

## Ćwiczenie E8

# Wyznaczanie przenikalności magnetycznej i krzywej histerezy

### E8.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest pomiar zależności  $B(I)$  dla cewki z rdzeniem stalowym lub żelaznym, wykreślenie krzywej histerezy materiału rdzenia oraz wyznaczenie jego przenikalności magnetycznej.

### E8.2. Zagadnienia związane z tematyką ćwiczenia

- Pole magnetyczne: linie pola, indukcja magnetyczna, natężenie pola magnetycznego,
- magnetyczne właściwości ciał stałych,
- prawo Ampère'a,
- zastosowania materiałów twardych magnetycznie i miękkich magnetycznie.

### E8.3. Literatura

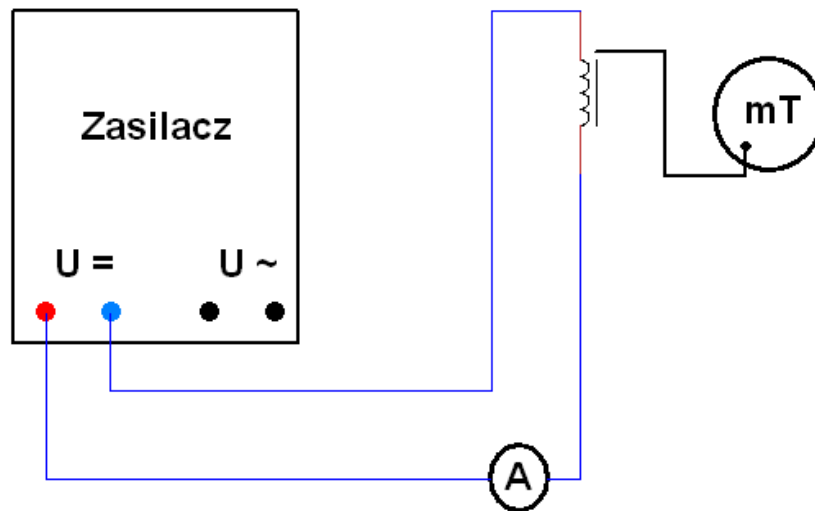
- [1] Halliday D., Resnick R., Walker J.: *Podstawy fizyki, cz.3*, PWN, Warszawa.
- [2] Bobrowski Cz.: *Fizyka – krótki kurs*, WNT, Warszawa.
- [3] *Metody wykonywania pomiarów i szacowania niepewności pomiarowych*, <http://ftims.pg.edu.pl/documents/10673/20436990/wstep.pdf>

### E8.4. Przebieg ćwiczenia i zadania do wykonania

#### Układ doświadczalny

Rysunek E8.1 przedstawia schemat, zaś rysunek E8.2 zdjęcie układu pomiarowego, w którego skład wchodzi: **1** – rdzeń wykonany z badanego materiału,

**2** – cewka, **3** – sonda teslomierza, **4** – miernik i zasilacz teslomierza, **5** – zasilacz cewki, **6** – miernik uniwersalny.



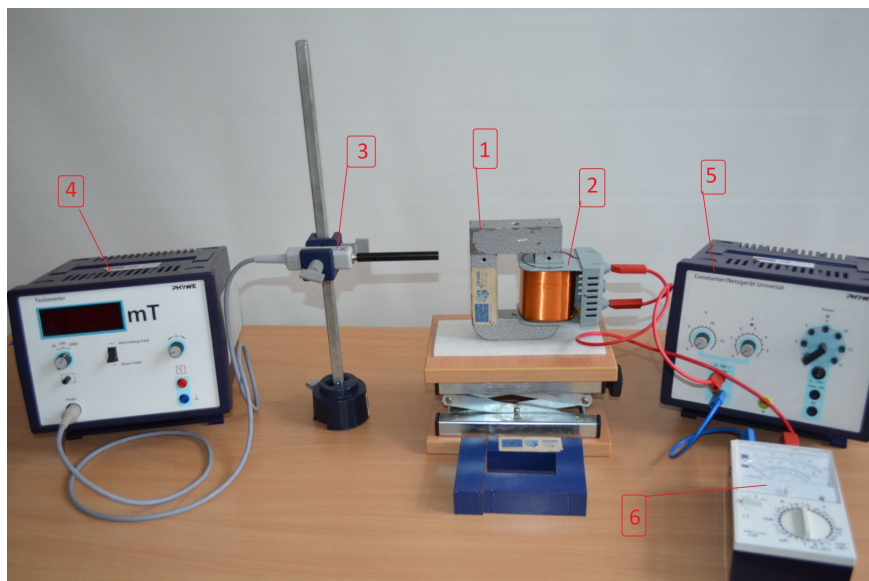
Rysunek E8.1. Schemat układu pomiarowego

### Przebieg doświadczenia

Badany ferromagnetyk składa się z rdzenia w kształcie litery “U”, zamkniętego drugim, prostym rdzeniem (**1**). Na pierwszy rdzeń należy nałożyć cewkę (**2**) wytwarzającą pole magnetyczne. Natężenie prądu w cewce mierzy się miernikiem uniwersalnym (**6**), a indukcję pola magnetycznego pomiędzy rdzeniami (rdzeniem “U” i prostym rdzeniem) rejestruje się teslomierzem (**3**) i (**4**). Ogranicznik maksymalnego natężenia prądu zasilacza (**5**) należy ustawić na 2 A.

Do dyspozycji są dwa rdzenie – stalowy i żelazny. Chcąc zbadać właściwości magnetyczne każdego rdzenia należy:

1. Nałożyć cewkę na wybrany rdzeń.
2. Zdjąć rurkę, zabezpieczającą końcówkę teslomierza i ostrożnie umieścić sondę pomiędzy rdzeniem “U” a rdzeniem prostym (domykającym).
3. Połączyć szeregowo wyjście stałego napięcia zasilacza z cewką i miernikiem uniwersalnym, ustawionym na pomiar stałego natężenia prądu.



Rysunek E8.2. Zdjęcie układu pomiarowego

4. Sprawdzić stan namagnesowania rdzenia. Jeśli teslomierz wskazuje co najmniej kilkanaście mT poprosić prowadzącego ćwiczenie o rozmagnesowanie rdzenia.
5. Wyznaczyć zależność indukcji  $B$  pola magnetycznego w rdzeniu od natężenia prądu  $I$  zmieniając stopniowo natężenie prądu od zera do wartości maksymalnej  $I_{max} = 2 \text{ A}$  i z powrotem do zera. Po czym powtórzyć to samo po zmianie kierunku przepływu prądu. Kierunek przepływu prądu zmieniamy zamieniając przewody włączone do gniazdek zasilacza. Na każdą ćwiartkę pętli histerezy powinno przypadać przynajmniej po 8 punktów pomiarowych.
6. Obliczyć wartości natężenia pola magnetycznego wewnątrz cewki  $H$ , odpowiadające wybranym do pomiaru  $B$  wartościom natężenia prądu  $I$ . Długość wykorzystywanej w pomiarach cewki wynosi  $L = 0,063 \text{ m}$ , a liczba jej zwojów  $n = 600$ .
7. Narysować krzywą histerezy sporządzając wykres zależności  $B = f(H)$ .

**WAŻNE:**

Ponieważ cewka z rdzeniem ma dużą indukcyjność, łączenie lub rozłączanie obwodu może być wykonywane tylko po obniżeniu natężenia prądu w obwodzie do zera. Również zamykająca rdzeń zwora może być otwierana lub zamykana jedynie po zmniejszeniu do zera natężenia płynącego prądu. Inaczej w obwodzie może nastąpić niebezpieczny przepływ indukowanego prądu o dużym natężeniu.

### Zadania do wykonania

- E8.1. Wyznaczyć krzywą histerezy dla stali i żelaza. Określić wielkości charakteryzujące magnetyczne właściwości tych materiałów.
- E8.2. Porównać otrzymane wyniki dla stali i żelaza. Skomentować otrzymane różnice.

### Uzupełnienie do zadania E8.1

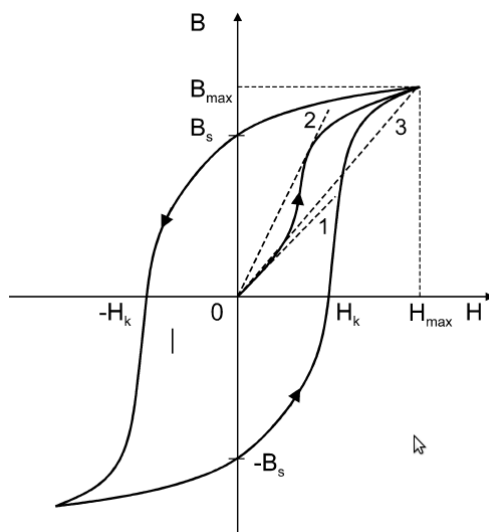
Względna przenikalność magnetyczna ferromagnetyków zależy od natężenia pola magnetycznego oraz od “historii magnetycznej” próbki i nie jest jednoznacznie określona. W praktyce duże znaczenie ma przenikalność początkowa w punkcie  $H = 0$ :

$$\mu_{r,p} = \frac{1}{\mu_0} \lim_{H \rightarrow 0} \frac{B}{H} \quad (\text{E8.1})$$

odpowiadająca nachyleniu prostej 1 na rysunku E8.3, oraz przenikalność maksymalna:

$$\mu_{r,max} = \frac{1}{\mu_0} \left( \frac{B}{H} \right)_{max} \quad (\text{E8.2})$$

odpowiadająca nachyleniu prostej 2 na rysunku E8.3.



Rysunek E8.3. Krzywa histerezy ferromagnetyka

W stosowanym zestawie pomiarowym niemożliwe jest dokładne rozmagnesowanie rdzenia. Z tego względu nie można wyznaczyć początkowej części krzywej

magnesowania, a tym samym – początkowej lub maksymalnej względnej przenikalności magnetycznej badanego materiału. Przybliżoną wartość  $\mu_r$  można określić ze wzoru:

$$\mu_r = \frac{B_{max}}{\mu_0 H_{max}}, \quad (\text{E8.3})$$

gdzie  $B_{max}$  i  $H_{max}$  – maksymalne wartości natężenia i indukcji pola magnetycznego stosowane w pomiarach. Wartość ta odpowiada nachyleniu prostej 3 na rysunku E8.3.

Pozostałe wielkości charakteryzujące właściwości magnetyczne badanego materiału, jak koercja  $H_k$  i pozostałość magnetyczna  $B_s$ , odczytujemy z wykreślonej krzywej histerezy  $B(H)$ .

### E8.5. Rachunek niepewności

Niepewność pomiaru wartości  $I$  i  $B$  oceniamy w czasie wykonywania pomiarów na podstawie podziałek, zakresu i klasy użytych przyrządów pomiarowych. Niepewność wyznaczenia  $H$  określamy jako niepewność wielkości złożonej. Wyznaczone wartości niepewności nanosimy odpowiednio na wykres.

Niepewność obliczonej wartości  $\mu_r$  oraz odczytanych z wykresu  $H_k$  i  $B_s$  należy oszacować graficznie.