



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

ПРАКТИКУМ
по дисциплине

**«Источники
оптического излучения.
Твердотельные источники
света»**

Авторы
Пруцакова Н.В.,
Кудря А.П.,
Судьин П.В.

Ростов-на-Дону, 2025

Аннотация

Практикум содержит краткую теорию, описание рабочих установок и методику экспериментального определения ключевых характеристик твердотельных источников света.

Лабораторный практикум предназначен для организации самостоятельной работы студентов направления «Электроника и наноэлектроника», профиля «Светотехника и источники света» при подготовке и проведении учебного лабораторного эксперимента.

Авторы

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»
Пруцакова Н.В.

ведущий инженер кафедры «Физика»
Кудря А.П.

руководитель проектного офиса «ПИШ ДГТУ»
Судьин П.В.



Оглавление

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ	4
Лабораторная работа № 1.....	9
ГАЛОГЕННЫЕ ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ	15
Лабораторная работа № 2.....	19
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА.....	24
МАЛОМОЩНЫЕ И МОЩНЫЕ СВЕТОДИОДЫ.....	27
Лабораторная работа №3.....	30
Лабораторная работа №4.....	35
Лабораторная работа №5.....	41
Лабораторная работа №6.....	48
Рекомендуемая литература	53

1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЛАМПЫ НАКАЛИВАНИЯ

Разработку *электрических источников света* начали в 19 веке. В 1802 г. русский ученый В.В. Петров впервые получил дуговой разряд между двумя угольными стержнями. В 1872 г. русский изобретатель А.Н. Лодыгин создал первую лампу накаливания (ЛН), в которой в качестве тела накала он использовал угольный стержень, заключенный в стеклянный баллон. В 1879 г. американский инженер Томас Эдисон усовершенствовал конструкцию лампы Лодыгина и разработал технологию массового производства. В дальнейшем усовершенствование ламп накаливания шло по пути создания более надежных тел накала. С 1909 года и до настоящего времени в качестве тел накала в основном используют вольфрам.

Состояние разогретого электрическим током вольфрама, как и других металлов, объясняют законами теплового излучения [1]. На рис. 1 показаны распределения спектральной плотности энергетической светимости $r(\lambda, T)$ абсолютно черного тела для разных температур; пунктирные линии указывают границы видимого участка спектра (380-760 нм). Из графиков следует:

1) с повышением температуры максимум спектральной плотности энергетической светимости смещается в область коротких длин волн, в соответствии с законом смещения Вина ($\lambda_m = b/T$);

2) с повышением температуры увеличивается площадь под распределением $r(\lambda, T)$, которая численно равна энергетической

светимости абсолютно черного тела $M_e^0(T) = \int_0^{\infty} r(\lambda, T) \cdot d\lambda$;

3) с повышением температуры увеличивается энергетическая светимость в видимой области спектра $M_{e, \Delta\lambda}^0(T) = \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} r(\lambda, T) \cdot d\lambda$;

4) если принять вольфрам за серое тело, с коэффициентом поглощения $\alpha(T) < 1$, то его энергетическая светимость будет равна $M_e(T) = \alpha(T) \int_0^{\infty} r(\lambda, T) \cdot d\lambda$, то есть площадь на графике будет в α раз меньше;

5) если вольфрам нагреть до температуры $T = 3500$ К, близкой к температуре его плавления (3660 К), то максимум

спектральной плотности энергетической светимости $r_m(\lambda_m, T)$ будет находиться в коротковолновой инфракрасной области (см. рис.1);

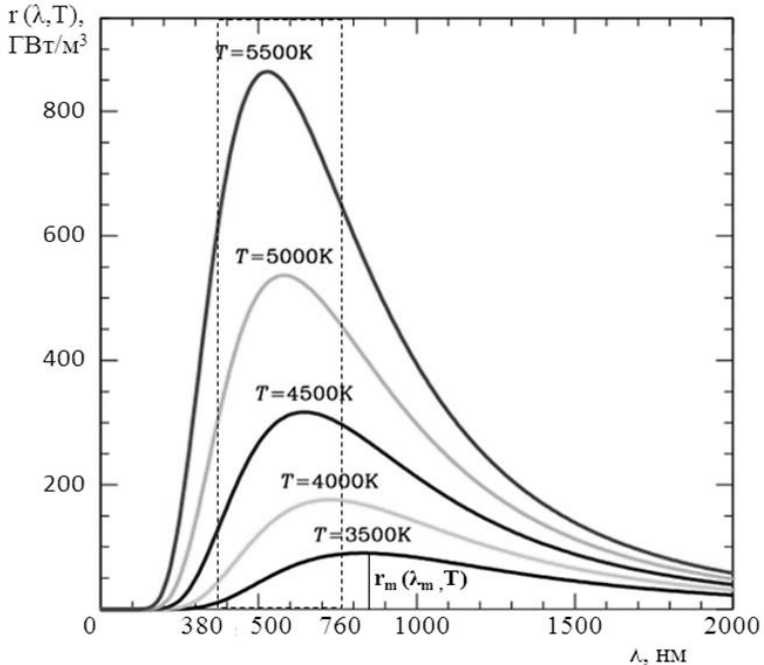


Рис. 1. Распределение спектральной плотности энергетической светимости $r(\lambda, T)$ абсолютно черного тела

б) световой поток, излучаемый площадью S тела накала, равен

$$\Phi = S \cdot \alpha(T) \int_{\lambda_{\min}}^{\lambda_{\max}} r(\lambda, T) \cdot d\lambda.$$

Таким образом, увеличение температуры *тела накала* приведет с одной стороны, к смещению $r_m(\lambda_m, T)$ в область более коротких длин волн и увеличению световой отдачи, а с другой стороны – к сокращению срока службы лампы. Сокращение срока службы является следствием испарения атомов вольфрама с поверхности спирали. При высоких температурах испарение происходит быстрее, что приводит к перегоранию тела накала.

Тело накала изготавливается из вольфрамовой проволоки (или осмиево-вольфрамового сплава). Вольфрам имеет большую температуру плавления 3660 К, формоустойчив при высокой рабочей температуре, устойчив к механическим нагрузкам, обладает высокой пластичностью в горячем состоянии, что позволяет получить из него нити весьма малых диаметров путем протяжки проволоки через калиброванное отверстие. Толщина провода в обычных лампочках составляет 40—50 микрон. Вольфрамовая проволока обычно свивается в спираль или биспираль. При включении в сеть нить накала находится при комнатной температуре, её сопротивление много меньше рабочего сопротивления, поэтому протекает очень большой ток (в два-три раза больше рабочего тока). По мере нагревания нити её сопротивление увеличивается и ток уменьшается. В рабочем состоянии температура нити накала 2500...2800 °С.

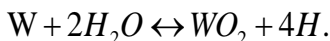
С точки зрения *элементарной классической теории металлов* нагревание тела накала, при прохождении электрического тока, осуществляется за счет электронного возбуждения его атомов. Согласно этой теории, электрон в электрическом поле, напряженностью \vec{E} , движется равноускоренно и на средней длине свободного пробега λ приобретает кинетическую энергию $\frac{m\nu^2}{2} = e \cdot U = \lambda \cdot e \cdot E$, где U

- падение потенциала на средней длине свободного пробега; e - заряд электрона.

Столкнувшись с ионом, электрон передает приобретенную энергию кристаллической решетке. Сообщенная решетке энергия идет на увеличение внутренней энергии металла, проявляющееся в его нагревании.

Буферный газ. Современные лампы заполняются буферным газом (кроме ламп малой мощности, которые по-прежнему делают вакуумными). Это уменьшает скорость испарения материала нити. Возникающие при этом, за счёт теплопроводности, потери тепла, уменьшают путём выбора газа по возможности с наиболее тяжелыми молекулами. Кроме того, в процессе работы лампы из ее элементов конструкции может происходить выделение различных остаточных газов. Наиболее вредными являются пары воды, которые взаимодействуют с раскаленным телом накала, образуют водород и вызывают почернение стенок колбы. Этот

процесс называется *водяным циклом Ленгмюра* и происходит по схеме



Вблизи тела накала реакция идет вправо, то есть разложение воды и окисление вольфрама и, соответственно, разрушение тела накала, а на поверхности колбы реакция идет влево, то есть происходит восстановление вольфрама, который оседает на поверхности колбы, и образование воды. Поэтому для связывания активных газов в ЛН применяются различные *газопоглотители*. В вакуумных лампах газопоглотители улучшают вакуум, в газонаполненных – поглощают вредные примеси, занесенные с наполняющим газом, а также газы, выделяющиеся из деталей в процессе работы ламп.

Газопоглотители подразделяются на испаряющиеся (красный фосфор, углекислый барий и др.) и неиспаряющиеся (металлический цирконий, титан, алюминий и др.)

Основные характеристики ламп накаливания

1. Электрические характеристики. напряжение U и ток I , протекающий через лампу, коэффициент мощности $\cos\varphi$.

Коэффициент мощности можно выразить через активную P и полную мощности P_0

$$\cos\varphi = P/P_0 = P/\sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (1)$$

где Q – реактивная мощность (для ламп накаливания $Q = 0$).

2. Светотехнические характеристики: освещенность, световой поток, коэффициент пульсации светового потока, сила света, яркость, спектральный состав излучения, цветовая температура, индекс цветопередачи.

Световой поток любого источника света можно определить по освещенности с помощью фотометрического блока ФБ, внутренняя поверхность которого имеет матовую белую поверхность. В одну из стенок ФБ вставляется фотодатчик люксметра для измерения освещенности исследуемой лампы. Алгоритм измерения светового потока исследуемой лампы: 1) по освещенности $E_э$ внутренней поверхности фотометрического блока, с отражающей поверхностью S , выразим световой поток эталонной лампы (можно использовать паспортные данные номинального светового потока исследуемой лампы) по формуле:

$$\Phi_э = E_э S; \quad (2)$$

2) в этом же фотометрическом блоке определить световой поток Φ по освещенности исследуемой лампы E :

$$\Phi = E \cdot S. \quad (3)$$

Сопоставляя уравнения (2) и (3), получим световой поток исследуемой лампы:

$$\Phi = \Phi_{\text{э}} E / E_{\text{э}}. \quad (4)$$

Коэффициент пульсаций освещенности характеризует колебания во времени светового потока, падающего на единицу поверхности. Коэффициент пульсаций освещенности определяется отношением амплитуды колебаний освещенности к их среднему значению и вычисляются по формуле:

$$K_n = \frac{E_{\text{макс}} - E_{\text{мин}}}{2 \cdot E_{\text{ср}}} 100\%, \quad (5)$$

где $E_{\text{макс}}$ и $E_{\text{мин}}$ – максимальное и минимальное значения освещенности за период её колебания, $E_{\text{ср}}$ – среднее значение освещенности за тот же период (берется среднеарифметическое значение). Коэффициент пульсации измеряют *пульсометром*.

Цветовая температура - является характеристикой интенсивности излучения источника света как функции длины волны в оптическом диапазоне. Согласно формуле Планка *цветовая температура определяется как температура абсолютно чёрного тела, при которой оно испускает излучение того же цветового тона, что и рассматриваемое излучение*. Измеряют цветовую температуру с помощью спектроколориметра ТКА-ВД.

Сила света — это отношение светового потока, заключенного в каком-либо телесном угле, к величине этого угла:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (6)$$

Сила света измеряется в канделах (сокращенно – кд).

Яркость L поверхности S - это отношение силы света I , излучаемой этой поверхностью в каком-либо направлении, к площади проекции этой поверхности на плоскость, перпендикулярную выбранному направлению:

$$L = I / (S \cos \alpha) \quad (7)$$

За единицу измерения яркости принята яркость плоской поверхности, излучающей силу света в 1 кд с одного квадратного метра в направлении, перпендикулярном светящейся поверхности, то есть 1 кд/м^2 .

Человеческий глаз считается светоадаптированным при яркостях более 100 кд/м^2 . Ночное зрение наступает при яркостях менее 10^{-3} кд/м^2 . В промежутке между этими величинами человеческий глаз функционирует в режиме сумеречного зрения.

Индекс цветопередачи – безразмерная величина, характеризующая отклонение видимого цвета, генерируемого исследуемой лампой, от естественного. Численное значение находится в интервале от 0 до 100. В мире принята система оценки качества цветопередачи: $R_a \geq 90$ – отличное; $90 > R_a > 80$ – очень хорошее; $80 > R_a > 70$ – хорошее; $70 > R_a > 60$ – удовлетворительное; $60 > R_a > 40$ – приемлемое; $R_a < 40$ – плохое.

Спектральный состав ламп накаливания сплошной.

3. Эксплуатационные характеристики: световая отдача, срок службы, геометрические размеры.

Световая отдача лампы (КПД) показывает, какой световой поток испускает лампа на единицу мощности, потребляемой из электрической сети ($\text{лм} \cdot \text{Вт}^{-1}$). Световая отдача определяется выражением

$$\eta = \Phi / P. \quad (8)$$

Лабораторная работа № 1

Исследование основных параметров ламп накаливания

Цель работы: определить основные электрические и световые характеристики лампы накаливания.

Оборудование: универсальный лабораторный стенд, лампа накаливания.

Световой поток Φ зависит от абсолютной температуры T , от площади излучающей поверхности спирали лампы S и от коэффициента поглощения a материала спирали (вольфрама). Это следует из закона Стефана-Больцмана, согласно которому $\Phi = \alpha \sigma T^4 \cdot S$, где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$ – постоянная Стефана-Больцмана.

Почти вся потребляемая лампой энергия превращается в излучение. Потери за счёт теплопроводности и конвекции малы. Для человеческого глаза доступен только малый диапазон длин волн этого излучения. Основная часть излучения лежит в невидимом инфракрасном диапазоне, и воспринимается в виде

тепла. В реальных условиях световая отдача (8) ламп накаливания равна $7...15 \text{ лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$ и зависит от геометрических размеров и конструкции тела накала.

С возрастанием температуры световая отдача лампы накаливания возрастает, но при этом существенно снижается её долговечность. При температуре нити 2700 К время жизни лампы составляет примерно 1000 часов, при 3400 К всего лишь несколько часов. При увеличении напряжения на 20% яркость возрастает в два раза. Одновременно с этим уменьшается время жизни на 95% . Ограниченность времени жизни лампы накаливания обусловлена в меньшей степени испарением материала нити во время работы, и в большей степени возникающими в нити неоднородностями. Неравномерное испарение материала нити приводит к возникновению истончённых участков с повышенным электрическим сопротивлением, что в свою очередь ведёт к ещё большему нагреву и испарению материала в таких местах. Когда одно из этих сужений истончается настолько, что материал нити в этом месте плавится и лампа выходит из строя.

Зависимости электрических, световых и эксплуатационных параметров от напряжения на лампе накаливания представлены уравнениями:

для мощности	$P / P_0 = (U / U_0)^{8/5};$	}	(9)
для тока	$I / I_0 = (U / U_0)^{3/5};$		
для светового потока	$\Phi / \Phi_0 = (U / U_0)^{3,6};$		
для световой отдачи	$\eta / \eta_0 = (U / U_0)^2;$		
для срока службы	$\tau / \tau_0 = (U / U_0)^{-14};$		
для температуры тела накала	$T / T_0 = (U / U_0)^{1/3}.$		

В уравнениях (9) P_0 , I_0 , U_0 , Φ_0 , η_0 , t_0 , T_0 – номинальные значения, соответственно, мощности, электрического тока, напряжения, светового потока, световой отдачи, времени жизни и температуры. Если, например, при номинальном напряжении U_0 освещённость внутренней поверхности фотометрического блока E_0 , световой поток $\Phi_0 = E_0 S$, а при произвольном напряжении $\Phi = ES$, то их отношения равны:

$$\frac{\Phi}{\Phi_0} = \frac{E}{E_0} \quad (10)$$

Аналогично для световой отдачи: $\eta_0 = \Phi_0 / P_0$, $\eta = \Phi / P$, а их отношения равны:

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{P_0 E}{E_0 P} \quad (11)$$

Конструкции ламп накаливания (ЛН) весьма разнообразны и зависят от их назначения. Однако общими являются (рис. 2): 1 - колба; 2 - полость колбы (вакуумированная или наполненная газом); 3 - тело накала; 4 и 5 – электроды (токовые вводы); 6 - крючки-держатели тела накала; 7 - ножка лампы; 8 - внешнее звено токовода с предохранителем; 9 - корпус цоколя; 10 - изолятор цоколя (стекло); 11 - контакт доньшка цоколя.

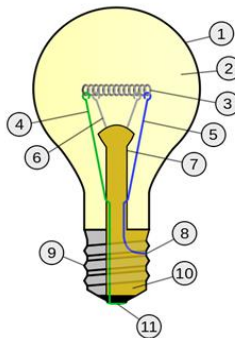


Рис. 2. Устройство лампы накаливания

Для предотвращения возникновения электрической дуги в момент перегорания лампы, в месте крепления электрода 5, установлен плавкий *предохранитель* (отрезок тонкой проволоки), для бытовых ламп обычно рассчитанный на ток 7 А. Стеклоная колба 1 защищает нить от сгорания в окружающем воздухе. Размеры колбы определяются скоростью осаждения материала нити. Для ламп большей мощности требуются колбы большего размера, для того чтобы осаждаемый материал нити распределялся на большую площадь и не оказывал сильного влияния на прозрачность. К основанию колбы приварена ножка 7, которая служит опорой для электродов 4 и 5, тела накала 3 и крючков-держателей 6.

Электрическая схема питания, позволяющая определять основные электрические и световые характеристики лампы накаливания, приведена на рис. 3. Автотрансформатор АТ подключен к сети 220 В. К его выходу подключена исследуемая лампа накаливания (ЛН), которая установлена в фотометрическом блоке ФБ. Напряжение, подаваемое на лампу, величина тока, протекающего через лампу и потребляемая электрическая мощность контролируются вольтметром V , амперметром A и ваттметром W .

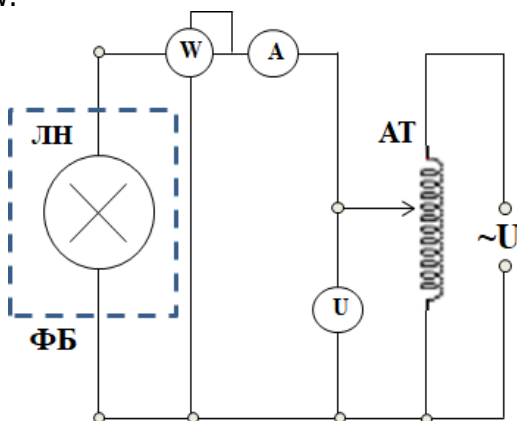


Рис. 3. Электрическая схема питания лампы накаливания.

Фотометрический блок внутри имеет высоко-отражающую матовую поверхность, в одну из стенок которого вставляется фотодатчик люксметра так, чтобы исключить прямое попадание света от лампы.

Выполнение работы Измерения

Задание 1. Измерение электрических и светотехнических параметров лампы накаливания в интервале $\pm 10\%$ от 220 В.

1. Перед выполнением работы убедитесь, что стенд отключен от сети электропитания, электрическая схема питания лампы (см. рис. 3) собрана, рукоятку автотрансформатора повернуть против часовой стрелки до упора

2. Откройте дверцу фотометрического блока и установите лампу накаливания. Запишите ее мощность и закройте дверцу.

3. Включите люксметр, согласно прилагаемой инструкции, и вставьте его фотоприемник в окно стенки фотометрического блока.

Источники оптического излучения

4. Последовательно включите: блок питания - G1; автотрансформатор - «Сеть»; блок мультиметров - «Сеть» и измерителя мощности.

6. Вращая рукоятку автотрансформатора, последовательно устанавливайте напряжение с шагом 5 В в интервале 200-240 В.

7. Для каждого измерения занесите в табл. 1 показания вольтметра, амперметра, ваттметра, люксметра и температуры нити. Температуру измерять оптическим пирометром, согласно инструкции, приведенной на рабочем месте.

8. Отключите выключатели «Сеть» блоков, задействованных в эксперименте.

Таблица 1

Результаты измерений

№, п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U, В	200	205	210	215	220	225	230	235	240
I, А									
P, Вт									
E, лк									
T, К									

Обработка результатов эксперимента

Задание 2. Произвести вычисления относительных изменений электрических, светотехнических и эксплуатационных параметров лампы.

1. Используя данные табл. 1, вычислите для каждого значения отношения напряжения, выраженного в %, относительные изменения: силы тока; потребляемой электрической мощности; светового потока, по формуле (10); световой отдаче по формуле (11); температуры. Все измеренные величины с индексом «0», соответствуют напряжению $U_0=220$ В.

2. Занесите вычисленные значения в табл. 2.

3. Постройте графики зависимостей относительных физических величин от отношения напряжений, например $I/I_0(U/U_0)$.

Таблица 2

Результаты вычислений

U/U_0	I/I_0	P/P_0	Φ/Φ_0	η/η_0	T/T_0
%	%	%	%	%	%
91					
93					
95					
98					
100					
102					
105					
107					
109					

Задание 3. Произвести теоретические вычисления относительных изменений электрических, светотехнических и эксплуатационных параметров лампы.

1. Для прежних отношений напряжений вычислить по формулам (9) относительные изменения: потребляемой электрической мощности; силы тока; светового потока; световой отдачи; срока службы; температуры тела накала.

2. Вычисленные значения занесите в таблицу 3.

Таблица 3

Результаты вычислений

U/U_0	I/I_0	P/P_0	Φ/Φ_0	η/η_0	τ/τ_0	T/T_0
%	%	%	%	%	%	%
91						
93						
95						
98						
100						
102						
105						
107						
109						

3. Постройте графики зависимостей относительных физических величин от отношения напряжений, например $P/P_0(U/U_0)$.

4. Сопоставьте теоретические графики с экспериментальными и сделайте вывод.

Контрольные вопросы

1. Как с помощью распределения спектральной плотности энергетической светимости $r(\lambda, T)$ для тела накала из вольфрама определить полную мощность излучения при определенной температуре T ?

2. Как с помощью распределения спектральной плотности энергетической светимости $r(\lambda, T)$ для тела накала из вольфрама определить мощность световой энергии (световой поток) для видимого участка спектра при определенной температуре?

3. Как изменяются при повышении температуры тела накала: а) полная мощность излучения; б) световой поток; в) длина волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости?

4. Из каких основных узлов состоит лампа накаливания?

5. Из какого материала изготавливают тело накала и почему?

6. Какие ограничения на эксплуатационные характеристики лампы накаливания накладывает температура тела накала и почему?

7. Как с помощью классической электронной теории объясняют механизм нагревания тела накала?

8. Приведите основные светотехнические характеристики лампы накаливания и их зависимость от напряжения.

2. Галогенные лампы накаливания

Замечательные свойства ламп накаливания состоят в том, что они просты в эксплуатации, имеют сплошной спектр излучения и отличную цветопередачу. К недостаткам спектра излучения следует отнести то, что *максимум спектральной плотности энергетической светимости* $r_m(\lambda_m, T)$ приходится на область инфракрасных длин волн $\lambda_m > 760$ нм (для солнечного излучения $\lambda_m = 550$ нм). Для смещения $r_m(\lambda_m, T)$ в область

более коротких длин волн необходимо, в соответствии с законом смещения Вина $\lambda_m = b/T$, увеличивать температуру тела накала.

Увеличение температуры тела накала приведет с одной стороны, к смещению $r_m(\lambda, T)$ в область более коротких длин волн и увеличению световой отдачи, а с другой стороны – к сокращению срока службы лампы. Сокращение срока службы является следствием быстро растущей при повышении температуры скорости испарения вольфрама, которая приводит с одной стороны, к потемнению колбы, а с другой — к перегоранию тела накала. Попытки вернуть атомы вольфрама с внутренней поверхности колбы на тело накала делались неоднократно и только в 1959 г. привели к положительному результату. Цаблер и Мосби (США) продемонстрировали первую трубчатую ЛН с добавкой йода, которая после горения свыше 2000 часов сохраняла светлую колбу и световой поток. В том же году была разработана подобная отечественная лампа во ВНИИИС. В настоящее время в нашей стране и за рубежом выпускается огромный ассортимент галогенных ламп накаливания (ГЛН), которые получили широкое применения: в осветительной аппаратуре для кино-, фото-, телесъемок; для светильников общего освещения и прожекторов; автомобильных фар и аэродромных огней; в разнообразных оптических приборах и др.

По структуре и принципу действия галогенные лампы сравнимы с лампами накаливания, но они содержат в газонаполнителе незначительные добавки галогенов (йод, хлор, фтор, бром или их соединения). С помощью этих добавок возможно в определенном температурном интервале практически полностью устранить потемнение колбы, вызванное испарением атомов вольфрама тела накала. Комплекс химических реакций (процессов), в результате которых атомы вольфрама, испарившиеся с нагретой до высокой температуры поверхности тела накала, перемещаются с помощью галогенов в обратном направлении, т.е. на тело накала, называется регенеративным или *вольфрамо-галогенным циклом*. Рассмотрим процесс возвращения атомов вольфрама со стенки колбы на тело накала с помощью, например, йода. Упрощенно процесс регенеративного цикла выглядит следующим образом (рис. 4): при температуре стенок колбы выше 250 °С и ниже 1200 °С пары йода соединяются на стенке с испарившимися атомами вольфрама, образуя йодистый вольфрам (WI_2). Диффундируя в объеме и попадая в зону вблизи тела накала (ТН) с температурой выше 1400-1600 °С, молекулы WI_2 распадаются. Атомы вольфрама

остаются вблизи ТН и других деталей с температурой выше 1600 °С и оседают на них.

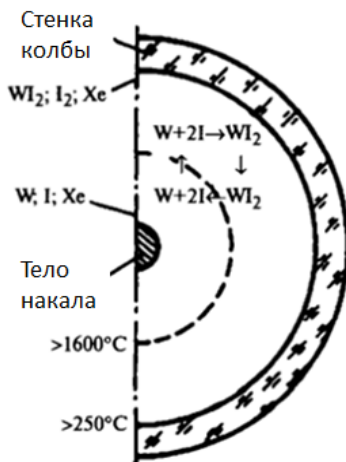


Рис. 4. Упрощенная схема вольфрамо-галогенного цикла

Освободившиеся атомы йода, диффундируя в зоны с более низкой температурой, на стенках колбы вновь соединяются с атомами вольфрама, образуя WI_2 . Затем цикл снова повторяется. Для поддержания йодно-вольфрамового цикла в течение длительного времени необходимо выполнения следующих условий.

1. Температура внутренней стенки колбы должна быть выше 250 °С, так как иначе йодистый вольфрам будет конденсироваться, в результате чего нарушится цикл и стенки колбы быстро почернеют. Для надежного испарения молекул WI_2 требуется более высокая температура стенок, около 500-600 °С. Кроме того, максимальная температура стенки должна быть ниже 1200 °С, так как при этой и более высокой температуре начинается разложение молекул WI_2 .

2. Минимальная температура тела накала ТН должна быть выше 1600 °С, чтобы происходила полная диссоциация молекул йодистого вольфрама. Максимальная температура ТН определяется требуемой световой отдачей или яркостью и сроком службы.

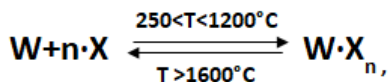
3. Должны быть созданы условия, при которых йод не мог бы выходить из цикла в течение всего срока службы. Так как йод является химически активным веществом, особенно при высоких температурах, к выбору материалов, применяемых в лампах, предъявляются особые требования. Так, например, недопустимо использование никеля, молибдена, геттеров (алюминий цирконий,

Источники оптического излучения

фосфор), широко применяемых в лампах накаливания. Это заставляет особо тщательно относиться к обезгаживанию всех деталей ламп и к чистоте наполняющих газов.

4. Введение в лампу избытка йода для компенсации его потерь не допускается, так как пары йода заметно поглощают видимое излучение, особенно в области 500-520 нм.

Применение йода в галогенных лампах выявило его некоторые недостатки: агрессивность по отношению к металлическим деталям, трудность дозировки, некоторое поглощение видимого излучения. Другие галогены (бром, хлор, фтор), будучи более агрессивными, не смогли его заменить. В настоящее время в подавляющем большинстве галогенных ламп применяют химические соединения галогенов: CH_2Br_3 (бромистый метил), и CH_3Br (бромистый метилен). Это жидкости со сравнительно высокой упругостью паров. Сами жидкости и их пары химически не очень активны; они удобны для введения в лампу как отдельно, так и смеси с инертным газом; их удобно дозировать. Несмотря на более сложные химические процессы, протекающие в лампе с соединениями галогенов, их функции остаются прежние – возвращение атомов вольфрама с внутренней поверхности колбы на тело накала. Упрощенную схему вольфрамо-галогенного цикла можно представить в виде:



где: X – используемый галоген; n – количество атомов.

Современные галогенные лампы по отношению к лампам накаливания имеют ряд существенных *преимуществ*: более высокую световую отдачу в течение всего срока службы; великолепную цветопередачу $R = 99-100$; неизменно яркий свет в течение всего срока службы; повышенную экономичность; увеличенный вдвое срок службы; уменьшенные размеры.

Спектр излучения галогенных ламп накаливания сплошной, с максимальной цветопередачей и лежит в области длин волн 360...780 нм. Максимум излучения приходится на инфракрасные длины волн.

По эксплуатационным показателям галогенные лампы накаливания подразделяют на следующие группы: 1) лампы для светильников общего освещения и прожекторов рассчитаны на напряжение 220В, мощностью от 1 до 20 кВт, световая отдача - 22...26 лм/Вт, срок службы - 2000 часов; 2) лампы инфракрасного

облучения рассчитаны на напряжения 127, 220 и 380 В мощностью от 0,5 до 5 кВт, срок службы повышенный (2500...5000 ч), так как тела накала этих ламп работают при низких температурах (2400...2700 К); 3) малогабаритные галогенные лампы накаливания разного назначения рассчитаны на напряжения 6, 12 и 24 В, мощностью 15...650 Вт. Поскольку от большинства этих ламп требуется высокая яркость, они имеют температуру тела накала 3000...3200 К и срок службы несколько сотен часов.

Маркировка галогенных ламп: первая буква – материал колбы (К – кварцевая); вторая буква – вид галогенной добавки (Г – галоген иод); третья буква – область применения (О – облучательная) или конструктивная особенность (М – малогабаритная); первая группа цифр – номинальное напряжение, В; вторая группа цифр через дефис – номинальная мощность, Вт. *Пример маркировки галогенных ламп:* КГМ12-40 – в кварцевой колбе, галогенная, малогабаритная, номинальное напряжение 12 В, номинальная мощность 40 Вт.

Лабораторная работа № 2

Исследование основных параметров галогенных ламп накаливания

Цель работы: определить основные электрические и световые характеристики галогенной лампы.

Оборудование: универсальный лабораторный стенд.

Ведение

Устройство типовых галогенных ламп приведено на рисунке 5: 5а) капсульной или миниатюрной; 5б) трубчатой; 5с) со стандартным цоколем.

Колба лампы 1 выполнена из кварцевого стекла. У трубчатой ГЛН по оси трубки, а у капсульной – перпендикулярно оси, расположено тело накала ТН в виде спирали или биспирали 2. Вводы в кварц представляют собой полоски молибденовой фольги 4, заштампованные в сплюснутые концы кварцевой трубки. Внутренняя часть электродов выполнена из вольфрама 3, внешние выводы - из молибдена 5.

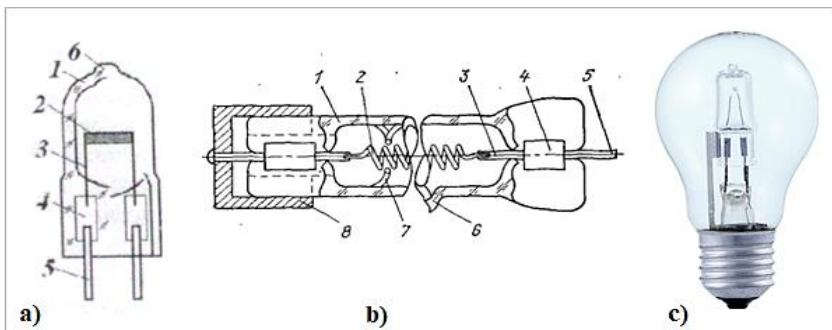


Рис. 5. Устройство типовых галогенных ламп

В лампах большой мощности, имеющих длинную спираль, для устранения ее провисания применяют держатели из вольфрама 7. Для откачки, вакуумной обработки и наполнения лампы у трубчатых ГЛН в средней части колбы, а у капсульной – в верхней части колбы, припаивается *штенгель* из кварцевого стекла, после отпайки которого остается утолщение 6. Для крепления и присоединения к питающей сети на концы лампы надевают цоколи 8. В зависимости от мощности, размеры колбы 1, тела накала 2, полоски молибденовой фольги 4 и внешние выводы 5 имеют различные значения.

Сложной технологической задачей является создание достаточно надежного вакуумно-плотного впая полоски из молибденовой фольги с кварцем из-за разных термических коэффициентов линейного расширения (ТКЛР) молибдена и кварца. Экспериментально установлено, что в рабочем диапазоне температур лампы при толщине фольги 20-30 мкм силы сцепления молибденовой фольги с кварцем, возникающие при смачивании металла кварцем, больше чем силы, отрывающие металл от кварца. При увеличении толщины фольги свыше 30 мкм отрывающие силы становятся преобладающими и герметичность впая нарушается. Для повышения надежности впая фольге придают линзообразное сечение с толщиной ребра 4-6 мкм, что предотвращает образование капилляров вдоль ребра фольги при заварке ножки лампы. Края фольги стравливают электролитическим способом. Допустимая плотность тока через ввод зависит от сечения фольги. При толщине фольги 20 мкм допустимый ток примерно равен 3 А на 1 мм ширины фольги. Важную роль играет длина полоски фольги. Она должна быть такой, чтобы температура наружного конца фольги, присоединенного к внешнему звену ввода, была в пределах от 150

до 300 °С. При нарушении этих условий участки молибденовой фольги, контактирующие с воздухом, начинают окисляться, и происходит разрушение ввода из-за быстрого проникновения окислов вдоль фольги. Таким образом, размеры фольгового впаля зависят от электрических параметров лампы, а также от конструктивно-технологических ограничений.

На рисунке 5,с показан вид лампы с цоколем E27 или E14 (миньон) предназначенных для замещения обычных ламп накаливания. Внутри стеклянной колбы находится миниатюрная или линейная галогенная лампа на напряжение 220 В. Внешняя колба таких ламп защищает внутреннюю кварцевую колбу галогенной лампы от загрязнений и случайных прикосновений, а также не пропускает ультрафиолетовое излучение. По форме и размерам она похожа на колбу обычных ламп накаливания.

Электрическая схема питания, позволяющая определять основные электрические и светотехнические характеристики галогенной лампы, приведена на рисунке 3.

Выполнение работы

Задание 1. *Снятие зависимостей электрических и светотехнических параметров галогенной лампы от напряжения.*

1. Перед выполнением работы убедитесь, что стенд отключен от сети электропитания, электрическая схема питания лампы (рис. 3) собрана, отключите выключатели всех используемых блоков.

2. Откройте дверцу фотометрического блока и установите галогенную лампу. Запишите ее мощность и закройте дверцу.

3. Включите люксметр, согласно прилагаемой инструкции, и вставьте его фотоприемник в окно стенки фотометрического блока.

4. Поверните рукоятку автотрансформатора против часовой стрелки до упора.

5. Последовательно включите: блок питания - G1; автотрансформатор - «Сеть»; блок мультиметров - «Сеть» и измерителя мощности.

6. Вращая рукоятку автотрансформатора, последовательно устанавливайте напряжение с шагом 20 В в интервале 40-220 В.

7. Для каждого измерения занесите в таблицу 4 показания вольтметра, амперметра, ваттметра, варметра, люксметра и значение коэффициента пульсаций светового потока.

Таблица 4

Результаты измерений

Источники оптического излучения

№, п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U, В									
I, А									
P, Вт									
Q, Вар									
E, лк									
K _п , %									

8. Отключите выключатели «Сеть» блоков, задействованных в эксперименте. Запишите значения освещенности $E_э$ и светового потока $\Phi_э$ эталонной лампы.

9. Используя данные табл. 4, вычислите для каждого значения напряжения: сопротивление лампы, по формуле $R=U/I$; световой поток (4); световую отдачу (8).

10. Занесите вычисленные значения в таблицу 5.

Таблица 5

Результаты вычислений

U, В									
R, Ом									
Φ , лм									
η , лм/Вт									

11. Постройте графики зависимостей: $I(U)$; $R(U)$; $P(U)$; $Q(U)$; $\Phi(U)$; $\eta(U)$.

12. По проделанной работе сделайте вывод.

Задание 2. Снятие зависимости температуры тела накала галогенной лампы от приложенного напряжения.

1. Перед выполнением работы убедитесь, что стенд отключен от сети электропитания, отключены выключатели всех используемых блоков, галогенная лампа установлена в фотометрическом блоке.

2. Выключите люксметр и установите в фотометрический блок галогенную лампу с прозрачной колбой.

Источники оптического излучения

3. Поверните рукоятку автотрансформатора против часовой стрелки до упора.

4. Последовательно включите: блок питания - G1; автотрансформатор - «Сеть»; блок мультиметров - «Сеть».

5. Вращая рукоятку автотрансформатора, последовательно установите напряжение с шагом 20 В в интервале 40-220 В и измерьте с помощью оптического пирометра яркостную температуру тела накала. Показания пирометра занесите в таблицу 6.

6. Отключите выключатели «Сеть» всех блоков, задействованных в эксперименте.

Таблица 6

Результаты измерений и вычислений

U, В	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220
$t_{я}, ^\circ\text{C}$										
$\Delta t, ^\circ\text{C}$										
T, K										

7. Для каждой яркостной температуры с помощью графика $\Delta t(t_{я})$ определите поправку Δt , вычислите температуру тела накала в $^\circ\text{C}$ ($t = t_{я} + \Delta t$) и переведите в шкалу Кельвина ($T = t + 273$).

8. Результаты вычислений занесите в таблицу 6.

9. Используя данные таблицы 6, постройте график зависимости температуры тела накала галогенной лампы от приложенного напряжения $T(U)$.

10. Используя закон смещения Вина ($\lambda_m = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$), определите длину волны, на которую приходится максимум спектральной плотности энергетической светимости тела накала, соответствующую напряжению 220 В.

11. По выполненному заданию сделайте вывод.

Контрольные вопросы

1. В чем состоят конструктивные отличия галогенной лампы и вакуумной лампы накаливания?

2. Что называется регенеративным или вольфрамо-галогенным циклом? Приведите его упрощенную схему.

3. Перечислите необходимые условия для поддержания йодно-вольфрамового цикла в течение длительного времени.

Источники оптического излучения

4. Приведите устройства типовых галогенных ламп накаливания.

5. Как влияют геометрические размеры молибденовой фольги на герметичность ГЛН и ее электрические характеристики?

6. Приведите основные электрические характеристики галогенной лампы накаливания (напряжение, ток, сопротивление тела накала, мощность, коэффициент мощности).

7. Как объясняют световой поток галогенной лампы накаливания с позиции закона Стефана – Больцмана?

8. Приведите основные светотехнические характеристики галогенной лампы накаливания (освещенность, световой поток, коэффициент пульсации светового потока, спектральный состав излучения).

9. Приведите основные эксплуатационные характеристики галогенной лампы накаливания (световая отдача, срок службы).

10. Как с помощью оптического пирометра определяют температуру тела накала? Как называется эта температура?

3. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ИСТОЧНИКИ СВЕТА

Светодиод или светоизлучающий диод (СИД, LED - англ. Lightemitting diode) — полупроводниковый диод, излучающий некогерентный свет при пропускании через него электрического тока. Первое известное сообщение об излучении света твердотельным диодом было сделано в 1907 году британским экспериментатором Генри Раундом, а первые работы по электролюминесценции в карбиде кремния выполнил в 1923 году советский физик Олег Лосев. Первый в мире практически применимый светодиод, работающий в световом (красном) диапазоне, разработал американский ученый Ник Холоньяк в 1962 году. Холоньяк, таким образом, считается «отцом современного светодиода».

Долгое время светодиоды использовались в качестве индикаторных источников. Лишь в 1989 году доктор Ш. Накамура из фирмы Nichia Chemical, получил светодиод с голубым свечением, а в январе 1998 года фирма приступила к выпуску белых светодиодов. С этих пор началась интенсивная работа по проектированию и производству разнообразных светодиодных источников света, которые успешно используются в различных сферах человеческой деятельности.

В светодиоде энергия электрического тока преобразуется в световую энергию. *Свечение возникает при рекомбинации*

электронов и дырок в области *p-n-перехода*, то есть в контакте двух полупроводников с разными типами проводимости. Для этого контактные слои полупроводникового кристалла легируют разными примесями: по одну сторону акцепторными, по другую - донорными.

Рассмотрим упрощенный механизм образования потенциального барьера в контактном слое полупроводников с разными типами проводимости, а также излучения квантов энергии на примере энергетической диаграммы обычного (гомогенного) *p-n-перехода*. В момент соединения полупроводников *p* и *n* - типа, в результате диффузии основных носителей тока (электронов и дырок) через контакт, в нем происходит их рекомбинация. В контактном слое образуется электрическое поле за счет зарядов примесных атомов. Толщина d слоя *p-n-перехода* в полупроводниках составляет примерно 100-1000 нм, а контактная разность потенциалов – десятые доли вольт. В равновесном состоянии уровни Ферми выравниваются $E_p = E_n$, а энергетические зоны искривляются, в результате чего образуется потенциальный барьер, препятствующий диффузии основных носителей тока через контакт.

При подключении *p-n-перехода* в прямом направлении («+» к *p*-типу, а «-» - к *n*-типу), уровни Ферми раздвигаются на величину $eU = E_n - E_p$ (рис. 6).

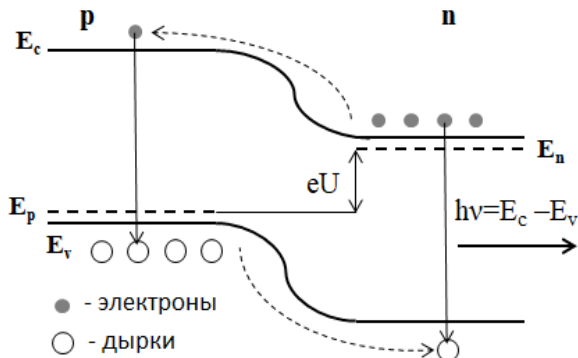


Рис. 6. Энергетическая диаграмма *p-n-перехода* при его включении в прямом направлении

Высота потенциального барьера уменьшается, через контакт возобновляется диффузия (инжекция) основных носителей тока (на рис. 6 показаны пунктирными стрелками). Инжектированные электроны и дырки рекомбинируют (на рис. 6

показаны сплошными линиями), передавая свою энергию либо квантам света $h\nu$ (излучательная рекомбинация), либо, через дефекты и примеси, - тепловым колебаниям решетки (безызлучательная рекомбинация).

Цвет излучаемого светодиодом света зависит исключительно от ширины запрещенной зоны, в которой рекомбинируют электроны и дырки. Чем меньше длина волны света, излучаемого светодиодом, тем выше энергия квантов ($\epsilon = hc/\lambda$), а значит, тем больше должна быть ширина запрещенной зоны. Цвет свечения определяется типом используемых полупроводниковых материалов, образующих р-п-переход. Основные материалы для производства монохромных светодиодов – AlInGaP и InGaN покрывают почти весь спектр видимого излучения для светодиодов высокой интенсивности. Интенсивность света очень сильно зависит от процентного содержания в полупроводниковом кристалле дефектов.

Но не всякий р-п-переход излучает свет. Ключевая причина состоит в том, что вероятность излучательной рекомбинации пропорциональна концентрации электронно-дырочных пар, поэтому наряду с повышением концентраций основных носителей в р-и п-областях желательно уменьшать толщину активной области, в которой идет рекомбинация. Но в обычных р-п-переходах эта толщина не может быть меньше диффузионной длины - среднего расстояния, на которое диффундируют инжектированные носители заряда, пока не рекомбинируют [2].

Задача ограничения активной области рекомбинации была решена в конце 60-х годов российским физиком Ж.И. Алфёровым и его сотрудниками. Многочисленные исследования показали, что одного р-п-перехода в кристалле оказывается недостаточно, и приходится изготавливать многослойные полупроводниковые структуры, так называемые *гетероструктуры*, в которых толщина активной области рекомбинации может быть много меньше диффузионной длины. В 2000 г. за фундаментальные исследования гетероструктур, когда стало ясно, как велико значение этих работ для развития науки и техники, академику Ж.И. Алферову была присуждена Нобелевская премия.

Основные характеристики светодиодов

Электрические характеристики: напряжение U и ток I , протекающий через светодиод, активная P и реактивная Q мощности, потребляемые светодиодной лампой, коэффициент мощности $\cos\varphi$ (1).

Светотехнические характеристики: световой поток (2)- (4), освещенность, коэффициент пульсации (5) светового потока, сила света (6), яркость (7), спектральный состав излучения, индекс цветопередачи.

Спектр излучения зависит от природы излучающего световой поток кристалла, а в белых светодиодах - от состава люминофора.

Эксплуатационные характеристики: световая отдача (8), срок службы, геометрические размеры.

Срок службы (τ) источников света определяется составом излучающего вещества, физическими процессами, протекающими в нем и их интенсивностью.

4. МАЛОМОЩНЫЕ И МОЩНЫЕ СВЕТОДИОДЫ

За последние годы создано огромное множество различных светоизлучающих диодов. Конструкция светодиода определяет интенсивность излучения, его направление и пространственное распределение, электрические, тепловые, энергетические и другие характеристики полупроводникового кристалла. По потребляемой электрической мощности светодиоды условно делят на маломощные (до 1 Вт), мощные (свыше 1 Вт) и сверхмощные (более 10 Вт).

На рис. 7 показаны устройства маломощного и мощного светодиодов.

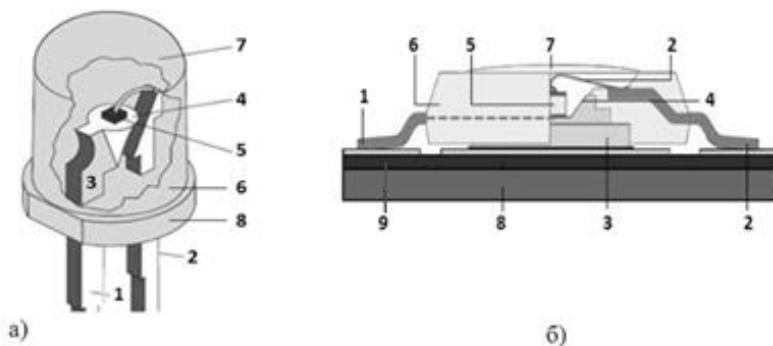


Рис.7. Устройство светодиодов:
а) – маломощного; б) – мощного.

Основу светодиодов составляет полупроводниковый кристалл 5, расположенный на проводящей подложке, служащей отражателем (рефлектор) 4, направляющим свет в одну сторону. К

кристаллу и подложке подводится электрическое напряжение, через анод 2 и катод 1. От внешних воздействий кристалл защищен корпусом 6 из эпоксидной смолы или поликарбоната.

Верхняя часть корпуса, как правило, делается в виде купола 7 с определенной кривизной и исполняет роль собирающей или рассеивающей линзы, формирующей световой пучок. При разнообразии форм корпусов, в которых установлены излучающие кристаллы, существенным отличием является то, что в мощных светодиодах кристалл устанавливается на теплоотводящей подложке 3. Так, например, в качестве основания корпуса светодиодов семейства XR используется металлизированная керамическая подложка с высокой теплопроводностью, что обеспечивает низкое тепловое сопротивление и электрическую изоляцию корпуса кристалла от внешнего теплоотвода. Материал подложки светодиодов (нитрид алюминия и карбид кремния) имеют близкие значения температурных коэффициентов объемного и линейного расширения, что позволяет решить проблему возникновения механических напряжений в кристалле при изменении температуры. Мощный светодиод крепится через изолятор 9 к основанию (печатной плате) 8. В маломощном светодиоде к основанию 8 крепятся катод 1, анод 2 и корпус 6.

Вольтамперная характеристика. Полную информацию об электрических свойствах светодиода дает его вольтамперная характеристика (рис. 8). При прямом подключении к источнику постоянного тока светодиод будет излучать свет в интервале напряжений от U_{\min} до U_{\max} , то есть для светодиода рабочим является участок ab вольтамперной характеристики 1. В случае превышения предельного напряжения U_{\max} наступает пробой p - n перехода и светодиод выйдет из строя. Пробой наступит также в случае обратного включения светодиода к напряжению, превышающему $U_{\max, \text{обр}}$. При обратном включении светодиода в случае $U < U_{\max, \text{обр}}$ через него протекает малый ток утечки $i_{\text{обр}}$, светодиод при этом не излучает света.

Вид вольтамперной характеристики зависит от природы полупроводников, составляющих светодиод. На рис. 8 пунктирной линией 2 показана вольтамперная характеристика светодиода, излучающего в более коротковолновом диапазоне, чем светодиод 1 (сплошная линия).

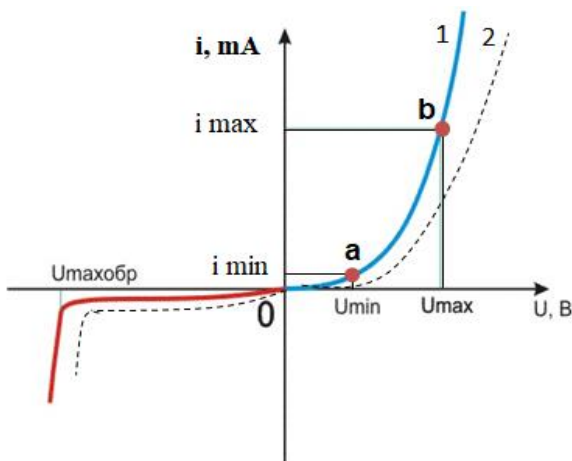


Рис. 8. Вольтамперная характеристика светодиода

Электрический ток через p-n переход обусловлен упорядоченным движением электронов и дырок, а его величина определяется уравнением:

$$i = i_s \left(e^{\frac{eU}{kT}} - 1 \right), \quad (12)$$

где U – внешнее напряжение, приложенное к p-n переходу с учетом знака, i_s – значение, к которому стремится обратный ток при увеличении обратного напряжения, e – заряд электрона, k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура.

Из уравнения (12) следует, что даже незначительное превышение приложенного прямого напряжения к p-n переходу по отношению к U_{max} , приводит к значительному росту тока через него. Кроме того, при прохождении прямого тока выделяется энергия в виде теплоты, увеличивается концентрация электронов и дырок в полупроводнике, сопротивление p-n перехода уменьшается, а величина прямого тока бесконтрольно растет. Для стабилизации электрических параметров светодиода, его надо подключать к

источнику постоянного тока через токоограничивающий резистор R (рис. 9).

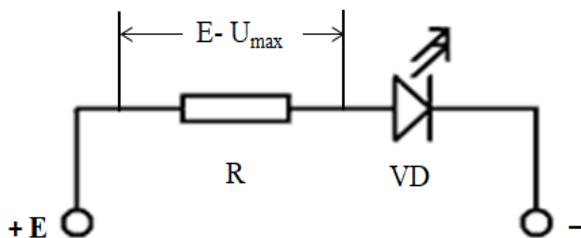


Рис. 9. Подключение резистора к светодиоду

Зная критические параметры светодиода U_{\max} и i_{\max} можно найти величину токоограничивающего резистора по формуле

$$R = \frac{\mathcal{E} - U_{\max}}{i_{\max}}, \quad (13)$$

где \mathcal{E} – ЭДС источника тока.

Пример. Имеется светодиод с рабочим напряжением 3 В и рабочим током 20 мА. Необходимо подключить его к источнику с $\mathcal{E} = 5$ В. Сопротивление токоограничивающего резистора, вычисленное по формуле (13), равно $R = 100$ Ом. Так как резисторы имеют разброс параметров до $\pm 20\%$ от номинальной величины, то для безопасности светодиода разумно взять резистор величиной $R \approx 120 - 150$ Ом.

Лабораторная работа № 3

Основные характеристики маломощных светодиодов

Цель работы. 1. Познакомиться с устройством маломощного светодиода типа DIP и физическими процессами, протекающими при генерации света p-n - переходом. 2. Установить зависимости светотехнических характеристик светодиода от величины протекающего через него тока.

Оборудование. Источник постоянного тока, вольтметр, миллиамперметр, люксметр, набор светодиодов.

Введение

В последнее время маломощные светодиоды получили широкое применение в бытовой технике, светильниках, рекламе, автомобилях, светофорах и т.д. Они бывают различных форм и размеров и обладают массой преимуществ. Маломощные

светодиоды имеют небольшие размеры, устойчивы к вибрациям и влаге, не требуют радиаторы для теплоотвода, экономичны и имеют высокую светоотдачу. Многообразие оптики и высокая яркость дает возможность использовать их практически везде. Наиболее востребованы светодиоды типа SMD и DIP.

Маломощные светодиоды типа SMD часто используются для поверхностного монтажа. В этой технологии светодиоды располагают на печатных платах, например, для изготовления светодиодных лент. Наиболее распространенные: SMD 3528 и SMD 5050. Рабочий ток светодиодов SMD 3528 равен 20 мА, световой поток от 3 до 7 лм. Спектральный состав излучения зависит от химического состава р-п-перехода. Технология изготовления белого светодиода состоит в нанесении, например, желтого люминофора на кристалл синего цвета свечения.

Светодиоды SMD 5050 монтируются в группах по трое (синий, зеленый и красный), образуя RGB модули, позволяющие создавать любые цветовые тона. Рабочий ток SMD 5050 колеблется в диапазоне от 60 до 70 мА, а диапазон светового потока - от 10 до 21 лм.

Напряжение, необходимое кристаллу в SMD или DIP, зависит от его генерируемого цвета и варьирует в пределах 1,8-3,5 В. Самое низкое напряжение требуется для источников, излучающих желтый и красный цвет (1,8-2,4 В). Для работы белых, синих и зеленых чипов требуется 3-3,5 В.

Исследование светотехнических характеристик маломощных светодиодов проведем на светодиодах типа DIP. На рисунке 7, а показан внешний вид цилиндрического маломощного светодиода. У светодиодов различают несколько основных параметров: 1) тип корпуса, под которым понимают форму, диаметр и цвет колбы (линзы); 2) электрические - типовые (рабочие) ток и падение напряжения; 3) световые - длина волны излучения, сила света и угол рассеяния, световая отдача.

Описание измерительной установки

В состав измерительной установки входят (рис. 10): источник стабилизированного постоянного напряжения ИП; потенциометр R_1 ; вольтметр V ; миллиамперметр mA ; люксметр L с фотоприемником ФП; светодиод СД.

Регулировку подаваемого на светодиод СД напряжения осуществляют потенциометром R_1 , а величина этого напряжения равна $U_{сд} = U - i (R + R_{mA})$, где: U – показания вольтметра; i –

показания миллиамперметра; R – сопротивление токоограничивающего резистора; R_{mA} – сопротивление миллиамперметра.

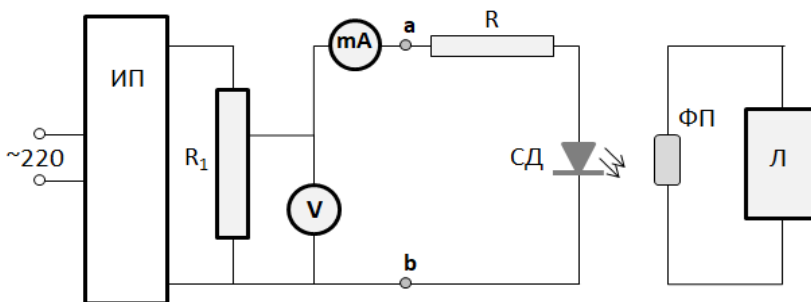


Рис.10. Принципиальная схема измерительной установки

Фотоприемник ФП люксметра Л расположен на расстоянии, при котором весь световой поток светодиода приходится на его фотоприемную поверхность.

Выполнение работы

Задание 1. Подготовка к эксперименту

1. По критическим параметрам использованного в работе маломощного монохроматического светодиода (красного, желтого, зеленого и т.д.) и ЭДС источника вычислите по формуле (13) величину токоограничивающего резистора.

2. Установите на магазине сопротивлений величину токоограничивающего сопротивления.

3. Соберите схему (см. рис. 10). К клеммам ab подсоедините светодиод. Вычислите цены делений стрелочных приборов.

4. По величине токоограничивающего резистора R и сопротивлению миллиамперметра R_{mA} найдите их суммарное сопротивление $(R + R_{mA})$.

На малых токах нужно использовать предел миллиампера 1,5 мА ($R_{mA} = 358 \text{ Ом}$), а свыше 1,5 мА – предел 30 мА ($R_{mA} = 130 \text{ Ом}$).

5. Регулятор напряжения (потенциометр) установите в положение, соответствующее нулевому напряжению на его выходе.

6. Включите ИП и установите величину тока через светодиод примерно 10 мА. Установите фотоприемник ФП люксметра на таком расстоянии от светодиода, чтобы основной световой поток светодиода приходился на приемную часть фотоприемника.

Источники оптического излучения

7. Несколько раз измерьте диаметр светового пятна и вычислите его среднее значение $\langle d \rangle$. По среднему диаметру пятна вычислите его площадь ($S = \pi d^2/4$).

8. Измерьте расстояние r от излучающей поверхности светодиода до фотоприемника люксметра и оцените телесный угол $\Omega = S/r^2$, в котором сосредоточено излучение. Выключить светодиод и измерить фоновую освещенность E_0 на рабочем месте.

8. Данные измерений и вычислений занесите в таблицу 7.

Таблица 7

Результаты измерений и вычислений

Цвет излучения	№, п/п	d, м	S, м ²	r, м	Ω , ср
$i_{\max} = \dots$ мА	1				
$U_{\max} = \dots$ В	2				
$E_0 = \dots$ лк	3				
$R = \dots$ Ом	Ср.				

Задание 2. *Снятие вольтамперной характеристики светодиода*

1. Включите люксметр согласно прилагаемой инструкции.

2. Включите источник питания в сеть 220 В. С помощью потенциометра R_1 увеличивайте выходное напряжение U до зажигания светодиода. Запишите минимальные значения тока i_{\min} и напряжения U_{\min} ($U_{\min} = U - i_{\min}(R + R_{\text{мА}})$).

3. Диапазон токов от i_{\min} до $i_{\max} \leq 20$ мА разбейте минимум на 10 частей. Для каждого значения тока измерьте величины напряжения U и освещенности E_1 . Данные эксперимента занесите в таблицу 8.

Таблица 8

Результаты измерений и вычислений

№, п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i , мА										
U , В										
$U_{\text{сд}}$, В										
E_1 , лк										

Источники оптического излучения

4. Для каждого значения тока вычислите падение напряжения на светодиоде, по формуле: $U_{сд} = U - i (R+R_{мА})$. Результаты вычислений занесите в таблицу 8.

5. Постройте график рабочего участка ab вольтамперной характеристики (рис. 8).

Задание 3. Определение светотехнических характеристик светодиода

1. Перенесите из таблицы 8 в таблицу 9 все значения тока и напряжения на светодиоде.

2. Для каждого значения тока вычислите потребляемую светодиодом электрическую мощность ($P = i \cdot U_{сд}$).

3. Для каждого значения тока вычислите освещенность датчика люксметра светодиодом по формуле $E = E_1 - E_0$, а по формуле (3) - световой поток Φ .

4. Для каждого значения тока вычислите: по формуле (8) световую отдачу η ; по формуле (6) осевую силу света I . Результаты вычислений занесите в таблицу 9.

Таблица 9

Результаты вычислений

№, п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i , мА										
$U_{сд}$, В										
P , мВт										
Φ , лм										
η , лм/Вт										
I , кд										

5. Постройте графики: зависимости световой отдачи от тока – $\eta(i)$; зависимости осевой силы света от тока – $I(i)$.

6. Укажите на источники погрешностей и оцените их величину для максимальных значений световой отдачи и осевой силы света.

7. По выполненной работе сделайте вывод.

Контрольные вопросы

1. Как подразделяют светодиоды по их мощности? Какие типы маломощных светодиодов чаще всего используются?

2. Какие условия необходимы для возникновения свечения в области p-n –перехода?
3. Как устроен маломощный светодиод и каковы функции каждого его элемента? Как рассчитать токоограничивающий резистор?
4. Приведите уравнение ВАХ полупроводникового диода. Что понимают под рабочим участком ВАХ светодиода?
5. Дайте определения фотометрическим величинам: световой поток; освещенность; сила света; яркость, диаграмма направленности. В каких единицах они измеряются в СИ?
6. Что такое световая отдача светодиода и в каких единицах она измеряется?

Лабораторная работа № 4

Основные характеристики мощных светодиодов

Цель работы. 1. Познакомиться с устройством мощного RGB и белого светодиодов и физическими процессами, протекающими при генерации света p-n-переходом. 2. Установить зависимости светотехнических характеристик светодиода от величины протекающего через него тока.

Оборудование. Источник постоянного тока, вольтметр, миллиамперметр, яркометр, мощные RGB и белый светодиоды.

Введение

Устройство мощного RGB светодиода отличается от представленного на рис.7, б тем, что на рефлекторе плотно размещаются три чипа, генерирующие красный (R), зеленый (G) и синий (B) свет. Излучения чипов смешиваются при помощи оптической системы, например линзы.

Изменение яркости излучений чипов позволяет перемещаться по цветовой диаграмме. При сложении излучений чипов одинаковой яркости получают белый свет. Яркость излучения (диммирование) каждого чипа можно регулировать величиной протекающего через него тока, стабилизацию которого обеспечивает конвертор.

В стандартных промышленных осветительных устройствах диммирование обеспечивается методом широтно-импульсной модуляции (ШИМ), состоящим в том, что на светодиод подается не постоянный, а импульсно-модулированный ток, причем частота сигнала составляет сотни или тысячи герц, а ширина импульсов и пауз между ними может изменяться. Регулирование яркости и

Источники оптического излучения

цветности RGB светодиодов обеспечивается специальным блоком, в который входит блок питания с конвертором и контроллер управления цветом RGB-матрицы.

Кроме RGB технологии, белый свет получают путем нанесения на кристалл, расположенный на рефлекторе (рис.7, б) и излучающий синий свет, многослойного или желтого люминофора. Технология белых светодиодов с люминофорами существенно дешевле, чем светодиодных RGB-матриц, и позволяет получать хороший белый цвет. К недостаткам этой технологии следует отнести: во-первых, меньшую, чем у RGB-матриц светоотдачу из-за преобразования света в слое люминофора; во-вторых, достаточно трудно точно проконтролировать равномерность нанесения люминофора в технологическом процессе и, следовательно, цветовую температуру; в-третьих - люминофор стареет быстрее, чем сам светодиод.

Срок службы у мощных светодиодов короче, чем у маломощных, так как через них пропускается больший ток, увеличивается температура чипа и, как следствие, быстрее наступает старение. Старение выражается в уменьшении яркости. Поэтому для мощных светодиодов требуется изготавливать эффективные теплоотводы (радиаторы). При хороших радиаторах срок службы мощных светодиодов достигает 50000 часов.

К светотехническим характеристикам мощных светодиодов, как и для маломощных, относятся осевая сила света, световой поток, яркость и диаграмма направленности. Диаграмма направленности формируется излучением чипа и оптикой светодиода. Промышленность изготавливает светодиоды разных конструкций, которые излучают в телесном угле от 4 до 140 градусов. Цвет излучения белых светодиодов зависит от цвета излучения чипа и химического состава люминофора. Цвет излучения RGB светодиодов может быть любым. Как обычно, цвет определяется координатами цветности по диаграмме МКО и цветовой температурой.

К электрическим характеристикам мощных светодиодов относится сила тока, падение напряжения, потребляемая электрическая мощность. Сила тока составляет несколько сотен миллиампер, а рабочее напряжение на чипе 2 - 4 В. Напряжение пробоя чипа указывается изготовителем и составляет более 5 В.

Энергетическая эффективность мощных светодиодов, как и всех источников света, оценивается светоотдачей (8).

Описание измерительной установки

В состав измерительной установки входят (рис. 11): источник стабилизированного постоянного напряжения ИП; мощные RGB и белый светодиоды СД; потенциометры R_1 – R_3 ; токоограничивающие резисторы R_R, R_G, R_B в цепи каждого чипа; вольтметр V ; миллиамперметр mA ; ключи K_1 и K_2 . Регулировку подаваемого на каждый чип СД напряжения осуществляют потенциометрами R_1 – R_3 , а величина этого напряжения, например на чипе B , равна $U_B = U_3 - i R_{mA}$, где: U_3 – показание вольтметра, когда он подключен ключами K_1 и K_2 к клеммам B ; i – показание миллиамперметра; R_{mA} – сопротивление миллиамперметра. Аналогично измеряют напряжение на белом светодиоде, только ключ K_2 подключают к клемме W (белый).

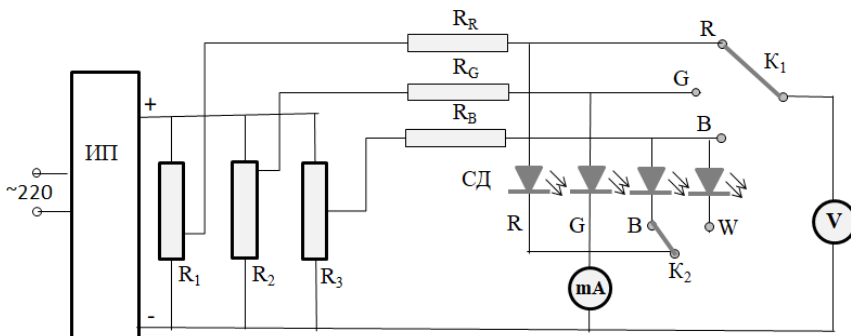


Рис.11. Принципиальная схема измерительной установки

Выполнение работы Измерения

Задание 1. Измерение параметров мощного RGB светодиода
1. Соберите схему (см. рис. 11). Запишите пределы измерений стрелочных приборов и вычислите их цены делений. Пределы измерений и соответствующие им внутренние сопротивления миллиамперметра указаны на рабочем месте. Следует иметь в виду, что по критическим параметрам каждого чипа и ЭДС источника по формуле (13) вычислены величины токоограничивающих резисторов R_R, R_G, R_B , каждый из них подключен последовательно к своему чипу.

Источники оптического излучения

2. Регуляторы напряжения (потенциометры R_1 – R_3) установите в положение, соответствующее нулевому напряжению на их выходе.

3. Установите яркометр на фиксированном расстоянии от светодиода так, чтобы световой поток каждого чипа светодиода приходился на его фотоприемную часть.

4. Включите яркометр согласно прилагаемой инструкции.

5. Включите источник питания в сеть 220 В и установите ключ K_1 в положение R (чип излучает красный свет).

6. Увеличивайте с помощью потенциометра R_1 выходное напряжение U_1 до зажигания чипа светодиода. Запишите минимальные значения тока i_{min} и напряжения ($U_{Rmin} = U_1 - i_{min} R_{mA}$).

7. Диапазон токов от i_{min} до $i_{max} \leq 350$ mA разбейте минимум на 10 частей. Для каждого значения тока измерьте величины напряжения U_1 и яркость L_1 .

8. Для каждого значения тока вычислите: 1) напряжение U_R ; 2) сопротивление чипа (по закону Ома). Данные измерений и вычислений занесите в таблицу 10.

Таблица 10
Результаты измерений и вычислений

№, п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i , mA										
U_1 , В										
L_1 , кД/м ²										
U_R , В										
R_1 , Ом										
U_2 , В										
L_2 , кД/м ²										
U_G , В										
R_2 , Ом										
U_3 , В										
L_3 , кД/м ²										
U_B , В										
R_3 , Ом										

9. Установите ключ K_1 в положение G (чип излучает зеленый свет) и повторите операции, указанные в пунктах 6 - 8, с индексами 2 и G.

10. Установите ключи K_1 и K_2 в положение В (чип излучает синий свет) и повторите операции, указанные в пунктах 6 и 7, с индексами 3 и В.

11. В одних координатных осях постройте графики рабочих участков ab (рис. 8) вольт-амперных характеристик чипов R, G, B.

12. В одних координатных осях постройте графики зависимости сопротивления чипов от величины тока $R=f(i)$.

13. В одних координатных осях постройте графики зависимости яркости чипов от величины тока $L=f(i)$.

14. Выключите источник питания и яркометр.

Задание 2. *Измерение электрических и светотехнических параметров мощного белого светодиода*

1. В измерительной установке (рис. 11) регуляторы напряжения (потенциометры R_1 – R_3) установите в положение, соответствующее нулевому напряжению на их выходе.

2. Установите ключ K_1 в положение В, а ключ K_2 в положение W (чип с люминофором, излучающий белый свет).

3. Включите источник питания и яркометр.

4. Увеличивайте с помощью потенциометра R_3 выходное напряжение U_3 до зажигания светодиода. Запишите минимальные значения тока i_{\min} и напряжения ($U_{B\min} = U_3 - i_{\min} \cdot R_{mA}$).

5. Установите фотоприемник яркомера на таком расстоянии от светодиода, чтобы световой поток светодиода приходился на его приемную часть.

6. Несколько раз измерьте диаметр светового пятна и вычислите его среднее значение $\langle d \rangle$. По среднему диаметру пятна вычислите его площадь S .

7. Измерьте расстояние r от излучающей поверхности светодиода до фотоприемника яркомера и оцените телесный угол $\Omega = S/r^2$, в котором сосредоточено излучение.

8. Диапазон токов от i_{\min} до $i_{\max} \leq 350$ мА разбейте минимум на 10 частей. Для каждого значения тока измерьте величины напряжения U_3 и яркость L_3 . Данные эксперимента занесите в таблицу 11.

Таблица 11

Результаты измерений

№, п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i , мА										
U_3 , В										
L_3 , кд/м ²										

Обработка результатов эксперимента

Задание 3. Определение электрических и светотехнических характеристик мощного белого светодиода

1. Перенесите из таблицы 11 в таблицу 12 все значения тока, напряжения на светодиоде и яркости.

2. Для каждого значения тока вычислите: 1) напряжение на чипе, по формуле ($U_B = U_3 - i \cdot R_{MA}$); 2) осевую силу света по формуле (7), полагая в (7) S – площадь сечения линзы светодиода, а $\alpha = 0$; 3) по формуле (6) световой поток, взяв телесный угол из задания 2, пункт 7; 4) потребляемую электрическую мощность; 5) световую отдачу (8). Результаты вычислений занесите в таблицу 12.

Таблица 12

Результаты вычислений

№, п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
i , мА										
U_3 , В										
U_B , В										
L_3 , кд/м ²										
I_3 , кд										
Φ , лм										
P , Вт										
η , лм/Вт										

3. Постройте графики зависимостей: 1) осевой силы света от силы тока $I=f(i)$; 2) потребляемой электрической мощности от силы тока $P=f(i)$; 3) световой отдачи от силы тока $\eta=f(i)$.

Контрольные вопросы

1. Как подразделяют светодиоды по их мощности? Каковы принципиальные отличия мощного светодиода от маломощного?
2. За счет чего возникает свечение в области р-п –перехода? В чем отличие излучений RGB светодиода от белого?
3. Как устроен мощный светодиод? Каковы функции каждого элемента светодиода?
4. Как рассчитать для светодиода токоограничивающий резистор?
5. Приведите уравнение ВАХ полупроводникового диода. Что понимают под рабочим участком ВАХ светодиода?
6. Дайте определения фотометрическим величинам: световой поток; освещенность; сила света; яркость и диаграмма направленности. В каких единицах они измеряются в СИ?
7. Что такое световая отдача светодиода и в каких единицах она измеряется?

Лабораторная работа № 5 Ретрофитные лампы

Цель работы: определить основные электрические и светотехнические характеристики ретрофитной лампы.

Оборудование: универсальный лабораторный стенд.

Введение

В начале XXI в. разработаны инновационные светодиодные источники света, имеющие форму лампочек со стандартными цоколями, которые получили название *ретрофитных*. На рис. 12, а представлены лампы, состоящие из ярких маломощных светодиодов, установленных: 1) внутри параболического отражателя; 2) на цилиндрической поверхности; 3) на арматуре от линейной люминесцентной лампы. Питание светодиодов осуществляется от блока питания, который установлен в цокольном отсеке.



Рис. 12. Разновидности светодиодных ламп

Источники оптического излучения

Современная светодиодная ретрофитная лампа (рис. 12, б) состоит из нескольких элементов, среди которых основными являются: преобразователь питания (светодиодный драйвер) (4); светодиодная матрица (5); система охлаждения – радиатор (2) и оптическая система (3). Оптическая система состоит либо из прозрачной, либо из матовой стеклянной колбы, равномерно рассеивающей свет. Цоколь E27 (1) или E14.

Светодиодная матрица установлена на радиаторе, который обеспечивает теплообмен между кристаллами мощных светодиодов (6) и окружающей средой. Светодиоды покрыты люминофором, в зависимости от состава которого можно получить любой спектральный состав излучения – от теплых тонов до холодных.

Светодиодный драйвер преобразует переменное сетевое напряжение 220 В в низковольтное стабилизированное постоянное напряжение, необходимое для питания светодиодных кристаллов. Типичная схема светодиодного драйвера показана на рис. 13.



Рисунок 13. Блок-схема светодиодного драйвера

Сетевое переменное напряжение проходит через фильтр электромагнитных помех (ЭМП) на выпрямитель. Затем выпрямленное напряжение проходит через ступень коррекции коэффициента мощности (ККМ) и питает, собственно, импульсный стабилизатор тока, к выходу которого подключены светодиоды. Входной помехоподавляющий фильтр (ЭМП) предотвращает проникновение высокочастотных импульсных помех как из сети в блок питания, так и наоборот — из блока питания в сеть. Помехи в сети появляются при подключении к ней мощных нагрузок. Помехи в блоке питания обусловлены, прежде всего, импульсным режимом работы транзистора, резонансом в силовых цепях блока в моменты коммутации и работой выпрямителя. Выпрямитель выполнен по схеме диодного моста. Диодный мост преобразует переменный ток с частотой сети 50 Гц в пульсирующий ток одного направления, частотой 100 Гц. На выходе диодного моста установлен фильтр, который частично сглаживает пульсации тока. Физические процессы, происходящие в нелинейных элементах выпрямителя (диодах), создают эффект реактивной мощности, которую потребляет лампа. Коэффициентом мощности (КМ) называется

отношение активной (полезной) мощности к полной (активная + реактивная). Активная мощность полностью потребляется нагрузкой и совершает полезную работу. Реактивная же сперва запасается, а затем снова возвращается в сеть. В этой ситуации в сети текут большие токи, чем требовалось бы для данной нагрузки. Таким образом, главная задача ступени коррекции коэффициента мощности (ККМ) — сократить величину реактивной составляющей мощности до минимума.

Яркость светодиода (7) сильно зависит от тока, через него протекающего. Ток же, в свою очередь, определяется многими параметрами, важнейшими из которых являются питающее напряжение и температура р-п-перехода светодиода. Поэтому *первая и основная функция стабилизатора тока и в целом драйвера светодиодной лампы — обеспечивать стабильный ток, вне зависимости от изменения внешних параметров.*

Светодиодные лампы – это абсолютно безвредные для экологии устройства. В их конструкции нет токсичных веществ, угрожающих чистоте окружающего мира и человеческому здоровью. По яркости излучения светодиодные лампы уступают некоторым газоразрядным источникам света. Тем не менее, световой поток полупроводниковых устройств обладает хорошими показателями по другим параметрам. Так, излучению светодиодных ламп свойственно мягкость, контрастность, хорошей цветопередачи и отсутствие пульсаций. Оно не связано со стробоскопическим эффектом и не обладает ультрафиолетовыми и инфракрасными лучами, благодаря чему не вызывает усталость глаз и не способствует ухудшению зрения, как некоторые другие устройства.

Электрическая схема питания, позволяющая определять основные электрические и световые характеристики ретрофитной лампы, приведена на рисунке 14.

Автотрансформатор АТ подключен к сети 220 В. К его выходу подсоединена исследуемая ретрофитная лампа, установленная в фотометрическом блоке ФБ. Напряжение, подаваемое на лампу, величина тока, протекающего через лампу и потребляемая электрическая мощность контролируются вольтметром В, амперметром А и ваттметром W.

Для снятия вольтамперной характеристики ретрофитной лампы необходимо в схеме (рис.14) отключить ваттметр.

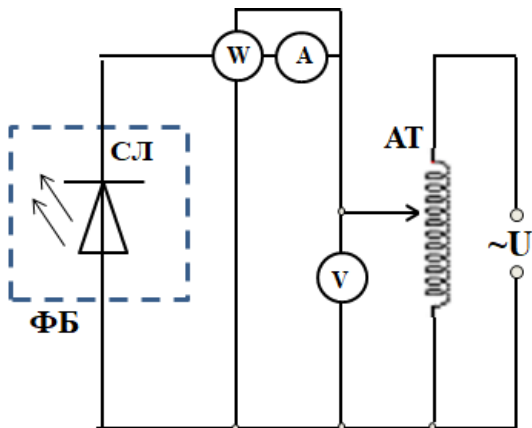


Рис. 14. Схема измерительной установки

Фотометрический блок изнутри имеет высокоотражательную матовую поверхность, в одну из стенок которого вставляется фотодатчик люксметра так, чтобы исключить прямое попадание света от лампы. Благодаря многократным отражениям света в объеме фотометрического блока создается однородное световое поле. Измерив поочередно освещенность E внутренней поверхности фотометрического блока, созданной ретрофитной и эталонной лампой (можно использовать паспортные данные номинального светового потока исследуемой) можно оценить ее световой поток по формуле (4).

Выполнение работы

Задание 1. *Снятие зависимостей электрических и светотехнических параметров ретрофитной лампы от напряжения.*

1. Перед выполнением работы убедитесь, что стенд отключен от сети электропитания, соберите электрическую схему питания лампы (рис. 14), отключите выключатели всех блоков.

2. Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника питания G1.

3. Откройте дверцу фотометрического блока установите ретрофитную лампу. Закройте дверцу.

4. В окно стенки фотометрического блока вставить фотоприемник люксметра и включить его согласно прилагаемой инструкции.

Источники оптического излучения

5. Поверните рукоятку автотрансформатора против часовой стрелки до упора.

6. Последовательно включите: блок питания - G1; блок мультиметров - «Сеть»; измеритель мощности - «Сеть».

7. Установите регулировочную рукоятку автотрансформатора напротив отметки 220 В, включите автотрансформатор.

8. Установите напряжение на выходе автотрансформатора 230 В. Уменьшайте напряжение на выходе автотрансформатора с шагом 20 В от 230 В до значения, при котором лампа погаснет, и заносите в таблицу 13 показания вольтметра, амперметра, ваттметра, варметра, люксметра и пульсометра.

Таблица 13

Результаты измерений

№, п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U, В									
I, А									
P, Вт									
Q, ВАр									
E, лк									
Kп, %									

9. Отключите выключатели «Сеть» блоков, задействованных в эксперименте.

10. Используя данные таблицы 13 вычислите для каждого значения напряжения: световой поток (4); световую отдачу (8); коэффициент мощности (1).

11. Занесите вычисленные значения в таблицу 14.

12. Построить графики зависимостей: $P(U)$; $Q(U)$; $K_p(U)$; $\cos\phi(U)$; $\Phi(U)$; $\eta(U)$.

13. По проделанному заданию сделать вывод.

Таблица 14

Результаты вычислений

U, В									
cosφ									
Φ, лм									
η, лм/Вт									

Задание 2. *Снятие вольтамперной характеристики ретрофитной лампы*

1. Перед выполнением работы убедитесь, что стенд отключен от сети электропитания, отключены выключатели всех блоков, ретрофитная лампа установлена в фотометрическом блоке.

2. Отключите люксметр, а в схеме питания лампы (рис.14) – ваттметр.

3. Поверните рукоятку автотрансформатора против часовой стрелки до упора.

4. Последовательно включите: блок питания - G1; блок мультиметров - «Сеть».

5. Установите ручку автотрансформатора напротив отметки 220 В, включите его выключатель «Сеть».

7. Установите напряжение на выходе автотрансформатора 230 В.

8. Снижайте напряжение на выходе автотрансформатора с шагом 20 В от 230 В до значения, при котором лампа погаснет, и заносите показания вольтметра и амперметра в таблицу 15.

Таблица 15

Результаты измерений

U, В									
I, А									

9. Отключите выключатели «Сеть» всех блоков, задействованных в эксперименте и однофазный источник питания G1.

10. Используя данные таблицы 15, постройте вольтамперную характеристику светодиодной лампы.

11. По выполненному заданию сделать вывод.

Задание 3. *Определение кривой силы света ретрофитной лампы*

1. На пластину с координатной сеткой установите транспортер.

2. Перемещая регулировочные винты крючков кронштейна и транспортер А7, расположите последний и светильник так, чтобы светодиоды, установленной в светильнике, расположилась на перекрестии ортогональных линий, проходящих через отметки 0 и 90 град транспортера, как это показано на рабочем месте.

Источники оптического излучения

3. Вставьте фотодатчик люксметра матовым стеклом вверх в каретку транспорта и включите согласно прилагаемой инструкции люксметр.

4. Перемещая каретку транспорта с фотодатчиком по направляющим, изменяйте угол φ его положения в диапазоне 0...170 град, и заносите в таблицу 16 значение угла φ и показания люксметра E_0 при отключенном светильнике.

5. Повторите измерения освещенности E' , аналогичные п.4, при включенном светильнике.

6. Отключите выключатели «СЕТЬ» блоков, задействованных в эксперименте. Отключите однофазный источник питания G1.

Таблица 16

Результаты измерений и вычислений

φ , град									
E_0 , лк									
E' , лк									
E , лк									

7. Используя данные таблицы 16, вычислите для каждого значения угла φ результирующую освещенность, по формуле

$$E = (E' - E_0).$$

8. Используя данные таблицы 16, постройте в полярной системе координат искомую кривую светораспределения ретрофитной лампы $E = f(\varphi)$.

9. По выполненной работе сделайте вывод.

Контрольные вопросы

1. Какие физические процессы в p-n-переходе сопровождают излучение светодиода?

2. От каких факторов зависит длина волны излучения и его интенсивность?

3. Из каких основных узлов состоит ретрофитная лампа?

4. Какую роль в ретрофитной лампе выполняет драйвер? Приведите блок-схему светодиодного драйвера.

5. Какие функции выполняют: фильтр электромагнитных помех (ЭМП), выпрямитель, блок коррекции коэффициента мощности (ККМ), импульсный стабилизатор тока?

6. Приведите основные электрические, светотехнические и эксплуатационные характеристики светодиодных ламп.
7. Какие достоинства и недостатки ретрофитных ламп?

Лабораторная работа № 6 Филаментные лампы

Цель работы: определить основные электрические и светотехнические характеристики филаментной светодиодной лампы.

Оборудование: универсальный лабораторный стенд, филаментная светодиодная лампа (ФСЛ).

Введение

Первые филаментные светодиодные лампы появились еще в 2008 году в Японии. Они предназначались только для декоративных целей. Лампы получили название - Filament Led Bulb. Filament - в переводе означает "нить накаливания". Но огромное распространение они получили только в 2015 году. На рис.15 показано устройство филаментной лампы.

Филамент - отрезок из искусственного сапфира (стекла) диаметром до 1,5 мм и в длину до 30 мм. На этом отрезке, используя технология Chip-on-Glass (COG), размещают 28 светодиодов синего свечения, соединяя их последовательно.

Если необходимо получить более теплые оттенки, то добавляют красные светодиоды. Но даже в этом случае общее количество светодиодов не больше 28. Вся "конструкция" покрывается люминофором. Один отрезок филамента потребляет от 0,8 до 1,3 Вт. К одному филаменту подводится напряжение около 100 В. Массивы светодиодов светят в разные стороны за счет прозрачности подложки. Филаменты (1) закреплены на стеклянной ножке (3) и герметично запаяны в стеклянную колбу (2). Эта колба наполнена специальным газом, обладающим высокой теплопроводностью.



Рис. 15. Устройство филаментной лампы

Именно через газ и осуществляется отвод тепла от светодиодов. Стеклоная колба с тонкими стенками хорошо проводит тепло, поэтому она и используется в качестве теплоотвода. В зависимости от мощности лампы, размеры колб должны быть такими, чтобы температура р-п перехода каждого светодиода ФСЛ не превышает 60 °С. При изготовлении колб и наполнении их газом используют хорошо отработанные технологии ламп накаливания.

Важным преимуществом филамента по сравнению с традиционными светодиодными матрицами является то, что для равномерного распределения света во все стороны не нужно использовать сложную оптическую систему, вносящую большие потери. Это обеспечивает высокую светоотдачу лампы. Во-вторых, не нужны для охлаждения специальные радиаторы. В-третьих, производство ФСЛ аналогичное с производством ламп накаливания. В-четвертых, полная совместимость ФСЛ со светильниками, которые проектировались под лампы накаливания.

Драйвер размещен в цоколе лампы. Из-за ограниченного пространства используют упрощенную конструкцию драйвера с высоким коэффициентом пульсации, или драйвер с высокой степенью миниатюризации без пульсации, которые стоят очень дорого. На рисунке 16 приведена схема упрощенного драйвера, которым комплектуются филаментные лампы.

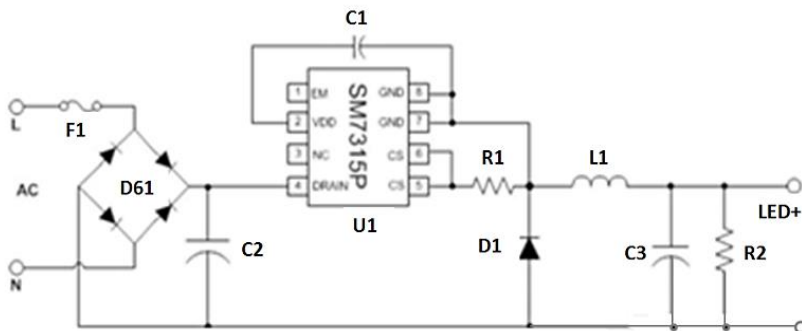


Рис. 16. Схема драйвера филаментной лампы.

Сетевое переменное напряжение проходит через фильтр F1 электромагнитных помех (ЭМП), который предотвращает проникновение высокочастотных импульсных помех как из сети в блок питания, так и наоборот — из блока питания в сеть. После фильтра переменное напряжение поступает на диодный мост (D61). Выпрямленное пульсирующее напряжение частично сглаживается конденсатором C2 и поступает на микросхему U1.

Микросхема выполняет следующие важные задачи: 1) стабилизирует ток, потребляемый нагрузкой; 2) осуществляет коррекцию коэффициента мощности (ККМ). После микросхемы ток, питающий филаменты, проходит через токоограничивающий резистор R1 и дополнительный фильтр D1, L1, C3. Высокоомный резистор R2 шунтирует конденсатор C3.

Электрическая схема питания, позволяющая определять основные электрические и световые характеристики филаментной лампы, приведена на рисунке 14.

Выполнение работы

Измерения

Задание 1. *Снятие зависимостей электрических и светотехнических параметров филаментной лампы от напряжения.*

1. Перед выполнением работы убедитесь, что стенд отключен от сети электропитания, соберите электрическую схему питания лампы (рис.14), отключите выключатели всех используемых блоков.

2. Соедините гнезда защитного заземления устройств, используемых в эксперименте, с гнездом «РЕ» источника питания G1.

Источники оптического излучения

3. Откройте дверцу фотометрического блока установите филаментную лампу. Закройте дверцу.

4. В окно стенки фотометрического блока вставить фотоприемник люксметра и включить его согласно прилагаемой инструкции.

5. Поверните рукоятку автотрансформатора против часовой стрелки до упора.

6. Последовательно включите: блок питания - G1; блок мультиметров - «Сеть»; измеритель мощности - «Сеть».

7. Установите регулировочную рукоятку автотрансформатора напротив отметки 220 В и включите автотрансформатор.

8. Установите напряжение на выходе автотрансформатора 230 В. Уменьшайте напряжение на выходе автотрансформатора шагом 20 В от 230 В до значения, при котором лампа погаснет. Занесите в таблицу 17 показания вольтметра, амперметра, ваттметра, варметра, люксметра и пульсометра.

Таблица 17

Результаты измерений

№, п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U, В									
I, А									
P, Вт									
Q, Вар									
E, лк									
K _п , %									

9. Отключите выключатели «Сеть» блоков, задействованных в эксперименте.

10. Используя данные таблицы 17, вычислите для каждого значения напряжения: световой поток (4); световую отдачу (8); коэффициент мощности (1).

11. Занесите вычисленные значения в таблицу 18.

Таблица 18

Результаты вычислений

U, В									
cosφ									
Φ, лм									
η, лм/Вт									

12. Постройте графики зависимостей: $P(U)$; $Q(U)$; $K_n(U)$; $\cos\varphi(U)$; $\Phi(U)$; $\eta(U)$.
13. По проделанному заданию сделайте вывод.

Задание 2. *Снятие вольтамперной характеристики и коррелированной цветовой температуры филаментной лампы*

1. Перед выполнением работы убедитесь, что стенд отключен от сети электропитания, отключены выключатели всех используемых блоков, филаментная лампа установлена в фотометрическом блоке.

2. Отключите люксметр, а в схеме питания лампы (рис.14) – ваттметр.

3. Поверните рукоятку автотрансформатора против часовой стрелки до упора.

4. Последовательно включите: блок питания - G1; блок мультиметров - «Сеть».

5. Установите регулировочную рукоятку автотрансформатора напротив отметки 220 В, включите автотрансформатор.

6. Откройте дверцу фотометрического блока и с помощью «ТКА-ВД»/02 измерьте координаты цветности и коррелированную цветовую температуру.

7. Установите напряжение на выходе автотрансформатора 230 В.

8. Снижайте напряжение на выходе автотрансформатора с шагом 20 В от 230 В до значения, при котором лампа погаснет, и заносите показания вольтметра, амперметра, координаты цветности по диаграмме МКО и коррелированную цветовую температуру в таблицу 19.

Таблица 19

Результаты измерений

U, В									
I, А									
T, К									
x									
y									

9. Отключите выключатели «Сеть» всех блоков, задействованных в эксперименте и однофазный источник питания G1.

10. Используя данные таблицы 19, постройте зависимости: $I(U)$; $x(U)$; $y(U)$; $T_c(U)$.

11. По выполненному заданию сделать вывод.

Контрольные вопросы

1. Какие физические процессы в р-п переходе сопровождают излучение светодиода?
2. От каких факторов зависит длина волны излучения и его интенсивность?
3. Из каких основных узлов состоит филаментная лампа?
4. Какую роль в филаментной лампе выполняет драйвер?
Приведите схему светодиодного драйвера.
5. Какие функции выполняют: фильтр электромагнитных помех (ЭМП), выпрямитель, микросхема?
6. Приведите основные электрические, светотехнические и эксплуатационные характеристики светодиодных ламп.
7. Перечислите достоинства и недостатки филаментных ламп.

Рекомендуемая литература

1. Чертов А.Г. Единицы физических величин. М.: Высшая школа, 1977.
2. Юнович А.Э. Свет из гетеропереходов / Природа, №6, 2001.
3. А. Берг, П. Дин. Светодиоды. М.: Мир, 1979.
4. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Знак, 2006.