

## 28. BADANIA TERMICZNE ŚWIETLÓWEK LINIOWYCH

### 1. Cel ćwiczenia:

- pomiary rozkładu temperatury na powierzchni zewnętrznej pracujących świetlówek liniowych czterech typów,
- eksperymentalne wyznaczanie relacji pomiędzy mocami każdej ze świetlówek, a temperaturami ich zewnętrznych powierzchni,
- analityczne wyznaczanie relacji pomiędzy mocami każdej ze świetlówek, a temperaturami ich zewnętrznych powierzchni i temperaturami ich obszarów wyładowania
- analityczne określenie wpływu zmian temperatury otoczenia każdej ze świetlówek na temperatury ich zewnętrznych powierzchni i temperatury ich obszarów wyładowania.

### 2. Wiadomości podstawowe

Świetłówki liniowe, podobnie jak wszystkie pozostałe wyładowcze źródła światła, powinny w czasie swojej pracy posiadać odpowiednie (optymalne) wartości współzależnych: temperatury i ciśnienia obszaru wyładowania. Źródła światła, w których temperatury przetworników elektroświeatlnych (takich np. jak skrętki wolframowe czy jarzniki wysokoprężnych lamp łukowych pracujących w bańkach szklanych) osiągają temperatury znacznie wyższe niż temperatury (otoczenia) w których pracują te źródła, wpływ zmian temperatury otoczenia na temperatury przetworników jest minimalny. W źródłach światła o niskich temperaturach ich przetworników elektroświeatlnych (np. rura wyładowcza świetłówki), niewiele różniących się od temperatury otoczenia w którym one pracują, wpływ zmian temperatury otoczenia na temperatury przetworników jest znacząco duży.

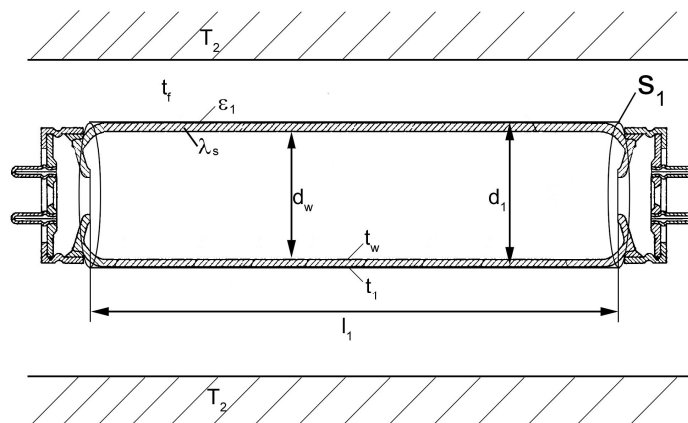
Wśród świetlówek (liniowych i kompaktowych) obecnej doby, w których to wyładowania zachodzą w parach rtęci, można wyróżnić ich dwa rodzaje: świetłówki z płynną rtęcią i świetłówki z amalgamatami (związkami rtęci z metalami). Świetłówki i świetłówki kompaktowe osiągają możliwie najwyższą wartość strumienia świetlnego (a więc i możliwie najwyższą wartość skuteczności świetlnej), gdy ciśnienie par rtęci w rurze wyładowczej jest optymalne. Ze względu na to, że wartość ciśnienia par rtęci zależy m.in. od wartości temperatury panującej w rurze wyładowczej, optymalnemu ciśnieniu par rtęci odpowiada optymalna temperatura panująca w rurze wyładowczej. Ze względu na to, że temperatury otoczenia, w których pracują świetłówki, mogą ulegać znacznym wahaniom, to i wahaniom o podobnych amplitudach mogą ulegać temperatury panujące w rurze wyładowczej. Pożądaną więc właściwością świetlówek jest to, aby, w odpowiednio wybranym i możliwie szerokim zakresie zmian wartości temperatury w rurze wyładowczej, wartość strumienia świetlnego świetlówek ulegała możliwie małym wahaniom.

W przypadku świetlówek z płynną rtęcią ciśnienie par rtęci zależy od temperatury wewnętrznej ściany rury wyładowczej, której wartość ma wpływ na stopień odparowywania rtęci i jej skraplania się w tzw. zimnym punkcie (cold spot) rury wyładowczej. Zimny punkt to obszar o najniższej temperaturze znajdujący się na wewnętrznej ścianie rurki, w miejscu, gdzie skrapla się nadmiar par rtęci. Temperatura zimnego punktu określa wysokość ciśnienia par rtęci i przez to ma decydujący wpływ na strumień świetlny. Świetłówki z płynną rtęcią powinny zawsze być projektowane i produkowane w taki sposób, aby wytwarzały 100% strumienia świetlnego gdy ich zimny punkt osiąga temperaturę rzędu 45°- 50°C. Maksymalna temperatura zimnego punktu powinna sięgać 100°C. Szacuje się, że gdy zimny punkt osiągnie najwyższą dozwoloną temperaturę, następuje redukcja maksymalnego strumienia świetlnego aż o 60%. Maksymalny (100%) strumień świetlny  $\Phi_{\max}$  świetlówek z płynną rtęcią przypada zwykle na temperaturę panującą w rurze wyładowczej równą ok. 35°C, natomiast w zakresie wartości tej temperatury równym od ok. 25°C do ok. 50°C strumień świetlny nie jest mniejszy niż 90%  $\Phi_{\max}$ .

W świetłówkach amalgamatowych to zarówno temperatura w rurze wyładowczej jak i skład amalgamatu determinują ciśnienie par rtęci, a tym samym strumień świetlny. Idealną temperaturą w rurze wyładowczej tych świetlówek jest temperatura od ok. 50°C (80°C) do ok. 120°C (co odpowiada temperaturze otoczenia od ok. 5°C do ok. 70°C), w którym to zakresie temperatury wartości strumienia świetlnego wynoszą powyżej 90%  $\Phi_{\max}$ .

Odpowiednie wartości temperatury (i dalej ciśnienia) wewnątrz rury wyładowczej zależne są głównie od: mocy świetłówki, jej wymiarów, jej przestrzennego ułożenia (w powietrzu), temperatury otaczającego powietrza oraz temperatury, emisyjności i przestrzennego ułożenia powierzchni ciał otaczających świetłówkę. Pewnym prostym termokinetycznym układem wzorcowym, zwanym cieplnym układem odniesienia, może być układ, w którym świetłówka liniowa pracuje w ułożeniu poziomym w dużej przestrzeni wypełnionej spokojnym powietrzem o temperaturze  $t_f$  równej np. 20°C(25°C) i ograniczonej odległymi powierzchniami o temperaturze

$t_2(T_2)$  równej odpowiednio  $20^{\circ}\text{C}(25^{\circ}\text{C})$  ( $293\text{K}(298\text{K})$ ). Temperatury  $t_f$  i  $t_2$  równe np.  $20^{\circ}\text{C}(25^{\circ}\text{C})$  nazywa się temperaturami odniesienia (temperaturami otoczenia). Na rysunku 1 przedstawiono wymiary i wielkości cieplne świetłówki pracującej w cieplnym układzie odniesienia.



Rys. 1. Świetłówka pracująca w cieplnym układzie odniesienia

W zdefiniowanym powyżej układzie odniesienia moc cieplna  $P_c$  z wnętrza rury wyładowczej do otoczenia jest transportowana kolejno na drodze przewodzenia  $P_p$  przez szkło i dalej w sposób skojarzony na drodze zarówno wymiany radiacyjnej  $P_{r1-2}$  jak i konwekcyjnego przejmowania  $P_k$ . Przy dodatkowych głównych założeniach upraszczających, że: temperatura obszaru wyładowania jest równa temperaturze powierzchni wewnętrznej  $t_w$  rury świetłówki, powierzchnia zewnętrzna świetłówki jest izotermiczna i posiada jednakową emisyjność całkowitą  $\varepsilon_1$  (dla szkła  $\varepsilon_1$  jest równe ok. 0,8), powyższe moce można opisać wzorami:

$$P_c = P_p = \frac{2 \pi l_1 (t_w - t_1)}{\frac{1}{\lambda_s} \ln \frac{d_1}{d_w}} \quad (1)$$

$$P_c = P_k + P_{r1-2} = \alpha_k S_1 (t_1 - t_f) + S_1 \sigma \varepsilon_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (2)$$

gdzie:  $S_1$  – powierzchnia zewnętrzna rury świetłówki, w  $\text{m}^2$ ;  $l_1$  – długość rury świetłówki, w m;  $d_1$  – średnica zewnętrzna rury świetłówki, w m;  $d_w$  – średnica wewnętrzna rury świetłówki, w m;  $\lambda_s$  – przewodność cieplna właściwa szkła rury świetłówki równa ok.  $1 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ;  $\sigma$  – stała Stefana równa  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ ;  $t_1(T_1)$  – temperatura powierzchni zewnętrznej świetłówki, w  $^{\circ}\text{C}(\text{K})$ ;  $\alpha_k$  – współczynnik konwekcyjnego przejmowania ciepła, w  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , równy:

$$\alpha_k = 1,32 \left( \frac{t_1 - t_f}{d_1} \right)^{0,25} \quad (3)$$

Po uwzględnieniu wzoru (3) moc cieplna  $P_c$  (2) oraz gęstości powierzchniowe mocy  $q_c = P_c/S_1$ ,  $q_{r1-2} = P_{r1-2}/S_1$  i  $q_k = P_k/S_1$  wyniosą ostatecznie:

$$P_c = P_k + P_{r1-2} = 1,32 \left( \frac{t_1 - t_f}{d_1} \right)^{0,25} S_1 (t_1 - t_f) + S_1 \sigma \varepsilon_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (4)$$

$$q_c = q_k + q_{r1-2} = 1,32 \left( \frac{t_1 - t_f}{d_1} \right)^{0,25} (t_1 - t_f) + \sigma \varepsilon_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (5)$$

Przy rzeczywistej pracy świetłówki układ termokinetyczny – jaki tworzy świetłówka umieszczona w oprawach oświetleniowych różnej konstrukcji pracujących w temperaturze odniesienia np.  $20^{\circ}\text{C}(25^{\circ}\text{C})$  – jest o wiele bardziej skomplikowany. Praca w takim rzeczywistym układzie termokinetycznym, w którym temperatury  $t_f$  i  $t_2$  osiągają wartości różne i wyższe od ww. wartości temperatury odniesienia powoduje, że wartości temperatury w świetłowce są wyższe niż w przypadku jej pracy w ww. układzie odniesienia. W przypadku pracy świetłówek i opraw ze świetłówkami w temperaturach niższych niż ww. temperatury odniesienia (np.  $-15^{\circ}\text{C}$ ), wartości temperatury w świetłowce są zdecydowanie niższe niż w przypadku jej pracy w ww. układzie odniesienia.



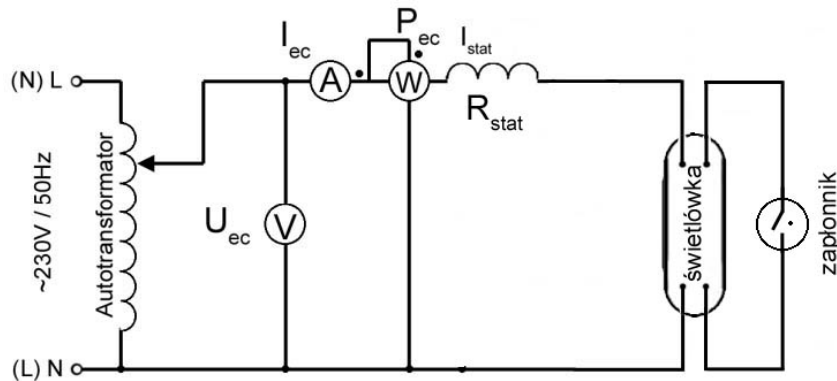
### 3. Program ćwiczenia

Zwymiarować świetłówki oraz zmierzyć, w cieplnie ustalonym stanie pracy każdej ze świetłówek wartości: napięć, mocy czynnych i prądów w ich obwodach zasilania oraz temperatur powierzchni zewnętrznej rur szklanych. Temperatury należy mierzyć z wykorzystaniem termoelementów NiCr-NiAl. Wykonać obliczenia przedstawione w punkcie 4.

Uwaga! Przy pomiarach temperatury z wykorzystaniem termoelementu NiCr-NiAl należy każdorazowo: określić temperaturę wolnych końców termoelementu, odczytywać (dla tej temperatury) z charakterystyki termometrycznej termoelementu NiCr-NiAl wartość siły elektromotorycznej  $E_{wk}$ , pomierzyć miliwoltmierzem wartość siły elektromotorycznej  $E_1$  termoelementu, wykonać dodawanie  $E_x = E_{wk} + E_1$  i dla siły elektromotorycznej  $E_x$  odczytać z charakterystyki termometrycznej termoelementu NiCr-NiAl wartość mierzonej temperatury  $t_x$  spoiny pomiarowej termoelementu.

### 4. Przebieg ćwiczenia

- zwymiarować każdą ze świetłówek podając wartości :  $d_1$ ,  $d_w$  oraz  $I_1$ ,
- określić wartości temperatury (otoczenia) powietrza  $t_f$  oraz ścian  $t_2$ ,
- podłączać kolejno każdą ze świetłówek do obwodu zgodnie z rysunkiem 2 i zasilac napięciem równym 230V,



Rys. 2. Obwody zasilania świetłówek

- po około 10 minutach pracy każdej ze świetłówek pomierzyć moc czynną  $P_s$  pobieraną z sieci oraz moc czynną  $P_{św}$  pobieraną przez świetłówkę,
- pomierzyć wartości temperatury  $t_{1pom}$  i  $t_e$  odpowiednio w środku i na końcu (początku) długości świetłówki,
- wyznaczyć moc cieplną  $P_c$  każdej ze świetłówek (przekazywaną z ich wnętrza do otoczenia (1),(2)) odliczając od ww. zmierzonej mocy czynnej świetłówki  $P_{św}$ : moc  $P_{vis}$  (wytworzoną na skutek elektroluminescencji (i dalej fotoluminescencji) wysyłaną w zakresie promieniowania widzialnego) równą od ok.  $0,28P_{św}$  (starsze świetłówki o niskiej skuteczności świetlnej) do ok.  $0,36P_{św}$  (świetłówki o wysokiej skuteczności świetlnej), oraz moc  $P_{elktr}$  (traconą w elektrodach i powodującą lokalny wzrost temperatury ( $t_e$ ) końców rur świetłówek) równą ok.  $0,17P_{św}$ , tzn.:

$$P_c = P_{św} - P_{vis} - P_{elktr} = P_{św} - (0,28 \div 0,36)P_{św} - 0,17P_{św} = (0,55 \div 0,43)P_{św} \quad (6)$$

**[Uwaga!!!** Po wyznaczeniu wartości  $P_c$  ze wzoru (6) i wstawieniu jej do wzorów: (1), (2) i (4), we wzorach tych w miejsce  $I_1$  ( w m) (oraz przy obliczaniu  $S_1$ ) wprowadzić  $I_{1obl} = I_1 - 2 \cdot 0,045$  ( w m) oraz  $S_1$ ]

- korzystając ze wzoru (5) wykreślić, dla każdej ze świetłówek i dla określonych powyżej wartości  $t_f = \text{const}$  oraz  $t_2 = \text{const}$ , przebieg funkcji  $t_1 = f(q_c)$  w zakresie zmienności  $t_1$  od ok.  $30^\circ\text{C}$  do ok.  $100^\circ\text{C}$ ,
- dla wyliczonych ze wzoru (6) wartości  $P_c$  odczytać, korzystając z ww. przebiegu funkcji  $t_1 = f(q_c)$ , obliczone wartości temperatury  $t_{1obl}$ ,
- porównać wartości temperatury:  $t_{1pom}$  i  $t_{1obl}$ ,
- korzystając ze wzoru (1) określić temperatury  $t_w$  wnętrza rur świetłówek,
- założyć, że wartości temperatury otoczenia są równe  $t_f = t_2 = -5^\circ\text{C}$  oraz  $t_f = t_2 = 50^\circ\text{C}$  i dla tych wartości wykreślić, korzystając ze wzoru (5) (dla każdej ze świetłówek), przebieg funkcji  $t_1 = f(q_c)$ ,

– dla wyliczonych ze wzoru (6) wartości  $P_c$  (i dalej wartości  $q_c=P_c/S_1$ ) odczytać, korzystając z ww. przebiegu funkcji  $t_1 = f(q_c)$ , obliczone wartości temperatury  $t_{1obl}$  i dalej, korzystając ze wzoru (1) określić temperatury  $t_w$  wnętrza rur świetlówek.

#### 5. Zawartość sprawozdania

- schemat oraz zwięzły opis badanych układów,
- zestawienie wszystkich pomiarów i obliczeń,
- analiza uzyskanych wyników,
- ocena badanych układów.

#### Literatura

- [1] Hauser J.: Elektrotechnika. Podstawy elektrotermii i techniki świetlnej. Wyd. Pol. Poznańskiej, 2006.
- [2] Hering M.: Termokinetyka dla elektryków. Warszawa, WNT 1980.
- [3] Hobler T.: Ruch ciepła i wymienniki. Warszawa, WNT 1979.