

Festkörperphysik

Magnetismus

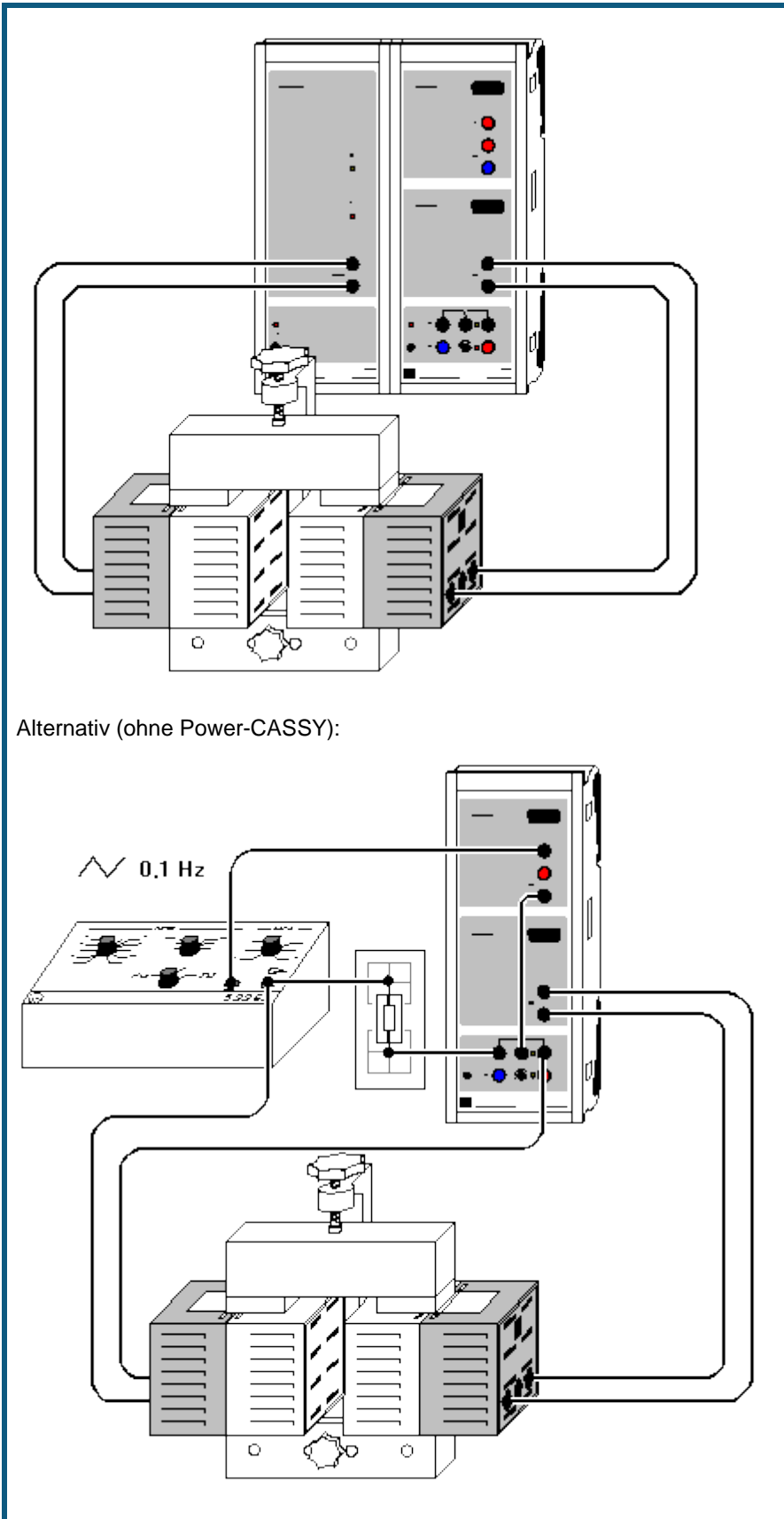
Ferromagnetische Hysterese

Aufzeichnung von Neu- und
Hysteresekurve eines
Ferromagneten

Beschreibung aus CASSY Lab 2

Zum Laden von Beispielen und
Einstellungen bitte die CASSY Lab 2-Hilfe
verwenden.

Hysterese von Trafoeisen



Versuchsbeschreibung

In einem Transformatorkern (Ferromagnet) ist das magnetische Feld

$$H = N_1/L \cdot I$$

proportional zum Spulenstrom I und der effektiven Windungsdichte N_1/L der Primärspule. Die erzeugte magnetische Flussdichte oder magnetische Induktion

$$B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H \quad (\text{mit } \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am})$$

ist aber nicht proportional zu H . Vielmehr erreicht sie bei steigendem Magnetfeld H einen Sättigungswert B_s . Die Permeabilitätszahl μ_r des Ferromagneten hängt von der Magnetfeldstärke H und außerdem von der magnetischen Vorbehandlung des Ferromagneten ab. Bei einem entmagnetisierten Ferromagneten ist für $H=0$ A/m auch die magnetische Feldstärke $B = 0$ T. Normalerweise behält ein Ferromagnet bei $H = 0$ A/m aber noch eine restliche magnetische Flussdichte B ungleich 0 T (Remanenz).

Es ist daher üblich, die magnetische Induktion B in einer Hysteresekurve als Funktion steigender und fallender Feldstärke H darzustellen. Die Hysteresekurve unterscheidet sich von der sogenannten Neukurve, die im Ursprung des Koordinatensystems beginnt und nur bei vollständig entmagnetisiertem Material zu messen ist ($H = 0$ A/m, $B = 0$ T).

Im vorliegenden Beispiel werden H und B nicht direkt gemessen, sondern es werden statt dessen die dazu proportionalen Größen Primärstrom $I = L/N_1 \cdot H$ und magnetischer Fluss $\Phi = N_2 \cdot A \cdot B$ durch die Sekundärspule (N_2 : Windungszahl der Sekundärspule; A : Querschnitt des Ferromagneten) verwendet. Der magnetische Fluss Φ wird als Integral der in der Sekundärspule induzierten Spannung U berechnet.

Benötigte Geräte

1	Power-CASSY	524 011
1	Sensor-CASSY	524 010 oder 524 013
1	CASSY Lab 2	524 220
1	U-Kern mit Joch	562 11
1	Spannvorrichtung mit Klemmfeder	562 121
2	Spulen mit 500 Windungen	562 14
4	Kabel, 100 cm, schwarz	500 444
1	PC mit Windows XP/Vista/7/8	

Alternativ (ohne Power-CASSY)

1	Sensor-CASSY	524 010 oder 524 013
1	CASSY Lab 2	524 220
1	U-Kern mit Joch	562 11
1	Spannvorrichtung mit Klemmfeder	562 121
2	Spulen mit 500 Windungen	562 14
1	Funktionsgenerator S12	522 621
1	STE Widerstand 1Ω , 2 W	577 19
1	Steckplattensegment	576 71
1	Kabel, 50 cm, schwarz	500 424
7	Kabel, 100 cm, schwarz	500 444
1	PC mit Windows XP/Vista/7/8	


Versuchsaufbau (siehe Skizze)


Der Strom der Primärspule des Transformators liefert das Power-CASSY. Der magnetische Fluss Φ wird aus der Induktionsspannung U der Sekundärspule, die von Eingang B des Sensor-CASSYs gemessen wird, berechnet.

Alternativ kann das Experiment auch ohne Power-CASSY unter Verwendung des Funktionsgenerators S12 durchgeführt werden. Dieser ist auf Dreieck, Frequenz etwa $0,1$ Hz und Amplitude etwa 2 V einzustellen. Zur Aufnahme der Neukurve wird auf $I = 0$ A getriggert. Um diesen Zeitpunkt exakt zu erwischen, wird der Strom vor Aufnahme der Kurve vom Relais am Transformator vorbeigeleitet und fließt durch einen Widerstand von 1Ω .

Versuchsdurchführung

■ Einstellungen laden

- Evtl. Offset der am Eingang B korrigieren, dazu in [Einstellungen UB Korrigieren](#) wählen, als ersten Sollwert 0 V eingeben und **Offset korrigieren**
- Eisenkern entmagnetisieren, z. B. durch mehrere kräftige Schläge mit der Stirnfläche des Jochs auf die beiden Stirnflächen des U-Kerns
- Messung mit  starten

- Messung nach einer Periode der Hysteresekurve oder bei $\Phi = 0$ Vs (dann entfällt nächstes Mal das Entmagnetisieren) wieder mit  stoppen
- Wenn die Hysteresekurve im zweiten und vierten Quadranten verläuft, hilft ein Verpolen der Anschlüsse an einer der beiden Spulen
- Wenn während der Messung das Anzeigeelement U_B übersteuert wird (blinkende Anzeige), in [Einstellungen](#) [UB](#) den Messbereich vergrößern

Auswertung

Da die Fläche einer Hystereseschleife $B(H)$

$$\int B \cdot dH = \frac{E}{V}$$

gerade dem Energieverlust E bei einer Ummagnetisierung pro Volumen V des ummagnetisierten Stoffes entspricht, ergibt die umschlossene Fläche im Diagramm $\Phi(I)$

$$\int \Phi \cdot dI = \int N_2 AB \cdot \frac{L}{N_1} \cdot dH = \frac{N_2}{N_1} V \int B \cdot dH = \frac{N_2}{N_1} \cdot E$$

für $N_1=N_2$ genau den Energieverlust E bei der Ummagnetisierung.

In Diagramm kann dieser Energieverlust durch die "[Peakintegration](#)" einer Hystereseschleife berechnet werden.