

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ

# **СВЕТОТЕХНИКА**

**Методические указания  
для выполнения лабораторных работ № 1, 2, 3, 4**

Новосибирск 2020

**Светотехника:** метод. указания для выполнения лабораторных работ № 1, 2, 3, 4 / Новосиб. гос. аграр. ун-т; Инженер. ин-т; сост.: Д.С. Болотов, В.Г. Ляпин, С.А. Никонов. - Новосибирск, 2020. – 40 с.

Авторы: ст. преподаватель **Д.С. Болотов**  
канд. техн. наук, доцент **В.Г. Ляпин**  
ст. преподаватель **С.А. Никонов**

Рецензент: доцент, канд. техн. наук **А.Т. Калюжный**

Методические указания предназначены для студентов вузов очного и заочного обучения направления подготовки: Агроинженерия, профиля: Электрооборудование и электротехнологии.

Утверждены и рекомендованы к изданию методическим советом Инженерного института (протокол №\_ от \_\_.\_\_.20\_\_ г.).

© Новосибирский государственный аграрный университет, 2020

© Болотов Д.С., Ляпин В.Г., Никонов С.А.

## ВВЕДЕНИЕ

Оптимальная световая среда, являясь составной частью жизненной среды, должна обеспечивать комфортные условия для работы и отдыха, восстановления сил, улучшение здоровья человека, формирование его настроения и поведения. Высокий уровень производительности и высококачественная работа определяются условиями освещения потому, что свет обеспечивает идентификацию зрительной задачи, способствует концентрации внимания в течение рабочего дня. В настоящее время необходимо учитывать условия этой работы.

На современном этапе развития науки и техники возможно создание такой жизненной среды обитания, которая обладает всей совокупностью параметров, необходимых для человека. поэтому проектируемую световую среду помещения следует рассматривать в контексте взаимодействия человека и его окружения в процессе зрительного восприятия.

Дисциплина Светотехника в соответствии с требованиями ФГОС ВО направлена на формирование следующих компетенций бакалавра (ОПК и ПКР):

- способность реализовывать современные технологии и обосновывать их применение в профессиональной деятельности (ОПК-4);

- способность организовать работу по повышению эффективности энергетического и электротехнического оборудования в сельскохозяйственном производстве (ПКР-6).

В результате изучения дисциплины студенты должны:

**знать:**

- устройство, принцип действия и применение современного оборудования для освещения, облучения, нагрева, использования электрической энергии в технологических процессах, принципам управления и автоматизации, правилам эксплуатации;

- физические основы преобразования электрической энергии в другие виды энергии и непосредственного использования электрической энергии в технологических процессах;

- современное энергетическое оборудование, средства автоматизации и электрификации сельского хозяйства;

- материалы научных исследований по совершенствованию энергетического оборудования, средств автоматизации и электрификации сельского хозяйства.

**уметь:**

- рассчитывать (в том числе, с применением ПК) светотехнические, электротермические и специальные электротехнологические установки;

- обеспечивать эффективную и безопасную работу персонала с электротехнологическим и светотехническим оборудованием;

- проводить анализ эффективности энергетического и электротехнического оборудования в сельскохозяйственном производстве;
- разрабатывать способы повышения эффективности энергетического и электротехнического оборудования с учетом предложений персонала.

**владеть:**

- методами исследования и расчета электромагнитных процессов и преобразователей энергии;
- методами организации работы по повышению эффективности энергетического и электротехнического оборудования в сельскохозяйственном производстве.

## **ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ**

при работе студентов в лабораториях кафедры техносферной безопасности и электротехнологий Новосибирского ГАУ

1. Перед началом лабораторных работ в лабораториях получите у руководителя работ инструктаж по технике безопасности. Изучите и запомните схему электроснабжения лаборатории, места установки коммутирующей и защитной аппаратуры. После получения инструктажа по технике безопасности распишитесь в журнале о том, что с правилами безопасной работы вы ознакомились и обязуетесь их выполнять.

2. Не трогайте, не включайте и не выключайте без разрешения преподавателя или лаборанта автоматы и другие приборы. Ошибочное включение может быть причиной несчастного случая или выхода из строя электрооборудования.

3. Перед тем как приступить к выполнению работы, внимательно ознакомьтесь с заданием, оборудованием, материалами и инструментом, проверьте исправность ограждений и предохранительных устройств. О замеченных неисправностях сообщите преподавателю.

4. Перед сборкой схемы убедитесь, что автомат или пакетный выключатель, установленный на щите лабораторного стола, отключён.

5. Помните, что шарфы, косынки и другие подобные им детали одежды могут быть затянуты вращающимися частями машин и послужить причиной несчастного случая.

6. Не загромождайте рабочее место посторонними предметами.

7. Собранная схема проверяется всеми членами бригады, при этом особое внимание следует обратить на надёжность всех клеммных соединений и контактов.

8. По окончании работы приведите в порядок своё рабочее место. После уборки заявите об окончании работы преподавателю и только после его разрешения можете покинуть лабораторию.

9. Не производите излишнего шума в лабораториях.

10. Если с вами или другим студентом произошёл несчастный случай, немедленно сообщите об этом преподавателю или лаборанту для оказания помощи.

### Встречается:

- Включать настенные групповые автоматы и рубильники распределительных шкафов без разрешения преподавателя.
- Включать собранную схему до проверки и разрешения преподавателя или лаборанта.
- Производить переключение в схемах, которые под напряжением.
- Оставлять без наблюдения схему, находящуюся под напряжением.
- Закорачивать или отключать блокировочные устройства.
- Заходить за стенд и протягивать руки за ограждения.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

### Исследование электрических и светотехнических характеристик ламп накаливания

**Цель работы:** изучение устройства ламп накаливания и исследование их электрических и светотехнических характеристик

#### Программа работы

1. Ознакомиться с конструкциями ламп накаливания различных типов.
2. Ознакомиться с лабораторной установкой и записать технические (паспортные) данные ламп накаливания и измерительных приборов.
3. Собрать электрическую схему согласно рис. 1.1. Снять зависимости тока и освещенности от уровня питающего напряжения.
4. Определить расчетным путем зависимости сопротивления, мощности, светового потока и светоотдачи лампы от уровня напряжения.
5. Определить значения светового КПД, а также длину волны, при которой кривая Вина имеет максимум для трех уровней напряжения 0,85; 1,0; 1,15 от номинального напряжения лампы.

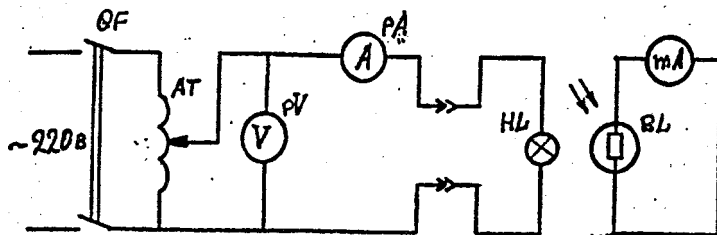


Рис. 1.1. Электрическая принципиальная схема установки для исследования характеристик ламп накаливания: QF - автоматический выключатель; TV - автотрансформатор (Латр); PA1 - амперметр; PV - вольтметр; HL - лампа накаливания; BL - фотоэлемент; PA2 - миллиамперметр

### Краткие теоретические сведения

В лампах накаливания используется эффект теплового излучения, характер которого зависит от температуры тела накала. К тепловому излучению способны всякие тела, имеющие температуру выше абсолютного нуля. Тепловое излучение представляет собой электромагнитное излучение, характеризующееся длиной  $\lambda$  и частотой  $\nu$  электромагнитных волн и возникающее в результате теплового возбуждения частиц (атомов, молекул, ионов и т.п.) излучающего тела. Показателями теплового излучения лампы накаливания являются спектральный состав излучения данного тела, величина потока (мощности) излучения и световой коэффициент полезного действия (КПД).

Спектр излучения определяется температурой тела накала. При невысоких температурах имеет место инфракрасное излучение, при повышении температуры до определенных значений излучение переходит в видимую часть спектра ( $\lambda = 380-760$  нм). По цветности излучения лампа накаливания значительно желтее естественного дневного света и не обеспечивает правильной цветопередачи.

При конструировании ламп накаливания особый интерес представляют свойства излучения тугоплавких металлов и, прежде всего вольфрама, который является, и в ближайшем будущем будет оставаться, основным материалом для изготовления тела накала. В основе создания ламп накаливания лежит принцип использования для получения света теплового излучения нагретого электрическим током проводника. Рассмотрим устройство лампы накаливания, схематически изображенной на рис. 1.2.

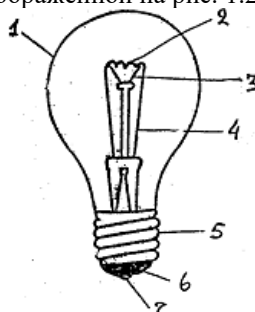


Рис. 1.2. Устройство лампы накаливания: 1 - колба; 2 - тело накала (спираль); 3 - держатели; 4 - электроды; 5 - цоколь; 6 - изолятор; 7 - контакт

Главной частью любой лампы накаливания является тело накала 2, нагревание которого проходящим через него электрическим током приводит к излучению света. Тело накала может быть выполнено в виде нити, спирали, биспирали, триспирали, иметь разные размеры и форму.

Для того чтобы тело накала в процессе работы сохраняло исходную форму, его фиксируют в пространстве с помощью внутренних звеньев элек-

тродов 4 и держателей 3. В зависимости от типа лампы электроды могут быть одно-, двух-, трехзвенными. Электроды изготавливаются из никеля, ферроникеля, меди или платинита в зависимости от типа ламп.

Стекланный конструктивный узел лампы, называемый ножкой, кроме электродов и держателей включает в себя другие детали, которые соединены между собой путем сплавления стеклянных элементов. Ножка служит опорой для тела накала и вместе с колбой 1 обеспечивает герметизацию лампы.

Для нормальной работы раскаленного тела накала недопустимо присутствие кислорода. Поэтому тело накала размещают в вакууме (вакуумные лампы), либо в среде инертных газов или их смесей, не реагирующих с материалами тела накала (газонаполненные лампы). Для создания вакуума в колбе используют откачное отверстие. В маркировке ламп применяются буквенные обозначения: В - вакуумная лампа, Г - газонаполненная лампа, К - лампа с криптоновым наполнителем, Б - биспиральные лампы. Лампы накаливания могут изготавливаться в матированных, молочных или опаловых колбах.

На горловине лампы с помощью цокольной мастики укрепляется цоколь 5, к корпусу и контактной пластине которого припаиваются и привариваются выводы электродов. В зависимости от мощности и назначения ламп применяются различные типы и размеры цоколей. Так, осветительные лампы общего назначения имеют цоколь с винтовой нарезкой; железнодорожные, трамвайные, автомобильные - штыковой с одним или двумя контактами; специальные - специальный цоколь. Для цоколей принята заводская маркировка: Е - резьбовой цоколь, 1С - штыковой одноконтактный, 2С - штыковой двухконтактный, Ф - фокусирующий, Ц - цилиндрический, М - для мощных ламп.

Основными электрическими характеристиками ламп накаливания являются номинальное напряжение, мощность, сила тока, сопротивление тела накала.

Номинальное напряжение лампы  $U_n$  - это напряжение, на которое рассчитана нормальная работа лампы. Отечественная промышленность выпускает лампы накаливания на различные значения номинального напряжения в зависимости от типа и назначения ламп. Так, автомобильные лампы изготавливаются на номинальное напряжение 6, 12 или 24 В; железнодорожные - на 24, 50 и 74 В; лампы для местного освещения - на 12 и 36 В; лампы накаливания осветительные общего назначения - на 127...135, 215...225, 220...235, 230...240, 235...245 В. Диапазоны напряжений обусловлены тем, что в практике эксплуатации осветительных установок с лампами накаливания нередко имеют место отклонения напряжения от его номинального значения.

Электрическая мощность ламп накаливания  $P$  указывается как средняя

величина при регламентируемых соответствующими ГОСТами допусках. Промышленность выпускает лампы накаливания мощностью от долей ватта до нескольких киловатт. Основная серия, т.е. лампы общего назначения, выпускается в диапазоне 15-1500 Вт.

К основным светотехническим характеристикам ламп следует отнести световой поток, световую отдачу, световой КПД и срок службы.

Световой поток  $F$  - мощность энергии излучения, оцениваемая по действию на "средний" глаз человека (т.е. это поток излучения в видимой части спектра). Измеряется световой поток в люменах (лм), оценивается по производимому им световому ощущению и зависит от температуры нагрева тела накала и мощности лампы. С течением времени работы лампы ее световой поток снижается вследствие уменьшения излучения телом накала (из-за распыления и испарения материала тела накала) и загрязнения внутренней поверхности колбы лампы. Световой поток ламп в матированных колбах должен составлять не менее 87%, а у ламп в молочных колбах - не менее 80% от соответствующих величин для ламп с прозрачными колбами.

Световая отдача лампы  $H$  - одна из основных характеристик, определяющих экономичность лампы накаливания, представляет собой отношение светового потока лампы к мощности, потребляемой лампой (лм/Вт), где  $F$  - световой поток лампы, лм;  $P$  - мощность, потребляемая лампой, Вт.

Световая отдача ламп основной серии лежит в пределах от 7 до 19 лм/Вт. Значение световой отдачи находится в сложной зависимости от температуры тела накала. Световая отдача ламп данного типа повышается с увеличением их единичной мощности и снижается с увеличением номинального напряжения. Так, лампы накаливания большой мощности и пониженного номинального напряжения (такие лампы имеют более толстую нить накала и, следовательно, допускают более высокую температуру нагрева) имеют более высокую светоотдачу, чем лампы малой мощности и более высокого номинального напряжения при одинаковом сроке службы.

Световой КПД  $\eta$  ламп накаливания определяется отношением потока излучения, воспринимаемого глазом (т.е. светового потока), к полному излучению тела накала. КПД ламп накаливания не высок (примерно 3-5%). При повышении температуры тела накала повышается КПД и улучшается спектр излучения, но при этом сокращается срок службы ламп, так как нагревание материала телом накала связано с его распылением и испарением.

Срок службы  $T$  определяется как средняя продолжительность горения всех типов ламп накаливания общего назначения. Различают полный и полезный сроки службы. Полный срок службы - это число часов работы лампы до выхода ее из строя, полезный срок службы - число часов работы лампы, в течение которых снижение его потока излучения не превышает определенного ГОСТом значения.



Согласно ГОСТ 2239-60 номинальный срок службы всех типов ламп накаливания общего назначения составляет 1000 часов. При этом продолжительность горения каждой из ламп при номинальном напряжении должна быть не менее 700 часов. Световой поток ламп после 750 часов горения должен составлять не менее 85% первоначального значения. Некоторые характеристики ламп накаливания общего назначения приводятся в таблице 1.1.

Простота схемы включения делает лампы накаливания наиболее надежными источниками света. Лампы накаливания практически не критичны к изменениям условий внешней среды, включая температуру, но очень чувствительны к отклонениям подводимого напряжения (рис. 1.3).

Так, при повышении напряжения выше номинального, увеличиваются ток и мощность, потребляемая лампой, световой поток и световая отдача, но при этом сокращается срок службы ламп. При понижении напряжения ниже номинального наблюдается обратное явление. Отклонению напряжения от номинального на 1% соответствует изменение тока лампы на 0,5%, потребляемой мощности - 1,8%, светового потока - 3,5%, световой отдачи - 2,0%. В большей степени изменяется срок службы, так, при превышении напряжения на 5% срок службы сокращается в два раза. Некоторые характеристики ламп накаливания от уровня питающего напряжения показаны на рис. 1.3.

Таблица 1.1. Технические характеристики ламп накаливания общего назначения

<i>P</i> , Вт	Напряжение 110 и 127 В		Напряжение 220 В	
	<i>F</i> , лм	<i>H</i> , лм/Вт	<i>F</i> , лм	<i>H</i> , лм/Вт
25	228	9,1	198	7,9
40	380	9,5	340	8,5
60	660	11,0	540	9,0
75	915	12,2	698	9,3
100	1320	13,2	1050	10,5
150	2280	15,2	1845	12,3
200	3200	16,0	1660	13,3
300	5160	17,2	4350	14,5
400	7000	17,5	6000	15,0
500	9100	18,2	8000	16,0

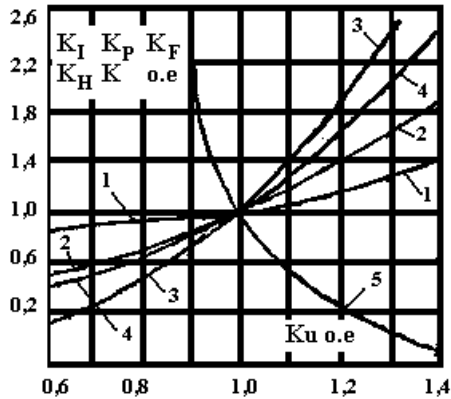


Рис. 1.3. Относительные характеристики ламп накаливания: 1 - ток; 2- потребляемая мощность; 3 - световой поток; 4 - световая отдача; 5 - срок службы лампы

Аналитические зависимости характеристик ламп накаливания от уровня питающего напряжения могут быть представлены:

$$\text{для тока лампы } I = I_n \cdot K_u^{1,8};$$

$$\text{для мощности, потребляемой лампой } P = P_n \cdot K_u^{1,58};$$

$$\text{для светового потока } F = F_n \cdot K_u^{3,61};$$

$$\text{для световой отдачи } H = H_n \cdot K_u^{2,03};$$

$$\text{для срока службы } T = T_n \cdot K_u^{-14},$$

где  $I$  и  $I_n$ ,  $P$  и  $P_n$ ,  $F$  и  $F_n$ ,  $H$  и  $H_n$ ,  $T$  и  $T_n$  - ток, потребляемая мощность, световой поток, световая отдача, срок службы лампы накаливания и соответственно их номинальные значения;

$K_u = U/U_n$  - относительный уровень питающего напряжения;  $U$  и  $U_n$  - соответственно фактическое и номинальное напряжения питания лампы.

### Методика выполнения работы

Для снятия характеристик ламп накаливания собирают схему, изображенную на рис. 1.1.

Экспериментальные зависимости тока и освещенности от уровня напряжения снимают путем изменения подводимого напряжения при помощи лабораторного автотрансформатора (Латра). Результаты замеров записывают в таблицу 1.2.

Таблица 1.2. Зависимости тока, освещенности, сопротивления, мощности, светового потока и световой отдачи лампы накаливания от напряжения

Замерено				Рассчитано									
$U$		$I$		$E$		$R$		$P$		$F$		$H$	
В	о.е.	А	о.е.	лк	о.е.	Ом	о.е.	Вт	о.е.	лм	о.е.	лм/Вт	о.е.

Интервалы изменения напряжения 10 В. Максимальное значение напряжения не должно превышать 250 В. При измерении освещенности следует брать разность показаний люксметра при включенной и выключенной лампе.

По полученным данным рассчитывают величины:

а) сопротивление лампы (Ом)  $R = U/I$ ; (1.1)

б) мощность, потребляемая лампой (Вт)  $P = U \cdot I$ ; (1.2)

в) световой поток (приблизительно)  $F = 4\pi \cdot E \cdot L^2$ , (1.3)

где  $L$  - расстояние от тела накала до фотоэлемента, м;

$E$  - измеренная освещенность, лк;

г) световая отдача (лм/Вт)  $H = F/P$ .

Результаты расчетов заносят в таблицу 1.2. Световой КПД лампы для условий дневного видения определяют по выражению

$$\eta = H/683 = F/683P.$$

Зона максимума длины волны (нм) определяется по уравнению Вина

$$\lambda_{max} = 0,2897 \cdot 10^7 / T^\circ,$$

где  $T^\circ$  - абсолютная температура, К.

Рассчитать  $\lambda_{max}$  при  $T^\circ = 200, 300$  и  $340$  °К. По данным таблицы 1.2 на миллиметровой бумаге в относительных единицах строят зависимости тока  $I$ , потребляемой мощности  $P$ , сопротивления  $R$ , светового потока  $F$ , световой отдачи  $H$  от напряжения на лампе. Здесь же следует привести известные теоретические зависимости тока, мощности, светового потока, срока службы лампы накаливания от напряжения.

### Контрольные вопросы

1. Назовите основные детали конструкции лампы накаливания.
2. Укажите основные причины снижения светового потока ламп накаливания.
3. Укажите мероприятие, снижающее распыление тела накала.
4. Какие материалы используются для изготовления тела накала лампы?
5. Объясните, почему лампы с биспиралью имеют более высокую светоотдачу?
6. Назовите максимально возможный теоретический КПД лампы накаливания и объясните, как его определить.
7. Пользуясь уравнением Вина, определите, при какой температуре нити КПД лампы будет максимальным.
8. Объясните, почему спираль лампы имеет нелинейную возрастающую вольтамперную характеристику?
9. Чем объяснить, что газонаполненные лампы имеют больший срок службы, чем вакуумные?
10. Какие газы применяются для наполнения колб ламп накаливания?
11. Дайте физическое толкование сокращения срока службы ламп

накаливания при превышении номинального напряжения.

### Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Электрическая принципиальная схема для проведения эксперимента.
3. Таблицы технических характеристик испытываемых ламп и приборов, используемых в работе.
4. Таблица результатов измерений и расчетных величин.
5. Графики расчетных и экспериментальных зависимостей.
6. Выводы по работе.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### Исследование электрических и светотехнических характеристик люминесцентных ламп

**Цель работы:** изучение устройства люминесцентной лампы и исследование ее электрических и светотехнических характеристик

#### Программа работы

1. Ознакомиться с устройством люминесцентных ламп различных типов.
2. Ознакомиться с лабораторной установкой и записать технические (паспортные) данные ламп, измерительных приборов, аппаратов и других элементов лабораторной установки.
3. Собрать электрическую схему согласно рис. 2.1 и снять зависимости тока, потребляемой мощности комплектом лампы и создаваемой ею освещенности от напряжения сети.
4. Определить расчетным путем зависимости светового потока, светотдачи и коэффициента мощности ( $\Phi$ ,  $H$ ,  $\cos\varphi$ ) от напряжения сети.
5. Снять осциллограммы кривых тока и напряжения на лампе от напряжения питания.
6. Составить отчет о работе.

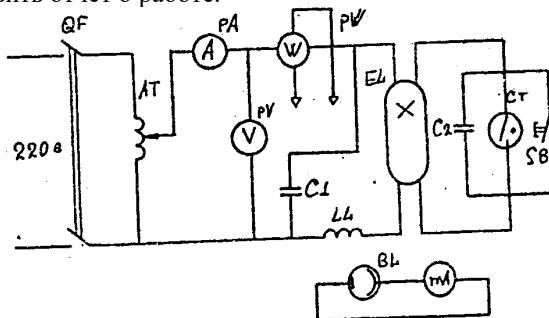


Рис. 2.1. Схема для снятия характеристик люминесцентных ламп

## **Краткие теоретические сведения**

Совершенствование источников света с целью повышения их светотехнических и технико-экономических показателей привело к разработке газоразрядных источников оптического излучения. Цветность излучения и характер распределения его по спектру зависят от рода паров металла или газа и условий электрического разряда. Эти свойства открыли для газоразрядных источников широкое и многообразное применение во всех отраслях народного хозяйства.

В зависимости от рода излучателя, обеспечивающего основную часть энергии излучения газоразрядного источника, различают:

газосветные лампы, в которых используется излучение газа или паров металла в процессе электрического разряда;

электродосветные лампы, в которых используется излучение раскаляющихся в процессе разряда электродов;

люминесцентные лампы, в которых основным источником излучения являются люминофоры, возбуждаемые излучением электрического разряда в газе.

Излучение газоразрядных источников носит, как правило, смешанный характер и содержит излучение раскаленных электродов, газовой среды и люминофора, если он в данном случае имеется. Одно из этих излучений обычно преобладает.

Наиболее широкое распространение среди газоразрядных источников оптического излучения получили лампы, в которых используется электрический разряд в парах ртути.

Люминесцентные лампы - лампы низкого давления, в которых разряд происходит при давлении до 0,01 МПа.

Преобразование электрической энергии в световую в люминесцентной лампе происходит в результате электрического разряда в парах ртути и преобразования его в излучение ультрафиолетовой части спектра, которое, в свою очередь, воздействует на люминофор и превращает его в энергию видимой части спектра. На долю видимого излучения приходится около 20% электроэнергии, потребляемой лампой. Цветность люминесцентной лампы определяется, в основном, составом люминофора.

Газовый разряд обладает значительно более высокой световой эффективностью по сравнению с тепловым излучением. В отличие от теплового излучения твердых тел, имеющего непрерывный спектр, излучение газового разряда дает линейчатый спектр, зависящий от рода газа или паров металла (например, ртути), наполняющих лампу.

Если к электродам люминесцентной лампы приложить определенную разность потенциалов, то электрическое поле между электродами начнет воздействовать на свободные электроны и ионы, всегда присутствующие в газе. В результате этого воздействия возникает перемещение электронов к

аноду, а ионов к катоду, т.е. появляется электрический ток.

По мере увеличения напряжения на электродах скорость перемещения частиц увеличивается. Электроны получают достаточную кинетическую энергию для ионизации встречающихся на их пути атомов газа. В результате ионизации, возникающей при столкновении электронов с атомами газа, появляются новые электроны и ионы, процесс нарастает, и электрический ток в трубке увеличивается.

Вследствие относительно малой скорости переноса ионов последние группируются у катода, а более подвижные электроны быстро переносятся к аноду. В результате вдоль трубки возникает неравномерное распределение потенциала с большим градиентом потенциала у катода и малым у анода.

Под действием большой разности потенциалов ионы получают значительное ускорение и ударом о катод освобождают с его поверхности новые электроны, которые, в свою очередь, становятся источниками ионизации. Таким образом, устанавливается независимый от внешних ионизаторов процесс, сопровождающийся свечением (тлеющий разряд).

При дальнейшем увеличении тока в цепи лампы процесс бомбардировки катода ионами усиливается. Под действием интенсивной бомбардировки катод накаляется и возникает термоэлектронная эмиссия. Для облегчения эмиссии электронов используются вольфрамовые катоды, поверхность которых покрыта окисью бария. При возникновении термоэлектронной эмиссии происходит дальнейшее увеличение тока, катодное падение потенциала резко уменьшается (примерно до 10 В), и возникает дуговой разряд.

С повышением давления газа растёт число соударений, а вместе с тем и температура нейтрального газа. Благодаря возникающему в этих условиях большому перепаду температуры от оси разряда к стенкам трубки, разряд стягивается в яркий светящийся шнур. Высокие экономичность и яркость дугового разряда при сравнительно низких напряжениях на лампе обеспечивают широкие возможности использования его в различных разрядных источниках света.

Характер и механизм электрического разряда в газе или парах металла существенно зависят от плотности разрядного тока и свойств среды, главным образом от давления (рис. 2.2).

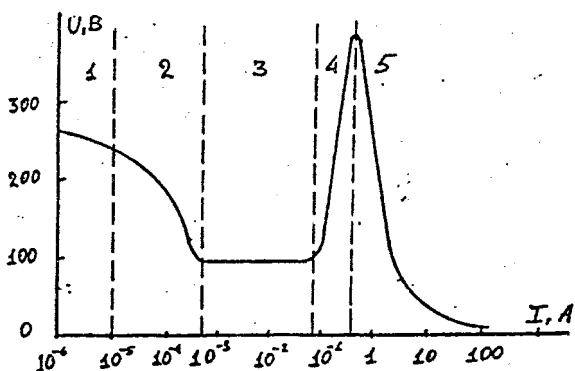


Рис. 2.2. Характеристика газового разряда: 1, 2 - область тихого разряда; 3, 4 - область тлеющего разряда; 5 - область дугового разряда

Различают три основные формы разряда:

- тихий разряд, характеризуется малой плотностью тока (до  $10^{-6}$  А/см<sup>2</sup>) и отсутствием заметного свечения;

- тлеющий разряд, характеризуется ярко выраженным свечением, наблюдается при малых плотностях тока ( $10^{-4}$ - $10^{-2}$  А/см<sup>2</sup>) и низких давлениях газа или паров, наполняющих лампу, падение потенциала составляет 100-300 В;

- дуговой разряд, характеризуется интенсивной эмиссией электронов с катода и значительной яркостью свечения, плотность разрядного тока может достигать больших величин (10-100 А/см<sup>2</sup>).

Так как процесс ионизации является процессом нестабильным, имеющим постоянную тенденцию увеличения, то проводимость среды внутри лампы, а, следовательно, и ток при постоянном напряжении на лампе будет все время возрастать (падающая вольт-амперная характеристика), в связи с чем режим горения лампы становится неустойчивым. Поэтому для стабилизации тока в люминесцентных лампах, как и в большинстве разрядных ламп, используются балластные устройства (резисторы, дроссели, емкости), включаемые последовательно с лампой. Падение напряжения в балласте компенсирует увеличение проводимости в разрядной трубке и тем самым ограничивает ток, могущий привести к разрушению лампы.

Напряжением зажигания  $U_z$  называется наименьшее значение напряжения, при котором в лампе возникает самостоятельный разряд.

Самостоятельным называют такой разряд, который поддерживается благодаря внутренним процессам, возникающим в газоразрядном промежутке под действием приложенной к электродам разности потенциалов.

Несамостоятельным называется разряд, существование которого возможно только в условиях воздействия внешних факторов (ионизирующие излучения, подогрев электродов от внешнего источника и т.п.).

Напряжение зажигания самостоятельного дугового разряда значительно выше напряжения, требующегося для поддержания разряда в установившемся режиме, когда межэлектродный промежуток ионизирован, и катод, разогретый за счет кинетической энергии падающих на него заряженных частиц, обеспечивает достаточный уровень эмиссии электронов.

Напряжение зажигания, как правило, превышает и эффективное напряжение сети  $U_c$ , к которой подключен газоразрядный источник.

Величина напряжения зажигания зависит от ряда причин: рода газа, наполняющего лампу; его давления; материала электродов и их эмиссионных свойств; диаметра колбы и расстояния между электродами. Снижения напряжения зажигания можно добиться различными способами (до не превышающего  $U_c$ ):

- можно увеличить первичную ионизацию газа, вводя в газоразрядный промежуток дополнительные электроды, при помощи которых создается высокая напряженность электрического поля вблизи катода, способствующая возникновению и развитию разряда;

- покрытием электродов активирующим слоем (щелочных и щелочноземельных металлов), повышающим их эмиссионные свойства;

- предварительным нагревом электродов, уменьшающим работу выхода электронов с катода;

- расположением на поверхности лампы проводящей полосы, изменяющей распределение электрического поля в межэлектродном промежутке.

Люминесцентные лампы выпускаются белого света (ЛБ), холодно-белого (ЛХБ), тепло-белого (ЛТБ), дневного (ЛД), дневного улучшенной цветопередачи (ЛДЦ), холодно-белого улучшенной цветопередачи (ЛЕ или ЛХБЦ). Для рекламы и иллюминации также выпускаются цветные лампы.

Сортимент люминесцентных ламп включает прямые лампы мощностью 4, 6, 8, 15, 20, 30, 40, 65, 80 и 150 Вт, а также U-образные лампы 8-80 Вт, W - образные лампы 30 Вт и кольцевые лампы 20-40 Вт. Для общего освещения производственных и общественных зданий наиболее широко применяются лампы мощностью 40 и 80 Вт. Такой же мощностью выпускаются рефлекторные лампы, на колбу которых в пределах двухгранного угла  $240^\circ$  нанесен отражающий слой, придающий лампам преимущественно одностороннее светораспределение.

Люминесцентная лампа (рис. 2.3) состоит из цилиндрической стеклянной трубки-колбы 1, внутренняя поверхность которой покрывается люминофором, способным светиться (флюоресцировать). Колба наполняется газом аргоном с несколькими каплями ртути (30-80 мг). Трубка герметически закрыта вваренными в ее торцы стеклянными ножками 2. Внутри трубки на ее концах впаиваются электроды, представляющие собой вольфрамовые биспирали 3, покрытые слоем оксида. По концам лампы имеются короткие цоколи 4 с полыми штырьками 5, к которым припаяны выводы электродов.



К электродам подводится напряжение от источника тока.

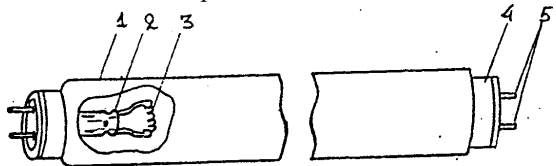


Рис. 2.3. Люминесцентная лампа: 1 - колба; 2 - ножка лампы; 3 - спираль; 4 - цоколь; 5 - электроды

Люминофор - твердое кристаллическое порошкообразное вещество (соли кальция, цинка, кадмия, бериллия и т.д.), химический состав которого определяет цвет излучения и светоотдачу. Люминофор преобразует ультрафиолетовое излучение в излучение в видимой части спектра.

Для зажигания и горения ламп необходимо включение последовательно с ними пускорегулирующих аппаратов (ПРА). Наиболее часто применяется стартерная схема включения люминесцентных ламп (рис. 2.4).

Чтобы вызвать свечение в лампе, необходимо предварительно разогреть электроды. Предварительный нагрев электродов обеспечивает термоэлектронную эмиссию, после чего разряд возникает сначала в аргоне, а затем переходит в пары ртути. Для получения дугового разряда служит специальное устройство - стартер (рис. 2.5), включаемое на короткое время последовательно в цепь электродов.

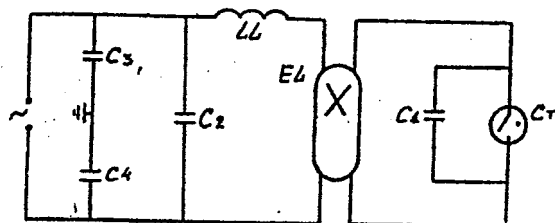


Рис. 2.4. Стартерная схема включения люминесцентной лампы

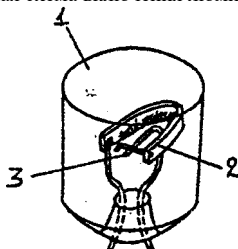


Рис. 2.5. Стартер тлеющего разряда: 1 - корпус; 2 - биметаллическая пластинка; 3 - контакты

Стартер (Ст) представляет собой миниатюрную газоразрядную лампу с биметаллическими электродами. При подаче напряжения на схему в стар-

тере возникает тлеющий разряд (напряжения зажигания стартера ниже напряжения питания). В это время биметаллическая пластина стартера нагревается, изгибается и замыкает цепь электродов люминесцентной лампы. По цепи в течение 0,3...1с протекает ток, величина которого определяется величинами напряжения питания и сопротивлением цепи. Сопротивление стартера при тлеющем разряде велико (примерно 75 кОм), поэтому ток мал (несколько мА). Однако величина этого тока достаточна для разогрева электродов стартера. В результате нагрева биметаллический подвижный электрод стартера замыкает цепь электродов лампы. При протекании тока электроды лампы разогреваются до температуры 1100...1200 °С, это обеспечивает достаточную термоэлектронную эмиссию. Электроды стартера остывают и через 0,2...0,6с разрывают цепь тока через электроды лампы.

При разрыве цепи ток резко уменьшается и в дросселе (согласно закону Ленца) возникает электродвижущая сила (ЭДС) самоиндукции, которая, складываясь с напряжением на лампе, увеличивает его до величины, при которой в лампе возникает дуговой разряд. Значение ЭДС (несколько кВ) зависит от величины индуктивности и скорости изменения тока. Время разрыва цепи стартером составляет 1-2 мкс.

Напряжение зажигания стартера ниже номинального напряжения сети, но выше напряжения на лампе в рабочем режиме:

$$U_{л} < U_{зст} < U_{с}.$$

После зажигания лампы часть напряжения (примерно  $0,5U_{с}$ ) будет падать на дросселе, поэтому напряжение на стартере будет недостаточно для его зажигания, т.е. при работающей лампе стартер не зажигается.

Стартер служит:

для автоматического замыкания на определенное время цепи электродов лампы;

для мгновенного разрыва цепи после их разогрева.

Рабочим режимом люминесцентной лампы является дуговой разряд, который стабилизируется и поддерживается с помощью балластного сопротивления. Следует помнить, что важнейшей функцией дросселя является ограничение тока в процессе дугового разряда в лампе.

Дроссель в стартерных схемах выполняет следующие функции:

обеспечивает достаточный и безопасный для лампы ток в цепи электродов для быстрого их разогрева при зажигании;

создает импульс повышенного напряжения, обеспечивающий возникновение разряда в лампе;

стабилизирует разряд (напряжение на лампе) при номинальном для данной лампы токе;

обеспечивает устойчивую работу лампы при отклонении напряжения в питающей сети.

В рабочем режиме при питании лампы от сети переменного тока каж-

дый электрод ее работает попеременно в качестве анода и в качестве катода. Основную роль в электрическом разряде в каждый полупериод играет катод, так как он обеспечивает необходимый уровень эмиссии. На катоде образуется наиболее разогретая точка - катодное пятно, являющееся основным источником эмиссии электронов. В процессе эксплуатации лампы оно медленно перемещается вдоль электрода от сетевого его конца до стартерного примерно на один виток биспирали за 1000ч горения.

Параллельно лампе и стартеру подключается конденсатор С1 (0,01 мкФ), предназначенный для увеличения длительности импульса повышенного напряжения и уменьшения вероятности дугообразования между контактами стартера в момент их размыкания. Параллельно схеме подключен конденсатор С2 (2-10 мкФ) для повышения коэффициента мощности  $\cos\phi$  до 0,9 (без С2  $\cos\phi = 0,5-0,6$ ). Для защиты сети от радиопомех устанавливаются конденсаторы С3 и С4.

Основные электрические (ток, мощность лампы или комплекта) и светотехнические (световой поток, световая отдача, световой КПД и срок службы) характеристики люминесцентных ламп, также как и ламп накаливания, зависят от напряжения питающей сети (но в меньшей степени). Некоторые характеристики люминесцентных ламп представлены в таблице 2.1.

Световая отдача люминесцентных ламп достигает 75 лм/Вт. Она различна для ламп разной мощности (достигает максимального значения для ламп 40 Вт) и разного спектрального типа (максимальное значение для ламп ЛБ, минимальное - для ламп ЛДЦ).

Таблица 2.1. Технические характеристики люминесцентных ламп низкого давления

Тип лампы	Номинальные величины					$T_{сл}$ после 2000ч. горения
	$I$ , А	$P$ , Вт	$U_n$ , В	$F$ , лм	$H$ , лм/Вт	
ЛДЦ-15 ЛД-15 ЛХБ, ЛТБ-15 ЛБ-15	0,3	15	58	450	30	315
525				35	365	
600				40	420	
630				42	440	
ЛДЦ-20 ЛД-20 ЛХБ, ЛТБ-20 ЛБ-20	0,35	20	60	620	31	465
760				39	570	
900				45	675	
980				49	735	
ЛДЦ-30 ЛД-30 ЛХБ, ЛТБ-30 ЛБ-30	0,34	30	108	1100	37	775
1380				46	970	
1500				50	1060	
1740				58	1230	

ЛДЦ-40	0,41	40	108	1520	38	1100
ЛД-40				1960	49	1470
ЛХБ, ЛТБ-40				2200	55	1650
ЛБ-40				2480	54	3520
ЛДЦ-80	0,82	80	108	2720	34	1920
ЛД-80				3440	43	2400
ЛХБ, ЛТБ-80				3840	48	2690
ЛБ-80				4320	54	3620

Аналитические зависимости некоторых характеристик люминесцентных ламп могут быть представлены:

для мощности, потребляемой комплектом (лампа и балластное сопротивление) с ПРА типа УБК  $P=P_n(1,26k_u - 0,26)$ ; (2.1)

для светового потока  $F=F_n(1,05k_u - 1,05)$ ; (2.2)

для срока службы  $T=T_n \cdot k_u^{-3,2}$ , (2.3)

где  $P$  и  $P_n$ ,  $F$  и  $F_n$ ,  $T$  и  $T_n$  - потребляемая комплектом мощность, световой поток и срок службы люминесцентной лампы и соответственно их номинальные значения;  $k_u=U/U_n$  - относительный уровень питающего напряжения;  $U$  и  $U_n$  - соответственно фактическое и номинальное напряжения питания лампы;  $k_n$  - коэффициент потерь мощности в ПРА, для люминесцентных ламп  $k_n=1,2$ .

С изменением питающего напряжения световая отдача люминесцентных ламп меняется очень мало, причем даже увеличивается с уменьшением напряжения сети, достигая максимума при напряжении 80-90% от номинального, снижаясь при дальнейшем уменьшении напряжения. Следует отметить, что напряжение на лампе также возрастает с понижением питающего напряжения, в то время как ток лампы понижается.

Изменение напряжения сети, питающей люминесцентной лампы, на каждый процент вызывает изменение светового потока на 1-1,5% в ту же сторону. Световой поток люминесцентных ламп изменяется также в зависимости от температуры окружающего воздуха в зоне установки светильников.

При повышении и понижении температуры световой поток люминесцентных ламп снижается. При температуре ниже +10 °С люминесцентные лампы начинают гореть неустойчиво и при дальнейшем понижении могут погаснуть, а негоревшие - незажечься. При низких температурах в трубке почти отсутствуют пары ртути, разряд происходит только в газе, и напряжение зажигания высоко. При увеличении температуры выше +(20...25) °С также наблюдается увеличение напряжения зажигания, это объясняется увеличением давления внутри трубки, что ухудшает условия зажигания.

Средняя продолжительность горения люминесцентных ламп составляет 12...15 тыс. ч. Изменение напряжения питающей сети на каждый процент вызывает изменение срока службы на 1,5...3% в противоположную сторону.

На срок службы люминесцентных ламп оказывают существенное влияние условия эксплуатации. Так, в условиях изменения напряжения сети, частых включений, низких температур окружающей среды срок службы люминесцентных ламп существенно сокращается. Отрицательно сказываются на работе люминесцентных ламп изменения напряжения как в сторону повышения, так и в сторону понижения от номинального значения. При повышении напряжения увеличивается давление ртутных паров в лампе, снижается эффективность ее работы, а также и продолжительность горения. При понижении напряжения лампы либо не загораются, либо их горение сопровождается усиленным распылением оксидного вещества с катодов и, следовательно, сокращается срок службы. В процессе горения люминесцентной лампы, а также при ее включении происходит распыление оксидного покрытия катодов, при полном расходе которого лампа перестает зажигаться. Чем чаще происходит включение лампы, тем сильнее сокращается срок ее службы, происходит так называемый "износ включением". В среднем срок службы люминесцентных ламп сокращается на 2...3 часа при каждом включении. КПД люминесцентных ламп более высок, чем у ламп накаливания.

### Методика выполнения работы

Для снятия основных характеристик люминесцентных ламп собирают схему, изображенную на рис. 2.1.

Экспериментальные зависимости тока, потребляемой комплектом мощности и освещенности (светового потока) от уровня напряжения снимают путем изменения подводимого напряжения при помощи лабораторного автотрансформатора (ЛТ). Результаты замеров заносят в таблицу 2.2.

Таблица 2.2. Результаты измерений характеристик люминесцентных ламп

Тип лампы	Замерено				Рассчитано			
	$U_c$ , В	$P$ , Вт	$I$ , А	$E$ , лк	$F$ , лм	$H$ , лм/Вт	$\cos \varphi$	$P$ , Вт
ЛБ-40								
ЛД-40								
ЛДЦ-40								

Интервалы изменения напряжения 10 В. Максимальное значение напряжения на должно превышать 250 В. При измерении освещенности следует брать разность показаний люксметра при включенной и выключенной лампе.

По полученным данным рассчитывают:

$$\text{а) световой поток (лм)} \quad F = \frac{2\pi^2 h l E_A}{\left(\alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}\right) \cos^2 \gamma}, \quad (2.4)$$

где  $h$  - высота расположения светящейся линии над освещенной поверхностью (рис. 2.6);  $l$  - длина лампы, м;  $E_A$  - освещенность в исследуемой

точке А, лк;  $\alpha$  - угол, под которым видна светящаяся линия из точки расчета (в радианах);  $\gamma$  - угол от светящейся линии до измеряемой точки.

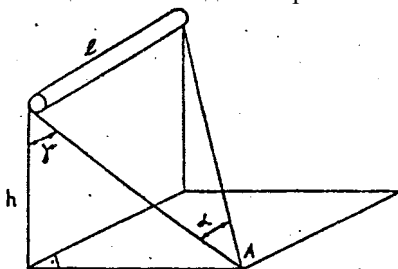


Рис. 2.6. Расчетная схема для определения светового потока люминесцентной лампы

Рассчитанный световой поток сравнивают с определенным с помощью люксметра

$$F_{\text{лк}} = 4\pi E m^2, \quad (2.5)$$

где  $E$  - освещенность, регистрируемая люксметром, лк;  $m$  - расстояние до лампы, м;

б) световую отдачу комплекта (лм/Вт)  $H = F/P,$  (2.6)

где  $P$  - мощность, потребляемая комплектом, Вт;

в) коэффициент мощности комплекта "лампа-ПРА"  $\cos \varphi = P/U_c \cdot I,$  (2.7)

где  $P$  - мощность, потребляемая комплектом, Вт;

$U_c$  - напряжение питания, В;

$I$  - ток в цепи комплекта, А.

По данным таблицы 2.2 на миллиметровой бумаге в о.е. строят зависимости тока  $I$ , мощности комплекта  $P$ , светового потока  $F$ , светоотдачи  $H$  от напряжения сети.

На этот же рисунок следует нанести известные зависимости тока, мощности, светового потока, светоотдачи и срока службы люминесцентных ламп от напряжения в сети.

### Контрольные вопросы

1. Из каких основных частей состоит люминесцентная лампа?
2. Каковы основные преимущества и недостатки люминесцентной лампы по сравнению с лампой накаливания?
3. Какие типы люминесцентных ламп выпускаются отечественной промышленностью?
4. Объясните назначение и устройство электродов люминесцентных ламп.
5. Чем обусловлена проводимость газового разряда?
6. Каково давление газа в осветительных люминесцентных лампах в холодном состоянии и как оно меняется при включении?
7. Для какой цели люминесцентная лампа снабжается стартером? Его устройство и назначение.

8. Для чего нужен дроссель люминесцентной лампы?

9. Объясните порядок зажигания и работы газоразрядной лампы в цепи с индуктивным балластом.

10. Каковы требования к напряжению, питающему люминесцентные лампы?

11. Что происходит с напряжением на люминесцентной лампе при увеличении сопротивления балласта и почему?

12. Как изменяются основные светотехнические характеристики люминесцентной лампы при изменении напряжения питания?

13. Какие условия окружающей среды необходимы для нормальной работы с люминесцентными лампами?

14. Какими способами можно увеличить  $\cos\varphi$  установки с люминесцентными лампами?

### Содержание отчета

1. Цель работы.

2. Электрическая принципиальная схема проведения эксперимента.

3. Таблицы технических (паспортных) данных испытуемых ламп (таблица 2.3) и приборов, используемых в работе (таблица 2.4).

Таблица 2.3. Паспортные данные исследуемых ламп

Наименование	Тип	Мощность, Вт	Напряжение на лампе, В	Световой поток, лм	Длина, мм

Таблица 2.4. Паспортные данные приборов

Наименование	Тип	Система	Предел измерения	Цена деления	Род тока	Класс точности

4. Таблица результатов измерений и расчетных величин.

5. Графики расчетных, справочных и экспериментальных зависимостей.

6. Выводы по работе.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

### Исследование работы люминесцентных ламп с различными балластными сопротивлениями

**Цель работы:** исследование условий пуска и работы люминесцентной лампы в схемах с различными балластами (индуктивным и емкостным)

#### Программа работы

1. Ознакомиться с принципами пуска и работы люминесцентной лампы в схемах с различным балластом. Изучить назначение отдельных эле-

ментов схем.

2. Ознакомиться с лабораторной установкой и записать технические (паспортные) данные люминесцентной лампы, балластных сопротивлений и измерительных приборов.

3. Собрать электрические схемы согласно рис. 3.5. и 3.6. (для схем с различными балластами) и определить напряжение и мощность при номинальном токе и освещенности, создаваемой лампой.

4. Определить расчетным путем основные характеристики лампы (с различными балластами) в номинальном по току режиме: световой поток, световую отдачу лампы и комплекта, коэффициент мощности и коэффициент искажения  $K_{\text{иск}}$ .

5. Снять осциллограммы кривых тока и напряжения на лампе (с различными балластами) и пульсаций светового потока.

6. Составить отчет о работе.

### Краткие теоретические сведения

Для зажигания и горения люминесцентных и других газоразрядных ламп необходимо включение последовательно с ними пускорегулирующих аппаратов (ПРА), т.е. к сети подключается не просто лампа, а комплект "лампа-ПРА".

Схемы и конструкции ПРА чрезвычайно разнообразны: стартерные, бесстартерные (быстрого и мгновенного зажигания), токоограничивающие и др.

В стартерных аппаратах (УБ) начальный подогрев электродов обеспечивается кратковременным замыканием контактов стартера, включенного параллельно лампе.

В бесстартерных аппаратах (АБ) начальный подогрев электродов обеспечивается подачей на электроды напряжения от специальных витков дроссельной катушки. Ранее имевшие место недостатки стартерных схем – повышенная пожарная опасность и относительно малая надежность – сейчас устранены, и в настоящее время стартерные схемы получили преимущественное применение. Принципиальная схема стартерного включения люминесцентной лампы представлена на рис. 3.1.

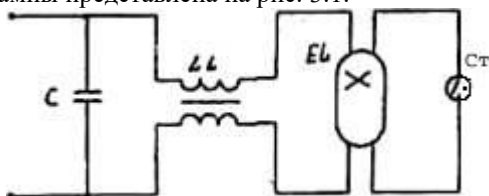


Рис. 3.1 Принципиальная схема стартерного зажигания

Стартер (пускатель или зажигатель) присоединяется параллельно люминесцентной лампе и представляет собой реле, которое автоматически



кратковременно замыкает свои контакты при включении в сеть, обеспечивая этим начальный подогрев электродов лампы и облегчая ее последующее зажигание. Стартеры могут иметь различную конструкцию. Применяемые в отечественных осветительных установках стартеры представляют собой реле тлеющего разряда в виде миниатюрной разрядной лампы, наполненной неоном, один из электродов которой биметаллический.

При включении между электродами стартера возникает тлеющий разряд, нагревающий биметаллическую пластинку. Биметаллическая пластинка изгибается и замыкает через электроды лампы цепь. Разряд в стартере прекращается, и обычно меньше чем через 1 с, вследствие охлаждения контактирующей биметаллической пластинки, цепь стартера прервется. Тогда магнитная энергия (ЭДС самоиндукции) дросселя создает импульс напряжения, благодаря которому лампа зажигается. Таким образом, схема является схемой с импульсивным зажиганием. После зажигания лампы стартер уже не может замкнуться, так как его напряжение зажигания больше, чем напряжение на лампе.

Для бесстартерных схем изготавливаются лампы со специальной конструкцией электродов, однако могут использоваться и лампы стартерного зажигания, но тогда срок их службы сокращается. Использование бесстартерных схем целесообразно в случаях, когда необходимо более быстрое, чем в стартерных схемах, зажигание ламп, а также при затрудненности доступа к лампам для обслуживания.

При бесстартерных схемах наблюдаются большие потери мощности в ПРА (до 35%), чем при стартерных (до 25%).

В качестве балластных сопротивлений, стабилизирующих разряд в люминесцентных лампах, используются индуктивные, емкостные и активные сопротивления.

При работе на переменном токе в качестве стабилизирующего устройства чаще всего применяют индуктивные сопротивления - дроссели (реакторы), включаемые последовательно с люминесцентной лампой. На рис. 3.1 приведена схема включения люминесцентной лампы с индуктивным балластом.

Дроссель представляет собой катушку из медного провода со стальным сердечником. В рабочем режиме дроссель стабилизирует напряжение на лампе, ограничивает величину разрядного тока.

Преимуществами дросселей по сравнению с резисторами (активными сопротивлениями) являются меньшие потери энергии и наличие сдвига фаз между напряжением и током, облегчающего повторное зажигание лампы.

К недостаткам дросселей следует отнести сравнительно большую массу и габариты, а также значительное снижение коэффициента мощности: до 0,5-0,6. Для повышения коэффициента мощности параллельно с лампой включается конденсатор.

Применение резисторов в качестве стабилизирующих устройств при работе разрядных ламп на переменном токе, кроме больших потерь электроэнергии, неблагоприятно сказывается на сроке службы ламп.

Емкостные балласты также применяются редко, так как в таких схемах возникают длительные темновые паузы и толчки тока при повторных зажиганиях лампы.

Таким образом, ПРА - совокупность элементов, обеспечивающих зажигание лампы, нормальный режим ее работы при заданных отклонениях напряжения, подавление радиопомех, возникающих при зажигании и работе лампы.

ПРА должны удовлетворять следующим требованиям: быть надежными, иметь минимальные собственные потери, стоимость и эксплуатационные расходы, быть безопасными и долговечными.

Ряд типов ПРА обеспечивает и еще одну функцию - повышение коэффициента мощности комплекта "лампа-ПРА" до требуемого уровня - так называемые компенсирующие ПРА. Другие типы ПРА, в которых используются только индуктивные или индуктивно-емкостные элементы, не обеспечивают должного уровня коэффициента мощности (некомпенсированные ПРА). При использовании индуктивных некомпенсированных ПРА наряду с ними в части ламп осветительной или облучательной установки применяют ПРА, в которых использованы балластные сопротивления преимущественно емкостного характера. В этом случае можно получить удовлетворительный коэффициент мощности установки в целом.

Конструктивно-эксплуатационные характеристики пускорегулирующих аппаратов отражены в обозначениях ПРА, регламентированных ГОСТ 16809-71. Обозначение строится по, следующей схеме:

- 1) число ламп, обслуживающих ПРА;
- 2) основные характеристики аппаратов: ДБ - дроссель балластный, УБ - стартерный аппарат с предварительным подогревом электродов, АБ - бесстартерный аппарат горячего зажигания, МБ - аппарат мгновенного зажигания;
- 3) вид балластного сопротивления: И - индуктивное, Е - емкостное, К - компенсированный ПРА;
- 4) наличие (буква А) или отсутствие (не обозначается) сдвига фаз между токами многолампового аппарата;
- 5) мощность и символ лампы (при необходимости) - числитель, напряжение сети - знаменатель;
- 6) исполнение: В - встроенное в светильник или кожух, Н - независимое;
- 7) уровень шума: нормальный (не обозначается), П - пониженный, ПП - особо низкий;
- 8) условный номер разработки.

Например, обозначение ПРА типа 2УБК-40/22в АВПП-010 расшифровывается следующим образом: ламповый компенсированный стартерный аппарат к лампам мощностью 40 Вт для включения в однофазную сеть 220 В, со сдвигом фаз между токами ламп, встроенного исполнения, с особо низким уровнем шума, с номером разработки 010.

В одноламповых светильниках чаще всего устанавливаются аппараты УБИ и АБИ, в светильниках с четным числом ламп - равное число аппаратов УБИ (АБИ) и УБЕ (АБЕ) или двухламповые компенсированные аппараты 2УБК (2АБК), при которых одна из ламп питается током отстающим, другая - опережающим напряжением по фазе.

При работе люминесцентных ламп с недокомпенсированным ПРА коэффициент мощности комплекта "лампа - ПРА" в зависимости от мощности лампы находится в пределах 0,5 - 0,6, при двухламповых компенсированных ПРА - не ниже 0,92, при одноламповых компенсированных - не ниже 0,85.

Влияние отклонений и колебаний напряжения на работе люминесцентных ламп сказывается меньше, чем на работе ламп накаливания, но при напряжении, меньшем 85% номинального, зажигание ламп не обеспечивается. Зажигание ламп в схемах с УБИ происходит при напряжении сети  $U_c \geq 78 - 82$  % номинального ( $U_n$ ), погасание включенных ламп - при  $U_c \leq 63 - 66$  % номинального; в схемах с 2УБК лампы зажигаются при  $U_c \geq 75 - 80$  %, лампы отстающего тока гаснут при  $U_c \leq 53 - 60$  %; в схеме с 2БЛ - 80 зажигания происходит при  $U_c \geq 77 - 82$  %, погасание - при  $U_c \leq 65 - 70$  %.

По условиям окружающей среды ПРА делятся на аппараты для закрытых отапливаемых и неотапливаемых помещений, для наружных электроустановок. По защите от воздействия окружающей среды различают ПРА следующих исполнений: незащищенное, брызгозащищенное, пылезащищенное, для повышенных температур окружающей среды.

По уровням радиопомех, создаваемых горячей лампой, ПРА делятся на аппараты с нормальным и пониженным уровнем радиопомех. Последние предназначены для работы в административных и жилых помещениях. Промышленность выпускает унифицированные серии ПРА к люминесцентным лампам мощностью от 40 до 150 Вт. Наиболее широко распространены стартерные (УБ) и, бесстартерные (АБ) схемы с индуктивным и емкостным балластом, а также компенсированные пускорегулирующие аппараты (УБК и АБК). ПРА подразделяются на классы, отличающиеся режимом пуска люминесцентных ламп: ПРА импульсивного зажигания с предварительным подогревом электродов, ПРА горячего зажигания с постоянным подогревом электродов, ПРА хо-лодного (мгновенного) зажигания. Потери мощности в ПРА стартерного зажигания составляют 20...25 % мощности лампы, в схемах быстрого зажигания 30...35 %. Стоимость бесстартерных ПРА в 1,5...2 раза выше стартерных, но эти недостатки окупаются за счет их большой надежности, некоторого увеличения срока службы ламп в результате созда-

ния благоприятных пусковых режимов в ПРА с постоянным подогревом электродов и, как следствие, меньших эксплуатационных затрат. ПРА мгновенного зажигания эксплуатационных преимуществ не имеют.

Осциллограмма напряжений и тока на лампе при включении индуктивного балласта приведена на рис. 3.2.

Напряжение питающей сети, изменяющееся с промышленной частотой  $f = 50$  Гц,  $2f$  (100) раз в секунду изменяет свою полярность. С такой же частотой (т. е. двойной промышленной) будет повторно зажигаться (перезажигаться) люминесцентная лампа. Длительность бестоковых пауз определяется как изменением мгновенного значения напряжения, так и видом балластного сопротивления

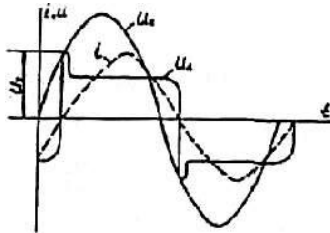


Рис. 3.2. Осциллограмма напряжений и тока на лампе с индуктивным балластом:  $U_c$  - напряжение сети;  $U_l$  - напряжение на лампе;  $i$  - ток лампы;  $U_z$  - напряжение зажигания

Коэффициент мощности "лампа - ПРА" определяется:

$$\cos \varphi = \frac{P_l + P_b}{U_c \cdot I} \quad (3.1)$$

где  $P_l$  и  $P_b$  - мощности, потребляемые соответственно лампой и балластом, Вт;

$U_c$  - напряжение питающей сети, В;

$I$  - ток лампы (комплекта), А.

При любом виде балластного сопротивления сдвиг по фазе между напряжением на лампе и ее током практически отсутствует. Но искажение формы кривых тока и напряжения на лампе приводит к тому, что истинная (кажущаяся) мощность будет больше активной мощности (замеренной ваттметром) и будет зависеть от величины коэффициента искажения, который определяется:

$$K_{иск} = \frac{P_a}{U_a \cdot I} \quad (3.2)$$

где  $U_a$  - напряжение на лампе, В.

Величина коэффициента искажения зависит также и от величины паузы тока. Анализируя выражения (3.1) и (3.2), можно сделать вывод, что  $\cos \varphi$  - это коэффициент мощности комплекта, а  $K_{иск}$  - коэффициент мощности лампы. Обычно  $\cos \varphi = 0,4...0,9$ , а  $K_{иск} = 0,7...0,9$ .

Стабилизация разряда на переменном токе при помощи активного балласта осуществляется просто и дешево, но имеет ряд недостатков, которые ограничивают использование ее специальными случаями.

Осциллограммы тока и напряжений при использовании активного балласта представлены на рис. 3.3.

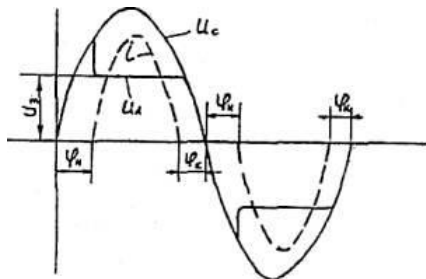


Рис. 3.3. Осциллограмма напряжений и тока при использовании активного балласта ( $\varphi_n$ ,  $\varphi_k$  - начальный и конечный угол сдвига тока лампы)

Как видно из осциллограммы, отсутствие сдвига фаз между током и напряжением приводит к паузам разрядного тока, которые могут достигать  $1/3$  периода. Наличие пауз существенно ухудшает показатели работы лампы и является причиной возникновения пульсаций светового потока и стробоскопического эффекта. Срок службы электродов уменьшается вследствие ускоренного распыления оксидного слоя и потери эмиссионных свойств. Особенно большим недостатком является большой расход электрической энергии в активном балласте, резко снижающий энергетические показатели работы схемы.

Стабилизация разряда при помощи емкостного балласта применяется редко. Как видно из осциллограммы (рис. 3.4), кривая тока приобретает чрезвычайно искаженную форму, срок службы электродов резко снижается, большие паузы, и всплески тока приводят к значительному снижению светотехнических показателей работы лампы.

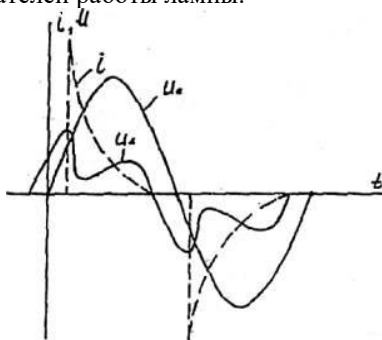


Рис. 3.4. Осциллограмма напряжений и тока при использовании емкостного балласта

Люминесцентные лампы при работе создают радиопомехи, которые распространяются как в пространстве, так и по проводам электрической цепи. Для ослабления помех, распространяемых в пространстве, до нормального допустимого уровня достаточно удалить комплект "лампа-ПРА" на расстояние до 3 м от радиоприемных устройств или точных приборов и включить конденсатор параллельно контактам стартера, а для предотвращения распространения помех по проводам необходимо включить конденсаторы между каждым проводом, питающим комплект, и землей.

### Методика выполнения работы

Для снятия основных характеристик люминесцентных ламп собирают схему, изображенную на рис. 3.5 и 3.6.

Для люминесцентной лампы мощностью 40 Вт в качестве индуктивного балласта используется дроссель УБИ-40, в качестве емкости C2 - конденсатор на 3,5 мкф.

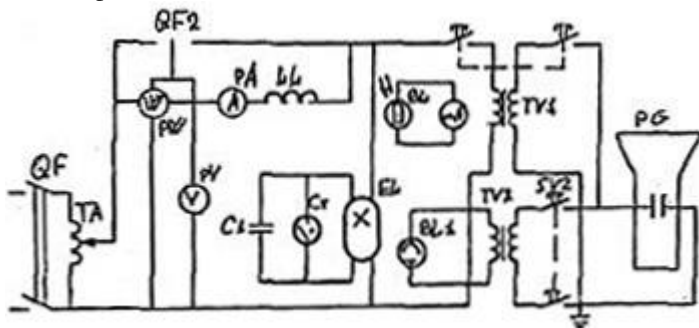


Рис. 3.5. Схема для снятия характеристик люминесцентной лампы с индуктивным балластом

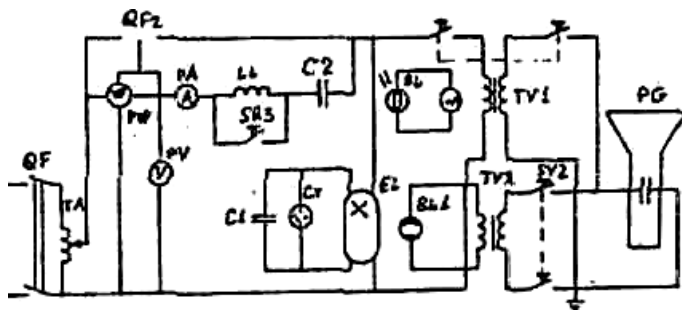


Рис. 3.6. Схема для снятия характеристик люминесцентной лампы

Схеме, изображенной на рис. 3.5, соответствует положение 1 переключателя QF1 (на стенде); схеме, изображенной на рис. 3.6, соответствует положение 2 переключателя QF1.

Исследование процесса пуска люминесцентной лампы на стенде сводится к следующему:

1) в схеме с индуктивным балластом (рис. 3.5) определяют напряжение зажигания газового разряда стартера  $U_{з.ст.}$ , поднимая автотрансформатором напряжение до зажигания стартера, затем убеждаются в том, что при номинальном (или близком к номинальному) режиме лампа загорается при 3-4 срабатываниях стартера;

2) в схеме с емкостным балластом (рис. 3.6) определяют те же величины, что и для схемы с индуктивным балластом;

3) кроме того, интересно проследить за работой лампы при чисто емкостном балласте, зашунтировав индуктивность кнопкой SB3. Длительная работа (более 10 с) в этом режиме не рекомендуется, так как катодное пятно, появляющееся в этом режиме на электроде, разрушает его.

Для снятия основных характеристик люминесцентной лампы при работе ее с различными балластами в цепи устанавливают автотрансформатором ток, номинальный для исследуемой лампы. Для измерения мощности используют однофазный ваттметр, токовая обмотка которого включена последовательно к переключателю QF2. Когда ключ QF2 находится в положении 1 - измеряются мощность и напряжение установки, когда он в положении 2 - измеряются мощность и напряжение лампы.

Результаты замеров заносят в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Вид балласта	Замерено						Вычислено				
	$U_c$ , В	$I$ , А	$P_l$ , Вт	$P_k$ , Вт	$U_l$ , В	$E_a$ , лк	$F$ , лм	$H_l$ , лм/Вт	$H_k$ , лм/Вт	$\cos \varphi$	$K_{иск}$

Оциллограммы копируют на кальку или снимают с них эскиз.

При измерении освещенности следует брать разность показаний люксметра при включенной и выключенной лампе.

По полученным данным вычисляют следующие величины для номинального по току режима:

а) световой поток (лм)

$$F = \frac{2\pi^2 h l E_A}{\left(\alpha + \frac{\sin 2\alpha}{2}\right) \cdot \cos^2 \gamma}, \quad (3.3)$$

где  $h$  - высота расположения светящейся линии над освещенной поверхностью (рис. 2.6);

$l$  - длина лампы, м;

$E_A$  - освещенность в исследуемой точке А;

$\alpha$  - угол, под которым видна светящаяся линия из точки расчета (в радианах);

- $\gamma$  - угол от светящейся линии до точки А;  
б) световая отдача лампы (лм/Вт)

$$H_a = \frac{F}{P_a} \quad (3.4)$$

- где  $P_a$  - мощность, потребляемая лампой, Вт;  
в) световая отдача комплекта "лампа-балласт" (лм/Вт)

$$H_a = \frac{F}{P_k}, \quad (3.5)$$

- где  $P_k$  - мощность комплекта "лампа-балласт", Вт;  
г) коэффициент мощности

$$\cos \varphi = \frac{P_k}{U_c \cdot I}, \quad (3.6)$$

- где  $I$  - ток в цепи комплекта "лампа-балласт". А;  
д) коэффициент искажения

$$K_{иск} = \frac{P_a}{U_a \cdot I}, \quad (3.7)$$

- где  $U_a$  - напряжение на лампе, В.

Рассчитанный световой поток  $F$  сравнивают с вычисленным с помощью люксметра:

$$F_{лк} = 4\pi E m^2, \quad (3.8)$$

- где  $E$  - освещенность, регистрируемая люксметром, лк;  
 $m$  - расстояние до лампы, м.

### Контрольные вопросы

1. Перечислить достоинства и недостатки люминесцентных ламп с активным и индуктивным балластами.
2. Каково назначение балластного сопротивления в схемах включения газоразрядных ламп?
3. Как влияет на работу схемы включения люминесцентных ламп величина сопротивления балласта?
4. Возможно ли иметь лампу газового разряда, работающую без балласта?
5. Перечислите способы получения импульса повышенного напряжения для зажигания люминесцентной лампы.
6. Опишите схему стартера с тлеющим разрядом.
7. Каково напряжение зажигания люминесцентных ламп и от чего оно зависит?
8. Перечислите способы снижения напряжения зажигания.
9. Чем объяснить, что в установках с чисто емкостным балластом люминесцентная лампа работать не может?
10. В каких установках выгодно применять в качестве балласта лампы накаливания и почему?



11. Как влияет балласт на пульсацию светового потока люминесцентной лампы?

12. Что понимают под коэффициентом искажения? Дайте его физическое толкование.

13. Как влияет балласт на коэффициент искажения?

### **Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Электрические (принципиальные) схемы проведения эксперимента (рис. 3.5 или 3.6).
3. Таблицы технических (паспортных) характеристик ламп с балластами и приборов, используемых в работе.
4. Таблица результатов измерений и расчетных величин.
5. Осциллограммы токов и напряжений на лампе с различными балластами.
6. Выводы по работе.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4**

### **Исследование дуговой ртутной люминесцентной лампы высокого давления типа ДРЛ**

**Цель работы:** изучение устройства лампы типа ДРЛ, электрической схемы и аппаратуры для включения ее в сеть. Исследование процессов зажигания и принципа действия лампы.

#### **Программа работы**

1. Изучить устройство, принцип действия и основные характеристики лампы ДРЛ, аппаратуры для включения ее в сеть и работу электрической схемы.
2. Исследовать процесс разгорания лампы ДРЛ.
3. Снять вольт-амперную характеристику лампы.
4. Установить основные зависимости основных параметров лампы от напряжения питания.
5. Составить отчет о работе.

#### **Краткие теоретические сведения**

Лампа ДРЛ – это светотехническое устройство предназначенное для искусственного освещения. Такие лампы работают по принципу газового разряда в парах ртути, помещенных в замкнутую колбу. Источники света данного типа относятся к категории ртутных газоразрядных ламп.

Аббревиатура ДРЛ расшифровывается следующим образом: «Д» — зажигание источника света происходит под воздействием электрической дуги, возникающей при подаче напряжения на контакты прибора. Устойчи-

вость его работы обеспечивается посредством использования дросселя, ограничивающего значения рабочего тока в заданных пределах; «Р» — в конструкции лампы используется ртуть, в парах которой осуществляется работа устройства; «Л» — работа источника света обеспечивается за счет преобразования ультрафиолетового свечения в видимый спектр излучения при помощи люминофора, обеспечивающего процесс люминесценции.

Как и прочие типы газоразрядных ламп, источники света серии ДРЛ (рис. 4.1) состоят из трех основных конструктивных элементов: стеклянная колба, выполненная из жаропрочного стекла; цоколь — элемент, оснащенный резьбовым соединением, которое обеспечивает крепление лампы в патроне светильника и контакт токоведущих частей лампы с внешней электрической сетью; горелка, выполненная в виде трубки. Она изготовлена из кварцевого стекла, внутри нее размещены основной и дополнительный электроды, а также ограничительный резистор.

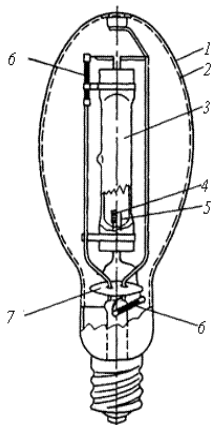


Рис. 4.1. Лампа типа ДРЛ (в разрезе): 1 — внешняя стеклянная колба; 2 — слой люминофора; 3 — разрядная трубка из прозрачного кварцевого стекла; 4 — рабочий электрод; 5 — зажигающий электрод; 6 — ограничительные резисторы в цепи зажигающих электродов; 7 — экран

Из колбы прибора откачан воздух и закачан азот, а на внутреннюю поверхность нанесен слой люминофора. Во внутреннее пространство горелки, являющейся разрядной трубкой, закачан инертный газ (аргон) и помещена ртуть в виде капельки или нанесенного на ее стенки и (или) электроды налета. В зависимости от электрической мощности лампы данной серии выпускаются с цоколем E27 и E40, что определяет возможности их использования с тем или иным светильником.

После включения лампы ДРЛ в электрическую сеть осуществляется подача напряжения на токоведущие части лампы, размещенные в цоколе.

По электрической цепи напряжение поступает на электроды, смонтированные в горелке, вследствие чего между ними появляется тлеющий разряд. Это обусловлено образованием дополнительных свободных электронов и ионов на их поверхности. По мере накопления электронов и ионов происходит нагрев внутреннего пространства газоразрядной трубки, и ртуть начинает испаряться. Тем самым обеспечивается режим разряда между электродами, переходящего из состояния тлеющего в дуговой. По мере увеличения количества паров ртути усиливается яркость дугового разряда. При нормальных условиях эксплуатации время выхода источника света на заявленные технические показатели составляет 4,0–5,0 минут.

В промышленности выпускаются ртутные лампы серии ДРЛ в нескольких модификациях, различающиеся по техническим характеристикам и условиям эксплуатации: ДРЛ – стандартная модификация, имеющая ряд недостатков, из которых наиболее негативными являются следующие: высокая степень нагрева во время использования, чувствительность к скачкам напряжения в электрической сети, продолжительный период времени для выхода на оптимальный режим работы. ДРВ (ДРВЭД) – дуговая ртутная вольфрамовая и эритемная вольфрамовая лампа. Их отличительными чертами являются: запуск в работу без использования дросселя и повышенные показатели по световому излучению. ДРЛФ – усовершенствованная модель стандартной лампы высокого давления, в которой внутренняя поверхность колбы покрыта отражающим материалом, что улучшает технические характеристики по сравнению с исходной модификацией.

Достоинства ламп ДРЛ:

- достаточно высокая световая отдача;
- большой срок службы;
- компактность;
- широкий диапазон мощностей;
- очень слабая зависимость параметров от температуры окружающей среды.

Недостатки ламп ДРЛ:

- низкое качество цветопередачи;
- большие пульсации светового потока (65—75 %). (Для предотвращения возникновения стробоскопического эффекта в помещении необходимо включать соседние светильники с лампами ДРЛ в разные фазы);
- большое время разгорания (до 10 мин);
- повторное включение лампы возможно только после остывания горелки;
- высокая температура на внешней колбе (250—300 °С).

Лампы ДРЛ применяются там, где не требуется хорошее качество цветопередачи:

- для наружного освещения;

- для освещения производственных помещений и складов с высотой установки светильников более 6 м;
- для архитектурного освещения фасадов зданий.

### Методика выполнения работы

Устройство, принцип действия и основные характеристики ламп ДРЛ, их пускорегулирующей аппаратуры и схем включения можно изучить по приведенной литературе.

Ознакомиться с лабораторным стендом для исследования ламп типа ДРЛ и по рис. 4.2 собрать электрическую схему для проведения опытов.

По этой схеме записать технические данные входящих в нее приборов и аппаратуры. Включить схему на номинальное напряжение сети. Лампа начнет разгораться. Через каждые 30 с и до установившегося режима, характеризующегося установившимися значениями, прежде всего тока и напряжения на лампе, необходимо измерять ток лампы  $I_{EL}$ , мощность схемы  $P_{сх}$  и мощность лампы  $P_{EL}$ , напряжение на лампе  $U_{EL}$  напряжение на балласте  $U_L$  и освещенность  $E$ . Освещенность измеряют люксметром в точке, лежащей на перпендикуляре к оси лампы, проведенном через ее центр. Расстояние точки от лампы должно быть 1 м. Освещенность определяют как разность показаний люксметра при включенной и выключенной лампе.

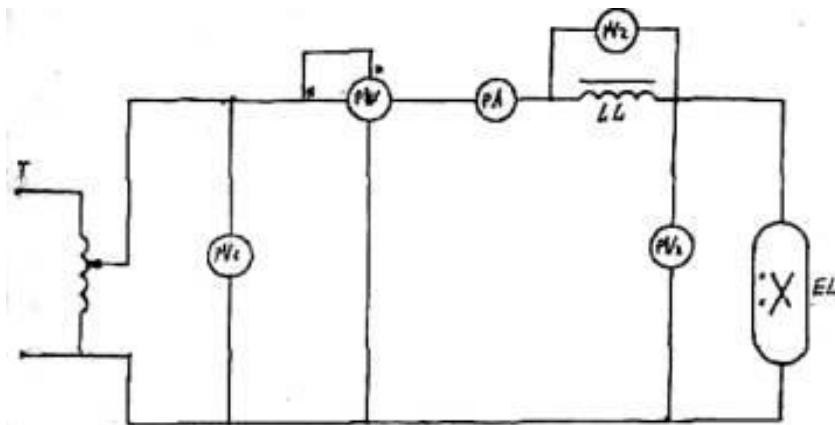


Рис. 4.2. Схема для снятия характеристик лампы типа ДРЛ

Поскольку напряжение на лампе при разгорании изменяется от 15...20 до 120...130 В, то для повышения точности измерений этого напряжения в схеме следует использовать два вольтметра: один постоянно включенный на напряжение 250 В, другой - на напряжение 60 В, с ключом или кнопкой **SB** для подключения его на момент измерений. Результаты измерений занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Номер измерения	Опытные данные							Расчётные данные			
	t, с	I, А	P <sub>сх</sub> , Вт	P <sub>EL</sub> , Вт	U <sub>EL</sub> , В	U <sub>L</sub> , В	E, лк	Φ, лм	S, ВА	Q, вар	cos φ, о.е.

По данным таблицы рассчитывается световой поток лампы  $F$ , полная  $S$  и реактивная  $Q$  мощности и коэффициент мощности схемы  $\cos \varphi$ . Значение светового потока лампы определяют по соотношению

$$F = E \Phi F_{\text{н}} / E_{\text{н}}; \quad F_{\text{ик}} = E_{\text{ик}} F_{\text{ик}} / E_{\text{икн}} \quad (4.1)$$

Номинальный ток исследуемой лампы берём из справочных данных [1]. Все приведенные в таблице 4.1 значения следует пересчитать в относительные единицы.

По табл. 4.1 построить графики изменения параметров лампы за время ее разгорания.

Для снятия вольтамперных характеристик необходимо снижать лабораторным автотрансформатором напряжение подаваемое на лампу от максимально возможного в лабораторной схеме исследуемой лампы до ее погасания. Измерения следует проводить через 0,2 или 0,1 А. Показания амперметра и вольтметра занести в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Параметры схемы	Значения параметров
$I_{EL}$ , F	
$U_{EL}$ , В	
$U_L$ , В	

По данным табл. 4.2 построить статистические вольтамперные характеристики лампы и балластного сопротивления и дать объяснение вида этих зависимостей.

После повторного разгорания лампы, снижая напряжение на зажимах схемы от 250 В степенями по 10 В, снять зависимости параметров от напряжения питания. Результаты измерений занести в табл. 4.3.

Таблица 4.3.

Номер измерения	$U_{cx}$		$I_{EL}$		$P_{cx}$		$P_{EL}$		$U_{EL}$		$U_L$		$E$		$F_{EL}$	
	В	о.е.	А	о.е.	Вт	о.е.	Вт	о.е.	В	о.е.	В	о.е.	лк	о.е.	лм	о.е.

По табл. 4.3 построить зависимости параметров лампы от напряжения на зажимах схемы и дать объяснение их изменений.

### Контрольные вопросы

1. Перечислить достоинства и недостатки ламп ДРЛ.
2. Пояснить конструктивные особенности лампы ДРЛ.
3. Каково назначение балласта в схеме питающей сети для лампы ДРЛ.
4. Пояснить почему лампа ДРЛ после кратковременного исчезновения

напряжения в питающей сети при его восстановлении запускается с значительной временной задержкой.

5. Чем различаются лампы ДРЛ, компактные люминесцентные и линейные люминесцентные лампы?

### **Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Электрическая (принципиальная) схема для проведения эксперимента (рис. 4.2).
3. Таблицы технических (паспортных) характеристик ламп с балластами и приборов, используемых в работе.
4. Таблицы с результатами измерений и расчетными величинами (табл. 4.1, 4.2 и 4.3).
5. Выводы по работе.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Ляпин, В.Г. Проектирование и энергоаудит электрического освещения: учебное пособие / В.Г. Ляпин. – Новосибирск: Новосиб. гос. аграр. ун-т, 2001. – 230 с.
2. Гвоздев, С.М. Энергоэффективное электрическое освещение: учебное пособие / С.М. Гвоздев, Д.И. Панфилов, Т.К. Романова и др.; под ред. Л.П. Варфаломеева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013. – 288 с.
3. Варфаломеев, Л.П. Светотехника. Краткое справочное пособие / Л.П. Варфаломеев. – М.: Световые технологии, 2004. – 128 с.
4. Баев, В.И. Практикум по электрическому освещению и облучению / В.И. Баев. – М.: КолосС, 2008. – 191 с.
5. Сибикин, Ю.Д. Технология энергосбережения. Учебник (ГРИФ) // Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. – М.: ИНФРА-М: ФОРУМ, 2010. – 352 с.
6. Баранов, Л.А. Светотехника и электротехнология / Л.А. Баранов, В.А. Захаров. – М.: КолосС, 2008. – 344 с.
7. Щеглов, И.П. Светотехника и электротехнологии: метод. указания для выполнения лабораторных работ № 1, 2, 3 / Новосиб. гос. аграр. ун-т; Инженер. ин-т; сост.: И.П. Щеглов, В.Г. Ляпин, С.А. Никонов, Д.С. Болотов. – Новосибирск, 2017. – 34 с.
8. Болотов, Д.С. Светотехника и электротехнологии: метод. указания для выполнения лабораторных работ № 1, 2, 3, 4 / Новосиб. гос. аграр. ун-т; Инженер. ин-т; сост.: Д.С. Болотов, В.Г. Ляпин, С.А. Никонов, Д.С. Болотов. – Новосибирск, 2019. – 38 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОСТИ .....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1.....	5
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2.....	12
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3. ....	23
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4. ....	33
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	38

Авторы:  
Болотов Денис Сергеевич  
Ляпин Виктор Григорьевич  
Никонов Сергей Александрович

## **СВЕТОТЕХНИКА**

### **Методические указания для выполнения лабораторных работ № 1, 2, 3, 4**

Редактор Н.К. Крупина  
Компьютерная верстка

Подписано к печати 20\_\_ г.  
Объем 2,1 уч.-изд.л., усл. печ. л. Формат 60×84<sup>1/16</sup>  
Тираж 100 экз. Изд. № Заказ №

Отпечатано в издательстве Новосибирского ГАУ  
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160