit dem Eisenkern noch Eisen ausgerichtet werden können, bzw ob er diese noch anzieht
- mit einer Hallsonde, das ihn umgebende Feld misst

1.2 Induktiver Widerstand

Es soll der induktive Widerstand R_L zweier in Reihe geschalteter Spulen mit gemeinsamen Eisenkern in Abhängigkeit vom Spulenstrom gemessen werden (Messbereich: 5V bis 30V in 5V-Schritten). Der induktive Widerstand lässt sich herleiten aus der Beziehung:

$$\begin{aligned}
 U &= -L\dot{I} \quad \text{mit } U = U_0 \cdot \cos(\omega t) \\
 I(t) &= -\frac{U_0}{L} \int \cos(\omega t) dt \\
 I(t) &= \frac{U_0}{L \cdot \omega} \cdot \sin(\omega t) \quad \text{mit } I = I_0 \cdot \sin(\omega t) \\
 \Rightarrow R_L &= \frac{U_0}{I_0} = \frac{U_{eff}}{I_{eff}} = \omega \cdot L
 \end{aligned}$$

Dies gilt nur, wenn die Spule „nur“ einen induktiven Widerstand besitzt (bzw. der ohmsche Widerstand vernachlässigbar klein ist). Ist dies nicht der Fall, so wird nur der Scheinwiderstand gemessen:

$$R_S = \frac{U_{eff}}{I_{eff}} = \sqrt{R_\Omega^2 + R_L^2}$$

Beim größten Messstrom soll nun die Induktivität bestimmt werden. Aus der Induktivität und der Kerngeometrie lässt sich schließlich die relative Permeabilität bestimmen.

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot n^2 \cdot A}{l} = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{U_{eff}}{I_{eff}}$$

mit n = Windungszahl A = Querschnittsfläche der Spule l = Länge der Spule

$$\Rightarrow L = \frac{1}{\omega} \cdot \frac{U_{eff}}{I_{eff}} \quad \text{und} \quad \mu_r = \frac{L \cdot l}{\mu_0 \cdot n^2 \cdot A}$$

1.3 1.2 mit Luftspalt

Derselbe Versuch soll nun mit einem Luftspalt ($l_s = 2\text{mm}$) im Kern durchgeführt werden. Der für diese Anordnung bestimmte Wert für die relative Permeabilität ist allerdings nur ein scheinbarer Wert.

2 Hysteresisschleifen

2.1 Hysteresisschleife ($-40\text{mA} < I < 40\text{mA}$)

Es soll nun die B(H)-Kurve des verwendeten Eisens aufgenommen werden. Dafür wird zu den Spulen, in deren Eisenkern sich noch immer ein Luftspalt befindet, ein Strommessgerät und ein 600Ω Widerstand in Reihe geschaltet. Nun wird ein Gleichstrom angelegt, der langsam von $I = 0\text{A}$ auf $I = 40\text{mA}$ gesteigert wird, dann abgesenkt wird auf $I = -40\text{mA}$ und von da schließlich wieder auf $I = 40\text{mA}$ angehoben wird. Mittels einer Hallsonde (genaue Funktionsweise siehe 3.1) wird das entstehende B-Feld gemessen, so dass eine B(I)-Kurve erstellt werden kann. Um aus der B(I)-Kurve die B(H)-Kurve zu erhalten muss wegen des Luftspalts im Eisenkern eine Scherung durchgeführt werden. Es gilt:

$$H = \frac{n}{l} \cdot \left(I - \left(\frac{l_s}{n\mu_0} \cdot B \right) \right) = \frac{n}{l} \cdot I_{\text{korrr}}$$

n = Windungszahl l = Feldlinienlänge im Eisen l_s = Feldlinienlänge im Luftspalt

Die erhaltene B(H)-Kurve sollte qualitativ verlaufen wie die in 1.1. Da der Kern am Anfang entmagnetisiert sein soll beginnt die Kurve im Ursprung. Wird nun der Strom erhöht, so steigt auch das durch die Spule erzeugte Feld, dadurch wiederum steigt die Magnetisierung im Kern. Die Kurve wird zu Anfang linear ansteigen und dann beim maximalen Strom die Sättigung B_S erreichen. Diesen Teil der Kurve nennt man Neukurve. Wird der Strom nun wieder abgesenkt, so folgt die Magnetisierung einer anderen Kurve. Bei $H = 0$ liegt immer noch ein durch die Magnetisierung verursachte Restfeld, das sogenannte remanente Feld B_R . Bei $I = -40\text{mA}$ liegt wieder Sättigung vor $B = B_S$. Wird der Strom wieder erhöht so gelangt man wieder zum ersten Sättigungspunkt. Diese äußere Kurve heißt Hysteresisschleife. Aus der mittleren Steigung der Hysteresisschleife lässt sich die Permeabilität bestimmen. Die Verlustleistung im Kern lässt sich berechnen aus:

$$P = \frac{W}{T} = \frac{V_{\text{Kern}} \cdot A_{\text{Kurve}}}{T} = V_{\text{Kern}} \cdot A_{\text{Kurve}} \cdot f$$

2.2 Hysteresisschleife ($-1,2\text{A} < I < 1,2\text{A}$)

Dieselbe Messung wie in 2.1 soll nun für einen höheren Maximal Strom und ohne 600Ω Widerstand durchgeführt werden. Aus dem Schaubild sollen außerdem noch die Sättigungsmagnetisierung, die Remanenz und die Koerzitivkraft bestimmt werden. Die Koerzitivkraft ist die entgegengerichtete Feldstärke H_C , die nötig ist um die Restmagnetisierung zu entfernen (siehe Bild 1.1).

3 Magnetfeldmessung mit einer Hallsonde

3.1 Eichen der Hallsonde

Eine Hallsonde besteht aus einem quaderförmigen Leiter, durch den in Längsrichtung ein Strom fließt. Bringt man diesen Leiter in ein Magnetfeld, so wirkt auf die bewegten Elektronen im Leiter eine Lorentzkraft, deren Betrag je nach Winkel zum Magnetfeld variiert.

Durch diese Lorentzkraft werden die Elektronen zu einer Seite abgelenkt. Durch das so entstehende Spannungsgefälle wirkt nun eine zusätzliche elektrische Kraft genau entgegen der Lorentzkraft. Mit der Zeit wird sich also ein Gleichgewicht, bzw. eine konstante Spannung, die sogenannte Hallspannung U_H zwischen den Seiten einstellen. Da eine Hallsonde normalerweise immer senkrecht zum zu messenden Magnetfeld eingebracht wird, reicht es diesen Sonderfall zu betrachten:

$$F_{el} = F_L \quad \Leftrightarrow \quad evB = e \frac{U_H}{d}$$

$$\Rightarrow B = \frac{1}{v \cdot d} \cdot U_H$$

Das zu bestimmende B-Feld ist also zur gemessenen Hall-Spannung proportional. Diese Proportionalitätskonstante soll nun bestimmt werden. Es ist bekannt, dass das Magnetfeld der Spule im Zentrum ein Minimum aufweist, bei dem die Feldstärke 10mT beträgt, wenn ein Spulenstrom von 0,96A fließt. Es soll ein Sondenstrom von 120mA verwendet werden.

3.2 Magnetfeld einer Zylinderspule

Mit Hilfe der geeichten Hallsonde, soll nun das Magnetfeld einer Zylinderspule längs der Achse inner- und außerhalb der Spule bestimmt werden (Spulenstrom $I=2A$). Für das Magnetfeld einer Zylinderspule längs der Mittelachse (x-Achse) lässt sich aus dem Biot-Savartschen Gesetz folgender Zusammenhang herleiten:

$$B(x) = \frac{\mu_0 n I}{2L} \cdot \left(\frac{\frac{L}{2} - x}{\sqrt{R^2 + (L/2 - x)^2}} + \frac{\frac{L}{2} + x}{\sqrt{R^2 + (L/2 + x)^2}} \right)$$

L = Spulenlänge n = Windungszahl x = Abstand vom Spulenmittelpunkt R = Spulenradius

Die gemessenen Werte und der theoretische Verlauf des Magnetfeldes in Abhängigkeit von der Entfernung zum Spulenmittelpunkt sollen zum Vergleich in ein Diagramm eingetragen werden.

4 Wirkung eines inhomogenen Magnetfeldes auf dia-, para- und ferromagnetische Körper

Stoffe besitzen unterschiedliche magnetische Eigenschaften und werden daher in folgende Gruppen eingeteilt, wobei die Suszeptibilität χ Einteilungskriterium ist:

- diamagnetische Stoffe $\chi < 0$ und $|\chi| \ll 1$: Da die Suszeptibilität negativ ist, ist die Magnetisierung diamagnetischer Stoffe entgegen dem äußeren Magnetfeld gerichtet ($M = \chi \cdot H$). Daher werden diamagnetische Stoffe in den Bereich der niedrigsten Feldstärke gedrängt. Auf molekularer Ebene ist das Ganze so zu erklären, dass die Moleküle, bzw. Atome, aus denen der Stoff besteht, kein permanentes magnetisches Moment besitzen. Erst durch ein äußeres Magnetfeld werden Dipole induziert, die ein entgegengerichtetes Magnetfeld im Stoff erzeugen. Im Versuch wird Bismut als Probe für einen diamagnetischen Stoff verwendet.
- paramagnetische Stoffe $\chi > 0$ und $|\chi| \ll 1$: paramagnetische Stoffe enthalten permanente Dipole, die jedoch ohne äußeres Magnetfeld in beliebige Richtungen zeigen. Durch ein äußeres Magnetfeld werden diese teilweise ausgerichtet. Paramagnetische Stoffe werden also in den Bereich der größten Feldstärke gezogen. Im Versuch wird Aluminium als Probe für einen paramagnetischen Stoff verwendet.

- ferromagnetische Stoffe $\chi > 0$ und $|\chi| \gg 1$: Ferromagnetische Stoffe verhalten sich im Prinzip wie paramagnetische Stoffe. Es richten sich durch Einbringen in ein äußeres Magnetfeld jedoch fast alle permanenten Dipole, also deutlich mehr als beim paramagnetischen Stoff, aus. Der Stoff wird also auch in den Bereich der größten Feldstärke gezogen, wobei seine Magnetisierung deutlich stärker ist als bei einem paramagnetischen Stoff. Eisen dient als Probe für einen ferromagnetischen Stoff.