



**ĆWICZENIE**  
**57C**

**BADANIE EFEKTU HALLA**

**Instrukcja wykonawcza**

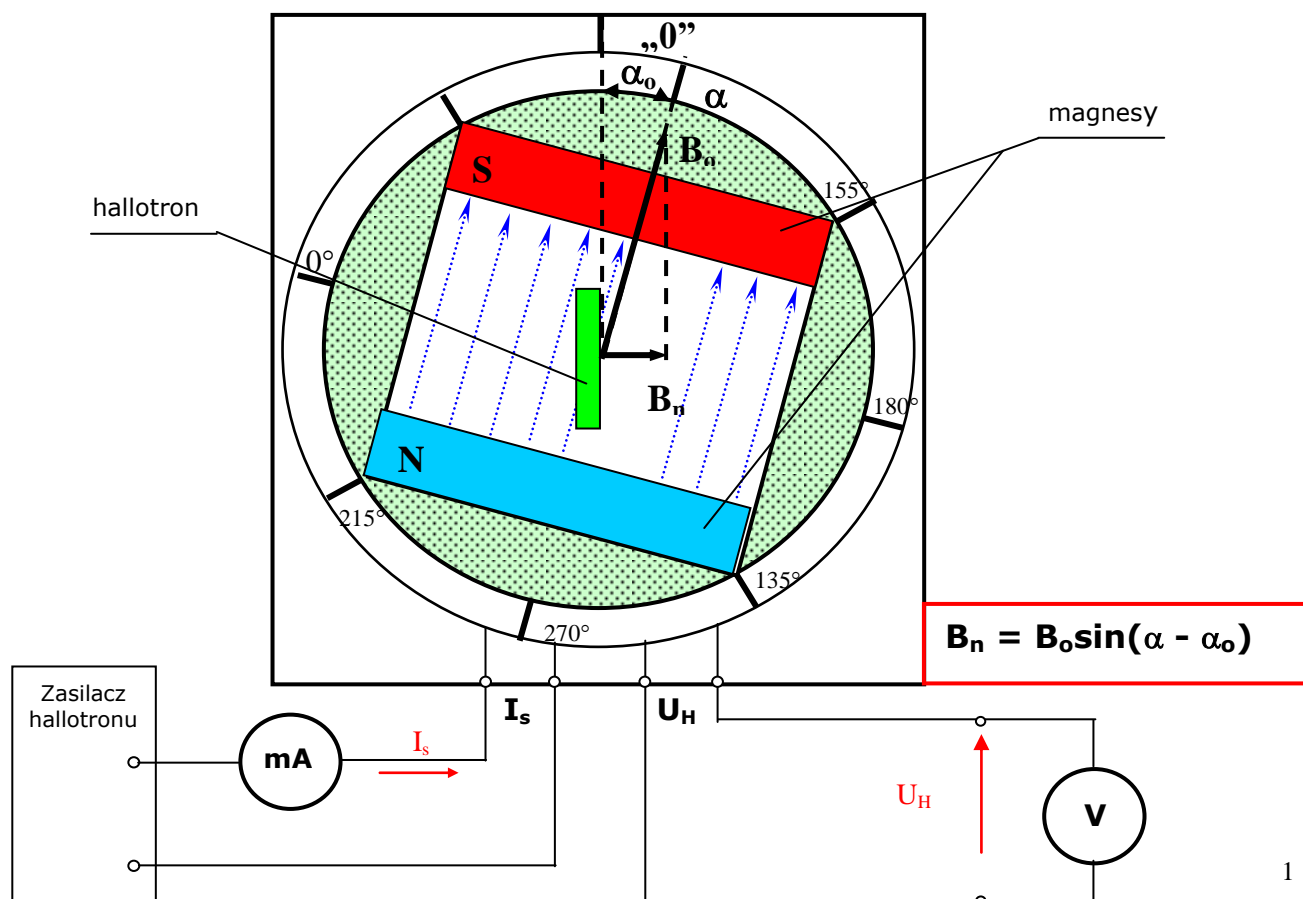
**I. Wykaz przyrządów**

1. Hallotron umieszczony w polu magnetycznym wytworzonym przez magnesy trwałe  
Magnesy zamocowane są tak, by możliwy był pomiar zmian orientacji pola magnetycznego względem płaszczyzny hallotronu
2. Zasilacz hallotronu
3. Miliamperomierz do pomiaru natężenia prądu sterującego  $I_S$
4. Woltomierz do pomiaru napięcia Halla  $U_H$
5. Przewody elektryczne

**II. Cel ćwiczenia**

1. Zmierzenie charakterystyk statycznych hallotronu:  
 $U_H = f(\alpha)$  i  $U_H = f(B_n)$  - wersja podstawowa ćwiczenia.  
 $U_H = f(I_S)$  - wersja dodatkowa ćwiczenia.
2. Wyznaczenie czułości polowej  $\gamma_B = \Delta U_H / \Delta B$  i czułości prądowej  $\gamma_I = \Delta U_H / \Delta I$  hallotronu.
3. Wyznaczenie koncentracji  $n$  swobodnych nośników ładunku.
4. Wyznaczenie maksymalnej czułości kątowej  $\gamma_\alpha = \Delta U_H / \Delta \alpha$  hallotronu.

**III. Schemat układu pomiarowego**



Stanowisko pomiarowe:



### Wersja podstawowa

CHARAKTERYSTYKA  $U_H = f(\alpha)$  i  $U_H = f(B_N)$

#### IV. Przebieg pomiarów

1. Połączyć układ według załączonego schematu. Ustalić z prowadzącym wartość natężenia (lub kilka wartości) prądu sterującego  $I_S$  z przedziału  $5 \div 15$  mA. Zanotować zakres i klasę dokładności miliamperomierza (niezbędne przy obliczaniu niepewności pomiarowej).
2. Włączyć woltomierz oraz zasilacz hallotronu. Zanotować zakres i klasę dokładności woltomierza. Dane te wykorzystać do obliczania niepewności pomiarowych napięcia.
3. Obrócić magnesy w położenie, przy którym napięcie Halla  $U_H = 0$  V. Wtedy kierunek pola magnetycznego jest równoległy do powierzchni hallotronu. Zanotować to położenie jako  $\alpha_0$ . Zanotować również dokładność skali kątowej  $\Delta\alpha = \Delta\alpha_0$ .
4. Wyznaczyć charakterystykę kątową  $U_H = f(\alpha)$  przy  $I_S = \text{const}$ , czyli zależność napięcia Halla  $U_H$  od kąta  $\alpha$  przy ustalonej wartości natężenia prądu płynącego przez hallotron. Pomiary napięcia Halla wykonać dla kątów  $\alpha$  od  $0^\circ$  do  $360^\circ$  co  $10^\circ$ .
5. Po zakończeniu pomiarów zredukować wartość  $I_S$  do zera.

#### V. Opracowanie wyników

1. Sporządzić wykres charakterystyki kątowej hallotronu  $U_H = f(\alpha)$ , czyli zależności napięcia Halla od kąta odczytanego z podziałki hallotronu. Z wykresu odczytać wartość kąta  $\alpha_0$ , przy którym  $U_H = 0$ , i porównać ją z wartością odnotowaną na początku (p.IV.3).
2. Z wykresu  $U_H = f(\alpha)$  określić obszar najszybszych zmian napięcia  $U_H$  ze zmianą kąta  $\alpha$  (tj. najdłuższy i niemal prostoliniowy fragment wykresu) i wyznaczyć na jego podstawie

- maksymalną czułość kątową  $\gamma_\alpha$  hallotronu jako  $\Delta U_H / \Delta \alpha$ , czyli przyrost wartości napięcia  $U_H$  do przyrostu wartości kąta  $\alpha$ . Wynik zinterpretować i ocenić.
- Na podstawie wzoru  $B_n = B_o \sin(\alpha - \alpha_o)$  obliczyć wartości składowej normalnej indukcji magnetycznej  $B_n$  oraz jej niepewności  $u_c(B_n)$ . **Uwaga:** w obliczeniach  $u_c(B_n)$  wyrazić niepewności pomiarowe  $u(\alpha)$  i  $u(\alpha_o)$  w radianach. Przyjąć  $B_o = (0,500 \pm 0,05)$  T.
  - Narysować punktowe wykresy (bez linii) zmierzonych zależności  $U_H = f(B_n)$  przy ustalonych wartościach  $I_S = \text{const}$ .
  - Stosując metodę najmniejszych kwadratów (regresja liniowa), wyznaczyć wartości współczynników prostej (prostych) najlepszego dopasowania (linii trendu, prostej regresji) dla zmierzonych zależności  $U_H = f(B_n)$ . Wyznaczyć niepewności tych współczynników oraz współczynnik korelacji  $R_K$ . Skorzystać z gotowych programów komputerowych (patrz też: „dodatki” na stronie internetowej LPF).  
Wykorzystując otrzymane parametry prostej, narysować na wykresach punktowych zależności  $U_H = f(B_n)$  odpowiadające im linii trendu  $y = ax + b$ , tworzące rodzinę charakterystyk polowych hallotronu. Wyniki graficzne omówić.
  - Dla trzech punktów nanieść prostokąty niepewności (pola niepewności) oraz omówić tendencję ich zmian. Wybrać punkty (po jednym z początkowego, środkowego i końcowego obszaru wykresu) najbardziej oddalone (odstające) od prostej regresji.
  - Dla jednego z tych punktów, o współrzędnych pomiarowych  $U_{Hi}$  i  $B_{ni}(\alpha_i)$ , obliczyć przykładową wartość  $\gamma_i$  na podstawie wzoru  $U_H = \gamma I_S B_n$ . Uwzględniając dokładności mierników, oszacować niepewność czułości polowej hallotronu oraz porównać i omówić udziały niepewności cząstkowych. Obliczenia wykonać po unormowaniu jednostek wszystkich wielkości występujących we wzorze.
  - Na podstawie wartości współczynników kierunkowych ( $a = \gamma I_S$ ) linii trendu oraz ich niepewności obliczyć ostateczną (finalną) wartość czułości polowej  $\gamma_B \equiv \gamma$ . Oszacować niepewność czułości polowej hallotronu.
  - Obliczyć koncentrację  $n$  swobodnych nośników ładunku oraz jej niepewność. Skorzystać z wyrażenia:

$$n = \frac{1}{e\gamma d} \quad \text{gdzie: } d - \text{grubość płytki hallotronu } (d = 2 \mu\text{m}, u_r(d) = 5\%)$$

$$e - \text{ładunek elementarny } (e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C})$$

- Uzyskane wartości parametrów  $\gamma_B$  i  $n$  porównać z danymi literaturowymi oraz określić rodzaj materiału, z którego wykonany był badany hallotron.

### Wersja dodatkowa

#### CHARAKTERYSTYKA $U_H = f(I_S)$

#### IV. Przebieg pomiarów

- Połączyć układ według podanego schematu. Włączyć woltomierz oraz zasilacz hallotronu.
- Ustawić magnesy pod kątem  $\alpha$  wskazanym przez prowadzącego. Zanotować dokładność skali kątowej.
- Wyznaczyć charakterystykę prądową  $U_H(I_S)$ , czyli zależność napięcia Halla  $U_H$  od natężenia prądu sterującego  $I_S$ , przy ustalonej wartości (jednej lub kilku) indukcji magnetycznej  $B_n$ . Pomiaru napięcia  $U_H$  wykonać dla  $I_S$  w zakresie od 1 mA do 15 mA co 1 mA.
- Zanotować klasy dokładności mierników elektrycznych oraz zakresy ich pracy. Dane te wykorzystać do obliczania niepewności pomiarowych napięcia  $U_H$  i natężenia  $I_S$ .
- Po zakończeniu pomiarów zredukować wartość  $I_S$  do zera.

## V. Opracowanie wyników

1. Sporządzić punktowe wykresy zmierzonych zależności  $U_H = f(I_S)$  przy  $B_n = \text{const}$ .
2. Obliczyć wartości składowej normalnej indukcji magnetycznej  $B_n = B_0 \sin(\alpha - \alpha_0)$  oraz jej niepewności, biorąc  $B_0 = (0,500 \pm 0,05)$  T. Wartość kąta  $\alpha_0$  przyjąć na podstawie wyników z wersji podstawowej (pkt.V.1).

**Uwaga:** w obliczeniach wyrazić niepewności pomiaru kątów  $u(\alpha)$  i  $u(\alpha_0)$  w radianach.

3. Stosując metodę regresji liniowej, wyznaczyć współczynniki prostej (prostych) najlepszego dopasowania (linii trendu, prostej regresji) dla zmierzonych zależności  $U_H = f(I_S)$ , 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 linie trendu  $y = ax + b$ , tworzące rodzinę charakterystyk prądowych hallotronu. Wynik graficzny omówić.

4. Dla trzech punktów nanieść prostokąty niepewności (pola niepewności) oraz omówić tendencję ich zmian. Wybrać punkty (po jednym z początkowego, środkowego i końcowego obszaru wykresu) najbardziej oddalone (odstające) od prostej regresji.
5. Dla jednego z tych punktów, o współrzędnych pomiarowych  $U_{Hi}$  i  $I_{Si}$ , obliczyć przykładową wartość  $\gamma_i$  na podstawie wzoru  $U_H = \gamma I_S B_n$ . Uwzględniając dokładności mierników, oszacować niepewność czułości hallotronu. Porównać i omówić udziały niepewności cząstkowych. Obliczenia wykonać po unormowaniu jednostek wszystkich wielkości występujących we wzorze.
6. Znając wartości współczynników kierunkowych ( $a = \gamma B_n$ ) linii trendu oraz ich niepewności, obliczyć ostateczną (finalną) wartość czułości prądowej  $\gamma_I \equiv \gamma$ , a następnie oszacować niepewność tego parametru hallotronu.
7. Obliczyć koncentrację  $n$  swobodnych nośników ładunku oraz wyznaczyć jej niepewność. Skorzystać z wyrażenia:

$$n = \frac{1}{e \gamma d} \quad \text{gdzie: } d - \text{grubość płytki hallotronu } (d = 2 \mu\text{m}, u_r(d) = 5\%)$$

$$e - \text{ładunek elementarny } (e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C})$$

8. Uzyskane wartości parametrów  $\gamma_I$  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 wersji podstawowej i na ich podstawie ocenić metody pomiarowe.

### Proponowane tabele (do zatwierdzenia przez prowadzącego)

1. Wersja podstawowa:  $U_H = f(\alpha)$  przy  $I_S = \text{const}$

$B_n$	$u_d(B_n)$	$I_S$	$u(I_S)$	$U_H$	$u(U_H)$	$\alpha$	$u(\alpha)$	$\gamma_\alpha$	$u_d(\gamma_\alpha)$
[T]	[T]	[A]	[A]	[V]	[V]	[°]	[°]	$\left[\frac{\text{V}}{\text{A}\cdot\text{T}}\right]$	$\left[\frac{\text{V}}{\text{A}\cdot\text{T}}\right]$
...	...	...	...	...	...	...			

2. Wersja podstawowa:  $U_H = f(B_n)$  przy  $I_S = \text{const}$

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

3. Wersja dodatkowa:  $U_H = f(I_S)$  przy  $B_n = \text{const}$

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