



Aufgaben:

1.) Die folgenden Messungen zeigen, dass die Induktivität einer Eisenkernspule von der Erregung abhängig ist und dass ein Luftspalt im Eisenkern diese Abhängigkeit mindert.

1.1 Entmagnetisieren Sie den Eisenkern. Verwenden Sie dazu die Spule mit 250 (125+125) Windungen, lassen Sie durch 125 Windungen zunächst den bei geschlossenem Kern maximal möglichen Wechselstrom (ca. 0,5A) fließen und regeln Sie dann den Strom langsam auf Null zurück. Überlegen Sie sich Methoden zur Prüfung des Erfolges der Entmagnetisierung. Gute Entmagnetisierung ist wichtig für Aufgabe 2.

1.2 Messen Sie den induktiven Widerstand zweier sinnvoll in Serie geschalteter Spulen mit je 1000 Windungen bei geschlossenem gemeinsamen Eisenkern in Abhängigkeit vom Spulenstrom. In einer spannungsrichtigen Schaltung wird der Wechselstrom mit dem Tischmultimeter 'GW-Instek' und die Wechselspannung (5V bis 30V, 5V-Schritte) mit dem Handmultimeter 'Uni-Trend' gemessen.

1.3 Wiederholen Sie die Messung 1.2 nach Einfügen eines Luftspaltes ($\ell_s = 2\text{mm}$).

Zwischen U-Kern und Joch wird auf der einen Seite eine 2mm-Eisenplatte, auf der anderen Seite ein 2mm-Abstandsstück aus nicht-ferromagnetischem Material (Messing) eingelegt.

Tragen Sie in einem Diagramm beide $R_L(I)$ -Kurven auf und begründen Sie die Ergebnisse qualitativ (evtl. erst nach Erledigung der nächsten Aufgabe). Berechnen Sie jeweils beim größten Messstrom die Induktivität und daraus sowie aus der Kerngeometrie die wirksame relative Permeabilität des Kerns. Bei Vorhandensein eines Spaltes ergibt sich allerdings nur ein 'scheinbarer' Wert der Permeabilität.

Bei allen Rechnungen dürfen vernachlässigbare Verlustwiderstände und ein vernachlässigbarer Streufluss außerhalb des Kernes angenommen werden.

2.) Die bisher gefundenen Effekte werden nun durch Messen von Hystereseschleifen $B(H)$ näher untersucht.

2.1 Messen Sie mit dem Ziel einer $B(H)$ -Kurve für das verwendete Eisen mit Hilfe einer Hallsonde im Luftspalt des Kerns zunächst eine $B(I)$ -Kurve samt Neukurve. Schalten Sie außer dem Strommessgerät noch einen Widerstand ($\sim 600\Omega$) in Reihe zu den Spulen, um den Spulengleichstrom I besser einstellbar zu machen. Beginnen Sie mit dem Strom Null und steigern Sie ihn zunächst (ohne zwischenzeitliche Überhöhungen!) schrittweise bis +40mA, dann zurück auf Null und weiter bis -40mA; dann wieder bis Null und schließlich wieder bis +40mA.

Die gewonnene $B(I)$ -Kurve wird nicht einfach durch eine lineare Umskalierung zu einer Hysteresisschleife des verwendeten Eisenkerns! Es gilt hier **nicht** $H = n/\ell \cdot I$, da der Luftspalt zu berücksichtigen ist:

$$H_S \cdot \ell_S + H \cdot \ell = n \cdot I$$

($H_S = B/\mu_0 = H$ -Wert im Spalt; $\ell_S =$ Feldlinienlänge im Spalt; $H = H$ -Wert im Eisen; $\ell =$ Feldlinienlänge im Eisen; $B = B$ -Wert im Eisen und im Spalt [Stetigkeit!]) Daraus folgt:

$$H = n/\ell \cdot \{I - (\ell_S / n\mu_0) \cdot B\} = n/\ell \cdot I_{\text{korr}}$$

Von jedem I -Wert eines Wertepaares (I, B) muss ein B -proportionaler Anteil subtrahiert werden, um den Einfluss des Spaltes auf die Form der Messkurve zu eliminieren. Eine solche Abbildung heißt 'Scherung'. Führen Sie die Scherung aus und versehen Sie anschließend die Achsen mit zusätzlichen Skalen für H und B . Berechnen Sie aus der mittleren Steigung der nicht korrigierten Schleife die 'scheinbare' relative Permeabilität und vergleichen Sie das Ergebnis mit dem von Aufgabe 1.3. Entnehmen Sie der korrigierten Schleife ebenfalls die relative Permeabilität und vergleichen Sie das Ergebnis mit dem von Aufgabe 1.2.

Berechnen Sie aus der Schleifenfläche die Verlustleistung im Kern bei Annahme von 50 Hz-Betrieb.

2.2 Wiederholen Sie die Messung von Aufgabe 2.1, jedoch bis zu $I = \pm 1,2A$ (ohne Vorwiderstand). Wieder ist die Scherung der gemessenen Schleife auszuführen und das Ergebnis mit dem von Aufgabe 2.1 zu vergleichen. Nötigenfalls sollte jetzt die Diskussion der Ergebnisse von Aufgabe 1 fortgesetzt werden.
Berechnen Sie erneut aus der Schleifenfläche die Verlustleistung im Kern bei Annahme von 50 Hz-Betrieb. Bestimmen Sie außerdem Sättigungsmagnetisierung, Remanenz und Koerzitivkraft.

3.) Bei der folgenden Aufgabe geht es um die magnetische Feldstärke in stromdurchflossenen zylindrischen **Luftspulen**, also um eine Anwendung des Biot-Savart-Gesetzes.

3.1 Eichen Sie die Longitudinalfeld-Hallsonde. Dazu steht eine Kalibrierspule zur Verfügung, deren Feld im Zentrum aufgrund eines Windungsspalt es ein Minimum aufweist, das mit der Sonde gut zu lokalisieren ist. Stellen Sie einen Steuerstrom von 120mA für die Sonde und einen Spulenstrom von 0,96A ein, bei dem die Feldstärke B im genannten Minimum 10mT beträgt. Nullabgleich nicht vergessen!

3.2 Messen Sie das Magnetfeld einer Zylinderspule längs der Achse innerhalb und außerhalb mit Hilfe der Longitudinalfeld-Hallsonde (Spulenstrom $I = 2A$). Tragen Sie die Messwerte zusammen mit den aus der Spulengeometrie und den elektrischen Daten berechneten Werten in ein Diagramm ein.

4.) Diese letzte Aufgabe ist ein reiner Demonstrationsversuch, der die unterschiedliche Wirkung eines inhomogenen Magnetfeldes auf dia-, para- und ferromagnetische Körper zeigt. Bringen Sie in das stark inhomogene Feld zwischen den auf den U-Kern montierten spitzen Polschuhen (ca. 10mm Abstand) nacheinander die an einem dünnen Perlonfaden leicht drehbar hängenden Probestäbchen aus Eisen, Aluminium und Bismut ein. Stellen Sie sie ohne Feld auf etwa 45° gegen die Verbindungslinie zwischen den Polspitzen gedreht ein.

Beobachten und erklären Sie die Effekte beim Einschalten des Feldes (2x 1000 Windungen, maximaler Gleichstrom). Das diamagnetische Probestäbchen muss extrem sauber sein. Kleinste Verunreinigungen überdecken den diamagnetischen Effekt! Vor dem Versuch mit dem ferromagnetischen Material muss der Eisenkern möglichst gut entmagnetisiert sein. Anschließend den Magnetstrom nur sehr vorsichtig steigern.

Zubehör:

Netzgerät Elektroautomatik EA-3048B (0 - 30V AC und DC);
Lamellierter Eisen-U-Kern mit Joch (Querschnitt 3,9cm x 4,0cm, mittlere Feldlinienlänge im Eisen 48cm);
2 spitze, kegelförmige Polschuhe mit passenden Halteklammern;
Distanzstücke (4cm x 4cm Eisen sowie 4cm x 4cm-U-Form Messing, je 2mm dick);
Aufsteckspulen (125+125 Wdg., 500+500 Wdg., 500+500 Wdg.);
Geeichte Hallsonde mit digitaler Anzeige, passend zum Distanzstück für den Magnetspalt;
Zylinderspule (Länge 20,8cm; Radius 3,7cm; 814 Wdg.);
Kalibrierspule zur Longitudinal-Hallsonde (Feldstärke im Windungsspalt 10mT bei 0,96A);
Unkalibrierte axiale Hallsonde für Longitudinalfeldmessungen, passendes Hallsonden-Anschlussgerät (mit Versorgungsspannung, Steuerstromregelung, Steuerstrommessgerät, U_H -Nullabgleich, Anschlussbuchsen für externes Hallspannungsmessgerät);
Millivoltmeter (Fa. Knick) mit Transistorverstärker (empfindlichster Bereich 0,15mV);
Universalmeßinstrumente GW-Instek 8245 und Uni-Trend UT61-D;
Kästchen mit Vorwiderständen (1 k Ω und 1,2 k Ω);
Aufbewahrungsgefäße mit Probestäbchen (Eisen; Aluminium; Wismut);
Zeisschiene mit Reitern

Literatur:

Jedes bekannte Lehrbuch der Experimentalphysik ist geeignet.