

Pojemność cieplna włókna żarówki - na podstawie zadania doświadczalnego na zawodach III stopnia, LII OLIMPIADA FIZYCZNA 2002/2003

1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie pojemności cieplnej włókna wolframowego żarówki poprzez wykorzystanie temperaturowej zależności oporu żarówki przy pomiarach szybkości nagrzewania się włókna.

2 Pytania

Przed przystąpieniem do ćwiczenia student powinien znać odpowiedź na następujące pytania:

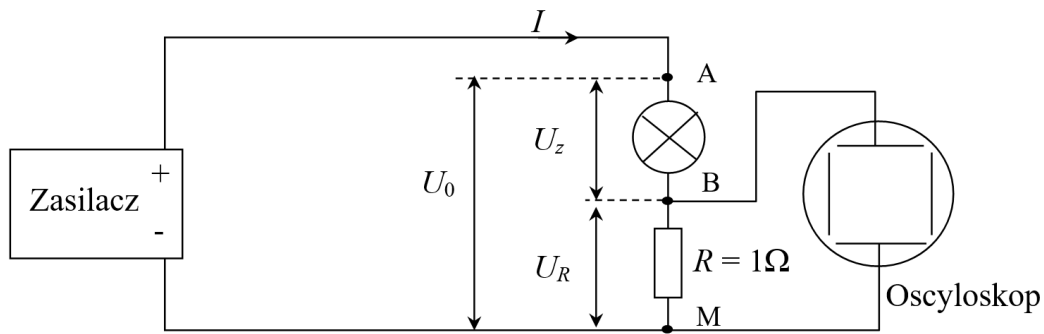
- Pomiar oporu żarówki przeprowadzisz używając woltomierza i amperomierza. Zakładając, że ich oporności wewnętrzne wynoszą 1Ω oraz $100 M\Omega$ (którą wartość przypiszesz któremu miernikowi?) narysuj odpowiednie schematy i porównaj dwa łatwe układy połączeń pod względem precyzji pomiaru: żarówka szeregowo z amperomierzem i woltomierz równoległe z nimi, lub woltomierz równoległe z żarówką a amperomierz szeregowo z nimi.
- Jak wygląda przebieg napięcia mierzonych na żarówce i oporniku przy zasilaniu układu prądem zmiennym? (rys. 5, dodatkowo przebieg na żarówce (lub sumie żarówka + opornik))
- Jak zmieni się rysunek 5 (wykres zależności napięcia na włóknie i temperatury włókna) jeśli napięcie z zasilacza (lub generatora) nie spadnie całkiem do zera, ale do małej a jednak niezerowej wartości, tak aby można było mierzyć opór w trakcie studzenia się włókna? Naszkić spodziewany przebieg prądu w fazie studzenia.
- Jaki wpływ będzie miał opór kabli połączeniowych na wyniki uzyskiwane w układzie z Rys. 1 rozwiązania? Naszkić (oblicz jeśli trzeba) jak zmieni się wynik pomiaru przedstawiony na rys. 2 jeśli idealny kabel zastąpimy opornikiem 1Ω . Jaki wpływ ma zauważalnie duży opór wewnętrzny generatora (np. 50Ω)?

3 Wstęp

Pierwsza część doświadczenia polega na badaniu zmian napięcia w układzie z grzejącą się żarówką i opornikiem przy zasilaniu prądem stałym. Na podstawie uzyskanych wyników pomiarów należy wyznaczyć opór włókna żarówki w temperaturze pokojowej oraz zależność mocy oddawanej do otoczenia od jego temperatury. Następnie zasilając układ prądem zmiennym o przebiegu prostokątnym i badając dynamikę zmian prądu płynącego przez żarówkę, należy wyznaczyć pojemność cieplną włókna żarówki oraz jego masę.

Można przyjąć, że opór włókna żarówki R_w jest liniową funkcją temperatury:

$$R_w(T) = R_0(1 + \alpha_R(T - T_0)) \quad (1)$$



Rysunek 1: Schemat układu służącego do wykonania pierwszej części ćwiczenia

gdzie T - bezwzględna temperatura włókna, R_0 - opór włókna w temperaturze pokojowej $T_0 = 295$ K. Przyjmij $\alpha_R = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

4 Wykonanie ćwiczenia

4.1 Wyposażenie

1. Oscyloskop cyfrowy
2. Zasilacz prądu zmiennego
3. Żarówka o znanym napięciu znamionowym
4. Opornik
5. Zestaw kabli elektrycznych

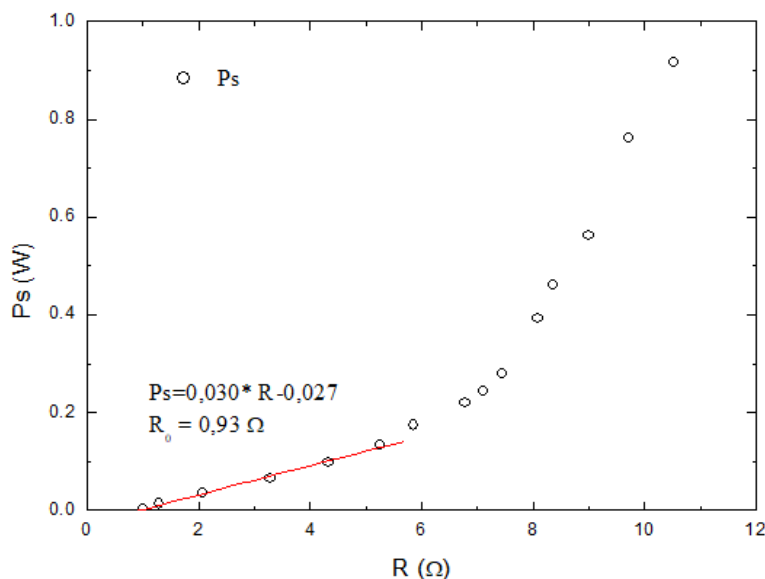
Uwaga! Przed włączeniem napięcia zasilania poproś asystenta o sprawdzenie układu.

4.2 Lista kroków

1. Zmierzyć zależność oporu włókna żarówki od mocy wydzielonej w żarówce w pracy ciągłej.
2. Zmierzyć dynamikę układu przy zasilaniu prądem zmiennym o przebiegu prostokątnym.

4.3 Zależność oporu od temperatury włókna - A

Wyznaczenie zależności mocy emitowanej przez żarówkę od temperatury jej włókna można wykonać w układzie, którego schemat elektryczny przedstawiono schematycznie na rys. 1. W układzie tym oscyloskop wykorzystany jest w roli woltomierza napięcia stałego. Podłączając go między punkty MB oraz MA układu możemy wyznaczyć prąd $I = U_R/R$ oraz napięcie $U_z = U_0 - U_R$. Pozwala to wyznaczyć moc $P_s = (U_0 - U_R)U_R/R$ dostarczaną do żarówki oraz opór jej włókna $R_w = R(U_0 - U_R)/U_R$. Dla określenia temperatury włókna konieczne jest wyznaczenie jego oporności R_0 odpowiadającej znanej temperaturze, np. temperaturze pokojowej. W tym celu należy wykonać wykres zależności mocy P_s od oporu włókna R_w . Ekstrapolując wyniki do granicy $P_s \rightarrow 0$ można otrzymać wartość R_0 odpowiadającą temperaturze panującej w sali, w której wykonywane są pomiary. Znając opór włókna będzie można wyznaczyć jego temperaturę, co umożliwi wykonanie wykresu zależności mocy oddawanej przez żarówkę do otoczenia od temperatury jej włókna.



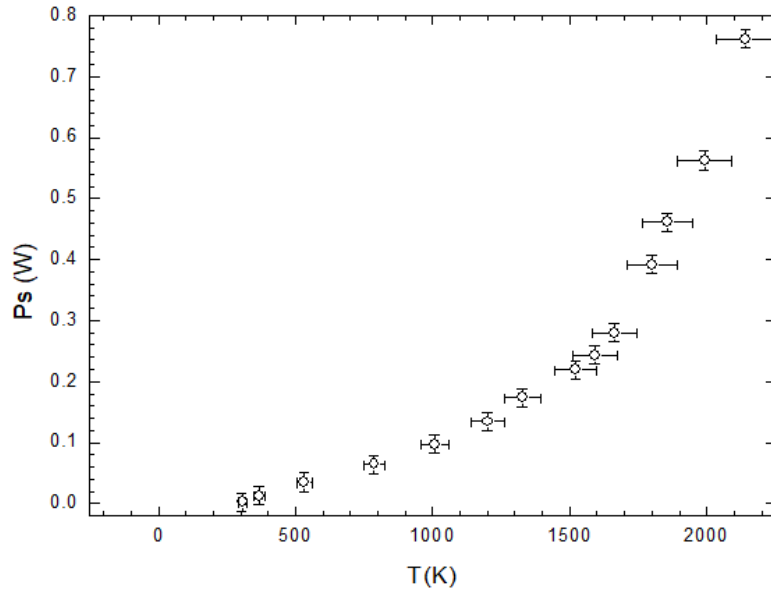
Rysunek 2: Zależność mocy dostarczonej do żarówki P_s od oporu włókna żarówki R_w

4.4 Część doświadczalna A

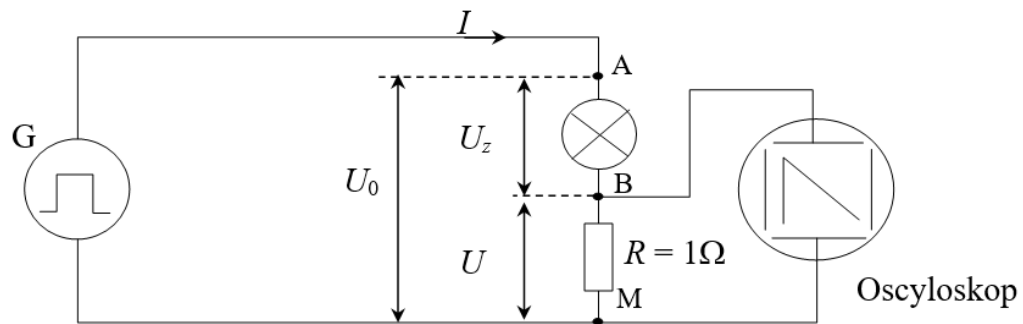
Zmieniając napięcie U_0 między punktami MB obwodu przedstawionego na rys. 1, mierzymy opowiadające mu napięcie U_R na oporniku szeregowo połączonym z żarówką. Obraz na oscyloskopie tworzy pozioma linia. Jej odległość od poziomu odpowiadającego napięciu zerowemu odpowiada mierzonemu napięciu. Uzyskaną zależność oporu żarówki od oporu na rys. 2. Wynika z niego, że dla małych wartości oporu włókna moc oddawana przez żarówkę do otoczenia jest jego liniową funkcją. Korzystając z wykresu, można zatem łatwo odczytać opór włókna odpowiadający oporowi włókna w temperaturze pokojowej R_0 . Pozwala to wykonać wykres zależności mocy oddawanej przez żarówkę do otoczenia od temperatury jego włókna(rys. 3).

5 Wyznaczanie pojemności cieplnej - B

Zasilając żarówkę z napięciem prostokątnym można w sposób cykliczny, zmieniać jej temperaturę. Odpowiednie pomiary można wykonać w układzie przedstawionym schematycznie na rys. 4. W momencie, gdy między punktami MA napięcie osiąga pewną niezerową wartość U_0 przez żarówkę zaczyna płynąć prąd i w miarę upływu czasu temperatura jej włókna wzrasta do wartości T_{m_1} (Rys.5). W tym czasie wzrasta również opór włókna, natomiast wartość prądu płynącego przez żarówkę maleje. W chwili, gdy napięcie zasilające układ spada do zera, temperatura włókna zaczyna maleć, osiągając minimalną wartość T_1 . Wtedy napięcie zasilania ponownie wzrasta i cykl ogrzewania i stygnięcia włókna powtarza się. Zmieniając wartość napięcia U_0 można regulować zarówno zakres jak i tempo zmian temperatury włókna. Na rys. 3. przedstawiono (linią przerywaną) oczekiwane zmiany temperatury włókna dla napięcia $U_{02} < U_0$. Szybkość zmian temperatury włókna zależy od szybkości dostarczania do niego energii, jego masy m oraz ciepła właściwego c_w . Załóżmy, że w krótkim przedziale czasu Δt dostarczymy do włókna pewną porcję energii. Część tej energii zostanie spożytkowana na wzrost temperatury włókna, a część zostanie oddana do otoczenia. Jeśli przyjmijemy, że dostarczając przez czas Δt do włókna moc P spowodowaliśmy wzrost jego temperatury o ΔT to bilans energii dostarczonej i



Rysunek 3: Zależność mocy dostarczanej do żarówki P_s od temperatury włókna żarówki T



Rysunek 4: Schemat układu służącego do wykonania drugiej części ćwiczenia

oddanej otoczeniu można zapisać w postaci:

$$P - P_s = \frac{mc_w \Delta T}{\Delta t}, \quad (2)$$

gdzie P_s – moc strat. Ponieważ zależność mocy P_s od temperatury wyznaczona zostanie w części A zadania to, zgodnie ze wzorem (1), dla znalezienia masy włókna pozostaje wyznaczyć szybkość zmian temperatury włókna przy dostarczaniu mu mocy $P - P_s$. Zmianę temperatury włókna ΔT można wyznaczyć badając zmianę jego oporu R_w :

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{1}{\alpha R_0} \frac{\Delta R_w}{\Delta t} \quad (3)$$

gdzie R_0 – opór włókna w temperaturze pokojowej. Wyrażając opór włókna przez napięcia mierzone między punktami MA (U_0) oraz MB (U_R) dostajemy:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = -\frac{U_0 R}{\alpha R_0 U_R^2} \frac{\Delta U_R}{\Delta t} \quad (4)$$

Jeśli zmianę temperatury włókna mierzyć będziemy tuż po pojawieniu się napięcia na żarówce, to odpowiadająca jej mocy dostarczanej do włókna wyniesie:

$$P = I(U_0 - U_{R0}) = \frac{U_{R0}(U_0 - U_{R0})}{R} \quad (5)$$

gdzie U_{R0} – napięcie na oporniku R na początku cyklu ogrzewania włókna.

5.1 Część doświadczalna B

Zstawiamy układ doświadczalny zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 1. Łączymy oscyloskop z punktami BM obwodu. Odpowiednio dobierając podstawę czasu oraz wzmocnienie, odczytujemy z oscyloskopu wartość napięcia U_{R0} oraz szybkość zmian napięcia U_R , tzn. $\Delta U_R / \Delta t$. Posługujemy się przy tym podziałką z ekranu oscyloskopu. Podobnie odczytujemy napięcie U_{RS} . Napięcie U_0 wyznaczamy podłączając oscyloskop między punkty AM obwodu (rys. 1).

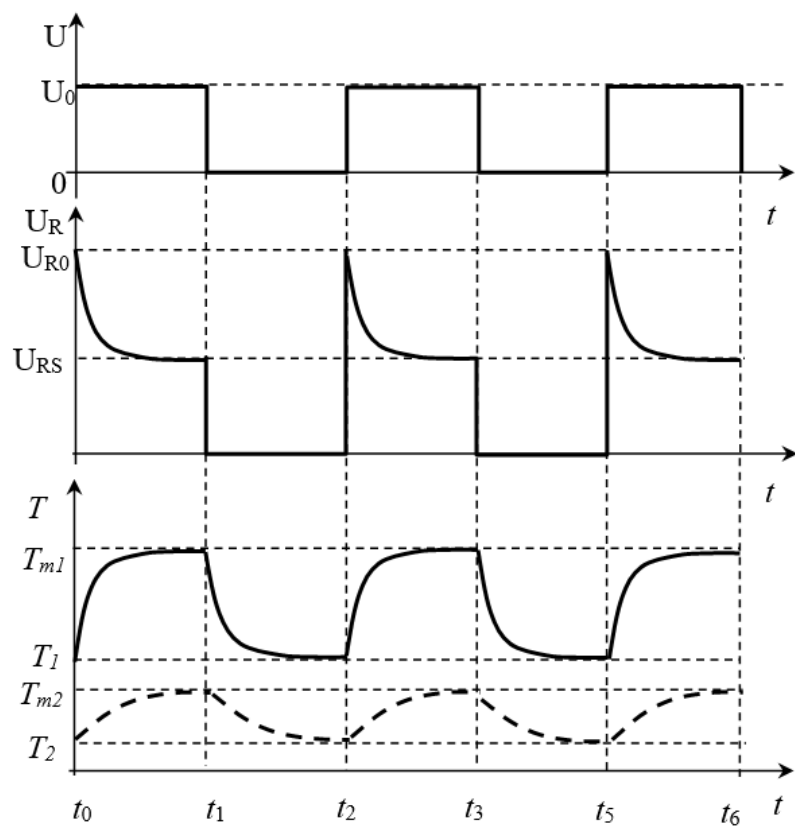
Korzystając ze wzorów wyprowadzonych w części teoretycznej wyznaczamy moc P pobieraną przez żarówkę w początkowym okresie rozgrzewania włókna oraz straty mocy P_s . Wyniki otrzymane dla różnych temperatur włókna przedstawiono na rys. 6.

Z wykresów przedstawionych na rys. 6 wynika, że straty mocy P_s są znacznie mniejsze od mocy P potrzebnej dla wywołania zmiany temperatury włókna. W interesującym obszarze temperatur włókna, zależność mocy strat P_s od temperatury można opisać zależnością liniową. Dzięki temu, można łatwo wyznaczyć interesującą nas różnicę mocy $P - P_s$ odpowiadającą danej temperaturze włókna. Zależność różnicy mocy $P - P_s$ od szybkości zmian temperatury włókna $\Delta T / \Delta t$ przedstawiono na rys. 7.

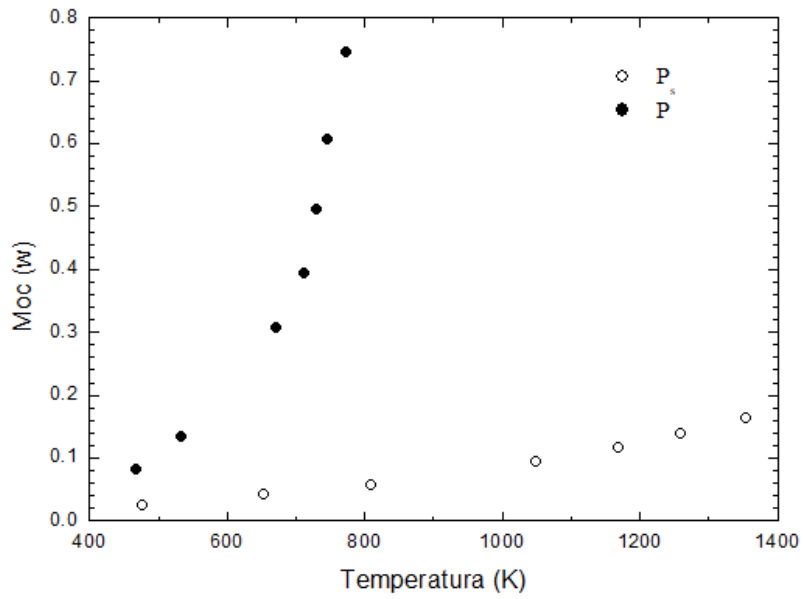
Do uzyskanych danych doświadczalnych dopasowano prostą, uzyskując parametr nachylenia $\beta = mc_w$. Biorąc pod uwagę wartość ciepła właściwego wolframu $c_w = 144 J kg^{-1} K^{-1}$, otrzymano masę włókna żarówki m.

(*) Można spróbować to zrobić dokładniej znajdując dane o zależności ciepła właściwego tego materiału od temperatury i odpowiednio modyfikując równania.

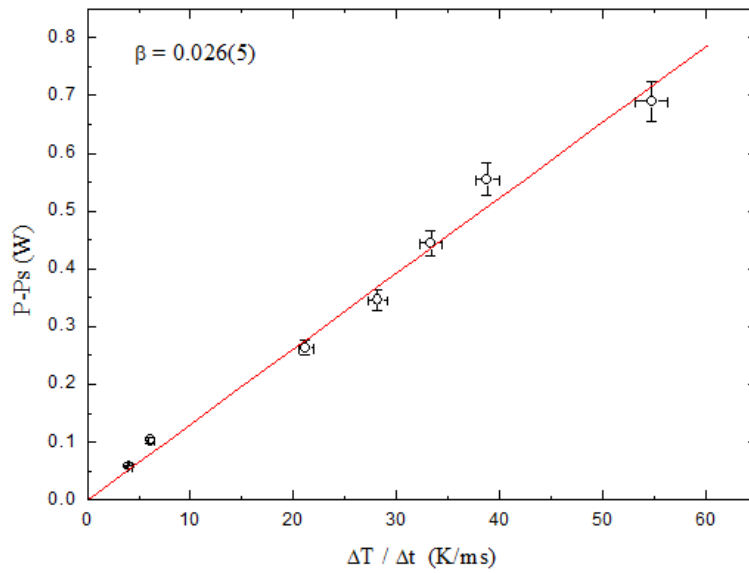
(**) Całe ćwiczenie można też wykonać bez generatora prądu zmiennego, przy zasilaniu prądem stałym. Należy wtedy zmierzyć przebieg napięcia w momencie włączenia prądu w układzie.



Rysunek 5: Schematy przebiegów czasowych napięć mierzonych w układzie oraz temperatury przy zasilaniu napięciem o przebiegu prostokątnym



Rysunek 6: Zależność mocy dostarczonej do żarówki oraz mocy strat od temperatury włókna



Rysunek 7: Zależność mocy użytej na nagrzewanie włókna (różnicy mocy dostarczonej oraz mocy strat, $P - P_s$) od zmian temperatury w czasie