

Ferromagnetismus; Messung von Hysteresekurven

1 Vorbereitung

- 1.1 Grundgrößen des magnetischen Feldes, magnetische Feldstärke, Kraftflussdichte, Induktionsfluss; magnetisches Feld einer Ringspule, Induktionsgesetz (differentielle Form).
Lit.: Frauenfelder-Huber Bd. II § 11.2, § 11.3, § 11.3 3b, § 12.1
- 1.2 Materie im magnetischen Feld; relative und absolute Permeabilität; Diamagnetismus, Paramagnetismus, Ferromagnetismus; Atomistische Deutung der magnetischen Eigenschaften.
Lit.: Frauenfelder-Huber Bd. II § 16.1 - § 16.4
- 1.3 Ferromagnetismus, Struktur der Ferromagnetika, Remanenz, Koerzitivkraft
Lit.: Gerthsen
- 1.4 Hystereseverluste
Lit.: Frauenfelder-Huber Bd. II § 18.2 (Schlussstein)
- 1.5 Wirkungsweise und Handhabung des Fluxmeters
Lit.: 3. Anhang



Abbildung 1: Aufbau zu Versuch 39

2 Aufgaben

Zur Aufzeichnung der Hysteresekurven mit dem Computer wird eine Schaltung nach 2 aufgebaut:
Für die Magnetische Feldstärke H im Ringkern ergibt sich gemäß dem Ampereschen Verkettungssatz

$$\int H ds = N_1 I \quad (1)$$

(N_1 : Anzahl der Windungen der felderzeugenden Spule)

Die Stromstärke I wird indirekt über den Spannungsabfall U an einem äußeren Widerstand R oder je nach Spannungsabfall an dem Vorwiderstand R_V gemessen, und mit dem Analog-Digital-Wandler(Interface) verbunden.

Aus der Gl.1 erhält man

$$H = \frac{N_1}{\pi d R} U \quad (2)$$

Für die im Sekundärkreis induzierte Spannung U_{ind} gilt:

$$\int_1^2 U_{\text{ind}} dt = N_2 \Delta \Phi = N_2 A \Delta B \quad (3)$$

Aufgelöst nach der magnetischen Induktion ΔB erhält man:

$$\Delta B = \frac{\int_1^2 U_{\text{ind}} dt}{N_2 A} \quad (4)$$

(N_2 : Anzahl der Windungen der Induktionsspule, A : Querschnittsfläche des Ringkerns)

Am Ausgang des Fluxmeters liegt eine dem Spannungsstoß

$$\int_1^2 U_{\text{ind}} dt \quad (5)$$

proportionale Spannung an. Um die gewünschte Abhängigkeit $B(H)$ zu erhalten, wird der Ausgang des Fluxmeters mit dem Interface verbunden.

Die Abmessungen und Eigenschaften der Ringkerne, die Windungszahlen der Spulen und die Werte der Messwiderstände entnehme man der Tabelle am Arbeitsplatz.

Aus dem äußeren und inneren Durchmesser sowie der Höhe lässt sich die Querschnittsfläche des Ringkerns berechnen. Die Fe-Ni-Ringkerne sind aus 0,1 mm dicken Bandblechen zusammengesetzt.

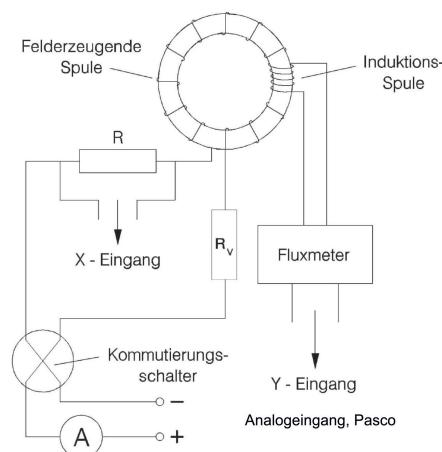


Abbildung 2: Versuchsanordnung zur Messung von Hysteresekurven - Skizze

Die Bleche tragen eine dünne Oxydschicht. Deshalb füllt der Eisenquerschnitt nicht den geometrischen Querschnitt aus. Das Verhältnis von Eisenquerschnitt zu geometrischem Querschnitt heißt *Füllfaktor*.

2.1 Inbetriebnahme der Versuchsanordnung

Dies geschieht in folgender Reihenfolge:

- Begrenzung der Maximalstromstärke am Netzgerät auf etwa 100 mA; (Verwenden Sie bei diesem Versuchsteil zur besseren Regulierung des Stromes den am Arbeitsplatz ausliegenden Vorwiderstand R_V Abb. 2) .
- Einschalten des Fluxmeters (Messbereich 100 mVs); Falls beim Einschalten ein Ausschlag erfolgt, muss der Zeiger mit Hilfe des Rückstellknopfes auf 0 gebracht werden. Dies ist nach jeder Messung zu tun.
- In der Software muss das Interface als Input für 2 separate Spannungswerte konfiguriert werden (siehe 3). Die Spannungen sollen dann gegeneinander mit einer Abtastrate von 20 Datenpunkte/s (Standardwert) aufgetragen werden. Die Daten sollen dann aus der Tabelle kopiert werden. Notieren Sie sich alle Software Einstellungen zur späteren Auswertung.

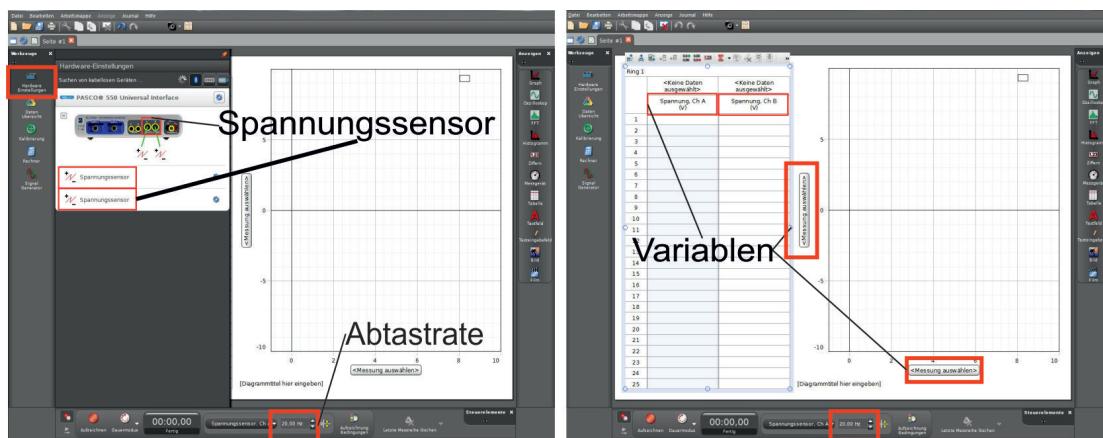


Abbildung 3: Screenshots der Software Pasco Stepstone mit den wichtigsten Funktionsfeldern.

2.2 Magnetmodelle

Die am Arbeitsplatz stehenden Magnetmodelle sind z. B. in Gerthsen (siehe Vorbereitung) beschrieben.

Man stelle die Modelle in das von den Helmholtz-Spulen erzeugte Magnetfeld und beobachte unter Veränderung und Umpolung des Feldes die Effekte:

Sättigungsmagnetisierung

Remanenz

Koerzitivfeldstärke

Weiss-Bereiche

Wanderung der Bloch-Wände und

Entmagnetisierung.

Die genannten Begriffe sollten prägnant in der Ausarbeitung erklärt werden.

2.3 Hysteresekurve einer Nickel-Eisen-Legierung (5000 H2)

2.3.1 Aufzeichnung einer Hysteresekurve

Zur Aufzeichnung der Hysteresekurve beginnt man mit dem Maximalwert $I_{\max} = 100 \text{ mA}$, regelt dann die Spannung am Netzgerät (Bei diesem Versuchsteil Vorwiderstand verwenden) gleichmäßig auf 0 herunter, polt mit Hilfe des Kommutierungsschalters um und erhöht dann wieder bis zum Maximalwert. Durch erneutes Verringern der Spannung bis auf den Wert 0, Umpolen und anschließendes Erhöhen bis zur Maximalstromstärke erhält man dann die vollständige Hysteresekurve.

Ist die Kurve geschlossen? Wenn dies nicht der Fall ist, sollte der Nullpunkt drift am Fluxmeter überprüft und nachreguliert werden.

2.3.2 Bestimmung von Remanenz und Koerzitivfeldstärke

Durch Symmetrisieren wird der Nullpunkt der Kurve bestimmt und die Hysterese dargestellt. Mit Hilfe der Gl. 2 und 4 soll der Maßstab für H in A/m auf der x-Achse und für B in Vs/m² auf der y-Achse angegeben werden. Die benötigten Daten entnehme man der Tabelle. Aus dem Diagramm bestimme man die Remanenz B_r und die Koerzitivfeldstärke H_c .

2.3.3 Sättigungsinduktion

Bei einer Maximalstromstärke von 100 mA sind die hin- und zurücklaufenden Äste der Hystereseschleife nicht mehr zu trennen, es tritt also keine Hysterese mehr auf. Die Magnetisierung steigt jedoch noch weiter an, da die Kurve noch nicht waagerecht verläuft. Um das Material in Sättigung zu bringen ($\mu_r = 1$), muss deshalb die Stromstärke auf einen höheren Wert begrenzt werden. Hierfür wird der Vorwiderstand R_V entfernt, um eine Maximalstromstärke von 2.3 A zu erreichen

Zur Bestimmung der Sättigungsinduktion von PERMENORM 5000 H2 ist der ermittelte Wert mit dem Füllfaktor zu korrigieren, sofern dies nicht bereits bei der Achsen Teilung vorgenommen wurde.

2.4 Messungen an einem Holzkern

Dieser Abschnitt muss im **B2L-Modul** nicht bearbeitet werden.

Als Füllmaterial der felderzeugenden Spule dient jetzt ein Holzkern (Ringkern 4). Um die Größenverhältnisse zwischen μ_{Eisen} und μ_{Vakuum} zu verdeutlichen, wird die Antwortfunktion zunächst mit den gleichen Messbereichseinstellungen wie unter 2.3.2 aufgenommen. Danach schalte man am Fluxmeter auf einen geeigneten (empfindlicheren) Messbereich um und zeichne die Kurve nochmals auf. Die Antwortfunktion wird angepasst und μ_{Holz} bestimmt. Nehmen sie die Antwortfunktion ebenfalls in deiner langsam Geschwindigkeit auf und beschreiben sie den auftretenden Effekt.

2.5 Hysteresekurve eines Eisenkerns

2.5.1 Bestimmung von Remanenz und Koerzitivfeldstärke

Als Spannungsquelle dient das Netzgerät mit der Bezeichnung (39-2) (7.5 V und 5 A). Mit Hilfe des Netzgerätes wird eine Maximalstromstärke von 5 A eingestellt. Zur Aufzeichnung der Kurve verfahren man wie unter 2.3.1 beschrieben.

2.5.2 Irreversibilität der Hysteresekurven

Um die Abhängigkeit der Magnetisierung von der Vorgeschichte des Materials zu erkennen, zeichne man zunächst von Ringkern 3 noch einmal eine bis zur Sättigung ($I = 5 \text{ A}$) reichende Hystereseschleife. Beim zweiten Umlauf wird die Stromstärke nur bis ca. 0.5 A verringert, geringfügig wieder erhöht und dann bis auf 0 verkleinert. Analog verfahren man beim Rücklauf in der steigenden Flanke der Kurve. Man zeichne den Umlaufsinn ein und erkläre das erhaltene Kurvenbild.

2.5.3 Entmagnetisierung

Durch geschickte Veränderung des Stromflusses soll der Magnet komplett entmagnetisiert werden. Der dabei entstehende Hystereseverlauf soll ebenfalls aufgenommen und erklärt werden.

2.6 Hysteresekurve einer anderen Fe-Ni-Legierung (5000 Z)

Dieser Abschnitt muss im **B2L-Modul** nicht bearbeitet werden.

2.6.1 Remanenz und Koerzitivfeldstärke

Messung wie unter 2.3.2 (Daten von Ringkern 2 benutzen!). Da bei diesem Material die Sättigung bereits bei kleineren Feldstärken erreicht wird, kann die Sättigungsinduktion aus dem erhaltenen Diagramm bestimmt werden.

2.7 Vergleich der Messergebnisse

2.7.1 Ummagnetisierungsverluste

Zur Bestimmung der Ummagnetisierungsverluste wiegt man mit der Analysenwaage zunächst das Millimeterpapier, schneide dann die Hysteresekurve des Fe-Ni H2 und des Eisenkerns aus und bestimme die Masse der von ihr eingeschlossenen Fläche. Aus dem Massenverhältnis lässt sich der Flächeninhalt der Hysteresekurve und damit die Energiedichte der Ummagnetisierung berechnen. Man gebe diese in J/kg an. Diese Messung wird durch die Anpassung der Fläche in Origin verglichen. In welcher Form wird diese Energie frei?

Dichte der Kerne:

$$\text{Fe-Ni-Legierung: } \rho = 8.25 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Fe-Kerns: } \rho = 7.80 \text{ g/cm}^3$$

2.7.2 Remanenz und Koerzitivfeldstärke

Vergleiche Sie den Verlauf der Hysteresekurven qualitativ, sowie die Kenngrößen der Kerne miteinander. Um welches Material handelt es sich demnach? Welche Anwendungen finden diese unterschiedlichen Materialien mit Bezug auf ihre Kenngrößen? Vergleichen Sie die Kerngrößen mit den Literaturwerten.

3 Anhang

3.1 Wirkungsweise des Fluxmeters

Das Fluxmeter¹ ist ein Gerät, das einen an seinem Eingang auftretenden Spannungsstoß misst. In Verbindung mit einer Induktionsspule, die einen magnetischen Fluss Φ umfasst, kann das Integral der elektrischen Spannung, die bei Veränderung eines die Messspule durchsetzenden Magnetflusses vom Wert Φ_1 nach dem Wert Φ_2 entsteht, gemessen werden

$$\int_1^2 U dt = \Phi_2 - \Phi_1 \quad (6)$$

Das Prinzip des Fluxmeters basiert auf einer Proportionalität zwischen der Ausgangsspannung und dem Integral der Eingangsspannung (Spannungsstoß), das hier gleich der Änderung des magnetischen Flusses ist.

¹flux lat.: Fluss

Abbildung 4: Frontplatte des Fluxmeters

3.2 Hausaufgabe

Machen sie sich mit der Funktionsweise des Fluxmeters vertraut und verwenden Sie hierfür Lit.: Wallacher Praktikum der Physik § 5.4.0.2 und die darin verwiesenen Kapitel. Mit welcher Bauteiländerung könnte man nun einfach die Sensibilität des Fluxmeters erhöhen und warum? In wie weit führt die Verwendung von realen Bauteilen zu einem verfälschten Messergebnis, wie würde sich dies in einer Hysteresekurve zeigen?

3.3 Handhabung des Fluxmeters

Beim Einschalten des Geräts leuchtet die Kontrolllampe auf. Mit dem Messbereichsschalter lässt sich der jeweilige Messbereich einstellen, wobei jeweils für den Vollausschlag (100 Skt) des Messinstruments der angegebene Messbereich in μ Vs gilt.

Die Bezeichnung μ A auf der Skala ist ohne Bedeutung.

(INPUT) sind die Eingangsbuchsen für die zu integrierende Spannung. Die Ausgangsbuchsen - für die Verbindung zum Interface - befinden sich unterhalb des Messinstruments. An ihnen liegt bei Vollausschlag des Messinstruments eine Spannung von 1000 mV an.

Vor Beginn einer Messung wird der Integrierkondensator C mit Hilfe des kleinen orangefarbenen Druckknopfes ZERO entladen und damit die Anzeige auf 0 gebracht. Die Anzeige darf für maximale Stromstärken nicht über den Vollausschlag gehen, da sonst die Antwortfunktion des Fluxmeters nicht-linear wird und das Messergebnis verfälscht.