

Aufzeichnung von Neu- und Hysteresekurve eines Ferromagneten

Aufzeichnung und Auswertung mit CASSY

Versuchsziele

- Aufnahme der magnetischer Flussdichte als Funktion des magnetischen Feldes eines Transformator-kerns.
- Darstellung von Neu- und Hysteresekurve sowie deren Auswertung.

Versuchsbeschreibung

In einem Transformator-kern (Ferromagnet) ist das magnetische Feld

$$H = I \cdot \left(\frac{N_1}{L} \right)$$

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 , da Permeabilitätszahl $\mu_r = \mu_r(H)$ des Ferromagneten von der Magnetfeldstärke H und von der magnetischen Vorbehandlung des Ferromagneten *abhängt*. Vielmehr erreicht sie bei steigendem Magnetfeld H einen Sättigungswert B_s . Bei einem entmagnetisierten Ferromagneten ist für $H = 0 \text{ A/m}$ auch die magnetische Feldstärke $B = 0 \text{ T}$. Normalerweise behält ein Ferromagnet bei $H = 0 \text{ A/m}$ aber noch eine restliche magnetische Flussdich-

te 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 ($H = 0 \text{ A/m}$, $B = 0 \text{ T}$).

Im vorliegenden Beispiel werden H und B nicht direkt gemessen, sondern es werden stattdessen 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.

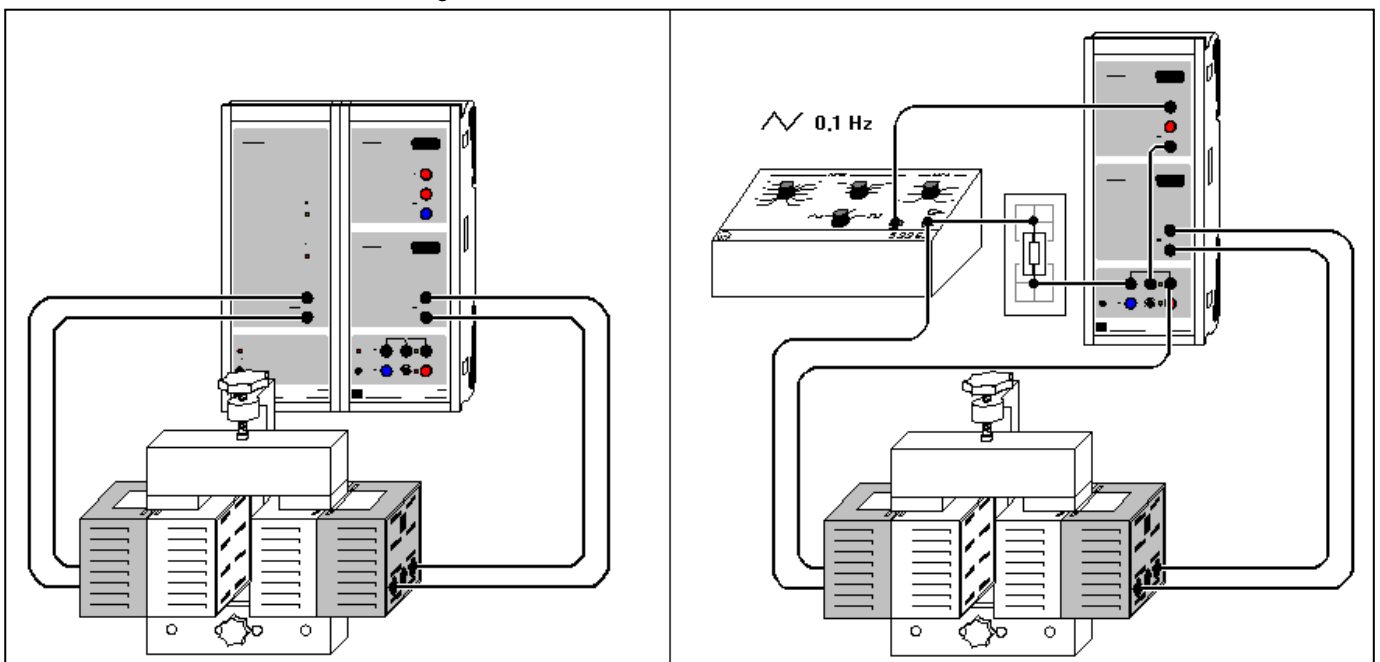


Abb. 1: Versuchsaufbau: Aufzeichnung von Neu- und Hysteresekurve eines Ferromagneten. Rechts: alternativer Aufbau ohne Power-CASSY.

Geräte

1 Power-CASSY	524 011
1 Sensor-CASSY	524 010/13
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

Alternativ (ohne Power-CASSY)

1 Sensor-CASSY	524 010/13
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 1 Ω, 2 W	577 19
1 Steckplattensegment	576 71
1 Kabel 50 cm, schwarz	500 424
7 Kabel, 100 cm, schwarz	500 444
4 Kabel, 100 cm, schwarz	500 444
1 PC mit Windows XP/Vista/7	



Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau ist in Abb. 1 dargestellt. 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 1 Ω.

Versuchsdurchführung

Nach dem Start der Messung wird der Spulenstrom und damit das Magnetfeld H im Eisenkern variiert und gleichzeitig die induzierte Spannung gemessen, die proportional zur magnetischen Flussdichte im Eisenkern ist.

- Einstellungen in CASSY Lab 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 $\Phi(I)$

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

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

In Diagramm kann dieser Energieverlust durch die **"Peakintegration"** einer Hystereseschleife berechnet werden.

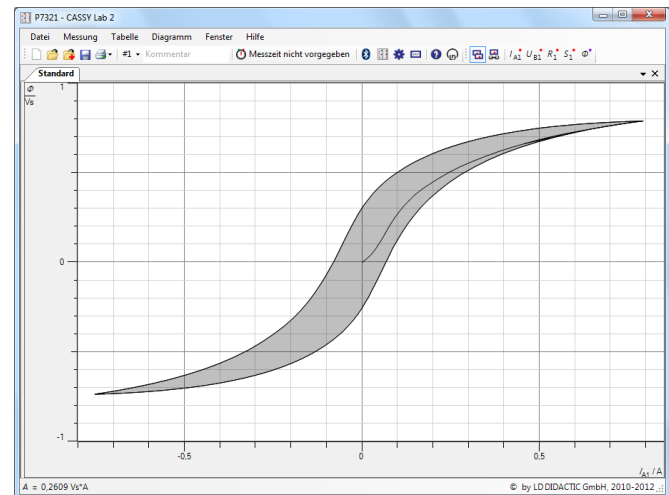
Messbeispiel

Abb. 2: Vollständige Hysteresekurve. Der Teil vom Koordinatenursprung zur rechten oberen Spitze ist die Neukurve. Die durch Peakintegration erhaltene Fläche (grau) hat den Flächeninhalt $A = 0,2609$ Vs·A.

Die in Abb. 2 dargestellte Kurve wurde bei der Anordnung ohne Power-CASSY aufgenommen. Die Hysteresekurve ist wie erwartet spiegelsymmetrisch bzgl. des Koordinatenursprungs. Die Neukurve (anfangend im Ursprung) ist klar zu erkennen.

Die graue Fläche hat den Flächeninhalt $A = 0,2609$ J. Das entspricht dem Energieverlust E bei der Ummagnetisierung des Eisenkerns.