

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра электроснабжения горных и промышленных предприятий

Составитель
В. В. Шурупов

МОНТАЖ И НАЛАДКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

**Методические указания к лабораторным занятиям
для студентов всех форм обучения**

Рекомендованы учебно-методической комиссией направления
13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» в качестве
электронного издания для использования в учебном процессе

Кемерово 2016

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Захаров С. А. – заведующий кафедрой электроснабжения горных и промышленных предприятий

Семыкина И. Ю. – председатель учебно-методической комиссии направления подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Шурупов Виктор Владимирович

Монтаж и наладка электрооборудования: методические указания к лабораторным занятиям [Электронный ресурс] для студентов направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», образовательная программа «Электроснабжение», всех форм обучения / сост.: В. В. Шурупов; КузГТУ. – Кемерово, 2016. – Систем. требования: PentiumIV; ОЗУ 32 Мб; Windows XP; мышь. – Загл. с экрана.

Составлено в соответствии с программой дисциплины «Монтаж и наладка электрооборудования» и предназначено для проведения лабораторных занятий.

© КузГТУ, 2016
© Шурупов В. В.,
составление, 2016

Содержание

Тема № 1. Измерение сопротивления изоляции обмоток электродвигателей.....	3
Тема № 2. Исследование правильности выполнения внутренних соединений машин переменного тока.....	11
Тема № 3. Испытание электрической прочности междувитковой изоляции обмоток электродвигателей переменного тока.....	16
Тема № 4. Определение температуры обмоток двигателя переменного тока по их сопротивлению.....	21
Тема № 5. Определение температуры обмоток электродвигателя постоянного тока по их сопротивлению.....	31
Тема № 6. Исследование работы люминесцентных ламп.....	36
Тема № 7. Исследование работы светодиодных источников света.....	51

Тема № 1. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Цель работы – научиться измерять сопротивление изоляции обмоток электродвигателей.

Методические указания

Перед началом занятия ознакомиться с теоретическими положениями, подготовить ответы на контрольные вопросы.

1.1. Краткие теоретические сведения

Изоляция обмоток электродвигателя – неидеальный изолятор. При соединении проводников с сетью через изоляцию на корпус проходит электрический ток. Но этот ток очень мал, так как сопротивление изоляции достигает миллионов омов. Ток через изоляцию не превышает десятых долей миллиампера в машинах низкого напряжения и нескольких миллиампер в машинах высокого напряжения. Измерение сопротивления изоляции обмоток электрических машин входит в программу контрольных операций по проверке качества их обмоток.

На рис. 1.1 показано устройство асинхронного двигателя.



Рис. 1.1. Асинхронный электродвигатель в разрезе

Методика измерения сопротивления изоляции

Требования безопасности

1. Измерения мегаомметром разрешается выполнять обученным лицам из электротехнического персонала. В установках напряжением выше 1000 В измерения производят по наряду два лица, одно из которых должно иметь по электробезопасности не ниже IV группы. Проведение измерений в процессе монтажа или ремонта оговаривается в наряде в строке «Поручается». В установках напряжением до 1000 В измерения выполняют по распоряжению два лица, одно из которых должно иметь группу не ниже III.

2. Перед началом испытаний необходимо убедиться в отсутствии людей, работающих на той части электроустановки, к которой присоединен испытательный прибор, запретить находящимся вблизи него лицам прикасаться к токоведущим частям и, если нужно, выставить охрану.

3. Для контроля состояния изоляции электрических машин в соответствии с методическими указаниями или программами измерения мегаомметром на остановленной или вращающейся, но не возбужденной машине, могут проводиться оперативным персоналом или, по его распоряжению, в порядке текущей эксплуатации работниками электролаборатории. Под наблюдением оперативного персонала эти измерения могут выполняться и ремонтным персоналом. Испытания изоляции роторов, якорей и цепей возбуждения может проводить одно лицо с группой по электробезопасности не ниже III, испытания изоляции статора – не менее чем два лица, одно из которых должно иметь группу не ниже IV, а второе – не ниже III.

4. При работе с мегаомметром прикасаться к токоведущим частям, к которым он присоединен, запрещается. После окончания работы необходимо снять остаточный заряд с проверяемого оборудования посредством его кратковременного заземления. Лицо, производящее снятие остаточного заряда, должно пользоваться диэлектрическими перчатками и стоять на изолированном основании.

Измерение сопротивления изоляции мегаомметром осу-

ществляется на отключенных токоведущих частях, с которых снят заряд путем предварительного их заземления. Заземление с токоведущих частей следует снимать только после подключения мегаомметра. При снятии заземления необходимо пользоваться диэлектрическими перчатками.

Проведение измерений

Сопротивление изоляции измеряют мегаомметрами (100–2500 В) со значениями измеренных показателей в омах (Ом), килоомах (кОм) и мегаомах (Мом).

Средства измерений: к средствам измерения изоляции относятся мегаомметры – ЭСО 202, Ф4100, М4100/1-М4100/5, М4107/1, М4107/2, Ф4101, Ф4102/1, Ф4102/2, ВМ200/Г и другие, выпускаемые отечественными и зарубежными фирмами.

Требования к квалификации

К выполнению измерений сопротивления изоляции допускается обученный электротехнический персонал, имеющий удостоверение о проверке знаний и квалификационную группу по электробезопасности не ниже 3-й, при выполнении измерений в установках до 1000 В, и не ниже 4-й, при измерении в установках выше 1000 В.

Мегаомметр

Мегаомметр представляет собой переносной генератор постоянного тока, смонтированный вместе с измерительной системой.

Правила использования мегаомметра

Существуют мегаомметры на напряжения 500, 1000 и 2500 В. Генератор мегаомметра вращают вручную с помощью его рукоятки, соединенной через повышающий редуктор с валом генератора. Для проведения измерений выводной конец уложенной в машину обмотки соединяют с одним зажимом прибора, а корпус машины – со вторым зажимом и начинают вращать рукоятку.

Чтобы на зажимах мегаомметра генерировалось напряжение, указанное в его паспортных данных, частота вращения ручки должна быть не менее указанной на его щитке (обычно 120 об/мин). При меньшей частоте вращения напряжение будет меньше, а при большей центробежный регулятор прибора отсоединит редуктор от вала генератора и напряжение не поднимется выше номинального.

Во время проведения измерений стрелка прибора не сразу останавливается в каком-то определенном положении. Сначала она показывает меньшее сопротивление, постепенно показания увеличиваются и стрелка устанавливается на цифре, определяющей сопротивление изоляции обмотки относительно корпуса. Постепенный подход стрелки к установившемуся значению объясняется тем, что в первые моменты времени в изоляции возникают поляризационные токи, происходит зарядка своеобразного конденсатора, обкладками которого являются проводники обмотки и сталь магнитопровода, а диэлектриком – изоляции обмотки. Эти токи постепенно уменьшаются, и после их прекращения остается так называемый сквозной ток утечки, который и характеризует сопротивление изоляции. Поэтому окончательные результаты измерения получают спустя минуту после начала вращения рукоятки мегаомметра. Записывают также показания через 15 с после измерений. По отношению этих показаний (через 15 с и 60 с) можно судить о способности изоляции воспринимать заряд. При влажной изоляции эти показания почти одинаковы, при сухой установившееся значение на 30-50 % больше промежуточного. Отношение показаний R_{60}/R_{15} называют **коэффициентом абсорбции**, его значение характеризует степень увлажнения изоляции.

Коэффициент абсорбции

Коэффициент абсорбции определяет увлажнение изоляции. Коэффициент абсорбции – это отношение измеренного сопротивления изоляции через 60 секунд после приложения напряжения мегаомметра (R_{60}) к измеряемому сопротивлению изоляции через 15 секунд (R_{15}). Если изоляция сухая, то коэффициент абсорбции намного больше единицы, а увлажненной изоляции ко-

ээффициент абсорбции близок к единице. Значение коэффициента абсорбции должно отличаться (в сторону уменьшения) от заводских данных не более, чем на 20 %, а его значение должно быть не ниже 1,3 при температуре 10–30 °С. При невыполнении этих условий изделие подлежит сушке.

Все время, пока проводится измерение, т. е. не менее одной минуты, рукоятку мегаомметра необходимо вращать с частотой не менее 120 об/мин. Рукоятка вращается с большим моментом сопротивления, так как она соединена с редуктором, имеющим высокое передаточное отношение. Поэтому измерения можно проводить только вдвоем: один человек вращает рукоятку, другой отмечает показания прибора. Для облегчения работы выпускают мегаомметры с электрическим приводом, в которых вместо рукоятки и редуктора установлен электрический двигатель с нужной частотой вращения. Такие мегаомметры удобней, но для них необходимо подводить напряжение к месту измерений, что вызывает дополнительные затруднения, особенно при измерении сопротивления изоляции машин, установленных на рабочих местах.

Требования к сопротивлению изоляции обмоток

Допустимые нормы сопротивления изоляции указывают в технических условиях или ГОСТ на каждые типы машин.

Сопротивление изоляции обмоток электрической машины (r , МОм) относительно ее корпуса и между обмотками при рабочей температуре машины должно быть не менее значения, получаемого по формуле (но не менее 0,5 МОм)

$$R = \frac{U_n}{1000 + (P_n / 100)},$$

где U_n – номинальное напряжение обмотки машины, В; P_n – номинальная мощность машины, кВт·А, а для машин постоянного тока – кВт.

Для измерения сопротивления изоляции обмоток, номинальное напряжение которых составляет 127–660 В, можно пользоваться только мегаомметром с напряжением 1000 В, так как при применении мегаомметра на напряжение 2500 В изоляция может быть пробита. Для обмоток с напряжением, меньшим

127 В, пользуются только мегаомметром на 500 В, для обмоток с номинальным напряжением 3000 В и более – мегаомметром на 2500 В, так как мегаомметры на более низкое напряжение будут показывать большое сопротивление изоляции. В связи с этим часто для измерений сопротивления изоляции нескольких обмоток одной и той же машины, имеющих разные номинальные напряжения, приходится использовать различные приборы. Так, например, сопротивление изоляции обмоток статора синхронного генератора с номинальным напряжением 6000 В измеряют мегаомметром с напряжением 2500 В, а сопротивление изоляции обмотки возбуждения той же машины – мегаомметром на 1000 или 500 В в зависимости от номинального напряжения обмотки возбуждения.

Расчетной рабочей температурой называется температура, к которой приводятся сопротивления обмоток электрической машины при подсчете потерь в ней. Она принимается равной 75 °С для обмоток, предельные допустимые превышения температуры которых соответствуют классам нагревостойкости А, Е, В;

115 °С – для обмоток, предельные допустимые превышения температуры которых соответствуют классам нагревостойкости F, H.

В случае измерения сопротивления изоляции при температуре ниже расчетной полученное по этой формуле сопротивление изоляции следует удваивать на каждые 20 °С (полные и неполные) разности между рабочей температурой и той температурой, при которой выполнено измерение.

Необходимо учесть, что для получения правильных показаний мегаомметра следует устранять остаточные заряды обмотки путем заземления на несколько минут перед каждым измерением.

Методы измерения сопротивления изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками, а также методы измерения сопротивлений обмоток установлены ГОСТ 11828-75.

Необходимо отметить, что по данным измерений сопротивления изоляции обмоток нельзя окончательно судить о ее качестве, так как сопротивление сухой изоляции будет высоким даже при наличии в ней слабых в электрическом отношении мест – небольших трещин, вспучивании и т. п.

Сопротивление изоляции изолированных деталей

В процессе изготовления электрической машины измеряют не только сопротивление изоляции обмоток, но и всех изолированных деталей относительно корпуса: изоляции коллектора, контактных колец, щеточных болтов и др.

1.2. Порядок проведения лабораторной работы

1. Получить инструктаж преподавателя о мерах безопасности при работе с мегаомметром, с записью в журнале по ТБ.
2. Подготовить рабочее место для проведения испытаний изоляции обмоток асинхронного электродвигателя.
3. Произвести измерение изоляции обмоток асинхронного электродвигателя с фиксацией результатов измерений.
4. Определить коэффициент абсорбции изоляции обмоток данного асинхронного электродвигателя.
5. Составить заключение о допустимости включения данного электродвигателя в работу.

Контрольные вопросы

1. Какие правила безопасности следует соблюдать при работе с мегаомметром?
2. В чем физическая суть коэффициента абсорбции?
3. При увеличении влажности обмоток как изменяется коэффициент абсорбции?
4. Какое минимальное сопротивление изоляции обмоток электродвигателей?
5. Почему для измерений сопротивлений изоляции статора и ротора применяют разные мегаомметры?
6. Что такое расчетная температура обмоток электродвигателей?
7. Что необходимо делать с результатами измерений сопротивления обмоток, если измерения производятся не при расчетной температуре?
8. Для чего необходимо заземлять обмотки электродвигателя перед каждым измерением?

9. Можно ли окончательно судить о состоянии изоляции обмоток электродвигателя по результатам измерений сопротивления изоляции?

10. Мегаомметр – генератор постоянного или переменного тока?

Список использованной литературы

1. Полуянович, Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 140610 направления подготовки 140600 – «Электротехника, электромеханика и электротехнологии». – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 400 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2767

2. Михеев, Г. М. Электростанции и электрические сети: диагностика и контроль электрооборудования. – Москва : Додэка-XXI, 2010. – 224 с.

3. Объем и нормы испытаний электрооборудования [Электронный ресурс] : РД 34.45-51.300-97 / РАО «ЕЭС России». – Новосибирск : Сибирское университетское издательство, 2008. – 240 с. <http://www.biblioclub.ru/book/57318/>

Тема № 2. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРАВИЛЬНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ВНУТРЕННИХ СОЕДИНЕНИЙ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы – изучить метод определения выполнения внутренних соединений машин переменного тока.

Методические указания

При самостоятельной подготовке к лабораторной работе необходимо предварительно ознакомиться со схемами соединения обмоток статора электродвигателей.

По итогам самостоятельной подготовки составляется отчет, который должен содержать ответы на контрольные вопросы. Защита лабораторной работы оценивается дифференциально и учитывается при контроле знаний на экзамене.

2.1. Краткие теоретические сведения

В собранных электродвигателях как после монтажа, так и после ремонта неисправности в обмотке статора обычно появляются при включении двигателя на обкаточном стенде. Все вновь отремонтированные двигатели должны иметь такое же обозначение (маркировку выводов) обмотки, как новые.

Маркировка концов обмотки статора трехфазных асинхронных двигателей в соответствии с ГОСТ 183-74 приведена в табл. 2.1.

Обозначения выводов обмотки электрических машин наносят непосредственно на кабельных наконечниках, на шинных концах, на специальных обжимах, плотно закрепленных на проводах обмоток, или на вводной колонке рядом с выводами. В малых электрических машинах, где буквенные обозначения выводов наносить трудно, применяют обозначения выводов разноцветными проводами. Цвета проводов выводов приведены в табл. 2.2.

При эксплуатации бывают случаи, когда обозначения выводов обмотки неясны и их надо определить опытным путем.

Обмотки машин трехфазного переменного тока могут быть соединены в звезду или треугольник. Концы обмоток соединяют либо наглухо внутри машины, либо снаружи на панели зажимов.

Таблица 2.1

Обозначение выводов обмоток машин переменного тока
по ГОСТ 183-66

Схема соединения обмоток статора	Число выводов	Наименование выводов	Обозначение выводов	
			С1	С4
Внешнее соединение в звезду и треугольник	6	Первая фаза	С1	С4
		Вторая фаза	С2	С5
		Третья фаза	С3	С6
Внутреннее соединение в звезду	3 или 4	Первая фаза	С1	—
		Вторая фаза	С2	—
		Третья фаза	С3	—
		Нулевая фаза	0	—
Внутреннее соединение в треугольник		Первая фаза	С1	—
		Вторая фаза	С2	—
		Третья фаза	С3	—

Таблица 2.2

Цвет проводов выводов
для трехфазных асинхронных электрических машин

Схема соединения обмотки	Число выводов	Вид вывода	Цвет вывода	
			Начало	Конец
Открытая схема	6	Первая фаза	Желтый	Желтый с черным
		Вторая фаза	Зеленый	Зеленый с черным
		Третья фаза	Красный	Красный с черным
Соединение звездой	3 или 4	Первая фаза	Желтый	
		Вторая фаза	Зеленый	
		Третья фаза	Красный	
		Нулевая фаза	Черный	
Соединение треугольником	3	Первая фаза	Желтый	
		Вторая фаза	Зеленый	
		Третья фаза	Красный	

Проверка правильности соединений выводов трехфазных обмоток сводится к определению начал и концов каждой фазы.

Прежде чем определять начала и концы обмоток, необходимо найти выводы каждой фазы «прозвонкой».

Затем соединяют концы обмоток, например, в звезду.

При определении начал и концов обмоток способом вольтметра и источника переменного тока пониженного напряжения – соединяют последовательно какие-либо две фазы и пропускают по ним ток пониженного напряжения (например 36 В). Для контроля силы тока, которая не должна превышать номинальную, включают амперметр. К третьей фазе подключают вольтметр или лампу накаливания.

Если включенные две фазы соединены неправильно, т. е. разноименными концами, то вольтметр покажет почти полное напряжение. Если концы одной из двух последовательно соединенных обмоток поменять местами, то соединение будет правильным и вольтметр на третьей фазе покажет незначительное напряжение близкое к нулю. После этого нужно определить начало и конец третьей фазы. Для этого к одной из фаз, начало и конец которой уже определены, присоединяют последовательно третью фазу, начало и конец которой еще не установлены.

Опыт следует произвести два раза, каждый раз подводя напряжение к различной паре выводов. Этот опыт для короткозамкнутого асинхронного двигателя следует проводить при напряжении $(0,3 \dots 0,5)U_n$ во избежание перегрева обмоток; при фазном роторе его обмотка должна быть разомкнута.

2.2. Порядок проведения лабораторной работы

1. Получить инструктаж преподавателя о мерах безопасности при работе с мегаомметром, с записью в журнале по ТБ.
2. Подготовить рабочее место для определения полярности обмоток асинхронного электродвигателя.
3. Прозвонкой определить пары концов обмоток.
4. Собрать схему для определения начала и конца двух обмоток.
5. По показаниям вольтметра определить правильность /неправильность (начало, конец) соединения испытываемых обмоток. Обозначить концы обмоток в соответствии с ГОСТ.

6. Собрать схему для определения начала и конца оставшейся обмотки.
7. Определить и обозначить начало и конец третьей обмотки.
8. Составить отчет о проведенной работе.

Контрольные вопросы

1. С помощью каких приборов производят определение полярности обмоток электродвигателей?
2. Что такое «прозвонка» обмоток, для чего она проводится?
3. Нарисуйте векторную диаграмму фазных напряжений при правильном и неправильном соединении обмоток при соединении обмоток в звезду и треугольник.
4. Нужно ли определять полярность обмоток при соединении обмоток в звезду и внутреннем соединении концов обмоток?
5. Сколько опытов необходимо произвести для определения полярности обмоток?
6. Какую величину напряжения необходимо подводить к обмоткам асинхронного двигателя при определении полярности обмоток?
7. Для чего в цепь измерений последовательно к обмоткам включается амперметр?
8. Каким образом должны соединяться концы и начала обмоток в схеме «звезда»?
9. Каким образом должны соединяться обмотки в схеме «треугольник»?
10. Как маркируются концы и начала обмоток в соответствии с ГОСТом?
11. В какой цвет окрашиваются выводы проводов трехфазных асинхронных двигателей?

Список использованной литературы

1. Полуянович, Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 140610 направления подготовки 140600 – «Электротехника, электромеханика и электротехнологии». – СПб. : Лань, 2012. – 400 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2767

2. Михеев, Г. М. Электростанции и электрические сети: диагностика и контроль электрооборудования. – Москва : Додэка-XXI, 2010. – 224 с.

3. Объем и нормы испытаний электрооборудования [Электронный ресурс] : РД 34.45-51.300-97 / РАО «ЕЭС России». – Новосибирск : Сибирское университетское издательство, 2008. – 240 с. <http://www.biblioclub.ru/book/57318/>

Тема № 3. ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ МЕЖДУВИТКОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Цель работы – научить учащихся проведению испытаний электрической прочности междувитковой изоляции обмоток.

Методические указания

При самостоятельной подготовке к лабораторной работе необходимо предварительно ознакомиться с видами испытаний электрической прочности междувитковой изоляции электродвигателей переменного тока.

По итогам самостоятельной подготовки составляется отчет, который должен содержать перечень видов испытаний и ответы на контрольные вопросы. Защита лабораторной работы оценивается дифференциально и учитывается при контроле знаний на экзамене.

3.1. Краткие теоретические сведения

В обмотках двигателей переменного тока замыкание между витками является одним из самых серьезных дефектов, обычно приводящих к выходу двигателя из строя.

Изоляция обмоток относительно корпуса машины и между обмотками должна выдерживать без повреждения в течение 1 мин испытательное напряжение частоты 50 Гц, практически синусоидальное.

Если в обмотке статора замкнуто небольшое число витков, это мало отразится на сопротивлении отдельных фаз, и разница их сопротивлений не будет превышать установленных по нормам 5 %. Между тем, короткозамкнутые витки при включении электродвигателя под напряжение будут являться как бы вторичной обмоткой трансформатора, и в них потечет очень большой ток, который вызовет сильный местный нагрев обмотки и сердечника статора. При этом будет нарушаться изоляция соседних витков, и они также будут замыкаться между собой. Поэтому в обмотках

переменного тока замыкание даже небольшого числа витков может привести к полному выходу обмотки электродвигателя из строя.

По наружному осмотру обычно невозможно распознать, имеются ли в катушках короткозамкнутые витки. Если число короткозамкнутых витков невелико, то это нельзя обнаружить измерением сопротивления при постоянном токе, так как такое замыкание мало отражается на значении сопротивления всей фазы. Изменение сопротивления фазы в этом случае может находиться в пределах допуска на отклонение значения сопротивления между фазами обмотки. Однако при включении двигателя под нагрузку короткозамкнутые витки будут вести себя как замкнутая накоротко вторичная обмотка трансформатора с малым сопротивлением. Вследствие относительно большого проходящего тока перегревается как сама обмотка, так и изоляция дефектных и прилегающих к ним витков.

Испытание междувитковой изоляции предусмотрено ГОСТ 183-74 для собранных двигателей и производится после испытания на повышенную частоту вращения (если это испытание должно производиться). К обмоткам двигателя подводится напряжение, на 30 % превышающее номинальное напряжение двигателя, и выдерживается 3 мин: у двигателей с фазным ротором – при разомкнутой обмотке ротора; у двигателей с короткозамкнутым ротором – при холостом ходе.

Если при напряжении 130 % ток холостого хода превышает номинальный, то длительность испытаний снижают до 1 мин.

У двигателей с разомкнутым и неподвижным фазным ротором при подведении к обмотке статора трехфазного напряжения испытывают одновременно междувитковую изоляцию обмоток статора и ротора. Однако у некоторых двигателей с фазным ротором и малым числом полюсов при таком испытании потребляемый ток намного превосходит номинальное значение, что вызывает опасное повышение температуры обмотки статора, бандажей и т. д. У таких машин допускается отдельное испытание междувитковой изоляции обмотки статора и ротора. Сначала производят испытания для обмотки статора при замкнутом накоротко и вращающемся роторе повышением подведенного напряжения к обмотке статора до 130 % от номинального, а затем – для обмот-

ки ротора (при разомкнутой обмотке ротора и вращении с номинальной частотой посторонним двигателем против направления вращения поля статора) подведением к обмотке статора напряжения, равного 65 % от номинального. При таком испытании наведенное в обмотке ротора напряжение будет составлять 130 % номинального.

Для уменьшения тока холостого хода при испытании междувитковой изоляции обмоток допускается одновременно с повышением напряжения на 30 % повышать и частоту текущего тока. Если испытание производят на вращающейся электрической машине, то повышение частоты не должно быть более чем на 15 %.

Следует помнить, что у крупных электрических машин с жесткими катушками при эксплуатации могут возникнуть значительно более высокие перенапряжения. Рекомендованное ГОСТ 183-74 испытание для таких двигателей не гарантирует надежность двигателя. Для таких двигателей обмотки до укладки в пазы испытываются импульсным напряжением высокой частоты (10–100 кГц) на основании ПТЭ.

Для испытания двигателей с номинальным напряжением до 110–127 В в качестве источника повышенного напряжения, достаточно использовать лабораторный автотрансформатор. В случае проведения испытаний двигателей с номинальным напряжением 220 В необходим также повышающий трансформатор с номинальным напряжением первичной обмотки 220 В и коэффициентом трансформации 1,5.

Мощность лабораторного автотрансформатора или регулятора напряжения, а также трансформатора, питающего двигатели, зависит от количества и мощности испытываемых двигателей. О значении тока при испытаниях можно судить по показаниям амперметра в цепи обмотки двигателя. В целях безопасного обслуживания стенда в схему могут быть введены блок-контакты в цепь вторичной обмотки трансформатора, которые включают цепь повышенного напряжения только в том случае, если двигатели ограждены от оператора специальной стеклянной дверцей. Схема для проведения испытания междувитковой изоляции двигателей постоянного тока отличается лишь введением выпрямительного блока во вторичную обмотку повышающего трансформатора. Наличие запаха паленой изоляции как правило безоши-

точно указывает на межвитковое замыкание.

3.2. Порядок проведения лабораторной работы

1. Получить инструктаж преподавателя о мерах безопасности при работе с лабораторным трансформатором, с записью в журнале по ТБ.

2. Подготовить рабочее место для проведения испытаний межвитковой изоляции электродвигателя.

Испытания производятся по схеме (рис. 3.1).

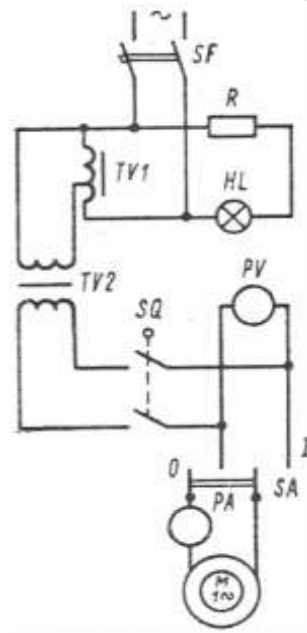


Рис. 3.1. Электрическая схема для проведения испытания

3. Провести испытание межвитковой изоляции электродвигателя.

4. Сделать заключение об исправности/неисправности межвитковой изоляции испытуемого электродвигателя.

5. Составить отчет о проведенной лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Почему не всегда измерением сопротивления изоляции можно определить межвитковые замыкания?

2. Каким образом при проведении испытаний можно убедиться в наличии межвитковых замыканий?

3. Чем отличаются испытания двигателей с короткозамкнутым ротором от испытаний двигателей с фазным ротором?
4. Какую цель преследуют испытания электрической прочности междувитковой изоляции?
5. Какое время испытаний устанавливает ГОСТ в зависимости от тока холостого хода?

Список использованной литературы

1. Полуянович, Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 140610 направления подготовки 140600 – «Электротехника, электромеханика и электротехнологии». – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 400 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2767

2. Объем и нормы испытаний электрооборудования [Электронный ресурс] : РД 34.45-51.300-97 / РАО «ЕЭС России». – Новосибирск : Сибирское университетское издательство, 2008. – 240 с.

<http://www.biblioclub.ru/book/57318/>

3. Нейштадт, Е. Т. Лабораторный практикум по предмету «Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования предприятий и установок» : учеб. пособие для уч-ся техникумов. – Москва : Высшая школа, 1991. – 111 с.

Тема № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБМОТОК ДВИГАТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ПО ИХ СОПРОТИВЛЕНИЮ

Цель работы – научить определять температуры обмоток трехфазного асинхронного двигателя по сопротивлению обмотки постоянному току.

Методические указания

На занятии студенты знакомятся со способом определения температуры обмоток асинхронного двигателя.

Отчет должен содержать ответы на контрольные вопросы. Защита лабораторной работы оценивается дифференциально и учитывается при контроле знаний на экзамене.

4.1. Краткие теоретические сведения

Температуру обмоток определяют при испытаниях двигателя на нагревание. Испытание на нагревание производят для определения абсолютной температуры или превышения температуры обмотки или частей электродвигателя относительно температуры охлаждающей среды при номинальной нагрузке.

Электроизоляционные материалы, применяемые в конструкциях электрических машин, стареют и постепенно теряют электрическую и механическую прочность. Скорость этого старения зависит главным образом от температуры, при которой изоляция работает.

Многочисленными опытами установлено, что долговечность (срок службы) изоляции сокращается вдвое, если температура, при которой она работает, превышает предельную для данного класса нагревостойкости на 6...8 °С. ГОСТ 8865-70 устанавливает следующие классы нагревостойкости электроизоляционных материалов, и характерные для них предельные температуры указаны в табл. 4.1.

Испытание на нагревание может осуществляться при непосредственной нагрузке и косвенным методом (нагревание от ос-

новных потерь). Испытание проводят до установившейся температуры при номинальной нагрузке. За установившуюся температуру принимают такую, которая в течение 1 ч изменяется не более чем на 1 °С. В качестве нагрузки при испытаниях на нагревание применяют различные устройства, наиболее простые из них различные тормоза (колодочные, ленточные и т. д.), а также нагрузки, обеспечиваемые генератором, работающим на реостат.

Таблица 4.1

Класс нагревостойкости электроизоляционных материалов
и их предельные температуры

Класс нагревостойкости	Y	A	E	B	F	H	C
Предельная температура, °С	90	105	120	130	155	180	Свыше 180

При испытаниях на нагревание определяют не только абсолютную температуру, но и превышения температуры обмоток над температурой охлаждающей среды, установленных ГОСТ 183-74 (табл. 4.2).

Как видно из таблицы, в ГОСТ предусмотрены различные методы измерения температур в зависимости от конкретных условий и частей машин, у которых необходимо проводить измерения.

Методом термометра определяют температуру поверхности в точке приложения (поверхность корпуса, подшипников, лобовых частей обмотки), температуру окружающей среды и воздуха, поступающего и выходящего из двигателя. Применяют как ртутные, так и спиртовые термометры. Вблизи сильных переменных магнитных полей следует применять только спиртовые термометры, так как в ртути наводятся вихревые токи, искажающие результаты измерения.

Для лучшей передачи теплоты от узла к термометру резервуар термометра обертывают фольгой, а затем прижимают к нагретому узлу. Для теплоизоляции термометра поверх фольги накладывают слой ваты или войлока, но так, чтобы последний не попал в пространство между термометром и нагретой частью

двигателя. При измерении температуры охлаждающей среды термометр следует помещать в закрытый металлический стаканчик, заполненный маслом и защищающий термометр от лучистой теплоты, испускаемой окружающими тепловыми источниками и самой исследуемой машиной, и от случайных потоков воздуха.

Таблица 4.2

Предельно допустимые превышения
температуры частей двигателя

Части двигателя	Предельно допустимые превышения температуры обмоток над температурой охлаждающей среды, при изоляционных материалах класса нагревостойкости (в ° C)					Метод измерения температуры
	A	E	B	F	H	
Обмотки машин переменного тока мощностью 5000 кВА и выше или с длиной сердечника 1 м и более	60	70	80	100	125	Сопротивления или температурных индикаторов, уложенных в пазы
Обмотки машин переменного тока мощностью менее 5000 кВА или с длиной сердечника менее 1 м	50*	65*	70**	85**	105***	Термометра или сопротивления. Данные приведены для измерения методом термометра
Стержневые обмотки роторов асинхронных двигателей	65	80	90	110	135	Термометра или сопротивления
Контактные кольца	60	70	80	90	110	Термометра или температурных индикаторов, уложенных в пазы
Сердечники и другие стальные части, соприкасающиеся с обмотками	60	75	80	110	125	Термометра
То же, не соприкасающиеся с обмотками	Превышение температуры этих частей не должно превышать значений, которые создавали бы опасность повреждения изоляционных или других смежных материалов					
° C * – при измерении методом сопротивления допускаемая температура увеличивается на 10 ° C ** – то же, на 15 ° C *** – то же, на 20						

При измерении температуры наружной охлаждающей среды

несколько термометров располагают в разных точках вокруг исследуемой машины на высоте, равной половине высоты машины, и на расстоянии 1–2 м от нее. За температуру охлаждающей среды принимают среднее арифметическое значение показаний этих термометров.

Метод термопары, широко применяемый для измерения температур, используется в основном в машинах переменного тока. Термопары закладывают в пазы между слоями обмоток и на дно паза, а также в других труднодоступных местах. Термопару образуют две изолированные друг от друга проволоки из разных металлов. Материалы выбирают в зависимости от значений измеряемой температуры. Для измерения температур в электрических машинах обычно применяют медноконстантановые термопары, состоящие из медной и константановой проволок диаметром около 0,5 мм. Одна пара концов термопары спаяна между собой. Места спая обычно помещают в ту точку, где необходимо измерить температуру («горячий спай»), а другую пару концов подключают либо непосредственно к зажимам чувствительного милливольтметра с большим внутренним сопротивлением, либо к переходной сборке зажимов, от которой отходят медные проволоки к измерительному прибору. В том месте, где ненагреваемый конец константановой проволоки соединяется с медным проводником (на клемме измерительного прибора или на переходной клемме), образуется так называемый «холодный спай» термопары. На поверхности контакта двух металлов (константана и меди) возникает ЭДС, пропорциональная температуре в месте контакта, причем на константане образуется минус (–), а на меди плюс (+). ЭДС возникает как на «горячем», так и на «холодном» спае термопары. Однако поскольку температуры спаев разные, то и значения ЭДС различны, а так как в контуре, образованном термопарой и измерительным прибором, эти ЭДС направлены навстречу друг другу, то милливольтметр всегда измеряет разность ЭДС «горячего» и «холодного» спаев, соответствующую разности температур. Опытным путем установлено, что в медноконстантановой термопаре разница ЭДС «горячего» и «холодного» спаев составляет 0,0416 мВ на 1° С. В соответствии с этим можно отградуировать шкалу милливольтметра в градусах Цельсия. Так как термопара

фиксирует только разность температур, то для определения абсолютной температуры «горячего» спая следует к показаниям термомпары прибавить температуру «холодного» спая, измеренную термометром.

Метод сопротивления – определение температуры обмоток по их сопротивлению постоянному току часто используется для измерения температуры обмоток. Метод основан на известном свойстве металлов изменять свое сопротивление в зависимости от температуры.

Для определения превышения температуры производят измерение сопротивления обмотки практически в холодном и нагретом состояниях и производят вычисления по формулам:

$$\text{для меди} \quad \Delta T = \frac{R_2 - R_x}{R_x} (235 + T_x) + (T_x - T_o);$$

$$\text{для алюминия} \quad \Delta T = \frac{R_2 - R_x}{R_x} (245 + T_x) + (T_x - T_o),$$

где ΔT , °С – превышение температуры обмотки, R_x – сопротивление в практически холодном состоянии, Ом; R_2 – сопротивление в нагретом состоянии, Ом; T_x , °С – температура обмотки в холодном состоянии, T_o , °С – температура охлаждающей среды.

Следует учитывать, что от момента отключения до начала замеров проходит некоторое время, в течение которого обмотка успевает остыть. Поэтому для правильного определения температуры обмоток в момент отключения, т. е. в рабочем состоянии двигателя, поступают следующим образом: после отключения машины по возможности через равные промежутки времени (по секундомеру) производят несколько измерений. Этот промежуток не должен превышать времени от момента выключения до первого замера. Затем производят экстраполяцию измерений, строя график $R = f(t)$.

Методом амперметра-вольтметра измеряют сопротивление. Первое измерение сопротивления обмотки производят не позднее чем через 1 мин от момента отключения для машин мощностью до 10 кВт, через 1,5 мин – для машин мощностью до 10...100 кВт и через 2 мин – для машин мощностью выше 100 кВт.

Если первое измерение сопротивления произведено не более

чем через 15...20 секунд с момента выключения, то за сопротивление принимают наибольшее из первых трех измеренных. Если первое измерение произведено позднее, чем через 20 с после отключения машины, то вносят поправку на остывание. Для этого производят 6...8 измерений сопротивления и строят график изменения сопротивления при остывании (рис. 4.1).

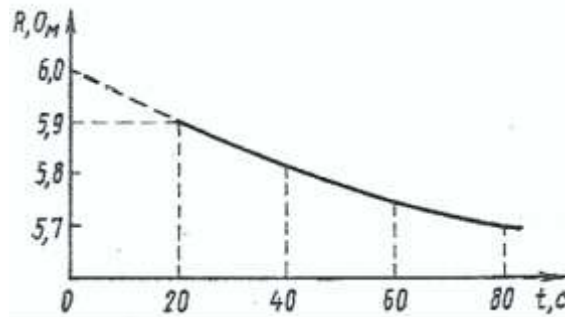


Рис. 4.1. График изменения сопротивления обмоток при остывании

По оси ординат откладывают соответствующие измеренные сопротивления, а по оси абсцисс – время (точно в масштабе), прошедшее от момента отключения электродвигателя до первого измерения и промежутки между измерениями (с) и получают кривую, изображенную на графике сплошной линией.

После этого продолжают эту кривую влево, сохраняя характер ее изменения, до пересечения с осью ординат (изображена пунктирной линией). Отрезок на оси ординат от начала координат до пересечения с пунктирной линией с достаточной точностью определит искомое сопротивление обмотки двигателя в горячем состоянии.

Основная номенклатура двигателей, установленных на промышленных предприятиях, включает в себя изоляционные материалы классов *A* и *B*, например, если для пазовой изоляции применен материал на основе слюды класса *B*, а для обмотки провод ПБД с хлопчатобумажной изоляцией класса *A*, то двигатель по классу нагревостойкости относится к классу *A*.

Если температура охлаждающей среды ниже 40 °С, то для всех классов изоляции допускаемые превышения температуры могут быть увеличены на столько градусов, на сколько темпера-

тура охлаждающей среды ниже $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, но не более чем на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Если температура охлаждающей среды $40\text{--}45\text{ }^{\circ}\text{C}$, то допустимые превышения температуры, указанные в табл. 4.2, снижаются для всех классов изоляционных материалов на $5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а при температурах охлаждающей среды $45\text{--}50\text{ }^{\circ}\text{C}$ – на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. За температуру охлаждающей среды обычно принимают температуру окружающего воздуха.

Для закрытых машин на напряжение не более 1500 В предельно допустимые превышения температуры обмоток статоров электродвигателей мощностью менее 5000 кВт или с длиной сердечника менее 1 м , а также стержневых обмоток роторов при измерении температур методом сопротивления допускается повышать на $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При измерении температуры обмоток по способу замера их сопротивления определяется средняя температура обмоток. В действительности же при работе двигателя отдельные зоны обмоток, как правило, имеют разную температуру. Поэтому максимальная температура обмоток, определяющая долговечность изоляции, всегда немного превышает среднее значение.

При определении температур обмоток методом сопротивлений для электродвигателей с фазным ротором построение экстраполяционных кривых производится дважды: один раз для обмотки статора, второй раз для обмотки ротора. Для этого двигатель после построения кривой остывания обмотки статора вторично приводят во вращение с прежней нагрузкой до установления прежних температур, а затем вторично отключают.

Включение двигателя на измерительную схему (рис. 4.2) следует производить только после полной остановки ротора, в противном случае измерительные приборы могут быть повреждены индукционными токами. Включение двигателя на измерительную схему следует производить только после полной остановки ротора, в противном случае измерительные приборы могут быть повреждены индукционными токами.

Для получения правильного результата измерений необходимо пользоваться одними и теми же приборами как при измерении сопротивления обмотки в холодном состоянии (перед пуском двигателя).

Измерение сопротивлений многофазных обмоток при наличии выводов начала и конца фаз следует производить пофазно.

4.2. Порядок проведения лабораторной работы

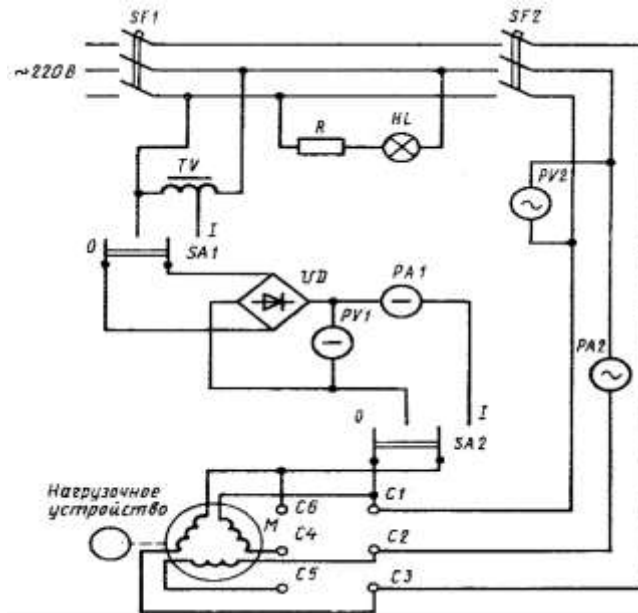


Рис. 4.2. Электрическая схема для проведения лабораторной работы

1. Получить инструктаж преподавателя о мерах безопасности при работе с электрооборудованием ниже 1000 В, с записью в журнале по ТБ.
2. Подготовить рабочее место для проведения измерений температур обмоток электродвигателя переменного тока методом сопротивлений.
3. Измерить сопротивление обмотки статора электродвигателя в «холодном» состоянии.
4. Нагреть электродвигатель до рабочей температуры включением под номинальную нагрузку (работа под нагрузкой в течении 20–25 минут).
5. Отключив электродвигатель и дождавшись полной остановки ротора, произвести измерение сопротивления обмотки четыре раза, производя запись времени измерений от времени отключения, величины измерительных токов и напряжений.
6. По данным измерений построить кривые сопротивлений

обмотки статора.

7. Аппроксимируя кривую до оси ординат, найти величину сопротивления при «нулевом» времени.

8. Используя пропорции, определить температуру обмоток электродвигателя при номинальной нагрузке.

9. Составить отчет о проведенной лабораторной работе.

Контрольные вопросы

1. Какова цель испытания обмоток электродвигателя на нагревание?

2. В чем сущность метода термометра?

3. В чем сущность метода термопар?

4. В чем сущность метода сопротивления?

5. Каким образом производится измерение температуры охлаждающей среды?

6. Каким значением ограничен ток, пропускаемый по обмоткам двигателя при испытании на нагревание?

7. Какой нагрузкой доводят двигатель до «горячего» состояния?

8. Что такое нагревостойкость и какие классы изоляции по нагревостойкости применяются для обмоток электродвигателей?

9. Почему при измерениях сопротивления обмоток в холодном и горячем состоянии необходимо пользоваться одними и теми же приборами?

10. Почему для определения температуры обмоток используется постоянный ток, а не переменный?

Рекомендуемая литература

1. Михеев, Г. М. Электростанции и электрические сети: диагностика и контроль электрооборудования. – Москва: Додэка-XXI, 2010. – 224 с.

2. Полуянович, Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 140610 направления подготовки 140600 – «Электротехника, электромеханика и электротехнологии». – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 400 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_cid=25&p11_id=2767

3. Объем и нормы испытаний электрооборудования [Электронный ресурс] : РД 34.45-51.300-97 / РАО «ЕЭС России». – Новосибирск : Сибирское университетское издательство, 2008. – 240 с. <http://www.biblioclub.ru/book/57318/>

Тема № 5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОБМОТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПО ИХ СОПРОТИВЛЕНИЮ

Цель работы – научиться определять температуру обмотки возбуждения двигателя постоянного тока.

Методические указания

На занятии студенты знакомятся со способом определения температуры обмотки двигателя постоянного тока.

Отчет должен содержать порядок определения и ответы на контрольные вопросы. Защита лабораторной работы оценивается дифференциально и учитывается при контроле знаний на экзамене.

5.1. Краткие теоретические сведения

Испытание электрических машин на нагревание может проводиться следующими методами: непосредственной нагрузкой в номинальном режиме; косвенным методом – путем проведения ряда испытаний на нагревание в режимах холостого хода и короткого замыкания с последующим расчетным предопределением превышений температуры различных частей машины на основании полученных результатов испытаний.

Испытание может быть начато как с практически холодного, так и с нагретого состояния машины. Для сокращения продолжительности испытания машину допускается перегрузить в начале испытания, насколько это допустимо из соображений ее механической и электрической прочности, а в случае коллекторных машин – если степень искрения не выше соответствующей номинальному режиму.

Испытание на нагревание методом непосредственной нагрузки возможно для электрических машин всех видов. Для машин, возбуждаемых постоянным током, особенно для синхронных машин, испытание может проводиться в режиме как ге-

нератора, так и двигателя, независимо от того, для какого именно режима работы предназначается данная машина.

Испытание электрических машин на нагревание косвенным методом может проводиться только для машин, возбуждаемых постоянным током, – машин постоянного тока и синхронных машин. Для машин мощностью более 100 кВт, согласно ГОСТ 10159-79, допускается проводить тепловые испытания косвенным методом. Суть метода состоит в измерении перегрева частей машины при двух режимах испытаний:

- в режиме холостого хода с номинальным током возбуждения;
- в режиме короткого замыкания генератора с номинальным током якоря.

Превышение температуры отдельных частей машины при номинальной нагрузке определяется как сумма превышений температуры при двух указанных испытаниях.

Для электродвигателей постоянного тока последовательного возбуждения при испытаниях на нагревание удобно пользоваться методом сопротивления. Удобно использование этого метода и для обмоток возбуждения, температура которых может контролироваться в процессе работы двигателя.

При определении температуры обмотки якоря необходимо пометить те пластины коллектора, между которыми производилось измерение сопротивления в холодном состоянии. Когда двигатель остановлен, щупы должны быть установлены на меченых пластинах. Перед измерением необходимо снять щетки, в противном случае получится заниженный результат измерения.

Рассмотрим пример расчета температуры обмотки электродвигателя постоянного тока с последовательным возбуждением (рис. 5.1).

В двигателе обмотка возбуждения состоит из двух полюсных катушек общим сопротивлением 12,62 Ом. Сопротивление обмотки измерено при температуре окружающего воздуха $T_x = 20\text{ }^\circ\text{C}$. В установившемся нормальном режиме при работе под нагрузкой потребляемый ток двигателя $I = 0,91\text{ A}$, а падение напряжения на обмотке возбуждения $U = 12,6\text{ В}$. Температура окружающего воздуха во время работы двигателя равнялась

24 °С. Требуется определить превышение температуры обмотки над температурой окружающего воздуха.

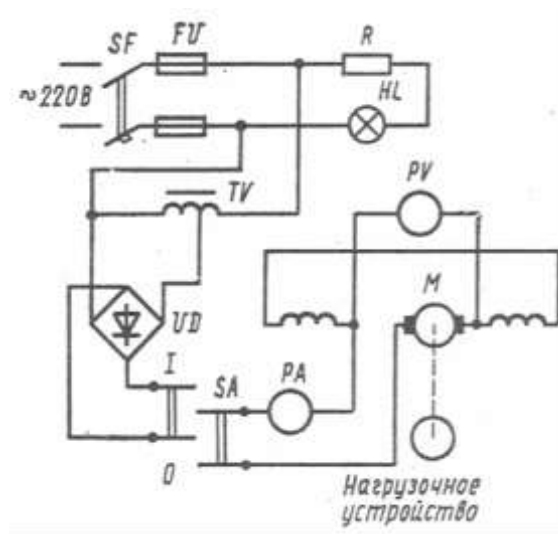


Рис. 5.1. Схема для проведения лабораторной работы

Определим сопротивление обмотки в нагретом состоянии

$$R_T = \frac{12,6}{0,91} = 13,85 \text{ Ом.}$$

Температура обмотки возбуждения в нагретом состоянии

$$T_T = \frac{13,85 - 12,62}{12,62} (235 + 20) + 20 = 44,8 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

Превышение температуры обмотки над температурой окружающего воздуха

$$\Delta T = T_T - T_0 = 44,8 - 24 = 20,8 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

5.2. Порядок выполнения работы

1. Получить инструктаж преподавателя о мерах безопасности при работе с электрооборудованием ниже 1000 В, с записью в журнале по ТБ.

2. Подготовить рабочее место для проведения измерений температур обмоток электродвигателя постоянного тока методом сопротивлений.

3. Собрать схему рис. 5.1, убедившись, что рукоятка лабораторного трансформатора TV выведена до упора.

Включить автомат SF1, при этом должна загореться сигнальная лампа HL, свидетельствующая о наличии напряжения в схеме.

Установить переключатель SA в положение I.

С помощью рукоятки трансформатора TV установить напряжение, при котором показания амперметра PA составляют 10...15 % $I_{ном}$ двигателя и подсчитать сопротивление обмотки возбуждения в холодном состоянии.

4. С помощью рукоятки трансформатора TV установить на вольтметре PV напряжение, равное $U_{ном}$ двигателя, и с помощью нагрузочного устройства отрегулировать по показаниям амперметра PA нагрузку, соответствующую $I_{ном}$ двигателя.

ВНИМАНИЕ! *Без нагрузочного устройства двигатель включать в работу запрещается.*

При установившемся режиме работы двигателя измерить напряжение и ток и рассчитать сопротивление обмотки возбуждения в горячем состоянии R_T .

5. Установить переключатель SA в положение 0.

6. Произвести расчет превышения температуры обмотки над температурой окружающей среды.

7. Составить отчет по работе.

Контрольные вопросы

1. В чем суть косвенного метода испытаний на нагревание?
2. Какие меры предпринимают во избежание самовозбуждения машин?
3. Для чего необходимо снимать щетки при измерении сопротивления обмотки якоря?
4. Причины и последствия перегрева двигателей постоянного тока.

Рекомендуемая литература

1. Михеев, Г. М. Электростанции и электрические сети: диагностика и контроль электрооборудования. – Москва : Додэка - XXI, 2010. – 224 с.

2. Полуянович, Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 140610 направления подготовки 140600 – «Электротехника, электромеханика и электротехнологии». – Санкт-Петербург: Лань, 2012. – 400 с.

http://e.lanbook.com/books/element.php?p11_cid=25&p11_id=2767

Тема № 6. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП

Цель работы

Ознакомление с устройством и принципом работы газоразрядных источников света.

Методические указания

На занятии студенты знакомятся с газоразрядными лампами, их классификацией, маркировкой, характеристиками. Подробно знакомятся со схемой включения ламп низкого давления с разными ПРА, анализируют зависимость пульсации светового потока от схемы включения, измеряют характеристики элементов схемы, анализируют неисправности и устраняют их.

Отчет должен содержать ответы на контрольные вопросы. Защита лабораторной работы оценивается дифференциально и учитывается при контроле знаний на экзамене.

6.1. Краткие теоретические сведения

Общие сведения об источниках света

Электрические источники света – это устройства, преобразующие электрическую энергию в световую. По способу преобразования электроэнергии источники света подразделяются на лампы накаливания (ЛН) и газоразрядные лампы. Последние подразделяются на лампы низкого и высокого давления.

Основные параметры ламп – номинальная мощность (Вт), напряжение (В), световой поток (лм), средняя продолжительность горения (час) и световая отдача (лм/Вт).

Лампы накаливания

Принцип действия ЛН состоит в тепловом излучении твердого тела, нагретого током до яркого свечения. Видимое излучение ЛН составляет – 10–12 %, тепловые потери – 14–22 % и не-

видимое излучение – 68–74 % от расходуемой энергии. Световой КПД ЛН не превышает 4 %, световая отдача – 6–20 лм/Вт.

Газоразрядные лампы

Принцип работы люминесцентных ламп. Термоэлектронная эмиссия (эффект Ричардсона, эффект Эдисона) – явление вырывания электронов из металла при высокой температуре. Концентрация свободных электронов в металлах достаточно высока, поэтому даже при средних температурах вследствие распределения электронов по скоростям (по энергии) некоторые электроны обладают энергией, достаточной для преодоления потенциального барьера на границе металла. С повышением температуры число электронов, кинетическая энергия теплового движения которых больше работы выхода, растёт, и явление термоэлектронной эмиссии становится заметным.

При подаче напряжения на вход схемы практически все напряжение прикладывается к стартеру, представляющему собой неоновую лампочку, у которой электроды изготовлены из биметаллических пластин. Между пластинами неоновой лампочки возникает тлеющий разряд, разогревающий пластины. Под действием температуры пластины изгибаются и замыкаются между собой. Биметаллические пластины изготавливаются путем соединения двух пластин из разнородных металлов, имеющих разный коэффициент линейного температурного расширения, вследствие чего нагрев приводит к изгибу таких соединенных пластин. После замыкания пластин оба накала люминесцентной лампы разогреваются проходящим по ним током. А пластины неоновой лампочки стартера остывают и размыкаются. В дросселе возникает переходной процесс, вызванный резким уменьшением проходящего по нему тока: между накалами люминесцентной лампы появляется импульс напряжения, значительно превышающий по величине напряжение питающей сети. В лампе возникает газовый разряд.

Исследование закономерностей термоэлектронной эмиссии можно провести с помощью простейшей двухэлектродной лампы – вакуумного диода, представляющего собой откачанный баллон, содержащий два электрода: катод К и анод А. В простейшем

случае катодом служит нить из тугоплавкого металла (например, вольфрама), накаливаемая электрическим током. Анод чаще всего имеет форму металлического цилиндра, окружающего катод. Если диод включить в цепь, то при накаливании катода и подаче на анод положительного напряжения (относительно катода) в анодной цепи диода возникает ток. Если поменять полярность батареи, то ток прекращается, как бы сильно катод ни накаливали. Следовательно, катод испускает отрицательные частицы – электроны.

При увеличении анодного напряжения ток возрастает до некоторого максимального значения, называемого током насыщения. Это означает, что почти все электроны, покидающие катод, достигают анода, поэтому дальнейшее увеличение напряженности поля не может привести к увеличению термоэлектронного тока.

Электроны в искровых разрядах ионизируют молекулы в воздушном промежутке между электродами. При достаточной мощности источника напряжения в воздушном промежутке образуется достаточное количество плазмы для значительного падения напряжения пробоя или сопротивления воздушного промежутка. При этом искровые разряды превращаются в дуговой разряд – плазменный шнур между электродами, являющийся плазменным тоннелем.

Физический смысл явления флуоресценции состоит в следующем. При поглощении ультрафиолетовой лучистой энергии молекулы вещества переходят в «возбужденное» состояние, при котором электроны находятся на более высоких энергетических уровнях. Возбужденная молекула не может долго сохранять излишек энергии и возвращается в нормальное состояние путем излучения излишка энергии в виде преобразованной лучистой энергии – флуоресценции.

При работе люминесцентной лампы между двумя электродами, находящимися в противоположных концах лампы, горит дуговой разряд. Лампа заполнена инертным газом и парами ртути, проходящий электрический ток приводит к появлению ультрафиолетового излучения. Это излучение невидимо для человеческого глаза, поэтому его преобразуют в видимый свет с помощью явления люминесценции. Внутренние стенки лампы

покрыты специальным веществом – люминофором, которое поглощает ультрафиолетовое излучение и излучает видимый свет. Изменяя состав люминофора, можно менять оттенок свечения лампы. Дуговой разряд поддерживается за счёт термоэлектронной эмиссии заряженных частиц (электронов) с поверхности катода. Для запуска лампы катоды разогреваются либо пропусканием через них тока, либо ионной бомбардировкой в тлеющем разряде высокого напряжения («лампы с холодным катодом»). Ток разряда ограничивается балластом.

Существуют люминесцентные лампы низкого давления – дуговые ртутные, люминесцентные высокого давления – ксеноновые (далее люминесцентная лампа ЛЛ) и натриевые лампы. Далее рассматриваются люминесцентные лампы низкого давления.

ЛЛ представляет собой стеклянную трубку (рис. 6.1). На концах трубки расположены цоколи для подключения к сети. С внутренней стороны трубки контакты соединены между собой спиралью из вольфрама. На неё всегда наносится слой активирующего вещества – смесь окислов бария, стронция, кальция, иногда с небольшой добавкой тория для улучшения эмиссии. Именно процесс распыления активирующего покрытия определяет долговечность лампы.

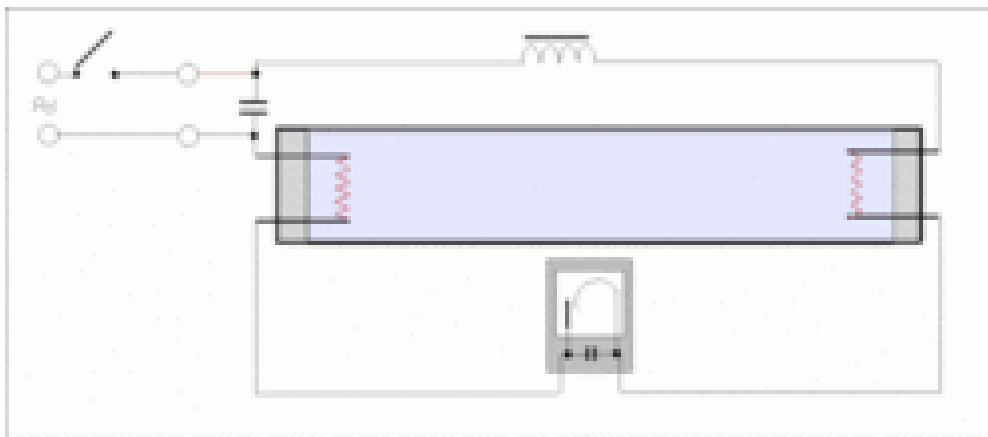


Рис. 6.1 Схема включения ЛЛ с электромагнитным балластом

В классической схеме включения с электромагнитным балластом для автоматического регулирования процесса зажигания лампы применяется пускатель (стартер), представляющий собой миниатюрную газоразрядную лампочку с неоновым наполнением

и двумя металлическими электродами.

Один электрод пускателя неподвижный жёсткий, другой – биметаллический, изгибающийся при нагреве. В исходном состоянии электроды пускателя разомкнуты.

Пускатель включается параллельно лампе. В момент включения к электродам лампы и пускателя прикладывается полное напряжение сети, так как ток через лампу отсутствует и падение напряжения на дросселе равно нулю.

Электроды лампы холодные и напряжение сети недостаточно для её зажигания. Но в пускателе от приложенного напряжения возникает разряд, в результате которого ток проходит через электроды лампы и пускателя. Ток разряда мал для разогрева электродов лампы, но достаточен для электродов пускателя, отчего биметаллическая пластинка, нагреваясь, изгибается и замыкается с жёстким электродом.

Ток в общей цепи возрастает и разогревает электроды лампы. В следующий момент электроды пускателя остывают и размыкаются. Мгновенный разрыв цепи тока вызывает мгновенный пик напряжения на дросселе, что и вызывает зажигание лампы.

К этому моменту электроды лампы уже достаточно разогреются. Разряд в лампе возникает сначала в среде аргона, а затем, после испарения ртути, приобретает вид ртутного.

В процессе горения напряжение на лампе и пускателе составляет около половины сетевого за счёт падения напряжения на дросселе, что устраняет повторное срабатывание пускателя.

В процессе зажигания лампы пускатель иногда срабатывает несколько раз подряд вследствие отклонений во взаимосвязанных между собой характеристиках пускателя и лампы.

В некоторых случаях при изменении характеристик пускателя или лампы возможно возникновение ситуации, когда стартер начинает срабатывать циклически.

Это вызывает характерный эффект, когда лампа периодически вспыхивает и гаснет, при погасании лампы видно свечение катодов, накаливаемых током, протекающим через сработавший стартер.

По цвету излучаемого света люминесцентные лампы по стандартам ЕС маркируются индексом цветопередачи ИЦ (RA). Это относительная величина от 0 до 100, показывающая насколько хо-

рошо в свете данного источника видны другие цвета. За эталон принят солнечный свет. Для сравнения выбирают обычно 8 основных цветов [RA-8] и вычисляют среднее. Полученное значение называют RA и принимают за ИЦ. Чем ниже эта величина, тем хуже цветопередача. Комфортный для человека ИЦ 80-100 RA. Низкий ИЦ (менее 39 RA) имеют лампы ДНаТ (оранжевый цвет – уличное освещение).

Трёхцифровой код на упаковке лампы содержит как правило информацию относительно качества света – индекс цветопередачи и световую температуру. Первая цифра – индекс цветопередачи в 1×10 Ra. Вторая и третья цифры – указывают на цветовую температуру лампы. Таким образом маркировка «827» указывает на индекс цветопередачи в 80 Ra и цветовую температуру в 2700 К (что соответствует цветовой температуре лампы накаливания).

В соответствии с ГОСТ 6825-91* (МЭК 81-84) «Лампы люминесцентные трубчатые для общего освещения», лампы люминесцентные линейные общего назначения маркируются как:

- ЛБ (белый свет)
- ЛД (дневной свет)
- ЛЕ (естественный свет)
- ЛХБ (холодно-белый свет)
- ЛТБ (тёпло-белый свет).

Добавление буквы Ц в конце означает применение люминофора «де-люкс» с улучшенной цветопередачей, а ЦЦ – люминофора «супер де-люкс» с высококачественной цветопередачей.

Лампы специального назначения маркируются как:

- ЛГ, ЛК, ЛЗ, ЛЖ, ЛР, ЛГР (лампы цветного свечения)
- ЛУФ (лампы ультрафиолетового света)
- ДБ (лампа ультрафиолетового света типа С)
- ЛСР (синего света рефлекторные).

Примерный эквивалент по международной маркировке 765 (ЛД), 865 (ЛДЦ), 965 (ЛДЦЦ).

Люминесцентная лампа – газоразрядный источник света, световой поток которого определяется в основном свечением люминофоров под воздействием ультрафиолетового излучения разряда; видимое свечение разряда не превышает нескольких процентов.



Рис. 6.2. Различные виды люминесцентных ламп

Люминесцентные лампы (рис. 6.2) широко применяются для общего освещения, при этом их световая отдача в несколько раз больше, чем у ламп накаливания того же назначения.

Срок службы люминесцентных ламп может до 20 раз превышать срок службы ламп накаливания при условии обеспечения достаточного качества электропитания, балласта и соблюдения ограничений по числу коммутаций, в противном случае быстро выходят из строя. Наиболее распространённой разновидностью подобных источников является ртутная люминесцентная лампа. Она представляет собой стеклянную трубку, заполненную парами ртути, с нанесённым на внутреннюю поверхность слоем люминофора.

Применение электронных пускорегулирующих устройств (балластов) вместо традиционных электромагнитных позволяет ещё более улучшить характеристики люминесцентных ламп – избавиться от мерцания и гула, ещё больше увеличить экономичность, повысить компактность. Главными достоинствами люминесцентных ламп по сравнению с лампами накаливания являются высокая светоотдача (люминесцентная лампа 23 Вт даёт освещённость как 100 Вт лампа накаливания) и более длительный срок службы (2000–20000 часов против 1000 часов). В некоторых случаях это позволяет люминесцентным лампам экономить значительные средства, несмотря на более высокую начальную цену. Применение люминесцентных ламп особенно целесообразно в случаях, когда освещение включено продолжительное время, поскольку включение для них является наиболее тяжёлым режимом

и частые включения-выключения сильно снижают срок службы.

Особенности подключения. С точки зрения электротехники, люминесцентная лампа – устройство с отрицательным сопротивлением (чем больший ток через неё проходит – тем больше падает её сопротивление). Поэтому при непосредственном подключении к электрической сети лампа очень быстро выйдет из строя из-за огромного тока, проходящего через неё. Чтобы предотвратить это, лампы подключают через специальное устройство (балласт). В простейшем случае это может быть обычный резистор, однако в таком балласте теряется значительное количество энергии. Чтобы избежать этих потерь при питании ламп от сети переменного тока, в качестве балласта может применяться реактивное сопротивление (конденсатор или катушка индуктивности). В настоящее время наибольшее распространение получили два типа балластов – электромагнитный и электронный.

Электромагнитный балласт. Электромагнитный балласт представляет собой индуктивное сопротивление (дроссель), подключаемое последовательно с лампой. Для запуска лампы с таким типом балласта требуется также стартер. Преимуществами такого типа балласта является его простота и дешевизна. Недостатки – мерцание ламп с удвоенной частотой сетевого напряжения (частота сетевого напряжения в России – 50 Гц), что повышает утомляемость и может негативно сказываться на зрении, относительно долгий запуск (обычно 1–3 с, время увеличивается по мере износа лампы), большее потребление энергии по сравнению с электронным балластом.

Дроссель также может издавать низкочастотный гул. Помимо вышеперечисленных недостатков можно отметить ещё один. При наблюдении предмета вращающегося или колеблющегося с частотой, равной или кратной частоте мерцания люминесцентных ламп с электромагнитным балластом, такие предметы будут казаться неподвижными из-за эффекта стробирования. Например этот эффект может затронуть шпиндель токарного или сверлильного станка, циркулярную пилу, мешалку кухонного миксера, блок ножей вибрационной электробритвы. Во избежание травмирования на производстве запрещено использовать люминесцентные лампы для освещения движущихся частей станков и меха-

низмов без дополнительной подсветки лампами накаливания.

Электронный балласт. Электронный балласт представляет собой электронную схему, преобразующую сетевое напряжение в высокочастотный (20–60 кГц) переменный ток, который и питает лампу.

Преимуществами такого балласта являются отсутствие мерцания и гула, более компактные размеры и меньшая масса, по сравнению с электромагнитным балластом. При использовании электронного балласта можно добиться мгновенного запуска лампы (холодный старт), однако такой режим неблагоприятно сказывается на сроке службы лампы, поэтому применяется и схема с предварительным прогревом электродов в течение 0,5–1 с (горячий старт). Лампа при этом зажигается с задержкой, однако этот режим позволяет увеличить срок службы лампы.

Механизм запуска лампы с электронным балластом. В отличие от электромагнитного балласта для работы электронного балласта зачастую не требуется отдельный специальный стартер, т. к. такой балласт в общем случае способен сформировать необходимые последовательности напряжений сам.

Существуют разные технологии запуска люминесцентных ламп электронными балластами. В наиболее типичном случае электронный балласт подогревает катоды ламп и прикладывает к катодам напряжение, достаточное для зажигания лампы, чаще всего – переменное и высокочастотное (что заодно устраняет мерцание лампы, характерное для электромагнитных балластов).

В зависимости от конструкции балласта и временных параметров последовательности запуска лампы такие балласты могут обеспечивать, например, плавный запуск лампы с постепенным нарастанием яркости до полной за несколько секунд или же мгновенное включение лампы.

Часто встречаются комбинированные методы запуска, когда лампа запускается не только за счет факта подогрева катодов лампы, но и за счет того, что цепь, в которую включена лампа, является колебательным контуром. Параметры колебательного контура подбираются так, чтобы при отсутствии разряда в лампе в контуре возникает явление электрического резонанса, ведущее к значительному повышению напряжения между катодами лампы.

Как правило, это ведет и к росту тока подогрева катодов, поскольку при такой схеме запуска спирали накала катодов нередко соединены последовательно через конденсатор, являясь частью колебательного контура. В результате за счет подогрева катодов и относительно высокого напряжения между катодами лампа легко зажигается.

После зажигания лампы параметры колебательного контура изменяются, резонанс прекращается, и напряжение в контуре значительно падает, сокращая ток накала катодов.

Причины выхода из строя. Электроды люминесцентной лампы представляют собой вольфрамовые нити, покрытые пастой (активной массой) из щелочноземельных металлов. Эта паста и обеспечивает стабильный тлеющий разряд, если бы ее не было, вольфрамовые нити очень скоро перегрелись бы и сгорели. В процессе работы она постепенно осыпается с электродов, выгорает, испаряется, особенно при частых пусках, когда некоторое время разряд происходит не по всей площади электрода, а на небольшом участке его поверхности, что приводит к перегреву электрода. Отсюда потемнение на концах лампы, часто наблюдаемое ближе к окончанию срока службы.

Когда паста выгорит полностью, ток лампы начинает падать, а напряжение, соответственно, возрастать. Это приводит к тому, что начинает постоянно срабатывать стартер – отсюда всем известное мигание вышедших из строя ламп.

Электроды лампы постоянно разогреваются, и в конце концов, одна из нитей перегорает, это происходит примерно через 2–3 дня, в зависимости от производителя лампы.

После этого на минуту-две лампа горит без всяких мерцаний, но это последние минуты в ее жизни. В это время разряд проходит через остатки перегоревшего электрода, на котором уже нет пасты из щелочноземельных металлов, остался только вольфрам.

Эти остатки вольфрамовой нити очень сильно разогреваются, из-за чего частично испаряются, либо осыпаются, после чего разряд начинает происходить за счет траверсы (это проволочка, к которой крепится вольфрамовая нить с активной массой), она частично оплавляется. После этого лампа вновь начинает мерцать. Если ее выключить, повторное зажигание будет невозможным.

На этом все и закончится.

Вышесказанное справедливо при использовании электромагнитных ПРА (балластов). Если же применяется электронный балласт, все произойдет несколько иначе. Постепенно выгорит активная масса электродов, после чего будет происходить все больший их разогрев, рано или поздно одна из нитей перегорит.

Сразу же после этого лампа погаснет без мигания и мерцания за счет предусматриваемой автоматическое отключение неисправной лампы конструкции электронного балласта.

Люминофоры и спектр излучаемого света. Многие люди считают свет, излучаемый люминесцентными лампами, грубым и неприятным. Цвет предметов освещенных такими лампами может быть несколько искажён. Отчасти это происходит из-за синих и зеленых линий в спектре излучения газового разряда в парах ртути, отчасти из-за типа применяемого люминофора.

Во многих дешевых лампах применяется галофосфатный люминофор, который излучает в основном жёлтый и синий свет, в то время как красного и зелёного излучается меньше. Такая смесь цветов глазу кажется белым, однако при отражении от предметов свет может содержать неполный спектр, что воспринимается как искажение цвета. Однако такие лампы, как правило, имеют очень высокую световую отдачу.

В более дорогих лампах используется «трехполосный» и «пятиполосный» люминофор. Это позволяет добиться более равномерного распределения излучения по видимому спектру, что приводит к более натуральному воспроизведению света. Однако такие лампы, как правило, имеют более низкую световую отдачу.

Утилизация. Все люминесцентные лампы содержат ртуть (в дозах от 40 до 70 мг), ядовитое вещество. Эта доза может причинить вред здоровью, если лампа разбилась, и если постоянно подвергаться пагубному воздействию паров ртути, то они будут накапливаться в организме человека, нанося вред здоровью.

На рис. 6.3 приведены разновидности колбных ЛЛ (КЛЛ).



Рис. 6.3. Разновидности колбных ЛЛ

КЛЛ с цоколем E27 и E14 предназначены для непосредственной замены ламп накаливания и дают большую экономию электроэнергии. К их недостаткам относят сравнительно большие габариты (табл. 6.1) и особенно массу по сравнению с ЛН, неразборность конструкции, в силу чего после выхода из строя разрядной трубки приходится заменять целиком всю лампу, включающей в себе ПРА.

В силу дороговизны КЛЛ переход на них экономически оправдан при эксплуатации с редкими отключениями.

Таблица 6.1

Габариты КЛЛ с цоколем E27

Мощность лампы, Вт	Номин. напряж., В	Рабоч. ток, А	Светов. поток, Лм	Габариты (диаметр×длина), мм
9	220	0,093	425	85×(150;160;170)
13		0,125	600	
18		0,18	900	

Все люминесцентные лампы содержат ртуть (в дозах от 1 до 70 мг), ядовитое вещество 1-го класса опасности.

В России действует постановление правительства РФ, которое содержит рекомендательные меры по предотвращению и дезинфекции помещений после происхождения аварийных ситуаций с ртутьсодержащими лампами:

– в случае повреждения ртутьсодержащей лампы физическим лицом в бытовых условиях, либо в случае сложного ртутного загрязнения в организации, загрязненное помещение должно быть людьми покинуто, и одновременно должен быть организован вызов специализированных организаций через органы МЧС;

– после эвакуации людей должны быть приняты достаточные меры к исключению доступа на загрязненный участок посторонних лиц, а также возможные меры по локализации границ распространения ртути и её паров;

– в случае единичного разрушения ртутьсодержащих ламп в организации устранение ртутного загрязнения может быть выполнено персоналом самостоятельно с помощью созданного для этих целей демеркуризационного комплекта (состав демеркуризационного комплекта утверждается Правительством Российской Федерации по представлению МЧС).

Ртуть – один из самых опасных загрязняющих окружающую среду металлов. Отходы, в которых она содержится, относятся к первому (наиболее опасному) классу опасности.

Если разбилась обычная люминесцентная лампа, содержащая от 20 до 150 (мг) ртути, образуется свыше 11 тыс. мельчайших ртутных шариков, имеющих суммарную поверхность 3,53 см². Этого достаточно, чтобы загрязнить помещение объемом 300 тыс. м³. В случае меньшего объема помещения ртутное загрязнение может достигать десятков и даже сотен ПДК (ПДК ртути в воздухе составляет 0,0003 мг/м³).

Средство для устранения ртутных загрязнений даст Вам возможность оперативно, не вызывая специальные службы, устранить небольшие проливы ртути при разрушении ртутьсодержащих приборов (медицинских термометров, люминесцентных ламп, тонометров и т. п.).

При осуществлении демеркуризации поверхностно-активное вещество, входящее в состав препарата, смачивает обрабатываемую поверхность и диспергирует ртутное загрязнение в слой композиции, где ртуть вступает в реакцию с серосодержащим соединением и комплексообразователем.

Бытовой демеркуризационный комплект применяется для ликвидации небольших бытовых ртутных загрязнений, преимущественно для обезвреживания разбитых медицинских термо-

метров. В состав бытового демеркуризационного комплекта включены: респиратор, перчатки резиновые, бахилы, салфетки влажные, распылитель, шприц медицинский, упаковочная сумка, поласкиватель для рта, губки для мытья, демеркуризатор ДМ-01, раствор соляной кислоты. Демеркуризационный комплект поставляется в герметичном пластиковом контейнере и рассчитан для ликвидации пролива ртути на площади до 5 м². К демеркуризационному комплекту прилагается подробная инструкция по применению.

Средства, входящие в демеркуризационный комплект, не токсичны, не вызывают повреждения аппаратуры и оборудования, не требуют специальных мер безопасности при их использовании. Основа демеркуризационного комплекта – запатентованный препарат «Э-2000», включающий серосодержащее вещество, комплексообразователь и поверхностно-активное вещество. При осуществлении демеркуризации с помощью препарата «Э-2000» входящее в его состав поверхностно-активное вещество смачивает обрабатываемую поверхность и диспергирует ртутное загрязнение в слой композиции, где ртуть вступает в реакцию с серосодержащим соединением и комплексообразователем с получением нерастворимых и нетоксичных веществ.

Требования санитарных норм к освещенности. Европейским комитетом по стандартизации в 1999 г. приняты нормы освещенности EN 12464-1, получившие статус общеевропейских, и с 2003-го года началось введение этих норм в действие в странах Европейского Союза. Международная комиссия по стандартизации (ISO) на основе этих норм приняла международные нормы внутреннего освещения ISO 8995:2002. С вступлением России в ВТО эти нормы будут внедряться и у нас. В России главным документом, устанавливающим параметры освещения, являются Строительные нормы и правила СНиП 23-05-95. Кроме них имеются Санитарные правила и нормы СанПиН 2.21/2.1.1.1278-03.

По СанПиН 2.21/2.1.1/1278-03 в помещениях, оснащенных компьютерами, глубина пульсаций освещенности на рабочих местах должна быть не более 5 %, а освещенность – не менее 500 лк. Эти нормы соответствуют требованиям ISO.

6.2. Порядок проведения лабораторной работы

1. Получить инструктаж преподавателя о мерах безопасности при работе с ЛЛ, с записью в журнале по ТБ.
2. Подготовить схему для включения ЛЛ с возможностью изменения подаваемого напряжения при помощи лабораторного трансформатора.
3. Фиксировать изменение интенсивности светового потока ЛЛ при изменении подаваемого напряжения $\pm 5\%$ от номинального.
4. Измерить характеристики элементов схемы.
5. Составить отчет о проведенной лабораторной работе.

Вопросы по теме

1. Принцип действия ЛН и ЛЛ.
2. Конструкция ЛЛ.
3. Маркировка цветопередачи по стандартам ЕС и ГОСТ 6825-91.
4. Особенность схемы включения ЛЛ и её элементы.
5. Конструкция стартера и назначение его элементов.
6. Назначение дросселя.
7. Какие меры безопасности должны приниматься при повреждении ЛЛ в помещении?

Рекомендуемая литература

1. <http://www.russika.ru/ef.php?s=4437> Люминесцентные лампы. Энциклопедический фонд.
2. Компактные люминесцентные лампы (КЛЛ). <http://greenpeace.org/russia/ru/643172/647372/1827524>
3. Распоряжение правительства Москвы «Об организации работ по сбору, транспортировке и переработке отработанных люминесцентных ламп» от 20 декабря 1999 г. № 1010-РЗП http://businesspravo.ru/Docum/DocumShow_DocumID_61031.html%20
4. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

Тема № 7. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СВЕТОДИОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Цель работы – ознакомление с устройством и принципом работы светодиодных источников света.

Методические указания

На занятии студенты знакомятся с светодиодными лампами, их классификацией, маркировкой, характеристиками. Подробно знакомятся со схемой включения ламп, анализируют зависимость интенсивности светового потока от подаваемого напряжения.

Отчет должен содержать ответы на контрольные вопросы. Защита лабораторной работы оценивается дифференциально и учитывается при контроле знаний на экзамене.

7.1. Краткие теоретические сведения

Принцип действия светодиодов. Р-п переход – «составляющая» полупроводниковой техники и представляет собой ни что иное, как соединение двух кусков полупроводника различной проводимости (один из них имеет избыток электронов п-типа, другой избыток дырок р-типа). Если к данному переходу подсоединить источник питания, положительным полюсом к р-части, то через него будет проходить ток.

Полупроводники – это вещества, в которых электрический ток образуется движением электронов, а величина удельного сопротивления находится в пределах между проводниками и диэлектриками. Полупроводниками являются химические элементы IV, V и VI групп периодической системы Д. И. Менделеева – графит, кремний, германий, селен и другие, а также многие окислы и другие соединения различных металлов. Количество подвижных носителей зарядов в полупроводниках в обычных условиях невелико, однако оно возрастает в сотни и тысячи раз при некоторых внешних воздействиях (нагревание, действие света и т. д.), а также при наличии в полупроводнике определенных

примесей. Полупроводники делятся на электронные (типа *n*) и дырочные (типа *p*). В полупроводнике *n*-типа в качестве носителей зарядов рассматриваются электроны, которые при образовании тока перемещаются по всему полупроводнику подобно свободным электронам в металлах. В полупроводнике *p*-типа в качестве носителей зарядов рассматриваются так называемые дырки (под дырками понимается свободное место у атома, которое может быть занято посторонним ему электроном). Дырки считаются эквивалентом положительного заряда, равного электрону. При образовании тока в полупроводнике *p*-типа электроны совершают только направленные перескоки между соседними атомами; при перескоке электрона из одной дырки в другую дырка перемещается в противоположном направлении, что и рассматривается как образование тока.

При соединении кристалла *p*-типа с кристаллом *n*-типа в области их контакта образуется *p-n* переход, который обладает свойством запирающего слоя (рис. 7.1). В области места контакта двух полупроводников *n*-типа и *p*-типа возникает процесс диффузии: дырки из *p*-области переходят в *n*-область, а электроны, наоборот, из *n*-области в *p*-область. В результате в *n*-области в зоне запирающего слоя уменьшается концентрация электронов, что сопровождается возникновением положительно заряженного слоя. В *p*-области наблюдается уменьшение концентрации дырок и возникает отрицательно заряженный слой. Таким образом, в области контакта полупроводников происходит образование двойного электрического слоя, поле которого препятствует процессу диффузии электронов и дырок навстречу друг другу (рис. 7.1).

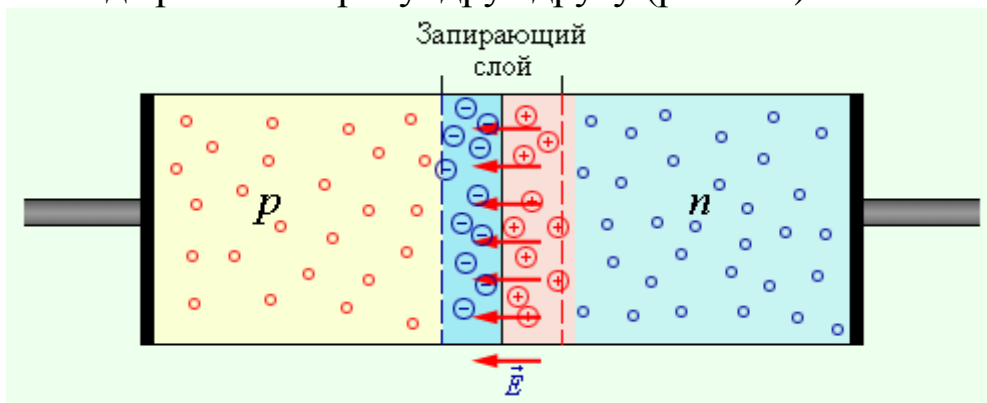


Рис. 7.1. Запирающий слой *p-n* перехода

В случае присоединения *p-n* перехода к внешнему источни-

ку тока, когда его положительный полюс соединен с р-областью, а отрицательный – с n-областью, показатель напряженности электрического поля в запирающем слое уменьшится и облегчит переход основных носителей тока через контактный слой. Вследствие этого дырки из р-области и электроны из n-области будут двигаться навстречу друг другу, пересекая n-p переход, что приведет к созданию тока в прямом направлении (рис. 7.2).

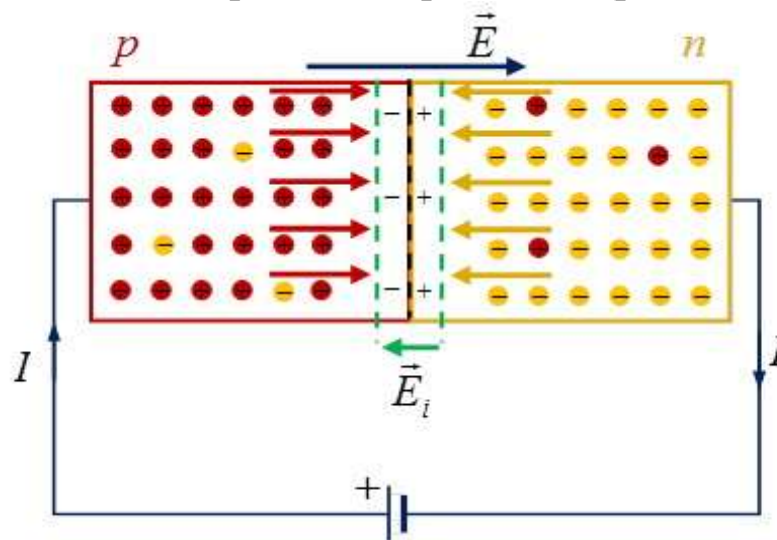


Рис. 7.2. Приложение напряжения к р-п переходу

Также в месте соприкосновения двух полупроводников (р-п переход), при приложении электричества, происходит рекомбинация электронов с дырками, при этом происходит высвобождение энергии в виде фотонов света (рис. 7.3).



Рис. 7.3. Высвобождение энергии в виде фотонов света

В отличие от обыкновенного диода светодиод имеет большую площадь соприкосновения в месте контакта двух полупроводников. Благодаря этому площадь рекомбинации больше, а,

следовательно, интенсивнее свечение. Однако не каждый p-n переход способен высвободить энергию в виде фотонов видимого спектра света. Это зависит от ширины запрещенной зоны, энергия преодоления которой должна быть соизмерима с энергией кванта видимого спектра света.

Основные части осветительного прибора:

- светодиоды;
- драйвер;
- цоколь;
- корпус.

Светоизлучающий диод. Буквенно его обозначают сокращением СИД (СД) в русском языке или LED в английском. Собственно, это и есть источник света светодиодной лампы.

В электрических схемах в качестве их обозначений используются обозначения обычных диодов, только с добавлением двух стрелочек, обозначающих излучение света (рис. 7.4).



Рис. 7.4. Обозначение светодиода в электрических схемах

Расположение слоев, используемых в светодиоде, показано на рис. 7.5. Их маленькая толщина порядка $10 \div 15$ нм (наномикрон) создается специальными методами химического осаждения из газовой фазы. В слоях размещены контактные площадки для анода и катода.

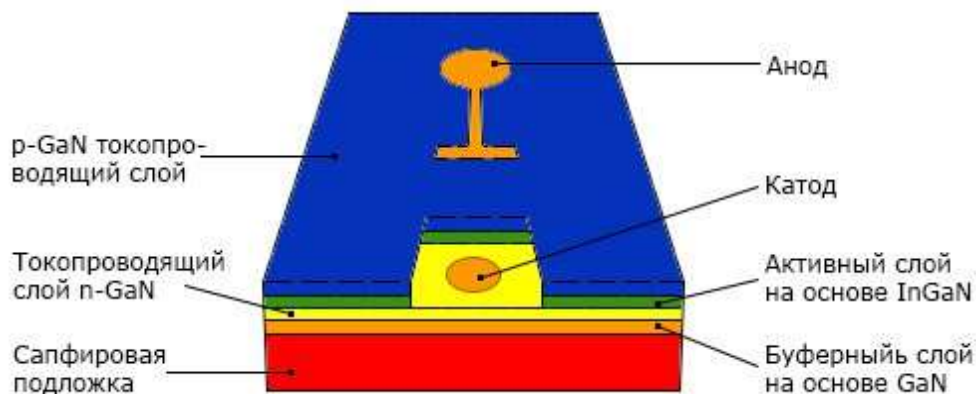


Рис. 7.5. Расположение слоев, используемых в светодиоде

Как при любом физическом процессе, во время преобразования электронов в фотоны, существуют потери энергии, обусловленные следующими причинами:

- часть световых частиц просто теряется внутри даже такого тонкого слоя;

- при выходе из полупроводника возникает оптическое преломление световых волн на границах кристалл/воздух, искажающее длину волны.

Применение специальных мер, например, использование сапфировой подложки, позволяет создать бóльший световой поток. Такие конструкции применяются для установки в лампы освещения, но не для обычных светодиодов, используемых в качестве индикаторов, показанных на рисунке ниже. Габариты кристалла весьма маленькие и от одного источника можно получить небольшой поток света. Поэтому для ламп освещения такие светодиоды объединяют довольно большими группами. При этом создать от них равномерное освещение во все стороны весьма проблематично: каждый светодиод является точечным источником.

Частотный спектр световых волн от полупроводниковых материалов значительно уже, чем от обычных ламп накаливания или солнца, что утомляет глаза человека, создает определенный дискомфорт. С целью исправления этого недостатка в отдельные конструкции светодиодов (рис. 7.6) для освещения вводится слой люминофора.

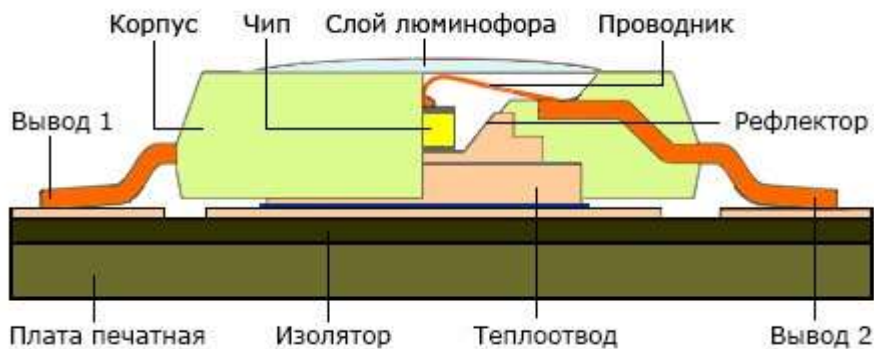


Рис. 7.6. Конструкция светодиода

Величина излучаемого светового потока полупроводниковых материалов зависит от тока, проходящего через р-п переход.

Чем больше ток, тем выше излучение, но до определенного значения (рис. 7.7).



Рис. 7.7. Зависимость светового потока от тока светодиода

Маленькие габариты, как правило, не позволяют использовать токи, превышающие 20 миллиампер для индикаторных конструкций. У мощных осветительных ламп применяется теплоотвод и дополнительные меры защиты, использование которых, однако, строго ограничено.

При запуске световой поток лампы пропорционально возрастает с увеличением тока, но затем из-за образования тепловых потерь начинает снижаться. Следует понимать, что процесс выделения фотонов из проводника не связан с тепловой энергией, светодиоды относятся к источникам холодного света.

Однако, проходящий через светодиод ток в местах контактов различных слоев и электродов преодолевает переходное сопротивление этих участков, вызывающее нагрев материалов. Выделяемое тепло вначале только создает потери энергии, но при увеличении тока может повредить конструкцию.

Количество светодиодных кристаллов, установленных в одну лампу, может превышать сотню работающих элементов. На каждый из них необходимо подвести оптимальный ток. Для этого создают стеклотекстолитовые платы с токопроводящими дорожками. Они могут иметь самую различную конструкцию (рис. 7.8).

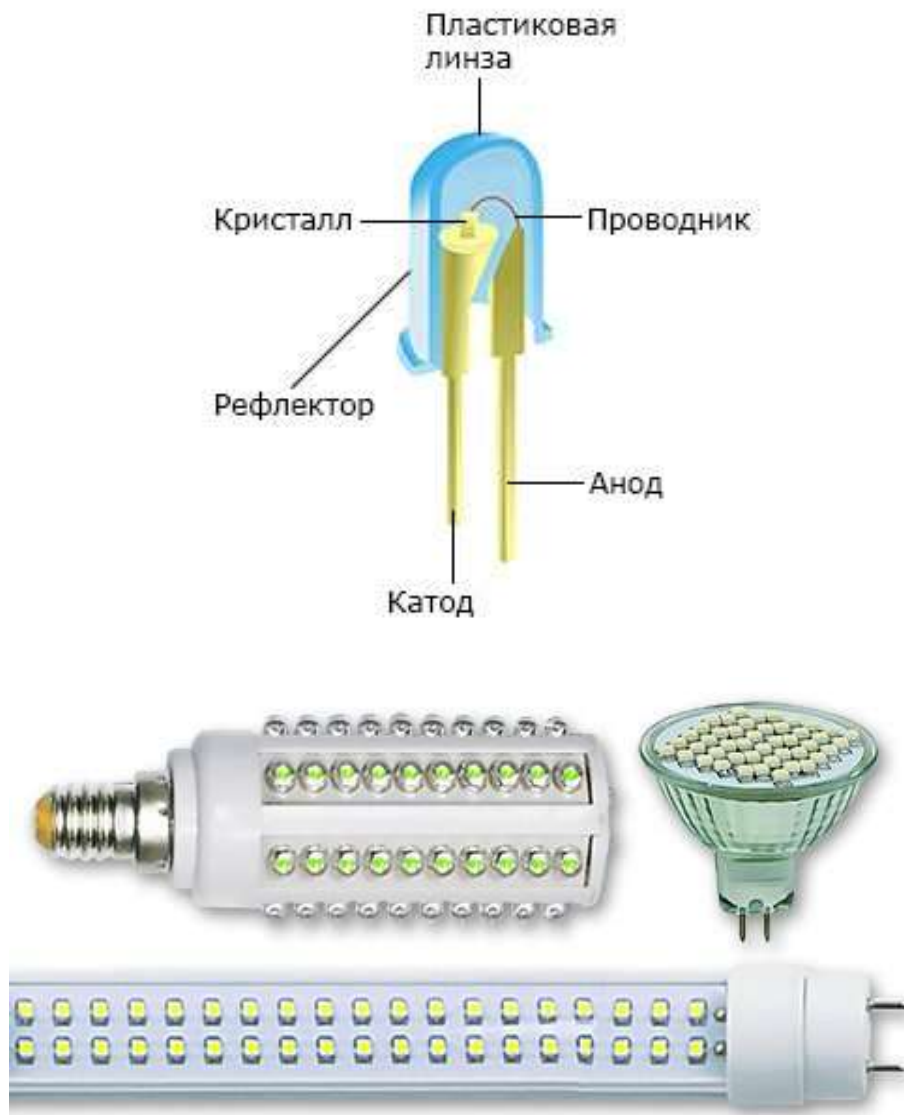


Рис. 7.8. Конструкции светодиодов

К контактным площадкам плат припаиваются светодиодные кристаллы. Чаще всего их формируют в определенные группы и запитывают последовательно друг с другом. Через каждую созданную цепочку пропускают один и тот же ток.

Такую схему проще реализовать технически, но она обладает одним главным недостатком – при нарушении одного любого контакта вся группа перестает светить, что является основной причиной поломки лампы.

Драйверы. Подвод постоянного напряжения к каждой группе светодиодов выполняется от специального устройства, которое раньше называли блоком питания, а сейчас – термином

«драйвер».

Цоколь. Осветительные лампы для квартирного освещения на российском рынке снабжаются цоколем E27 (рис. 7.9), который позволяет использовать их в обычных патронах от ламп накаливания.



Рис. 7.9. Осветительные лампы для квартирного освещения с цоколем E27

Корпус. Для защиты светодиодов осветительных ламп не требуется создавать каких-либо герметичных колб, как у ламп накаливания, из которых выкачан воздух и создана специальная газовая среда.

В начале девяностых был создан синий светодиод, следом появились зеленые, желтые и белые.

По типу соединения индикаторные делятся на:

- тройные AlGaAs (алюминий – галлий – мышьяк) – оранжевый и желтый свет в областях видимого цветового спектра;
- тройные GaAsP (галлий – мышьяк – фосфор) – желто-зеленый и красный свет в областях видимого спектра;
- двойные GaP (галлий – фосфор) – оранжевый и зеленый свет в областях видимого спектра.

Цвет. В зависимости от полупроводника, на основе которого выполнен светодиод, так же отличается цвет, излучаемый светодиодом. В продаже чаще всего можно встретить светодиоды таких цветов: красный, оранжевый, желтый, зеленый, синий, фиолетовый, ультрафиолетовый. Существуют также светодиоды, работающие в инфракрасном диапазоне, но поскольку их излучение не видно невооруженному глазу – их применение ограничено пультами ДУ и видеокамерами ночного видения.

Преимущества светодиодов перед другими видами ламп очевидны и неоспоримы:

1. Дают холодное свечение. Не нагревают имеющиеся рядом электроприборы.
2. Имеют малые габариты, компактные и лёгкие. Не бьются при транспортировке и при падении с высоты. Не перегорают.
3. Не нуждаются в использовании громоздких светофильтров и защитных колпаков. Могут работать и освещать улицы под дождём и под градом.
4. Имеют красивый дизайн и малые габариты.
5. Длительный период эксплуатации. Могут работать на протяжении 20 и более лет.
6. Низкое энергопотребление – в 10 раз меньше обычной лампы накаливания.
7. Экологически безвредны. Не имеют внутри газов и ртутных паров.
8. Пожаро- и взрывобезопасны.

7.2. Порядок проведения лабораторной работы

1. Получить инструктаж преподавателя о мерах безопасности при работе с лабораторным трансформатором, с записью в журнале по ТБ.
2. Подготовить схему для включения светодиодной лампы с возможностью изменения подаваемого напряжения при помощи лабораторного трансформатора.
3. Фиксировать изменение интенсивности светового потока светодиодной лампы при изменении подаваемого напряжения $\pm 5\%$ от номинального.
4. Составить отчет о проведенной лабораторной работе.

Вопросы по теме

1. Принципиальное устройство светодиодных ламп.
2. От чего зависит интенсивность свечения светодиодных ламп?
3. От чего зависит цвет, излучаемый светодиодными лампами?

4. Что такое драйвер? Его назначение?
5. Какое напряжение подается на вход светодиодной лампы, можно ли сделать светодиодную лампу на переменном напряжении?

Литература

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D0%B8%D0%BE%D0%B4>
2. <http://le-diod.ru/podklyuchenie-ustanovka/podklyuchenie-svetodiodov/>
3. <http://expertunion.ru/istochniki-sveta/shema-podklyucheniya-svetodioda.html>