

Ćwiczenie nr 6

Wyznaczanie wartości wielkości złożonej i ocena niedokładności

Celem ćwiczenia laboratoryjnego jest pomiar ilorazu e/m ładunku i masy elektronu oraz wyznaczenie błędu granicznego pomiaru e/m oraz niepewności standardowej.

1. Wstęp

Zjawisko termoemisji elektronowej, które polega na emisji elektronów z rozgrzanej powierzchni emitera, zostało po raz pierwszy zaobserwowane i udokumentowane w 1883r przez Thomasa Edisona. Analityczną zależność gęstości natężenia, J_0 , prądu termoemisji elektronowej w funkcji temperatury emitera (katody) opisuje równanie Richardsona-Dushmanna [1]:

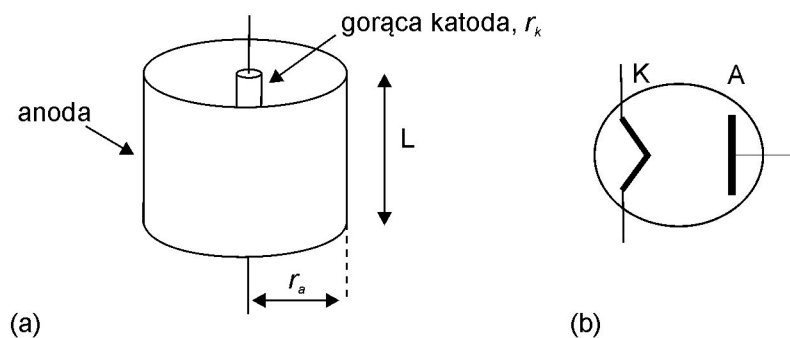
$$J_0 = AT_K^2 \exp\left(-\frac{\phi_K}{k T_K}\right), \quad (1)$$

gdzie: $A=120 \cdot 10^6 \text{A}/(\text{m}^2\text{K}^2)$ jest stałą Richardsona, T - temperatura emitera, ϕ - praca wyjścia elektronu z materiału emitera do próżni, k – stała Boltzmann.

Dla układu anoda – katoda, w którym anoda ma postać cylindra (Rys. 1), zaś w jej osi symetrii jest umieszczona, w postaci metalowego drutu, katoda, zależność natężenia prądu termoemisji elektronowej w funkcji napięcia przyspieszającego katoda – anoda ma postać:

$$I = \frac{8\pi\epsilon_0}{9r_a} \left(\frac{2e}{m}\right)^{\frac{1}{2}} U^{\frac{3}{2}} L, \quad (2)$$

gdzie: ϵ_0 – stała dielektryczna próżni, r_a – promień anody, e – ładunek elektronu, m – masa elektronu, U – napięcie między katodą i anodą. Zależność obowiązuje dla promienia katody pomijalnie małego w stosunku do promienia cylindrycznej anody.



Rys. 1. Schemat konstrukcji cylindrycznej diody próżniowej (a), symbol diody próżniowej (b)

Dla skończonych rozmiarów promieni anody i katody równanie (2) przyjmuje postać:

$$I = \frac{8\pi\epsilon_0}{9r_a} \left(\frac{2e}{m}\right)^{\frac{1}{2}} U^{\frac{3}{2}} L \frac{1}{\beta^2}, \quad (3)$$

gdzie:

$$\beta = \ln \frac{r_a}{r_k} - \frac{2}{5} \left(\ln \frac{r_a}{r_k}\right)^2 + \frac{11}{120} \left(\ln \frac{r_a}{r_k}\right)^3 - \frac{47}{3300} \left(\ln \frac{r_a}{r_k}\right)^4 + \dots, \quad (4)$$

Na podstawie zależności (3), (4), po odpowiednim przekształceniu, można wyznaczyć iloraz e/m ładunku i masy elektronu [2].

W ćwiczeniu, do realizacji układu katoda-anoda, została wykorzystana dioda próżniowa 1V2 (RCA Corporation), dla której parametry geometryczne są przedstawione poniżej:

promień katody $r_k = 0,000318\text{m}$,

promień anody $r_a = 0,00592\text{m}$,

efektywna długość katody $L = 0,00534\text{m}$,

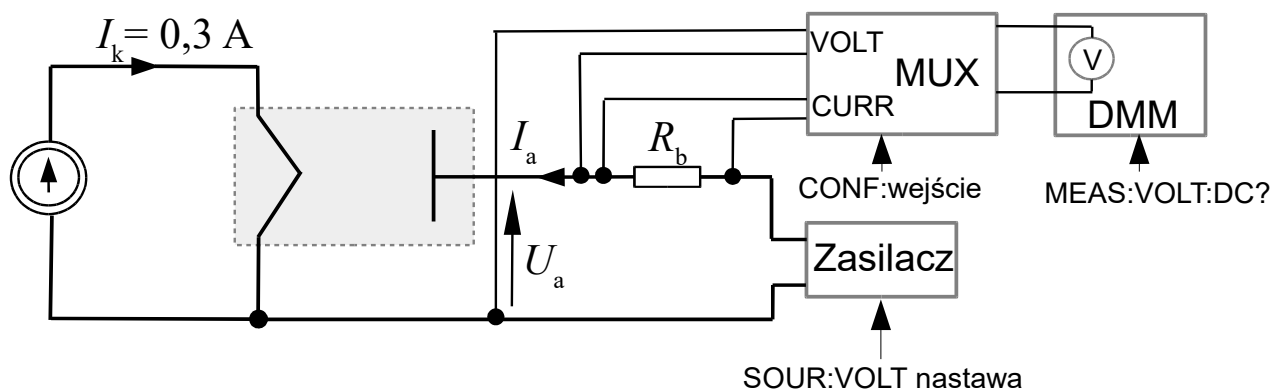
$r_a/r_k = 18,64$,

$\beta = 1,081$.

2. Przebieg ćwiczenia

2.1. Opis stanowiska

Na stanowisku dostępny jest układ pomiarowy zawierający diodę próżniową, układ zasilania obwodu żarzenia, programowany zasilacz napięcia przyspieszającego, programowany przełącznik umożliwiający pomiar jednym multimetrem napięcia przyspieszającego oraz natężenia prądu płynącego przez diodę. Do pomiaru napięcia przyspieszającego oraz natężenia prądu (wyliczanego ze spadku napięcia na boczniku R_b) służy multimetr cyfrowy. Programowany zasilacz oraz przełącznik komunikują się z komputerem za pomocą portu szeregowego COM1, natomiast multimetr cyfrowy za pośrednictwem interfejsu USB. Sposób połączenia elementów na stanowisku przedstawia rysunek 2.



Rys.2. Schemat układu pomiarowego do wyznaczenia stosunku e/m

2.2. Programowanie stanowiska

2.2.1. Programowanie zasilacza

W celu nastawienia wartości napięcia przyspieszającego elektrony należy zaprogramować zasilacz. Programowanie zasilacza przeprowadza się poleceniem:

SOUR:VOLT nastawa

gdzie nastawa jest liczbą od 1 do 255 (podanie innej wartości lub błędnej komendy spowoduje sygnalizację błędu poprzez zaświecenie kontrolki BŁĄD).

Z LabVIEW obsługi zasilacza dokonuje się za pomocą kreatora **Instrument Assistant** dostępnego w palecie Function (Express>Output). Wybieramy port COM1 oraz znak

terminatora kończącego polecenie (dla programowanego zasilacza i przełącznika jest to CR, w polu terminator character należy wybrać \r). W celu wysłania odpowiedniej komendy programującej dodajemy kolejny krok (**Add step**) i wybieramy **Write**. Następnie podajemy komendę z przykładową wartością nastawy (SOUR:VOLT 10). Ponieważ w dalszej części ćwiczenia przewidujemy możliwość zmiany nastawy to należy określić ją jako parametr. Dokonujemy tego poprzez zaznaczenie nastawy (w naszym przypadku 10) i wybranie opcji **Add Parameter**. W ten sposób możliwe jest zadawanie parametru z zewnątrz bloku **Instr Assist**. Zmieniamy nazwę parametru na **nastawa**. Zatwierdzamy działanie kreatora przyciskiem OK. Na wejściu zadającym parametr tworzymy stałą. Nazwę **Instrument Assistant** zmieniamy na **Nastawianie napięcia**.

Po zadaniu nastawy należy odczekać czas na ustabilizowanie napięcia. Skorzystamy z opóźnienia (**Time Delay**) dostępnego w palecie **Timing**. Po wstawieniu go na schemat należy ustawić czas 0,5 sekundy. Aby zachować właściwą kolejność działania wyjście **Error Out** z bloku obsługi zasilacza łączymy z wejściem **Error In** bloku opóźnienia.

2.2.2. Obsługa multimetru

Do pomiaru napięcia wykorzystujemy multimetr cyfrowy. Do jego obsługi wykorzystamy kolejny blok **Instrument Assistant**. Tym razem komunikować się będziemy przez interfejs USB. Inny jest także terminator kończący polecenie \n. Po poprawnym skonfigurowaniu parametrów komunikacji dodajemy kolejny blok (Write) umożliwiający zaprogramowanie multimetru w tryb pomiaru napięcia. Dokonujemy tego podając polecenie:

```
MEAS:VOLT:DC? 100
```

Wartość 100 jest wybranym zakresem pomiarowym 100 V. Brak parametru spowodowałby pracę multimetru w trybie automatycznego wyboru zakresu, co wiązałoby się z wydłużeniem czasu pomiaru. Po wysłaniu komendy multimetr wykona pomiar i należy odczytać wynik. Dokonujemy tego dodając kolejny krok (**Read and Parse**). Uruchamiamy nasz utworzony blok (polecenie **Run** na górze, nie **Run this step**) i powinien pojawić się wynik pomiaru. W oknie **ASCII representation** zaznaczamy wynik, dolna część okna **Read and Parse** stanie się aktywna. Zmieniamy nazwę w polu **token** na napięcie. Zatwierdzamy kreator za pomocą klawisza OK. Zmieniamy nazwę **Istr. Assist.** na pomiar napięcia.

Utworzone bloki łączymy we właściwej kolejności korzystając z wyjść **Error Out** i wejść **Error In**. Na wyjściu (napięcie) obsługi multimetru stawiamy wskaźnik. Uruchamiamy utworzony program i sprawdzamy czy działa poprawnie. Po zakończeniu działania na wskaźnik znajdującym się na panelu powinna być widoczna wartość zmierzonego napięcia.

2.2.3. Obsługa przełącznika (multiplexera)

Multimetr cyfrowy wykorzystywany jest do zarówno do pomiaru napięcia przyspieszającego elektrony jak i do pomiaru natężenia prądu poprzez pomiar napięcia odkładającego się na boczniku R_b .

Aby zmierzyć nastawione napięcie należy odpowiednio ustawić programowany przełącznik. Dokonujemy tego za pomocą polecenia

```
CONF:VOLT
```

wykorzystując kolejny blok Instrument Assistant. Port komunikacyjny pozostaje taki sam jak przy obsłudze zasilacza (COM1), również znak kończący polecenie pozostaje CR (r). Tym razem nie ma potrzeby definiowania parametru. Po postawieniu bloku obsługi przełącznika należy także postawić opóźnienie (można przekopiować poprzednie opóźnienie z użyciem klawisza Ctrl i przesunięcia myszą).

Tak utworzone bloki należy odpowiednio wstawić na schemacie, aby pomiar napięcia odbywał się po jego ustawieniu.

Pomiaru natężenia prądu dokonujemy analogicznie jak pomiaru napięcia. Można przekopiować utworzone bloki pomiaru napięcia i dokonać zmiany poleceń programujących przełącznik na

CONF:CURR

oraz zakres pomiarowy multimetru na 1 V. Zmierzone napięcie należy przeliczyć na wartość natężenia prądu $I_a = U/R_b$, gdzie R_b to wartość rezystancji bocznika 50 Ω . Całość łączymy we właściwej kolejności korzystając z linii Error, w sposób dający możliwość pomiaru napięcia przyspieszającego oraz natężenia prądu dla zadanej nastawy zasilacza.

2.3. Wyznaczenie charakterystyki prądowo- napięciowej

Do wyznaczenia charakterystyki prądowo-napięciowej potrzebna będzie krokowa zmiana nastawy zasilacza w zakresie od 1 do 255. Utworzone wcześniej bloki otaczamy pętlą While Loop. Rozbudowujemy program aby zamiast stałej wartości zdanej jako parametr do zasilacza wysyłał wartość zwiększaną o 1 w każdym obrocie pętli. Pętla ma się zatrzymać po osiągnięciu nastawy 255. Ze względów praktycznych warto także przewidzieć możliwość wcześniejszego jej zakończenia klawiszem STOP. W trakcie testów zaleca się aby nastawiać mniejszą wartość (np. 15) a dopiero w trakcie stwierdzenia poprawnego działania wartość 255. Warto w trakcie opracowywania programu przewidzieć możliwość zadawania górnej i dolnej granicy z panelu aplikacji.

Wyniki ze wszystkich pomiarów należy zgromadzić w macierzach. W tym celu wyprowadzamy zmierzone wartości napięcia i natężenia prądu na prawą krawędź pętli. Na utworzonych wyjściach prawym klawiszem myszy wybieramy opcję **Enable Indexing** Następnie stawiamy tam wskaźniki i odpowiednio opisujemy stosownie do zawartości macierzy.

Na panelu postawić wykres **Express XY Graph**. Do wejścia X podłączyć macierz napięć, a do wejścia Y macierz natężeń.

2.4. Zapis danych do pliku

Aby zapisać dane do pliku należy obie utworzone macierze połączyć w jedną macierz dwuwymiarową za pomocą funkcji **Build Array**. Po postawieniu tego bloku na schemacie rozciągamy go w dół aby miał dwa wejścia, gdzie podłączamy nasze macierze z krawędzi pętli. Po wstawieniu na schemacie bloku **Write To Spreadsheet File** (z palety **File I/O**) do odpowiedniego jego wejścia podłączamy wyjście z bloku Build Array. Po włączeniu pomocy kontekstowej należy odszukać na bloku **Write To Spreadsheet File** wejście **transpose?** i postawić tam stałą True (transponowanie macierzy ułatwi na obróbkę danych w arkuszu kalkulacyjnym). Dodatkowo należy zwiększyć liczbę zapisywanych cyfr (wejście format, wybrać 6 cyfr). Sprawdzić działanie dla kilku cykli pętli. Otworzyć zapisany plik i sprawdzić czy zapis jest poprawny.

Uruchomić program. Po wykonaniu pomiarów należy zgrać wyniki w celu ich dalszej obróbki zgodnie z instrukcją opracowania sprawozdania.

Zanotować z instrukcji do multimetru dane niezbędne do obliczeń błędu granicznego.

3. Wykonanie sprawozdania

3.1 Na podstawie wyrażenia (3) wyznaczyć wartość ilorazu e/m ładunku i masy elektronu dla każdej pary (U , I).

3.2. Dla przyjętych błędów granicznych pomiaru natężenia I prądu termoemisji i napięcia U przyspieszającego elektrony obliczyć błąd graniczny wielkości złożonej e/m .

3.3. W oparciu o prawo propagacji niepewności standardowych wyznaczyć niepewność standardową typu B wielkości złożonej e/m .

Wyniki umieścić w tabeli.

Tabela 1.

| Lp | U, V | I, A | $e/m, C/kg$ | $\delta(e/m), \%$ | $u(e/m)$ |
|-----|--------|--------|-------------|-------------------|----------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| 20 | | | | | |

Odszukać w literaturze wartość e/m . Porównać otrzymane wyniki. Zanotować wnioski.

Literatura

1. J. Sikora, Termoemisyjne źródła elektronów: uwarunkowania polaryzacyjne, Wydawnictwo Politechniki Lubelskiej, Lublin 2019
2. P. J. Angiolillo, On thermionic emission and the use of vacuum tubes in the advanced physics laboratory, American Journal of Physics 77, 1102 (2009)
3. JCGM 100 2008 „Ewaluacja danych pomiarowych Przewodnik wyrażania niepewności pomiaru”, GUM 1995 wersja poprawiona