

Versuch 310

Ferrograph

1. Aufgaben

- 1.1 Die Magnetisierungskurven sowie die Neukurven zweier ferromagnetischer Werkstoffe sind mit dem Ferrographen aufzunehmen.
- 1.2 Die Koerzitivfeldstärke und die Remanenzinduktion der Proben sind zu berechnen.

2. Grundlagen

Stichworte:

Magnetismus, Magnetisierung, Weißsche Bezirke, Hysterese, Elektronenstrahloszilloskop, RC-Glied

2.1 Magnetismus

Wird ein Stoff einem **magnetischen Feld** H ausgesetzt, so wird er magnetisiert. Die resultierende **magnetische Induktion** B setzt sich aus der magnetischen Feldstärke H und der Magnetisierung M der Probe, die bei vielen Materialien der magnetisierenden Feldstärke proportional ist, zusammen:

$$B = \mu_0 (H + M) = \mu_0 (H + \chi_m H) = \mu_0 \mu_r H \quad \text{mit} \quad \mu_r = (1 + \chi_m)$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{Vs/Am}$ ist die Induktionskonstante. Die relative Permeabilität (Permeabilitätszahl) μ_r bzw. die magnetische Suszeptibilität χ_m charakterisieren die Stoffe hinsichtlich ihrer magnetischen Eigenschaften:

$\mu_r \leq 1$, d.h. $\chi_m \leq 0$ für Diamagnetika (z.B. Wasser)

$\mu_r \geq 1$, d.h. $\chi_m \geq 0$ für Paramagnetika (z.B. Co Cl_2 u.a. Salze)

$\mu_r \gg 1$ für Ferromagnetika (s. Tabelle).

Für ferromagnetische Stoffe hängt die relative Permeabilität von der magnetischen Feldstärke ab; es ergibt sich die in Bild 1 dargestellte Abhängigkeit der magnetischen Induktion B von der magnetischen Feldstärke H .

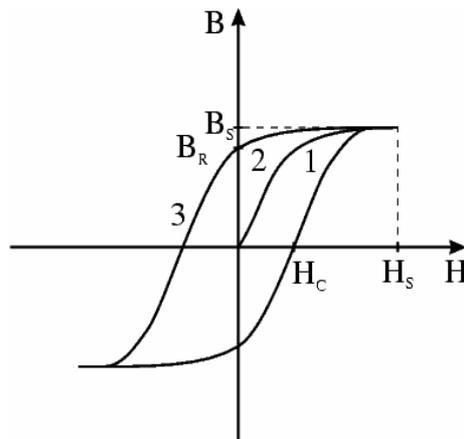


Bild 1: Hystereseschleife eines Ferromagneten

Die magnetische Induktion nimmt zunächst mit wachsender magnetischer Feldstärke zu (Kurve 1) und erreicht dann für $H = H_s$ einen Sättigungswert B_s . Dieser Kurvenzug wird als Neukurve bezeichnet. Wird die magnetische Feldstärke von H_s aus verringert, so nimmt die magnetische Induktion wieder ab (Kurve 2), wobei jedoch für $H = 0$ der Stoff einen Restmagnetismus aufweist, der durch die Remanenzinduktion B_R charakterisiert ist. Erst durch eine Koerzitivfeldstärke $H = -H_C$ wird diese Remanenz beseitigt (Kurve 3). Bei einer zyklischen Veränderung der magnetischen Feldstärke wird die Hysterese wiederholt durchlaufen.

Tabelle 1: Ferromagnetische Werkstoffe

	hartmagnetische Werkstoffe	weichmagnetische Werkstoffe
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> - starker Dauermagnetismus - schwer magnetisierbar 	<ul style="list-style-type: none"> - schwacher Dauermagnetismus - leicht magnetisierbar
Beispiele	<ul style="list-style-type: none"> - Stahl $H_C = 3500 - 4800 \text{ A/m}$ $B_R = 0,6 \text{ T}$ - hartmagnetische Legierungen (65% Fe, 15% Al, 20% Ni) $H_C = 4 \cdot 10^4 - 7 \cdot 10^4 \text{ A/m}$ $B_R = 0,6 - 0,7 \text{ T}$ - keramische Werkstoffe 	<ul style="list-style-type: none"> - reines Eisen $H_C = 2 \text{ A/m}$ - Fe - Si - Blech $H_C = 20-100 \text{ A/m}$ - keramische Werkstoffe
Anwendung	<ul style="list-style-type: none"> - Dauermagnete - Lautsprecher - Fahrraddynamo - Kleinstmotoren - elektrische Messgeräte 	<ul style="list-style-type: none"> - Transformatoren - Ferrit - Antennenstäbe - Spulenkerne für Hochfrequenz - und Fernmeldetechnik

Vergleich: Erdmagnetfeld: $H \approx 50 \text{ A/m}$, $B \approx 5 \cdot 10^{-5} \text{ T}$

2.2 Wirkungsweise des Ferrographen

Der Ferrograph wird mit Hilfe der Schaltung in Bild 2 realisiert.

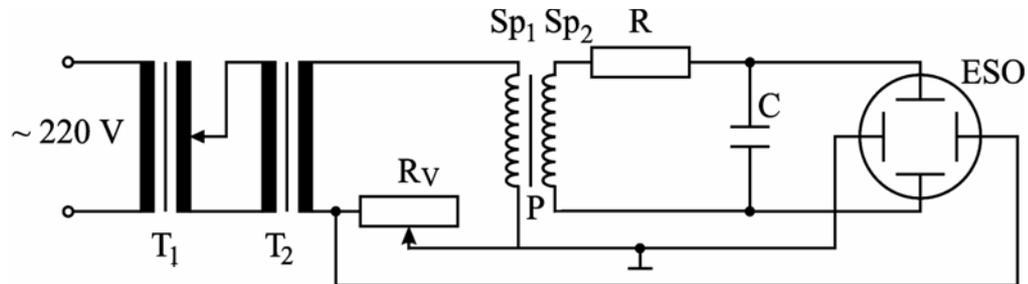


Bild 2: Schaltung des Ferrographen

Im magnetischen Wechselfeld einer Spule Sp_1 (Windungszahl N_1 , Länge l) wird die zu untersuchende ferromagnetische Probe P (hier das Kernmaterial der Spule) ständig ummagnetisiert. Die momentane Magnetfeldstärke in der Spule ist dabei durch

$$H = \frac{N_1 I}{l} \quad (1)$$

gegeben. Die dazu notwendige Spannung wird durch die Transformatoren T_1 und T_2 zur Verfügung gestellt. Dabei erfolgt die Regelung der Spannung an T_1 (Trennstelltrafo) während T_2 eine zusätzliche Transformation auf entsprechend niedrige Spannungswerte bewirkt. Bei einer vorgegebenen Spannung U und bei Vernachlässigung des induktiven Widerstandes der Spule Sp_1 wird die Stromstärke I durch die Größe des Vorwiderstandes R_v entsprechend

$$I = \frac{U}{R_v} \quad (2)$$

bestimmt. Aus (1) und (2) ergibt sich

$$H = \frac{N_1}{l R_v} U \quad (3)$$

d.h. die Magnetfeldstärke H ist dem Spannungsabfall U am Widerstand R_v proportional. Der Spannungsabfall U wird deshalb an die horizontalen Ablenkplatten des Elektronenstrahloszilloskops ESO gelegt und ist ein Maß für die magnetische Feldstärke.

Der magnetische Fluß $\Phi = BA$ (A : Probenfläche = Spulenfläche) der Probe P durchsetzt die Spule Sp_2 (Windungszahl N_2). In dieser wird eine Spannung gemäß

$$U_{\text{ind}} = - N_2 \frac{d\Phi}{dt} = - N_2 A \frac{dB}{dt} \quad (4)$$

induziert.

Die Spannung U_{ind} liefert die zeitliche Ableitung der magnetischen Induktion B . Um B selbst zu erhalten, benutzen wir ein RC-Glied zur zeitlichen Integration. Die Spannung U_{ind} führt bei Vernachlässigung des kapazitiven Widerstandes des Kondensators ($R \gg 1 / \omega C$ im RC-Glied zu der Stromstärke $I_2 = U_{\text{ind}} / R$. Für den Betrag der am Kondensator abfallenden Spannung U_C gilt dann /1/

$$U_C = \frac{1}{C} \int I_2 dt = \frac{1}{RC} \int U_{\text{ind}} dt \quad (5)$$

Mit (4) ergibt sich aus (5)

$$U_C = \frac{1}{RC} \int N_2 A \frac{dB}{dt} dt = \frac{N_2 AB}{RC} \quad (6)$$

Folglich ist der Spannungsabfall U_C am Kondensator der magnetischen Induktion B proportional und wird als Meßspannung an die vertikalen Platten des ESO gelegt.

3. Versuchsdurchführung

- 3.1 Bauen Sie den Ferrograph nach der Schaltung in Bild 2 auf. Verwenden Sie für den Vorwiderstand eine 100 Ω / 10 Ω -Dekade und überprüfen Sie den Einfluß von R_v auf die Form der Hysterese.
Überprüfen Sie für das bereitgestellte RC-Glied, ob $R \gg (\omega C)^{-1}$ erfüllt ist.
- 3.2 Die Hysterese wird durch geeignete Einstellung von R_v und Versorgungsspannung bis in die Sättigung gefahren (vgl. Bild 1 und Hinweis am Versuchsplatz), mit Hilfe der X- und Y-Verstärkung am ESO auf ein geeignetes Format gebracht und dann abgezeichnet.
Zur Messung der Achsenschnittpunkte ($U_x, U_y \rightarrow H_C, B_R$) kann das Bild noch weiter vergrößert werden. Dabei arbeitet man mit geeichten Oszi-Einstellungen (Rote Feinregler am Rechtsanschlag!)
- 3.3 Die Aufnahme der Neukurve erfolgt durch schrittweise Erhöhung der Spannung an T_1 beginnend bei $U = 0$. Sie ist identisch mit dem Weg, den dabei die Spitze der Hysterese zurücklegt.
Ermitteln Sie aus der Neukurve die Größe von μ_r (in Abhängigkeit von H)!
- 3.4 Die technischen Daten der verwendeten Spulen und Bauelemente entnehmen Sie bitte den Hinweisen am Versuchsplatz.

4. Kontrollfragen

- 4.1 Erläutern Sie den Zusammenhang zwischen der magnetischen Feldstärke und der magnetischen Induktion bei ferromagnetischen Stoffen.
- 4.2 Erläutern Sie die Funktion der Schaltung in Bild 2 sowie den Aufbau und die Wirkungsweise eines Elektronenstrahloszilloskops.
- 4.3 Wie kann man die Schleifen erklären, die beim Ausmessen der Ferritkernspule am Ende der Hysterese erkennbar sind?