

## Hystereseschleife

### Aufgabe 4.1:

Für die Ausgangsspannung des Netzteils messen wir  $U_{i0} = 15V$ . Für die beiden Ausgangsspannungen des Integrators messen wir  $U_a^+ = 20V$  und  $U_a^- = 12V$ . Mit der Formel  $U_a^\pm = k^\pm \int_0^{t_{\min}} U_i(t) dt$  und  $U_i(t) = \frac{U_{i0}}{1000} = 15mV$  kann man k bestimmen:  $k^+ = 22 \frac{1}{s}$  und  $k^- = 13 \frac{1}{s}$ . Da liegt wohl ein Fehler im Gerät vor, da die Hysteresediagramme keinerlei Verzerrungen bezüglich der B-Achse aufweisen. Wir verwenden gezwungenermaßen den Mittelwert  $k = \frac{13+22}{2} \frac{1}{s} = 17,5 \frac{1}{s}$ .

### Aufgabe 4.2:

Für das Magnetfeld gilt in der Spule:  $H = \frac{N_1 \cdot I}{l_1} \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{(1 + \sqrt{2})a_1}{2l_1} \right)^2}}$ . Für die magnetische Flußdichte gilt

$$B = \frac{1}{N_2 \cdot A_M} \int_0^t U_i(t') dt' = \frac{1}{N_2 \cdot A_M} \frac{\bar{U}_B}{k}$$

Damit die Sättigungsfeldstärke:  $H_s = \frac{100 \cdot 2,05A}{0,034m} \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{(1 + \sqrt{2}) \cdot 0,034m}{2 \cdot 0,034m} \right)^2}} = 3,8 \cdot 10^3 \frac{A}{m}$ ,

die Sättigungsflußdichte:  $B_s = \frac{1}{2000 \cdot 0,0185m \cdot 0,019m} \frac{9,4V + 8,4V}{17,5 \frac{1}{s}} = 0,72T$ ,

die Remanenz:  $B_R = \frac{1}{2000 \cdot 0,0185m \cdot 0,019m} \frac{3,0V + 2,2V}{17,5 \frac{1}{s}} = 0,21T$

und die Koerzitivfeldstärke:

$$\begin{aligned}
 H_C &= \frac{N_1 \cdot I_C}{l_1} \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{(1 + \sqrt{2})a_1}{2l_1} \right)^2}} = \frac{N_1 \cdot \frac{U_C}{R}}{l_1} \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{(1 + \sqrt{2})a_1}{2l_1} \right)^2}} = \frac{N_1 \cdot \frac{\bar{U}_{CH}}{\bar{U}_{SH}}}{I_S} \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{(1 + \sqrt{2})a_1}{2l_1} \right)^2}} = \\
 &= \frac{100 \cdot \frac{0,16V + 0,22V}{2,4V}}{2,05A} \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{(1 + \sqrt{2}) \cdot 0,034m}{2 \cdot 0,034m} \right)^2}} = 0,30 \cdot 10^3 \frac{A}{m}
 \end{aligned}$$

### Aufgabe 4.3:

analog Aufgabe 4.2:

Die Sättigungsfeldstärke ist bei unserem Ferritdiagramm schlecht zu bestimmen. Es wäre besser gewesen, die H-Achse mehr zu dehnen. Deshalb I linear interpoliert:

$$H_S = \frac{100 \cdot 0,75A}{0,034m} \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{(1 + \sqrt{2}) \cdot 0,034m}{2 \cdot 0,034m} \right)^2}} = 1,4 \cdot 10^3 \frac{A}{m},$$

$$\text{die Sättigungsflußdichte: } B_S = \frac{1}{2000 \cdot 0,014m \cdot 0,014m} \frac{1,9V + 2,2V}{17,5 \frac{1}{s}} = 0,30T,$$

$$\text{die Remanenz: } B_R = \frac{1}{2000 \cdot 0,014m \cdot 0,014m} \frac{0,2V + 0,25V}{17,5 \frac{1}{s}} = 0,033T$$

und die Koerzitivfeldstärke:

$$\begin{aligned}
 H_c &= \frac{N_1 \cdot I_c}{l_1} \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{(1 + \sqrt{2})a_1}{2l_1} \right)^2}} = \frac{N_1 \cdot \frac{U_c}{R}}{l_1} \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{(1 + \sqrt{2})a_1}{2l_1} \right)^2}} = \frac{N_1 \cdot \frac{\overline{U_{CH}}}{\overline{U_{SH}}}}{I_s} \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{(1 + \sqrt{2})a_1}{2l_1} \right)^2}} = \\
 &= \frac{100 \cdot \frac{0,06V + 0,02V}{2,4V}}{2,0A} \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{(1 + \sqrt{2}) \cdot 0,034m}{2 \cdot 0,034m} \right)^2}} = 0,11 \cdot 10^3 \frac{A}{m}
 \end{aligned}$$

#### Aufgabe 4.4:

Die Remanenz des Stabmagneten mit Weicheisen-U-Stück geschlossen:

$$B_R = \frac{1}{2000 \cdot 0,018m \cdot 0,010m} \frac{1,2V}{17,5 \frac{1}{s}} = 0,19T$$

#### Beantwortung der Fragen:

##### 1. Was ist Voraussetzung für das Auftreten von Ferromagnetismus?

Damit Ferromagnetismus auftreten kann, müssen sogenannte Elementarmagnete vorhanden sein. Das bedeutet, der Stoff muß ungepaarte Elektronen besitzen. Dann nämlich sind die Elektronenspins in der Lage, sich auszurichten und in dieselbe Richtung wie das von außen angelegte Magnetfeld zu zeigen. Dies ist bei Stoffen mit unaufgefüllten inneren Elektronenschalen wie Fe, Ni, Co oder speziellen Legierungen erfüllt. Die Stoffe sind aber nur unterhalb einer charakteristischen Temperatur, der Curie-Temperatur, magnetisierbar. Oberhalb dieser Temperatur nimmt die Magnetisierbarkeit wegen der thermischen Bewegung ab.

##### 2. Sind in einem entmagnetisierten Material keine "Weißchen Bezirke" mehr vorhanden?

Im allgemeinen sind auch in einem entmagnetisierten Material Weißsche Bezirke vorhanden. Diese sind jedoch sehr klein, und ihre Ausrichtung ist makroskopisch so verteilt, daß sich alle magnetisierenden Dipolmomente aufheben.

##### 3. Warum ergibt sich bei ferromagnetischen Stoffen ein Sättigungswert in der Flußdichte?

Bei der Induktion eines ferromagnetischen Stoffes steigt die Flußdichte an, da sich immer mehr Weißsche Bezirke in Richtung des angelegten Magnetfeldes ausrichten und dieses somit verstärken. Wenn alle Weißchen Bezirke ausgerichtet sind, kann das Magnetfeld nicht noch mehr durch die Weißchen Bezirke verstärkt werden. Eine weitere Erhöhung der Feldstärke kann also nichts bewirken, da keine Bezirke mehr ausgerichtet werden können.

#### 4. Wie kommt es zu einer Hysteresekurve?

Eine vorher entmagnetisierte Probe wird entlang der Neukurve bis zur Sättigungsflußdichte  $B_S$  magnetisiert (siehe Aufgabe 3). Schaltet man nun das Feld  $H$  ab, so geht die Flußdichte nicht auf Null zurück, sondern nur bis zum Remanenzpunkt  $B_R$ , da die Weißschen Bezirke nicht von allein in ihre anfängliche statistische Verteilung zurückkehren. Um alle Weißschen Bezirke zur "Umordnung" zu zwingen, muß Arbeit verrichtet werden. Dies erfolgt durch die Umpolung und die darauffolgende Zunahme des äußeren Feldes. Hat man die (negative) Koerzitivkraft  $H_C$  erreicht, so hat die Flußdichte den Wert Null. Wird das äußere Feld weiter erhöht, so gelangt man wieder an einen Sättigungswert der Flußdichte, nur mit dem Unterschied, daß die Weißschen Bezirke nun genau entgegengesetzt ausgerichtet sind und deshalb die Flußdichte einen negativen Sättigungswert aufweist. Wird das äußere Feld jetzt wieder verringert, so bleibt - wenn das äußere Feld den Wert Null hat - wieder eine gewisse Flußdichte zurück, aus den oben genannten Gründen. Nach dem Umpolen und Erhöhen des äußeren Feldes erreicht man wieder die anfangs erwähnte (positive) Sättigungsflußdichte  $B_S$ .

#### 5. Wie sieht die Hysteresekurve aus für magnetisch weiches Material, das sich leicht, und für magnetisch hartes Material, das sich schwer ummagnetisieren läßt?

Magnetisch weiches Material hat eine kleine Fläche innerhalb der Hysteresekurve, da wenig Arbeit erforderlich ist um den Stoff umzumagnetisieren. Daraus ergibt sich eine Kurve mit kleiner Remanenz  $B_r$  und Koerzitivfeldstärke  $H_c$ . Magnetisch hartes Material hat dagegen eine breite Kurve mit hohem  $B_r$  und  $H_c$ .

#### 6. Diskutieren Sie die Unterschiede in den Hysteresekurven von Weicheisen und Ferrit. Inwiefern eignen sich diese magnetischen Werkstoffe für die technischen Anwendungen (z.B. Transformatoren, Lautsprecher, Permanentmagnete, Hochfrequenztechnik) ?

Nach obiger Definition ist Weicheisen magnetisch hart und damit geeignet als Magnetspeicher und Permanentmagnet, da man viel Arbeit aufbringen muß, um den Stoff umzumagnetisieren. Ferrit dagegen ist magnetisch weich und somit der ideale Stoff für Motoren, Transformatoren, Lautsprecher und die Hochfrequenztechnik, da hier oft ummagnetisiert wird.

#### 7. Welche Fehlerquellen sind bei der Aufnahme der Hysteresekurve infolge eines mangelhaften Integrators möglich?

Durch fehlerhafte Integratoren erhält man schlechte Hysteresekurven mit deutlichen Abweichungen von der theoretischen Idealform.

Mögliche Fehler des Integrators sind:

- Der Kondensator wird beim Kurzschließen oder Umpolen nicht vollständig entladen und es kommt zu einer ungewollten Spannungsaddition,
- Bei schwankender Betriebstemperatur kommt es zu Schwankungen bei der Aufzeichnung,
- Der Integrator kann eine zeitlich schlechte Auflösung haben und bei schneller Spannungsveränderung die Ausgangsspannung driften lassen,
- Wenn die Aufwärmphase des Integrators nicht ausreichend war, so driftet das Ausgangssignal allmählich zu immer höheren Werten. Dies hat zur Folge, daß man am Anfang aufgenommene Werte mit späteren nur schwer vergleichen kann.

#### 8. Warum ist es bei diesem Versuch wichtig, Luftspalte im magnetischen Kreis zu vermeiden? Welche Auswirkungen hat ein kleiner Luftspalt im magnetischen Kreis auf die beobachtete Hysteresekurve und ihre Kennwerte $B_S$ , $B_R$ und $H_C$ ?

Um die Frage zu untersuchen, warum es wichtig ist, daß im magnetischen Kreis keine Luftspalte vorhanden sind, haben wir die Hysteresekurve für den Weicheisenstab ohne U-Kern aufgenommen. Es stellte sich heraus, daß ohne U-Kern keine Hysteresekurve zu beobachten war. Stattdessen erhielten wir eine Gerade. Der Grund hierfür ist, daß die in der Versuchsanleitung angegebenen Gleichungen nur für ein homogenes Magnetfeld gelten. Das bedeutet, der magnetische Fluß muß konstant sein. Durch einen Luftspalt ändert sich die magnetische Feldstärke, aufgrund der unterschiedlichen Permeabilität.  $B$  bleibt jedoch gleich.

$\epsilon B_S$  und  $B_R$  bleiben gleich,  $H_S$  und  $H_C$  werden größer.