

Gleichstrom-Magnetisierung

Versuch Nr.

7

Erforderliche Geräte

Anzahl	Bezeichnung, Daten	GL-Nr.
1	Netzgerät 0 ... 16V, 8A	195
1	Strommesser	122
1	Flussmesser 15mVs	185
1	Epsteinrahmen 25cm	201
1	Schiebewiderstand 40Ω, 2A	88
1	Drahtwiderstand 5Ω, 5W	
1	Schalterbrett	
1	Satz (20 Stück) Probestreifen	
12	Verbindungsleitungen 0,6m	

Datum:

Name:

Versuch durchgeführt:

1 Theoretische Grundlagen

1.1 Bedeutung des Elektroblechs

Elektroblech ist ein ferromagnetisches Feinblech, vorzugsweise unter 1mm Dicke. Es wird durch Schichtung von Stanzstücken oder Streifen in Paketen oder durch Wickeln zu sogenannten Magnetkernen zusammengesetzt. Für jeden Verwendungsfall wird der erforderliche Querschnitt des Magnetkernes für die Leitung des magnetischen Flusses durch entsprechende Kernbreite und Schichthöhe hergestellt. Magnetkerne werden in elektrischen Apparaten verwendet, weil diese aufgrund ihrer hohen magnetischen Leitfähigkeit den magnetischen Fluss auf kleinem Querschnitt und mit geringen Streuflüssen leiten. Die wichtigsten Anwendungsfälle sind Motoren und Generatoren, Transformatoren, Magnetkerne für Schaltschütze, Relais, Drosselspulen, Messwerke und Betätigungsmagnete.

In diesem Abschnitt werden einige Grundtatsachen zu den magnetischen Eigenschaften ferromagnetischer Stoffe zusammengestellt. Danach wird ein Verfahren zum Messen von Hysteresekurven beschrieben, das mit Gleichstromerregung arbeitet.

1.2 Magnetisierungskurven

Bei den ferromagnetischen Stoffen ist der Zusammenhang zwischen den magnetischen Zustandsgrößen Feldstärke (Erregung) H und Flussdichte (Induktion) B nicht-linear und im Allgemeinen nicht eindeutig. Frequenz- und Richtungsabhängigkeit werden in diesem Versuch nicht betrachtet.

Verändert man die magnetische Feldstärke H periodisch zwischen zwei festen Werten H_1 und H_2 , so stellt sich nach mehreren solchen Perioden ein stationärer Verlauf der magnetischen Flussdichte B ein, der dann durch eine sog. (partielle) Hysteresekurve beschrieben werden kann (Bild 1).

Form und Lage dieser Kurve können in zwei Spezialfällen allgemein beschrieben werden:

- a) Die Feldstärkeänderung $\Delta H = H_2 - H_1$ ist sehr klein. Man erhält dann reversibel durchlaufene Zustandskurven in Form schräg liegender Lanzetten, die sog. Rayleigh-Schleifen, s. Bild 1.
- b) Es ist $H_1 = -H_2$. Dieser Fall der symmetrischen Erregung ist bei fast allen technischen Anwendungen gegeben. Die zugehörigen Hysteresekurven sind in Bild 2 dargestellt.

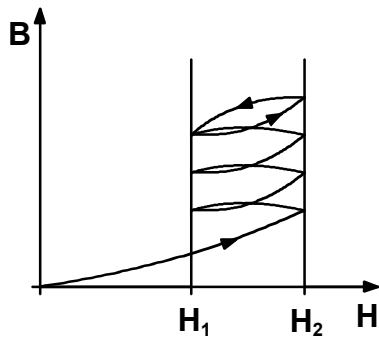


Bild 1 Partielle Hysteresekurve mit Einschwingung

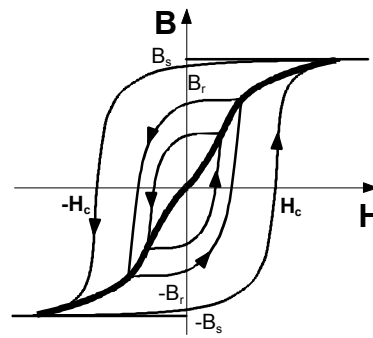


Bild 2 Symmetrische Hysteresekurven und Magnetisierungskurve

Für sehr große magnetische Feldstärken H nimmt die magnetische Flussdichte B nur noch geringfügig zu. Man spricht von magnetischer Sättigung. Die Hysteresekurve, bei der die Sättigung erreicht wird, heißt Grenzkurve. Sie ist charakteristisch für das jeweilige Material. Insbesondere sind von Interesse (s. Bild 2)

der Sättigungswert der magnetischen Flussdichte

$$B_s = B(H \rightarrow \infty), \quad (1)$$

die Remanenzflussdichte

$$B_r = B(H=0) \quad (2)$$

und die Koerzitivfeldstärke

$$H_c = H(B=0). \quad (3)$$

Es können nur Zustände auf oder innerhalb der Grenzkurve erreicht werden. Insbesondere liegen alle symmetrischen Hysteresekurven innerhalb derselben. Die Verbindung ihrer Umkehrpunkte (in Bild 2 stark ausgezeichnet) nennt man Kommutierungskurve. Sie entspricht praktisch der sog. Neukurve, die man erhält, wenn ein vorher unmagnetischer Stoff ($H = 0, B = 0$) magnetisiert wird.

1.3 Permeabilität

Das Verhältnis des Betrages der magnetischen Flussdichte B zum Betrag der magnetischen Feldstärke H in demselben Feldpunkt

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (4)$$

heißt Permeabilität des jeweiligen Materials. Die Permeabilität μ_0 des leeren Raums heißt magnetische Feldkonstante. Es ist

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ T} \cdot \text{m} / \text{A}. \quad (5)$$

Der Quotient

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} = \frac{B}{\mu_0 \cdot H} \quad (6)$$

heißt Permeabilitätszahl oder relative Permeabilität. Entsprechend den oben beschriebenen Zusammenhängen ist die Permeabilität μ von der magnetischen Feldstärke H bzw. der magnetischen Flussdichte B abhängig. Für den Fall (a) in Abschnitt 1.2 wird die reversible Permeabilität

$$\mu_{\text{rev}} = \frac{\Delta B}{\Delta H} \quad (7)$$

definiert. Im Fall (b) erhält man für eine feste Hysteresekurve mit $\Delta B = \pm 2\hat{B}, \Delta H = \pm 2\hat{H}$ die Wechselpermeabilität

$$\hat{\mu} = \frac{\hat{B}}{\hat{H}} \quad (8)$$

Der Verlauf $\hat{\mu}(\hat{H})$ ergibt sich aufgrund der in Abschnitt 1.2 gegebenen Definition unmittelbar aus der Kommutierungskurve $\hat{B}(\hat{H})$ als Neigung der Ursprungsgeraden. In Bild 3 sind die reversible Permeabilität μ_{rev} und die Wechselpermeabilität $\hat{\mu}$ über H bzw. \hat{H} aufgetragen. Für kleine magnetische Feldstärken H ergibt sich für beide Größen definitionsgemäß der gleiche Wert, die Anfangspermeabilität

$$\mu_a = \mu(H \rightarrow 0, \Delta H \rightarrow 0). \quad (9)$$

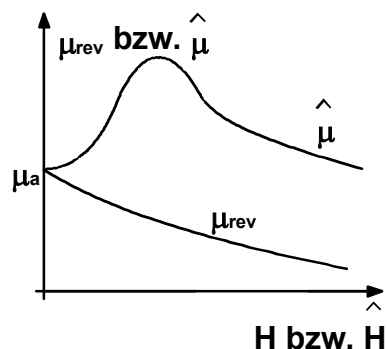


Bild 3 Permeabilitätsverlauf

1.4 Flussmesser

Mit dem magnetischen Flussmesser GL 185 kann magnetischer Fluss Φ oder magnetische Flussdichte B gemessen werden. Der Flussmesser ist bei der Messung des magnetischen Flusses Φ in kMaxwell (kM) und bei der Messung der magnetischen Flussdichte B in kGauß (kG) kalibriert. Die Einheiten Maxwell und Gauß sind nach DIN 1301 nicht mehr anzuwendende Einheiten, die wie folgt in SI-Einheiten umgerechnet werden können:

$$1\text{M}=10^{-8}\text{Wb}=10^{-8}\text{Vs}, \quad (10)$$

$$1\text{G}=10^{-4}\text{T}=10^{-4}\text{Vs}/\text{m}^2. \quad (11)$$

Der Flussmesser arbeitet nach dem Prinzip eines Spannungsimpulsmessers, d.h. die Anzeige $x(t)$ des Flussmessers ist durch die Beziehung

$$x(t_2) = c \cdot \int_{t_1}^{t_2} u(t) dt + x(t_1) \quad (12)$$

gegeben. In (12) sind t_1 und t_2 zwei beliebige Zeitpunkte, c eine reelle Proportionalitätskonstante und $u(t)$ die Spannung am Eingang des Flussmessers. Da die bei Induktionsvorgängen auftretenden Spannungstöße proportional zu den verursachenden Änderungen des magnetischen Flusses Φ bzw. der magnetischen Flussdichte B sind, können mit dem Flussmesser bei geeigneter Kalibrierung Änderungen $\Delta\Phi$ des magnetischen Flusses Φ und Änderungen ΔB der magnetischen Flussdichte B gemessen werden. Das Instrument GL 185 wird deshalb als Flussmesser oder Fluxmeter bezeichnet.

Im Folgenden wird die Bedienung des Flussmesser kurz beschrieben.

On

Mit dem Schalter „On“ wird der Flussmesser eingeschaltet.

RMS

Bei gedrücktem Schalter „RMS“ wird der RMS (root mean square)-Wert des magnetischen Flusses Φ bzw. der magnetischen Flussdichte B angezeigt.

Messbereich

Mit den Schaltern „1“, „10“ und „100“ wird der Messbereich des Flussmessers eingestellt. Bei gedrücktem Schalter „1“ ist $\Delta\Phi$ bzw. ΔB gleich dem Anzeigewert. Bei gedrücktem Schalter „10“ ist $\Delta\Phi$ bzw. ΔB gleich dem 10-fachen Anzeigewert. Bei gedrücktem Schalter „100“ ist $\Delta\Phi$ bzw. ΔB gleich dem 100-fachen Anzeigewert.

AC

Bei nicht gedrücktem Schalter „AC“ arbeitet der Flussmesser als idealer Integrator. Gleich- und Wechselanteil von $\Delta\Phi$ bzw. ΔB werden gemessen. Bei gedrücktem Schalter „AC“ wird der Gleichanteil von $\Delta\Phi$ bzw. ΔB unterdrückt.

Reset

Durch Drücken des „Reset“-Schalters zum Zeitpunkt t_1 wird der Anzeigewert $x(t_1)$, siehe (12), gleich null gesetzt.

NL, Drift

Mit dem Schalter „NL“ und dem Potentiometer „Drift“ wird ein Driften der Anzeige des Flussmessers aufgrund thermischer Spannungen verhindert. Dazu wird eine mit dem Potentiometer einstellbare Off-Set Spannung der Eingangsspannung des Flussmessers überlagert. Bei gedrücktem Schalter „NL“ kann das Driften der Anzeige des Flussmessers mit einer größeren Empfindlichkeit abgeglichen werden.

CM²N/N

Mit dem Schalter „CM²N/N“ wird das Produkt aus Fläche in cm², durch den der magnetische Fluss Φ fließt, mal Windungszahl des Prüflings bzw. die Windungszahl des Prüflings eingestellt. Im ersten Fall wird die Änderung ΔB der magnetischen Flussdichte B gemessen, die Anzeige erfolgt in kG. Im zweiten Fall wird die Änderung $\Delta\Phi$ des magnetischen Flusses Φ gemessen, die Anzeige erfolgt in kM. Prüfling kann z.B. eine Spule sein, bei der der magnetische Fluss Φ bzw. die magnetische Flussdichte B im Spuleninnern gemessen werden soll.

Input

Mit den beiden Steckverbindern „Input“ wird der Prüfling mit dem Flussmesser verbunden.

Folgende Schritte müssen vor dem Messen mit dem Flussmesser durchgeführt werden:

1. Einschalten des Gerätes. Zur thermischen Stabilität benötigt der Flussmesser ca. 15 Minuten. Dazu muss der Schalter „CM²N/N“ einen Wert ungleich „000“ haben und der Schalter „AC“ muss gedrückt sein.
2. Verbinden des Prüflings mit den Steckverbindern „Input“. Einstellen des Schalters „CM²N/N“ entsprechend den Daten des Prüflings. Wahl des Messbereichs durch Drücken des Schalters „1“, „10“ oder „100“.
3. Schalter „AC“ öffnen.
4. Abgleichen der Drift der Anzeige des Flussmessers. Dazu muss der Schalter „NL“ gedrückt werden und das Potentiometer „Drift“ so lange verändert werden, bis die Anzeige des Flussmessers konstant bleibt. Nach dem Abgleichen muss der Schalter „NL“ wieder geöffnet werden.
5. Schalter „Reset“ drücken. Mit dem Flussmesser kann jetzt die Änderung $\Delta\Phi$ des magnetischen Flusses Φ bzw. die Änderung ΔB der magnetischen Flussdichte B gemessen werden.

1.5 Epstein-Rahmen

Der Epstein-Rahmen besteht aus vier Spulenkörpern, die auf einem unmagnetischen, nichtleitenden Rahmen zueinander rechtwinklig angeordnet sind. Sie werden, wie in Bild 4 (ohne Spulen) schematisch dargestellt, gleichmäßig mit Probestreifen aus dem zu untersuchenden Blech beschichtet, so dass sich ein geschlossener magnetischer Kreis ergibt. Die Überlappung der Streifen an den Ecken bewirkt einen optimalen Übergang des magnetischen Flusses Φ von einem Schenkel zum anderen und damit eine geringere Streuung des magnetischen Flusses Φ (ungewollte Scheerung der aufzunehmenden Hystereseurve).

Die Spulenkörper sind zum Schutz gegen Beschädigung mit Kunstharz umkleidet. Drei davon sind fest, der vierte ist schwenkbar ausgeführt, um das Herausnehmen der Probestreifen nach der Messung zu erleichtern.

Jeder Spulenkörper trägt zwei Wicklungen, eine Primärwicklung zur Erregung der Probe und eine Sekundärwicklung zur Messung der magnetischen Flussdichte B . Die zusammengehörigen Wicklungen sind jeweils in Reihe geschaltet und an Schraubklemmen herausgeführt, deren Bezeichnungen aus Bild 5 hervorgehen. Da der Querschnitt der Sekundärspule nur teilweise ausgefüllt wird, verläuft der magnetische Fluss Φ zu einem von der jeweiligen Beschichtung des Rahmens abhängigen Teil in Luft. Um den Einfluss dieses Luftflusses auf die Messung auszuschalten, ist die Kompensations-Gegeninduktivität M_K vorgesehen. Ihre Wicklungen sind, wie aus Bild 5 zu ersehen ist, mit der Primärwicklung gleichsinnig und mit der Sekundärwicklung gegensinnig in Reihe geschaltet, wenn man primärseitig die Klemmen W_1/W_1 , sekundärseitig J/W_2 benutzt. Der Wert von M_K ist so abgeglichen, dass die auf der Sekundärseite induzierte Spannung ohne Eisenprobe null ist.

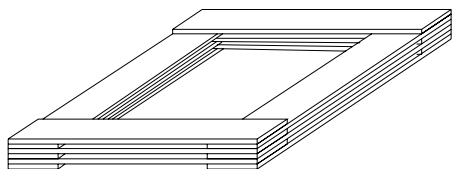


Bild 4 Schichtungsweise der Probestreifen

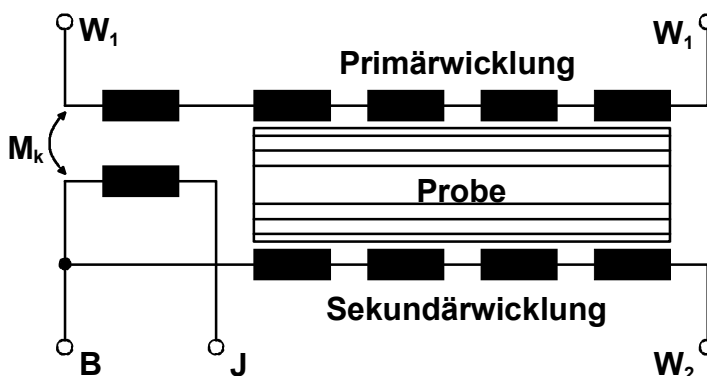


Bild 5 Wicklungen des Epstein-Rahmens

Nachfolgend sind Daten des Epstein-Rahmens zusammengestellt.

Primärwicklung:

$$w_1 = 4 \cdot 175 = 700,$$

$$R_1 = 0,5\Omega,$$

$$L_1 = 1,2\text{mH},$$

$$I_{1\text{max}} = 12,5\text{A}.$$

Sekundärwicklung:

$$w_2 = 4 \cdot 175 = 700,$$

$$R_2 = 2,0\Omega,$$

$$L_2 = 0,8\text{mH}.$$

Mittlere magnetische Weglänge:

$$l_m = 4 \cdot 0,25\text{m} = 1\text{m}.$$

Bei der in diesem Versuch verwendeten Eisenprobe handelt es sich um 1mm starkes Tiefziehblech der Dichte ρ . Jeder Schenkel des Epstein-Rahmens wird mit 5 Probestreifen der (geometrischen) Länge l beschickt. Die 20 Streifen besitzen zusammen die Masse m . Hieraus berechnet sich der als konstant betrachtete Eisenquerschnitt A_E zu

$$A_E = \frac{m}{l_m \cdot \rho} \quad (13)$$

Nachfolgend sind die Daten der Eisenprobe zusammengestellt:

$$m = 1,315\text{kg},$$

$$\rho = 7,65 \cdot 10^3 \text{kg/m}^3,$$

$$l = 0,28\text{m}.$$

1.6 Bestimmung von magnetischer Feldstärke und magnetischer Flussdichte

In der Primärspule des Epstein-Rahmens fließe der Strom I_1 . Bei Annahme konstanter magnetischer Feldstärke H längs des magnetischen Weges erhält man aus dem Durchflutungsgesetz

$$H = \frac{I_1 \cdot w_1}{l_m} = \eta \cdot I_1. \quad (14)$$

Die magnetische Feldstärke H nach (14) erzeugt in der Eisenprobe den magnetischen Fluss

$$\Phi = \mu \cdot H \cdot A_E = B \cdot A_E. \quad (15)$$

Ändert sich während des Zeitraums t_1 bis t_2 der magnetische Fluss Φ um $\Delta\Phi$ bzw. die magnetische Flussdichte B um ΔB , so wird in der Sekundärspule des Epstein-Rahmens eine Spannung

$$u_2 = w_2 \cdot \dot{\Phi} = w_2 \cdot A_E \cdot \dot{B} \quad (16)$$

induziert. Die Änderung $\Delta\Phi$ des magnetischen Flusses Φ während des Zeitraums t_1 bis t_2 ergibt sich mit (15) und (16) zu

$$\Delta\Phi = \Phi(t_2) - \Phi(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} \dot{\Phi} dt = \frac{1}{w_2} \int_{t_1}^{t_2} u_2 dt. \quad (17)$$

Wird der Flussmesser an die Sekundärspule des Epstein-Rahmens angeschlossen, kann die Änderung $\Delta\Phi$ des magnetischen Flusses Φ gemessen werden. Der Faktor $1/w_2$ in (17) wird dabei durch Einstellen des Schalters „CM²N/N“ auf den Wert w_2 gleich 700 berücksichtigt. Der Flussmesser zeigt dann die Änderung $\Delta\Phi$ des magnetischen Flusses in kM an. Die Änderung ΔB der magnetischen Flussdichte B ergibt sich mit (17) zu

$$\Delta B = \frac{\Delta\Phi}{A_E}. \quad (18)$$

1.7 Aufnahme von Hysteresekurven

Da der magnetische Anfangszustand der Probe im Allgemeinen nicht bekannt ist, muss die Probe vor Beginn der Messungen entmagnetisiert werden. Dazu schickt man durch die Primärspule des Epstein-Rahmens einen hinreichend großen Strom I_1 , dessen Richtung man oftmals umpolt, während die Stromstärke nach jedem Richtungswechsel schrittweise bis auf null verringert wird.

Man verwendet hierzu die Schaltung nach Bild 6. Zum Entmagnetisieren sind die Schalter S_1 und S_3 geschlossen, die Stromstärke I_1 wird über das Netzgerät GL 191 verändert, zum Umpolen dient Schalter S_2 . Die fortschreitende Entmagnetisierung lässt sich an der abnehmenden Anzeige des Flussmessers erkennen.

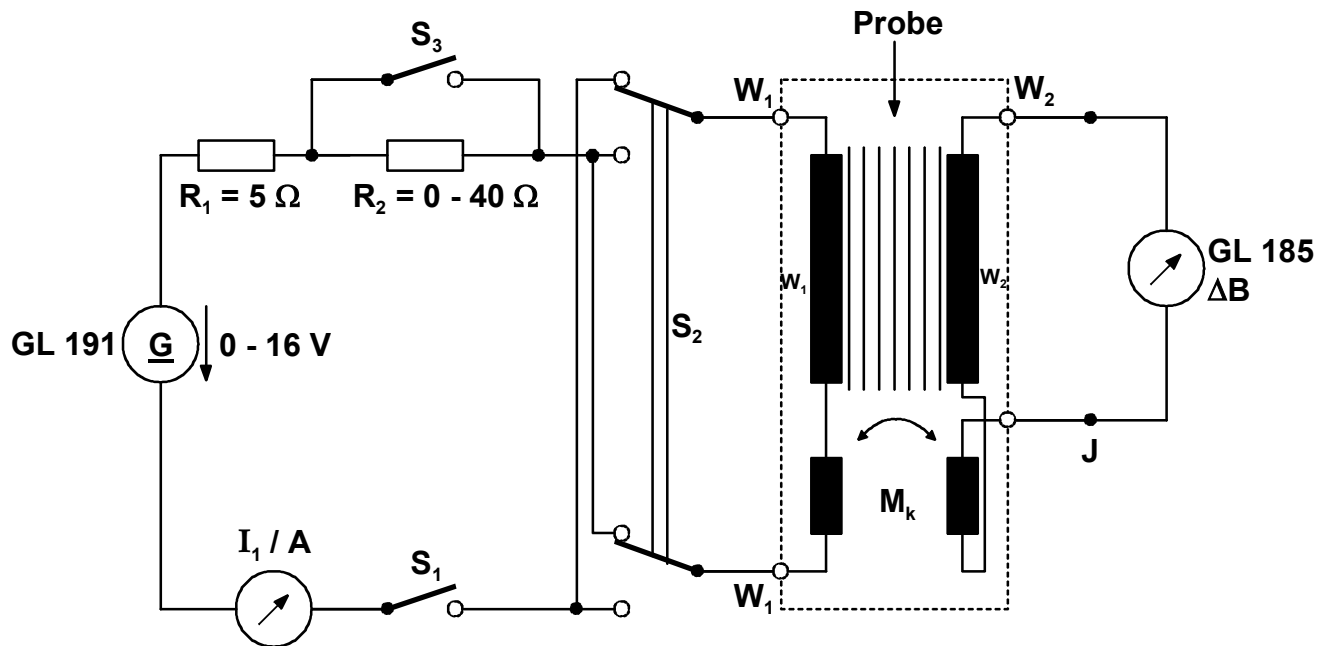


Bild 6 Versuchsschaltung zur Gleichstrommagnetisierung

Die Wirkung entspricht der eines Wechselstroms, dessen Amplitude langsam auf null reduziert wird. Das Material durchläuft dabei annähernd symmetrische Hysteresekurven, die immer kleiner werden und sich um den Nullpunkt zusammenziehen (vgl. Abschnitt 1.2, Bild 2!).

Nun können verschiedene Hysteresekurven aufgenommen werden, wozu man sich zweckmäßigerweise eine Reihe von Maximalwerten der magnetischen Flussdichte B zum Ziel setzt. Man erhöht unter fortwährendem Umpolen mittels Schalter S_2 die Speisespannung und damit den Strom I_1 so lange, bis der Flussmesser eine Änderung ΔB der magnetischen Flussdichte B von $\Delta B = \pm 2B_{\max}$ anzeigt. Dies entspricht Bild 7 der Zustandsfolge 1 – 5 – 1 usw. Die zugehörige magnetische Feldstärke H_{\max} ergibt sich nach (14).

Um nun weitere Punkte der Hysteresekurve zu erhalten, geht man folgendermaßen vor:

- **Ausgangszustand 1.**
- Schalter S_3 öffnen. Da der Widerstand R_2 nun nicht mehr überbrückt wird, verringern sich I_1 und H um den Betrag ΔI_1 bzw. $\Delta H = \eta \Delta I_1$, die Probe gelangt in den Zustand 2 von Bild 7. Die Anzeige des Flussmessers springt um ΔB_1 weiter auf die entsprechende Flussdichte von **Zustand 2**.
- Umpolen von I_1 mit Schalter S_2 . Ablesen der Flussdichte für **Zustand 4**.
- Schalter S_3 schließen. **Zustand 5** ist erreicht.
- Schalter S_3 öffnen. Ablesen der Flussdichte für **Zustand 6**.
- Umpolen mit Schalter S_2 . Ablesen der Flussdichte für **Zustand 8**.
- Schalter S_3 schließen. Die Probe befindet sich wieder in **Ausgangszustand 1**.

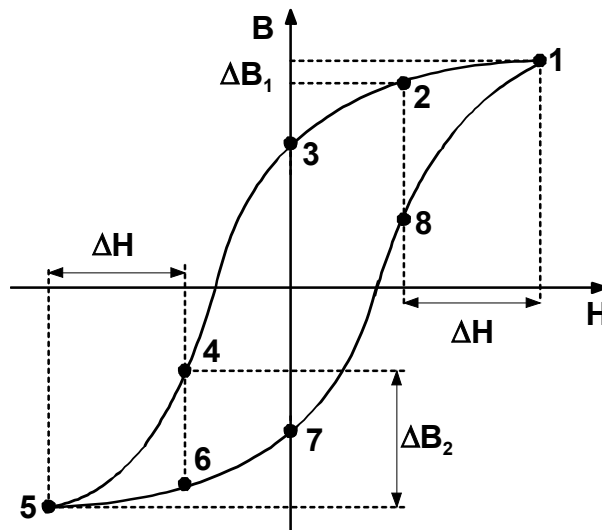


Bild 7 Messpunkte bei der Aufnahme einer Hysteresekurve

Wiederholt man diesen Zyklus 1 – 2 – 4 – 5 – 6 – 8 – 1 mit anderen Werten von R_2 , ergeben sich andere ΔH und damit weitere Zwischenwerte, so dass der Verlauf der Hysteresekurve punktweise ausgemessen werden kann.

Die positive und negative Remanenzflussdichte, entsprechend den Zuständen 3 bzw. 7, erhält man aus dem verkürzten Zyklus 1 – 3 – 5 – 7 – 1:

- **Ausgangszustand 1.**
- Schalter S_1 öffnen. **Zustand 3** ablesen.
- Umpolen mit Schalter 2, **danach** Schalter 1 wieder schließen. **Zustand 5** ablesen.
- Schalter S_1 öffnen. **Zustand 7** ablesen.
- Umpolen mit Schalter 2, **danach** Schalter 1 schließen. **Ausgangszustand 1.**

2 Weiterführende Literatur

- [1] Fricke, Hans; Frohne, Heinrich; Moeller, Franz; Vaske, Paul:
Grundlagen der Elektrotechnik
Teubner Verlag, 1986
Fachbereichsbibliothek: ELT 320/052
- [2] Frohne, Heinrich:
Einführung in die Elektrotechnik, Band 1
Teubner Verlag, 1977
Fachbereichsbibliothek: ELT 320/008
- [3] Küpfmüller, Karl; Kohn, Gerhard:
Theoretische Elektrotechnik und Elektronik: Eine Einführung

Springer-Verlag, 15. Aufl., 2000
Fachbereichsbibliothek: ELT 305/007

- [3] Münch, Waldemar von:
Werkstoffe der Elektrotechnik
Teubner Verlag, Stuttgart, 6. Auflage, 1989
Fachbereichsbibliothek: ELT 280/018

3 Fragen und Aufgaben

Nachstehende Fragen dienen Ihrer Selbstkontrolle. Versuchen Sie deshalb, die Fragen ohne Verwenden des Abschnitts 1 zu lösen! Die Aufgaben bieten Zahlenbeispiele zur Übung bzw. dienen zur Vorbereitung und damit schnelleren Abwicklung des Versuches.

1. Wie wird der magnetische Zustand eines Körpers beschrieben?
2. Wodurch ist das Verhalten ferromagnetischer Stoffe gekennzeichnet?
3. Erklären Sie die Begriffe
 - partielle Hysteresekurve,
 - symmetrische Hysteresekurve,
 - Magnetisierungskurve,
 - Grenzkurve,
 - Neukurve!
4. Welche Begriffe aus Frage (3) sind für technische Anwendungen am wichtigsten und warum?
5. Nennen Sie einige der technischen Anwendungen die in Frage (4) gemeint sind!
6. Was versteht man unter Koerzitivfeldstärke und Remanenzflussdichte?
7. Wie bestimmt man die Wechselpermeabilität $\hat{\mu}$ und wovon ist sie abhängig?
8. Welche Bedeutung hat die Anfangspermeabilität μ_a ?
9. Welche Möglichkeiten kennen Sie, Spannungsschübe zu messen?
10. Wozu dient die Kompensations-Gegeninduktivität M_K des Epstein-Rahmens?
11. Berechnen Sie den Skalenfaktor η und den Eisenquerschnitt A_E des Epstein-Rahmens, s. Abschnitt 1!
12. Wie kann man einen ferromagnetischen Körper entmagnetisieren?
13. Beschreiben Sie das Verfahren zur Aufnahme einer Hysteresekurve mit der Schaltung von Bild 6!

14. Für die Tabellen 1 bis 5 in Kapitel 4 soll der Zusammenhang zwischen der magnetischen Flussdichte B und der Anzeige des Fluxmeters bestimmt werden. Geben Sie dazu die magnetische Flussdichte B in Abhängigkeit vom Eisenquerschnitt A_E und dem eingestellten Messbereich des Fluxmeters $K \in \{1, 10, 100\}$ als Formel an. Beachten Sie dabei, dass die Anzeige am Fluxmeter in Maxwell bzw. Gauß erfolgt und daher in SI-Einheiten umgerechnet werden muss.

4 Versuchsanleitung

Schichten Sie die Probestreifen wie im Abschnitt 1.5 beschrieben in den Epstein-Rahmen GL 201 und bauen Sie die Messschaltung nach Bild 6 auf! Achten Sie darauf, dass die Probestreifen an den Ecken des Epstein-Rahmens richtig überlappen und mit den eingebauten Klemmfedern zusammengefasst werden!

Das Netzgerät GL 191, der Strommesser GL 364 (Bereich 1A = wählen, Polarität beachten), der Drahtwiderstand (R_1), der Schiebewiderstand GL 88 (R_2), der Flussmesser GL 185 und der Epstein-Rahmen GL 201 (Anschlussbezeichnungen beachten) werden über das Schalterbrett verbunden, das die Schalter S_1 bis S_3 enthält. Stellen Sie die Spannungsregler am Netzgerät vor dem Einschalten auf null!

Entmagnetisieren Sie die Probe wie im Abschnitt 1.7 beschrieben! Nehmen Sie nun anhand der Tabellen 1 bis 5 die Hysteresekurven mit $B_{\max} = 0,05T; 0,1T; 0,25T; 0,5T$ und $0,75T$ auf und zeichnen Sie die Kurven in das Diagramm 1! In den Tabellen nicht aufgeführte Messpunkte 2 und 6 (Definition s. Bild 7) liegen in schwach gekrümmten Teilen der Hysteresekurve und können daher ohne Messung leicht interpoliert werden. Der Schalter „ CM^2N/N “ des Flussmessers soll für alle Messungen den Wert w_2 gleich 700 haben! Der Schalter „AC“ muss für alle Messungen geöffnet sein! Für die Tabellen 1 bis 4 soll der Schalter „10“ und für Tabelle 5 der Schalter „100“ des Flussmesser gedrückt sein!

Beachten Sie, dass sich beim Umschalten der Messbereiche der Innenwiderstand des Strommessers und damit der Widerstand des Primärkreises, der Strom I_1 und die magnetische Feldstärke H ändern! Dies darf nicht zu einer unzulässigen Zustandsfolge führen! Wählen sie deshalb für alle Messungen den Bereich 1,5A!

Konstruieren Sie in Diagramm 1 die Magnetisierungskurve und übertragen Sie diese in das Diagramm 2!

Ermitteln Sie graphisch die relative Wechselfermeabilität $\hat{\mu}_r$, was durch einfachen Vergleich mit der eingezeichneten Geradenschar ($\hat{B} = \hat{\mu}_r \hat{H}$ mit $\hat{\mu}_r$ als Parameter) geschieht, und zeichnen Sie den Kurvenverlauf in Diagramm 3!

Bestimmen Sie die relative Anfangspermeabilität μ_{ra} sowie die magnetische Feldstärke \hat{H} bzw. die magnetische Flussdichte \hat{B} , für die das Maximum von $\hat{\mu}_r$ erreicht wird!

Tabelle 1 $B_{\max} = 0,05T$

Punkt Nr. (Bild 7)	I_1 in A	H in A/m	Anzeige GL 185	B in T
1				+0,05
5				-0,05
1				+0,05
2	0,1	+70		
3	0	0		
4	0,1	-70		
5				-0,05
6	0,1	-70		
7	0	0		
8	0,1	+70		
1				+0,05

Tabelle 2 $B_{\max} = 0,1T$

Punkt Nr. (Bild 7)	I_1 in A	H in A/m	Anzeige GL 185	B in T
1				+0,1
5				-0,1
1				+0,1
2	0,1	+70		
3	0	0		
4	0,1	-70		
5				-0,1
6	0,1	-70		
7	0	0		
8	0,1	+70		
1				+0,1

Tabelle 3 $B_{\max} = 0,25T$

Punkt Nr. (Bild 7)	I_1 in A	H in A/m	Anzeige GL 185	B in T
1				+0,25
5				-0,25
1				+0,25
2	0,25	+175		
4	0,25	-175		
5				-0,25
6	0,25	-175		
8	0,25	+175		
1				+0,25
2	0,15	+105		
3	0	0		
4	0,15	-105		
5				-0,25
6	0,15	-105		
7	0	0		
8	0,15	+105		
1				+0,25

Tabelle 4 $B_{\max} = 0,5T$

Punkt Nr. (Bild 7)	I_1 in A	H in A/m	Anzeige GL 185	B in T
1				+0,5
5				-0,5
1				+0,5
4	0,35	-245		
5				-0,5
8	0,35	+245		
1				+0,5
2	0,25	+175		
4	0,25	-175		
5				-0,5
6	0,25	-175		
8	0,25	+175		
1				+0,5
2	0,15	+105		
3	0	0		
4	0,15	-105		
5				-0,5
6	0,15	-105		
7	0	0		
8	0,15	+105		
1				+0,5

Tabelle 5 $B_{\max} = 0,75T$

Punkt Nr. (Bild 7)	I_1 in A	H in A/m	Anzeige GL 185	B in T
1				+0,75
5				-0,75
1				+0,75
2	0,4	+280		
4	0,4	-280		
5				-0,75
6	0,4	-280		
8	0,4	+280		
1				+0,75
2	0,3	+210		
4	0,3	-210		
5				-0,75
6	0,3	-210		
8	0,3	+210		
1				+0,75
2	0,2	+140		
3	0	0		
4	0,2	-140		
5				-0,75
6	0,2	-140		
7	0	0		
8	0,2	+140		
1				+0,75

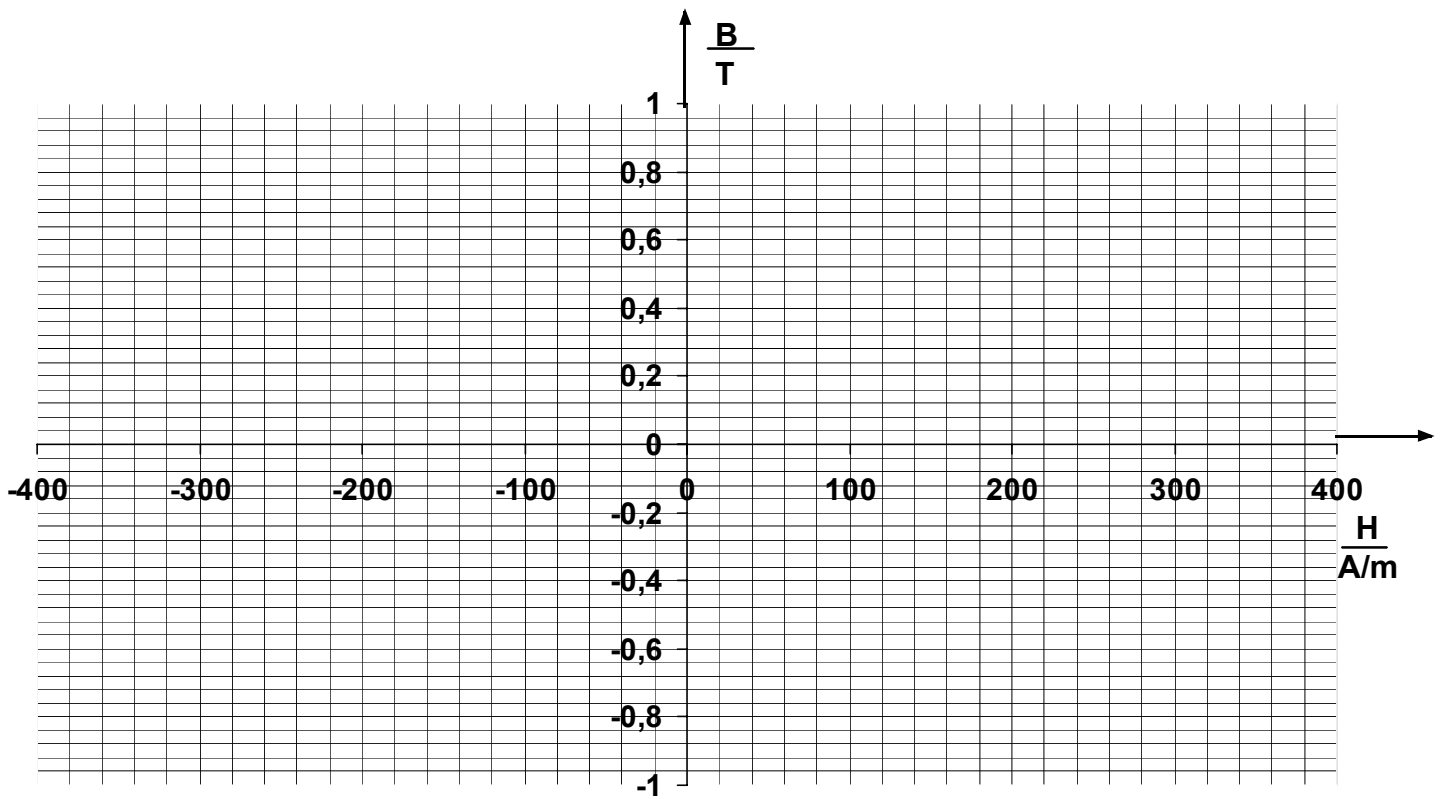


Diagramm 1 Hystereseschleifen und Magnetisierungskurve

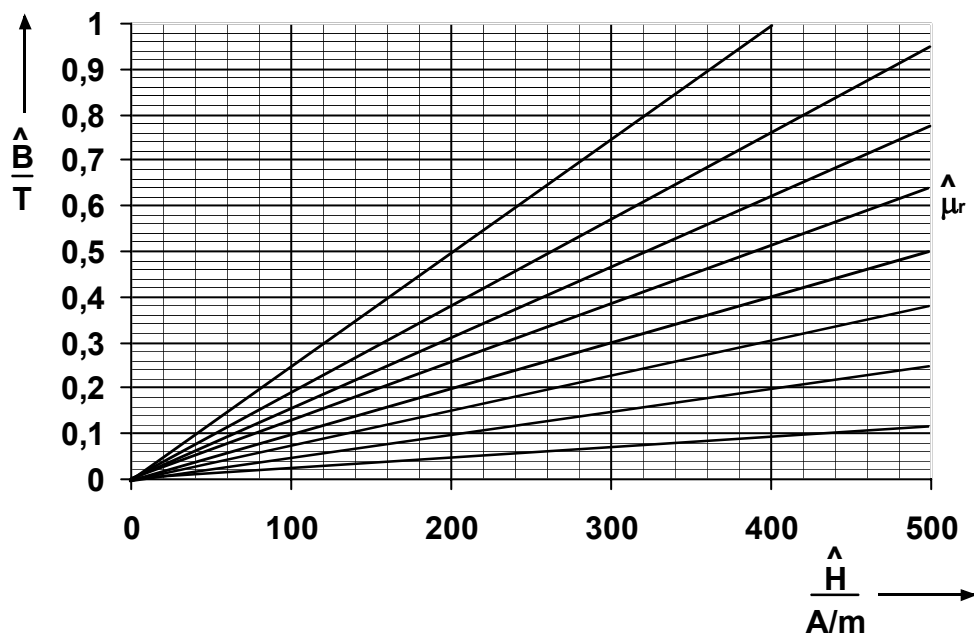


Diagramm 2 Magnetisierungskurve

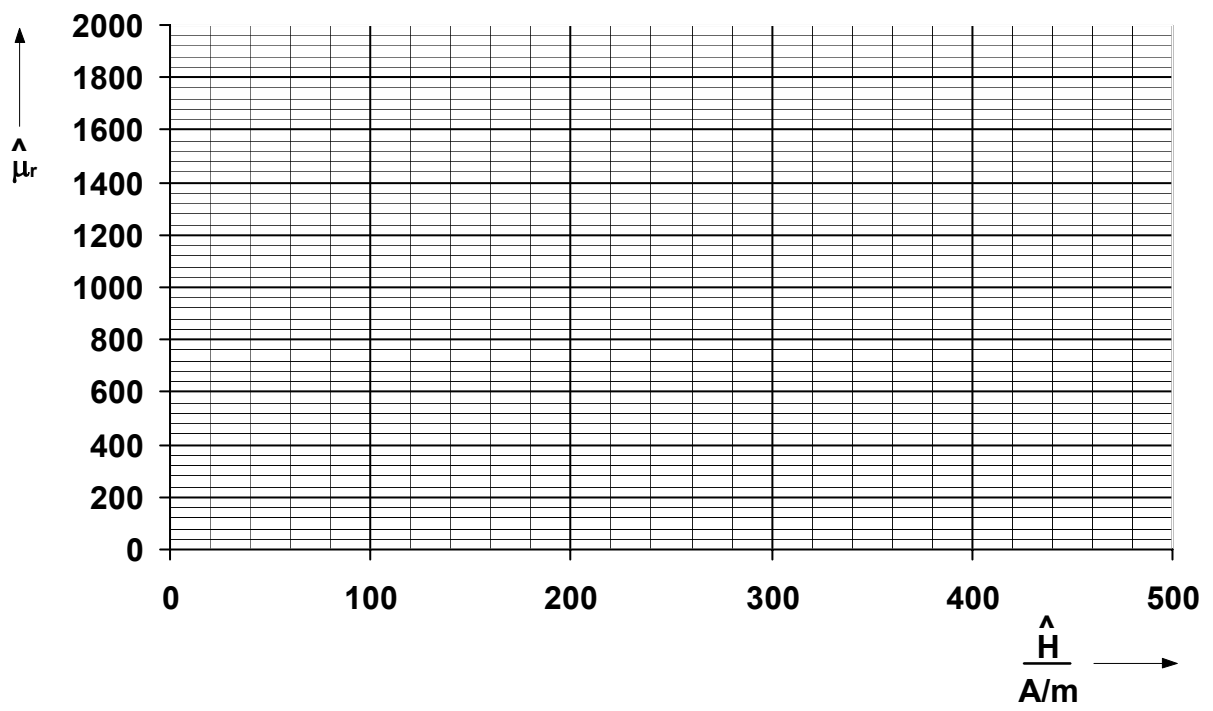


Diagramm 3 Relative Wechsepermeabilität