

J 11.1 Pomiar indukcji magnetycznej w szczelinie elektromagnesu przy pomocy teslomierza hallotronowego

INSTRUKCJA WYKONANIA ZADANIA

Obowiązujące zagadnienia teoretyczne (dla ćwiczeń J11.1; J11.2; J11.3; J11.4):

1. Natężenie pola elektrycznego i indukcja pola magnetycznego
2. Ruch ładunków w polach elektrycznym i magnetycznym
3. Pole magnetyczne wewnątrz cewki z prądem
4. Zjawisko Halla
5. Hallofony i ich zastosowanie

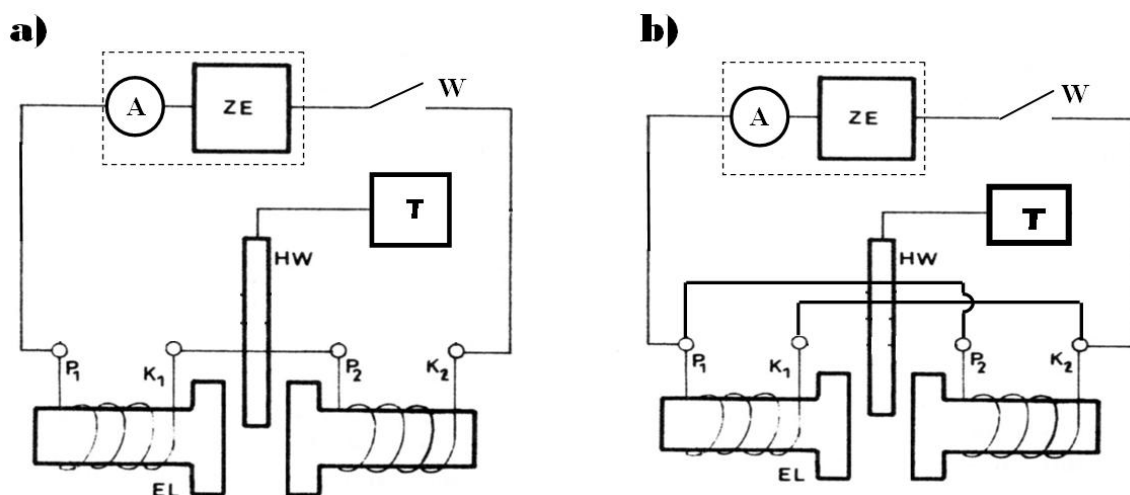
Literatura (dla ćwiczeń J11.1; J11.2; J11.3; J11.4):

1. Skrypt PL: *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki. Promieniowanie i struktura materii*, H. Goebel, J. Olchowik, J. Rybka, M. Wiertel, K. Wójcik, red. E. Śpiewła, Wydawnictwa Uczelniane PL, Lublin 1994.
2. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2003, tom III.
3. Cz. Bobrowski, *Fizyka – krótki kurs*, WNT, Warszawa 1995.

Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia: grubość płytki hallotronu $c = 10^{-4}$ m.

Wykonanie zadania:

W ćwiczeniu wyznacza się zależność indukcji pola magnetycznego B wytworzonego między nabiegunkami elektromagnesu od natężenia prądu I płynącego w jego cewkach – przy szeregowym i równoległym połączeniu cewek. Indukcja pola magnetycznego mierzona jest za pomocą teslomierza z sondą hallotronową (hallotron wzorcowy). W zespołach 2-osobowych jedna osoba wykonuje pomiary dla połączenia szeregowego, a druga dla połączenia równoległego cewek



Rys. 1 Układ pomiarowy: a) – szeregowe połączenie cewek, b) – równoległe połączenie cewek.
Elementy układu: **EL** – elektromagnes złożony z dwóch cewek, **ZE** – zasilacz prądowy elektromagnesu, **A** – amperomierz wbudowany w zasilacz, **HW** – hallotron wzorcowy, **T** – teslomierz, **W** - wyłącznik



Rys. 2 Fotografia stanowiska pomiarowego

1. Zestawić układ pomiarowy wg schematu na Rys 1. Cewki elektromagnesu połączyć szeregowo (Rys. 1a).
2. Po sprawdzeniu układu przez prowadzącego zajęcia, przy wyłączonym wyłączniku W włączyć zasilacz ZE , ustawić napięcie 50 V oraz prąd 0 A (zgodnie z instrukcją techniczną).
3. Włączyć teslomierz (zgodnie z instrukcją techniczną), następnie umieścić sondę teslomierza symetrycznie między nabiegownikami elektromagnesu. Sonda (hallotron wzorcowy) jest bardzo delikatna, dlatego należy uważać, aby jej nie uszkodzić.
4. Zamknąć obwód wyłącznikiem W i rozpocząć pomiary
5. Pokrętem CURRENT na zasilaczu zmieniać wartość cyfry 0,1A ustawiając żadaną wartość natężenia prądu I płynącego przez cewki elektromagnesu. Natężenie prądu zmieniać co 0,1 A do osiągnięcia $I = 1,2$ A. NIE regulować napięcia ustawionego wcześniej - jego wartość zmienia się automatycznie.
6. Zapisywać w tabeli wartości prądu I oraz wartości indukcji pola magnetycznego B odczytane na teslomierzu T .
7. Po osiągnięciu natężenia prądu 1,2 A zmniejszyć go do zera, wyłączyć zasilacz i zmienić połączenie cewek na równoległe (Rys. 1b).
8. Po sprawdzeniu obwodu przez prowadzącego przeprowadzić pomiary dla tej konfiguracji cewek zmieniając natężenie prądu co 0,2 A aż do osiągnięcia $I = 3,5$ A.
9. Po zakończeniu pomiarów, wartości napięcia i natężenia prądu na zasilaczu ustawić na zero i wyłączyć zasilacz. Wyłączyć teslomierz.

Opracowanie wyników:

10. Zależność $B = f(I)$ przedstawić na wykresie
11. Dla części prostoliniowych zależności $B(I)$ wykreślić prostą (linię trendu) i podać jej równanie na wykresie
12. Dla kilku (3-4) punktów wyznaczyć niepewności pomiarowe ΔI oraz ΔB i punkty te otoczyć prostokątami niepewności pomiarowej.

UWAGA!

Duży prąd płynący przez cewki powoduje ich nagrzewanie się, więc w przerwach pomiarów należy wyłącznikiem W rozłączyć obwód, lub skręcać pokręta zasilacza do zera.

J 11.2 Wyznaczanie stałej Halla z zależności napięcia Halla od indukcji magnetycznej

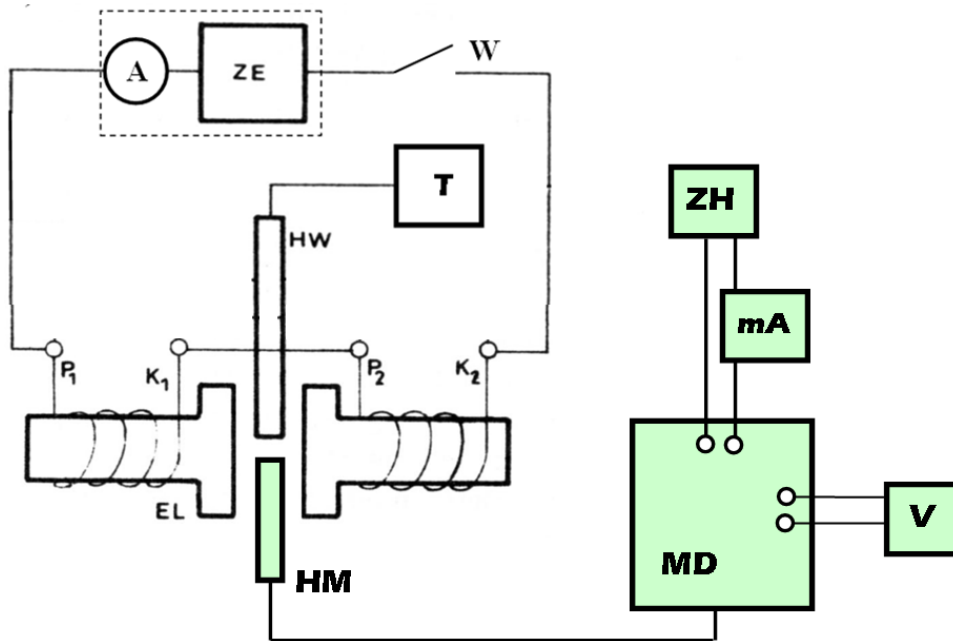
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne - jak J11.1:

Literatura - jak J11.1

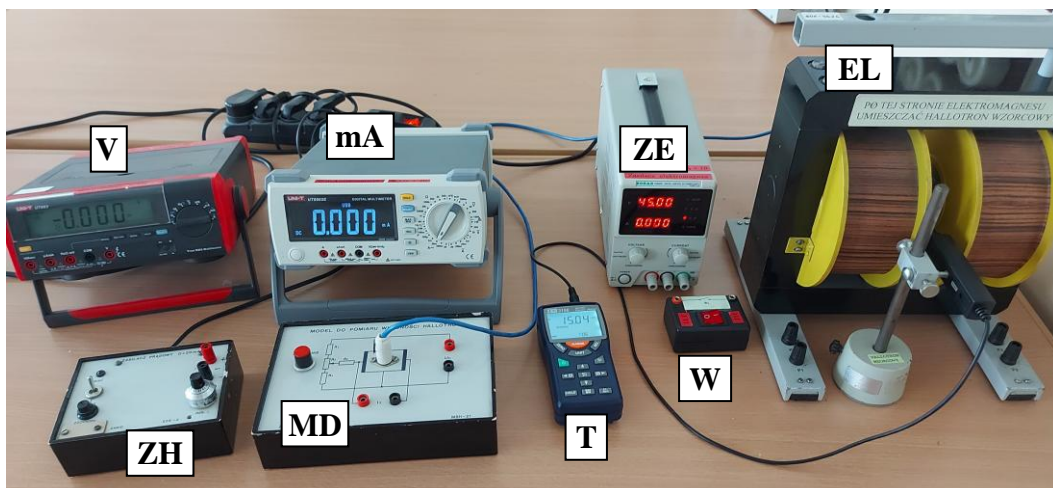
Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia: grubość płytki hallotronu $c = 10^{-4}$ m.

Wykonanie zadania:

W ćwiczeniu wyznacza się zależność poprzecznego napięcia U_H generowanego w badanym hallotronie (napięcie Halla) od wartości indukcji pola magnetycznego B . Podczas pomiarów wartość natężenia prądu I płynącego przez hallotron (prąd sterujący) pozostaje stała. Każdy student w zespole wykonuje pomiary dla innej wartości natężenia prądu sterującego.



Rys. 3 Schemat zestawu pomiarowego: *EL* – elektromagnes, *ZE* – zasilacz prądowy elektromagnesu, *A* – amperomierz wbudowany w zasilacz, *T* – teslometr, *HW* – hallotron wzorcowy (sonda teslomierza), *HM* – hallotron badany, *MD* – model do pomiaru własności hallotronu, *ZH* – zasilacz prądowy badanego hallotronu, *mA* – miliamperomierz cyfrowy w układzie badanego hallotronu (multimetr), *V* – woltomierz (multimetr), *W* - wyłącznik



Rys. 4 Fotografia stanowiska pomiarowego. Oznaczenia jak na rys. 3.

Rys. 5 Fotografia elektromagnesu. Na pierwszym planie widać sondę teslomierza, w głębi - hallotron badany



1. Zestawić układ pomiarowy jak na Rys. 3. Rodzaj połączenia cewek elektromagnesu podaje prowadzący zajęcia..
2. Po sprawdzeniu układu przez prowadzącego zajęcia, przy wyłączonym wyłączniku *W* włączyć zasilacz *ZE*, ustawić napięcie 50 V oraz prąd 0 A (zgodnie z instrukcją techniczną).
3. Włączyć teslomierz (zgodnie z instrukcją techniczną), następnie umieścić sondę teslomierza symetrycznie między nabiegownikami elektromagnesu. Sonda (hallotron wzorcowy) jest bardzo delikatna, dlatego należy uważać, aby jej nie uszkodzić.
4. Umieścić hallotron badany symetrycznie między nabiegownikami elektromagnesu, uważając, aby nie dotykał do sondy teslomierza. Te czynności wykonywać bardzo ostrożnie, aby nie uszkodzić obydwu hallotronów.
5. Podaną przez prowadzącego zajęcia wartość natężenia prądu sterującego *I* nastawić za pomocą potencjometru zasilacza *ZH*. Można ją odczytać na miliamperomierzu *mA*.
6. Włącznikiem *W* zamknąć obwód elektromagnesu i rozpocząć pomiary.
7. Indukcję pola magnetycznego *B* nastawić na żadaną wartość regulując prąd wyjściowy (*CURRENT*) zasilacza elektromagnesu *ZE*. NIE regulować napięcia ustawionego wcześniej - jego wartość zmienia się automatycznie. Wartość *B* odczytać na teslomierzu *T*.
8. Odczytać na woltomierzu *V* napięcie Halla U_H .
9. Zmieniając natężenie prądu płynącego przez cewki elektromagnesu zmieniać wartość indukcji pola magnetycznego *B* od 0,1 T do 1,1 T co 0,1 T.
10. Po każdym nastawieniu indukcji pola magnetycznego *B* odczytywać napięcie Halla U_H .
11. Wyniki pomiarów zapisać w tabeli – $I [A]$, $B [T]$, $U_H [V]$.

Opracowanie wyników:

Poprzeczne napięcie powstające w zjawisku Halla (U_H) zależy od natężenia prądu *I* płynącego przez hallotron (prądu sterującego) oraz od indukcji pola magnetycznego *B*, w którym ten hallotron jest umieszczony zgodnie ze wzorem:

$$U_H = R_H \frac{I \cdot B}{c} \quad (1)$$

gdzie *c* jest grubością hallotronu, R_H jest stałą Halla, wyznaczaną w ćwiczeniu. Stałą Halla można wyznaczyć dwoma sposobami (sposób opracowania ustalić z prowadzącym zajęcia).

Sposób I – bezpośrednio z wyników pomiarów:

12. Z wyrażenia (1) otrzymuje się zależność:

$$R_H = U_H \frac{c}{I \cdot B} \quad (2)$$

13. Wstawić dane z tabeli pomiarowej do wzoru (2) i obliczyć wartości stałej Halla dla poszczególnych pomiarów.

14. Obliczyć wartość średnią stałej Halla ze wszystkich pomiarów.
15. Niepewność wyznaczenia R_H wyznaczyć metodą różniczkowania wzoru (2). Należy uwzględnić niepewność pomiaru natężenia prądu ΔI , napięcia Halla ΔU_H i indukcji magnetycznej ΔB .

Sposób II – wykorzystanie metody najmniejszych kwadratów:

16. Sporządzić wykres zależności napięcia Halla U_H od indukcji pola magnetycznego. Z wykorzystaniem metody najmniejszych kwadratów wykreślić prostą najlepiej dopasowaną do punktów doświadczalnych (linię trendu) i podać jej równanie na wykresie.
17. Z teorii wiadomo, że poprzeczne napięcie generowane w zjawisku Halla U_H zależy od natężenia prądu I płynącego przez hallotron (prądu sterującego) oraz od indukcji pola magnetycznego B , w którym ten hallotron jest umieszczony:

$$U_H = R_H \frac{I}{c} \cdot B, \quad (3)$$

Zatem U_H jest liniową funkcją indukcji B , więc zależność tę można przedstawić następująco:

$$U_H = a B + b, \quad (4)$$

gdzie a jest współczynnikiem kierunkowym prostej, zaś b jest wyrazem wolnym, który w przypadku opisanej zależności wynosi zero (w granicach niepewności wyznaczania b).

18. Porównując równania (3) i (4) otrzymuje się zależność:

$$a = R_H \cdot I/c, \quad (5)$$

oraz:

$$R_H = \frac{a \cdot c}{I}. \quad (6)$$

19. Stałą Halla obliczyć z wyrażenia (6). Współczynnik kierunkowy uwzględnia położenie wszystkich punktów pomiarowych, a więc tak obliczone R_H jest wartością średnią dla danej serii pomiarowej.
20. Niepewność wyznaczenia R_H wyznaczyć metodą różniczkowania wzoru (6). Należy uwzględnić niepewność pomiaru natężenia prądu ΔI oraz niepewność wyznaczania współczynnika kierunkowego prostej Δa .

UWAGA!

Przed wstawieniem danych do wzoru (6) należy ustalić jednostkę współczynnika kierunkowego a .

J 11.3 Wyznaczanie stałej Halla z zależności napięcia Halla od natężenia prądu zasilającego hallotron

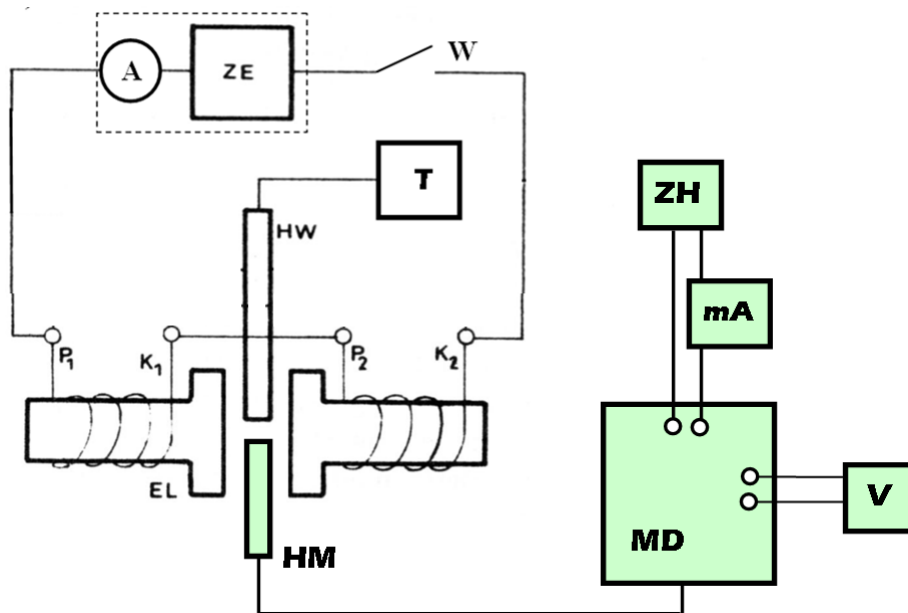
Obowiązujące zagadnienia teoretyczne - jak J11.1:

Literatura - jak J11.1

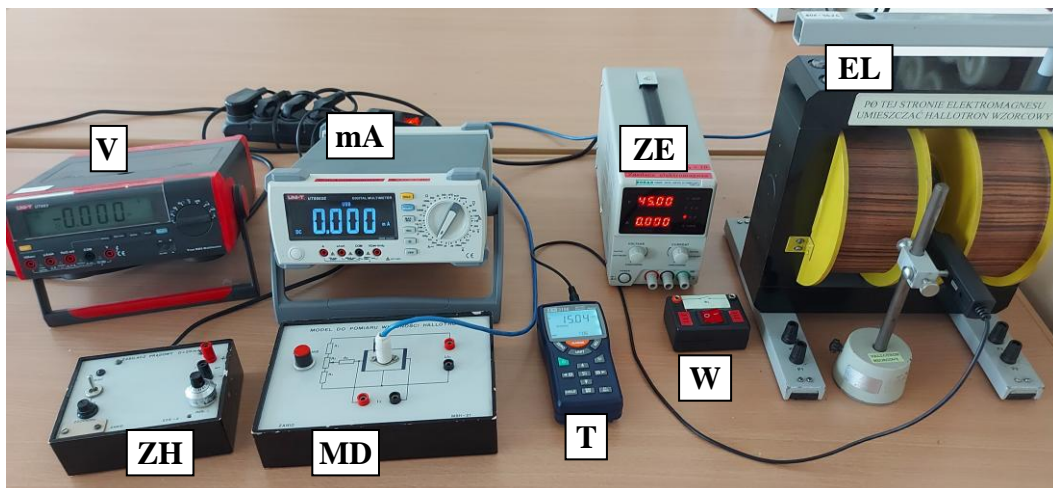
Wartości podawane przez prowadzącego zajęcia: grubość płytki hallotronu $c = 10^{-4}$ m.

Wykonanie zadania:

W ćwiczeniu wyznacza się zależność poprzecznego napięcia U_H wytwarzanego w badanym hallotronie (napięcie Halla) od wartości natężenia prądu I płynącego przez hallotron (prąd sterujący). Podczas pomiarów wartość indukcji pola magnetycznego B pozostaje stała. Każdy student w zespole wykonuje pomiary dla innej wartości indukcji pola B .



Rys. 6 Schemat zestawu pomiarowego: **EL** – elektromagnes, **ZE** – zasilacz prądowy elektromagnesu, **A** – amperomierz wbudowany w zasilacz, **T** – teslometr, **HW** – hallotron wzorcowy (sonda teslometra), **HM** – hallotron badany, **MD** – model do pomiaru własności hallotronu, **ZH** – zasilacz prądowy badanego hallotronu, **mA** – miliamperomierz cyfrowy w układzie badanego hallotronu (multimetr), **V** – woltomierz (multimetr), **W** - wyłącznik



Rys. 4 Fotografia stanowiska pomiarowego. Oznaczenia jak na rys. 6.

1. Zestawić układ pomiarowy jak na Rys. 6. Rodzaj połączenia cewek elektromagnesu podaje prowadzący zajęcia..
2. Po sprawdzeniu układu przez prowadzącego zajęcia, przy wyłączonym wyłączniku W włączyć zasilacz ZE , ustawić napięcie 50 V oraz prąd 0 A (zgodnie z instrukcją techniczną).
3. Włączyć teslomierz (zgodnie z instrukcją techniczną), następnie umieścić sondę teslomierza symetrycznie między nabiegownikami elektromagnesu. Sonda (hallotron wzorcowy) jest bardzo delikatna, dlatego należy uważać, aby jej nie uszkodzić.
4. Umieścić hallotron badany symetrycznie między nabiegownikami elektromagnesu, uważając, aby nie dotykał do sondy teslomierza. Te czynności wykonywać bardzo ostrożnie, aby nie uszkodzić obydwu hallotronów.
5. Włącznikiem W zamknąć obwód elektromagnesu. Podaną przez prowadzącego zajęcia wartość indukcji magnetycznej B nastawić regulując natężenie prądu elektromagnesu (CURRENT). NIE regulować napięcia ustawionego wcześniej - jego wartość zmienia się automatycznie. Wartość indukcji odczytywać na teslomierzu..
6. Natężenie prądu hallotronu (prąd sterujący) zmieniać w przedziale 1 - 20 mA co 1 mA. za pomocą potencjometru na zasilaczu hallotronu ZH . Wartość prądu odczytywać na miliamperomierzu mA ..
7. Po każdym nastawieniu prądu sterującego hallotronu, na woltomierzu V odczytywać napięcie Halla U_H .
8. Wyniki pomiarów zapisać w tabeli – $B[T]$, $I [A]$, $U_H [V]$.

Opracowanie wyników: (metodę opracowania wyników wskazuje prowadzący

Sposób I – wykorzystanie metody najmniejszych kwadratów:

9. Sporządzić wykres zależności napięcia Halla U_H od natężenia prądu sterującego I . Z wykorzystaniem metody najmniejszych kwadratów wykreślić prostą najlepiej dopasowaną do punktów doświadczalnych (linię trendu) i podać jej równanie na wykresie.
10. Ponieważ napięcie Halla U_H jest liniową funkcją natężenia prądu hallotronu:

$$U_H = R_H \frac{B}{c} \cdot I, \quad (7)$$

więc przy stałej indukcji pola magnetycznego można to przedstawić równaniem:

$$U_H = a I + b, \quad (8)$$

gdzie a jest współczynnikiem kierunkowym prostej, zaś b jest wyrazem wolnym, który w przypadku opisanej zależności wynosi zero (w granicach niepewności wyznaczania b).

11. Porównując równania (7) i (8) otrzymuje się wyrażenie:

$$a = R_H \cdot B / c \quad (9)$$

oraz

$$R_H = \frac{a \cdot c}{B}. \quad (10)$$

12. Stałą Halla obliczyć z wyrażenia (10). Współczynnik kierunkowy uwzględnia położenie wszystkich punktów pomiarowych, a więc tak obliczone R_H jest wartością średnią dla danej serii pomiarowej.
13. Niepewność wyznaczenia R_H wyznaczyć metodą różniczkowania wzoru (10). Należy uwzględnić niepewność pomiaru indukcji magnetycznej ΔB oraz niepewność wyznaczania współczynnika kierunkowego prostej Δa .

UWAGA!

Przed wstawieniem danych do wzoru (10) należy ustalić jednostkę współczynnika kierunkowego a i Δa

Sposób II – bezpośrednio z wyników pomiarów:

14. Z wyrażenia (7) otrzymuje się:

$$R_H = U_H \frac{c}{B \cdot I} \quad (11)$$

15. Wstawiając dane z tabeli pomiarowej do wzoru (11) obliczyć wartości stałej Halla dla każdego pomiaru pomiaru.

16. Obliczyć wartość średnią stałej Halla ze wszystkich pomiarów.

17. Niepewność wyznaczania stałej Halla ΔR_H określić metodą różniczkowania wzoru (11). Należy uwzględnić niepewność pomiaru natężenia prądu ΔI , napięcia Halla ΔU_H i indukcji magnetycznej ΔB .

Autor instrukcji:

Andrzej Dudziak

Ćw J11 - INSTRUKCJA TECHNICZNA

KORAD KD-6005D - zasilacz elektromagnesu



Regulacja napięcia (**VOLTAGE**) oraz natężenia prądu (**CURRENT**) możliwa jest po wciśnięciu odpowiedniego pokrętła. Wartość mrugającej na wyświetlaczu cyfry będzie regulowana przez obrót pokrętłem.

Ponowne wciśnięcie pokrętła zmienia regulowaną cyfrę. Po kilku sekundach cyfry przestają mrugać - parametry zasilacza są ustawione i wyświetlacz pokazuje bieżące wartości w obwodzie.

Sposób pracy zasilacza:

- przy ustawionym dużym napięciu ale małym natężeniu prądu decydująca jest wartość prądu (ogranicznik prądowy). Na zaciski zasilacza podawane jest takie napięcie, by prąd w obwodzie miał wybraną wartość.
- przy ustawionym dużym natężeniu prądu ale małym napięciu decydująca jest wartość napięcia. Na zaciski zasilacza podawane jest napięcie o wybranej wartości (wartość prądu dostosowuje się do rezystancji obwodu)

Niepewność pomiarów natężenia prądu: 0,5% + 10

Multimetr UNI-T UT803 - woltomierz



Uwaga: włącznik miernika znajduje się na tylnej ścianie przyrządu

- Wykorzystać gniazda COM i V
- Wybrać pokrętłem tryb pracy – pomiar napięcia **V**
- Przyciskiem **RANGE** oraz **SELECT** ustawić pomiar napięcia stałego z automatycznym wyborem zakresu (**Auto Range + DC**)

Niepewność pomiarów: 0,3% + 2

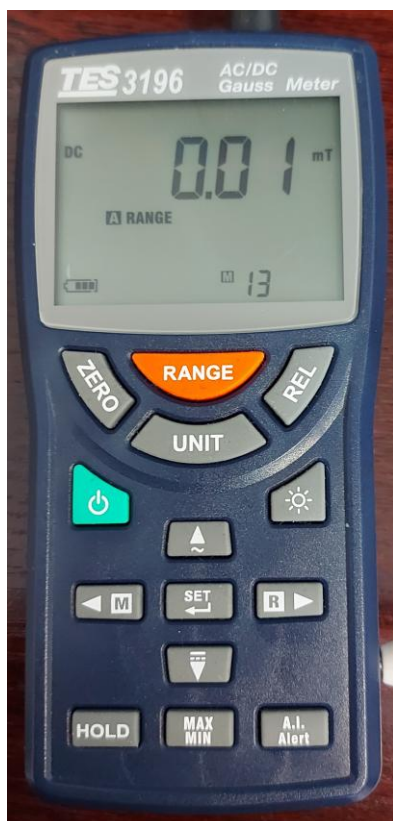
Multimetr UNI-T UT8802E - miliamperomierz



- Wykorzystać gniazda COM oraz $\mu\text{A}/\text{mA}$
- Wybrać pokrętłem tryb pracy – pomiar natężenia prądu (**A**) – 20 mA
- Przyciskiem **SELECT** wybrać pomiar prądu stałego - DC

Niepewność pomiarów: 0,5% + 20

TES 3196 AC/DC Gauss Meter - miernik pola magnetycznego (teslomierz)



- Ustawić sondę teslomierza w pewnej odległości od elektromagnesu (ok. 20 cm) i włączyć teslomierz. Po kilku sekundach jest on gotowy do pracy.
- Ustawić jednostki na mT (UNIT) – patrz rysunek obok
- Ustawić automatyczny wybór zakresu pomiarowego (RANGE) – patrz rysunek
- Aby dokonywać pomiaru pola stałego, na wyświetlaczu powinien być widoczny symbol DC. Jeśli wyświetlany jest symbol AC, należy to zmienić przyciskiem pod przyciskiem SET (strzałka do dołu)
- Ostrożnie wsunąć sondę teslomierza między bieguny elektromagnesu – sonda jest bardzo delikatna. Wskazania teslomierza się zmieniają wskazując resztkowe pola magnetyczne elektromagnesu.
- Po zakończonych pomiarach wyłączyć przyrząd naciskając przycisk sieci ok 2 s.

Niepewność pomiarów: 3% + 10

