

Versuch P1-83,84 – Ferromagnetische Hysterese

Vorbereitung

Von Jan Oertlin

16. Dezember 2009

Inhaltsverzeichnis

1. Induktivität und Verlustwiderstand einer Luftspule.....	2
1.1. Induktivität und Verlustwiderstand aus einer Messung.....	2
1.2. Induktivität und Verlustwiderstand aus den Spulendaten.....	2
2. Induktivität und Verlustwiderstand einer Spule mit geschlossenem Eisenkern.....	3
2.1. Induktivität und Verlustwiderstand aus einer Messung.....	3
2.2. Berechnung der Wechselfeld - Permeabilität.....	3
3. Ferromagnetische Hysterese und Ummagnetisierungsverluste.....	3
3.1. Magnetisierungskurve eines Eisenkerns.....	3
3.2. Eichen der Achsen.....	3
3.3. Das Integral $\int B dH$	4
3.4. Bestimmung der Wechselfeld - Permeabilität.....	4
3.5. Vergleich.....	4
4. Sättigungsinduktion, Remanenz, Koerzitivkraft, magnetische Härte, Vergleich von Eisen und Ferrit.....	4

1. Induktivität und Verlustwiderstand einer Luftspule

1.1. Induktivität und Verlustwiderstand aus einer Messung

Hier schalten wir eine Transformatorspule mit 1000 Windungen in Reihe mit einem 10Ω -Widerstand und lassen einen Wechselstrom mit 50 Hz und $I_{\text{eff}} \approx 300 \text{ mA}$ (30 mA) durchfließen. Wir messen an der Spule und am Widerstand die Spannungsamplituden \hat{U}_L und \hat{U}_R und bestimmen die Zeitdifferenz Δt der beiden Wechselspannungen bzw. die Phasenverschiebung $\Delta\varphi$.

Die Phasenverschiebung ist gegeben durch:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta t}{T} \cdot 2\pi = \Delta t \cdot f \cdot 2\pi$$

Für die Impedanz gilt:

$$|Z| = \frac{\hat{U}_L}{\hat{I}} = \frac{\hat{U}_L \cdot R}{\hat{U}_R}$$

Daraus lassen sich der Verlustwiderstand r und die Spuleninduktivität L berechnen:

$$r = |Z| \cos \Delta\varphi$$

$$L = |Z| \frac{\sin \Delta\varphi}{\omega}$$

1.2. Induktivität und Verlustwiderstand aus den Spulendaten

Hier berechnen wir die Spuleninduktivität und den Verlustwiderstand aus den angegebenen Daten zur Spule.

Die Induktivität ist gegeben durch:

$$L = n^2 \mu_0 \frac{A}{l}$$

Da die Spule nicht sehr lang ist, muss L noch mit dem Korrekturfaktor $k \approx 0,55$ multipliziert werden.

Es ergibt sich für L :

$$L \approx 36,9 \text{ mH}$$

Der Verlustwiderstand ist gegeben durch:

$$r = \rho_{\text{Cu}} \frac{s}{A_{\text{Draht}}}$$

Es ergibt sich für r mit $\rho_{\text{Cu}} = 16,78 \cdot 10^{-9} \Omega \text{ m}$ und s der Länge des Drahtes:

$$r \approx 9,31 \Omega$$

1 http://de.wikipedia.org/wiki/Spezifischer_Widerstand#Einteilung_von_Materialien, Tabelle, 16.12.2009, 15:29 Uhr

2. Induktivität und Verlustwiderstand einer Spule mit geschlossenem Eisenkern

2.1. Induktivität und Verlustwiderstand aus einer Messung

Diese Aufgabe ist analog zu **Aufgabe 1.1.**, jedoch bei $I_{\text{eff}} \approx 30 \text{ mA}$ und 10 mA .

2.2. Berechnung der Wechselfeld - Permeabilität

Da aus **Aufgabe 2.1.** L bekannt ist, können wir μ_r berechnen:

$$L = n^2 \mu_r \mu_0 \frac{A}{l} \Rightarrow \mu_r = \frac{L \cdot l}{A n^2 \mu_0}$$

Die Gesamtverlustleistung berechnet sich durch:

$$P = r \cdot I_{\text{eff}}^2$$

3. Ferromagnetische Hysteresis und Ummagnetisierungsverluste

3.1. Magnetisierungskurve eines Eisenkerns

Wir sollen die Magnetisierungskurve eines Eisenkerns bestimmen. Dazu tragen wir B über H auf bei Strömen von $I_{\text{eff}} \approx 30 \text{ mA}$ und 10 mA .

H bekommen wir, indem wir den Spannungsabfall am $10 \text{ } \Omega$ -Widerstand messen. B erhalten wir, indem wir das Integral über die induzierte Spannung einer zweiten Spule nehmen. Zum Integrieren nehmen wir ein geeignet dimensionierten ($RC \omega \gg 1$) Tiefpass (siehe auch Versuch „Vierpol und Leitungen“).

3.2. Eichen der Achsen

Da wir bisher nur die Spannungen aufgetragen haben, aber H über B haben wollen, müssen wir noch die Achsen auf A/m bzw. Vs/m^2 eichen.

Für H gilt:

$$H = n \frac{I}{l} = \frac{n}{\underbrace{l \cdot R}_{\equiv \gamma_H}} U_R = \gamma_H \cdot U_R$$

In unserem Fall ist $\gamma_H = 208,33 \text{ m}^{-1} \Omega^{-1}$.

Für B gilt, wenn $U_C \ll U_{\text{ind}}$ ist:

$$B = \frac{R_{\text{Tiefpass}} C}{\underbrace{n_2 A_2}_{\equiv \gamma_B}} U_C = \gamma_B \cdot U_C$$

Hier sind n_2 und A_2 die Daten der zweiten Spule.

3.3. Das Integral $\int B dH$

Die Ummagnetisierungsarbeit pro Volumeneinheit und pro Umlauf ergibt das Integral

$$W_{\text{mag}} = \oint B dH$$

Daraus lässt sich die Verlustleistung und der Verlustwiderstand bestimmen:

$$P_{\text{mag}} = \frac{W_{\text{mag}}}{T}$$

$$r_{\text{mag}} = \frac{P_{\text{mag}}}{I_{\text{eff}}^2}$$

Mit $T = 2\pi \omega^{-1}$.

Das Integral kann man über zwei Wege z.B. bestimmen:

1. Die Kurve zeichnen (lassen), ausschneiden und über das Gewicht auf die Fläche schließen oder
2. die Kästchen in der Kurve zählen.

3.4. Bestimmung der Wechselfeld - Permeabilität

Aus der Magnetisierungskurve lässt sich ebenfalls μ_r bestimmen. Dazu benutzen wir folgenden Zusammenhang:

$$B = \mu_r \mu_0 H \Rightarrow \mu_r = \frac{B}{\mu_0 H}$$

Wir können der Kurve beliebige H - B -Wertepaare entnehmen und μ_r berechnen.

3.5. Vergleich

Hier vergleichen wir die in **Aufgabe 3.** und in **Aufgabe 2.** gewonnenen Werte miteinander.

4. Sättigungsinduktion, Remanenz, Koerzitivkraft, magnetische Härte, Vergleich von Eisen und Ferrit

Hier bestimmen wir die Magnetisierungskurven von Eisen und Ferrit (Achsen müssen neu geeicht werden). Daraus wird die Remanenz (Schnitt mit der B -Achse), die Koerzitivkraft (Schnitt mit der H -Achse) und Ummagnetisierungsverlustleistung bestimmt.

Danach vergleichen wir die Werte vom Eisenkern mit dem Ferritkern.

Ferrit ist ein Gefüge von Fe_3C mit kubisch-raumzentrierter Gitteranordnung. Bei Raumtemperatur sind nur wenige Kohlenstoffanteile enthalten.²

² Quellen sind die Werkstoffkundevorlesungen I und II und das Praktikum in Werkstoffkunde