

Physik-Praktikum:HYS

Einleitung

Normalerweise kennt man die Eigenschaften von Magnetismus aus eigener Erfahrung nur von Stabmagneten und ähnlichen Permanentmagneten. Unterschiede zwischen verschiedenen Magneten, oder zwischen Dia-, Para- und Ferromagnetismus kann man so kaum feststellen. Bei der Messung der Hystereseschleife sieht man anschaulich, was ein magnetisch harter oder ein weicher Stoff ist, und das Zustandekommen dieser Schleife kann auch mit den Weisschen Bezirken anschaulicher erklärt werden.

Versuchsaufbau und Durchführung

In einer Primärspule, die von einem am Netzgerät einstellbaren Strom durchflossen wird, wird ein Magnetfeld erzeugt, das den Spulenkern aus dem zu testenden Material durchfließt. Durch die Länge der Spule kann das Feld in der Mitte als homogen betrachtet werden. Das Magnetfeld durch den Kern wird dabei durch die Magnetisierung des Kerns beeinflusst. Im Inneren der Primärspule befindet sich eine Sekundärspule (schmäler als die Primärspule, so dass sie in den Bereich hineinpasst, in dem das Feld annähernd homogen ist), in der durch die Änderung dieses magnetischen Flusses durch den Kern Spannungsstöße induziert werden. Diese Spannungsstöße werden mit Hilfe einer Integratorschaltung in eine proportionale Spannung umgesetzt und über das angelegte Magnetfeld (das proportional zum Strom durch die Primärspule, der über den Spannungsabfall an einem Widerstand gemessen wird, ist) mit einem x-y-Schreiber aufgezeichnet.

So wird (nach der Bestimmung von K , siehe unten) die Hystereseschleife von Weicheisen und Ferrit aufgezeichnet, und dabei der Strom bei der maximalen Induktion und bei Induktion gleich 0 am Ampèremeter des Netzgeräts zur Berechnung der Sättigungsfeldstärke und der Koerzitivkraft gemessen. Dem Diagramm wird anschließend die (der Induktion proportionale) Spannung auf der y-Achse entnommen und daraus mit Hilfe der vorher bestimmten Integratorkonstante die maximale Induktion und die Remanenz berechnet.

Versuchsbeschreibung

Aus der Windungszahl der äußeren Spule und dem Strom kann man mit der Formel für kurze Spulen mit quadratischem Querschnitt das Magnetfeld berechnen:

$$H = \frac{N_1 I}{l} \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{(1 + \sqrt{2}) \cdot a}{2 \cdot l} \right)^2}}; \quad (1)$$

mit:

Primärwicklung: $N_1 = 100$, $l_1 = 34$ mm, $a_1 = 34$ mm;

Sekundärwicklung: $N_2 = 2000$, $l_2 = 10$ mm, $a_2 = 26$ mm;

Spulenöffnung: $a_0 = 20$ mm;

Mit dem Induktionsgesetz kann man die induzierte Spannung in der Sekundärwicklung berechnen (für den Fall, dass in der Spule und um die Spule herum Luft ist). Mit einem Eisen- bzw. Ferritkern muss man das Induktionsgesetz folgendermaßen erweitern:

$$U_i = -N_2 \left(F_m \frac{d B_m}{d t} + (F - F_m) \frac{d B_L}{d t} \right); \quad (2)$$

B_m ist dabei die Induktion in der ferromagnetischen Probe, und B_L das Spulenfeld. Letzteres ist wesentlich kleiner und kann daher vernachlässigt werden.

Nach Integration ergibt sich für die Induktion:

$$B_m(t) - B_m(0) = \frac{1}{N_2 F_m} \int_0^t U_i d t'. \quad (3)$$

1. Bestimmung von K

Die Integratorschaltung erzeugt eine zum induzierten Spannungsstoß proportionale Spannung U_a . Die Proportionalitätskonstante K wird bestimmt, indem man eine Spannung U_0 anlegt (diese wird auf dem xy-Schreiber auf die x-Achse gezeichnet) und den Integrator eine Minute lang ($\Delta t = 1 \text{ min}$) diese Spannung über die Zeit integrieren lässt; seine Ausgangsspannung wird auf der y-Achse ausgegeben.

$$K = \frac{U_a}{\int_0^t U_i dt} = \frac{U_a}{U_0 \cdot \Delta t} \quad (4)$$

Messwerte: Siehe Graph 1 bzw. Graph 2.

	konstante Spannung U_0 [mV]	Ausgangsspannung U_a [V]	Prop.-Konstante K [s ⁻¹]
Messung 1	10,4	7,8	12,4
Messung 2	9,3	7,0	12,5

2. Messung der Neukurve und Hystereseschleife von Weicheisen

Aus (3) und (4) ergibt sich:

$$B_m(t) = \frac{1}{N_2 \cdot F_m} \cdot \frac{U_a}{K};$$

Messwerte siehe Graph 3 und Messprotokoll (die beiden Messungen stammen jeweils aus dem positiven bzw. negativen Ast der Hystereseschleife):

	Messung 1	Messung 2
Strom bei Sättigungsfeldstärke I [A]	1,15	1,16
Sättigungsfeldstärke H_S [kA/m] (aus I)	2,3	2,3
Induktion B [T] (Sättigungsfeldstärke)	0,37	0,40
Remanenz B_R [T]	0,14	0,17
Koerzitivfeldstärke H_C [kA/m]	0,26	0,40

3. Messung der Neukurve und Hystereseschleife von Ferrit

Messwerte siehe Graph 4 und Graph 5 und Messprotokoll (die beiden Messungen stammen jeweils aus dem positiven bzw. negativen Ast der Hystereseschleife):

	Messung 1	Messung 2
Strom bei Sättigungsfeldstärke I [A]	1,15	1,15
Sättigungsfeldstärke H_S [kA/m] (aus I)	1,1	1,1
Induktion B [T] (Sättigungsfeldstärke)	0,46	0,41
Remanenz B_R [T]	0,041	0,033
Koerzitivfeldstärke H_C [kA/m]		

Die Koerzitivfeldstärke konnte nicht bestimmt werden, weil das relativ grobe Ampèremeter praktisch keinen Strom anzeigte.

5. Messung der Remanenz eines AlNiCo-Stabmagneten

Messwertesiehe Graph 6.

	<i>ohne Weicheisen-U-Kern</i>	<i>mit Weicheisen-U-Kern</i>
U_a [V]	1,08	1,14
Remanenz B_R [T]	0,24	0,25

Fragen

1. Was ist die Voraussetzung für das Auftreten von Ferromagnetismus?

Ein ferromagnetischer Stoff ist paramagnetisch, jedoch wird die Ausrichtung der Elementarmagnete (im Bereich der Raumtemperatur, d.h. wenn die Temperatur niedriger als die Curie-Temperatur ist) nicht durch die Brownsche Bewegung beeinflusst, d.h. eine Magnetisierung wird beibehalten.

Paramagnetische Stoffe besitzen ungepaarte Elektronen, die sich beim Anlegen eines äußeren Magnetfelds parallel ausrichten.

2. Sind in einem magnetisierten Material keine „Weißschen Bezirke“ mehr vorhanden?

Sie sind schon noch vorhanden, aber sie sind nicht alle in die gleiche Richtung magnetisiert, sondern statistisch verteilt, so dass die gesamte äußere Magnetisierung des Materials 0 ist (die Dipolmomente der Weißschen Bezirke heben sich gegenseitig auf).

3. Warum gibt sich bei ferromagnetischen Stoffen ein Sättigungswert in der Induktion?

Beim Anlegen eines Magnetfeldes werden die Weißschen Bezirke ausgerichtet; je stärker das Magnetfeld, desto mehr Bezirke können „umklappen“. Wenn alle Bezirke ausgerichtet sind, ist der Sättigungswert erreicht, es gibt keine weiteren Elementarmagneten, die ausgerichtet werden können.

4. Wie kommt es zu einer Hysteresekurve?

Wenn nach der Magnetisierung das angelegte Feld wieder entfernt wird, bleibt ein Teil der Weißschen Bezirke ausgerichtet. Dreht man das angelegte Feld um, so bewirken die immer noch ausgerichteten Bezirke ein Gegenfeld, d.h. der magnetische Fluss bleibt geringer, der Graph verläuft beim Magnetisieren auf einem anderen Weg (mit geringerer Magnetisierung pro angelegtem Feld) als beim Entmagnetisieren. Der Graph umschließt eine Fläche, es entsteht eine Hysteresekurve.

5. Wiesieht die Hysteresekurve für magnetisch weiches Material, das sich leicht, und für magnetisch hartes Material, das sich schwer ummagnetisieren lässt?

Magnetisch weiches Material besitzt eine geringe Remanenz (Restmagnetisierung, wenn die äußere Feldstärke wieder 0 erreicht), zum Ummagnetisieren ist eine geringe Feldstärke nötig (entspr. geringer Koerzitivkraft), d.h. die Kurve ist sehr schmal und steil und läuft sehr nahe am Ursprung vorbei. Sie umschließt also eine geringe Fläche, was bedeutet, dass wenig Arbeit zum Durchlaufen der Kurve verrichtet werden muss (diese Arbeit geht als Wärmeenergie verloren).

Für magnetisch hartes Material gilt das Gegenteil.

6. Diskutieren Sie die Unterschiede in den Hysteresekurven von Weicheisen und Ferrit. Inwiefern eignen sich diese magnetischen Werkstoffe für die technischen Anwendungen (z.B. Transformatoren, Lautsprecher, Permanentmagnete, Hochfrequenztechnik)?

Ferrit ist ein magnetisch wesentlich weicherer Material als Weicheisen; es lässt sich leichter

ummagnetisieren (d.h. die Koerzitivkraft ist geringer), und daher ist auch die Magnetisierung ohne äußeres Feld (Remanenz) geringer. Es ergibt sich also eine wesentlich schlankere Kurve, die einer geringeren Fläche umschließt.

Ferrit eignet sich also besser für Anwendungen, in denen sie oft ummagnetisiert werden, z.B. Hochfrequenztechnik oder Transformatoren.

Weicheisen ist dagegen für eine anhaltende Magnetisierung wie z.B. bei Permanentmagneten besser geeignet, weil es, wenn kein äußeres Feld vorhanden ist, eine stärkere Restmagnetisierung besitzt, und sich wesentlich schlechter entmagnetisiert. Ferrit-Permanentmagnete wären viel schwächer. Lautsprecher arbeiten ebenfalls mit Permanentmagneten (eine Spule, durch die der modulierte Strom fließt, erzeugt ein veränderliches Magnetfeld, das den Permanentmagneten anzieht und abstößt, und so die Kalotte bewegt).

Welches Material man wählt, hängt aber auch von anderen Faktoren ab; z.B. wird für Netztransformatoren in der Praxis Weicheisen verwendet, weil es wegen seiner mechanischen Eigenschaften (ist nicht so zerbrechlich) besser geeignet ist. Außerdem gibt es noch eine Auswahl anderer ferromagnetischer Stoffe, die für verschiedene Anwendungen besser geeignet sein können als Eisen oder Ferrit.

7. Welche Fehlerquellen sind bei der Aufnahme der Hysteresekurve infolge eines mangelhaften Integrators möglich?

Die Taste, mit der man vor der Messung den Integrator auf Null stellt, bewirkt einen Kurzschluss des Kondensators im Inneren. Wenn dabei aus irgend einem Grund der Kondensator nicht vollständig entladen wird, bewirkt die Restspannung bei der Messung eine Spannungsaddition.

Außerdem kann sich bei Temperaturunterschieden eine Drift der y-Achse einstellen, so dass bei mehrmaligem Durchlaufen der Hystereseschleife der Graph nicht deckungsgleich ist. Die gemessene Remanenz verschiebt sich.

8. Warum ist es bei diesem Versuch wichtig, Luftspalte im magnetischen Kreis zu vermeiden? Welche Auswirkungen hat ein kleiner Luftspalt im magnetischen Kreis auf die beobachtete Hysteresekurve und ihre Kennwerte B_s , B_R , H_C und μ_{diff} ?

Luft ist ein Dielektrikum, d.h. sie wirkt als ein magnetischer Isolator. Dadurch verringert sich der magnetische Fluss Φ , und daher wird ein stärkeres Feld H_S benötigt, um die maximale Induktion zu erhalten bzw. ein stärkeres Feld H_C , um den Kern zumagnetisieren. Die Sättigungsinduktion hängt nur von den Weißschen Bezirken ab (die Luft lässt sich nicht magnetisieren), daher bleibt B_S und auch B_R gleich.

Aus $B = \mu H$ ergibt sich bei größer werdendem H : $\mu_{diff} < 0$.

Die Messwerte werden also verfälscht, es ergibt sich eine flachere Kurve.

Außerdem kann es sein, dass bei einem hohen Spulenstrom wegen des starken Magnetfelds sich so ein Spalt plötzlich schließt, dabei wird der magnetische Widerstand dann plötzlich deutlich kleiner, in den Kurven ergibt sich ein Sprung.