

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

М. В. ШЕВЧЕНКО, Е. С. ДУБКОВА

***ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
И СВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ИСТОЧНИКОВ СВЕТА***

ПРАКТИКУМ

Благовещенск
Дальневосточный ГАУ
2022

УДК 628.9

ББК 31.294
ШЗ1

Рецензент

*Александр Николаевич Козлов, кандидат технических наук,
доцент, доцент кафедры энергетики
Амурского государственного университета*

*Рекомендовано к использованию в учебном процессе
методическим советом электроэнергетического факультета
Дальневосточного государственного аграрного университета*

ШЗ1 **Шевченко, М. В. Исследование электрических и световых характеристик источников света : практикум / М. В. Шевченко, Е. С. Дубкова ; Дальневост. гос. аграр. ун-т. – Благовещенск : Дальневосточный ГАУ, 2022. – 115 [1] с.**

ISBN 978–5–9642–0569–2

Практикум подготовлен в соответствии с федеральными государственными образовательными стандартами высшего образования и рабочей программой дисциплины «Светотехника». Содержит методику выполнения и задания для лабораторных работ по измерению освещенности; определению электрических и световых характеристик различных источников света. Для контроля усвоения материала по каждой теме приведены варианты тестовых заданий. Изложены указания и рекомендации по выполнению лабораторных работ.

Практикум предназначен для обучающихся очной и заочной форм обучения по направлениям бакалавриата 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и 35.03.06 «Агроинженерия».

УДК 628.9
ББК 31.294

ISBN 978–5–9642–0569–2

© Шевченко М. В., Дубкова Е. С., 2022
© ФГБОУ ВО Дальневосточный
государственный аграрный университет, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Организационные и методические аспекты проведения практикума	5
Правила выполнения лабораторных работ.....	5
Общие указания и рекомендации по выполнению лабораторных работ	6
Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ	8
Лабораторная работа № 1. Измерение освещенности объективным методом.....	9
Лабораторная работа № 2. Исследование светотехнических характеристик ламп накаливания	24
Лабораторная работа № 3. Исследование электрических и световых характеристик люминесцентных ламп.....	38
Лабораторная работа № 4. Исследование люминесцентной лампы с балластными сопротивлениями	54
Лабораторная работа № 5. Исследование характеристик электрического разряда ламп высокого давления.....	61
Лабораторная работа № 6. Исследование электрических и световых характеристик компактных энергосберегающих люминесцентных ламп	86
Лабораторная работа № 7. Исследование электрических и световых характеристик светодиодных ламп	96
Список рекомендуемой литературы.....	114

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий практикум подготовлен в соответствии с программой дисциплины «Светотехника» для обучающихся очной и заочной форм обучения по направлению 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника» и обучающихся очной формы обучения по направлению 35.03.06 – «Агроинженерия».

Представленный материал содержит общие сведения, методические указания к выполнению лабораторных работ, а также перечень необходимой литературы ко всем работам. После каждой работы содержится тестовый материал для проверки знаний по выполненным работам.

В предлагаемом практикуме изложены сведения по источникам света, дополняющие лекционный материал дисциплины.

Настоящий практикум является составной частью дисциплины «Светотехника». Приведенные нормы, объемы и методики соответствуют требованиям, изложенным в Правилах устройства электроустановок, Правилах технической эксплуатации электроустановок, Правилах техники безопасности при эксплуатации электроустановок.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИКУМА

Правила выполнения лабораторных работ

Общие положения. Перед выполнением лабораторных работ в лаборатории студент обязан:

1) изучить правила техники безопасности, принять их к обязательному выполнению и расписаться в журнале;

2) предварительно подготовиться к предстоящему занятию, используя рекомендуемую литературу, лекции и учебное пособие к лабораторным работам;

3) выполнить все требования преподавателя, относящиеся к соблюдению правил техники безопасности, порядку выполнения работ, сборки, разборки и апробирования в работе аппаратов, а также требования по сохранности лабораторного оборудования.

Запрещается без разрешения преподавателя самостоятельно переносить и переставлять оборудование; выполнять операции, не предусмотренные методическими указаниями.

Организация выполнения лабораторных работ. Лабораторные работы выполняются группой не более пяти человек по круговой системе. Все лабораторные работы выполняются в соответствии с методическими указаниями под руководством преподавателя. Изучение, сборка и опробование схем управления допускается только с разрешения преподавателя. При выполнении лабораторной работы необходимо находиться только на своем рабочем месте, соблюдать тишину и порядок. По окончании работы студент обязан убрать свое рабочее место.

Оформление отчета. В отчете о выполнении лабораторной работы должны быть приведены:

1) тема и цель работы;

2) *план работы и контрольные вопросы;*

3) *краткое описание лабораторной установки и методика выполнения работы;*

4) *таблица с экспериментальными данными;*

5) *графическая часть, построенная по проведенным опытам.*

Отчет о выполнении лабораторной работы оформляется каждым студентом индивидуально. Отчеты, выполненные с отступлением от указанных требований и не в полном объеме, к рассмотрению не принимаются. При сдаче (защите) отчета преподаватель проверяет знания студента в объеме материала выполненной работы.

Общие указания и рекомендации по выполнению лабораторных работ

Лабораторные занятия способствуют глубокому усвоению обучающимися теоретического материала путем его экспериментальной проверки. Одновременно они предназначены для выработки у обучающихся навыков работы с действующими источниками оптического излучения, проведения исследования, обработки экспериментальных данных и анализа полученных результатов.

На первом занятии в лаборатории студенты проходят инструктаж по технике безопасности, содержание которого определяется инструкцией, разработанной для конкретного помещения. Инструктаж проводит преподаватель, который в специальном журнале указывает дату, содержание инструктажа, фамилии студентов и подписи.

Перед лабораторной работой студент должен детально ознакомиться с ее содержанием и методикой, получить общее представление об ожидаемых результатах опыта. Для этого необходимо изучить теоретический материал по лекциям и рекомендуемой литературе.

К каждому лабораторному занятию студент должен подготовить таблицы для записи результатов измерений, вычертить требуемые электрические схемы.

Непосредственно перед выполнением работы преподаватель проверяет готовность каждого студента по теме занятия, проводит тестирование, и только затем допускает его к работе.

Допущенные к работе студенты группами из трех – четырех человек готовят лабораторный стенд или установку к проведению опытов и включают ее в работу только с разрешения преподавателя.

Во время лабораторных работ каждый студент должен соблюдать правила техники безопасности.

Результаты опытов студенты представляют преподавателю для проверки. Последующие опыты выполняют только после полного завершения предыдущих с разрешения преподавателя.

После проведения экспериментов лабораторная установка должна быть выключена.

По полученным результатам студент оформляет отчет, который должен содержать название; цель и программу работы; эскиз конструкций исследуемых источников излучения, светильников, облучателей; экспериментальные электрические схемы и паспортные данные использованного оборудования и измерительных приборов; опытные и расчетные результаты; расчетные формулы и примеры расчета по ним, а также краткие выводы по отдельным пунктам программы и по работе в целом.

Ряды значений рассчитываемых величин заносят в таблицы, предусмотренные учебным пособием. Однако по каждой такой величине в отчете должен быть приведен пример расчета одного значения, что необходимо для контроля и быстрого поиска возможных ошибок и более глубокого понимания обучающимся изучаемого материала.

Оформленный отчет представляется преподавателю для защиты. Неаккуратно оформленный отчет к защите не допускается.

При защите отчета обучающийся должен давать исчерпывающие ответы на вопросы преподавателя по всему материалу лабораторной работы.

Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ

1. На металлических корпусах приборов может, при нарушении изоляции, возникнуть опасное для жизни человека напряжение. В связи с этим запрещается самостоятельно вскрывать переднюю панель комплекта и производить электромонтажные работы.

2. Запрещается подавать питание на комплект, не соединенный с контуром рабочего заземления помещения лаборатории.

3. Подавать питание на комплект следует только после проверки правильности собранной схемы преподавателем или лаборантом.

4. При выполнении лабораторных работ запрещается производить какие-либо действия на комплекте, не имея допуска на выполнение данной работы.

5. Запрещается подключать к комплекту оборудование, не предусмотренное техническим описанием и учебным пособием.

6. Запрещается производить какие-либо переключения на комплекте при включенном питании (кроме предусмотренных в указаниях к выполнению лабораторных работ).

Ответственность за безопасность обучающихся и эксплуатацию стенда несет лицо, ответственное за проведение лабораторных работ.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.

ИЗМЕРЕНИЕ ОСВЕЩЕННОСТИ ОБЪЕКТИВНЫМ МЕТОДОМ

Цель исследования – ознакомиться с устройством, характеристиками и принципом действия приборов для измерения освещенности, приобрести навыки измерения освещенности с помощью люксметра.

Теоретический материал

Для измерения освещенности применяются специальные фотометрические приборы, получившие название **люксметров**. *Простейший фотоэлектрический (объективный) люксметр представляет собой селеновый фотоэлемент, в цепь которого включен стрелочный гальванометр.*

Селеновый фотоэлемент – это полупроводниковый прибор с запирающим слоем. Принцип его действия основан на фотоэлектрическом эффекте, заключающимся в том, что под действием света на зажимах фотоэлемента возникает электродвижущая сила. Сила электрического тока, проходящего по замкнутой цепи фотоэлемента, прямо пропорциональна его освещенности.

Селеновый фотоэлемент (рис. 1.1) состоит из металлической пластины (1) толщиной 1–2 мм, на поверхность которой наносится слой селена (2).

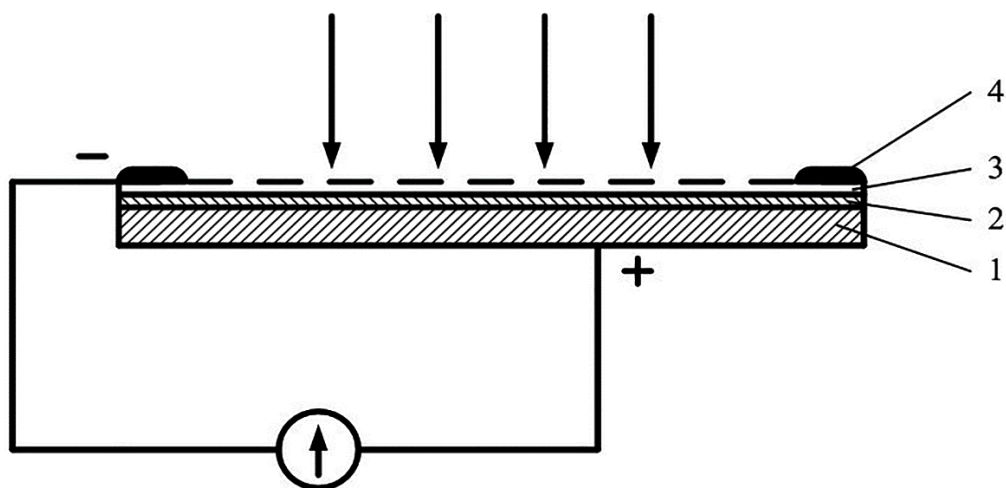


Рисунок 1.1 – Разрез селенового фотоэлемента с запирающим слоем

Термической обработкой селен переводится в кристаллическую (серую) светочувствительную модификацию. На этот слой в вакууме напыляется сначала тончайший слой кадмия, а затем полупрозрачный слой золота или платины (3), поверх которого наносится контактное кольцо (4), являющееся отрицательным электродом фотоэлемента.

Селеновый элемент обладает спектральной чувствительностью, которая приближается к чувствительности глаза. Так как селеновый фотоэлемент – не вполне устойчивый прибор и его показания подвержены колебаниям из-за изменения температуры, длительности освещения и т. д., то для получения более точных результатов надо измерять освещенность несколько раз и усреднять данные.

Шкала гальванометра градуируется непосредственно в люксах по стандартному источнику с цветовой температурой $T = 2\ 854\ \text{K}$, спектральный состав излучения которого приближается к спектральному составу ламп накаливания средней мощности (200–300 Вт).

Возможность измерения малых значений освещенности достигается за счет применения гальванометров чувствительностью порядка $10^{-6}\ \text{A/дел}$. Для измерения большой освещенности прибор снабжается шунтами и нейтральными фильтрами, надеваемыми на фотоэлемент.

При выполнении лабораторных работ от точности измерений зависит качество и достоверность получаемых результатов, и возможность на их основе сделать правильные выводы. Поэтому измерения следует проводить как можно внимательнее и точнее. Однако точность при этом должна соответствовать точности измерительных приборов.

В тех случаях, когда на результаты измерений могут оказать влияние какие-либо случайные факторы (например, при измерении освещенности и об-

лученности – влияние излучений посторонних источников, колебания напряжения в сети и т. д.), то измерения следует проводить не менее чем в трехкратной повторности.

Полученные при измерениях данные необходимо внимательно просмотреть, проанализировать ход исследуемых зависимостей. При резких отличиях отдельных результатов измерений их надо отбросить как грубые ошибки, возникшие из-за нарушения основных условий измерения, или ошибки экспериментатора (например, проведение отсчета не по нужной шкале прибора), или недосмотра экспериментатора. Сами же измерения необходимо повторить, если это возможно.

Для величин, измеренных с повторностью n , необходимо определить как наиболее достоверное среднеарифметическое значение измерений:

$$x = x_{\text{cp}} = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n)/n \quad (1.1)$$

Это значение надо охарактеризовать погрешностью, допущенной при измерениях. Прежде всего находят абсолютную ошибку, представляющую алгебраическую разность между данными конкретного измерения и среднеарифметическим значением измеряемой величины:

$$\Delta x_i = x_i - x_{\text{cp}} \quad (1.2)$$

Такая ошибка характеризует только точность отдельного измерения. Для оценки точности измерений одной и той же величины при повторных измерениях, то есть точности среднеарифметического значения, определяют среднюю абсолютную ошибку:

$$\Delta x_{\text{cp}} = \pm \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta x_i| \quad (1.3)$$

Поскольку размерности средней абсолютной ошибки и среднеарифметического значения одинаковы, то окончательный результат измерения величины x с учетом ошибок записывают в виде выражения (1.4):

$$x = x_{\text{ср}} \pm \Delta x_{\text{ср}} \quad (1.4)$$

Иногда точность измерений характеризуют средней относительной ошибкой:

$$\delta x_{\text{ср}} = \Delta x_{\text{ср}} \cdot 100/x_{\text{ср}} \quad (1.5)$$

Все результаты измерений и вычислений величин представляют наглядными формами (таблицы и графики).

При измерении освещенности следят за тем, чтобы на приемную часть фотоэлемента не падали случайные тени от человека или оборудования. Положение гальванометра должно быть горизонтальным. Учитывая влияние напряжения питания на поток источников света, его следует каждый раз контролировать.

Промышленность выпускает люксометры Ю-116 и Ю-117. Снятый с производства люксметр Ю-16 еще довольно широко распространен в практике.

Люксометры Ю-116 и Ю-117 – фотоэлектрические многопредельные переносные приборы с отдельным фотоэлементом, предназначенные для контроля освещенности, создаваемой искусственным и естественными источниками видимого света в помещениях и на открытых площадках. Они состоят из селенового фотоэлемента, поглотителя и электроизмерительного прибора. Приборы работают при температуре окружающего воздуха от минус 10 до 35 °С при относительной влажности до 80 %.

Люксметр Ю-116 (рис. 1.2) – прибор магнитоэлектрической системы, имеет два основных диапазона измерений: от 5 до 30 и от 20 до 100 лк. Шесть дополнительных диапазонов получают из основных за счет применения трех нейтральных светофильтров М, Р и Т, с коэффициентами ослабления потока

соответственно 10, 100 и 1 000. Эти насадки применяются совместно с насадкой К, уменьшающей косинусную погрешность. Принципиальная электрическая схема люксметра приведена на рисунке 1.3.

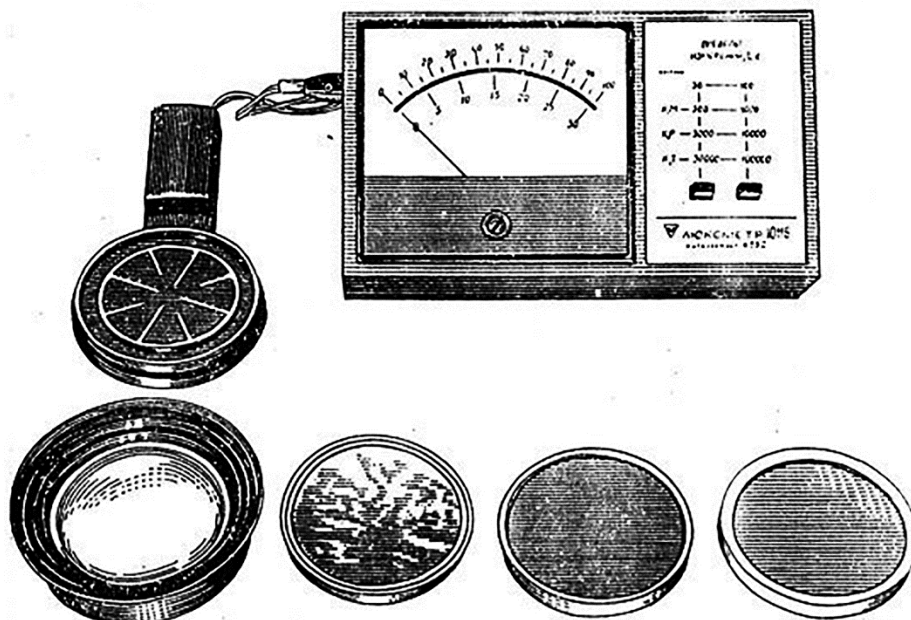


Рисунок 1.2 – Общий вид люксметра Ю-116

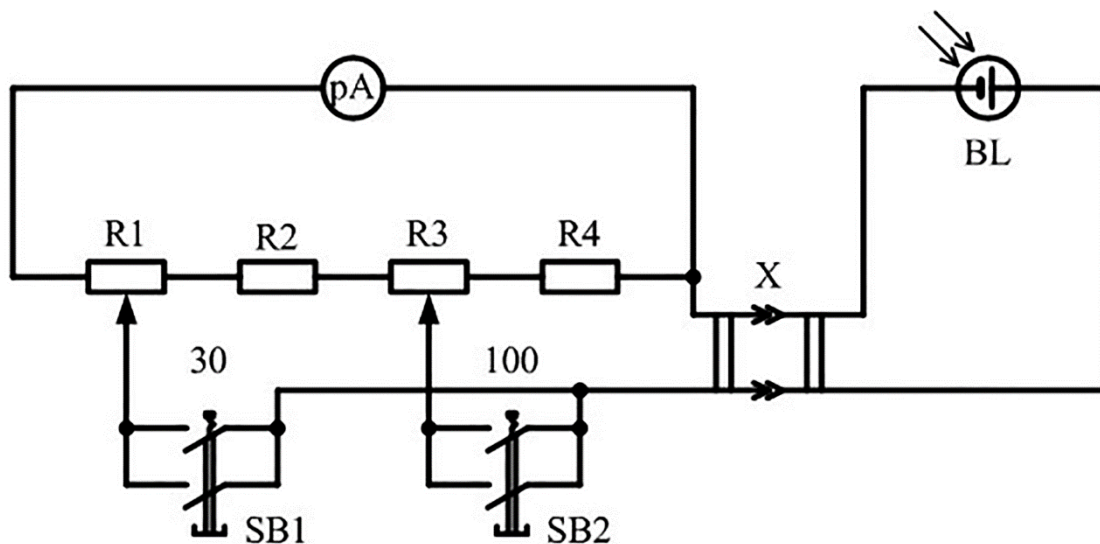


Рисунок 1.3 – Принципиальная электрическая схема люксметра Ю-116

Шкала прибора неравномерная, градуирована в люксах. На каждой шкале точками отмечено начало диапазона измерений. Допустимая основная погрешность люксметра в диапазоне измерений 5–100 лк равна $\pm 10\%$ измеряемой величины, а при переходе на диапазоны измерений с насадками К, М, Р,

Лабораторная работа № 1.

Измерение освещенности объективным методом

Т не превышает $\pm 15\%$. Время остановки стрелки показывающего прибора менее 4 секунд.

Стрелочный прибор магнитоэлектрической системы М2027-5 смонтирован в одном корпусе с переключателем диапазонов измерений и вилкой для подключения селенового фотоэлемента Ф55С. Фотоэлемент имеет форму круга, находится в пластмассовом корпусе и присоединяется к измерителю шнуром с розеткой, обеспечивающей правильную полярность соединения. Площадь светочувствительной поверхности фотоэлемента около 30 см^2 .

При подготовке к измерению люксметр устанавливается в горизонтальное положение; отсоединяется фотоэлемент, и стрелка измерительного прибора с помощью корректора устанавливается на нулевое деление шкалы. После чего присоединяется фотоэлемент к измерителю.

С целью ускорения поиска диапазона измерений необходимо последовательно устанавливать насадки КТ, КР, КМ. При каждой насадке сначала нажимают правую кнопку, а затем левую на передней панели измерителя.

При помощи люксметра Ю-116 можно ориентировочно определить и облученность в области фотосинтетически активной радиации (ФАР). Переводной коэффициент измеряемой освещенности в облученность ФАР приблизительно равен для ламп накаливания – 4,4; для ламп ДРЛФ1000 – 4,9; для ламп ДРЛФ400 – 3,9; для ламп ДНаТ400 – 3,0; для ламп ЛБ – 3,4 фит/м²клк.

Люксметр Ю-117 (рис. 1.4) по конструктивному исполнению аналогичен люксметру Ю-116; отличается только тем, что имеет один основной (2–10 лк) и три неосновных (0,1–0,2; 0,2–1; 0,5–3,9 лк) диапазона измерения. Поэтому в корпус люксметра вмонтирован усилитель на одной микросхеме, а двухклавишный переключатель заменен на восьмиклавишный.

Погрешность измерения люксметра в основных диапазонах составляет $\pm 10\%$ от значения измеряемой освещенности, кроме диапазона 0,1–0,2 лк, в котором погрешность $\pm 30\%$.



Рисунок 1.4 – Общий вид люксметра Ю-117

Люксметр Ю-16 (рис. 1.5) имеет три основных предела измерения: 25, 100 и 500 лк.



Рисунок 1.5 – Общий вид люксметра Ю-16

Переход с одного предела измерения на другой достигается включением соответствующих шунтов путем поворота рукоятки на корпусе гальванометра. На корпусе расположен также корректор, который служит для установки стрелки на нулевую отметку шкалы. Для измерения больших уровней освещенности на фотоэлемент надевается нейтральный фильтр из молочного стекла. Фильтр расширяет пределы измерения в сто раз, что дает возможность измерять освещенность соответственно до 2 500, 10 000 и 50 000 лк.

Перед измерением освещенности измеритель должен располагаться строго горизонтально, а стрелка должна находиться на нулевом делении шкалы. При измерениях следует помнить, что в начале шкалы прибор имеет максимальную погрешность. Для того чтобы предохранить прибор от перегрузок, поиск предела измерения начинается с предела 50 000 лк, последовательно переходя затем на более чувствительные пределы, пока стрелка не окажется в рабочей части шкалы.

Для удобства хранения и переноски люксметры поставляются в футляре, в гнезда которого укладывается измеритель, фотоэлемент с соединительным проводом и поглотителем.

При измерении освещенности, создаваемой различными источниками света, показания люксметра следует умножить на поправочный коэффициент, значение которого приведены в таблице 1.1.

При измерении освещенности фотоэлектрическими люксметрами с селеновыми фотоэлементами необходимо иметь в виду следующее:

1. При измерениях освещенности в температурных условиях, резко отличных от условий, в которых градуировался прибор, необходимо вводить поправку, поскольку температурный коэффициент у некоторых типов селеновых фотоэлементов довольно высок.

Таблица 1.1 – Значения поправочных коэффициентов

Наименование источника	Значение поправочного коэффициента	
	люксметр Ю-116 люксметр Ю-117	люксметр Ю-16
Лампа накаливания	1,00	1,00
Лампа марки ЛД	0,99	0,88
Лампа марки ЛДЦ	0,99	0,96
Лампа марки ЛБ	1,17	1,15
Лампа марки ДРЛ	1,09	1,20
Лампы марки ДНаТ и ДРИ	1,22	–

2. Со временем наблюдается старение фотоэлемента и уменьшение его интегральной чувствительности. Поэтому для получения достоверных результатов измерения освещенности необходимо осуществлять периодическую градуировку фотоэлектрического люксметра (1–2 раза в год) на светоизмерительной скамье.

3. При измерениях освещенности от люминесцентных ламп или других газоразрядных источников света люксметром без корректировочного фильтра в показания прибора необходимо вводить поправочные коэффициенты.

4. При измерении освещенности от источников света, расположенных под небольшим углом к плоскости фотоэлемента, возможно возникновение существенных ошибок. Это объясняется тем, что при увеличении угла падения света, отсчитываемого от нормали к плоскости фотоэлемента, показания люксметра следуют закону изменения освещенности от точечного источника (закону косинуса) лишь в определенных пределах. Поэтому при измерении горизонтальной освещенности от низко расположенного удаленного источника следует измерять освещенность в плоскости, перпендикулярной направлению силы света источника, а затем умножать полученное значение на косинус угла между нормалью к горизонтальной плоскости и направлением на источник света.

План работы

1. Ознакомьтесь с назначением, устройством и принципом действия люкметров Ю-116 и Ю-117. Освойте методику измерения с их помощью.
2. Произведите экспериментальную проверку закона обратных квадратов при измерении освещенности.
3. Экспериментально исследуйте диапазон применимости люкметра для непосредственного измерения горизонтальной освещенности.
4. Произведите измерения распределения горизонтальной освещенности на рабочей поверхности и построить картину изолюкс.
5. В контрольной точке рабочей поверхности измерьте значения горизонтальной, вертикальной и нормальной освещенности.
6. Точечным методом произведите расчет горизонтальной, вертикальной и нормальной освещенности в контрольной точке и сравните ее с измеренной люкметром.

Методика выполнения работы

Собрать схему подключения светильника согласно рисунку 1.6.

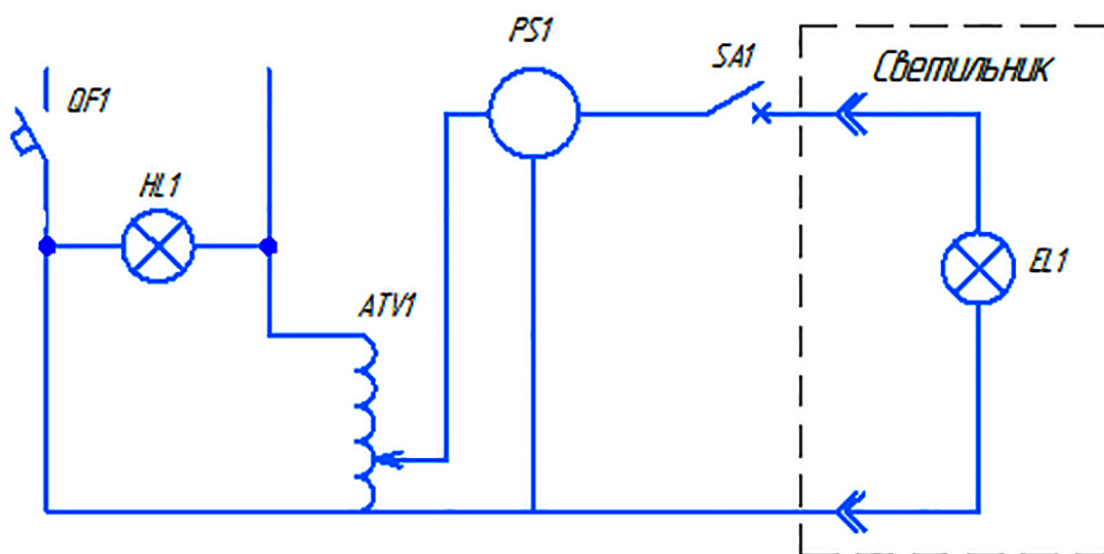


Рисунок 1.6 – Схема лабораторного стенда

Для проверки закона обратных квадратов на лабораторном стенде измерить создаваемую освещенность (E_0) при некотором расстоянии от источника света до рабочей поверхности (L_{max}). Уменьшая это расстояние, в точках (L_i) произвести измерения создаваемой освещенности (E_i). При измерениях учитывать фоновую освещенность при выключенном источнике света ($E_{i\phi}$). Для расчетов взять разность ($E_{ис} = E_i - E_{i\phi}$). Всего сделать десять замеров. Результаты измерений занести в таблицу 1.2. Для снятия показаний использовать лампу накаливания мощностью 60 Вт без светильника.

Вычислить относительные значения расстояния l_i и создаваемой освещенности e_i по формулам (1.6) и (1.7):

$$l_i = \frac{L_i}{L_{max}}, \quad (1.6)$$

$$e_i = \frac{E_i}{E_{min}} \quad (1.7)$$

Определиться с масштабом m построения графика. Вычислить длины соответствующих отрезков l_i и e_i .

Результаты вычислений занести в таблицу 1.2. В относительных единицах построить график зависимости освещенности от расстояния до источника света. На этой же координатной сетке построить теоретическую зависимость освещенности от расстояния до люксметра.

Таблица 1.2 – Исходные данные для проверки закона обратных квадратов

Номер опыта	L_i , м	E_i , лк	$E_{i\phi}$, лк	l_i , о. е.	$E_{ис}$, лк	e_i , о. е.
1						
...						
n						

Проанализировать полученные результаты, сделать выводы о точности измерений, объяснить причину отклонения экспериментальных данных от

Лабораторная работа № 1.

Измерение освещенности объективным методом

теоретических при малых расстояниях между источником света и рабочей поверхностью.

Для проверки диапазона применимости люксметра при измерении горизонтальной освещенности от низко расположенного удаленного источника света следует экспериментально снять зависимость измеряемой освещенности от угла падения светового потока на плоскость фотоэлемента люксметра.

С помощью поворотного устройства, расположенного непосредственно под источником, при заданных углах нормалью к плоскости фотоэлемента и направлением на источник света α_i , измерять величину освещенности E_i , показываемую люксметром. При измерениях учитывать фоновую освещенность при выключенном источнике света. Диапазон изменения углов принять от 0° до 90° и от 0° до минус 90° с шагом 30° . Результаты измерений занести в таблицу 1.3.

Таблица 1.3 – Исходные данные для проверки диапазона применимости люксметра при измерении горизонтальной освещенности

i	α_i , град	E_i , лк	$E_{i\text{расч}}$, лк	e_i , о. е.	$e_{i\text{расч}}$, о. е.	Δe_i	δe_i
1							
...							
n							

Теоретические значения освещенности вычислить в соответствии с законом косинуса (1.8):

$$E_{i\text{расч}} = \frac{I \cdot \cos \alpha}{l^2} \quad (1.8)$$

Силу света (I) в данном направлении для установленной лампы принять как 90 кд.

Вычислить величины абсолютного отклонения экспериментальных данных от теоретических:

$$\Delta e_i = e_i - e_{i\text{расч}} \quad (1.9)$$

Вычислить величины относительного отклонения по формуле (1.10):

$$\delta e_i = \frac{\Delta e_i}{e_i} \quad (1.10)$$

Построить в прямоугольных координатах зависимости горизонтальной освещенности от угла между нормалью к плоскости фотоэлемента и направлением на источник света (экспериментально найденные и теоретическую).

Проанализировать полученные результаты, сделать выводы о точности измерений, объяснить причину расхождений между экспериментальными и теоретическими характеристиками чувствительности люксметра.

Контрольные вопросы

1. Расскажите об устройстве и принципе действия люксметров.
2. Как производится поверка люксметров?
3. В каких единицах измеряются световой поток, сила света, освещенность?
4. В чем сущность точечного метода расчета освещенности?
5. Как с помощью люксметров измерить эритемную облученность?
6. Сформулируйте условие применимости люксметра для измерения эффективных потоков.
7. В чем состоит сущность закона косинуса? Сформулируйте этот закон.

Тестовые вопросы

1. Простейшим фотоэлектрическим (объективным) люксметром являются:

- а) светофильтры;
- б) селеновый фотоэлемент;
- в) стрелочный гальванометр.

2. Основная допустимая погрешность люксметра составляет:

- а) $\pm 10\%$;
- б) $\pm 5\%$;
- в) $\pm 15\%$.

3. Что такое селеновый фотоэлемент?

- а) прибор, имеющий спектральную чувствительность, приближенную к чувствительности глаза;
- б) прибор, обладающий пропускающей способностью, который служит для преобразования светового потока в определенное значение;
- в) полупроводниковый прибор с запирающим слоем, принцип которого основан на фотоэлектрическом эффекте.

4. Люксметр – это...

- а) прибор, предназначенный для измерения освещенности, то есть той части видимого излучения, которая эффективно воспринимается глазом человека;
- б) прибор, предназначенный для измерения ультрафиолетовой облученности, создаваемой искусственными источниками излучения;
- в) прибор, преобразующий поглощенную энергию излучения при помощи термоэлемента в электрический сигнал.

5. Единица измерения освещенности?

- а) Лм;
- б) Кд;
- в) Вт/м²;
- г) Лк.

6. Какой фотоэлектрический приемник используется как первичный преобразователь в люксметре?

- а) болометр;
- б) термоэлектрический приемник;

- в) фотоэлемент с внутренним фотоэффектом;
- г) фотоэлектронный умножитель;
- д) вентильный фотоэлемент.

7. При измерении освещенности, создаваемой различными источниками света, показания люксметра следует умножить на...

- а) коэффициент запаса;
- б) коэффициент минимальной освещенности;
- в) поправочный коэффициент;
- г) коэффициент спектральной чувствительности светофильтра.

8. Какую область облученности можно ориентировочно определить при помощи люксметра Ю-116?

- а) область фотосинтетически активной радиации;
- б) область ультрафиолетового излучения;
- в) область инфракрасного излучения.

9. При какой температуре окружающей среды работают приборы Ю-116 и Ю-117?

- а) от 10 до 35 °С;
- б) от минус 10 до 20 °С;
- в) от минус 5 до 45 °С;
- г) от 5 до 35 °С.

10. Чему равен один люкс?

- а) Вт/м²;
- б) Лм/ср;
- в) Лм/ м²;
- г) Вт·м².

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАМП НАКАЛИВАНИЯ

Цель исследования – изучить устройство и принцип действия, исследовать электрические и светотехнические характеристики ламп накаливания, сопоставить характеристики ламп различной мощности.

Теоретический материал

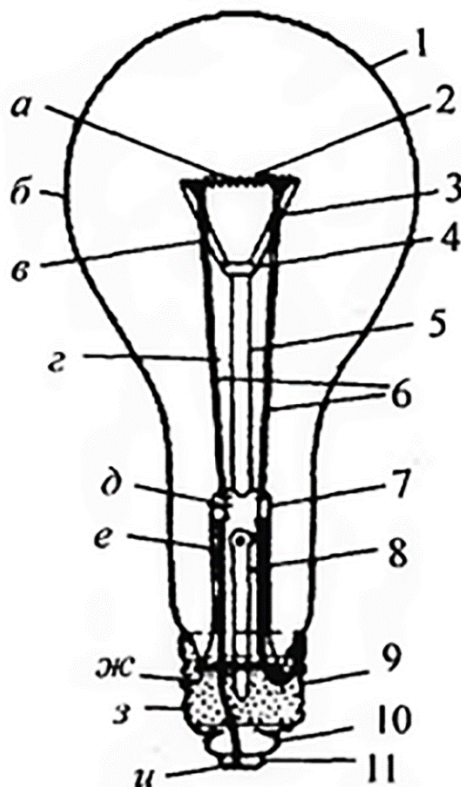
Наиболее массовым источником оптического излучения в настоящее время являются лампы накаливания. Это объясняется их относительно низкой стоимостью, удобством в обращении, простотой в обслуживании, малыми первоначальными затратами при оборудовании осветительных установок, разнообразием конструкций, напряжений и мощностей, отработанностью технологии производства.

Лампа накаливания (рис. 2.1) состоит из стеклянной колбы, внутри которой на крючках закреплена вольфрамовая нить. Напряжение к нити подводится двумя электродами, один из которых соединен с центральной частью, а другой – с резьбой цоколя.

Стеклянная колба лампы специальной мастикой закреплена в цоколе. Диаметр и форма колбы определяют мощность и особенности изготовления лампы. Цоколь предназначен для включения лампы в сеть и может быть в зависимости от назначения лампы резьбовым (тип E), шрифтовым одноконтактным (тип BS), шрифтовым двухконтактным (тип BD), цилиндрическим софитным (тип SV) и фокусирующим (тип P).

Внутри колбы расположена стеклянная ножка, состоящая из линзы, на которой закреплены крючки-держатели, штабика и лопаточки. Стеклянная

ножка заканчивается тарелочкой, внутри которой имеется пустотелая стеклянная трубка (штенгель), предназначенная для откачки воздуха из колбы через откачное отверстие и заполнения ее инертным газом. Ножка служит опорой для тела накала при запаянном штенгеле.



- 1 – колба; 2 – спираль; 3 – крючки; 4 – линза; 5 – штабик; 6 – электроды;
7 – лопатка; 8 – штенгель (стержень); 9 – цоколь; 10 – изолятор;
11 – нижний контакт. Материал: а) вольфрам; б) стекло; в) молибден;
г) никель; д) медь, сталь, никель; е) медь; ж) цокольная мастика;
з) латунь или сталь; и) свинец, олово

Рисунок 2.1 – Конструкция лампы накаливания

Для получения видимого излучения в лампах накаливания применяется нагрев тела, в частности нагрев электрическим током вольфрамовой нити до температуры от 2 800 до 3 200 К.

Вольфрам является тугоплавким металлом (его температура плавления порядка 3 600 К), и он обладает достаточно высокой пластичностью и низкой скоростью испарения. Следует иметь ввиду, что при увеличении температуры

тела накала светотехнические характеристики источника света улучшаются, однако при этом сокращается срок службы лампы, так как под влиянием высокой температуры происходит интенсивное испарение вольфрамового тела накала. Нить накала при этом становится тоньше, испарившиеся части вольфрама оседают на внутренней поверхности колбы, вызывая ее потемнение, при этом снижается световой поток, и в конечном итоге лампа перегорает. Поэтому температура тела накала имеет значение ниже температуры плавления металла, из которого она изготовлена.

Для исключения окисления металла лампы накаливания выполняются вакуумными. Для увеличения срока службы и повышения световой отдачи лампы, а также стабильности ее светового потока стремятся снизить скорость испарения материала тела накала. С этой целью колбы ламп накаливания наполняют аргоно-азотной или криптон-ксеноновой смесью. Давление газа в наполненных колбах может достигать 0,08 МПа, но не превышает 0,1 МПа. Кроме того, для уменьшения распыления вольфрама и теплоотдачи уменьшают размеры нити, сворачивая ее в плотную винтовую спираль (моноспираль), а затем в биспираль (спираль, навитую из спирали).

С ростом напряжения на зажимах лампы накаливания, значение тока в цепи растет, но не пропорционально напряжению, а несколько медленнее, так как с увеличением тока по закону Джоуля-Ленца повышается выделение теплоты и, следовательно, температура нити накала, а это увеличивает сопротивление нити и уменьшает силу тока.

Мощность лампы как произведение квадрата тока и сопротивления нити растет при увеличении напряжения питания, так как и ток, и сопротивление при этом повышаются.

С ростом температуры нити в соответствии с законом Стефана-Больцмана плотность излучения увеличивается пропорционально абсолютной температуре в четвертой степени, и согласно закону Вина максимум излучения

нити смещается в сторону более коротких длин волн, то есть в сторону видимого излучения, а это значит, что световой поток лампы растет с увеличением напряжения. Совершенно очевидно, что световой поток растет быстрее напряжения, так как лучистый поток пропорционален температуре в четвертой степени. По той же причине увеличение светового потока происходит быстрее повышения мощности лампы. А это значит, что световая отдача лампы будет расти при увеличении напряжения. Срок службы лампы с повышением напряжения снижается из-за увеличения скорости испарения частиц вольфрама.

Точные зависимости основных параметров лампы от напряжения определяют экспериментально. В диапазоне изменения напряжения от 0,9 до 1,1 U_H эти зависимости описывают аналитическими выражениями: для тока лампы – (2.1); для мощности лампы – (2.2); для световойдачи – (2.3); для светового потока – (2.4); для срока службы – (2.5):

$$I_L/I_{L.H.} = (U/U_H)^{0,53}, \quad (2.1)$$

$$P/P_H = (U/U_H)^{1,53}, \quad (2.2)$$

$$\eta_v/\eta_{vH} = (U/U_H)^{2,14}, \quad (2.3)$$

$$\Phi_v/\Phi_{vH} = (U/U_H)^{3,67}, \quad (2.4)$$

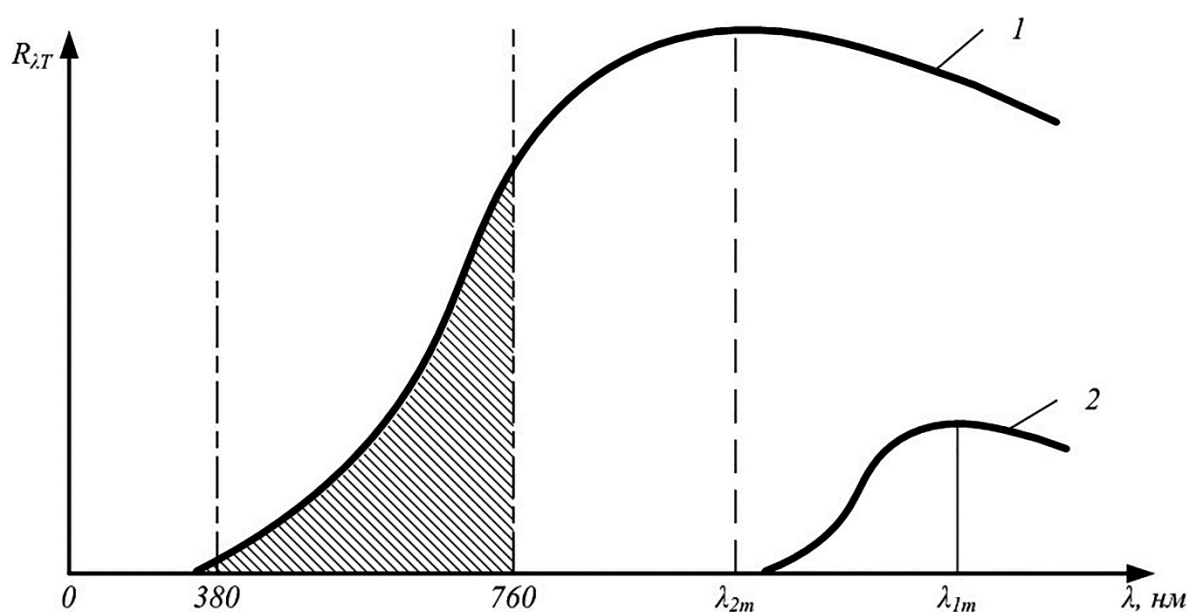
$$t_{сл}/t_{сл.H} = (U/U_H)^{-13,8} \quad (2.5)$$

При включении в электрическую сеть лампа накаливания светится. Это можно объяснить следующим образом. До включения лампы под напряжение все ее элементы, и нить накаливания в том числе, находятся при температуре окружающей среды (например, 20 °С). При такой температуре нить излучает в окружающее пространство энергию в оптическом диапазоне (по закону Стефана-Больцмана), но это излучение приходится на инфракрасные лучи, которые глаз человека не видит.

После включения лампы под напряжение, протекающий по цепи ток в соответствии с законом Джоуля-Ленца нагревает нить и все токоведущие части. Самое большое сопротивление в цепи имеет нить, и поэтому она нагревается значительно сильнее, чем, например, подводящие провода. Температура нити

повышается до 2 880–2 950 К, то есть возрастает примерно в десять раз. Согласно закону Стефана-Больцмана, плотность излучения нити при этом возрастает в 10^4 раз.

Кроме того, в соответствии с законом Вина, максимум излучения нити смещается в сторону более коротких длин волн, то есть по инфракрасной области ближе к видимым лучам, а само излучение уже захватывает видимую область спектра (рис. 2.2).



1: $T_2 = 2\,900\text{ К}$; 2: $T_1 = 273\text{ К}$

Рисунок 2.2 – Спектральная плотность излучения тела при различных температурах

Нить излучает теперь вместе с ИК-лучами и видимые. Подводящие же провода при этом не светятся, так как их температура повышается всего на несколько, иногда на десятки градусов.

Наличие переходного процесса при включении лампы накаливания в сеть обусловлено следующими причинами. Перед включением лампы на напряжении сети температура нити накала равна температуре окружающего воздуха 20 °С .

Сопротивление нити определяется из выражения (2.6):

$$r_t = r_0 \cdot (1 + \alpha_1 \cdot t) \quad (2.6)$$

В момент включения лампы по цепи потечет ток:

$$I_{\text{пуск}} = \frac{U_{\text{н}}}{r_t} = \frac{U_{\text{н}}}{r_{\text{хол}}} \quad (2.7)$$

Протекающий по лампе ток нагревает нить до $T \approx 3000$ К. Ее сопротивление возрастает пропорционально температуре до значения (2.8):

$$r_t = r_0 \cdot (1 + \alpha_1 \cdot t_{\text{гор}}) \quad (2.8)$$

и ток уменьшается до значения (2.9):

$$I_{\text{уст}} = I_{\text{гор}} = \frac{U_{\text{н}}}{r_{\text{гор}}} \quad (2.9)$$

Сопротивление нагретой нити накала примерно на порядок выше сопротивления холодной нити, и, следовательно, пусковой ток на столько же больше номинального тока. Этим и обусловлено наличие переходного процесса включения в сеть активного сопротивления лампы накаливания. Продолжительность переходного процесса составляет несколько десятых долей секунды в зависимости от мощности лампы и напряжения питания. Изменение тока включения лампы во времени схематично показано на рисунке 2.3.

Широкое распространение получили **галогенные лампы накаливания (ГЛН)**, в колбу которых добавлен галоген (обычный йод), за счет чего в них осуществляется вольфрамно-галогенный цикл. Под таким циклом понимают комплекс физических и химических процессов, в результате которых частицы вольфрама, испарившиеся с тела накала, возвращаются с помощью галогенов из области более низких температур в область более высоких.

Назначение цикла – предотвращение почернений колбы под действием испарившегося с тела накала вольфрама, то есть сохранение ее прозрачности на протяжении всего срока горения лампы, а также регенерация вольфрамовой

спирали. Однако, хотя благодаря галогенному циклу общая масса вольфрамового тела накала остается практически постоянной в процессе горения, нить лампы с течением времени в одних местах уменьшается, а в других – утолщается, то есть процесс перегорания галогенных ламп подобен этому процессу в обычных лампах накаливания.

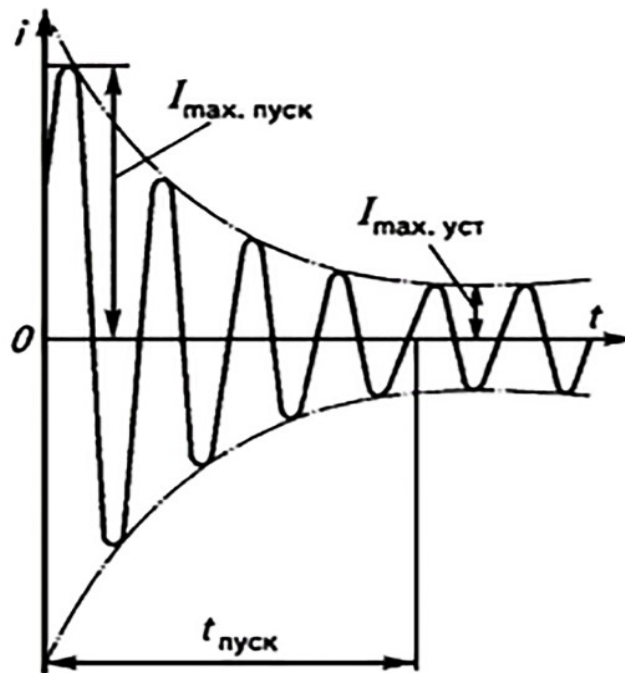


Рисунок 2.3 – Осциллограмма тока при включении лампы накаливания

Лампы общего назначения выпускаются мощностью до 100 Вт на разные номинальные напряжения от 12 до 230 В. Лампы рассчитаны на напряжение в пределах диапазона, указанного в типе лампы.

Спектр излучения ламп характеризуется преобладанием потока в желтой и красной областях, и практически отсутствием энергии в синей области.

Маркировка ламп накаливания содержит следующие элементы.

Первый элемент (от 1 до 4 букв) – характеризует лампу по важнейшим физическим и конструктивным особенностям: В – вакуумная моноспиральная; Г – газополная моноспиральная; Б – газополная биспиральная; К – лампы

с криптоновым наполнением; МЛ – с матированной колбой; МЛ – в колбе молочного цвета; О – с опалиновой колбой и т. д. Некоторые специальные виды ламп не имеют первого элемента в обозначении.

Второй элемент (одна – две буквы) – определяет назначение лампы: А – автомобильная; Ж – железнодорожная; КМ – коммутаторная и т. д.

Третий элемент (цифры) – определяет номинальное напряжение (либо диапазон напряжения питания) в вольтах и через дефис (в зависимости от принятой маркировки и данного вида лампы) – номинальную мощность, Вт; силу света, кд; ток, А, или световой поток, лм.

Теоретически зависимости основных параметров ламп от напряжения питания описывают выражением вида (2.10):

$$X \approx X_H \cdot \left(\frac{U}{U_H}\right)^k \quad (2.10)$$

где X и X_H – соответственно реальные и номинальные значения параметра;

U и U_H – соответственно реальное и номинальное значение напряжения питания, В.

Значения показателей степени « k » для основных параметров ламп приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Коэффициенты зависимости основных параметров ламп накаливания от напряжения питания

Параметр	k
Ток, А	0,6
Мощность, Вт	1,6
Сопротивление, Ом	0,4
Температура, К	0,33
Световой поток, лм	3,6
Световой КПД	2,0
Средний срок службы	-13

План работы

1. Изучите конструкцию ламп накаливания.
2. Рассчитайте и постройте графически теоретические зависимости сопротивления, температуры тела накала, светового потока, светоотдачи и срока службы лампы накаливания от напряжения питания.
3. Экспериментальным путем снимите зависимость тока, коэффициента мощности, создаваемой освещенности и температуры тела накала различных типов ламп от напряжения питания.
4. По экспериментальным данным рассчитайте и постройте кривые спектральной плотности излучения ламп различных типов при нормальном значении величин питающего напряжения. Рассчитайте и постройте зависимости максимума кривой спектральной плотности излучения, светового и лучистого КПД для лампы одного типа от величины напряжения питания.
5. Выявите зависимость световой отдачи ламп накаливания от номинального значения мощности ламп и напряжения питания.
6. Проведите наблюдение переходного процесса при включении лампы накаливания в сеть.

Методика выполнения работы

Изучить устройство ламп накаливания, записать паспортные данные исследуемых ламп.

Собрать схему для снятия характеристик ламп накаливания (рис. 2.4).

Изменяя напряжение на зажимах лампы при помощи автотрансформатора, по показаниям приборов снять зависимости тока, мощности и освещенности от напряжения. Интервалы изменения напряжения 20 В. Диапазон изменения напряжения от 0 до 240 В. Во время измерений освещенности следует брать разности показаний при включенной и выключенной лампе. Температуру тела накала определить расчетным путем.

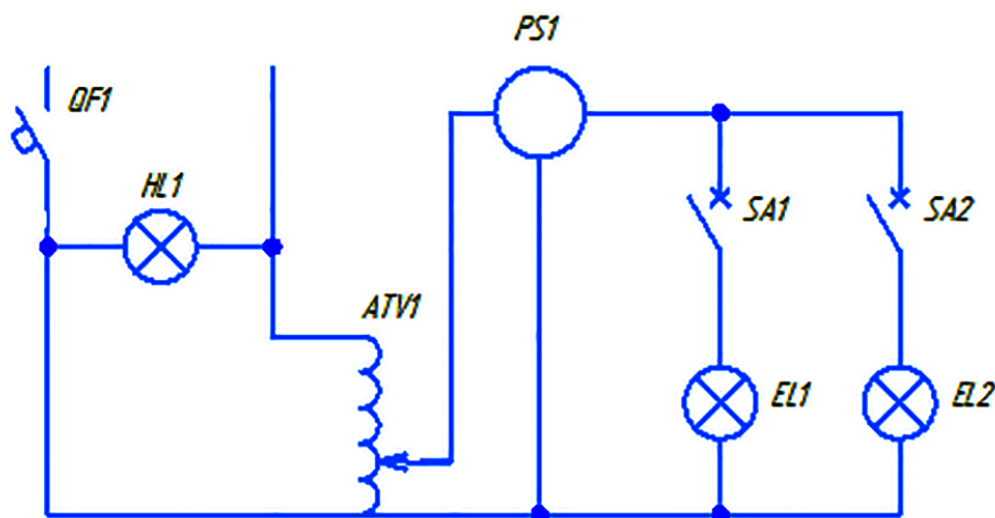


Рисунок 2.4 – Схема для снятия характеристик ламп накаливания

Перед проведением измерений для дальнейших расчетов необходимо измерить и записать сопротивление нити накала в выключенном состоянии (r_c) и температуру окружающей среды (T_c).

Вычислить сопротивление нити (r_0) при температуре $0\text{ }^\circ\text{C}$ по формуле (2.11):

$$r_0 = \frac{r_c}{(T_c - 273) \cdot \alpha + 1} \quad (2.11)$$

где r_c – сопротивление нити накала в выключенном состоянии, Ом;

T_c – температура нити накала, равная температуре окружающей среды, К;

α – температурный коэффициент сопротивления (для вольфрама составляет $0,0052\text{ град}^{-1}$).

Тогда, $r_0 = \frac{47}{(296-273) \cdot 0,0052 + 1} = 41,970\text{ Ом}$.

Результаты измерений занести в таблицу 2.2.

По полученным результатам вычислить следующие величины:

1) сопротивление лампы (r_{EL}) при работе:

$$r_{EL} = \frac{U_{EL}}{I_{EL}} \quad (2.12)$$

2) световой поток (Φ_{EL}) (приблизительно):

$$\Phi_{EL} \approx 3,4 \cdot \pi \cdot l \cdot E \quad (2.13)$$

где l – расстояние от тела накала до фотоэлемента, равное одному метру.

3) световую отдачу (η_v):

$$\eta_v = \frac{\Phi_{EL}}{P_{EL}} \quad (2.14)$$

4) температуру тела накала (T):

$$T = \frac{r_{EL} - r_0}{\alpha \cdot r_0} + 273 \quad (2.15)$$

5) световой коэффициент полезного действия лампы (η):

$$\eta = \frac{\Phi_{EL}}{K_m \cdot P_{EL}} = \frac{\Phi_{EL}}{683 \cdot P_{EL}} \quad (2.16)$$

где K_m – максимальное значение спектральной световой эффективности монохроматического излучения (равно 683), лм/Вт.

Таблица 2.2 – Результаты экспериментальных исследований характеристик лампы накаливания 95 Вт при изменении напряжения питания

Измеренные значения				Вычисленные значения				
U_{EL} , В	I_{EL} , А	P_{EL} , Вт	E , лк	r_{EL} , Ом	T , К	Φ_{EL} , лм	η_v , лм/Вт	η , о. е.
1								
...								
n								

В результате, получим:

$$r_{EL20} = \frac{U_{EL}}{I_{EL}} = \frac{20}{0,12} = 166,67 \text{ Ом};$$

$$\Phi_{EL20} \approx 3,4 \cdot \pi \cdot l \cdot E \approx 3,4 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 7 \approx 74,73 \text{ лм};$$

$$\eta_{v20} = \frac{\Phi_{EL}}{P_{EL}} = \frac{74,73}{2} = 37,4 \text{ лм/Вт};$$

$$T_{20} = \frac{r_{EL} - r_0}{\alpha \cdot r_0} + 273 = \frac{166,67 - 41,47}{0,0052 \cdot 41,47} + 273 = 844,4 \text{ К};$$

$$\eta_{20} = \frac{\Phi_{EL}}{683 \cdot P_{EL}} = \frac{74,73}{683 \cdot 2} = 0,05 \text{ о. е.}$$

По полученным данным таблицы 2.2, построить зависимости основных

параметров ламп от напряжения.

Срок службы лампы в зависимости от напряжения в диапазоне от 0,7 до 1,1 от номинального напряжения можно рассчитать по формуле (2.17):

$$t_{\text{сл}} = t_{\text{сл.н}} \cdot \left(\frac{U}{U_{\text{н}}} \right)^{-13,8} \quad (2.17)$$

где $t_{\text{сл.н}} = 1000$ – срок службы лампы при $U_{\text{EL}} = U_{\text{н}}$, ч.

Результаты расчетов занести в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Зависимость срока службы лампы от напряжения питающей сети

Параметры	Значение параметров							
	0,7	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0	1,05	1,1
$U_{\text{EL}}/U_{\text{н}}$								
$t_{\text{сл}}/t_{\text{сл.н}}$								

По полученным данным построить зависимость изменения срока службы лампы от изменения напряжения питающей сети.

Проанализировать полученные результаты и сделать краткие выводы.

Контрольные вопросы

1. Расскажите об устройстве лампы накаливания.
2. Почему к концу срока службы лампы накаливания ее световой поток снижается?
3. Укажите способы, снижающие распыление нити накала.
4. Почему лампы накаливания с биспиралью имеют более высокую световую отдачу?
5. Как влияет величина напряжения питания на срок службы ламп накаливания?
6. Сформулируйте законы теплового излучения.
7. Почему отсутствует стробоскопический эффект при питании ламп накаливания переменным током?
8. Почему световая отдача ламп накаливания зависит от номинальных мощностей и напряжения?

9. Что такое освещенность, сила света, световой поток?

10. Поясните понятия светового и лучистого коэффициента полезного действия.

Тестовые вопросы

1. Что означает первая буква в маркировке лампы накаливания Б 235-245-60:

- а) с опалиновой колбой;
- б) с матированной колбой;
- в) газополная биспиральная;
- г) газополная моноспиральная;
- д) вакуумная моноспиральная.

2. Материалом, из которого изготавливаются нити в лампах накаливания, является:

- а) молибден;
- б) вольфрам;
- в) сталь;
- г) медь.

3. Как срок службы ламп накаливания зависит от напряжения питания?

- а) при повышении напряжения срок службы увеличивается;
- б) при понижении напряжения срок службы уменьшается;
- в) при понижении напряжения срок службы увеличивается;
- г) при повышении или понижении напряжения срок службы уменьшается;
- д) никак не зависит.

4. Что называется искусственным источником оптического излучения?

- а) устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии в излучения требуемого диапазона волн или заданного спектра;
- б) устройство, предназначенное для создания ультрафиолетового излучения;

в) устройство, предназначенное для создания видимого или ультрафиолетового излучения;

г) устройство, предназначенное для преобразования электрической энергии в другой вид энергии.

5. Температура нагрева вольфрамовой нити составляет:

а) 2 300–2 800 К;

б) 2 800–3 200 К;

в) 3 200–3 600 К.

6. Для каких целей в лампу накаливания добавляют йод?

а) для улучшения световых характеристик лампы;

б) для регенерации вольфрамовой нити;

в) для уменьшения энергопотребления лампы.

7. Какое давление газа может достигаться в наполненных колбах?

а) 0,08 МПа;

б) 0,03 МПа;

в) 0,15 МПа.

8. С какой целью колбы ламп накаливания наполняют аргоно-азотной или криптон-ксеноновой смесью?

а) для уменьшения энергопотребления лампы;

б) для создания электродного разряда;

в) для увеличения срока службы лампы и повышения световых характеристик.

9. Спектр излучения ламп характеризуется:

а) преобладанием потока в желтой и синих областях;

б) преобладанием потока в желтой и красной областях;

в) преобладанием потока в красной и оранжевой областях.

10. Для чего служит штенгель?

а) для создания жесткости крепления электродов;

б) для образования паров ртути;

в) для откачки воздуха из колбы и заполнения инертными газами.

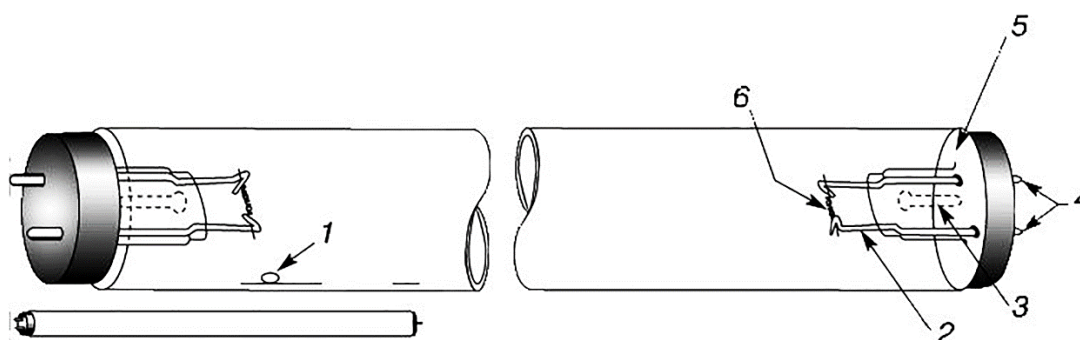
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП

Цель исследования – изучить устройство, принцип действия и схему включения люминесцентных ламп; исследовать электрические и световые характеристики люминесцентных ламп.

Теоретический материал

Трубчатые люминесцентные лампы низкого давления (рис. 3.1), получившие широкое применение в осветительных установках, существенно отличаются от ламп накаливания по всем своим характеристикам. *В основе действия люминесцентных источников света лежат различные способы превращения отдельных видов энергии в оптическое излучение.* В современных источниках света используются **электролюминесценция** (оптическое излучение атомов, ионов, молекул жидких и твердых тел под действием ударов электронов, ионов, ускоренных в электрических полях, до энергий, достаточных для возбуждения) и **фотолюминесценция** (оптическое излучение, возникающее при поглощении оптического излучения другого источника).



1 – ртуть; 2 – штампованная стеклянная ножка с электропроводами; 3 – трубка для откачки (при изготовлении); 4 – выводные штырьки; 5 – концевая панелька;
6 – катод с эмиттерным покрытием

**Рисунок 3.1. – Общий вид ртутной
люминесцентной лампы низкого давления**

Люминесцентная лампа представляет собой запаянную с обоих концов стеклянную трубку, внутренняя поверхность которой покрыта люминофором (люминофоры – твердые и жидкие вещества, способные излучать свет под действием различного рода возбуждений). Из трубки откачан воздух, и она заполнена аргоном при давлении 400 Па с добавлением капельки ртути (60–120 мг), которая при нагревании превращается в ртутные пары. Назначение аргона состоит в уменьшении распыления покрытия электродов и облегчении зажигания разряда. При разряде возбуждаются и излучают только атомы ртути.

Внутри трубки на ее концах в стеклянных ножках впаяны электроды с вольфрамовой биспиральной нитью, покрытой слоем оксидов щелочно-земельных металлов (бария, кальция, стронция), способствующих более интенсивному излучению электронов (эмиссия электронов). По концам лампа имеет короткие цоколи с полыми штырьками, служащими для включения ее в электрическую сеть. Изнутри к штырькам припаяны выводы электродов.

Когда к противоположным электродам подводится напряжение определенной величины, возникает электрический разряд в газовой среде лампы с выделением теплоты, под действием которой ртуть испаряется. Такой разряд сопровождается мощным ультрафиолетовым излучением, часть которого люминофор преобразует в видимое излучение. Выбором и качеством люминофора определяется цвет излучаемого света и эффективность работы лампы.

Люминофор, применяемый в люминесцентных лампах, представляет собой порошкообразное вещество. Световые свойства лампы в значительной степени зависят от размера зерен, толщины и структуры слоя. Обычно на 1 см² поверхности наносится 2–3 мг люминофора. Слой люминофора работает на просвет, то есть возбуждается излучением газового разряда изнутри, а излучает в окружающее пространство.

Основными свойствами люминофора являются следующие:

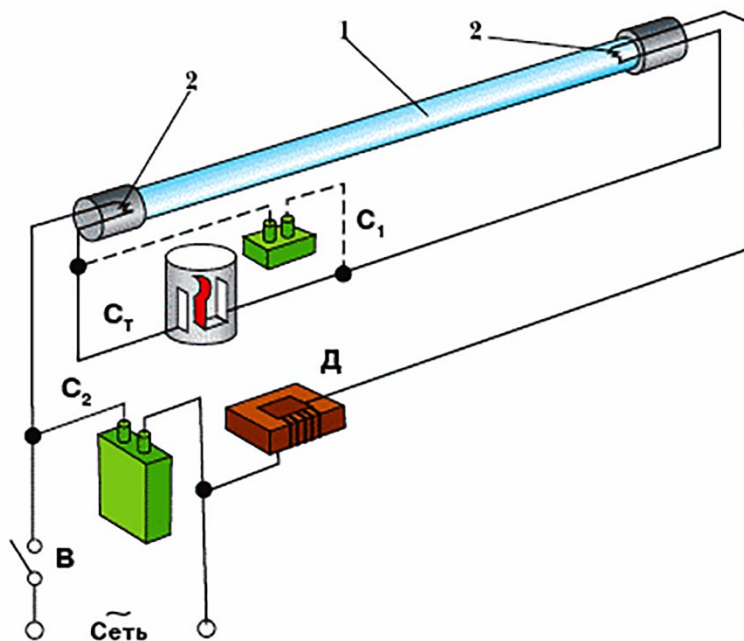
1) спектр поглощения люминофора расположен в зоне меньших длин волн,

чем спектр его излучения;

2) спектр излучения люминофора не зависит от характера спектра поглощенного излучения и является сплошным;

3) спектр излучения люминофора определяется только его химическим составом и не зависит от спектра поглощенного излучения.

Для зажигания и горения ламп необходимо включение последовательно с ними пускорегулирующих аппаратов. Существуют **стартерные и бесстартерные пускорегулирующие аппараты**, причем в первых начальный подогрев электродов обеспечивается кратковременным замыканием контактов стартера, включенного параллельно лампе; во вторых – подачей на электроды напряжения от специальных устройств, построенных на базе схем умножения напряжения, накальных трансформаторов и т. д. Стартерные схемы включения люминесцентных ламп (рис. 3.2) получили большее распространение, поскольку достаточно просты, имеют малые потери мощности и меньшую стоимость по сравнению с бесстартерными схемами.



1 – стеклянная трубка; 2 – электроды; Ст – стартер;
C₁ и C₂ – конденсаторы; Д – дроссель; В – выключатель

Рисунок 3.2 – Схема включения люминесцентной лампы

Однако наличие стартера иногда может приводить к «миганиям» и выходу из строя ламп. Кроме того, при пониженной температуре, если электроды лампы не успели как следует прогреться, лампа может не зажечься. Существуют различные типы стартеров. Наиболее распространенным является стартер тлеющего разряда, представляющий собой небольшую газоразрядную лампу тлеющего разряда в стеклянной колбе, заполненной смесью инертных газов (60 % аргона, 28,8 % неона и 11,2 % гелия). Стеклянная колба помещена в пластмассовый или металлический корпус. Один из электродов стартера жесткий, неподвижный, изготовленный из никеля, а второй – подвижный, представляющий собой биметаллический элемент, состоящий из двух пластин с различными коэффициентами линейного расширения (существуют конструкции стартера с двумя подвижными контактами).

В момент включения схемы в сеть (рис. 3.3) к электродам лампы (1) и стартера (2) приложено полное сетевое напряжение, так как тока в цепи нет и потеря напряжения на дросселе (3) отсутствует. Пока электроды лампы не нагрелись, напряжения сети недостаточно для зажигания лампы, однако достаточно для зажигания стартера. В стартере возникает разряд, и в схеме протекает ток по цепи: сеть – первый электрод лампы – стартер – второй электрод лампы – дроссель – сеть.

Значение тока в этот момент составляет всего лишь сотые доли ампера, поэтому электроды лампы сильно разогреться не могут. Но для нагрева биметаллического электрода в стартере достаточно теплоты, выделяющейся при разряде. В результате нагрева биметаллическая пластина изгибается и замыкает стартер накоротко. При этом ток в цепи возрастает до 0,5–0,6 А, и электроды лампы быстро разогреваются. Поскольку тлеющий разряд, сопровождающийся выделением теплоты, в стартере при замыкании электродов прекращается, электроды стартера начинают остывать и размыкаются. Мгновенный разрыв цепи вызывает появление электродвижущей силы на дросселе в виде

мгновенного пика напряжения. При этом лампа, электроды которой уже раскалены, зажигается. После зажигания лампы в ее цепи устанавливается рабочий ток. Напряжение на зажимах лампы составляет около половины подведенного, остальная часть напряжения теряется на дросселе. Следовательно, в нормальном режиме работы лампы на зажимах стартера напряжение составляет примерно половину напряжения сети, что недостаточно для его повторного срабатывания.

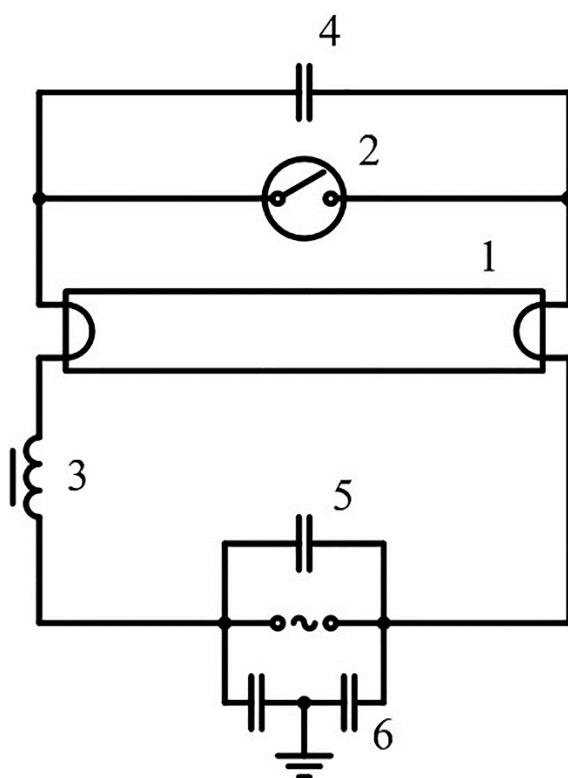


Рисунок 3.3 – Стартерная схема включения люминесцентной лампы

Для устранения ряда недостатков, сопровождающих работу газоразрядных ламп, в схему вводятся конденсаторы (4), (5), (6). Параллельно электродам стартера включается конденсатор (4), назначение которого состоит в уменьшении амплитуды и увеличении длительности импульса напряжения, что способствует надежному зажиганию лампы. Кроме того, этот конденсатор снижает уровни радиопомех, возникающих при включении лампы. Параллельно

лампе включается конденсатор (5). Он предназначен для повышения коэффициента мощности схемы. Также параллельно лампе подключаются конденсаторы (6), средняя точка которых соединяется с корпусом светильника. Они предназначены для подавления радиопомех, распространяющихся по сети.

При работе люминесцентных ламп с некомпенсированными пускорегулирующими аппаратами коэффициент мощности комплекта «лампа – пускорегулирующий аппарат» в зависимости от мощности ламп находится в пределах от 0,35 до 0,5; при двухламповых компенсированных пускорегулирующих аппаратах – не ниже 0,92; при одноламповых компенсированных – не ниже 0,85.

Время зажигания ламп при номинальном напряжении электрической сети должно составлять не более 10 с, а время выхода ламп на предельные характеристики – не более 15 мин. Обычные типы ламп предназначены для работы при температуре окружающей среды 15–25 °С. При больших или меньших температурах световая отдача ламп снижается, а при температуре ниже 5 °С устойчивое зажигание ламп не обеспечивается. В жарких помещениях применяются специальные амальгамные лампы (типа ЛБА), имеющие нормальную световую отдачу при высоких температурах.

Изменение величины напряжения на зажимах лампы приводит к изменению ее электрических и световых характеристик. С ростом подаваемого на схему напряжения, ток в цепи увеличивается. В соответствии с падающей вольт-амперной характеристикой лампы напряжение на ней падает (рис. 3.4). Мощность лампы увеличивается, так как напряжение снижается медленнее, чем повышается ток.

Световой поток лампы с увеличением напряжения также увеличивается, но медленнее, чем мощность, то есть светоотдача лампы при этом уменьшается. Это объясняется насыщением люминофорного покрытия. Все частицы

люминофора участвуют в процессе преобразования ультрафиолетового излучения разрядного промежутка в видимое уже при нормальном напряжении. Поэтому повышение мощности разряда увеличивает ультрафиолетовый поток, но видимый поток возрастает медленнее мощности.

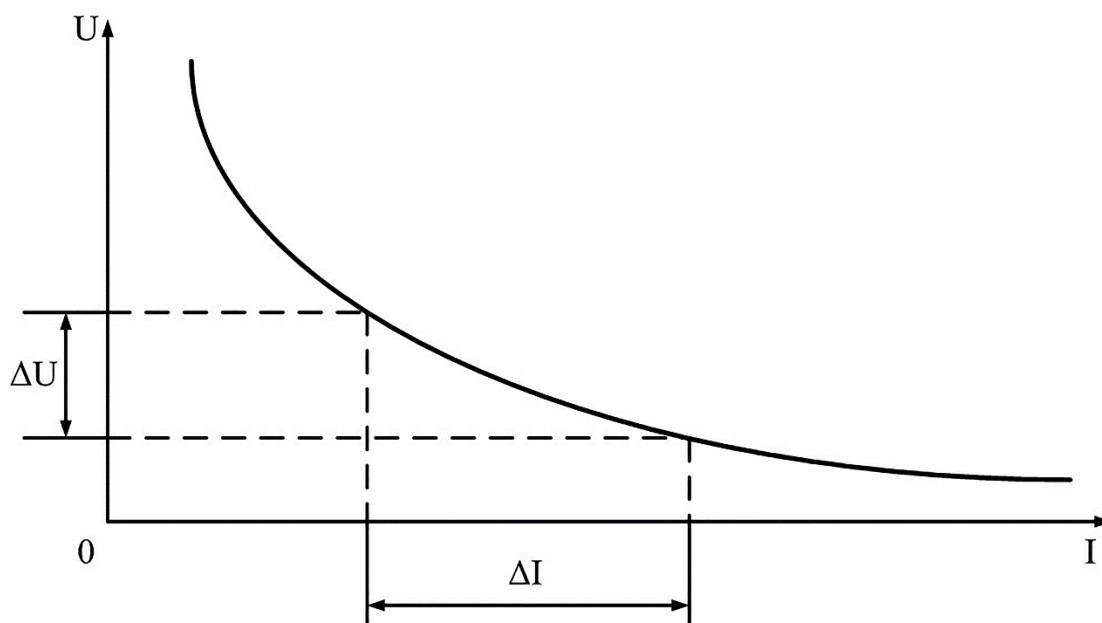


Рисунок 3.4 – Статическая вольт-амперная характеристика люминесцентной лампы

Наибольший срок службы лампы будет при работе на номинальном напряжении. При снижении напряжения для зажигания лампы требуется большее число срабатываний стартера. Возникающее при этом импульсное воздействие тока разрушает оксидное покрытие электродов и снижает срок службы лампы. При повышении напряжения повышается плотность тока на электродах, что приводит к их преждевременному разрушению и снижению срока службы лампы.

В настоящее время для зажигания и работы люминесцентных ламп применяются **электронные пускорегулирующие аппараты, в которых частота питающего тока повышается до 20–40 Гц**. Данные устройства обладают следующими преимуществами по сравнению с традиционными электромагнитными пускорегулирующими аппаратами:

- 1) снижение потребления электроэнергии в среднем на 20 %;
- 2) повышение световой отдачи лампы на 5–7 % при работе на повышенной частоте;
- 3) экономия дефицитных материалов – меди и стали;
- 4) высокое качество светового потока лампы вследствие низких значений коэффициента пульсации светового потока (5–15 %) и отсутствие стробоскопического эффекта;
- 5) снижение массогабаритных показателей на 40–70 %;
- 6) благоприятный («щадящий») режим зажигания лампы;
- 7) повышение срока службы лампы на 10–50 % за счет стабильных параметров зажигания и горения;
- 8) отсутствие мигания лампы в пусковом режиме;
- 9) бесшумность работы пускорегулирующего аппарата;
- 10) возможность регулирования светового потока светильника в диапазоне 10–100 % в ручном и автоматическом режиме;
- 11) автоматическое отключение ламп в конце их срока службы, а также неисправных ламп.

Маркировка люминесцентных ламп основана на буквенном обозначении конструктивных признаков. Первая буква (Л) люминесценция, следующие буквы обозначают либо цвет излучения, либо особенности спектра излучения: ТБ – тепло-белая; Б – белая; ХБ – холодно-белая; Д – дневная; Е – естественно-белая; УФ – ультрафиолетовая; К, С, З, Г – соответственно красная, синяя, зеленая и голубая; Ф – фотосинтетическая.

Следующие буквы обозначают конструктивные признаки: Р – рефлекторная; У – дугообразная; К – кольцевая; Б – быстрого запуска; А – амальгамная. Лампы с улучшенной цветопередачей имеют в своем обозначении букву Ц. Сразу после буквенного обозначения следуют цифры, указывающие

номинальную мощность лампы в ваттах (через тире может быть указан порядковый номер разработки).

Основными достоинствами люминесцентных ламп по сравнению с лампами накаливания являются:

- 1) более благоприятный спектральный состав излучения;*
- 2) значительно более высокая (в 4–6 раз для ламп одинаковой мощности) световая отдача;*
- 3) значительно меньшая яркость;*
- 4) большой срок службы.*

Наряду с этим у люминесцентных ламп имеются и **недостатки:**

- 1) более сложная схема включения в сеть, требующая дополнительной пускорегулирующей аппаратуры;*
- 2) зависимость показателей работы от условий окружающей среды;*
- 3) пульсация светового потока, вызывающая явление стробоскопического эффекта;*
- 4) сравнительно малая единичная мощность ламп;*
- 5) меньшая надежность в работе.*

План работы

1. Изучите конструкцию лампы, устройство и назначение пускорегулирующей аппаратуры, электрическую схему включения лампы и ее работу.
2. Постройте диаграмму напряжений и тока люминесцентной лампы при ее зажигании.
3. Экспериментально снимите зависимости основных характеристик лампы от величины напряжения питания, постройте их графически.
4. На основании опытных данных постройте вольт-амперные характеристики лампы и балластного сопротивления.

5. Для номинального режима работы лампы определите емкость конденсатора, необходимого для повышения коэффициента мощности схемы до значения, указанного преподавателем (0,9–0,95); включите емкость в схему и снимите данные для проверки результатов.

Методика выполнения работы

Основные зависимости для люминесцентной лампы снимают на лабораторном стенде по схеме, приведенном на рисунке 3.5 (подключение лампы через дроссель) и рисунке 3.6 (подключение лампы через электронный пускорегулирующий аппарат). Измерения проводят следующим образом:

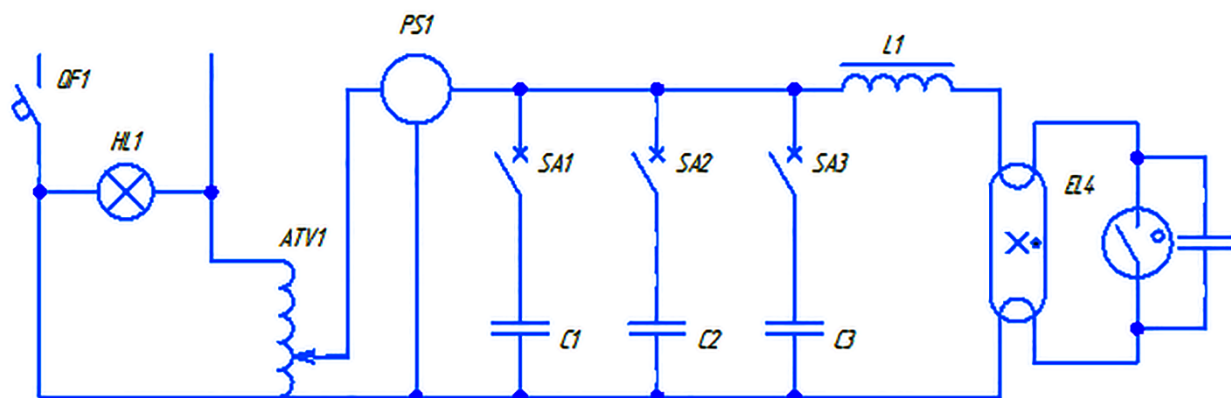


Рисунок 3.5 – Электрическая схема для исследования характеристик люминесцентных ламп с дросселем

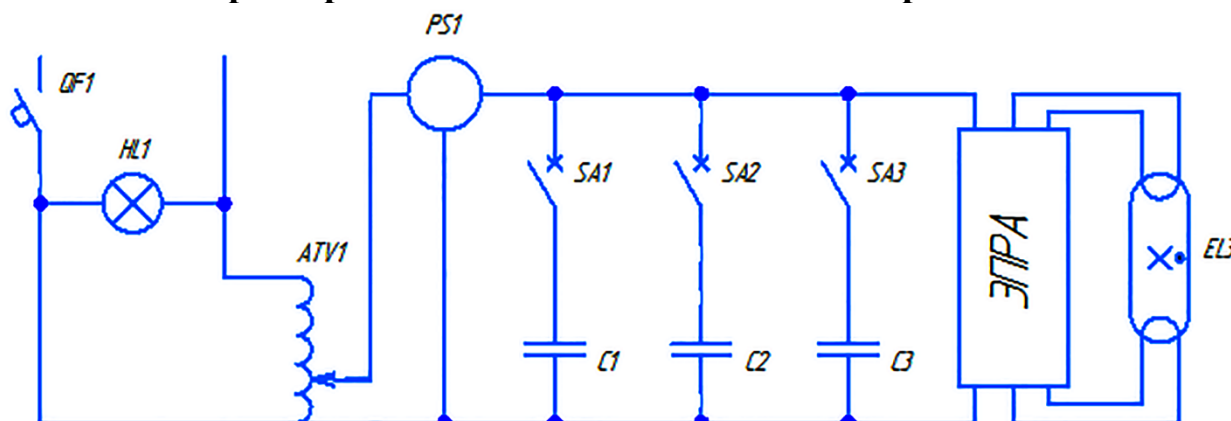


Рисунок 3.6 – Электрическая схема для исследования характеристик люминесцентных ламп с электронным пускорегулирующим аппаратом

Зависимости тока, мощностей схемы и освещенности от напряжения питания схемы получают, изменяя это напряжение при помощи автотрансформатора. Интервал замеров – 10 В. Измерения удобно начинать с максимального значения напряжения, равного 240 В. Освещенность от лампы в точке на вспомогательной плоскости (рис. 3.7) определяют как разность показаний люксметра при включенной и выключенной лампе. Результаты замеров заносят в таблицы 3.1 и 3.2.

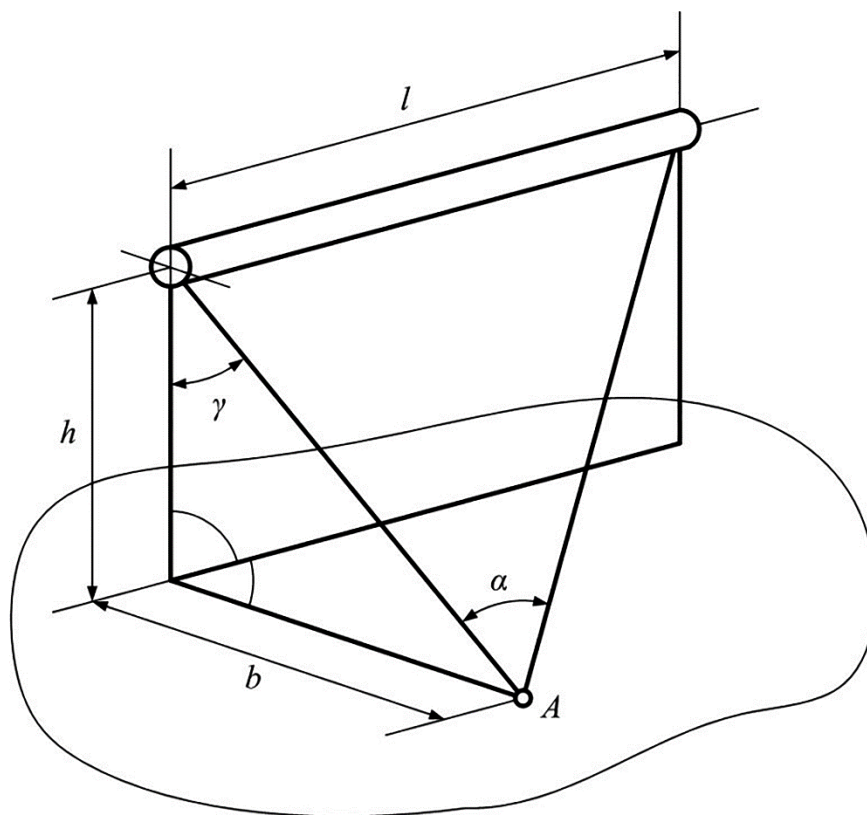


Рисунок 3.7 – Эскиз для определения освещенности точки от люминесцентной лампы

Таблица 3.1 – Характеристики люминесцентной лампы EL3

Номер	Опытные данные				Расчетные данные		
	$U_{\text{пит}}, \text{В}$	$I_{\text{сх}}, \text{А}$	$P_{\text{сх}}, \text{Вт}$	$E, \text{лк}$	$\Phi_{EL}, \text{лм}$	$\eta_{\text{сх}}, \text{лм/Вт}$	$\cos \varphi, \text{о. е.}$
1	240						
...							
n							

Таблица 3.2 – Характеристики люминесцентной лампы EL4

Номер	Опытные данные				Расчетные данные		
	$U_{\text{пит}}, \text{В}$	$I_{\text{сх}}, \text{А}$	$P_{\text{сх}}, \text{Вт}$	$E, \text{лк}$	$\Phi_{EL}, \text{лм}$	$\eta_{\text{сх}}, \text{лм/Вт}$	$\cos \varphi, \text{о. е.}$
1	240						
...							
n							

Для каждого значения напряжения по полученным данным вычисляют следующие величины:

1) световой поток по формуле для определения освещенности от светящей линии (3.1):

$$\Phi_v = \frac{2 \cdot \pi^2 \cdot l \cdot h \cdot E_A}{\left(\alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}\right) \cdot \cos^2 \gamma} \quad (3.1)$$

Для упрощения расчетов точку A следует брать, чтобы угол $\gamma = 0$.

2) светоотдачу схемы:

$$\eta_{\text{сх}} = \frac{\Phi_{EL}}{P_{\text{сх}}} \quad (3.2)$$

3) коэффициент мощности схемы:

$$\cos \varphi = \frac{P_{\text{сх}}}{U_{\text{сх}} \cdot I_{\text{сх}}} \quad (3.3)$$

В результате, получим:

$$\Phi_{v240} = \frac{2 \cdot 3,14^2 \cdot 0,59 \cdot 1 \cdot 245}{\left(50 + \frac{\sin 100}{2}\right) \cdot \cos^2 0} = 56,51 \text{ лм};$$

$$\eta_{\text{сх}240} = \frac{56,51}{37} = 1,53 \text{ лм/Вт};$$

$$\cos \varphi = \frac{37}{240 \cdot 0,41} = 0,38 \text{ о. е.}$$

По данным таблиц 3.1 и 3.2 построить графики: тока ($I_{\text{сх}}$), мощности схемы ($P_{\text{сх}}$), освещенности (E), светового потока (Φ), светоотдачи ($\eta_{\text{сх}}$), коэффициента мощности ($\cos \varphi$), в зависимости от напряжения на зажимах схемы.

Схема люминесцентной лампы имеет $\cos \varphi = 0,6-0,5$. Для повышения коэффициента мощности до $0,9-0,95$ параллельно с лампой и дросселем подключают конденсаторы.

Исследуем зависимость коэффициента мощности схемы от емкости, подключенной параллельно лампе и пускорегулирующему аппарату. Для этого измеряем значение коэффициента мощности без подключенной емкости, после чего подключаем конденсатор $C1 = 2$ мкФ параллельно лампе и пускорегулирующему аппарату. Повышая емкость подключением дополнительных конденсаторов, измеряем коэффициент мощности при емкости $0; 2; 4; 6$ мкФ ($C1 = C2 = C3 = 2$ мкФ).

Результаты занести в таблицы 3.3 и 3.4 для каждого типа ламп. Выполнить данный опыт как при подключении через дроссель (рис. 3.5), так и при подключении через электронный пускорегулирующий аппарат (рис. 3.6).

Таблица 3.3 – Исследование метода повышения коэффициента мощности схемы с помощью конденсатора лампы EL3

C , мкФ	$U_{\text{сети}}$, В	$I_{\text{сх}}$, А	$P_{\text{сх}}$, Вт	E , лк	$\cos \varphi$, о. е.
0	220				
2	220				
4	220				
6	220				

Таблица 3.4 – Исследование метода повышения коэффициента мощности схемы с помощью конденсатора лампы EL4

C , мкФ	$U_{\text{сети}}$, В	$I_{\text{сх}}$, А	$P_{\text{сх}}$, Вт	E , лк	$\cos \varphi$, о. е.
0	220				
2	220				
4	220				
6	220				

По данным таблиц 3.3 и 3.4 построить зависимости коэффициента мощности от подключенной емкости к схеме и сделать вывод о целесообразности применения включения емкости для повышения коэффициента мощности люминесцентных ламп, включенных с использованием дросселя или электронного пускорегулирующего аппарата.

Контрольные вопросы

1. Расскажите об устройстве люминесцентной лампы.
2. Расскажите об элементах стартерной схемы включения люминесцентной лампы и их работе.
3. Перечислите преимущества и недостатки люминесцентных ламп по сравнению с лампами накаливания.
4. Как влияют условия окружающей среды на работу люминесцентных ламп?
5. В каком случае применение люминесцентного освещения экономически оправдано?
6. В чем заключается способ увеличения коэффициента мощности установки с люминесцентными лампами?
7. Что такое коэффициент искажения и коэффициент мощности?
8. Почему люминесцентные лампы не могут быть включены в сеть без балластного сопротивления?
9. Как изменяются основные характеристики ламп при изменении напряжения питания?
10. Какие внешние условия необходимы для нормальной работы установки с люминесцентными лампами?
11. Опишите процесс зажигания люминесцентной лампы.
12. Назовите преимущества электронных пускорегулирующих аппаратов.

Тестовые вопросы

1. Укажите состав газового наполнения люминесцентных ламп:

- а) аргон + кислород;
- б) аргон + пары ртути;
- в) аргон + неон + гелий;
- г) пары ртути + неон.

2. Укажите причину, по которой колбу люминесцентной лампы наполняют смесью инертного газа с парами ртути:

- а) уменьшение распыления покрытия электродов и облегчение зажигания разряда;
- б) создание оптимальных условий для возникновения электрического разряда;
- в) для возбуждения и излучения.

3. Для чего служит слой люминофора?

- а) для создания электрического разряда;
- б) для преобразования УФ-излучения в видимое излучение;
- в) для преобразования ИК-излучения в видимое излучение.

4. Как влияют условия окружающей среды на работу люминесцентных ламп?

- а) при понижении температуры устойчивое зажигание не обеспечивается;
- б) при повышении температуры устойчивое зажигание не обеспечивается;
- в) не зависит от условий окружающей среды.

5. Средняя продолжительность работы люминесцентной лампы составляет...

- а) 100 000 часов;
- б) 10 000–12 000 часов;
- в) 1 000–2 000 часов.

6. Укажите правильную маркировку для люминесцентной лампы с улучшенной цветопередачей:

- а) ЛБ;
- б) ЛД;
- в) ЛБЦ;
- г) ЛХБ.

7. Как сказываются изменения напряжения сети на срок службы люминесцентной лампы?

- а) с понижением напряжения срок службы увеличивается;
- б) с повышением напряжения срок службы увеличивается;
- в) с повышением или понижением напряжения срок службы сокращается;
- г) с повышением или понижением напряжения срок службы увеличивается.

8. Какое давление создается в люминесцентной лампе при заполнении ее аргоном?

- а) 0,8 МПа;
- б) 400 Па;
- в) 60 кПа.

9. Каково процентное соотношение инертных газов в люминесцентной лампе?

- а) 60 % аргона; 28,8 % неона; 11,2 % гелия;
- б) 40 % аргона; 32,5 % неона; 27,5 % гелия;
- в) 80 % аргона; 15 % неона; 5 % гелия.

10. При какой температуре устойчивое зажигание лампы не обеспечивается?

- а) ниже 10 градусов Цельсия;
- б) ниже минус 10 градусов Цельсия;
- в) ниже 5 градусов Цельсия;
- г) ниже минус 5 градусов Цельсия;
- д) ниже 0 градусов Цельсия.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ЛАМПЫ С БАЛЛАСТНЫМИ СОПРОТИВЛЕНИЯМИ

Цель исследования – изучить условия пуска и работы люминесцентных ламп в схемах с различными балластами; исследовать электрические и световые характеристики люминесцентных ламп при работе с различными балластными сопротивлениями.

Теоретический материал

Принцип работы разрядных источников света заключается в генерировании излучения при электрическом разряде в газе или парах металлов. Рабочим режимом при этом является дуговой разряд с падающей вольт-амперной характеристикой. Для стабилизации разряда последовательно с разрядным промежутком необходимо включать дополнительное балластное сопротивление.

В качестве балласта к люминесцентным лампам можно применять индуктивное, емкостное и активное сопротивления.

Люминесцентная лампа при использовании дроссельного балласта снижает $\cos\varphi$ на зажимах лампы до $0,6 \div 0,65$. Поэтому на практике для удержания $\cos\varphi$ всей осветительной установки в пределах $0,92 \div 0,95$ половину ламп включают через индуктивное балластное устройство, а половину – через емкостное (УБИ-40/220 и УБЕ-40/220 соответственно). В светильниках с четырьмя лампами первая пара ламп включается через 2УБИ-20/220, вторая пара – через 2УБЕ-20/220. Это позволяет удерживать $\cos\varphi$ светильника в вышеназванных пределах.

Люминесцентные лампы одной пары включены последовательно на напряжение 110 В. На рисунке 4.1 приведена элементарная схема включения

люминесцентной лампы.

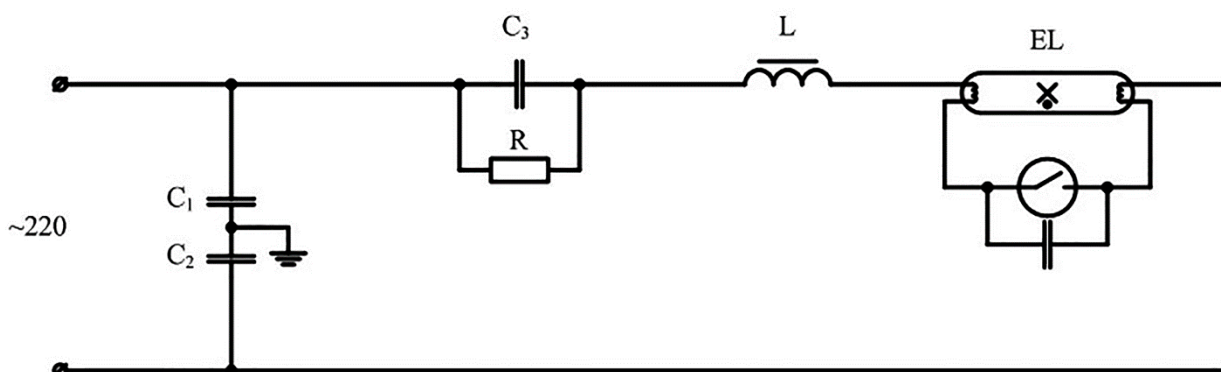


Рисунок 4.1 – Схема включения люминесцентной лампы типа ЛБ-40

Емкость C_3 и индуктивность L создают последовательный резонансный контур с довольно высокой добротностью. После прогрева электродов лампы и разрыва цепи статора, энергия, накопленная в L , создает мощный импульс напряжения, который и зажигает лампу. Очевидно что, изменяя параметры емкости C_3 и индуктивности L , можно изменять величину импульса напряжения, а значит изменять и пороговое напряжение зажигания лампы.

Изменяя параметры C_3 и L , которые являются реактивными сопротивлениями последовательной цепи, можно изменять напряжение на лампе, а, следовательно, и потери в пускорегулирующем аппарате.

План работы

1. Ознакомьтесь с методами пуска и работы люминесцентной лампы в схемах с индуктивным и емкостным балластным сопротивлением.
2. Дайте экспериментальную оценку работы лампы с различными балластами. Снимите зависимости тока, мощности, напряжения на лампе и создаваемой ею освещенности на вспомогательной плоскости от напряжения питания в схемах с индуктивными и емкостными балластами.
3. Определите зависимость потока и светоотдачи люминесцентной лампы

от напряжения питания в схемах с различными балластными сопротивлениями.

4. Определите, как влияет люминесцентная лампа на показатели питающей сети.

5. Исследуйте, как влияют параметры пускорегулирующего устройства на светотехнические характеристики лампы.

6. Постройте кривые I , $\Delta P_{\text{пра}}$, $\cos \varphi$ в функции величин L и C .

Методика выполнения работы

Схема исследования люминесцентной лампы с индуктивными и емкостными балластами представлена на рисунке 4.2.

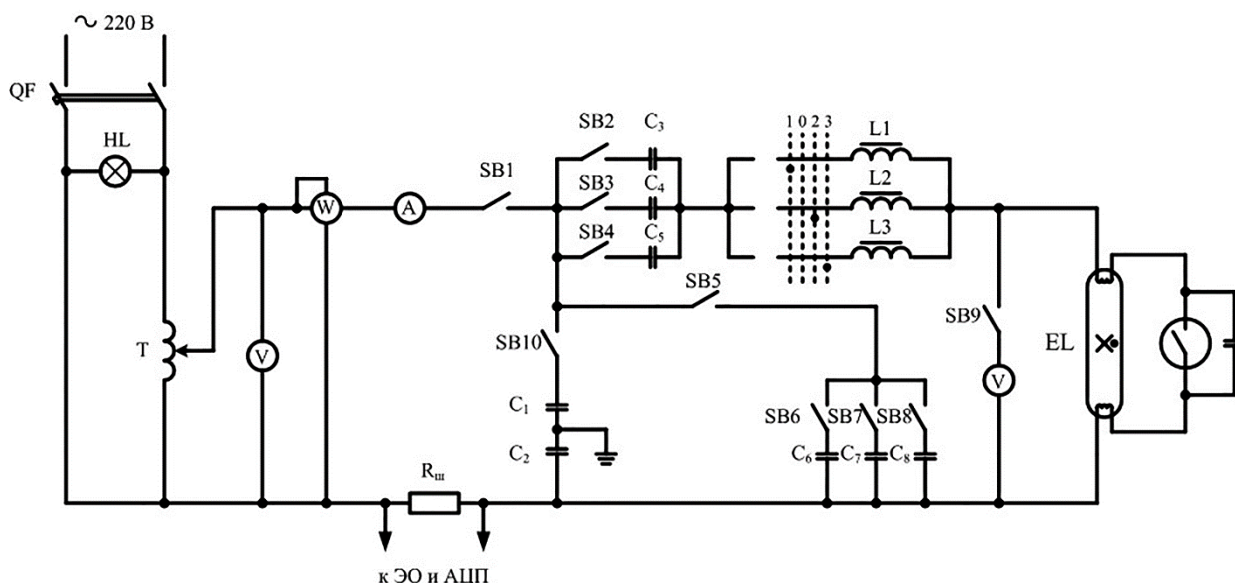


Рисунок 4.2 – Электрическая схема для исследования люминесцентной лампы с балластными сопротивлениями

Исследование пуска люминесцентной лампы включает несколько этапов.

Первый этап – это нормальный режим лампы при номинальном напряжении, $C_3 = 4$ мкФ и L_1 (УБИ40) (рис. 4.1) элементы штатного пускорегулирующего устройства.

Для этого проверяют приведение всех тумблеров и переключений в положение «откл.»; подключают осциллограф к выведенным клеммам; включают

автомат QF , кнопку $SB2$ емкости C_3 , $SB10$ и переключатель SA в положение 1; затем включают $SB1$. После этого снимают показания тока лампы $I_{л}$, коэффициента мощности $\cos\varphi$ и напряжения на лампе U_2 .

Осциллограф настраивают на получение развертки 2–3 периодов синуса напряжения сети достаточной амплитуды. Все показания заносятся в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Расчетные данные изменения емкостного и индуктивного балластного сопротивления

Варианты	$U_{\text{сети}}, \text{В}$	$I_{\text{л}}, \text{А}$	$\cos\varphi$	$P_{\text{л}}, \text{ВА}$	$U_2, \text{В}$	$\Delta P_{\text{пра}}, \text{ВА}$	$\text{Sin } U_{\text{сети}}$
Нормальный режим	220						
$C_{2\text{мкф}}$	L_1	220					
	L_2						
	L_3						
$C_{4\text{мкф}}$	L_1	220					
	L_2						
	L_3						
$C_{6\text{мкф}}$	L_1	220					
	L_2						
	L_3						
$C_{8\text{мкф}}$	L_1	220					
	L_2						
	L_3						
Примечание: в графе $\text{Sin } U_{\text{сети}}$ – отмечается изменение формы $\text{Sin } U_{\text{сети}}$, если таковое появится: $P_{\text{л}} = I \cdot U_{\text{с}}$; $\Delta P_{\text{пра}} = \frac{I \cdot (U_{\text{с}} - U_2)}{P_{\text{л}}} \cdot 100\%$.							

Второй этап – это режимы с переменными C и L в цепи лампы. Варианты указаны в таблице 4.1. Снимаются показания $I_{\text{л}}$, $\cos\varphi$, U_2 для всех вариантов в таблице и сравниваются с номинальным режимом. Делается анализ характера изменения кривых I , $\Delta P_{\text{пра}}$, $\cos\varphi$ (рис. 4.3).

Третий этап – это исследование влияния величины C при штатном УБИ-40/220 на величину порогового напряжения зажигания лампы. Рассматриваются три возможности: $C = 2$ мкф, $C = 4$ мкф, $C = 6$ мкф. Путем ступенчатого изменения напряжения сети с 220 В до 180 В и периодического включения –

отключения лампы тумблером *SB1* определяется пороговое напряжение зажигания. Данные исследования заносятся в таблицу 4.2.

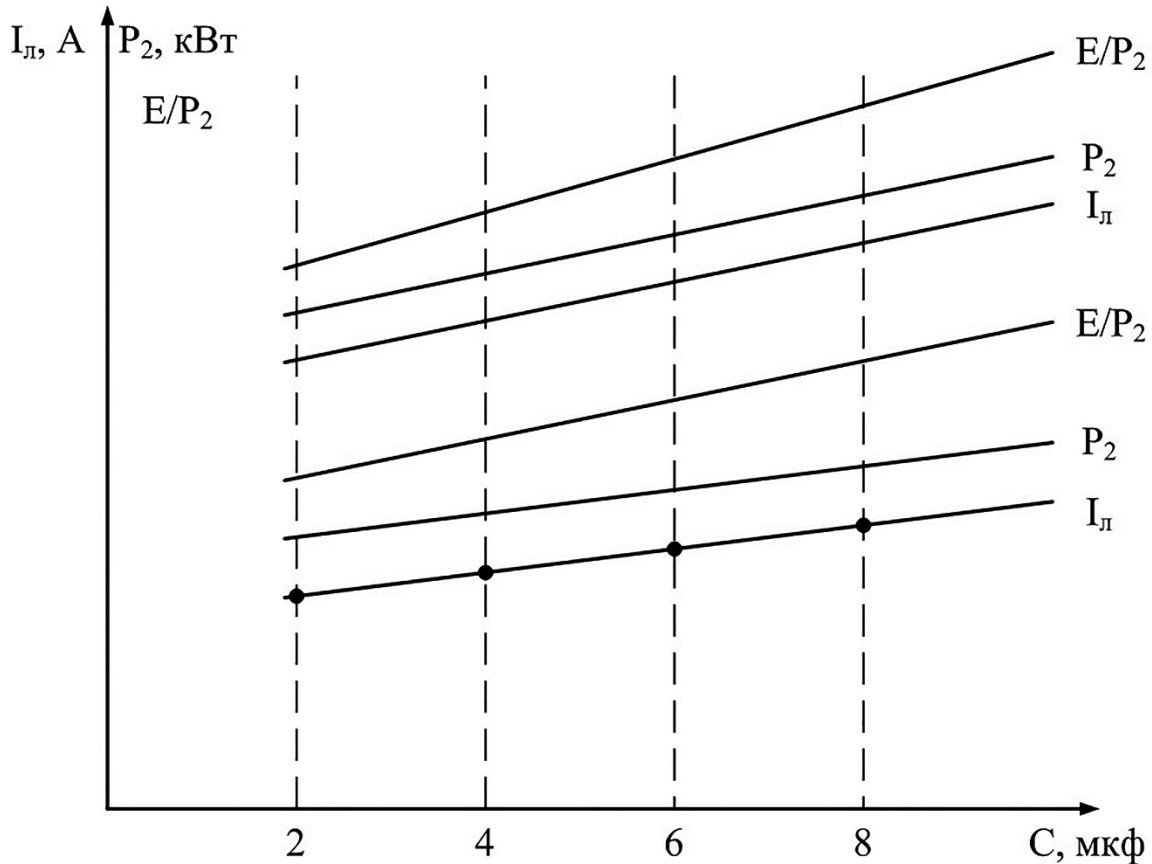


Рисунок 4.3 – График изменения кривых тока, мощности пускорегулирующего устройства и коэффициента мощности

Таблица 4.2 – Таблица для определения порогового напряжения зажигания лампы

$U_{\text{сети}}$	220	215	210	200	195	190	185	180
C_2	+	+	+	+	–			
$L_3 \ C_4$	+	+	+	+	+	–		
C_6	+	+	+	+	+	+	–	

Примечание: L_3 – УБИ-40/220, зажигание ЛБ отмечать +.

Контрольные вопросы

1. От чего может зависеть светоотдача источника света?
2. Укажите назначение УБИ в пускорегулирующих аппаратах люминесцентных ламп.
3. Что преследуется использованием в роли «балласта» в двухламповом

светильнике совместно УБИ и УБЕ?

4. Как влияет температура окружающей среды на зажигание и горение ламп типа ЛБ?

5. Какие схемы зажигания люминесцентных ламп используются в промышленных облучательных установках?

6. Как можно снизить потери мощности в пускорегулирующем аппарате?

7. Для чего служат емкости C_1, C_2 (рис. 4.2)?

Тестовые вопросы

1. Принцип работы разрядных источников света заключается в...

- а) излучении света с помощью нити накала по закону Джоуля-Ленца;
- б) генерировании излучения при электрическом разряде в газе;
- в) генерировании излучения в плазме.

2. Для чего служат конденсаторы на входе схемы включения?

- а) для повышения напряжения зажигания лампы;
- б) для стабилизации напряжения;
- в) для защиты схемы от радиопомех.

3. На сколько снижает дроссельный балласт коэффициент активной мощности?

- а) 0,92–0,95;
- б) 0,60–0,65;
- в) 0,45–0,50.

4. Как расшифровывается УБИ?

- а) устройство балластное индуктивное;
- б) устройство балластное импульсное;
- в) устройство с бивольфрамовыми излучателями.

5. При изменении параметров емкости и индуктивности изменяется...

- а) световой поток лампы;

- б) напряжение на лампе и потери пускорегулирующего аппарата;
- в) время зажигания лампы.

6. В качестве балласта к люминесцентным лампам можно применять...

- а) только индуктивное сопротивление;
- б) только емкостное сопротивление;
- в) только индуктивное и емкостное сопротивление;
- г) активное, индуктивное и емкостное сопротивление.

7. Как сказываются изменения напряжения сети на срок службы люминесцентной лампы?

- а) с понижением напряжения срок службы увеличивается;
- б) с повышением напряжения срок службы увеличивается;
- в) с повышением или понижением напряжения срок службы сокращается;
- г) с повышением или понижением напряжения срок службы увеличивается.

8. Укажите состав газового наполнения люминесцентных ламп:

- а) аргон + кислород;
- б) аргон + пары ртути;
- в) аргон + неон + гелий;
- г) пары ртути + неон.

9. Для чего служит слой люминофора?

- а) для создания электрического разряда;
- б) для преобразования УФ-излучения в видимое излучение;
- в) для преобразования ИК-излучения в видимое излучение.

10. Как влияют условия окружающей среды на работу люминесцентных ламп?

- а) при понижении температуры устойчивое зажигание не обеспечивается;
- б) при повышении температуры устойчивое зажигание не обеспечивается;
- в) не зависит от условий окружающей среды.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА ЛАМП ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Цель исследования – изучение характеристик электрического разряда в газах и парах (на примере дуговой ртутной лампы высокого давления типа ДРЛ).

Теоретический материал

Ртутные лампы высокого и сверхвысокого давления являются самой распространенной и многочисленной группой источников света среди разрядных ламп этого типа. Это связано с тем, что *при помощи ртутного разряда удается создавать весьма эффективные источники в УФ, видимой и близкой ИК областях спектра, различной мощности, достаточно компактные, со сроками службы в десятки тысяч часов, обладающие при необходимости весьма высокими яркостями.*

Конструктивно газоразрядные лампы высокого давления отличаются от газоразрядных ламп низкого давления меньшими размерами и отсутствием подогревных электродов.

Классификация разрядных ламп высокого и сверхвысокого давления основана на конструктивных признаках:

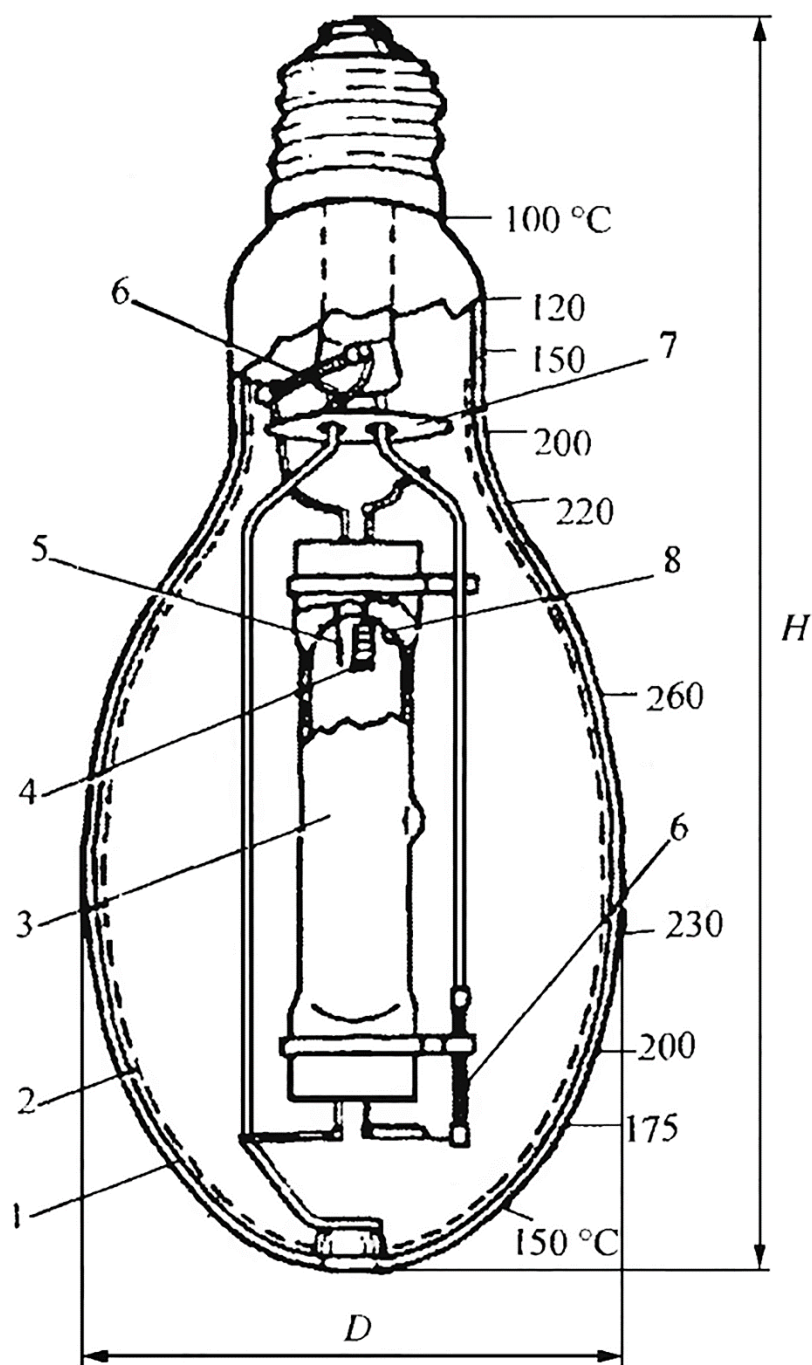
- 1. Разрядные лампы высокого давления.*
- 2. Разрядные лампы высокого давления с исправленной цветностью (ДРЛ).*
- 3. Трубочатые разрядные лампы сверхвысокого давления с естественным охлаждением.*
- 4. Капиллярные разрядные лампы сверхвысокого давления с принудительным (воздушным или водяным) охлаждением.*

5. Шаровые или короткодуговые разрядные лампы сверхвысокого давления с естественным охлаждением.

Дуговая ртутная лампа типа ДРЛ (рис. 5.1) состоит из кварцевой трубки (горелки), расположенной в стеклянной колбе, внутренняя поверхность которой покрыта тонким слоем люминофора, способного преобразовывать ультрафиолетовое излучение, сопровождающее дуговой разряд в трубке в видимый свет, пригодный для освещения. В трубку, выполненную из кварцевого стекла, впаяны два основных вольфрамовых электрода, покрытых активированным слоем и подсоединенных к центральной части цоколя лампы, и два дополнительных электрода (зажигающих). В трубке имеется капля ртути (25–165 мг). После откачки воздуха для поддержания стабильности свойств люминофора колба заполняется чистым инертным газом (аргоном). Такая конструкция позволяет эффективно зажигать четырехэлектродную лампу от питающей сети напряжением 220 В.

Приведенная на рисунке 5.2 схема включения применяется для ламп, у которых напряжение зажигания U_z меньше напряжения сети U_c , а рабочее напряжение на лампе U_l таково, что $U_l/U_c \leq 0,7$. При данном соотношении напряжений обеспечивается надежное зажигание лампы. Каждый зажигающий электрод через резистор R , расположенный внутри наружного баллона, подключается к противоположному рабочему электроду. Резистор R ограничивает ток вспомогательного разряда и уменьшает ток утечки через зажигающие электроды лампы.

При подаче определенной величины напряжения к электродам лампы в трубке возникает электрический разряд, сопровождающийся ультрафиолетовым излучением ртутных паров с синеватым оттенком. Указанное излучение, воздействуя на люминофор, вызывает его свечение, имеющее красный цвет. Суммарный цвет светового излучения лампы складывается из излучений ртутного разряда и люминофора, приближаясь к белому.

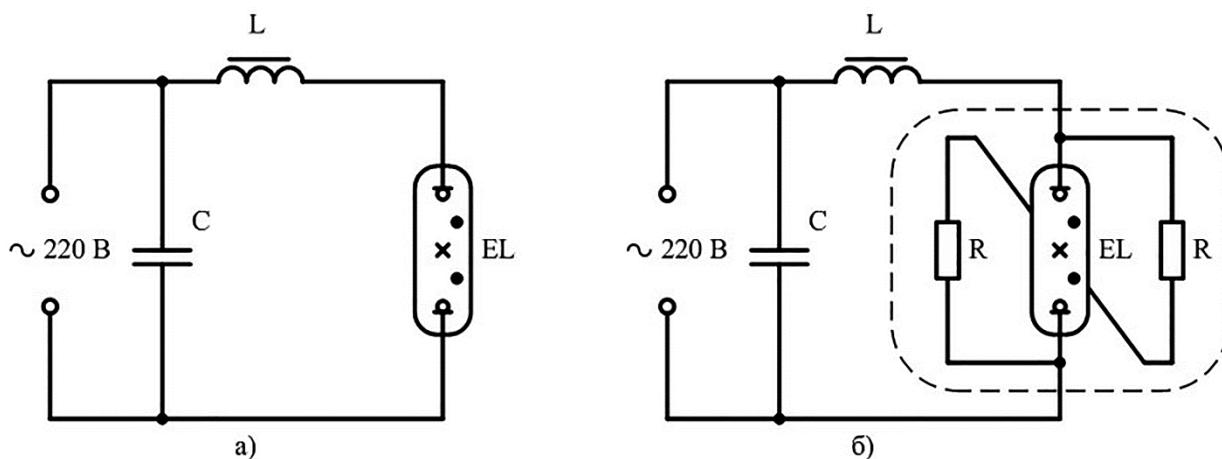


1 – внешняя стеклянная колба; 2 – слой люминофора;
3 – разрядная трубка из кварцевого стекла; 4 – рабочий электрод;
5 – зажигающий электрод; 6 – ограничительные резисторы в цепи
зажигающего устройства; 7 – экран; 8 – ртуть.
цифры справа на колбе – температуры колбы лампы ДРЛ мощностью 400 Вт.

Рисунок 5.1 – Конструкция лампы типа ДРЛ

Благодаря наличию внешней колбы, светотехнические характеристики лампы типа ДРЛ практически не чувствительны к температуре окружающего

воздуха в отличие от люминесцентных ламп низкого давления. Они надежно работают при температуре окружающего воздуха от минус 30 до 40 °С. Влияние температуры окружающего воздуха сказывается в основном на напряжении зажигания лампы и времени ее разгорания.



а) двухэлектродная; б) четырехэлектродная

Рисунок 5.2 – Простейшая схема включения лампы типа ДРЛ

При эксплуатации осветительных установок допускается любое положение лампы типа ДРЛ. Однако при горизонтальном положении дуга в горелке из-за конвекционных потоков газов слегка выгибается вверх. Это приводит к некоторому снижению мощности, световой отдачи и срока службы лампы.

Четырехэлектродные дуговые ртутные люминесцентные лампы высокого давления с люминофорным покрытием на колбе выпускаются в пределах мощности 80–2 000 Вт и имеют световую отдачу 40–60 лм/Вт. Световая отдача возрастает с увеличением единичной мощности, но для наиболее применяемых в установках внутреннего освещения ламп мощностью 400–1 000 Вт, она почти одинакова.

Срок службы лампы равен 12–20 тысяч часов, причем к концу этого срока световой поток снижается до 70 % от начального. Лампы включаются через индуктивные пускорегулирующие аппараты (ПРА), потери мощности при этом составляют около 10 %. Коэффициент мощности комплекта «лампа –

ПРА» составляет в среднем 0,5.

В последнее время наметилась тенденция встраивания в ПРА конденсаторов для повышения коэффициента мощности до 0,9–0,95 (рис. 5.2, а). Лампы в комплекте с ПРА предназначены для включения на напряжение 220 В (кроме ламп 2 000 Вт, включаемых на напряжение 380 В). Лампы мощностью до 125 Вт имеют цоколь E27, остальные – E40.

Преимуществом ламп ДРЛ по сравнению с люминесцентными лампами низкого давления является их компактность при высокой единичной мощности, существенным недостатком – плохая цветопередача их излучения, позволяющая применять лампы ДРЛ только при отсутствии каких-либо требований к различению цветов, а также значительной пульсации светового потока (коэффициент пульсации 63–74 %).

Процесс разгорания ламп после включения длится 5–7 минут. В случае хотя бы мгновенного перерыва питания лампы гаснут и начинают вновь разгораться только после остывания, когда пары ртути сконденсируются и давление в разрядной трубке упадет до первоначального значения (в течение примерно 10 минут). Как и люминесцентные лампы, они надежно работают только при напряжении не менее 90 % от номинального. Гигиенические исследования не выявили противопоказаний для применения ламп ДРЛ, но позволили сделать вывод, что при зрительных работах высокой точности применение их нежелательно.

В маркировке ламп буквы и числа обозначают: ДР – дуговая ртутная, Л – люминесцентная; первое число – номинальная мощность в ваттах; в скобках указывается так называемое красное отношение, в процентах – доля излучения в красной части спектра в общем потоке излучения; через дефис – номер разработки.

Лампу типа ДРЛ с красным соотношением 6 % рекомендуется использо-

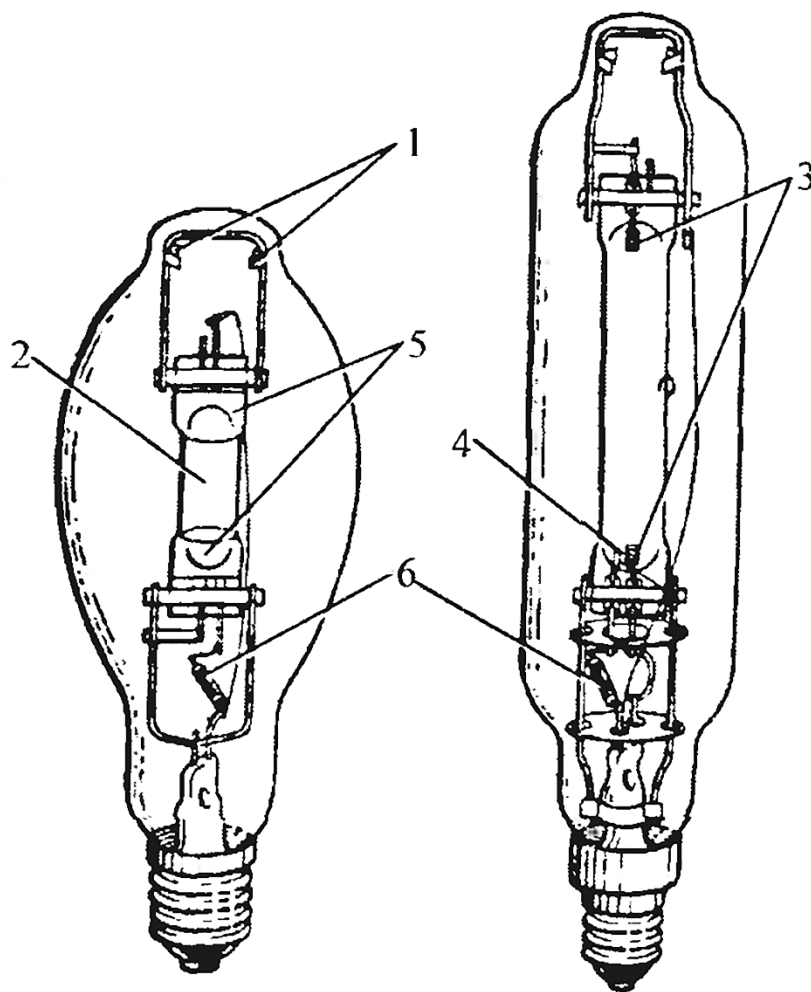
вать для освещения улиц и автострад; 10 % – для наружного и внутреннего освещения промышленных объектов с высоким уровнем зрительных работ; 12 % и более – для внутреннего освещения промышленных предприятий.

Для освещения помещений производственных и общественных зданий, в которых выполняются работы, требующие повышенного цветоразличия, могут применяться лампы мощностью 50; 80 и 125 Вт, имеющие долю красного излучения 15 %.

Металлогалогенные лампы (МГЛ) типа ДРИ (дуговые ртутные с излучающими добавками) появились в результате развития и усовершенствования ламп ДРЛ. Устройство ламп типа ДРИ (рис. 5.3) практически такое же, как и ламп ДРЛ. В прозрачной колбе находится разрядная трубка, с обеих сторон которой впаяны электроды. В основании колбы установлен экран. В качестве внешней колбы применяется либо стандартная колба лампы ДРЛ без люминофорного покрытия (в типе лампы указана модификация 5), либо колба цилиндрической формы (модификация 6). Лампы модификации 5 предназначены для работы в любом положении, а модификации 6 – преимущественно в горизонтальном.

В лампах типа ДРИ в разрядную трубку помимо ртути и аргона (или другого инертного газа) дополнительно вводят галоидные соединения различных металлов (обычно с йодом, так как иодиды металлов практически не взаимодействуют с кварцевым стеклом). Эти соединения в горячей зоне распадаются на атомы йода и металла. Из горячей зоны они перемещаются в холодную зону к стенкам и воссоединяются в первоначальное состояние. Таким образом, в лампе осуществляется замкнутый цикл.

Излучаемый свет зависит от используемого металла, что позволяет отказаться от люминофора. Например, введение иодида таллия дает зеленоватый цвет, натрия – желтоватый цвет, а индия – голубоватый оттенок света. В лампах типа ДРИ в качестве галогенидов широко используются иодиды натрия.



слева – лампа 400 Вт в эллипсоидальной прозрачной внешней колбе;
справа – лампа 2 000 Вт в цилиндрической прозрачной форме;
1 – пружинные распорки; 2 – разрядная трубка; 3 – основные электроды; 4 – зажигающий электрод; 5 – утепляющее покрытие; 6 – ограничительное термостойкое сопротивление

Рисунок 5.3 – Общий вид осветительных металлогалогенных ламп

Лампы ДРИ имеют световую отдачу до 90 лм/Вт, внешне отличаются от ламп ДРЛ только отсутствием люминофора на колбе и дают достаточно белый свет. Лампы включаются в сеть через ПРА, состоящего из дросселя и зажигающего устройства, генерирующего импульсы высокого напряжения. Коэффициент мощности при некомпенсированных ПРА равен в среднем 0,5. Пульсации светового потока значительно меньше (коэффициент пульсации 30 %), и разгораются лампы ДРИ несколько быстрее, чем лампы ДРЛ.

С точки зрения применения, металлогалогенные лампы разделяются на лампы для общего освещения, лампы с улучшенным качеством цветопередачи

для общего и специального применения, а также лампы для специальных применений.

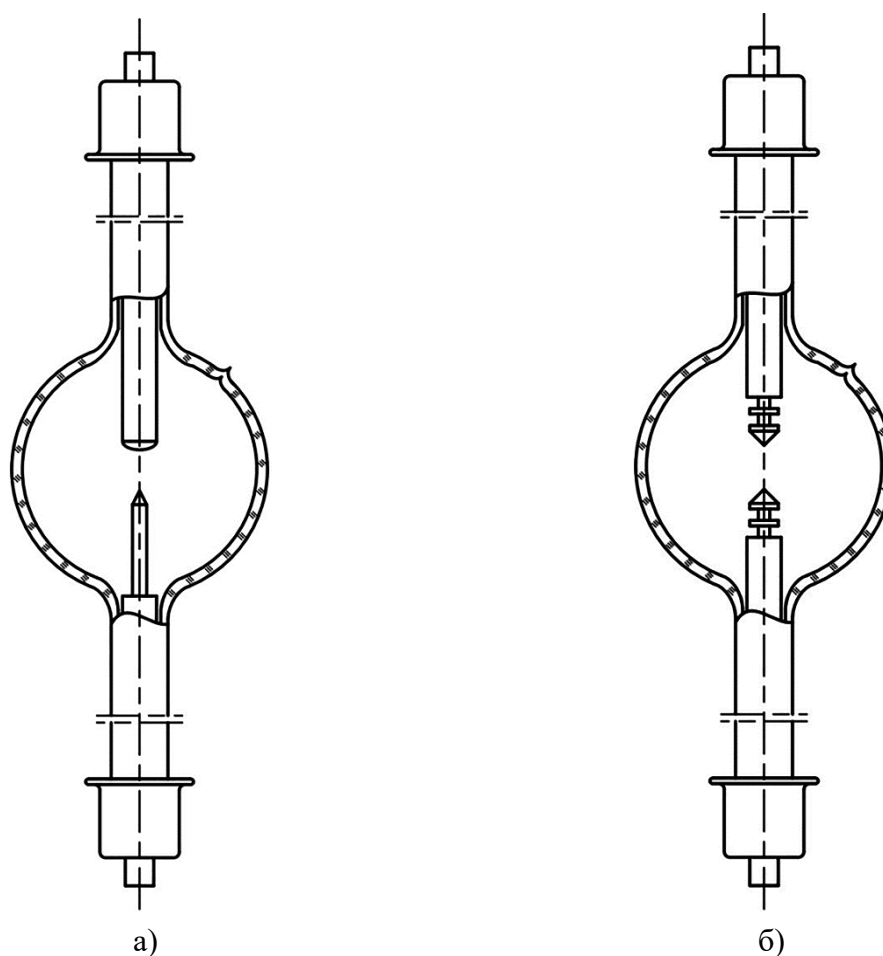
Ксеноновые лампы. В этих лампах дуговой разряд происходит в тяжелом инертном газе ксеноне, в результате чего испускаются лучи в близкой к ультрафиолетовой, видимой и близкой к инфракрасной областям спектра электромагнитного излучения. Излучаемый свет имеет ровный белый свет и хорошую цветопередачу ($R_a = 98$).

Лампа представляет собой трубку из кварцевого стекла диаметром 22–42 мм и длиной 640–2 610 мм, заполненную ксеноном.

Различают ксеноновые лампы с естественным и водяным охлаждением (трубчатые), а также сверхвысокого давления с естественным и принудительным воздушным или водяным охлаждением (шаровые).

Лампы с шаровой колбой (рис. 5.4) представляют собой толстостенный баллон из кварца с впаянными в него двумя электродами, изготовленными из торированного вольфрама. Токопроводящими контактами служат цилиндрические выводы, конструкция которых предусматривает как возможность крепления лампы, так и присоединение питающих проводов. Баллон лампы наполняется ксеноном до давления 8–9 атмосфер, которое при работе лампы возрастает до 20–25 атмосфер.

Выделяют еще один тип ксеноновых ламп, так называемые разборные лампы. В обычной шаровой ксеноновой лампе 25–35 % мощности лампы выделяется на электродах, главным образом на аноде. Выделяемое на электродах тепло нагревает колбу лампы, что ограничивает ее предельную мощность. Если отводить выделяемое на электродах тепло, например, с помощью водяного охлаждения, то это уменьшает тепловую нагрузку на колбу и позволяет создать лампу большой мощности, а также уменьшить размеры колбы. Эта проблема решается в лампах разборной конструкции ДКСР (рис. 5.5).



а) на постоянном токе; б) на переменном токе

Рисунок 5.4 – Ксеноновые лампы с шаровой колбой

С торцов кварцевой лампы вставляются разборные вводы, которые состоят из металлической трубки (1), диаметром 12–16 мм, служащей токопроводом, которая изнутри охлаждается водой. На конце трубки запрессован анод (5), также охлаждаемый водой. Для получения вакуумноплотного соединения между корпусом ввода, токопроводом и кварцевой колбой фланец (3) ножки колбы сжимается между корпусом ввода (2) и прижимной гайкой (4) через уплотняющие свинцовые прокладки. Через штуцера подается охлаждающая вода.

Трубчатая ксеноновая лампа с естественным охлаждением (рис. 5.6) представляет собой толстостенную трубку из кварцевого стекла, по концам кото-

рой сварены электроды из тарированного вольфрама. Вводы лампы изготавливаются из молибденовой фольги. Внешние выводы изготовлены из стали, а переходные втулки – из титана. Колба лампы заполняется ксеноном с холодным давлением от 2 000 до 46 662 Па. Величина давления ксенона определяется напряжением зажигания пускового устройства, а также зависит от выбранного внутреннего радиуса трубки и падения напряжения на единицу длины разряда.

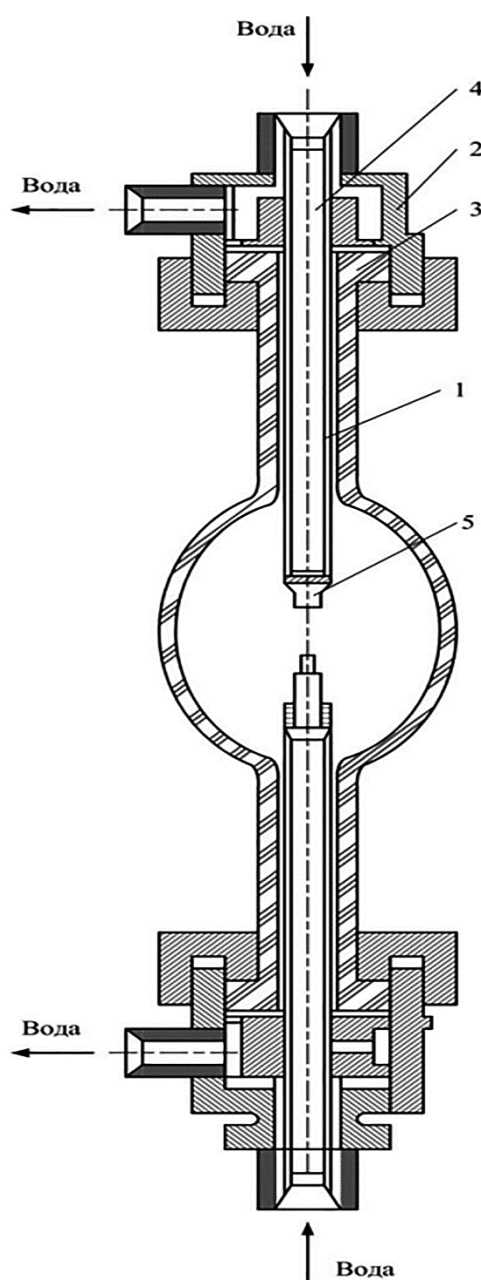


Рисунок 5.5 – Общий вид разборной ксеноновой лампы типа ДЖСР

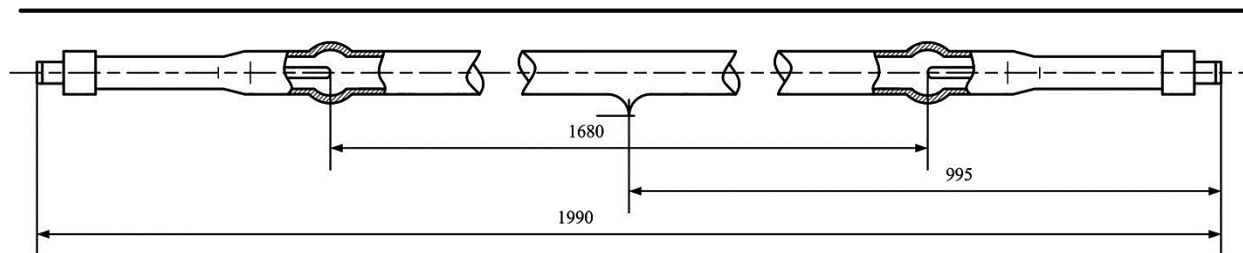


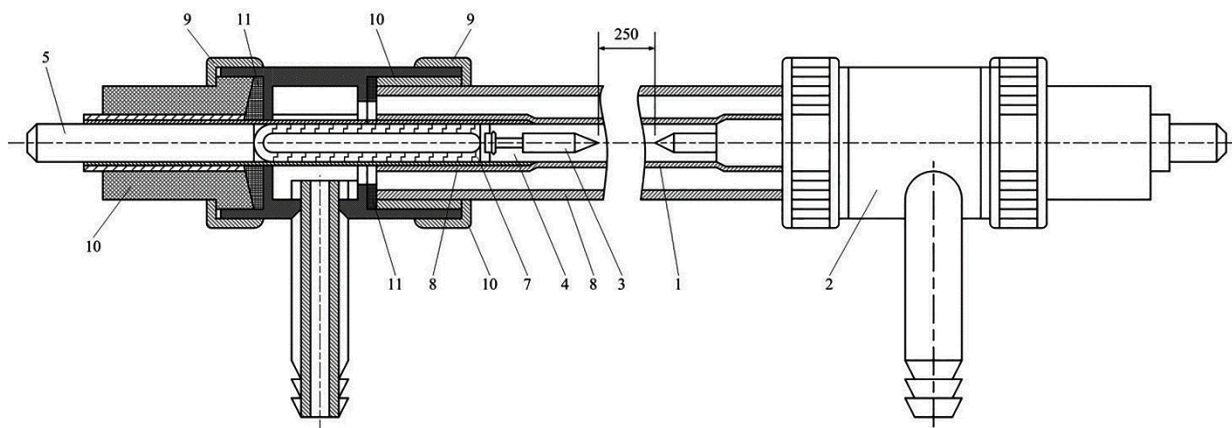
Рисунок 5.6 – Общий вид ксеноновых трубчатых ламп типа ДКсТ 10000, ДКсТ 20000, ДКсТ 50000

В лампах с водяным охлаждением разрядная трубка из кварца помещается внутри стеклянного цилиндра (рис. 5.7). В зазоре между разрядной трубкой и цилиндром циркулирует вода, которой придается винтообразное движение, благодаря некоторому сдвигу входного патрубка по отношению к плоскости, проходящей через ось лампы. Концы стеклянного цилиндра помещаются в сборные латунные муфты и уплотняются резиновыми прокладками. Для охлаждения ламп используется дистиллированная вода, циркулирующая в замкнутой системе.

Нормальная работа лампы возможна, если стеклянный цилиндр полностью заполняется водой. Максимальная температура охлаждающей воды не должна превышать температуры, при которой образуется сплошная паровая рубашка (не более 50 °С на выходе из лампы). Из этих соображений определяется расход охлаждающей воды. Применение водяного охлаждения позволяет увеличить почти в десять раз удельную нагрузку на кварц по сравнению с естественным охлаждением, что дает возможность уменьшить размеры ламп и при этом повысить на 30–40 % их световую отдачу.

Электрический дуговой разряд в ксеноновой лампе возникает при высоком напряжения зажигания (до 50 кВ). При этом время загорания лампы составляет менее секунды, так как в отличие от лампы, в которых разряд происходит в газах с парами ртути или натрия, плотность ксенона остается практически постоянной при изменении теплового режима. Такие лампы имеют возрастающую вольт-амперную характеристику при больших плотностях тока. Это

позволяет стабилизировать разряд с помощью небольших балластных сопротивлений или же вообще обойтись без них, что имеет место при использовании трубчатых ламп значительной длины.



1 – разрядная трубка; 2 – корпус охлаждающей рубашки; 3 – электрод; 4 – втулка;
5 – вывод; 6 – цилиндр из молибденовой фольги; 7 – вкладыш; 8 – стеклянный цилиндр;
9 – гайка; 10 – уплотняющий вкладыш; 11 – уплотняющие прокладки

Рисунок 5.7 – Конструкция ксеноновой лампы с водяным охлаждением

Так как напряжение зажигания ксеноновых ламп значительно превышает напряжение питающей сети, поджигающее устройство основано на принципе искрового генератора. На рисунке 5.8 приведены схемы зажигания лампы с помощью искрового генератора.

Для зажигания ламп имеют важное значение не только величина поджигающего импульса и число подаваемых на лампу импульсов, но и сдвиг фаз между напряжением питания лампы и пускового устройства. При питании лампы и пускового устройства от одной и той же фазы сети, напряжение зажигания лампы выше, чем при питании от различных фаз. Поэтому к пусковому устройству и к лампе подаются различные фазы сети. Нажатием кнопки *SB1* либо нормально замкнутыми блок-контактами, должна быть выбрана из расчета на номинальное напряжение 15–20 кВ. Kontakтами контактора *R1* в случае автоматического управления зажиганием ламп на первичную обмотку трансформатора *T1* подается сетевое напряжение. Конденсатор *C1*, включенный во вторичную обмотку трансформатора, заряжается, и, когда на нем

напряжение достигает величины напряжения пробоя воздушного разрядника, он почти мгновенно разрядится на первичную обмотку импульсного трансформатора $T2$. Во вторичной обмотке трансформатора $T2$ индуцируется высоковольтный, высокочастотный импульс, который будет приложен к электродам лампы. Под воздействием этого импульса разрядный промежуток лампы пробьется, что вызовет его первоначальную ионизацию.

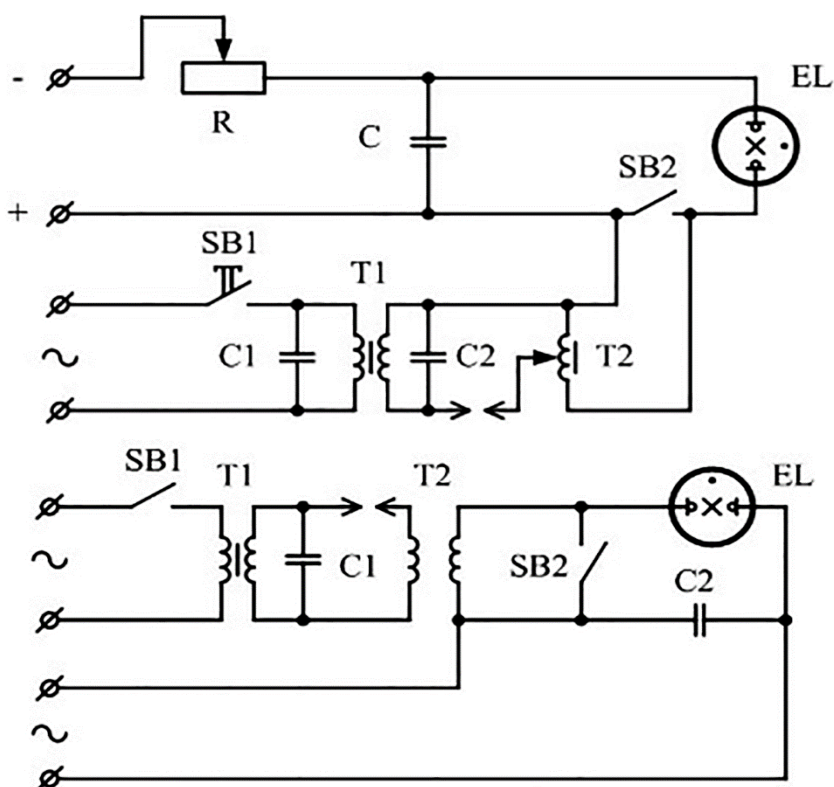


Рисунок 5.8 – Схемы включения ксеноновых ламп

Если величина и число подаваемых импульсов окажутся достаточными, то в лампе создадутся необходимые условия для развития дугового разряда, и лампа зажигается. После того как лампа зажглась, необходимо, чтобы искровой генератор продолжал работать в течение некоторого промежутка времени. Если отключить искровой генератор раньше положенного времени, то лампа может погаснуть. Время, в течение которого искровой генератор должен продолжать работать, зависит от напряжения и полного сопротивления сети. Не-

обходимая выдержка времени обеспечивается введением в схему реле времени (на схеме не показано). Когда процесс зажигания лампы закончится, то поджигающее устройство отключается от лампы. Для этого размыкается кнопка *SB1*, а вторичная обмотка импульсного трансформатора замыкается накоротко кнопкой *SB2*. В случае автоматического управления реле времени включает контактор (не показан на схеме), который своими контактами отключает трансформатор *T1* и замыкает накоротко вторичную обмотку трансформатора *T2*. Конденсатор *C2* служит для защиты сети от попадания в нее высокого напряжения.

Лампы мощностью до 6 кВт могут включаться по две последовательно на напряжение 220 В и зажигаться одним поджигающим устройством.

Следует обратить внимание на размещение пускового устройства. Оно должно размещаться не далее 30 м от лампы, так как в противном случае это будет снижать величину высоковольтного импульса. Так как величина этого импульса составляет 20–50 кВ, то изоляция провода, соединяющего лампу с пусковым устройством, должна быть выбрана из расчета на номинальное напряжение 15–20 кВ. При отключении лампы от сети ее повторное включение возможно только после достаточного остывания, на что требуется 5–10 минут. Повторное включение неостывшей лампы может вывести ее из строя, поэтому этого следует избегать.

После пробоя разрядного промежутка напряжение на лампе снижается до нескольких сотен вольт и в течение кратковременного периода нагрева концов электродов, и достижения ими температуры, обеспечивающей начало термоэлектронной эмиссии, напряжение резко падает до 18–35 В (в зависимости от типа лампы).

Питание ламп от сети постоянного тока может осуществляться через активное балластное сопротивление, от генератора постоянного тока с падаю-

щей внешней вольт-амперной характеристикой и от сети переменного тока через выпрямитель. Источник постоянного тока должен иметь напряжение холостого хода не менее 55–70 В для ламп типа ДКсШ и 70–90 В для ламп типа ДКсР. Глубина пульсаций напряжения при работе лампы не допускается выше 10–12 %, так как при больших значениях резко снижается срок службы лампы из-за разрушения электродов. В этой связи при использовании двухполупериодного выпрямителя обязательно требуется установка сглаживающего фильтра на выходе выпрямителя или необходимо применять трехфазную двухполупериодную схему выпрямления. Балластное сопротивление может быть установлено на стороне постоянного тока или на стороне переменного тока. В последнем случае балласт выполняется в виде дросселя.

После перехода высокочастотного разряда в основной сильноточный разряд, благодаря малому градиенту потенциала, в положительном столбе на лампе устанавливается низкое рабочее напряжение, обычно 25–30 В.

Из довольно большой серии ксеноновых ламп в осветительных установках получили применение дуговые ксеноновые трубчатые лампы с воздушным охлаждением типа ДКсТ и лампы с водяным охлаждением типа ДКсТВ. В отличие от других газоразрядных ламп, эти лампы работают без балласта в виде ПРА, а зажигаются с помощью специального пускового устройства.

Сортамент включает лампы мощностью 5; 10; 20 и 50 кВт (в небольшом количестве выпускаются также лампы 100 кВт). Срок службы различных типов ламп имеет 300–750 часов, но при стабилизации напряжения, обеспечивающей отклонение от номинального значения ± 2 %, может достигать 3 000 часов.

Лампы мощностью до 10 кВт включаются на напряжение 220 В, более мощные – в сеть напряжением 380 В. Для ламп типа ДКсТ мощностью 10; 20 и 50 кВт положение горения должно быть горизонтальное с отклонением от

него $\pm 30\%$, а для остальных ламп – любое. Область применения ламп ограничивается вредным для людей избытком в их спектре ультрафиолетовых излучений. Выпускаются также лампы в колбе из легированного кварца (лампы ДКсТЛ), в которых этот недостаток устранен.

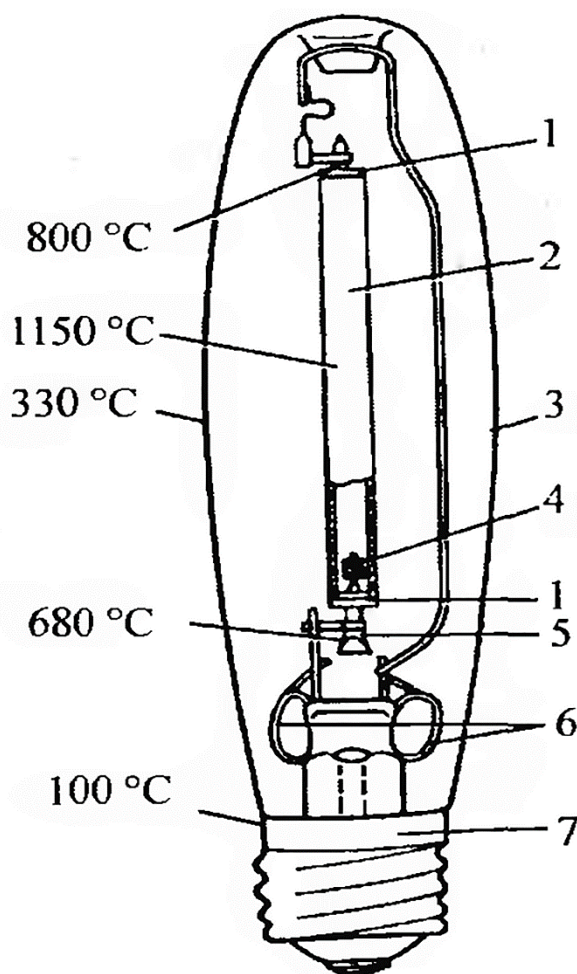
Пульсации светового потока у ламп ДКсТ особенно велики (коэффициент пульсации 130 %). Помимо большой единичной мощности, достоинством ламп является тот факт, что их излучение по цветности наиболее близко к естественному дневному свету, хотя по сфере применения ламп это достоинство обычно не реализуется. Температура окружающей среды не оказывает существенного влияния на зажигание и горение лампы.

В маркировке ламп буквы и числа обозначают: Д – дуговая, Кс – ксеноновая, Т – трубчатая, Ш – шаровая, В – с водяным охлаждением, М – металлическая, РБ – разборная, число – мощность в ваттах.

Натриевые лампы высокого давления (НЛВД) типа ДНаТ (рис. 5.9) представляют собой горелку из светопропускающей поликристаллической керамики (окись алюминия), полость которой заполнена ксеноном с добавками натрия, придающего излучаемому свету желто-оранжевый оттенок, и ртути в виде амальгамы (амальгама – металлическая система, в состав которой в качестве одного из компонентов входит ртуть). Горелка размещена в колбе, которая имеет цилиндрическую или эллиптическую форму и оснащена резьбовым цоколем. При работе лампы дуговой разряд в горелке осуществляется в парах ртути и натрия, что способствует его стабилизации.

Для откачки воздуха и наполнения ламп инертными газами в процессе изготовления используется штенгель. Во время работы лампы он выполняет роль вакуумно-плотного токоввода и держателя электрода, а его наружная часть служит холодной зоной, которая является резервуаром амальгамы натрия. Штенгель представляет собой бесшовную трубочку из ниобия, конец которой, входящий внутрь лампы, имеет специальную форму для крепления

электрода.



1 – керамическая горелка; 2 – керамическая светопропускающая трубка;
3 – внешняя колба из тугоплавкого стекла; 4 – электрод; 5 – ниобиевый штенгель;
6 – бариевый геттер (газопоглотитель); 7 – цоколь

Рисунок 5.9 – Общий вид натриевой лампы высокого давления

Натриевые лампы высокого давления малочувствительны к температуре окружающей среды и работоспособны при ее изменении в диапазоне от минус 60 до 40 °С. Колебания напряжения электрической сети существенно сказываются на световых и электрических параметрах натриевых ламп. Кроме того, эти лампы требуют соблюдения установленного положения горения: цоколем вверх или вниз с нормированным отклонением от вертикального положения.

Световая отдача ламп достигает 140 лм/Вт при сроке службы до 20 000 ча-

сов. Цветовые характеристики натриевых ламп высокого давления относительно невысоки: лампа излучает свет желто-оранжевого цвета и обладает плохой цветопередачей ($R_a = 20-30$). Улучшение качества цветопередачи при использовании натриевых ламп может быть достигнуто за счет их совместного применения с ртутными люминесцентными лампами высокого давления.

Лампы включаются в сеть также, как лампы ДРИ – через последовательно включенный дроссель, рассчитанный на рабочий ток и напряжение лампы.

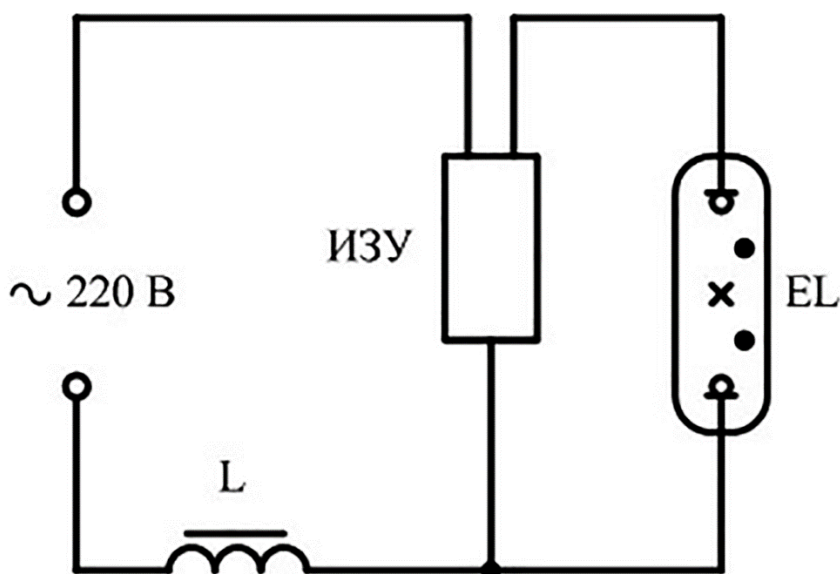


Рисунок 5.10 – Схема включения лампы ДНаТ

Масса дросселя примерно на 30 % больше, чем у дросселя для лампы ДРЛ той же мощности из-за большого рабочего тока. Зажигание стандартных ламп выполняется с помощью импульсного зажигающего устройства (рис. 5.10), создающего импульсы высокого напряжения (2–3 кВ), которые подключаются непосредственно параллельно лампе или через часть обмотки дросселя. Коэффициент мощности комплекта «лампа – ПРА» в среднем 0,5. Пульсации светового потока достигают 70 %.

План работы

1. Изучите устройство, принцип действия и основные характеристики ламп высокого давления, аппаратуры для включения их в сеть и работу электрических схем. Ознакомьтесь с правилами техники безопасности при работе с ртутными разрядными лампами. Через оптический фильтр наблюдайте за возникновением разряда в лампе.

2. Исследуйте характеристики газового разряда в процессе разгорания лампы. Постройте зависимость мощности лампы, напряжения на лампе, тока лампы, потока лампы и коэффициента искажения от времени в процессе разгорания при нормальном напряжении питания.

3. Исследуйте характеристики газового разряда при изменении величины питающего напряжения. Постройте зависимость указанных выше характеристик от величины напряжения питания.

4. Постройте статические вольт-амперные характеристики лампы в процессе разгорания и в установившемся режиме работы.

Методика выполнения работы

Для исследования характеристик ламп высокого давления на лабораторном стенде собрать электрическую схему включения лампы ДРЛ (рис. 5.11) и лампы ДРВ (рис. 5.12).

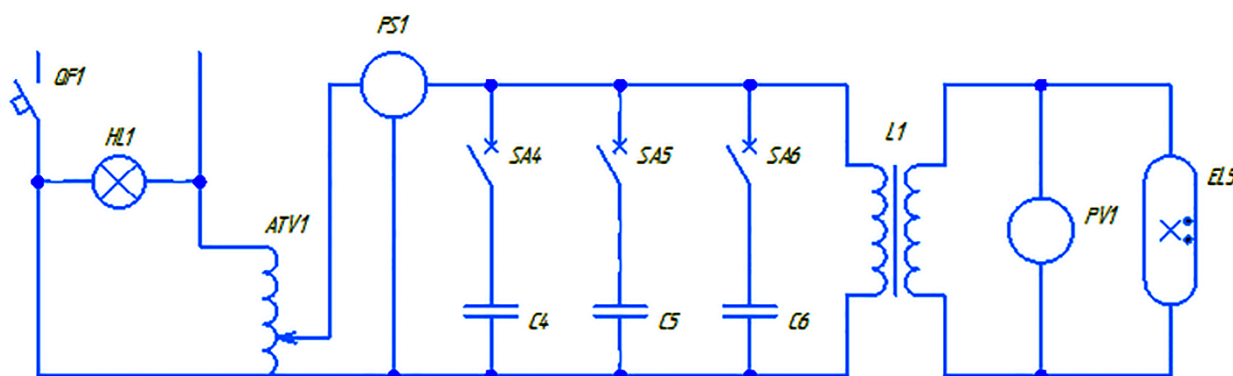


Рисунок 5.11 – Электрическая схема исследования лампы ДРЛ

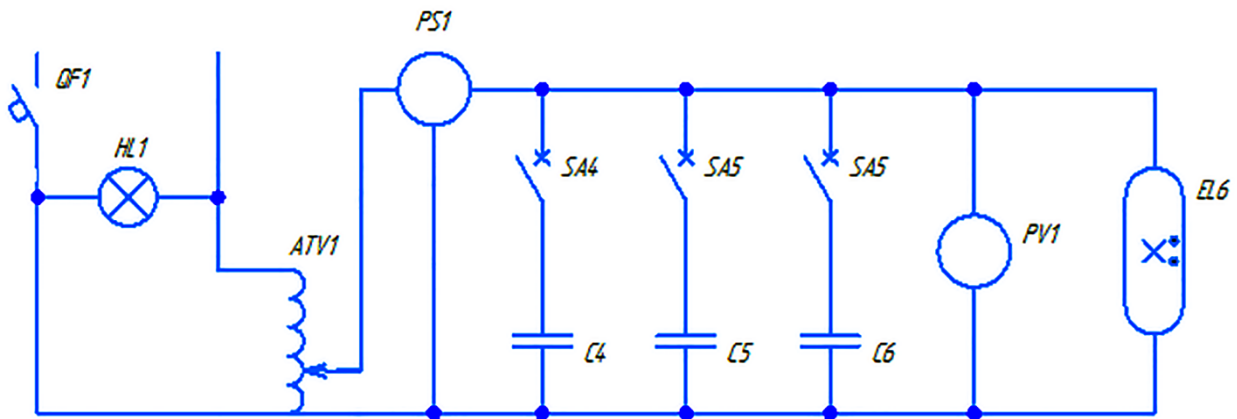


Рисунок 5.12 – Электрическая схема исследования лампы ДРВ

Включить схему на номинальное напряжение сети. Лампа начнет разгораться. Через каждые 15–30 секунд и до установившегося режима, характеризующегося соответствующими значениями, прежде всего тока и напряжения на лампе, необходимо измерить ток схемы ($I_{сх}$), мощность схемы ($P_{сх}$), напряжение на лампе (U_{EL}), напряжение схемы ($U_{сх}$) и освещенность (E).

Освещенность измеряют люксметром в точке, лежащей на перпендикуляре к оси лампы, проведенном через ее центр. Расстояние точки от лампы высокого давления должно быть один метр. Освещенность в точке измерения определяют как разность показаний люксметра при включенной и выключенной лампе, для того чтобы учесть фоновую освещенность, создаваемую естественными или искусственными источниками света, не относящиеся к исследуемым.

Результаты исследований занести в таблицы 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1 – Измерение характеристик лампы ДРЛ в процессе ее разгорания

Опытные данные						Расчетные данные			
t, с	$I_{сх}$, А	$U_{сх}$, В	$P_{сх}$, Вт	U_{EL} , В	E , лк	Φ_{EL} , лм	$S_{сх}$, В·А	$\cos \varphi$, о. е.	η , лм/Вт

Таблица 5.2 – Измерение характеристик лампы ДРВ в процессе ее разгорания

Опытные данные					Расчетные данные				
t, с	$I_{сх}$, А	$U_{сх}$, В	$P_{сх}$, Вт	U_{EL} , В	E , лк	Φ_{EL} , лм	$S_{сх}$, В·А	$\cos \varphi$, о. е.	η , лм/Вт

По данным таблиц вычисляют:

1) световой поток:

$$\Phi_{EL} = \frac{E \cdot \Phi_H}{E_H} \quad (5.1)$$

где E – освещенность в той же точке при любом режиме работы, отличном от номинального, лк;

Φ_H – номинальный световой поток исследуемой лампы, взятый из справочных данных (для ДРЛ 125 – 5 900 лм; ДРИ 125 – 8 300 лм; ДРВ 125 – 1 800 лм; ДНаТ 125 – 10 000 лм);

E_H – освещенность в точке плоскости, измеренная при номинальном режиме работы лампы, лк.

2) полную мощность схемы:

$$S_{сх} = U_{сх} \cdot I_{сх} \quad (5.2)$$

3) коэффициент мощности:

$$\cos \varphi = \frac{P_{сх}}{S_{сх}} \quad (5.3)$$

4) светоотдачу:

$$\eta = \frac{\Phi_{EL}}{P_{сх}} \quad (5.4)$$

В результате, получим:

$$\begin{aligned} \Phi_{EL5} &= \frac{50 \cdot 5900}{1900} = 155,26 \text{ лм}; \\ S_{EL5} &= 220 \cdot 3,2 = 704 \text{ В·А}; \\ \cos \varphi_{EL5} &= \frac{77}{704} = 0,11 \text{ о. е.}; \\ \eta_{EL5} &= \frac{155,26}{77} = 2,02 \text{ лм/Вт}. \end{aligned}$$

Лабораторная работа № 5. Исследование характеристик электрического разряда ламп высокого давления

По данным таблиц 5.1 и 5.2, построить зависимости тока схемы ($I_{сх}$), мощности схемы ($P_{сх}$), светового потока (Φ_{EL}), освещенности (E), коэффициента мощности и световой отдачи (η) от времени разгорания лампы (t).

Исследуем зависимость коэффициента мощности схемы от емкости, подключенной параллельно лампе и ПРА. Для этого необходимо измерить значение коэффициента мощности без подключенной емкости при номинальном напряжении питания, после чего подключить конденсатор $C_4 = 20$ мкФ как показано на электрических схемах (рис. 5.11, рис. 5.12). Повышая емкость подключением дополнительных конденсаторов C_5 и C_6 , измерить коэффициент мощности при емкости 0; 20; 40; 60 мкФ ($C_4 = C_5 = C_6 = 20$ мкФ). Результаты занести в таблицы 5.3 и 5.4. Выполнить данный опыт для ламп ДРЛ (рис. 5.11) и ДРВ (рис. 5.12).

Таблица 5.3 – Исследование метода повышения коэффициента мощности схемы с помощью конденсатора с лампой типа ДРЛ

C , мкФ	$U_{сети}$, В	$I_{сх}$, А	$P_{сх}$, Вт	E , лк	$\cos \varphi$, о. е.
0	220				
20	220				
40	220				
60	220				

Таблица 5.4 – Исследование метода повышения коэффициента мощности схемы с помощью конденсатора с лампой типа ДРВ

C , мкФ	$U_{сети}$, В	$I_{сх}$, А	$P_{сх}$, Вт	E , лк	$\cos \varphi$, о. е.
0	220				
20	220				
40	220				
60	220				

Построить на графике и проанализировать зависимость тока и коэффициента мощности от величины подключенной емкости по данным таблиц 5.3 и 5.4.

После снятия показаний, отключить все конденсаторы из схемы переключо-

чатателями SA₄, SA₅, SA₆ и снижая напряжение на зажимах схемы от 240 В ступенями по 10–20 В до погасания лампы, снять зависимость параметров лампы от напряжения питания. Результаты измерений и последующих вычислений записать в таблицы 5.5 и 5.6.

Таблица 5.5 – Изменение характеристик лампы ДРЛ при изменении величины питающего напряжения

$U_{сх}, В$	$I_{сх}, А$	$P_{сх}, Вт$	$U_{EL}, В$	$E, лк$
240				
220				
200				
180				
160				

Таблица 5.6 – Изменение характеристик лампы ДРВ при изменении величины питающего напряжения

$U_{сх}, В$	$I_{сх}, А$	$P_{сх}, Вт$	$U_{EL}, В$	$E, лк$
240				
220				
200				

По данным таблиц 5.5 и 5.6 проанализировать зависимости полученных параметров лампы от напряжения на зажимах схемы и дать объяснение их изменений.

Контрольные вопросы

1. Как устроена лампа ДРЛ?
2. Расскажите о назначении, устройстве и основных параметрах аппаратуры для включения ламп ДРЛ.
3. Назовите области применения ламп ДРЛ.
4. Объясните характер изменения параметров ламп ДРЛ при разгорании.
5. Рассмотрите устройство металлогалогенных ламп типа ДРИ.
6. Чем отличаются лампы ДРЛ, ДРИ и ДНаТ?
7. Рассмотрите устройство ксеноновых ламп, приведите их виды.

8. Назовите типы пускорегулирующей аппаратуры для ламп ДРЛ, ДРИ, ДНаТ.
9. Охарактеризуйте устройство ламп ДНаТ.
10. Опишите достоинства и недостатки ламп высокого давления по сравнению с другими источниками оптического излучения.
11. Укажите характер спектра излучения ламп ДРЛ, ДРИ, ДНаТ.
12. Каковы эксплуатационные особенности работы разрядных ламп высокого давления?
13. Оцените возможности регулирования светового потока ламп ДРЛ.
14. Дайте характеристику процессу разгорания лампы ДРЛ.

Тестовые вопросы

1. Срок службы лампы типа ДРЛ составляет...

- а) 10 000–12 000 часов;
- б) 12 000–20 000 часов;
- в) 20 000–45 000 часов.

2. Сколько длится процесс разгорания лампы после включения?

- а) 5–7 минут;
- б) 3–8 минут;
- в) 6–12 минут.

3. Что обозначает буква «И» в названии лампы ДРИ?

- а) иридиевая;
- б) искусственная;
- в) с излучающими добавками;
- г) инфракрасная.

4. Какую световую отдачу имеет лампа ДРИ?

- а) 140 лм/Вт;
- б) 50 лм/Вт;

в) 90 лм/Вт.

5. При какой температуре окружающей среды лампы ДРЛ надежно работают?

- а) от минус 10 до 30 градусов Цельсия;
- б) от минус 30 до 40 градусов Цельсия;
- в) от минус 20 до 35 градусов Цельсия.

6. Что означает ИЗУ в схеме включения лампы типа ДНаТ?

- а) импульсно-зажигающее устройство;
- б) импульсно-задающее устройство;
- в) индукционно-зажигающее устройство.

7. От чего зависит величина давления ксенона в лампе?

- а) от напряжения зажигания пускового устройства;
- б) от величины светоиспускания лампы;
- в) от длины и единичной мощности лампы.

8. В маркировке ксеноновых ламп буква «В» означает...

- а) использование вольфрамовой нити;
- б) с водяным охлаждением;
- в) с воздушным охлаждением;
- г) использование высокочастотных импульсов.

9. Световая отдача лампы типа ДНаТ составляет...

- а) 140 лм/Вт;
- б) 50 лм/Вт;
- в) 90 лм/Вт.

10. Значение коэффициента мощности для ламп высокого давления составляет...

- а) 0,8;
- б) 0,5;
- в) 0,96.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПАКТНЫХ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП

Цель исследования – изучить конструкции, схемы включения и принцип действия компактных энергосберегающих люминесцентных ламп; исследовать их электрические и световые характеристики.

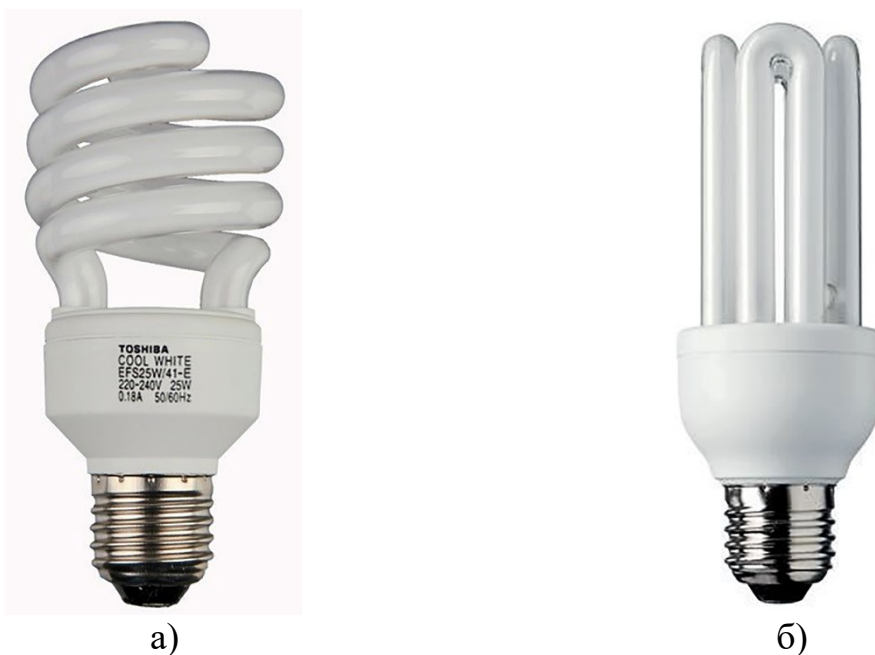
Теоретический материал

С начала 80-х годов прошлого столетия светотехническая промышленность начала производство компактных люминесцентных ламп (КЛЛ) мощностью 5–85 Вт со световой отдачей 30–75 лм/Вт и сроком службы от 6 до 12 тыс. часов. К тому времени были разработаны активированные редкоземельными элементами люминофоры, способные работать при более высоких поверхностных плотностях ультрафиолетового излучения, чем люминофоры стандартных люминесцентных ламп.

Это свойство позволило существенно уменьшить диаметр колбы лампы с 30–40 мм до 8–13 мм. Уменьшилась и длина колбы. В дополнение к этому цилиндрическую колбу сворачивают или в спираль (рис. 6.1, а), или W-образно (рис. 6.1, б) и монтируют на цилиндрический резьбовой цоколь. В большинстве таких ламп используют цоколи E27. Лампы малой мощности выпускают с цоколем E14, а большой – E40.

Для простоты изложения КЛЛ называются двухканальные, четырехканальные, шестиканальные и т. д.

Концы трубок с вваренными в них катодными узлами закрепляются в пластмассовом цоколе той или иной конструкции.



а)

б)

а) спиральная колба; б) W-образная колба

Рисунок 6.1 – Компактные энергосберегающие люминесцентные лампы

Компактные люминесцентные лампы выпускаются с хорошей и отличной цветопередачей. Кроме белых КЛЛ с различной цветовой температурой, выпускаются цветные и ультрафиолетовые лампы. Одни из них предназначены для медицинских целей, другие – для фотополимеризации пластмасс, клеев.

Компактные люминесцентные лампы более критичны к температуре окружающего воздуха, чем обычные линейные люминесцентные лампы. Максимум светового потока лампы у КЛЛ обычно соответствует при температуре 15–25 °С (в зависимости от типа и положения горения) и устанавливается за 1,5–2 минуты с момента включения; у малых КЛЛ процесс разгорания несколько замедлен.

Значения температуры окружающей среды для открытой КЛЛ (вне светильника) равны температуре воздуха в помещении; при эксплуатации лампы в светильнике температура окружающего воздуха может отличаться от температуры в помещении на 15–20 °С в большую сторону. Работа КЛЛ принципиально возможна в любом положении горения (вертикальном, горизонтальном, наклонном), но при этом нужно всегда учитывать температурную зависимость

светового потока лампы в конкретной позиции эксплуатации. Такая чувствительность светового потока к указанным параметрам обусловлена у КЛЛ изменением положения и температуры «холодной» точки, определяющей давление паров ртути и, соответственно, выход светового потока лампы.

Компактная люминесцентная лампа условно состоит из двух частей:

- 1) малогабаритная люминесцентная колба;*
- 2) электронный пуско-регулирующий аппарат (ЭПРА, электронный балласт), встроенный в цоколь лампы.*

Электронное пускорегулирующее устройство (рис. 6.2) преобразует напряжение сети частотой 50 Гц в напряжение высокой частоты 30–100 кГц. Оно имеет малые геометрические размеры и обеспечивает снижение вредного влияния на человека пульсации светового потока, надежное и быстрое зажигание ламп, возможность регулирования светового потока, экономичность осветительной установки.

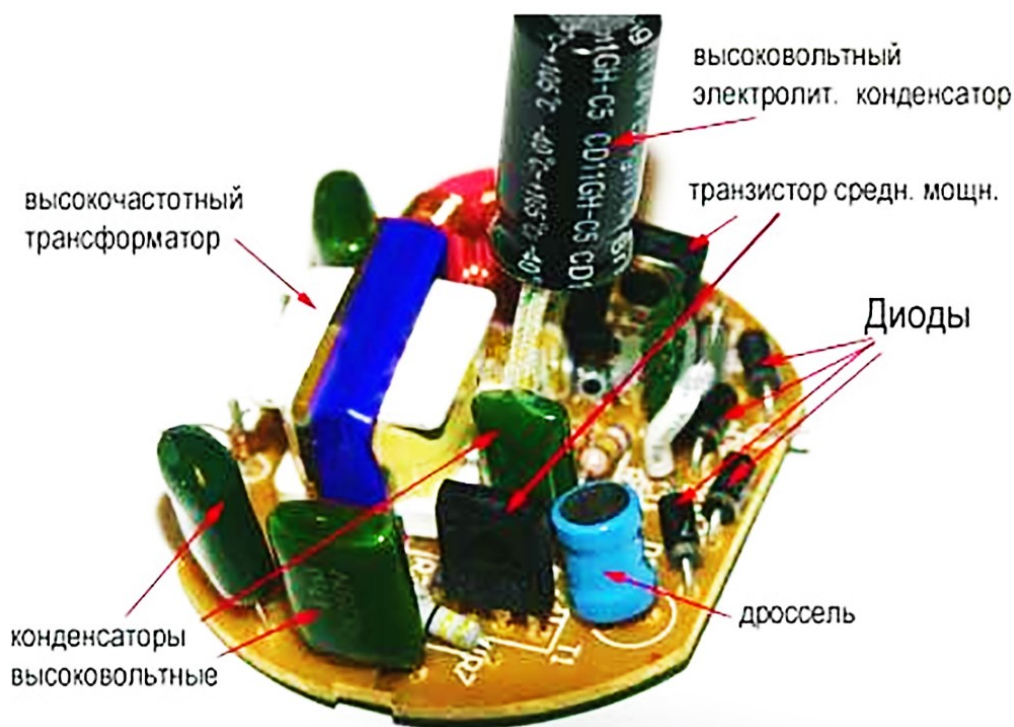


Рисунок 6.2 – Электронная пуско-регулирующая аппаратура КЛЛ

Работа энергосберегающей лампы на примере наиболее распространенной схемы (лампа мощностью 11 Вт) представлена на рисунке 6.3.

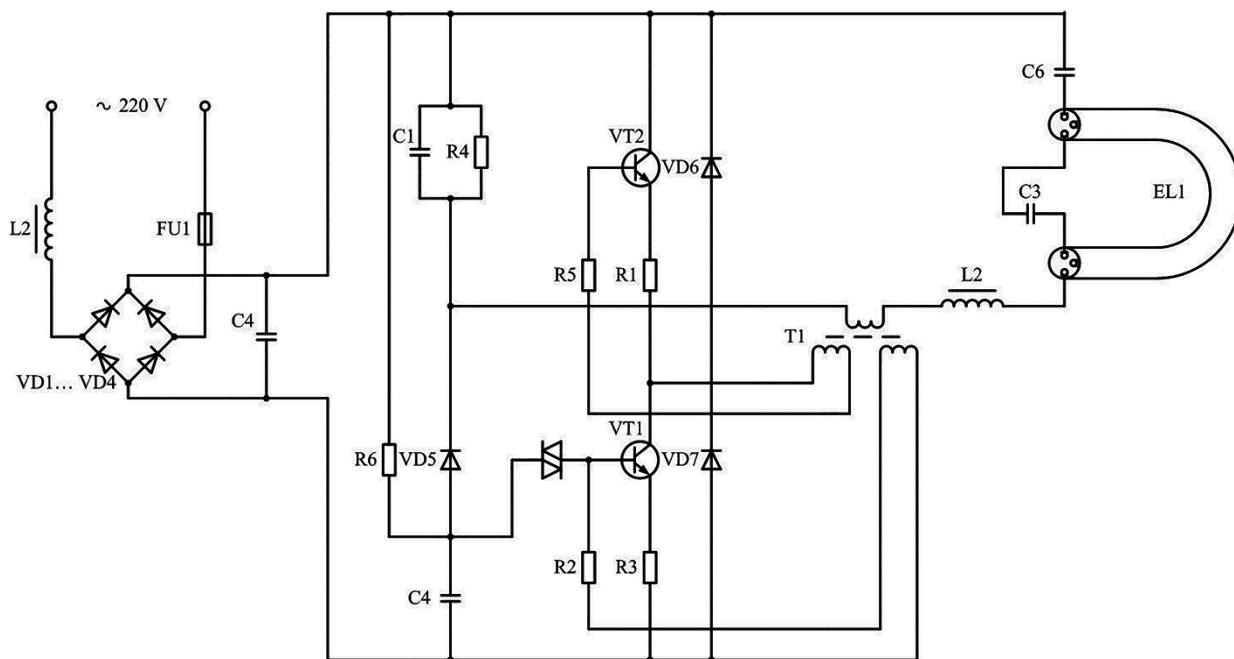


Рисунок 6.3 – Принципиальная электрическая схема управления КЛЛ

Схема состоит из цепей питания, которые включают помехозащитный дроссель $L2$, предохранитель $FU1$, диодный мост $VD1...VD4$, состоящий из диодов 1N4007 и фильтрующий конденсатор $C4$. Схема запуска состоит из элементов $VD1$, $C2$, $R6$ и динистора. $VD2$, $VD3$, $R1$ и $R3$ выполняют защитные функции. Иногда эти диоды не устанавливают в целях экономии.

При включении лампы $R6$, $C2$ и динистор формируют импульс, подающийся на базу транзистора $VT2$, приводящий к его открытию. После запуска эта часть схемы блокируется диодом $VD1$. После каждого открытия транзистора $VT2$ конденсатор $C2$ разряжен. Это предотвращает повторное открытие динистора. Транзисторы возбуждают трансформатор $T1$, намотанный на ферритовое колечко тремя обмотками в несколько витков. На нити накала поступает напряжение через конденсатор $C3$ с повышающего резонансного контура $L1$, $T1$, $C3$ и $C6$. Трубка загорается на резонансной частоте, определяемой конденсатором $C3$, потому что его емкость намного меньше, чем емкость $C6$. В

этот момент напряжение на конденсаторе $C3$ достигает порядка 600 В. Во время запуска пиковые значения токов превышают нормальные в 3–5 раз, поэтому если колба лампы повреждена, существует риск повреждения транзисторов.

Когда газ в трубке ионизирован, $C3$ практически шунтируется, благодаря чему частота понижается, и генератор управляется только конденсатором $C6$, генерируя меньшее напряжение, но, тем не менее, достаточное для поддержания свечения лампы.

Когда лампа зажглась, первый транзистор открывается, что приводит к насыщению сердечника $T1$. Обратная связь на базу приводит к закрытию транзистора. Затем открывается второй транзистор, возбуждаемый противоположно подключенной обмоткой $T1$, и процесс повторяется.

Наиболее частые причины поломки энергосберегающих ламп – обрыв нити накала или выход из строя ЭПРА. Как правило, причиной выхода из строя электронного пуско-регулирующего аппарата бывает пробой резонансного конденсатора или транзисторов. Конденсатор $C3$ часто выходит из строя в лампах, в которых используются дешевые компоненты, рассчитанные на низкое напряжение. Когда лампа перестает зажигаться, появляется риск выхода из строя транзисторов $VT1$ и $VT2$ и вследствие этого – $R1$, $R2$, $R3$ и $R5$. При запуске лампы генератор оказывается перегружен, и транзисторы не выдерживают перегрева. Если колба лампы выходит из строя, электроника обычно тоже ломается. Если колба уже старая, одна из спиралей может перегореть, и лампа перестанет работать. Электроника в таких случаях, как правило, остается целой. Чаще всего лампы перегорают в момент включения.

План работы

1. Изучите конструктивное исполнение и принцип действия компактных люминесцентных ламп.

2. Снимите зависимости тока, мощности лампы и создаваемой ею на вспомогательной плоскости освещенности от напряжения питания.

3. По соотношению освещенности вспомогательной плоскости и номинального потока с учетом потребляемой мощности при номинальном напряжении рассчитайте зависимость светового потока лампы от напряжения питания.

4. Рассчитайте световую отдачу лампы и ее коэффициент мощности в зависимости от напряжения питания.

5. Рассчитайте относительные значения тока, мощности, освещенности, светового потока, световой отдачи и постройте их графики в зависимости от напряжения.

Методика выполнения работы

Основные зависимости компактных люминесцентных ламп снимают на лабораторном стенде, по схеме, представленной на рисунке 6.4.

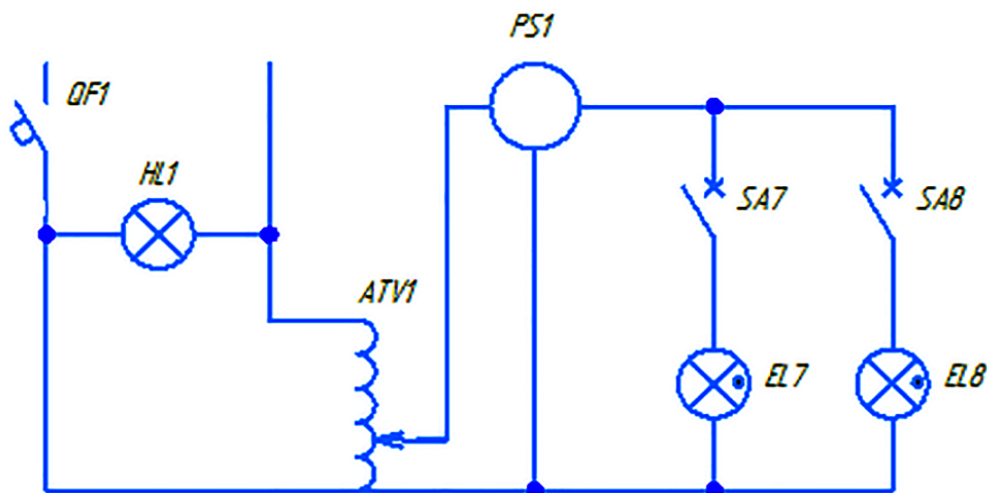


Рисунок 6.4 – Принципиальная электрическая схема исследования характеристик компактных люминесцентных ламп

Изменяя напряжение на зажимах лампы при помощи автотрансформатора от напряжения зажигания лампы и до 240 В (с интервалом 10–20 В), по пока-

занятым прибором снять зависимости тока, мощности и освещенности от напряжения. Результаты измерений занести в таблицу 6.1. В число опытных величин в таблицу внести напряжение питания, ток лампы, мощность лампы, освещенность. В число расчетных величин включить световой поток, световую отдачу и коэффициент мощности лампы.

Таблица 6.1 – Характеристики компактной люминесцентной лампы

Опытные данные				Расчетные данные		
$U_{\text{пит}}, \text{В}$	$I_{EL}, \text{А}$	$P_{EL}, \text{Вт}$	$E, \text{лк}$	$\Phi, \text{лм}$	$\eta, \text{лм/Вт}$	$\cos \varphi, \text{о. е.}$
1						
...						
n						

Для каждого значения напряжения вычисляют:

1) световой поток:

$$\Phi_v = \Phi_{EL} = \Phi_n \frac{P_{EL}}{P_n} \quad (6.1)$$

где P_n, Φ_n – паспортные номинальные значения мощности и светового потока.

2) светоотдачу:

$$\eta = \frac{\Phi_{EL}}{P_{EL}} \quad (6.2)$$

3) коэффициент мощности:

$$\cos \varphi = \frac{P_{EL}}{U_{\text{пит}} \cdot I_{EL}} \quad (6.3)$$

Для компактной люминесцентной лампы мощностью 20 Вт номинальный световой поток составляет 1 000 лм. В результате, получим:

$$\Phi_{EL7} = 1000 \frac{5}{20} = 250 \text{ лм};$$

$$\eta_{EL7} = \frac{250}{5} = 50 \text{ лм/Вт};$$

$$\cos \varphi_{EL7} = \frac{5}{70 \cdot 0.11} = 0,65 \text{ о. е.}$$

По данным таблицы 6.1 построить графики тока, мощности, освещенности, светового потока, световой отдачи, коэффициента мощности лампы как зависимости от напряжения. Проанализировать полученные результаты и графики, сравнить их с параметрами и характеристиками обычных люминесцентных ламп и ламп накаливания, рассмотренных в предыдущих лабораторных работах.

Контрольные вопросы

1. Поясните устройство компактных люминесцентных ламп.
2. Поясните принцип действия компактной люминесцентной лампы.
3. Перечислите и поясните отличия электронного пускорегулирующего устройства люминесцентных ламп от электромагнитного.
4. Сравните вольт-амперные характеристики лампы накаливания, люминесцентной трубчатой и компактной люминесцентных ламп.
5. Объясните снижение световой отдачи компактной лампы при увеличении напряжения питания.
6. Сравните спектр излучения компактной и стандартной линейной люминесцентных ламп.

Тестовые вопросы

1. Средний срок службы КЛЛ составляет...

- а) от 1 000 до 3 000 часов;
- б) от 3 000 до 6 000 часов;
- в) от 6 000 до 12 000 часов.

2. Световая отдача КЛЛ составляет...

- а) 30–75 лм/Вт;
- б) 50–80 лм/Вт;
- в) 75–120 лм/Вт.

3. При какой температуре окружающей среды у КЛЛ достигается максимум светового потока?

- а) от 15 до 25 °С;
- б) от 5 до 35 °С;
- в) от 10 до 35 °С.

4. Электронное ПРУ преобразует напряжение сети частотой 50 Гц в напряжение высокой частоты...

- а) 90–120 кГц;
- б) 30–100 кГц;
- в) 100–400 кГц.

5. За какое время устанавливается максимум светового потока КЛЛ?

- а) 0,5–1 минута;
- б) 1–3 минуты;
- в) 1,5–2 минуты.

6. Для чего служит дроссель на входе в цепи электрической схемы КЛЛ:

- а) для увеличения напряжения;
- б) для защиты от помех;
- в) для стабилизации напряжения.

7. Какое напряжение достигается на конденсаторе $C3$ в схеме включения КЛЛ?

- а) 400 В;
- б) 600 В;
- в) 1,2 кВ.

8. Наиболее частой причиной поломки энергосберегающих ламп является...

- а) увеличение пульсации лампы;
- б) выгорание контактов на цоколе;

в) обрыв нити накала.

9. Какая форма колбы дает наилучший световой поток?

а) спиралеобразная;

б) W-образная;

в) U-образная.

10. Диаметр колбы у КЛЛ составляет...

а) 30–40 мм;

б) 20–30 мм;

в) 8–13 мм.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СВЕТОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДНЫХ ЛАМП

Цель исследования – изучить конструкции, схемы включения и принцип действия светодиодных ламп; исследовать их электрические и световые характеристики.

Теоретический материал

С каждым годом традиционные разновидности ламп все больше и больше уступают в своих качествах полупроводниковым источникам света. Конечно же, наибольшим превосходством светодиоды обладают над лампами накаливания. Наиболее часто производителями обещается продолжительность «жизни», достигающая 50 000 и 100 000 часов, но эти цифры являются пока не проверенными на практике расчетами. К тому же, нередко на рынке полупроводниковых устройств встречаются некачественные приборы, которые могут выходить из строя даже быстрее ламп накаливания.

Светодиодные лампы обладают удивительной стойкостью к различного рода внешним воздействиям. Рассматриваемые полупроводниковые устройства излучают качественный световой поток практически в любых условиях (низкие и высокие температуры, высокая влажность). Светодиодные лампы – это абсолютно безвредные для экологии устройства. По яркости излучения они уступают некоторым газоразрядным источникам света. Тем не менее, световой поток полупроводниковых устройств обладает хорошими показателями по другим параметрам. Так, излучению светодиодных ламп свойственна мягкость, ровность и контрастность. 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. Светодиодные лампы, в отличие от многих люминесцентных ламп, выдают полную мощность своего излучения сразу же после включения. Кроме того, количество и периодичность включений (выключений), а также скачки напряжения, не влияют на продолжительность их срока службы.

Светодиодные лампы классифицируют на приборы, работающие на напряжении 4; 12 и 220 В. Все они могут обладать различными типами цоколей. Лампы на 4 В представляют собой небольшие светодиоды, используемые в различных портативных устройствах (фонариках, небольших декоративных светильниках и т. д.). Приборы на 12 В наиболее часто используются для замены галогенных осветительных устройств (цоколи типа GU5.3, GU10, E14 и иногда E27, пригодные для замены рефлекторных ламп накаливания). На напряжении 220 В работают в основном светодиодные лампы для дома (цоколи E14, E27, GU10 или GU5.3).

В настоящее время светодиодные лампы производятся с использованием мощных или сверхъярких светодиодов. Если лампа изготавливается из сверхъярких светодиодов (от ста и более штук), то конструкция приобретает удлиненную форму, неудобную для установки в некоторые светильники и при работе создает эффект множественных теней. Устройства с мощными светодиодами обладают довольно большим тепловыделением, но их световой поток характеризуется более высокой яркостью и равномерностью. Единственный недостаток – габаритный радиатор.

Устройство и принцип работы. Чтобы разобраться в принципиальных отличиях светодиодной лампы (led лампы), как электрического оборудования, в сравнении с другими приборами, следует детально рассмотреть ее конструктивные особенности и назначение каждого из элементов.

Конструктивно светодиодная лампа включает:

1. Светодиоды – в старых моделях присутствовал только один кристалл,

излучавший свет, однако эта технология имела ряд сложностей, поэтому современные модели включают несколько единиц или целую матрицу.

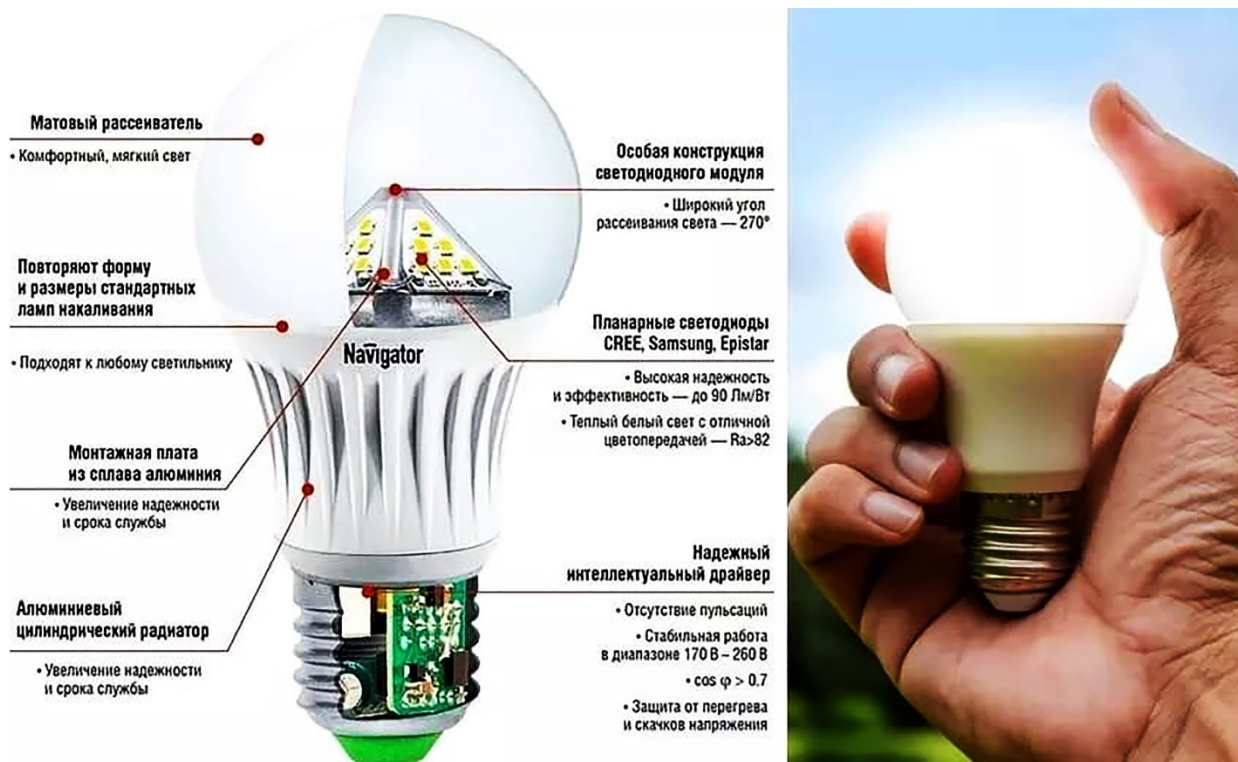


Рисунок 7.1 – Конструкция светодиодной лампы

2. Колба или рассеиватель – может изготавливаться из стекла или полимера. Предназначена для более плавного перераспределения светового потока от точечных источников в окружающее пространство.

3. Стабилизатор тока или драйвер – предназначен для преобразования поступающей на контакты диодной лампочки электрической величины, не зависимо от уровня напряжения и мощности, в строго установленную величину электротока.

4. Цоколь – предназначен для соединения светодиодных ламп с электрической сетью. Чаще всего используются стандартные цоколи е и g, реже бывают другие конструкции.

Дополнительно лампа содержит полимерный или металлический корпус. Однако в led светильниках может быть встроенная матрица, и она монтируется в светодиодный прожектор напрямую.

Принцип действия светодиодной лампы заключается в следующей последовательности передачи электрической энергии:

1. Как видно на рисунке 7.2, переменное напряжение сети в светодиодной лампе изначально поступает на выпрямительный мост, где преобразуется в выпрямленное. Конденсатор, установленный после моста дополнительно сглаживает пульсации.

2. Выпрямленное напряжение переходит далее от выпрямительного устройства на микроконтроллер, контролирующий величину вырабатываемого электрического тока.

3. Затем питание поступает на импульсный трансформатор, который и выдает электрическое напряжение непосредственно к источнику освещения.

4. При достижении нужного уровня электрического тока происходит свечение светодиодов.

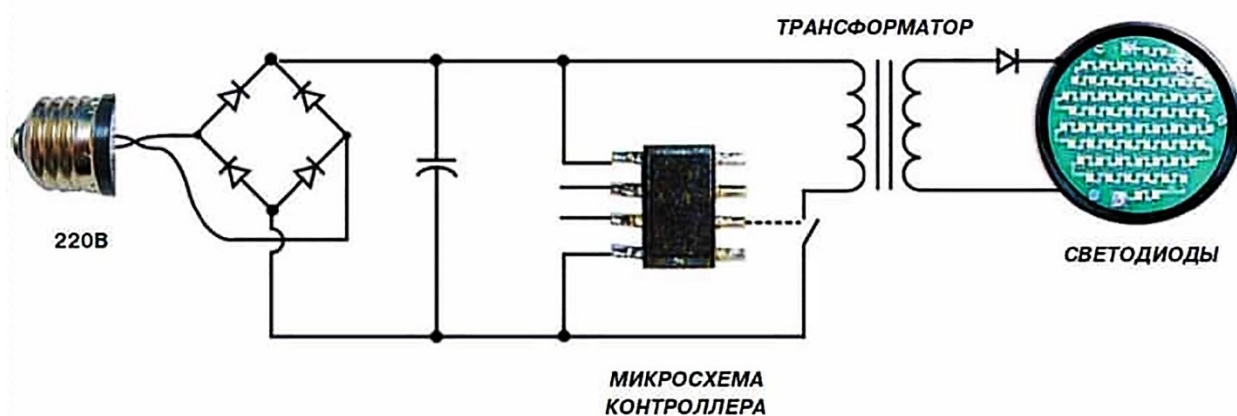


Рисунок 7.2 – Принцип действия светодиодной лампы

В данном примере приведен принцип действия и конструкция светодиодной лампы с гальванической развязкой. Это более дорогой, но и более надежный способ предохранить человека от поражения электрическим током. На практике случаются и более дешевые светодиодные лампы, их продукция использует недорогие платы драйвера или способы преобразования, которые не обеспечивают должного уровня безопасности и продолжительности эксплуатации.

На сегодняшний день производители светодиодных ламп предоставляют потребителям довольно широкий выбор разнообразных моделей, призванных удовлетворить потребности даже самых требовательных покупателей. Поэтому выделяют несколько **параметров, по которым и различают виды светодиодных ламп:**

- 1) *тип цоколя;*
- 2) *форма колбы и самой лампы;*
- 3) *напряжение питания;*
- 4) *тип светодиодов и способ их размещения;*
- 5) *световое излучение – мощность и теплота.*

У светодиодных ламп часто встречается цоколь для патронов E27 – стандартный вариант, используемый в люстрах для освещения помещения и т. д. Также часто встречаются модели E14 с диаметром цоколя 14 мм (их еще называют миньонами). В некоторых вариантах встречаются штырьковые цоколи G13, G5, GU10, MR – это варианты под современные софиты и специализированные плафоны в люстрах. Значительно реже встречаются светодиодные лампочки с цоколем В или Н, как специализированные варианты для узкопрофильного оборудования (рис. 7.3).

Если рассматривать вопрос о **форме, то можно выделить следующие виды ламп** (рис. 7.4):

1) *грушеобразная* – классический вариант; может использовать как матовый рассеиватель, так и прозрачную колбу; в некоторых моделях совмещается полупрозрачный и непрозрачный корпус;

2) *грибовидная* – используется в точечных светильниках, так как поверхность, излучающая световой поток сравнивается с корпусом софита;

3) *кукуруза* – длинная модель с цилиндрическим расположением светодиодов; прекрасно подходит для горизонтального расположения в плафонах, прожекторах уличного освещения и т. д.;

4) свеча – декоративная светодиодная лампа, устанавливаемая в настольные лампы, ночники или подсветки.











		Традиционные цоколи ламп, наиболее распространенные в быту.
		
		Данный цоколь используется в мощных лампах, применяемых для освещения больших помещений или улиц.
		Светодиодные лампы с цоколями G4, GU5.3, GU10 предназначены для полноценной замены соответствующих галогенных ламп.
		
		
		Цоколи ламп, используемых в различных светильниках (встраиваемых и накладных) для потолков и мебели.
		Цоколь (поворотный) используется в трубчатых лампах Т8.

Рисунок 7.3 – Типы цоколей (схема, обозначение и назначение)

В зависимости от типа светодиодов, выделяют лампочки с монокристаллическими панелями, где обеспечивается точечное освещение за счет единственного кристалла. Но такие варианты сегодня встречаются редко. Чаще используются 8–10 и более небольших кристаллов, которые могут отличаться габаритами для разных моделей. Особенно хорошо их видно на све-

Лабораторная работа № 7. Исследование электрических и световых характеристик светодиодных ламп

тодиодных лентах или лампах с прозрачным стеклом. Но некоторые энерго-сберегающие технологии используют светодиодные нити в газовой смеси.



Рисунок 7.4 – Формы светодиодных ламп

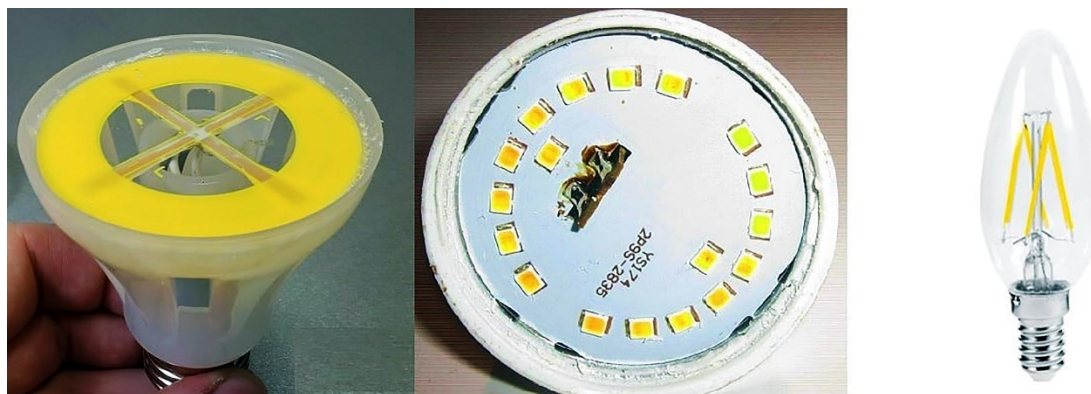


Рисунок 7.5 – Типы светодиодов

К преимуществам светодиодных ламп относят:

1. Продолжительный срок эксплуатации – от 10 до 100 тысяч часов; в сравнении с лампой накаливания, которая может обеспечить только одну тысячу часов.

2. Более эффективная светоотдача – от 90 до 120 Лм/Вт (лампы накаливания – 5–8 Лм/Вт; люминесцентные светильники – 25–50 Лм/Вт).

3. Обладают широкой гаммой цветовых температур, что делает их использование комфортным для любых помещений и нужд, а RGB светодиодные ленты могут выдавать несколько вариантов цвета свечения.

4. Широкий диапазон рабочих температур – светодиодные аналоги не теряют своих характеристик в промежутке от минус 60 до 60 °С.

5. Устойчивы к незначительным отклонениям рабочего напряжения от номинального значения.

6. Не выделяют вредных веществ, в отличие от люминесцентных ламп, которые содержат ртуть.

К недостаткам светодиодных ламп следует отнести их относительно высокую себестоимость, но она окупается рабочими параметрами и сроком эксплуатации. Также существуют ситуации, когда лампы накаливания нельзя или нецелесообразно менять на светодиодные модели.

Технические характеристики. Перед выбором конкретного осветительного устройства необходимо определиться с его основными параметрами:

1. Мощность – определяет, сколько электрической энергии будет потребляться из сети при работе прибора. Показатель мощности важен как в части расчета за потребленную электроэнергию, так и в части количества получаемого света.

2. Спектр излучения: теплый в пределах 2 700–3 300 К; дневной от 3 500 до 6 000 К; холодный – от 6 000 К.

3. Коэффициент цветопередачи – на изделии маркируется буквами CRI или Ra. Показатель 100 является максимальным – это уровень естественного дневного света, от 100 до 90 – используется для рабочих зон, лабораторий; в пределах от 90 до 80 – для обычных жилых помещений; менее 80 – для коридоров, подвалов и некоторых складов.

4. Угол рассеивания и тип потока – могут характеризоваться направленным световым потоком или рассеянным.

5. Уровень светоотдачи – определяет эффективность каждого ватта переработанной электроэнергии по отношению к выработанному световому потоку.

Область применения. В настоящее время светодиодные лампы стали полноправными фаворитами рынка. Их можно встретить в самых различных сферах человеческой деятельности: *освещение открытых территорий, площадей, парков; освещение бытовых и производственных помещений; создание декоративной подсветки и украшения, как помещений, так и элементов ландшафта; использование в пожароопасных зонах и особо влажных помещениях; применение в автомобилях; использование для работы устройств сигнализации, телемеханики и управления.*

Но и этот перечень не является окончательным. За счет развития и совершенствования технологий, светодиодные лампы продолжают расширять область применения.

В зависимости от конструкции драйвера (схема, служащая для преобразования сетевого напряжения в необходимое для питания светодиодов, для защиты светодиодов от аварийных режимов сети) можно выделить три основных типа светодиодных ламп:

1. *Светодиодные лампы с резисторно-конденсаторным блоком питания.*
2. *Светодиодные лампы с высокочастотным импульсным питанием светодиодов.*
3. *Светодиодные лампы с источником питания стабильного тока.*

Светодиодные лампы с резисторно-конденсаторным блоком питания. Так как напряжение в сети 220 В, а на светодиоде падает 3–4 вольта, то светодиоды соединяются в последовательную цепочку так, чтобы суммарное

напряжение цепочки светодиодов было меньше 220 В. Последовательно с цепочкой ставится конденсатор (чтобы гасить избыток напряжения) определенного номинала, рассчитанный именно под напряжение 220 В, частоту сети и сумму падений напряжений на светодиодах. Резистор R_1 ограничивает пиковый ток заряда конденсатора C_2 для исключения перегрузки выпрямительного диодного моста при включении лампы; резистор R_2 разряжает конденсатор и выпрямительный диодный мост после выключения. При обрыве в цепи светодиодов напряжение на C_2 без резистора R_3 может достигнуть аварийных значений и вывести из строя конденсатор.

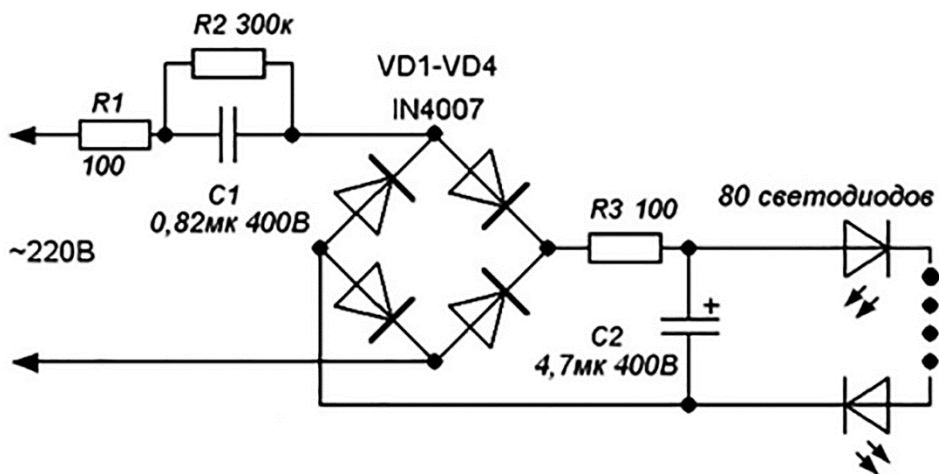


Рисунок 7.6 – Схема драйвера светодиодной лампы с резисторно-конденсаторным блоком питания

Недостатки схемы:

1. При выходе из строя хотя бы одного светодиода перестанет работать вся лампа.
2. При возникновении помехи в сети светодиоды выйдут из строя, несмотря на конденсатор.
3. При падении температуры воздуха, падение напряжения на светодиодах возрастет, и яркость лампы значительно снизится.
4. При напряжении в сети менее 220 В, светодиодная лампа будет светить значительно слабее.

5. При включении лампы, через цепочку светодиодов может проходить значительный бросок тока, особенно если момент включения совпал с максимальным уровнем напряжения в сети – усиленная деградация светодиода.

6. Даже при наличии *сглаживающего* конденсатора C_2 , данная светодиодная лампа обладает стробоскопическим эффектом, не меньше чем люминесцентные лампы.

Светодиодные лампы с высокочастотным импульсным питанием светодиодов. Данные лампы имеют более совершенную схему и рассчитаны на широкий диапазон питающих напряжений (от 100 до 250 В). Для них характерен высокий КПД, питание светодиодов производится импульсным током, обеспечивая стабилизацию *среднего тока*.

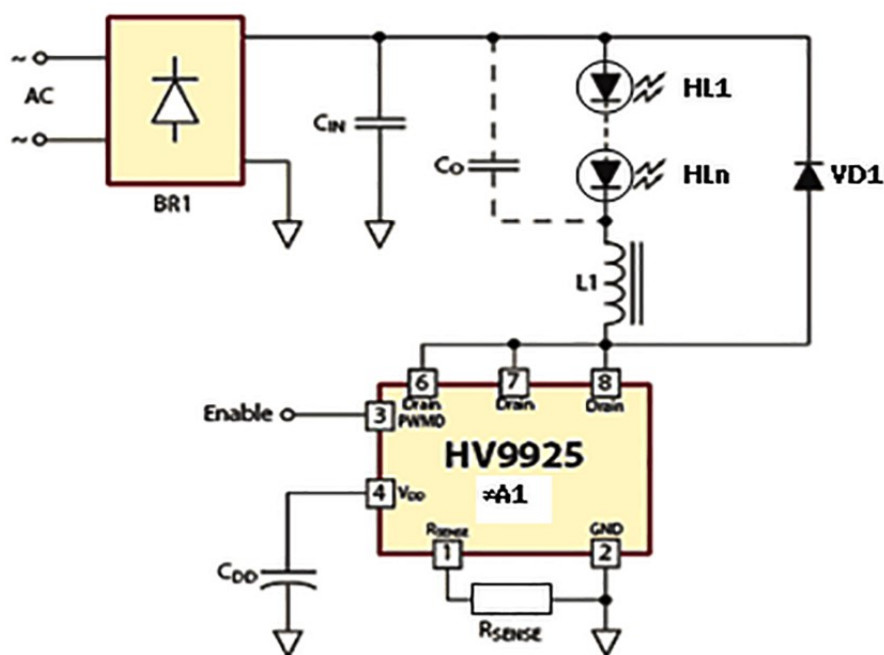


Рисунок 7.7 – Схема драйвера светодиодной лампы с высокочастотным импульсным питанием

Преимущество данного способа питания только одно – не нужен выходной конденсатор обычно большой емкости, а недостатков несколько: высокий уровень электромагнитных помех; неизвестные последствия для светодиодов при питании их повышенными импульсными токами и немного уменьшенный

световой поток. Стробоскопический эффект присутствует, но принимать его во внимание нецелесообразно (частота мерцания выше 100 кГц и отсутствует опасность для человека).

Светодиодные лампы с источником питания стабильного тока. Самая современная схема подключения светодиодной лампы. Она работает в широком диапазоне питающих напряжений, не зависит от внешней температуры. Светодиоды питаются стабильным током и находятся в своем номинальном режиме. Результат – комфортная работа светодиодов при максимальном световом потоке. Стробоскопический эффект отсутствует. В качестве относительного недостатка можно назвать невозможность *диммирования* светодиодной лампы с источником стабильного тока, так как источник питания внутри лампы будет до последнего пытаться вытянуть номинальный ток для светодиодов, а потом просто отключится.

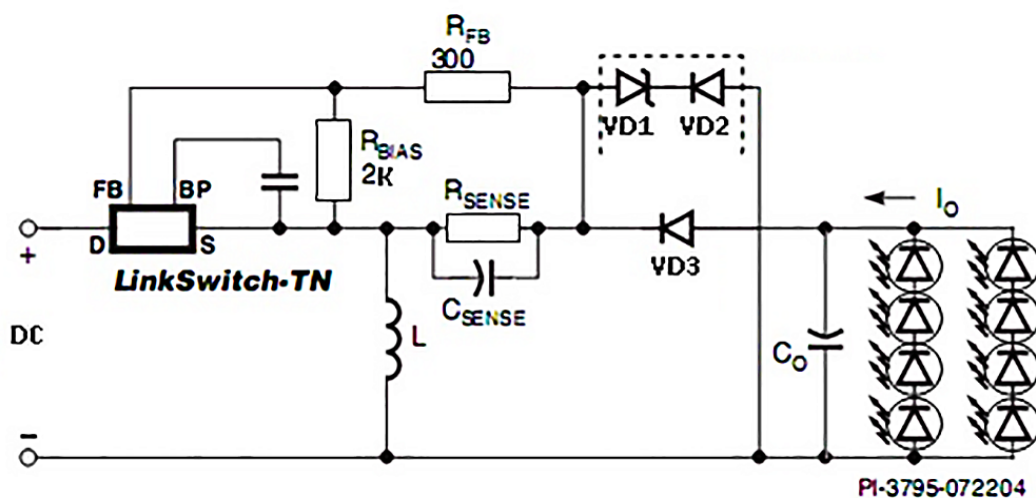


Рисунок 7.8 – Схема драйвера светодиодной лампы с источником питания стабильного тока

Однако и в данном драйвере существует существенный недостаток – выходной конденсатор, сглаживающий пульсации. Причиной является широкий диапазон питающих напряжений – ниже КПД, а следовательно, больший нагрев элементов схемы и износ конденсаторов. Существуют конечно керамические конденсаторы, но их стоимость не позволяет устанавливать их в лампы.

Коэффициент мощности светодиодной лампы численно равен отношению потребляемой электроприемником активной мощности к полной мощности. На входе любой светодиодной лампы стоят диоды, которые выпрямляют переменное напряжение в пульсирующее. За ними стоит конденсатор, который сглаживает пульсирующее напряжение в постоянное. Светодиодная лампа потребляет ток из сети только тогда, когда напряжение на конденсаторе меньше, чем напряжение в сети. Диоды открываются и заряжают конденсатор. Потом напряжение в сети падает, и лампа питается именно от этого конденсатора. И так повторяется сотню раз в секунду.

План работы

1. Изучите конструктивное исполнение и принцип действия светодиодных ламп.
2. Снимите зависимости тока, мощности лампы и создаваемой ею на вспомогательной плоскости освещенности от напряжения питания.
3. По соотношению освещенности вспомогательной плоскости и номинального потока с учетом потребляемой мощности при номинальном напряжении рассчитайте зависимость светового потока лампы от напряжения питания.
4. Рассчитайте световую отдачу лампы и ее коэффициент мощности в зависимости от напряжения питания.
5. Рассчитайте относительные значения тока, мощности, освещенности, светового потока, световой отдачи и постройте их графики в зависимости от напряжения.

Методика выполнения работы

Основные зависимости светодиодных ламп снимают на лабораторном стенде, по схеме, представленной на рисунке 7.9.

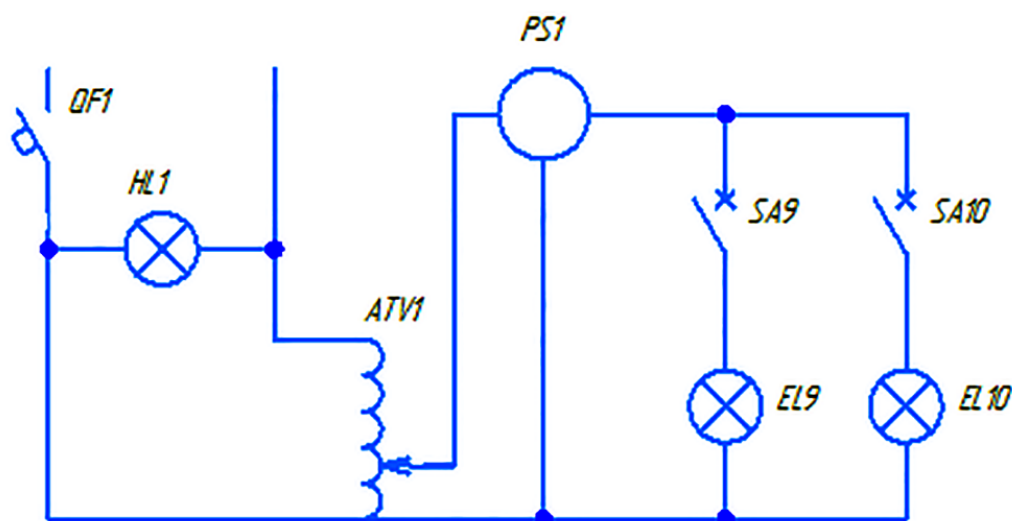


Рисунок 7.9 – Принципиальная электрическая схема исследования характеристик светодиодных ламп

Изменяя напряжение на зажимах лампы при помощи автотрансформатора от напряжения зажигания лампы и до 240 В (с интервалом 10–20 В), по показаниям приборов снять зависимости тока, мощности и освещенности от напряжения. Результаты измерений занести в таблицы 7.1 и 7.2. В число опытных величин в таблицы внести напряжение питания, ток лампы, мощность лампы, освещенность. В число расчетных величин включить световой поток, световую отдачу и коэффициент мощности лампы.

Таблица 7.1 – Характеристики светодиодной лампы EL9

Опытные данные				Расчетные данные		
$U_{\text{пит.}}$, В	I_{EL} , А	P_{EL} , Вт	E , лк	Φ , лм	η , лм/Вт	$\cos \varphi$, о. е.
1						
...						
n						

Таблица 7.2 – Характеристики светодиодной лампы EL10

Опытные данные				Расчетные данные		
$U_{\text{пит.}}$, В	I_{EL} , А	P_{EL} , Вт	E , лк	Φ , лм	η , лм/Вт	$\cos \varphi$, о. е.
1						
...						
n						

Для каждого значения напряжения вычисляют:

1) световой поток:

$$\Phi_v = \Phi_{EL} = \Phi_H \frac{P_{EL}}{P_H} \quad (7.1)$$

где P_H , Φ_H – паспортные номинальные значения мощности и светового потока.

2) светоотдачу:

$$\eta = \frac{\Phi_{EL}}{P_{EL}} \quad (7.2)$$

3) коэффициент мощности:

$$\cos\varphi = \frac{P_{EL}}{U_{\text{пит}} \cdot I_{EL}} \quad (7.3)$$

Для лампы EL9 с номинальной мощностью 8 Вт световой поток составит 650 лм, для EL10 с номинальной мощностью 16 Вт – 1 280 лм. В результате, получим:

$$\begin{aligned} \Phi_{EL9} &= 650 \frac{0,5}{8} = 39 \text{ лм}; \\ \eta_{EL9} &= \frac{39}{0,5} = 81,25 \text{ лм/Вт}; \\ \cos\varphi &= \frac{0,5}{80 \cdot 0,006} = 1,0 \text{ о. е.} \end{aligned}$$

По данным таблиц 7.1 и 7.2 построить графики тока, мощности, освещенности, светового потока, световой отдачи, коэффициента мощности лампы как зависимости от напряжения.

Проанализировать полученные результаты и графики, а также сравнить их друг с другом и выявить предпочтительный с точки зрения энергосбережения источник света (сравнивая с компактными люминесцентными лампами и лампами накаливания). Сделать вывод о целесообразности их использования на производстве и в быту.

Контрольные вопросы

1. Каковы преимущества светодиодных ламп относительно ламп накаливания?
2. Каковы недостатки светодиодных ламп по сравнению с лампами накаливания?
3. Перечислите области применения светодиодных ламп в зависимости от напряжения питания.
4. Перечислите три основных типа светодиодных ламп в зависимости от конструкции драйвера.
5. Разъясните принцип работы светодиодных ламп с резисторно-конденсаторным блоком питания и перечислите их недостатки.
6. Разъясните принцип работы светодиодных ламп с высокочастотным импульсным питанием светодиодов и перечислите их преимущества и недостатки.
7. Разъясните принцип работы светодиодных ламп с источником питания стабильного тока и перечислите их преимущества и недостатки.
8. Почему необходимо корректировать коэффициент мощности светодиодных ламп и как это происходит?
9. Изобразите диаграммы потребляемого тока и мощности источника питания светодиодных ламп без коррекции коэффициента мощности и с коррекцией.
10. Каковы требования к напряжению, питающему светодиодные лампы?
11. Как изменяются основные светотехнические характеристики светодиодной лампы при изменении напряжения питания?

Тестовые вопросы

1. Средний срок службы светодиодной лампы составляет...

- а) от 3 000 до 6 000 часов;
- б) от 6 000 до 12 000 часов;
- в) от 10 000 до 100 000 часов.

2. Световая отдача светодиодной лампы составляет...

- а) 30–75 лм/Вт;
- б) 90–120 лм/Вт
- в) 75–120 лм/Вт.

3. За какое время устанавливается максимум светового потока светодиодной лампы?

- а) 0,5–1 минута;
- б) 1–3 минуты;
- в) мгновенно.

4. Теплому спектру излучения соответствует диапазон...

- а) 2 700–3 300 К;
- б) 1 300–2 700 К;
- в) 2 000–3 000 К.

5. Диапазон рабочих температур светодиодной лампы составляет...

- а) от минус 40 до 60 °С;
- б) от минус 60 до 60 °С;
- в) от минус 60 до 75 °С;

6. Наиболее распространенный тип светодиодов:

- а) с восьмью и более кристаллами;
- б) с монокристаллической панелью;
- в) со светодиодной нитью.

7. Светодиодные лампы классифицируют на приборы, работающие на напряжении...

- а) 4 В; 16 В; 42 В;
- б) 10 В; 16 В; 220 В;
- в) 4 В; 12 В; 220 В.

8. Преимущество светодиодных ламп с высокочастотным импульсным питанием светодиодов:

- а) низкий уровень электромагнитных помех;
- б) не нужен выходной конденсатор большой емкости;
- в) увеличенный световой поток при питании повышенными импульсными токами.

9. Кому принадлежит изобретение светодиодной лампочки:

- а) Ник Холоньяк;
- б) Павел Яблочков;
- в) Джон Флеминг.

10) Недостаток светодиодной лампы...

- а) малый срок службы;
- б) относительно высокая себестоимость;
- в) низкий диапазон рабочих температур.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баев, В. И. Светотехника: практикум по электрическому освещению и облучению : учебное пособие / В. И. Баев. – Москва : Юрайт, 2019. – 220 с. // Образовательная платформа Юрайт. – URL: <https://urait.ru/bcode/447629>.

2. Баранов, Л. А. Светотехника и электротехнология : учебное пособие / Л. А. Баранов, В. А. Захаров. – Москва : КолосС, 2008. – 342 с.

3. Шевченко, М. В. Светотехника и электротехнология. Источники оптического излучения : учебное пособие / М. В. Шевченко, А. В. Калинин. – Благовещенск : Изд-во ДальГАУ, 2013. – 170 с. // ЭБС ДальГАУ. – URL: https://irbis.dalgau.ru/DigitalLibrary/UMM_vo/12.pdf.

4. Юденич, Л. М. Светотехника и электротехнология : учебное пособие / Л. М. Юденич. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 104 с. // ЭБС Лань. – URL: <https://e.lanbook.com/book/139301>.

5. Юрков, Н. К. Технология производства электронных средств : учебник / Н. К. Юрков. – Санкт-Петербург : Лань, 2014. – 480 с. // ЭБС Лань. – URL: <https://e.lanbook.com/view/book/41019/>.

Учебное издание

*Шевченко Максим Валерьевич,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент
Дубкова Елена Сергеевна,
кандидат сельскохозяйственных наук*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И СВЕТОВЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ИСТОЧНИКОВ СВЕТА**

Практикум

Подписано в печать 07.12.2022 г.
Формат 60х90/16. Уч.-изд. л – 3,33. Усл. печ. л. – 6,61.
Тираж по требованию. Заказ 53.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет»

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии
Дальневосточного государственного
аграрного университета
675005, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86

