



**ĆWICZENIE  
57**

**BADANIE EFEKTU HALLA**

**Instrukcja wykonawcza**

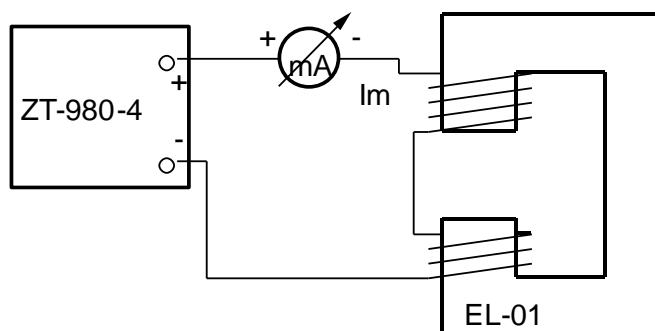
**I. Wykaz przyrządów**

1. Zasilacz elektromagnesu ZT-980-4
2. Zasilacz hallotronu
3. Woltomierz do pomiaru napięcia Halla  $U_H$
4. Miliamperomierz o maksymalnym zakresie 30 mA do pomiaru natężenia prądu płynącego przez hallotron (prądu sterującego  $I_S$ )
5. Miliamperomierz o minimalnym zakresie 150 mA do pomiaru natężenia prądu płynącego przez elektromagnes (prądu magnesującego  $I_m$ )
6. Hallotron
7. Przystawka hallotronu
8. Przewody elektryczne

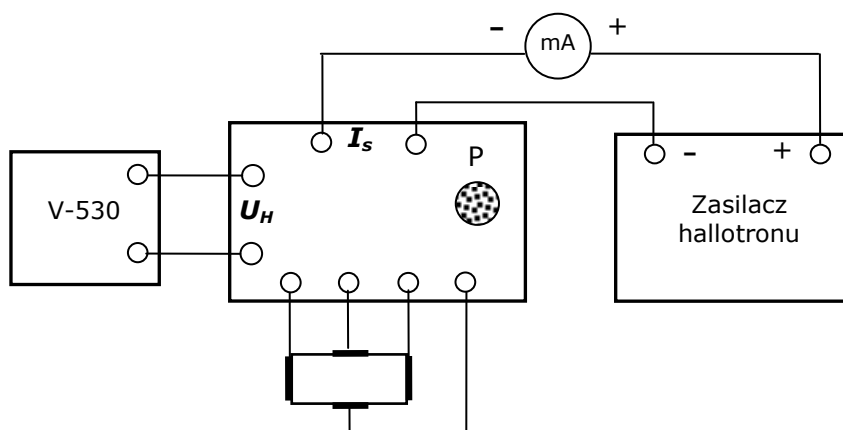
**II. Schemat układu pomiarowego**

Połączyć układ zasilający elektromagnes oraz układ zasilający hallotron według schematów przedstawionych na rysunkach.

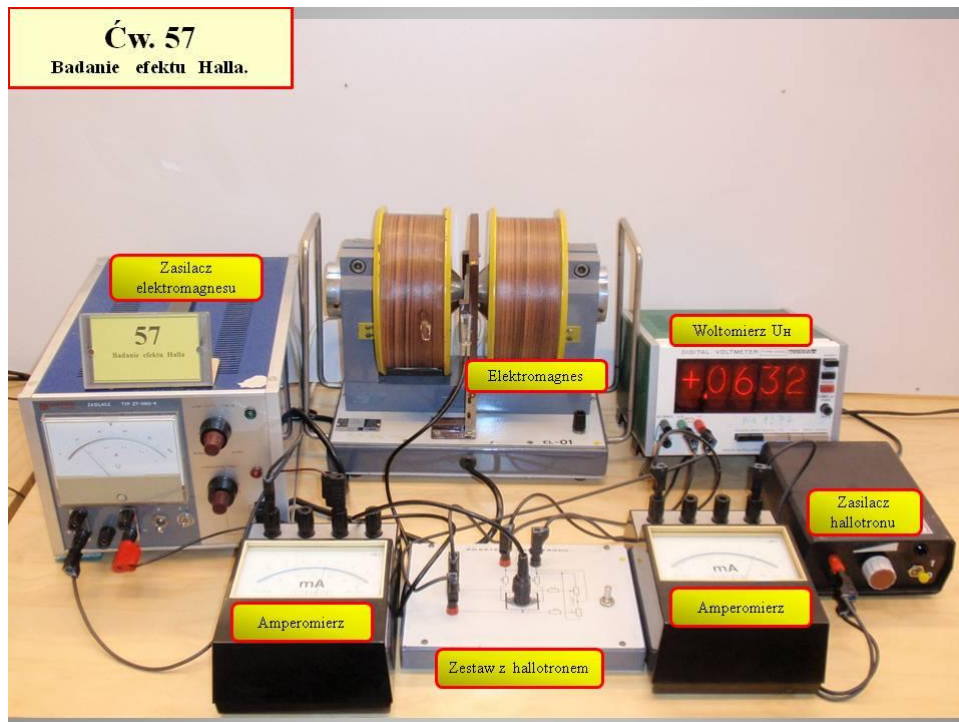
1. Układ zasilający elektromagnes:



2. Układ zasilający hallotron:



### 3. Stanowisko pomiarowe:



### III. Cel ćwiczenia

1. Zmierzyć charakterystyki statyczne hallotronu:  
polową  $U_H = f(B)$  – wersja podstawowa ćwiczenia,  
prądową  $U_H = f(I_S)$  – wersja dodatkowa ćwiczenia.
2. Wyznaczenie czułości  $\gamma$  hallotronu i koncentracji  $n$  swobodnych nośników ładunku.

### Wersja podstawowa

CHARAKTERYSTYKI  $U_H = f(B)$  przy  $I_S = \text{const}$

### IV. Przebieg pomiarów

1. Ustalić z prowadzącym wartość natężenia prąd  $I_S$  zasilania hallotronu (jedną lub kilka wartości z przedziału  $4 \div 10 \text{ mA}$ ). Zanotować zakres i klasę dokładności miernika.
2. Wysunąć ramkę z hallotronem z obszaru nabiegunków elektromagnesu.
3. Włączyć woltomierz oraz zasilacz hallotronu.
4. Potencjometrem P na przystawce hallotronu skompensować napięcie asymetrii  $U_A$  tak, aby na najniższym zakresie pracy woltomierza napięcie Halla  $U_H = 0$ .  
**Uwaga:** w przypadku trudności związanych ze skompensowaniem napięcia asymetrii zmienić kierunek prądu płynącego przez hallotron.
5. Wprowadzić ramkę z hallotronem w obszar nabiegunków elektromagnesu przy  $I_m = 0$ , czyli  $B = 0 \text{ mT}$ . Zaobserwować wskazania woltomierza.
6. Włączyć zasilacz elektromagnesu.
7. Wykonać pomiary zależności napięcia Halla  $U_H$  od natężenia  $I_m$  prądu magnesującego dla wartości od  $20 \text{ mA}$  do  $150 \text{ mA}$  (co  $20$  lub więcej  $\text{mA}$ ), przy  $I_S = \text{const}$ . Pomiary powtórzyć dla wszystkich ustalonych wartości natężenia prądu sterującego  $I_S$ . Zanotować zakres i klasę dokładności mierników.

- Po zakończeniu pomiarów zredukować wartości natężeń prądów  $I_m$  i  $I_S$  do zera.

#### V. Opracowanie wyników

- Przeliczyć natężenie prądu magnesującego  $I_m$  na indukcję magnetyczną  $B$  według zależności (VI.1).
- Na podstawie zakresu i klasy dokładności mierników obliczyć niepewność pomiaru  $I_m$  i  $U_H$ .
- Sporządzić wykresy punktowe (bez linii) zmierzonych zależności  $U_H = f(B)$  przy  $I_S = \text{const}$ .
- Stosując metodę regresji liniowej dla każdej z zależności  $U_H = \gamma I_S B$ , wyznaczyć współczynniki prostej najlepszego dopasowania (linii trendu, prostej regresji), ich niepewności oraz współczynnik korelacji  $R_K$ . Skorzystać z gotowych programów komputerowych (patrz też: „dodatki” na stronie internetowej LPF).  
Wykorzystując wartości współczynników regresji, narysować na wykresach punktowych  $U_H = f(B)$  linie trendu o równaniu  $y = ax + b$ , tworzące rodzinę charakterystyk polowych hallotronu. Omówić wynik graficzny.
- Dla trzech punktów pomiarowych nanieść prostokąty niepewności (pola niepewności) i omówić tendencję ich zmian. Wybrać punkty (po jednym z początkowego, środkowego i końcowego obszaru wykresu) najbardziej oddalone (odstające) od linii regresji.
- Dla jednego z tych punktów o współrzędnych pomiarowych  $U_{Hi}$  i  $B_i(I_m)$ , obliczyć przykładową wartość czułości  $\gamma_i = f(U_{Hi}, B_i)$ . Uwzględniając klasy dokładności mierników, oszacować jej niepewność oraz porównać i omówić udziały niepewności cząstkowych. Obliczenia wykonać po unormowaniu jednostek wielkości występujących we wzorze. Przyjąć  $u_r(B_i) = 3\%$ .
- Znając wartości współczynników kierunkowych ( $a = \gamma I_S$ ) linii trendu oraz ich niepewności, obliczyć ostateczną (finalną) wartość czułości polowej  $\gamma_B \equiv \gamma$  oraz jej niepewność.
- Obliczyć, korzystając ze wzoru (VI.2), koncentrację  $n$  swobodnych nośników ładunku oraz wyznaczyć jej niepewność.
- Uzyskane finalne wartości  $\gamma_B$  i  $n$  porównać z danymi literaturowymi oraz określić rodzaj materiału przewodzącego, z którego wykonany był badany hallotron.

#### Wersja dodatkowa

CHARAKTERYSTYKI  $U_H = f(I_S)$  przy  $B = \text{const}$

#### IV. Przebieg pomiarów

- Ustawić natężenie prądu magnesującego  $I_m = 140$  mA. Zanotować zakres i klasę dokładności miernika.
- Wykonać pomiary zależności napięcia Halla  $U_H$  od natężenia  $I_S$  prądu sterującego dla wartości od 1 mA do 10 mA co 0,5 mA ( $I_m = \text{const}$ , a więc i  $B = \text{const}$ ). Zanotować zakres i klasę dokładności miernika.
- Ustalić z prowadzącym inne wartości prądu  $I_m = \text{const}$  i powtórzyć pomiary zależności  $U_H = f(I_S)$  dla wartości  $I_S$  jak w p.IV.2.
- Po zakończeniu pomiarów zredukować wartości natężeń prądów  $I_m$  i  $I_S$  do zera.

#### V. Opracowanie wyników

- Przeliczyć natężenie prądu magnesującego  $I_m$  na indukcję magnetyczną  $B$  według zależności (p.VI.1).
- Na podstawie klasy dokładności mierników obliczyć niepewność pomiaru  $I_m$  i  $U_H$ .
- Narysować wykres punktowy (bez linii) zależności  $U_H = f(I_S)$  przy  $B = \text{const}$ .
- Za pomocą metody regresji liniowej dla zmierzonych zależności  $U_H = \gamma I_S B$  wyznaczyć współczynniki linii najlepszego dopasowania (linii trendu, linii regresji), ich niepewności i współczynnik korelacji  $R_K$ . Skorzystać z gotowych programów komputerowych (patrz też:

„dodatki” na stronie internetowej LPF).

Wykorzystując wartości tych współczynników regresji, narysować na wykresach punktowych  $U_H = f(I_S)$  linię trendu  $y = ax + b$ , tworzące rodzinę charakterystyk prądowych hallotronu. Omówić wynik graficzny.

5. Dla trzech punktów pomiarowych nanieść prostokąty niepewności (pola niepewności) i omówić tendencję ich zmian. Wybrać punkty (po jednym z początkowego, środkowego i końcowego obszaru wykresu) najbardziej oddalone (odstające) od linii trendu.
6. Dla jednego z tych punktów o współrzędnych pomiarowych  $U_{Hi}$  i  $I_{Si}$ , obliczyć przykładową wartość  $\gamma_i = f(U_{Hi}, I_{Si})$ . Uwzględniając dokładności mierników, oszacować jej niepewność oraz porównać i omówić udziały niepewności częściowych. Obliczenia wykonać po unormowaniu jednostek wielkości występujących we wzorze. Przyjąć  $u_r(B_i) = 3\%$
7. Znając wartości współczynników kierunkowych ( $a = \gamma B_n$ ) linii trendu oraz ich niepewności, obliczyć ostateczną (finalną) wartość czułości prądowej  $\gamma_i \equiv \gamma$  hallotronu oraz oszacować jej niepewność.
8. Obliczyć, korzystając ze wzoru (VI.2), koncentrację  $n$  swobodnych nośników ładunku oraz wyznaczyć jej niepewność.
9. Uzyskane finalne wartości  $\gamma$  i  $n$  porównać z danymi literaturowymi oraz określić rodzaj materiału, z którego wykonany był badany hallotron. Wyniki obliczeń otrzymane w punkcie 6 i 7 porównać z analogicznymi z podstawowej wersji ćwiczenia i na ich podstawie ocenić metody pomiarowe.

## VI. Przydatne wzory i wartości liczbowe

1. Obliczanie wartości indukcji magnetycznej  $B = f(I_m)$  na podstawie wartości natężenia prądu magnesującego  $I_m$ :

$$B = 3,38 \left[ \frac{\text{mT}}{\text{mA}} \right] I_m + 1,19 [\text{mT}] \quad (1)$$

gdzie:  $I_m$  – natężenie prądu magnesującego w [mA],  
 $B$  – indukcja magnetyczna w [mT]

Jest to równanie prostej typu  $y = ax + b$ , w którym  $x \equiv I_m$ , a współczynniki mają wymiar:  $a$  [mT/mA] i  $b$  [mT]. Podstawiając za  $x$  kolejne wartości  $I_m$  [mA], obliczymy nieznaną wartość  $y \equiv B$  [mT]. Można też, korzystając z załączonego wykresu, będącego funkcją cechowania elektromagnesu  $B = f(I_m)$ , odczytywać wartości indukcji magnetycznej  $B$  dla wybranych wartości natężenia prądu  $I_m$ .

2. Obliczenie koncentracji swobodnych nośników ładunku w próbce:

$$n = \frac{1}{e \gamma d} \quad (2)$$

gdzie:  $e = 1,602 \times 10^{-19}$  C – ładunek elektronu  
 $d = 2 \mu\text{m}$  – grubość płytki hallotronu,  $u_r(d) = 5\%$

## VII. Proponowane tabele (do zatwierdzenia przez prowadzącego)

1. Wersja podstawowa:  $U_H = f(B)$

$I_S$	$u(I_S)$	$I_m$	$u(I_m)$	$U_H$	$u(U_H)$	$B$	$u_c(B)$	$\gamma_B$	$u_c(\gamma_B)$	$n$	$u_c(n)$
[A]	[A]	[A]	[A]	[V]	[V]	[T]	[T]	$\left[\frac{V}{A \cdot T}\right]$	$\left[\frac{V}{A \cdot T}\right]$	$\left[\frac{1}{m^3}\right]$	$\left[\frac{1}{m^3}\right]$
		...		...	...	...					

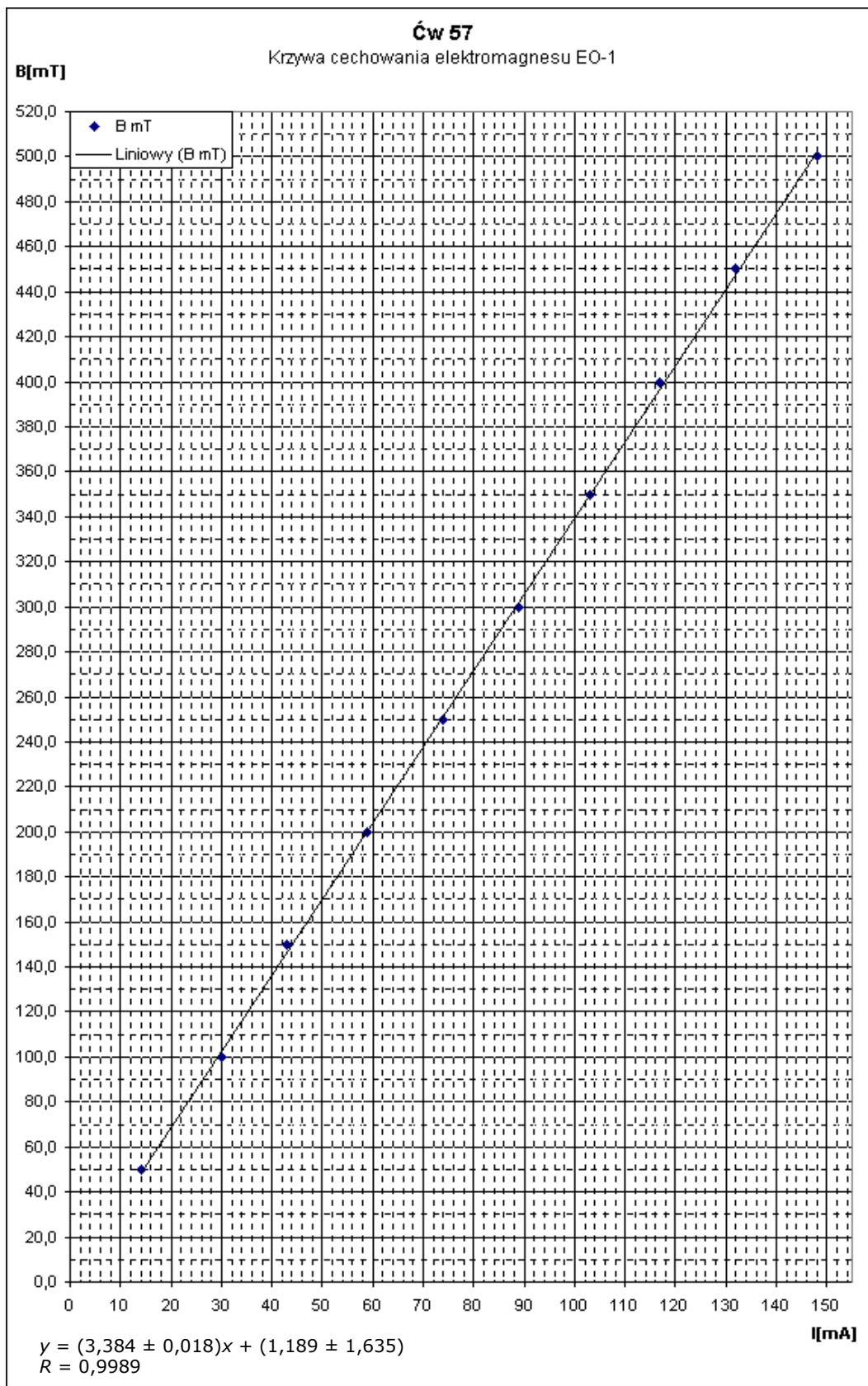
2. Wersja dodatkowa:  $U_H = f(I_S)$

$I_m$	$u(I_m)$	$I_S$	$u(I_S)$	$U_H$	$u(U_H)$	$B$	$u_c(B)$	$\gamma_I$	$u_c(\gamma_I)$	$n$	$u_c(n)$
[A]	[A]	[A]	[A]	[V]	[V]	[T]	[T]	$\left[\frac{V}{A \cdot T}\right]$	$\left[\frac{V}{A \cdot T}\right]$	$\left[\frac{1}{m^3}\right]$	$\left[\frac{1}{m^3}\right]$
		...		...	...						

Oznaczenia do tabel:

$u(I_S), u(U_H), u(I_m)$  – niepewność pomiarowa wynikająca z klasy dokładności miernika,  
 $u_c(B), u_c(\gamma), u_c(n)$  – niepewność wielkości złożonej,

<b>I</b>	<b>B</b>
[mA]	[mT]
14	50,0
30	100,0
43	150,0
59	200,0
74	250,0
89	300,0
103	350,0
117	400,0
132	450,0
148	500,0



Równanie  $y = 3,38x + 1,19$  odpowiada zależności  $B = 3,38 \text{ [mT/mA]} I_m \text{ [mA]} + 1,19 \text{ [mT]}$