

8. TECHNIKA ŚWIETLNA I ELEKTRYCZNE ŹRÓDŁA ŚWIATŁA

8.1. Cel i zakres ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest poznanie budowy i właściwości elektrycznych źródeł światła oraz metod badań i oceny oświetlenia elektrycznego. Podczas realizacji ćwiczenia należy określić parametry techniczne badanych źródeł światła, wyznaczyć charakterystyki natężenia oświetlenia i względnej wartości strumienia świetlnego od napięcia zasilającego dla różnych źródeł światła oraz dokonać oceny oświetlenia elektrycznego określonego pomieszczenia. *Należy również dla świetłówki liniowej zasilanej z elektronicznego statecznika z możliwością regulacji strumienia świetlnego wyznaczyć charakterystykę strumienia świetlnego lampy w funkcji napięcia linii sterującej (1-10V).*

8.2. Wiadomości podstawowe

8.2.1. Pojęcia podstawowe

Technika świetlna jest specyficzną i złożoną interdyscyplinarną dziedziną wiedzy obejmującą zagadnienia wytwarzania światła, formowania rozsyłu światła w przestrzeni, mierzenia światła i barwy oraz stosowania światła w celu oświetlenia obiektów i ich otoczenia. Składa się ona z takich rozdziałów jak: źródła światła, oprawy oświetleniowe, fotometria, kolorymetria i technika oświetlenia.

Pojęciem „elektryczne źródła światła” określa się urządzenia przetwarzające energię elektryczną w światło. Ze względu na sposób przemiany energii elektrycznej w promieniowanie elektromagnetyczne o częstotliwości zawartej w zakresie widzialnym widma, rozróżnia się elektryczne źródła światła:

- temperaturowe (np. żarówki),
- wyładowcze (np. lampy fluorescencyjne/ świetłówki/, lampy rtęciowe, lampy sodowe),
- temperaturowo-wyładowcze (np. lampy rtęciowo-żarowe, lampy ksenonowe, lampy łukowe),
- inne, specjalnego przeznaczenia (np. lampy „laserowe”).

Spośród wymienionej całej gamy różnorodnych źródeł światła, najczęściej wykorzystywane w praktyce, zdefiniowano w tabeli 8.1, natomiast poniżej skrótowo omówiono te, które będą przedmiotem badań laboratoryjnych.

W żarówkach strumień świetlny powstaje w wyniku promieniowania cieplnego w żarniku wykonanym ze skrętki wolframowej umieszczonej w szklanej bańce. Żarówkę wykonuje się jako próżniowe (o mocy do 25 W) lub bańki szklane wypełnia się azotem, argonem lub gazem obojętnym (dla mocy większych niż 25 W) uzyskując wyższą temperaturę żarników (do 3000 K).

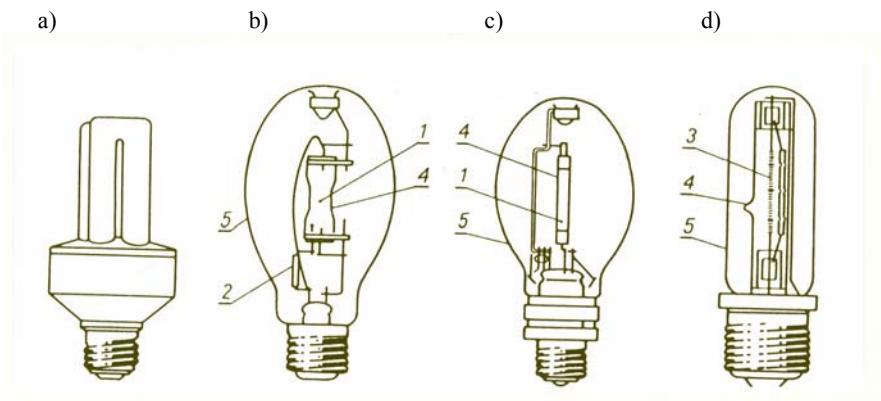
W lampach fluorescencyjnych (światłówkach) strumień świetlny powstaje w wyniku wyładowania elektrycznego w rozrzedzonych parach rtęci (ciśnienie ok. 1 Pa) i przetworzeniu niewidzialnego promieniowania nadfioletowego w odpowiednio dobranym luminoforze, pokrywającym wewnątrz szklanych rur lamp, na promieniowanie o pożądanej barwie światła (dienne, białe, ciepłobiałe). Ze względu na budowę światłówki dzielimy na standardowe i o budowie zwartej typu kompakt (rys.8.1 a).

W lampach rtęciowych wysokoprężnych (rys.8.1 d). strumień świetlny powstaje w wyniku wyładowania łukowego w parach rtęci o wysokim ciśnieniu (do 2 MPa) niekiedy z dodatkiem halogenów, w jarzniku ze szkła kwarcowego umieszczonym w bańce szklanej zbliżonej do żarówki. Korekta barwy światła z niebieskozielonej na zbliżoną do białej (diennej) dokonuje się w luminoforze pokrywającym wewnętrzną powierzchnię bańki.

W lampach sodowych strumień świetlny powstaje w wyniku wyładowania w jarzniku wypełnionym głównie parami sodu. Ze względu na ciśnienie par sodu w czasie świecenia wyróżnia się lampy sodowe wysokoprężne (rys.8.1 c) dające monochromatyczną żółtistożółtą barwę światła oraz niskoprężne dające żółtopomarańczową barwę światła.

Tabela 8.1. Podstawowe definicje stosowanych obecnie elektrycznych źródeł światła

Typ lampy	Definicja
Lampa halogenowa	Lampa żarowa wypełniona gazem, zawierająca skrętkę wolframową i małą ilość halogenków.
Lampa indukcyjna	Lampa funkcjonująca na zasadzie działania wysokoprężnej lampy rtęciowej, jednak bez zastosowania elektrod. Jonizacja gazów w rurce wyładowczej uzyskiwana jest w procesie indukcji elektromagnetycznej pola wysokiej częstotliwości.
Lampa metalo-halogenkowa	Wyładowcza lampa, w której światło powstaje w wyniku promieniowania mieszaniny pary metalu (np. rtęci) i produktów rozkładu halogenków (np. halogenków talu, indu lub sodu)
Niskoprężna lampa rtęciowa	Lampa zawierająca pary rtęci, pokryta lub nie luminoforem, w której ciśnienie cząstkowe par podczas pracy nie przekracza 5 Pa .
Wysokoprężna lampa rtęciowa	Lampa zawierająca pary rtęci, pokryta warstwą luminoforu lub bez niej, w której ciśnienie cząstkowe podczas pracy dochodzi do wartości 2 MPa.
Niskoprężna lampa sodowa	Lampa zawierająca pary sodu, w której ciśnienie cząstkowe par podczas pracy nie przekracza 5 Pa
Wysokoprężna lampa sodowa	Lampa zawierająca pary sodu, w której ciśnienie sodu podczas pracy jest rzędu 2 MPa..
Lampa wyładowcza	Lampa w której światło wytwarzane jest bezpośrednio lub pośrednio przez wyładowanie elektryczne w gazie, oparach metalu lub mieszaninie gazów metalu
Żarówki	Źródło, w którym światło jest wytwarzane przez element rozgrzany do stanu żarzenia na skutek przepływu prądu elektrycznego.



Rys.8.1. Różne konstrukcje lamp oświetleniowych: a) świetlówka typu kompakt, b) lampa rtęciowa wysokoprężna, c) lampa sodowa wysokoprężna, d) lampa halogenowa: 1 - żarnik, 2- opornik ograniczający elektrody pomocniczej, 3 - żarnik wolframowy, 4 - bańka wewnętrzna ze szkła kwarcowego, 5 - bańka zewnętrzna szklana.

Cechą charakterystyczną źródła światła jest wysyłanie w przestrzeń energii promienistej. Wypromieniowany strumień świetlny, jeśli charakteryzuje się jedną długością fali nazywany jest jednorodnym lub monochromatycznym. Jeśli natomiast charakteryzuje się różnymi długościami fal nazywany jest złożonym. Strumień złożony może się składać z kilku strumieni jednorodnych lub tworzyć widmo ciągłe.

Źródła światła charakteryzują wielkości fotometryczne, które są odpowiednikami wielkości energetycznych, przydatnymi do charakteryzowania promieniowania ze względu na skuteczność wywoływania wrażeń wzrokowych.

Do podstawowych wielkości fotometrycznych zalicza się: strumień świetlny, światłość, natężenie oświetlenia i luminancję.

Strumień świetlny Φ stanowi miarę wrażenia wzrokowego i jest iloczynem strumienia wypromieniowanego o pełnej długości fali i względnej czułości oka dla danej długości fali. Jednostką strumienia świetlnego jest lumen [lm].

Światłość I jest definiowana jako gęstość kątowna strumienia świetlnego wysyłanego przez źródło w danym kierunku i obliczana jest zgodnie ze wzorem:

$$I = \frac{d\phi}{d\omega} \quad (8.1)$$

Jednostką światłości jest kandela [cd = 1lm/ 1sr].

Światłość odnosi się do ilości światła emitowanego przez źródło na jednostkę kąta bryłowego w określonym kierunku. Wykorzystując tę informację można stworzyć wykresy światłości obrazujące rozsył światła z oprawy.

Natężenie oświetlenia E jest gęstością powierzchniową strumienia świetlnego na oświetlonej powierzchni. Natężenie E jest, więc wytwarzane jest przez strumień świetlny Φ padający na powierzchnię S .

Jeżeli strumień świetlny pada prostopadle na powierzchnię S , to natężenie E określa się zgodnie ze wzorem:

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (8.2)$$

Jednostką natężenia oświetlenia jest luks [$\text{lx} = \text{lm}/\text{m}^2$].

Luminancja określa ilość światła, która jest widziana przez obserwatora. Jeśli powierzchnie są oświetlone luminancja zależy zarówno od poziomu natężenia oświetlenia, jak od właściwości refleksyjnych samej powierzchni.

Luminancja L powierzchni świecącej źródła światła dS , tworzącej z kierunkiem promieniowania kąt α określana jest poprzez zależność:

$$L = \frac{I}{dS \cos \alpha} \quad (8.3)$$

Jednostką luminancji jest kandela na metr kwadratowy [cd/m^2].

8.2.2. Cechy charakterystyczne źródeł światła

Źródła światła charakteryzują się następującymi parametrami, decydującymi o ich przeznaczeniu i rozpowszechnieniu: strumieniem świetlnym, skutecznością świetlną (wydajnością), barwą światła, współczynnikiem oddawania barw, trwałością (czasem życia), mocą, napięciem pracy lampy i oprawy, współczynnikiem mocy, wrażliwością na wahania napięcia, budową oprawy oświetleniowej, typem trzonka, wykończeniem, masą netto.

Skuteczność świetlna Ψ źródła jest miarą efektywności przemiany energii elektrycznej w energię świetlną. Określona jest stosunkiem wysyłanego strumienia Φ do mocy P pobieranej przez źródło.

$$\Psi = \frac{\Phi}{P} \quad (8.4)$$

Jednostką skuteczności jest lumen na wat [lm/W].

Barwa światła to ogólne, subiektywne wrażenie barwy światła emitowanego przez źródło.

Trwałość to czas, w którym źródło światła świeciło się nim wygasło lub nim przestało spełniać określone wymagania dotyczące wielkości wysyłanego strumienia świetlnego.

Współczynnik mocy jest to iloraz wartości mocy czynnej i iloczynu wartości skutecznych prądu i napięcia. W przypadku przebiegów sinusoidalnych odpowiada on wartości kosinusa kąta pomiędzy wektorami prądu i napięcia.

Oprawa oświetleniowa to urządzenie służące do rozsyłania, filtrowania lub przekształcania światła lampy lub lamp w niej zawartych, które zawiera niezbędne elementy do mocowania i ochrony lamp oraz przyłączenia ich do sieci zasilającej.

Każda grupa źródeł światła odznacza się pewną specyfiką w opisie i zakresie kluczowych parametrów technicznych. W tabeli 8.2 dla źródeł światła stosowanych do oświetlenia ogólnego dokonano ich porównania pod kątem mocy, strumienia świetlnego, skuteczności świetlnej, trwałości, współczynnika oddawania barw oraz kluczowej cechy konstrukcyjnej - konieczności posiadania układu stabilizacyjno-zapłonowego oraz ewentualnego czasu zapłonu źródła światła. W tabelach 8.2 – 8.8 przedstawiono szczegółowe, kluczowe dane niektórych produkowanych w kraju przez koncern Philips Lighting lamp: halogenowych, żarowych, fluorescencyjnych typu kompakt, fluorescencyjnych standardowych, wysokoprężnych rtęciowych i wysokoprężnych sodowych.

Podczas projektowania i badań oświetlenia elektrycznego należy określić jego podstawowe parametry: klasę oświetlenia, rodzaj źródła światła, wymagane i rzeczywiste natężenie oświetlenia, rodzaje i rozmieszczenie opraw, granice luminancji, równomierność oświetlenia.

Wybór i określenie tych wielkości wymaga dokładnej analizy przeznaczenia pomieszczenia i rodzaju wykonywanej pracy.

Tabela. 8.2. Parametry niektórych lamp halogenowych produkcji Philips

Typ	Napięcie [V]	Moc [W]	Trzonek	Wykończenie	Kształt bańki	Strumień świetlny [lm]	Czas życia lampy 50% [h].	Numer katalogowy EOC
Świecezka 14017	230	40	E14	Przeźroczysta	BS35	500	2000	498144
Świecezka 14020	230	60	E14	Przeźroczysta	BS35	840	2000	498120
Świecezka 13638	230	40	E14	Przeźroczysta	CG35	500	2000	494788
Globe 13641	230	60	E27	Biała	G95	780	2000	495204
Globe 13664	230	100	E27	Biała	G95	1450	2000	031501
Globe 13666	230	150	E27	Biała	G95	2350	2000	031501

Tabela. 8.3. Dane techniczne charakteryzujące wybrane źródła światła do ogólnych celów oświetleniowych

Rodzaj źródła światła	Moc [W]	Φ [lm]	Ψ [lm/W]	Trwałość [h]	Wsp. oddawania barw Ra	Układ stabilizacyjno-zapłonowy	Czas zapłonu [min]
Żarówki	15-500	120-8400	8-17	1000	100	-	-
Żarówki halogenowe	5-1000	60-24200	12-24	2000	100	-	-
Świetlówki standardowe	15-58	650 -5200	50-104	12000	58 - 98	Statecznik indukcyjny lub elektroniczny i zapłonnik lub układ bezzapłonnikowy	-
Świetlówki budowy zwartej	5-55	20 -4800	40 - 88	8000	85 - 96	Statecznik wbudowany indukcyjny lub elektroniczny i zapłonnik wbudowany lub tradycyjny	1
Wysokoprężne lampy rtęciowe	50-400	1600-24000	36 - 58	15000	15 - 52	Statecznik indukcyjny	3
Lampy rtęciowo-żarowe	100-500	1100-13000	11 - 26	6000	50 -70	Żarnik	do 2
Lampy metalohalogenkowe	3 -400	2400-95000	54-120	6000	60 - 89	Statecznik indukcyjny lub elektroniczny i układ zapłonowy	3
Wysokoprężne lampy sodowe	50-400	4400-55000	57-132	12000	20 -65	Statecznik indukcyjny lub elektroniczny i układ zapłonowy zewnętrzny lub wbudowany	5
Niskoprężna lampa sodowa	1 -180	1800 - 33000	98 - 200	6000	-	Statecznik indukcyjny lub elektroniczny i układ zapłonowy zewnętrzny lub wbudowany	10

Tabela. 8.4. Parametry niektórych lamp żarowych produkcji Philips

Typ	Napięcie [V]	Moc [W]	Gwint	Wykończenie	Φ [lm]	Czas życia lampy 50% [h].	Numer kat. EOC
Standardowy A60	230	15	E27	Przeźroczysta	120	1000	024794
Standardowy A60	230	25	E27	Przeźroczysta	220	1000	011343
Standardowy A60	230	40	E27	Przeźroczysta	425	1000	011367
Standardowy A60	230	60	E27	Przeźroczysta	720	1000	011381
Standardowy A60	230	75	E27	Przeźroczysta	950	1000	011404
Standardowy A60	230	100	E27	Przeźroczysta	1360	1000	011213

Tabela. 8.5. Parametry niektórych świetlówek kompaktowych typu ECOTONE produkcji Philips

Moc [W]	Pobór mocy [W]	Gwint	Napięcie/Częstotl. [V] / [Hz]	Φ [lm]	Ψ [lm/W]	Prąd lampy [mA]	Wsp. mocy	Trwał. lampy	Numer kat. EOC
25	6	E27	230-240/50-60	200	33	48	0,55	6000	871480
40	9	E27	230-240/50-60	400	44	63	0,58	6000	867780
60	11	E27	230-240/50-60	600	54	77	0,61	6000	867889
75	14	E27	230-240/50-60	900	56	93	0,63	6000	872623
100	18	E27	230-240/50-60	1200	60	120	0,65	6000	872647

Tabela. 8.6. Parametry niektórych świetlówek produkcji Philips

Typ	Gwint	Napięcie lampy [V]	Prąd lampy [A]	Barwa światła	Φ [lm]	L_{sr} [cd/cm ²]	Numer kat. EOC
TL 20W/33	G13	57	0,37	Biała	1100	0,59	717207
TL 40W/33	G13	107	0,43	Biała	2850	0,73	717870
TL 65W/33	G13	110	0,67	Biała	4650	0,94	719119
TLM 115W/33RS	G13	92	1,50	Biała	6850	1,74	725370
TLM 140W/33RS	G13	114	1,46	Biała	8350	1,69	7254

Tabela. 8.7. Parametry niektórych wysokoprężnych lamp rtęciowych produkcji Philips

Typ	Gwint	Moc lampy [W]	Napięcie lampy [V]	Prąd lampy [A]	Φ [lm]	Numer kat. EOC
HPL COMFORT 50W	E27	50	95	0,61	2000	180872
HPL COMFORT 80W	E27	80	115	0,80	4000	180902
HPL COMFORT 125	E27	125	125	1,15	6700	180995
HPL COMFORT 250W HG	E40	250	135	2,13	14200	181022
HPL COMFORT 400W HG	E40	400	140	3,25	24200	181053

Tabela. 8.8. Parametry niektórych wysokoprężnych lamp sodowych produkcji Philips

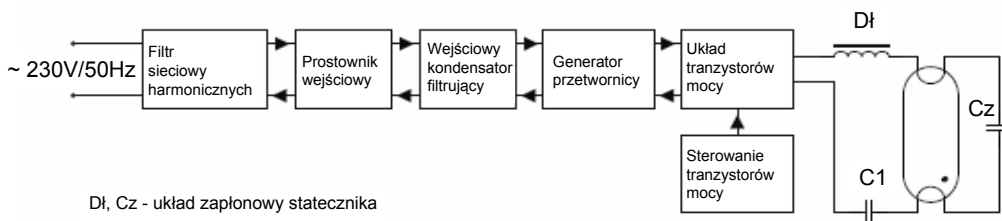
Typ	Gwint	Moc Lampy [W]	Napięcie lampy [V]	Prąd lampy [A]	Φ [lm]	Skuteczność świetlna [lm/W]
SON PLUS 100 W	E40	100	100	1,20	10000	100
SON PLUS 150 W	E40	150	100	1,80	16000	107
SON PLUS 250 W	E40	250	105	2,85	30000	120
SON PLUS 400 W	E40	400	105	4,50	54000	135

8.2.3. Sterowanie strumieniem świetlnym lamp fluorescencyjnych

Sterowanie strumieniem świetlnym świetlówek jest bardziej złożone niż w przypadku żarówek, gdzie najprostsze rozwiązanie polega na sterowaniu fazowym w obwodzie napięcia sieciowego (50 Hz, 230 V), np. na nastawianiu kąta fazowego zapłonu triaka lub tyrystora w obwodzie żarówki. W przypadku świetlówek ściemnianie jest o tyle trudne, że przy każdym naturalnym przejściu prądu przez zero, a tym bardziej przy dłuższej pauzie bezprądowej, wyladowanie gaśnie i musi być na nowo zapoczątkowane.

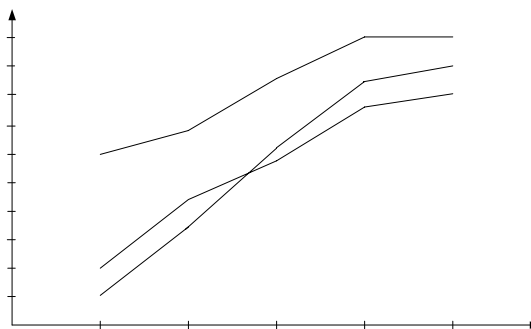
Wprowadzenie statecznika elektronicznego, czyli zasilacza świetlówek z prądem wyjściowym o częstotliwości kilkudziesięciu kiloherców (25 ÷ 100 kHz), z wbudowanymi układami zapewniającymi zapłon, stabilizację prądu dało możliwość regulacji strumienia świetlnego lamp fluorescencyjnych.

Statecznik elektroniczny składa się z kilku bloków układów elektronicznych (rys.8.2) o zasadniczym znaczeniu dla jego poprawnej i bezawaryjnej pracy.



Rys. 8.2 Typowy schemat blokowy statecznika elektronicznego

Istotnym parametrem dla stateczników elektronicznych jest rodzaj stosowanego zapłonu dla świetlówek (rys. 8.3). Możemy wyróżnić ciepły (elektrody w lampie są wstępnie podgrzewane co wpływa na mniejsze zużycie elektrod podczas zapłonu, czas zapłonu ok. 1,5s) i zimny start (elektrody nie są podgrzewane przed zapłonem co wpływa na większe zużycie elektrod, małe zużycie energii podczas zapłonu, czas zapłonu około 0,5s). Wpływ rodzaju zapłonu na trwałość świetlówek, dla różnych cykli pracy, przedstawiono na rysunku 8.3.



Rys. 8.3 Wpływ rodzaju zapłonu na trwałość świetlówek

Pełne możliwości automatycznej kontroli oświetlenia uzyskać można stosując oprawy oświetleniowe wyposażone w stateczniki elektroniczne z możliwością regulacji strumienia świetlnego. Obecnie dostępnych jest na rynku kilka rozwiązań umożliwiających sterowanie strumieniem świetlnym:

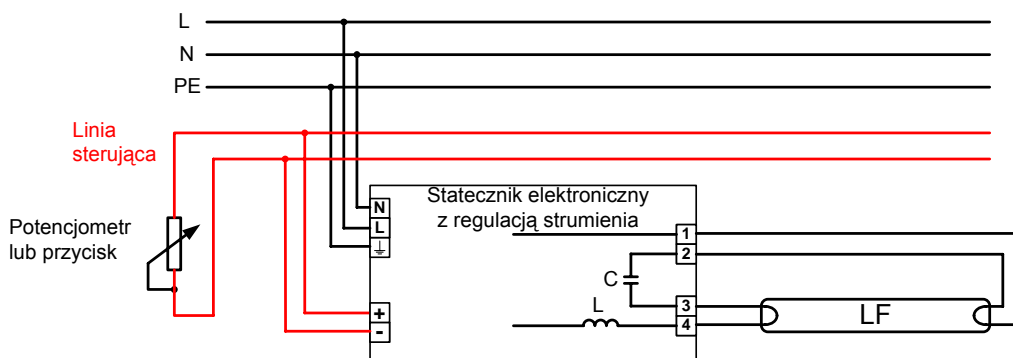
- *HFR* - stateczniki z wejściem regulacyjnym 1-10V,
- *DALI* - stateczniki z wejściem dla sterowników *DALI* (ang. *Digital Addressable Lighting Interface*),
- *TD* - stateczniki z wejściem tzw. „*Touch and Dim*” (wejście dla włączników monostabilnych (dzwonkowych)).

Praktycznie wszystkie stateczniki elektroniczne z możliwością regulacji strumienia świetlnego posiadają funkcję ciepłego startu.

Stateczniki z wejściem regulacyjnym 1-10V

W statecznikach tych stosowany jest analogowy system sterowania strumieniem świetlnym lamp fluorescencyjnych. Regulacji strumienia dokonuje się za pomocą linii sterującej napięciem stałym 1-10V:

- napięcie w linii sterującej ma wartość 10V (przewód sterujący odłączony) – strumień świetlny lampy ma wartość znamionową (100%), częstotliwość napięcia na lampie wynosi ok. 40 kHz,
- napięcie w linii sterującej ma wartość 1V (przewód sterujący zwarty) – strumień świetlny lampy ma wartość 1% (dla świetlówek liniowych) i 3% (dla świetlówek kompaktowych) strumienia znamionowego, częstotliwość napięcia na lampie wynosi ok. 100 kHz.



Rys. 8.4 Układ połączeń statecznika elektronicznego, regulowanego 1-10V

Regulacja napięcia linii sterującej powoduje zmianę częstotliwości pracy układu. Zmiana częstotliwości powoduje z kolei zmianę impedancji cewki L i kondensatora C (rys. 8.4). Zmiany impedancji tych elementów wpływają na wartość prądu płynącego przez lampę, od którego zależy strumień świetlny lampy.

8.2.4. Podstawowe wymagania dotyczące oświetlenia elektrycznego

Wymagania dotyczące elektrycznego oświetlenia wewnątrz budynków określa norma PN-84/E-02033. Wyróżnia ona 7 rodzajów oświetlenia zdefiniowanych w tabeli 8.9.

Tabela 8.9. Definicje rodzajów oświetlenia wewnątrz budynków

Rodzaj oświetlenia	Definicja
Oświetlenie podstawowe	Oświetlenie przewidziane dla danego rodzaju pomieszczenia, urządzenia lub czynności w normalnych warunkach pracy
Oświetlenie awaryjne	Oświetlenie przewidziane do stosowania w niektórych przypadkach, podczas zaniku oświetlenia podstawowego
Oświetlenie bezpieczeństwa	Rodzaj oświetlenia awaryjnego umożliwiający bezpieczne dokończenie, a w niektórych przypadkach kontynuację wykonywanych czynności
Oświetlenie ewakuacyjne	Rodzaj oświetlenia awaryjnego umożliwiający łatwe i pewne wyjście z budynku w czasie zaniku oświetlenia podstawowego
Oświetlenie ogólne	Oświetlenie przestrzeni bez uwzględnienia szczególnych wymagań dotyczących oświetlenia niektórych jej części
Oświetlenie miejscowe	Oświetlenie niektórych części przestrzeni. np. miejsc pracy z uwzględnieniem szczególnych potrzeb oświetleniowych, w celu zwiększenia natężenia oświetlenia, uwidocznienia szczegółów itp.
Oświetlenie złożone	Oświetlenie składające się z oświetlenia ogólnego i oświetlenia miejscowego

Kluczowe dla człowieka w danym obiekcie lub pomieszczeniu jest odpowiednie oświetlenie podstawowe. Wymagany poziom tego oświetlenia można uzyskać poprzez zastosowanie oświetlenia ogólnego lub złożonego. Oświetlenie ogólne oznacza zastosowanie do równoczesnego oświetlenia stanowisk pracy i ich otoczenia pojedynczego zespołu opraw. Oświetlenie złożone natomiast wiąże się z zastosowaniem do oświetlenia dwóch zespołów opraw obejmujących zespół oświetlenia ogólnego i zespół oświetlenia miejscowego (np. lampki przy stanowiskach pracy).

Przy wymaganych niewielkich natężeniach należy stosować oświetlenie ogólne, przy średnich jeden lub drugi rodzaj oświetlenia, przy wysokich drugi rodzaj

oświetlenia. Podstawą do przyjęcia rodzaju oświetlenia jest dokonanie analizy zgodnie z tabelą 8.10.

Tabela 8.10. Zakresy stosowania oświetlenia ogólnego i złożonego

Najmniejsze dopuszczalne średnie natężenie oświetlenia [lx]	Rodzaj oświetlenia
Poniżej 200	Ogólne
Od 200 do 750	Ogólne w pomieszczeniach gdzie wykonywane są czynności o tym samym stopniu trudności wzrokowej
Od 200 do 750	Ogólne lub złożone
powyżej 750	Złożone

Do oświetlenia ogólnego pomieszczeń przemysłowych zaleca się stosowanie lamp fluorescencyjnych i wyładowczych, a do nieprzemysłowych lamp żarowych i fluorescencyjnych. Podstawą do zastosowania odpowiednich źródeł światła jest dokonanie analizy zgodnie z tabelą 8.11. W pomieszczeniach w których proces technologiczny wymaga uwydatnienia barw przedmiotów przez źródła światła oświetlenia ogólnego należy stosować takie źródła światła, które spełniają to wymaganie niezależnie od wysokości zawieszenia lamp.

Tabela 8.11. Typy lamp zalecane do oświetlenia pomieszczeń przemysłowych i nieprzemysłowych

Rodzaj pomieszczenia	Wysokość pomieszczenia H [m]	Zalecany rodzaj oświetlenia
Przemysłowe	$H < 4$	Fluorescencyjne (światłówki)
Przemysłowe	$4 < H < 8$	Fluorescencyjne lub wyładowcze w zależności od wymagań jakościowych oświetlenia
Przemysłowe	$8 < H$	Wyładowcze rtęciowe o widmie skorygowanym Rtęciowo-żarowe
Nieprzemysłowe		Żarowe lub fluorescencyjne o świetle białym lub ciepłobiałym

Najistotniejsze wymagania dotyczące oświetlenia podstawowego w pomieszczeniach i budynkach wiążą się z zachowaniem odpowiedniego poziomu średniego natężenia oświetlenia E i odpowiedniego poziomu współczynnika równomierności oświetlenia δ .

Zgodnie z normą PN-64/E-02033 średnie natężenie oświetlenia na płaszczyźnie roboczej nie powinno być mniejsze od wartości podanych w tabeli 8.12. Zależność tą przedstawiono wzorem 8.5.

$$E_{\text{sr}} > E_{\text{dop min}} \quad (8.5)$$

gdzie: E_{sr} , $E_{\text{dop min}}$ - średnie i minimalne, dopuszczalne zgodnie z normą natężenie oświetlenia na płaszczyźnie roboczej.

Najmniejsze dopuszczalne średnie natężenie oświetlenia, potrzebne do prowadzenia określonych czynności, ustala się dla przeciętnych warunków wykonania tej czynności na podstawie szczegółowego wykazu wybranych przykładowych czynności, pomieszczeń lub urządzeń i przypisanych im najmniejszych wymaganych wartości natężenia oświetlenia podanych w układzie branżowym w załącznikach wymienionej wcześniej normy. Minimalne średnie natężenia oświetlenia stanowią szereg: 10, 20, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1000, 2000, 3000 i 5000 [lx].

Podane minimalne wartości natężenia oświetlenia należy zwiększyć o jeden stopień w szeregu, jeśli przedmiot pracy wzrokowej ma współczynnik odbicia poniżej 0,2 lub występują na nim małe kontrasty. W sytuacji gdy pracownikami są osoby powyżej 40 lat lub błędy popełnione przy postrzeganiu mogą spowodować groźny uraz lub duże straty materialne należy postąpić analogicznie.

Jeżeli analizowana czynność nie jest objęta wymienioną normą, to wymagane natężenie oświetlenia ustala się w zależności od wielkości pozornej szczegółu, współczynnika odbicia powierzchni przedmiotu i kontrastu między szczegółem a jego tłem. Analiza podanych kryteriów umożliwia zakwalifikowanie danej czynności do jednego z trzech stopni trudności pracy wzrokowej, tym większego, im mniejszy jest współczynnik odbicia powierzchni przedmiotu pracy i wyodrębnienie jego szczegółów z tła. W tabeli 8.12 podano przykłady kwalifikacji wielkości pozornych szczegółów pracy wzrokowej oraz najmniejszą, dopuszczalną zgodnie z normą, wartość średniego natężenia oświetlenia dla drugiego stopnia trudności pracy wzrokowej.

Zgodnie z normą PN-64/E-02033 współczynnik równomierności oświetlenia δ na płaszczyźnie roboczej przy pracy ciągłej powinien wynosić co najmniej 0,65, a przy pracy krótkotrwałej i strefach komunikacyjnych co najmniej 0,4.

Współczynnik równomierności oświetlenia (na danej płaszczyźnie) jest definiowany zgodnie ze wzorem (8.6) jako stosunek natężenia oświetlenia najmniejszego do średniego na tej płaszczyźnie. Jego wartość decyduje w dużym stopniu o jakości oświetlenia.

$$\delta = \frac{E_{\text{min}}}{E_{\text{sr}}} \quad (8.6)$$

gdzie: E_{sr} , E_{min} - średnie i minimalne natężenie oświetlenia na płaszczyźnie roboczej.

Tabela 8.12. Wybrane stopnie natężenia oświetlenia i ich zastosowanie

Wymagania wzrokowe	Wielkość pozorna szczegółu pracy	Rodzaje czynności lub pomieszczenia /przykłady/	Najmniejsze dopuszczalne średnie natężenie oświetlenia [lx]
Praca przy ograniczonych wymaganiach wzrokowych	Średnia	Mało dokładne prace ślusarskie, prace na obrabiarkach Jadalnie, bufety, świetlice, sale gimnastyczne, portiernie	200
Praca przy przeciętnych wymaganiach wzrokowych	Dość mała	Średnio dokładne prace ślusarskie, prace na maszynach do metali, lakierowanie, prace biurowe	300
Praca przy dużych wymaganiach wzrokowych	Mała	Dokładne prace ślusarskie, prace na maszynach do metali, szycie na maszynie	500
Długotrwała i wyciężona praca wzrokowa	Bardzo mała	Bardzo dokładne prace ślusarskie, prace na maszynach do metali, szlifowanie szkła optycznych, prace kreślarskie	750
Długotrwała i wyjątkowo wyciężona praca wzrokowa	Krańcowo mała	Montaż najmniejszych części i elementów elektronicznych	1000

Przy analizie oświetlenia podstawowego posługujemy się pojęciem płaszczyzny roboczej. Stanowi ona powierzchnię odniesieniową wyznaczoną płaszczyzną, na której zwykle wykonywana jest praca. Jeśli nie wynika to z odmiennego usytuowania stanowisk pracy lub ich ograniczonych względnych wymiarów, za powierzchnię roboczą przyjmuje się poziomą płaszczyznę na wysokości 0,85 [m] od podłogi, ograniczoną ścianami pomieszczenia, zaś w strefach komunikacyjnych powierzchnię podłogi lub schodów.

8.3. Niezbędne przygotowanie studenta

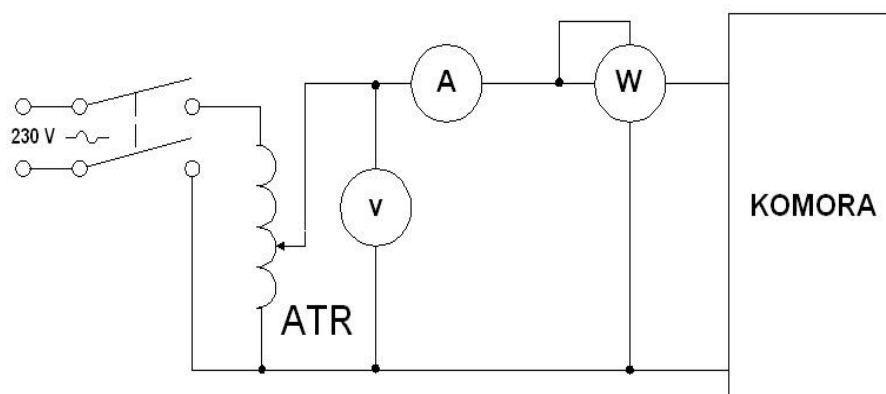
Przed przystąpieniem do ćwiczeń, student powinien zaznajomić się z budową, zasadą działania oraz podstawowymi parametrami lamp: żarowych, fluorescencyjnych, rtęciowych i sodowych (rozd. 6.2 pracy [8.1], rozdz.10 pracy [8.3]).

8.4. Opis stanowiska laboratoryjnego

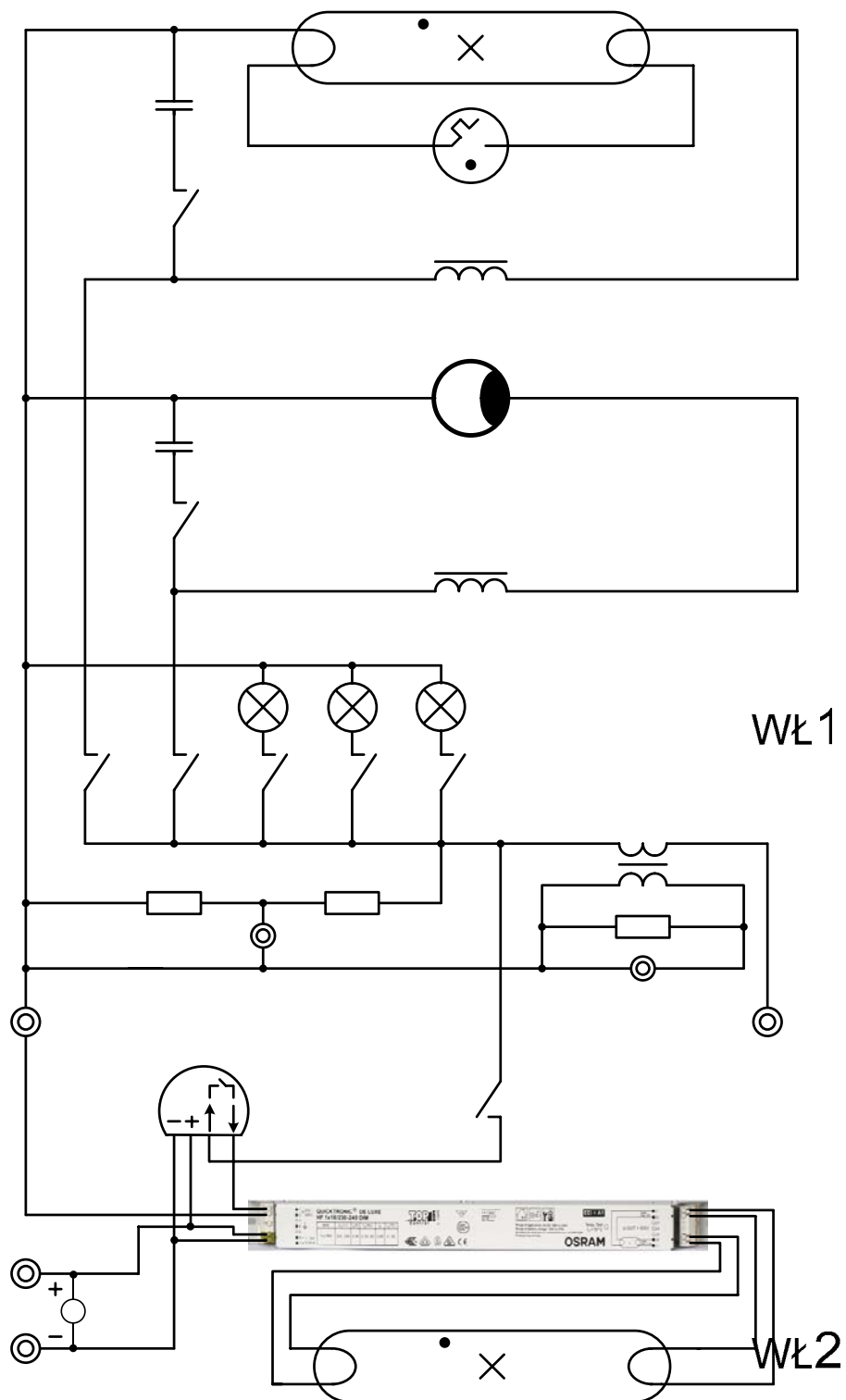
Stanowisko laboratoryjne jest wyposażone w światłoczułą komorę, w której jest zainstalowane 6 następujących rodzajów źródeł światła:

- żarówka,
- lampa halogenowa,
- *lampa fluorescencyjna zasilana w sposób konwencjonalny (statecznik, zapłonnik),*
- *lampa fluorescencyjna zasilana statecznikiem elektronicznym z możliwością regulacji strumienia*
- lampa wyładowcza,
- świetlówka kompaktowa.

Układ połączeń (rys.8.6) umożliwia indywidualne załączenie każdego z wymienionych źródeł światła, a ponadto załączenie lub wyłączenie kondensatora w obwodzie lamp: fluorescencyjnej i wyładowczej. Przekładnik prądowy PI i dzielnik napięciowy DN (rys.8.6.) umożliwiają obserwację przebiegów prądu i napięcia pobieranego przez poszczególne źródła światła. Komora jest zasilana poprzez autotransformator ATR oraz zestaw przyrządów: amperomierz, woltomierz i watomierz (rys.8.5.).



Rys.8.5. Układ zasilania komory do badania elektrycznych źródeł światła



Rys.8.6. Układ do badania elektrycznych źródeł światła [8.7]

8.5. Program ćwiczenia

8.5.1. Badanie elektrycznych źródeł światła

Przed przystąpieniem do pomiarów należy zapoznać się z budową poszczególnych opraw oświetleniowych oraz z konstrukcją i obsługą miernika do pomiaru natężenia oświetlenia - luksomierza.

Dla wskazanych przez prowadzącego źródeł światła należy dokonać:

1. Pomiaru prądu i mocy pobieranej z sieci przy napięciu równym napięciu znamionowemu źródła oraz dokonać obserwacji przebiegów prądu i napięcia. Dla lampy fluorescencyjnej i wyładowczej dokonać dodatkowo pomiaru przy wyłączonym i załączonym kondensatorze C.

2. Pomiaru natężenia oświetlenia zmieniając napięcie zasilające od wartości 230V + 10% do napięcia przy którym lampa zgaśnie. Zmiany dokonywać co ok. 10V notując wskazania przyrządów.

3. Pomiaru natężenia oświetlenia dla lampy fluorescencyjnej zasilanej z elektronicznego statecznika z możliwością regulacji strumienia świetlnego poprzez zmianę napięcia linii sterującej od wartości 1V do 10V, przy znamionowym napięciu zasilającym 230 V. Zmiany napięcia sterującego dokonywać zainstalowanym sterownikiem ręcznym co ok. 1V.

8.5.2. Wyznaczanie średniego natężenia oświetlenia E_{sr} i sprawności

Badane pomieszczenie należy podzielić na n równych prostokątów i zmierzyć natężenie oświetlenia E_{sr} w środkach tych prostokątów. Średnie natężenie oświetlenia i sprawności oświetlenia wyznacza się z zależności :

$$E_{sr} = \frac{\sum_{j=1}^n E_j}{n} \quad (8.7)$$

$$\eta = \frac{E_{sr} S}{\Phi_c} \quad (8.8)$$

gdzie : S - powierzchnia, w $[m^2]$,

Φ_c - całkowity strumień wszystkich źródeł światła, w $[lm]$.

W pomieszczeniach, w których występuje oświetlenie naturalne i sztuczne (mieszane) wykonuje się osobno pomiary oświetlenia naturalnego i sztucznego.

8.6. Sposób opracowania wyników badań

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów należy:

- a) określić względną zmianę strumienia świetlnego w funkcji zmian napięcia zasilającego dla przebadanych źródeł światła

$$\Phi' = \frac{\Phi}{\Phi_n} = \frac{E}{E_n} = f(U) \quad (8.9)$$

gdzie: E – natężenie oświetlenia dla różnych wartości napięcia zasilania,

E_n - natężenie oświetlenia dla $U = U_n$

Wyniki zestawić tabelarycznie i na wykresie.

- b) określić względną zmianę skuteczności świetlnej w odniesieniu do żarówki przy zasilaniu napięciem znamionowym $U = U_n$

$$\Psi' = \frac{\Psi}{\Psi_z} = \frac{\Phi/P}{\Phi_z/P_z} = \frac{E_n/P_n}{E_{zn}/P_{zn}} \quad (8.10)$$

Wyniki zestawić tabelarycznie i na wykresie.

- c) *określić względną zmianę strumienia świetlnego w funkcji zmian napięcia linii sterującej dla świetlówki zasilanej z elektronicznego statecznika z możliwością regulacji strumienia świetlnego przy zasilaniu napięciem znamionowym $U = U_n$*

$$\Phi' = \frac{\Phi}{\Phi_n} = \frac{E}{E_n} = f(U_{ster}) \quad (8.11)$$

gdzie: E – natężenie oświetlenia dla różnych wartości napięcia linii sterującej,

E_n - natężenie oświetlenia dla $U_{ster} = U_{ster.max} \approx 10V$

Wyniki zestawić tabelarycznie i na wykresie.

- d) porównać przebiegi prądu i napięcia poszczególnych źródeł światła współczynniki mocy poszczególnych lamp (opraw oświetleniowych).;
- e) porównać pomiary bez i z kondensatorem dla lampy fluorescencyjnej i wyładowczej.;
- f) opracować wnioski wynikające z badań.;
- g) dokonać oceny oświetlenia w badanym pomieszczeniu biorąc pod uwagę założone przeznaczenie pomieszczenia..

8.7. Literatura

[8.1].Markiewicz H. : Instalacje elektryczne, wyd.4 uakt. WNT, Warszawa 2002

[8.2].Markiewicz H. : Urządzenia elektroenergetyczne, WNT, Warszawa 2001

- [8.3] Praca zbiorowa: Poradnik inżyniera elektryka, Tom 3, WNT, Warszawa, 1996
- [8.4] PN-84/E-02033 Oświetlenie wnętrz światłem elektrycznym
- [8.5] Katalog źródeł światła, osprzętu i systemów sterowania oświetleniem 2000-2002, PHILIPS
- [8.6] Mąka A. : Stanowisko laboratoryjne do badania elektrycznych źródeł światła, Politechnika Wrocławska, Wydział Elektryczny, Inżynierska Praca Dyplomowa, Wrocław 2004
- [8.7] Daniłó T. : Systemy sterowania oświetleniem wyładowczym – modernizacja stanowiska laboratoryjnego, Politechnika Wrocławska, Wydział Elektryczny, Inżynierska Praca Dyplomowa, Wrocław 2008