

Ćwiczenie 13

OŚWIETLENIE ELEKTRYCZNE

1. Wiadomości ogólne

Promieniowanie widzialne, zwane światłem jest to część energii promieniowej emitowanej przez źródło światła, na którą reaguje oko ludzkie. Zakres promieniowania widzialnego zajmuje wąskie pasmo, a mianowicie $\lambda = 380\text{--}750$ nanometrów ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Obejmuje ono wszystkie główne barwy w następującej kolejności: fioletowa - niebieska - zielona - żółta - pomarańczowa - czerwona.

1.1. Podstawowe wielkości stosowane w technice świetlnej

Strumień świetlny Φ - moc wypromieniowanej energii świetlnej. Elektryczne źródło światła pobiera z sieci pewną moc elektryczną i część tej mocy zamienia na strumień świetlny. Jednostką strumienia świetlnego Φ jest lumen [lm].

Światłość I - stosunek strumienia świetlnego do obejmującego go kąta przestrzennego. Dla równomiernego rozsyłu strumienia świetlnego:

$$I = \frac{\Phi}{\omega}, \quad (13.1)$$

gdzie: Φ - strumień świetlny, lm,
 ω - kąt przestrzenny, srd.

Światłość średnia:

$$I_o = \frac{\Phi_o}{4\pi}, \quad (13.2)$$

gdzie: Φ_o - całkowity strumień świetlny źródła światła.

Jednostką światłości jest kandela (cd):

$$1 \text{ cd} = \frac{1 \text{ lm}}{\text{srd}}.$$

Luminancja L (jaskrawość) w danym punkcie powierzchni źródła światła w danym kierunku, jest to stosunek światłości w danym kierunku do zastępczej powierzchni świecenia prostopadłej do kierunku patrzenia:

$$L = \frac{I}{S_z}, \quad (13.3)$$

gdzie: I - światłość, cd,
 S_z - powierzchnia świecąca, m².

Jednostką luminancji wynikającą z układu jednostek SI jest nit (nt):

$$1 \text{ nt} = 1 \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}.$$

Więszą jednostką luminancji powszechnie stosowaną w technice jest stilb (sb):

$$1 \text{ sb} = 1 \frac{\text{cd}}{\text{cm}^2} = 10^4 \text{ nt}.$$

Natężenie oświetlenia w danym punkcie powierzchni oświetlanej jest to stosunek strumienia świetlnego $d\Phi$ do oświetlanej powierzchni dS :

$$E = \frac{d\Phi}{dS}, \quad (13.4)$$

gdzie: E - natężenie oświetlenia, lx (luks),
 Φ - strumień świetlny, lm,
 S - pole powierzchni, m².

$$1 \text{ lx} = 1 \frac{\text{lm}}{\text{m}^2}.$$

Dla równomiernego rozkładu strumienia świetlnego Φ w obrębie pola S:

$$E = \frac{\Phi}{S}. \quad (13.5)$$

Zależność pomiędzy natężeniem oświetlenia E, panującym na powierzchni i światłością I źródła światła, oświetlającego tę powierzchnię równomiernie i prostopadle:

$$E = \frac{I}{l^2}, \quad (13.6)$$

gdzie: l - odstęp lampy od oświetlanej powierzchni, m.

Równomierność oświetlenia:

$$\varepsilon = \frac{E_{\min}}{E_{\max}}, \quad (13.7)$$

gdzie: E_{\min} - najmniejsze natężenie oświetlenia,
 E_{\max} - największe natężenie oświetlenia danej oświetlanej powierzchni poziomej.

Ilość światła Q jest to iloczyn strumienia świetlnego Φ wysyłanego przez samodzielne źródło światła i czasu świecenia t:

$$Q = \Phi \cdot t . \quad (13.8)$$

Jednostką ilości światła jest lumenosekunda (lms), względnie lumenogodzina (lmh).

Naświetlenie N powierzchni oświetlanej w przeciągu czasu t - iloczyn natężenia oświetlenia na tej powierzchni i czasu naświetlania:

$$N = E \cdot t . \quad (13.9)$$

Jednostką naświetlenia jest luksosekunda (lxs).

Sprawność źródła światła (skuteczność świetlna η) - stosunek całkowitego strumienia świetlnego Φ wyrażonego w lumenach (lm) do całkowitej mocy P pobranej przez źródło wyrażonej w watach:

$$\eta = \frac{\Phi}{P}, \frac{\text{lm}}{\text{W}} . \quad (13.10)$$

1.2. Źródła światła

Ze względu na zasadę działania elektryczne źródła światła można podzielić na trzy grupy:

- o temperaturowym wytwarzaniu światła (żarówki, lampy łukowe),
- o luminescencyjnym wytwarzaniu światła (lampy wyładowcze, rtęciowe, sodowe, fluorescencyjne - świetlówki),
- o mieszanym wytwarzaniu światła (lampy rtęciowo - żarowe).

Żarówki

Źródłem światła w żarówce jest włókno wolframowe, które pod wpływem prądu elektrycznego rozżarza się do wysokiej temperatury (około 2500°C).

Podstawowymi wielkościami znamionowymi żarówki są: napięcie, moc oraz strumień świetlny.

Moce żarówek głównego szeregu z bańkami ze szkła przezroczystego na napięcie 220 V wynoszą: 15, 25, 40, 60, 75, 100, 150, 200 W (gwint E27) oraz 300, 500, 1000, 1500 W (gwint E40).

Trwałość średnia żarówek wynosi 1000 godzin.

Strumień świetlny żarówek zależy w przybliżeniu od napięcia w drugiej potęgze, przy czym wzrost napięcia ponad napięcie znamionowe powoduje bardzo szybkie zmniejszenie jej trwałości. Strumień świetlny stopniowo maleje: po 500 godzinach świecenia wynosi średnio 90%, po 1000 godz. - średnio 85% strumienia początkowego.

Sprawność świetlna żarówek wzrasta wraz ze wzrostem jej mocy (tabela 13.1).

Tabela 13.1.

P	W	15	25	40	60	75	100	150	200
Φ	lm	120	220	350	630	850	1250	2090	2920
η	lm/W	8	8,8	8,8	10,5	11,3	12,5	13,9	14,6

Żarówki halogenowe

Żarnik tej żarówki też jest wykonany z wolframu, natomiast bańka jest wykonana ze szkła kwarcowego, znacznie odporniejszego na wysokie temperatury, co umożliwia pracę żarnika w wyższej temperaturze i znaczne zmniejszenie wymiarów żarówki. Wnętrze żarówki wypełnione jest gazem obojętnym z niewielką domieszką pierwiastków z grupy chlorowców (fluor, brom, jod, astat) zwanych halogenami. W tych żarówkach najczęściej stosuje się jod. Pary jodku w wysokiej temperaturze ulegają rozkładowi i pary wolframu wracają z powrotem do żarnika, dzięki czemu zwiększa się trwałość tych żarówek i skuteczność świetlna.

W wyniku zmniejszenia wymiarów, żarnik tej żarówki zbliża się do punktowego źródła światła, co ma istotne znaczenie w reflektorach samochodowych, projektorach.

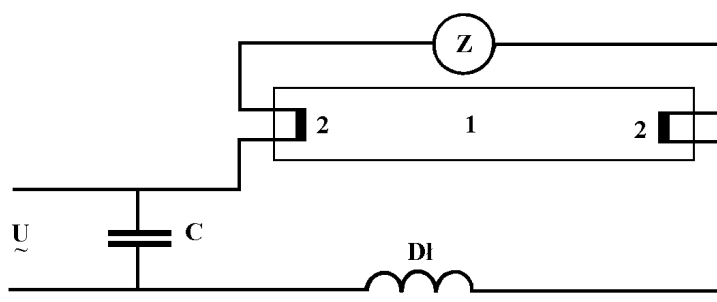
Skuteczność świetlna żarówek halogenowych wynosi około 50 lm/W.

Przy użytkowaniu lamp halogenowych ważne jest stosowanie tylko właściwych opraw ze względu na duże luminancje. Nie wolno dotykać gołą ręką bańki szklanej wykonanej z kwarcu, gdyż pot wchodzi w reakcję ze szkłem kwarcowym, powodując jego rekrytalizację.

Lampy fluorescencyjne (świetlówki)

Efekt świecenia uzyskuje się przez zastosowanie luminoforu na wewnętrznej ścianie rury, który zamienia promieniowanie ultrafioletowe pochodzące od wyładowania elektrycznego między elektrodami, w parach rtęci, na promieniowanie widzialne. Barwa światła jest zależna od składu chemicznego luminoforu.

Podstawowymi elementami składowymi lampy fluorescencyjnej są: rura jarzeniowa, dławik, zapłonnik oraz kondensator (rys. 13.1).



Rys. 13.1. Układ połączeń świetlówki: 1 - rura fluorescencyjna, 2 - elektrody, Dł - dławik, Z - zapłonnik, C - kondensator do poprawy współczynnika mocy

Po przyłączeniu świetlówki do źródła napięcia, elektrody zapłonika są rozwarne. Napięcie sieci jest zbyt niskie do zainicjowania wyładowań w rurze, wystarcza natomiast do powstania wyładowań tłących w zapłonniku. Jego elektrody bimetalowe nagrzewają się i po około 2 sek od włączenia napięcia, zwierają się. Przepływający prąd powoduje nagrzewanie elektrod i odparowanie rtęci. Dławik ogranicza prąd w obwodzie do około 1,5-krotnej wartości prądu roboczego. Po ostygnięciu, elektrody zapłonika rozwierają się powodując powstanie w dławiku znacznej siły elektromotorycznej samoindukcji ($L \frac{di}{dt}$, wartość około 700 V)

powodując zapoczątkowanie wyładowań w świetlówce.

W czasie pracy świetlówki, napięcie na rurze wynosi około 105÷115 V, natomiast na dławiku odkłada się różnica geometryczna napięcia sieci i napięcia na rurze. Napięcie zapłonu zapłonika wynosi około 170 V. Dławik obniża współczynnik mocy ($\cos\varphi = 0,4\div 0,6$), dlatego do jego poprawy stosuje się kondensator C.

Świetlówki mają ze wszystkich źródeł światła najmniejszą luminację (0,3÷0,9 sb), która dla żarówek wynosi 1000÷2000 sb, dla słońca 100000 sb. Świetlówki w porównaniu z żarówkami są 2,5÷3 razy trwalsze i mają około 3-krotnie większą skuteczność świetlną.

Wadą świetlówek jest stroboskopowość. Zjawisko to polega na zaniku strumienia świetlnego przy zmianach kierunku przepływu prądu. Powoduje to męczenie wzroku, a ponadto przy oświetlaniu wirujących części maszyn daje złudzenie braku ruchu tych części. Zjawisko to zmniejsza się stosując np. oprawy trzyrurowe przy zasilaniu trójfazowym.

W Polsce są produkowane świetlówki o mocach $5\div 52$ lm/W i długościach rury $0,14\div 1,2$ m.

Lampy rtęciowe

Promieniowanie widzialne pochodzi od wyładowania elektrycznego w parach rtęci jarznika. Zapoczątkowanie pracy lampy jest realizowane przez wyładowanie w argonie pomiędzy jedną z elektrod głównych a elektrodą pomocniczą umieszczonych w jarzniku (w jarzniku obok argonu znajduje się rtęć).

Jarznik wykonany jest ze szkła kwarcowego w kształcie rurki, która jest umieszczona wewnątrz bańki szklanej. Dla skorygowania barwy światła oraz zmniejszenia luminancji jarznika, wewnętrzną stronę bańki szklanej pokrywa się luminoforem. Ciśnienie wewnątrz jarznika wynosi od kilku do kilkunastu atmosfer. Lampy rtęciowe posiadają bardzo duży strumień świetlny (strumień największych lamp rtęciowych dochodzi do 100 000 lm) oraz dużą skuteczność świetlną, która dochodzi do 60 lm/W. Po zgaszeniu lampy rtęciowej ponowny zapłon następuje po ostygnięciu jarznika i obniżeniu się ciśnienia par rtęci, co trwa do 5 minut. Lampy rtęciowe na napięciu 220 V mają moce od $80\div 1000$ W, których strumień świetlny wynosi od 3 000÷50 000 lm.

Lampy rtęciowo-żarowe

Zwykła lampa rtęciowa daje światło biało-niebieskie pozbawione niemal promieni czerwonych, natomiast światło zwykłej żarówki ma ich pewien nadmiar. Przez połączenie tych lamp w jedną całość (lampa rtęciowo-żarowa) powstało źródło światła o znacznie lepszym składzie widmowym niż zwykłych lamp rtęciowych. Skuteczność świetlna tych lamp wynosi około 30 lm/W, natomiast trwałość około 9000 godzin.

Lampy sodowe

W jarzniku znajduje się sód metaliczny oraz neon. W czasie rozruchu lampy, wyładowanie w neonie dostarcza ciepła potrzebnego na odparowanie sodu metalicznego. Wyładowanie w parach sodu emituje niemal monochromatyczne światło o barwie żółto-pomarańczowej. Skuteczność świetlna lamp sodowych jest bardzo duża: zwykłych lamp do 65 lm/W, wysokoprężnych do 100 lm/W. Lampy te są stosowane do oświetlania pomieszczeń kontroli jak również do oświetlania

zewnątrznego (drogi, ulice, place). W świetle lamp sodowych wzrasta ostrość widzenia w kurzu i we mgle.

2. Wykonanie ćwiczenia

Część praktyczna ćwiczenia obejmuje:

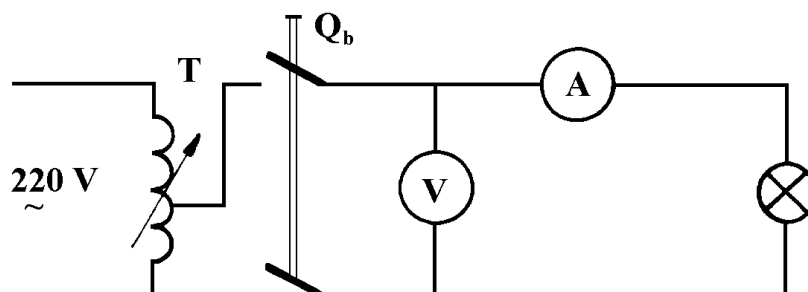
- pomiar charakterystyki napięciowo-prądowej żarówki,
- badanie układu elektrycznego świetlówki,
- badanie różnych źródeł światła pod względem skuteczności świetlnej,
- badanie oświetlenia sali laboratoryjnej.

2.1. Charakterystyka napięciowo-prądowa żarówki

Do badań użyć żarówki głównego szeregu o napięciu 230 V i przezroczystej bańce szklanej.

Dane znamionowe żarówki zanotować w protokole badań.

Zestawić układ pomiarowy przedstawiony na rys. 13.2.



Rys. 13.2. Układ do badania żarówki

Zmieniając autotransformatorem AT napięcie zasilające od $U_{\min} \div 240$ V wykonać około 7 – 8 punktów pomiarowych. Wartość U_{\min} jest warunkowana możliwością odczytów z amperomierza i woltomierza.

Wyniki pomiarów i obliczeń zestawić w tabeli 13.2.

Rezystancję żarówki R_z w temperaturze otoczenia pomierzyć technicznym mostkiem Wheatstone'a lub mostkiem RLC.

$$R_z = \dots\dots\dots \Omega$$

Tabela 13.2.

Lp.	Pomiary		Obliczenia	
	U	I	R	P
	V	A	Ω	W
1				
...				
7 ÷ 8				

$$R = \frac{U}{I}, \quad P = U \cdot I.$$

Na podstawie wyników uzyskanych z pomiarów i obliczeń należy:

- na jednym rysunku wykreślić charakterystyki: $I = f(U)$, $R = f(U)$, $P = f(U)$ i opisać współrzędne punktów na tych charakterystykach odpowiadające znamionowemu napięciu żarówki,
- porównać moc żarówki uzyskaną z pomiarów z mocą podaną na żarówce,
- określić względną zmianę rezystancji żarnika w stosunku do jego rezystancji w temperaturze otoczenia,
- określić bezwzględny i względny prąd włączenia żarówki przy zasilaniu napięciem znamionowym,

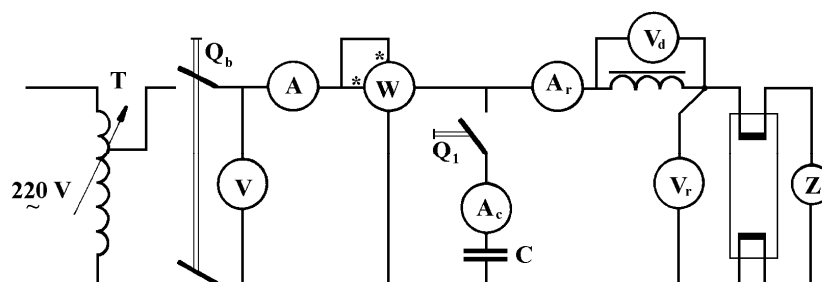
$$I_w = \frac{U_n}{R_z}, \quad \frac{I_w}{I_n},$$

gdzie: I_n – prąd odczytany z wykresu odpowiadający napięciu U_n ,

- omówić znaczenie prądu włączenia grupy żarówek włączanych jednym wyłącznikiem w odniesieniu do prądu znamionowego bezpiecznika.

2.2. Układ elektryczny świetlówki

Zestawić układ pomiarowy przedstawiony na rys. 13.3.



Rys. 13.3. Układ do badania świetlówki

Badania wykonać dla napięcia znamionowego świetlówki dla dwóch przypadków:

- z włączonym kondensatorem C,
- z wyłączonym kondensatorem C.

Wyniki pomiarów i obliczeń zestawić w tabeli 13.3.

Tabela 13.3.

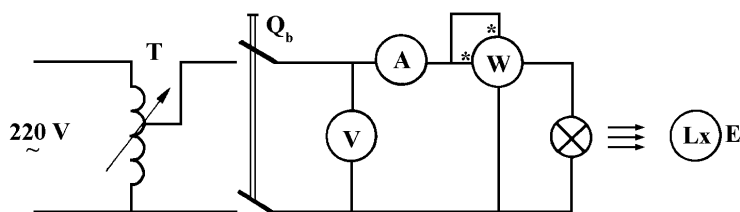
Układ	U	I	P	I _c	I _r	U _D	U _r	cosφ
	V	A	W	A	A	V	V	-
a)								
b)								

Współczynnik mocy: $\cos\phi = \frac{P}{U \cdot I}$.

Na podstawie pomiarów, dla obu układów narysować wykresy wskazowe napięć i prądów (obciążenie samej rury traktować jako obciążenie tylko czynne, napięcie U_r i prąd I_r , są ze sobą w fazie). Omówić wpływ kondensatora C na współczynnik mocy $\cos\phi$.

2.3. Skuteczność świetlna źródeł światła

Zestawić układ pomiarowy przedstawiony na rys. 13.4.



Rys. 13.4. Układ do badania skuteczności świetlnej źródeł światła

Badania przeprowadzić dla następujących źródeł:

- Żarówka wolframowa normalnogabarytowa.

2. Świetlówka normalna.
3. Świetlówka kompaktowa energooszczędna.
4. Lampa rtęciowo - żarowa.
5. Lampa sodowa.

Pomiary wykonać dla jednej wartości napięcia równego napięciom znamionowym badanych źródeł.

Wyniki pomiarów i obliczeń zestawić w tabeli 13.4.

Tabela 13.4.

Rodzaj źródła	Pomiary				Obliczenia	
	U	I	P	E	Φ_0	η
	V	A	W	Lx	lm	lm/W
Żarówka normalna						
Świetlówka normalna						
Świetlówka kompaktowa						
Lampa rtęciowo - żarowa						
Lampa sodowa						

Korzystając z zależności (13.2) i (13.6) można określić przybliżoną wartość całkowitego strumienia świetlnego:

$$\Phi_0 = 4\pi I_0 = 4\pi l^2 E,$$

gdzie: E - wskazania fotoelementu, Lx,

l - odległość między źródłem światła a fotoelementem, m.

Skuteczność świetlna:

$$\eta = \frac{\Phi_0}{P},$$

gdzie: P - moc czynna pobierana przez źródło z sieci.

Na podstawie wyników badań przeprowadzić dyskusję różnych źródeł światła pod względem skuteczności świetlnej a tym samym i zużycia energii elektrycznej na oświetlenie, oraz omówić zalety i wady poszczególnych źródeł.

Dane znamionowe podane na źródłach światła zamieścić w sprawozdaniu.

2.4. Badanie oświetlenia sali laboratoryjnej

Należy wykonać pomiary natężenia oświetlenia na powierzchni roboczej (na wysokości stołów laboratoryjnych) w trzech różnych punktach najlepiej oświetlonych i w trzech różnych punktach najgorzej oświetlonych.

Wyniki pomiarów i obliczeń zestawzić w tabeli 13.5.

Tabela 13.5.

E_{\max}	$E_{\max \text{ cer}}$	E_{\min}	$E_{\min \text{ cer}}$	ε
Lx	Lx	Lx	Lx	-

Równomierność oświetlenia;

$$\varepsilon = \frac{E_{\min \text{ śr}}}{E_{\max \text{ śr}}}$$

2.5. Wykaz przyrządów i aparatów

Należy, zgodnie z wytycznymi podanymi w części ogólnej skryptu podać wszystkie przyrządy pomiarowe, urządzenia i aparaty wykorzystywane w ćwiczeniu.

Zagadnienia do samodzielnego opracowaniu

1. Podstawowe wielkości stosowane w technice oświetleniowej: określenia, jednostki i zależności.
2. Skuteczność świetlna źródeł światła.
3. Żarówki głównego szeregu: budowa, działanie, szereg mocy.
4. Żarówki halogenowe: różnice w budowie w porównaniu z budową normalnych żarówek, istotne cechy żarówek halogenowych, użytkowanie lamp halogenowych.
5. Schemat elektryczny świetlówki i jej elementy składowe.

6. Rola dławika w układzie elektrycznym świetlówki.
7. Wykres wskazowy napięć i prądów układu elektrycznego świetlówki przy pracy z kondensatorem do kompensacji mocy biernej.
8. Lampa sodowa: budowa, działanie i zastosowania.
9. Wyznaczenie wartości strumienia świetlnego źródła światła na podstawie pomiarów natężenia oświetlenia.
10. Prąd włączenia pojedynczej żarówki i grupy żarówek w aspekcie zastosowanych zabezpieczeń nadprądowych w instalacji.

Literatura:

1. Markiewicz H.: Instalacje elektryczne. WNT, Warszawa 1996.
2. Praca zbiorowa pod redakcją W. Pietrzyka: Laboratorium z elektrotechniki i elektroniki. Skrypt Politechniki Lubelskiej. Lublin 1994.
3. Świrkowski E.: Instalacje elektryczne. PWN, Warszawa 1978.