

Protokoll zum Versuch „Ferromagnetische Hysterese“

Kirstin Hübner Armin Burgmeier Gruppe 15

13. Oktober 2008

1 Induktivität und Verlustwiderstand einer Luftspule

1.1 Messungen und Berechnen

Wir haben die Schaltung wie in den Vorbereitungen beschrieben aufgebaut. Bei einem Strom von $I_{eff} = 300mA$ bzw. $I_{eff} = 30mA$ und einem Widerstand von $R = 10\Omega$ erhielten wir folgende Messwerte für die Zeitdifferenz Δt zwischen Nulldurchgängen und Spannungsamplituden an Widerstand \hat{U}_R und Spule \hat{U} .

I_{eff} [mA]	Δt [ms]	\hat{U}_R [V]	\hat{U} [V]
300	3,0	8,0	7,0
30	2,6	0,8	0,65

Daraus können wir nun die geforderten Größen berechnen:

I_{eff} [mA]	φ [Grad]	Verlustwiderstand r [Ω]	Induktivität L [mH]
300	54,0	5,14	22,53
30	46,8	5,56	18,85

Wir haben erwartet, dass der Verlustwiderstand und die Induktivität unabhängig von der Stromstärke I_{eff} sind. Die Abweichungen betragen für den Verlustwiderstand 8,2% und für die Induktivität 19,5%. Diese lassen sich aus Ablesefehlern und Störfelder durch die Anhäufung der Kabel erklären.

1.2 Theoretische Berechnung

Die Induktivität ergibt sich rechnerisch für eine Zylinderspule zu

$$L = kn^2\mu_0\frac{A}{l} = 36,9mH \quad (1)$$

wobei wir die eingesetzten Werte aus der Vorbereitungsmappe entnommen haben. k ist ein geometrieabhängiger Korrekturfaktor, da die Spule nicht lang

gegenüber ihrem Durchmesser ist. Die Abweichung beträgt 63,8% für $I_{eff} = 300mA$ bzw. 95,8% für $I_{eff} = 30mA$. Diesen immensen Fehler ergeben sich aus Ablesefehlern, Störfelder durch die Anhäufung der Kabel und eventuelle Abweichungen der gegebenen Daten der Vorbereitungsmappe und der realen Bauteile.

Für den Verlustwiderstand r gilt:

$$r = \rho \frac{l_{Draht}}{A} = 9,45\Omega \quad (2)$$

Auch hier ergeben sich große Abweichungen von 83,9% für $I_{eff} = 300mA$ und 70,0% für $I_{eff} = 30mA$. Die Fehlerquellen sind die gleichen wie bei der Induktivität.

2 Induktivität und Verlustwiderstand einer Spule mit geschlossenem Eisenkern

2.1 Messung

Im Vergleich zu Aufgabe 1.1 haben wir nun einen geschlossenen Eisenkern in die Spule eingefügt. Die Spannungsamplitude war auf dem Oszilloskop selbst bei höchstem Messbereich nicht mehr darstellbar, daher haben wir einen $8,9M\Omega$ -Widerstand in Reihe zwischen Spule und Oszilloskop geschaltet. Dadurch ergibt sich ein Faktor von 9,9, da der Innenwiderstand des Oszilloskops $1,0M\Omega$ beträgt, den wir bei der Berechnung von \hat{U} berücksichtigen müssen. Es ergaben sich folgende Messwerte:

I_{eff} [mA]	Δt [ms]	\hat{U}_R [V]	\hat{U} [V]
30	3,6	0,73	44,55
10	4,0	0,24	4,46

Daraus können wir erneut die geforderten Größen berechnen:

I_{eff} [mA]	φ [Grad]	Verlustwiderstand r [Ω]	Induktivität L [mH]
30	64,8	259,84	1757,68
10	72,0	57,43	562,57

Wie erwartet sind Verlustwiderstand und Induktivität deutlich größer als bei der Spule ohne Eisenkern und die Werte hängen sichtbar von der Stromstärke ab.

2.2 Theoretische Berechnung

Für die relative Wechselfeld-Permeabilität μ folgt aus der Gleichung

$$\mu = \frac{Ll_{Kern}}{n^2 k A_{Kern} \mu_0} \quad (3)$$

$\mu = 802,56$ für $I_{eff} = 30mA$ und $\mu = 256,87$ für $I_{eff} = 10mA$, wobei wir für $l_{Kern} = 48cm$ und $A_{Kern} = 15,21cm^2$ aus der Vorbereitungsmappe übernommen haben.

3 Ferromagnetische Hysterisis und Ummagnetisierungsverluste

3.1 Magnetisierungskurve

Die gemessenen Kurven haben wir im Anhang beigefügt. Zuvor hatten wir die Schaltung wie in der Vorbereitung beschrieben aufgebaut und für den Widerstand $R_1 = 100k\Omega$ und die Kapazität $C = 10\mu F$ gewählt, damit $RC\omega \gg 1$ gilt.

3.2 Eichung der Achsen

Für die H-Achse gilt

$$H = n_1 k \frac{U_R}{R l_{Kern}} = 114,57 \frac{A}{mV} U_R \quad (4)$$

Für die B-Achse gilt

$$B = \frac{R_1 C U_C}{n_2 A} = 13,15 \frac{T}{V} U_C \quad (5)$$

3.3 Ummagnetisierungs-Verlustleistung

Wie in der Vorbereitung beschrieben ist der Flächeninhalt der Hystereseschleife gleich der Ummagnetisierungsarbeit pro Volumen. Zur Berechnung des Flächeninhalts haben wir die Kurven ausgedruckt, ausgeschnitten und gewogen, wobei wir für die Papierdichte $\sigma = 80 \frac{g}{m^2}$ als Eichung angenommen haben.

Nun müssen wir noch feststellen, wie viel Arbeit pro Volumen einem Quadratzentimeter Fläche der Hystereseurve entspricht. Dazu schauen wir welche Spannungen U_R und U_C jeweils einem Quadratzentimeter auf dem Ausdruck entsprechen.

Die somit erhaltenen Werte haben wir in die Gleichungen aus der Vorbereitung eingesetzt und die folgenden Ummagnetisierungs-Verlustleistungen und Verlustwiderstände errechnet:

I_{eff} [mA]	Umrechnung	Gewicht [g]	Fläche [cm^2]	P_{mag} [W]	r [Ω]
30	$1cm^2 \hat{=} 0,2183 \frac{J}{m^3}$	0,5423	67,787	0,540	600,20
10	$1cm^2 \hat{=} 0,0175 \frac{J}{m^3}$	0,1658	20,725	0,0132	132,40

Problematisch war hierbei, dass die am Computer dargestellten Hysterese-kurven nicht immer klare Konturen aufwiesen, was das Ausschneiden erschwerte. Besonders bei $I_{eff} = 10mA$ glich die Kurve mehr einem breiten Streifen,

wodurch man nicht abschätzen konnte, wo die Kurve verborgen liegt. Daher nehmen wir hier einen sehr großen Fehler an.

3.4 Wechselfeld-Permeabilität

Folgende Spannungen U_R bzw. U_C haben wir an den Sättigungspunkten festgestellt:

I_{eff} [mA]	U_R [V]	U_C [V]	H [$\frac{A}{m}$]	B [T]	μ
30	0,43	0,013	49,27	0,17	2745,72
10	0,14	0,0016	16,04	0,021	1041,85

3.5 Vergleich der Wechselfeld-Permeabilitätswerte

I_{eff} [mA]	μ (Aufgabe 2)	μ (Aufgabe 3)
30	802,56	2745,72
10	256,87	1041,85

Wie man sieht ergeben sich enorme Abweichungen, die wir uns auch nicht vollständig erklären können.

4 Vergleich Eisen-Ferrit

Zunächst müssen wir die H- und B-Achse neu eichen, da wir nun eine neue Spule mit 250 Windungen und verschiedene Kerne benutzen.

4.1 Eichung Eisenkern

Für die H-Achse gilt

$$H = n_1 \frac{U_R}{Rl_{Kern}} = 52,08 \frac{A}{mV} U_R \quad (6)$$

Für die B-Achse gilt

$$B = \frac{R_1 C U_C}{n_2 A} = 13,15 \frac{T}{V} U_C \quad (7)$$

4.2 Eichung Ferrit-Schalenkern

Für die H-Achse gilt

$$H = n_1 \frac{U_R}{Rl_{Kern}} = 238,10 \frac{A}{mV} U_R \quad (8)$$

Für die B-Achse gilt

$$B = \frac{R_1 C U_C}{n_2 A} = 32,00 \frac{T}{V} U_C \quad (9)$$

4.3 Messung

Wir haben die Schaltung aus Aufgabe 3 übernommen und nur die jeweiligen Spulen und Kerne ausgetauscht.

Messwert	Eisenkern	Ferritkern
I_{eff} [mA]	200	15
Remanenz [T]	0,33	0,032
Koerzitivkraft [$\frac{A}{m}$]	93,74	7,14
Sättigungsinduktion [T]	0,45	0,20
Umrechnung	$1cm^2 \hat{=} 1,99 \frac{J}{m^3}$	$1cm^2 \hat{=} 0,44 \frac{J}{m^3}$
Gewicht [g]	0,5709	0,0817
Fläche der Kurve [cm^2]	71,36	10,21
P_{mag} [W]	5,18	0,015

Das Ablesen der Remanenz-, Koerzitivkraft- und Sättigungspunkte war nicht immer eindeutig, da die Kurven keine klaren Konturen hatten. Dies und die in 3.3 erwähnten Probleme tragen hauptsächlich zum Fehler bei.

Wie erwartet hatte der Ferrit-Schalenkern eine schmalere Hysteresekurve als der Eisenkern und eine deutlich kleinere Verlustleistung. Damit bestätigen sich die Hinweise aus der Aufgabenstellung.

5 Fazit

Insgesamt hat uns an diesem Versuch besonders gefallen, dass man durch nicht allzu komplizierte Aufbauten sehr anschauliche Ergebnisse erhalten und den grundlegenden Umgang mit dem Oszilloskop verstanden hat. Widersprüchliche Angaben über Windungszahlen der Spulen in den Vorbereitungsmappen waren jedoch verwirrend.

Die erhaltenen Ergebnisse weichen zum Teil sehr stark von den theoretischen Werten (und auch voneinander) ab. Wir können daher nicht ausschließen, die Messung wirklich fehlerfrei durchgeführt zu haben.