

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Энергетический институт  
Направление подготовки – 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
Кафедра электропривода и электрооборудования

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Расчет системы освещения коттеджа на светодиодных элементах</b>

УДК 628.973.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗБ	Седокова Ирина Юрьевна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Потехина Н.В.			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Панин В.Ф.	Д.Т.Н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Дементьев Ю.Н.	Ph.D., К.Т.Н.		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Энергетический институт  
Направление подготовки – 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
Кафедра электропривода и электрооборудования

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой  
\_\_\_\_\_ Дементьев Ю.Н.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
5ГЗБ	Седоковой Ирине Юрьевне

Тема работы:

Расчет системы освещения коттеджа на светодиодных элементах
---

Утверждена приказом директора (дата, номер)

--	--

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	1. Двухэтажный коттедж площадью 128 м <sup>2</sup> .
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Расчет освещенности комнат. 2. Расчет количества светильников. 3. Расчет источника питания для светодиодов. 4. Выбор привода гаражных ворот.

<b>Перечень графического материала</b>		
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>		
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Потехина Н.В.	
Социальная ответственность	Панин В.Ф.	
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>		

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Кладиев С.Н.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗБ	Седокова Ирина Юрьевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5ГЗБ	Седоковой Ирине Юрьевне

<b>Институт</b>	<b>Энергетический</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Электропривода и электрооборудования</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавриат</b>	<b>Направление</b>	<b>Электроэнергетика и электротехника</b>

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Оклады: проектировщик – 20000 руб; монтажник – 18000 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Премии 20 % Накладные расходы 80%</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Сравнение электропотребления светодиодов и ламп накаливания.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Определение трудоемкости и графика выполнения работ, определение затрат на проект.</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Расчет выгоды по затратам электроэнергии светодиодами по сравнению с лампами накаливания; расчет срока окупаемости светодиодного оборудования.</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. *План-график проведения работ*
2. *Затраты на проект системы освещения*
3. *Сравнение мощностей ламп накаливания и светодиодов*

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Старший преподаватель	Потехина Н.В.			

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
5ГЗБ	Седокова Ирина Юрьевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СИСТЕМЫ  
ОСВЕЩЕНИЯ КОТТЕДЖА НА СВЕТОДИОДНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
5ГЗБ	Седоковой Ирине Юрьевне

<b>Институт</b>	<b>Энергетический</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Электропривода и электрооборудования</b>
Уровень образования	Бакалавр	Направление	Электроэнергетика и электротехника

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<p>1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</i></li> <li>– <i>опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</i></li> <li>– <i>негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</i></li> <li>– <i>чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</i></li> </ul>	<p>Территория коттеджа. Необходимо поддержание:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1. Нормативных метеоусловий, уровней освещенности, вибрации и шума;</li> <li>1.2. Нормативных мер обеспечения электро- и пожаробезопасности;</li> <li>1.3. Нормативных мер при обращении с выбросами, сбросами и твердыми отходами.</li> <li>1.4. Наиболее вероятные ЧС: загорания (пожары), поражение электрическим током.</li> </ol>
<p>2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<p>ГОСТ 12.0.003-74 «ОиВПФ»; ГОСТ 12.1.003-83 «Шум. Общие требования безопасности»; ГОСТ 12.1.01290 «Вибрационная безопасность»; ПУЭ, утвержденный министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.; №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»; Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681; Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2009 №1110 (с изменениями от 24.12.2014).</p>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<p>1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</i></li> <li>– <i>действие фактора на организм человека;</i></li> <li>– <i>приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</i></li> <li>– <i>предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</i></li> </ul>	<p>Вредные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Шум;</li> <li>2. Вибрации;</li> <li>3. Возможные ненормативные метеоусловия и освещенность.</li> </ol>
<p>2. <i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– <i>механические опасности (источники, средства защиты);</i></li> <li>– <i>термические опасности (источники, средства</i></li> </ul>	<p>Опасные факторы:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2.1. Опасность электропоражения;</li> <li>2.2. Опасность загораний (пожаров).</li> </ol>

<p>защиты);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита– источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>	
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>Описание проектируемой системы обращения с выбросами, сбросами, твердыми отходами.</p>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul>	<p>Возможные ЧС: загорание (пожар), электропоражения.</p> <p>Соблюдения техники безопасности</p> <p>Следовать плану эвакуации, вызвать пожарных.</p> <p>Разработать мероприятия по предупреждению загораний, электропоражений и ликвидации их последствий.</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>	<p>Право на условия жизни, отвечающие требованиям безопасности и гигиены.</p> <p>Использовать оборудования и мебель согласно антропометрическим данным.</p>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Панин В.Ф.	д.т.н.		19.03.2017

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5ГЗБ	Седокова Ирина Юрьевна		

## РЕФЕРАТ

Дипломный проект 114 с., 64 рис., 6 табл., 26 источников.  
СВЕТОДИОД, СВЕТОДИОДНЫЙ СВЕТИЛЬНИК, ПИТАНИЕ  
СВЕТОДИОДОВ, СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ, ПРИВОД ГАРАЖНЫХ  
ВОРОТ.

Объектом исследования является система освещения коттеджа на светодиондных элементах.

Цель работы – расчет освещения коттеджа, количества светильников, устройства питания, подбор привода гаражных ворот.

В процессе работы определялись недостатки и выбирались решения для устранения недостатков в разрабатываемой системе.

В результате проведенной работы рассчитана система освещения коттеджа, удовлетворяющая заданным параметрам.

Дипломная работа выполнена в текстовом редакторе MS Word 2013, с применением Planner 5D, MathCad 14, Matlab 14.

## Содержание

Введение.....	10
1. Обзор литературы .....	11
1.1. Физические основы работы светодиода.....	11
1.2. Светодиоды в настоящее время .....	11
1.3. Условия эффективной работы светодиодов .....	12
1.4. Питание светодиодов .....	13
2. Теоретический расчет искусственного освещения .....	18
2.1. Основные требования, предъявляемые к осветительным установкам ..	18
2.2. Размещение осветительных приборов.....	19
3. Расчет системы освещения коттеджа .....	21
3.1. Нормы освещения и выбор параметров .....	21
3.2. Алгоритм расчета освещенности .....	23
3.2.1. Расчет освещения кухни .....	23
3.2.2. Расчет освещения спальни на 1-ом этаже.....	27
3.2.3. Расчет освещения спальни на 2-ом этаже.....	30
3.2.4. Расчет освещения ванной комнаты .....	32
3.2.5. Расчет освещения холла.....	35
3.2.6. Расчет освещения гостиной.....	36
3.2.7. Расчет освещения кабинета .....	39
3.2.8. Расчет освещения комнаты на 2-ом этаже.....	41
3.2.9. Расчет освещения террасы.....	43
3.2.10. Расчет освещения балкона.....	44
4. Источник питания для светодиодного освещения .....	47
4.1. Требования к питанию светодиодов.....	47
4.2. Разработка структурной схемы источника питания.....	47
4.3. Выбор системы управления .....	49
4.4. Выбор входного выпрямителя .....	54
4.5. Разработка корректора коэффициента мощности .....	55
4.6. Выбор датчика тока .....	58

4.7. Выбор помехоподавляющего фильтра .....	60
4.8. Разработка источника питания и обоснование его мощности .....	63
4.8.1. Расчет “черного ящика” .....	64
4.8.2. Проектирование и расчет обратноходового трансформатора.....	65
4.8.3. Расчет обмотки трансформатора.....	68
4.8.4. Расчет RCD-цепочки .....	72
4.8.5. Расчет выходного диода и выходного конденсатора.....	73
4.8.6. Выбор силового ключа.....	74
5. Моделирование силовой части источника питания .....	76
6. Система управления гаражными воротами.....	79
6.1. Выбор привода для гаражных ворот.....	83
7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	90
7.1. Определение трудоемкости и графика выполнения работ.....	90
7.2. Затраты на проект .....	92
7.3. Электропотребление светодиодами и лампами накаливания.....	94
7.4. Расчет экономии и срока окупаемости.....	95
8. Социальная ответственность .....	97
8.1. Характеристика помещения .....	97
8.2. Анализ опасных и вредных факторов.....	98
8.3. Техника безопасности .....	98
8.4. Электропоражение.....	99
8.5. Микроклимат в помещении .....	101
8.6. Освещенность.....	104
8.7. Пожарная опасность .....	105
8.8. Защита окружающей среды от процессов в коттедже.....	108
8.9. Предотвращение ЧС и ликвидация их последствий .....	109
Заключение .....	111
Список используемой литературы .....	112

## **Введение**

Целью работы является проектирование освещения коттеджа на светодиодных элементах.

Современный светодиодный источник света отличается малыми габаритами, высокой надежностью, прочностью, хорошими оптическими характеристиками и высокой светоотдачей. Светодиодное освещение — одно из перспективных направлений технологий искусственного освещения, основанное на использовании светодиодов в качестве источника света. Светодиоды являются ключом к решению проблемы энергосбережения, а также являются экологически чистыми, имеют большой срок службы.

Особенно актуальна проблема энергосбережения при строительстве и вводе в эксплуатацию новых зданий. Например, для населенного пункта в 100 000 человек нужно около 9000 светоточек. Если вместо так называемых энергосберегающих светильников с натриевыми лампами поставить светодиодные, можно получить экономию электроэнергии до 3 ГВт в год. И это не только уменьшение расходов на подключение, но и возможность применения кабелей с меньшим сечением и пр.

Объектом данного исследования является система освещения коттеджа на светодиодных элементах. Предметом исследования данной работы является расчет системы освещения.

## **1. Обзор литературы**

### **1.1. Физические основы работы светодиода**

Светодиодом называется полупроводниковый диод, предназначенный для преобразования электрической энергии в энергию некогерентного светового излучения. В светодиодах используется принцип генерации света при прохождении электрического тока через границу полупроводникового и проводящего материалов. Электрический ток – это поток электронов в определенном направлении, движущийся под действием напряжения между концами проводника. Проводящие материалы или проводники можно сравнить с каналом, по которому течет поток воды, а полупроводники – с порогом на пути потока. В одну сторону («сверху вниз») поток без проблем преодолевает порог, при этом даже выделяя какое-то количество энергии. Но чтобы заставить этот поток преодолеть порог в обратную сторону, надо затратить какое-то усилие, необходимое для подъема потока на высоту порога. В полупроводниках электрический ток в одну сторону (в проводящем направлении) течет при приложении даже небольшого напряжения, свободно преодолевая порог. В потоке воды энергия, выделяющаяся при преодолении порога, может вращать турбины, мельничные колеса и т. п. – все зависит от высоты порога и количества протекающей воды. Точно также электроны при преодолении «энергетического порога» выделяют определенную энергию. Обычно эта энергия выделяется в виде тепла, но при определенных условиях может превращаться и в свет.

### **1.2. Светодиоды в настоящее время**

Сегодня светодиоды (иностранное обозначение – LED, Lighting Emitted Diode) – наиболее развивающееся направление в области источников света. Сейчас созданы светодиоды практически всех цветов радуги – от красного до фиолетового, а также диоды, излучающие в инфракрасной и ультрафиолетовой областях. К производству светодиодов приступили мировые лидеры в области источников света Osram и Philips и сотни более мелких фирм во всех развитых странах. В настоящее время на лабораторных

образцах «белых» светодиодов американской фирмы Cree достигнута световая отдача 276 лм/Вт, что близко к теоретическому пределу. (Согласно расчетам физиков, предельное значение световой отдачи светодиодов с «белым» излучением при приемлемом качестве цветопередачи – 250-280 лм/ Вт). Промышленные образцы светодиодов ряда фирм (Cree, Nichia, Toshiba, Samsung, Оптиган) имеют световую отдачу до 160 лм/Вт, то есть больше, чем у люминесцентных ламп и даже натриевых ламп высокого давления. Массовая продукция подавляющего большинства фирм выпускается со световой отдачей около 80 лм/Вт, то есть на уровне хороших люминесцентных иметаллогалогенных ламп. По данным фирм-изготовителей средний срок службы светодиодов малой мощности превышает 50 000 часов. Наиболее уважаемые фирмы (Osram, Philips, Nichia) для мощных светодиодов и светодиодных модулей дают срок службы 25 000 часов [1].

### 1.3. Условия эффективной работы светодиодов

Параметры всех источников света так или иначе зависят от температуры окружающего воздуха. Меньше всего это проявляется в лампах накаливания, сильнее всего – в люминесцентных лампах и светодиодах.

Типовая зависимость светового потока и срока службы от температуры р-п перехода показана на рис. 1 и 2.

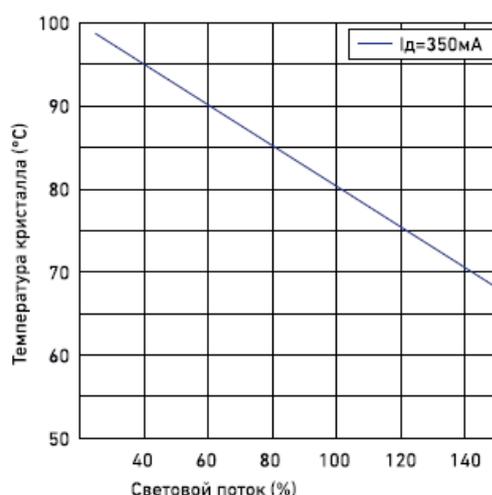
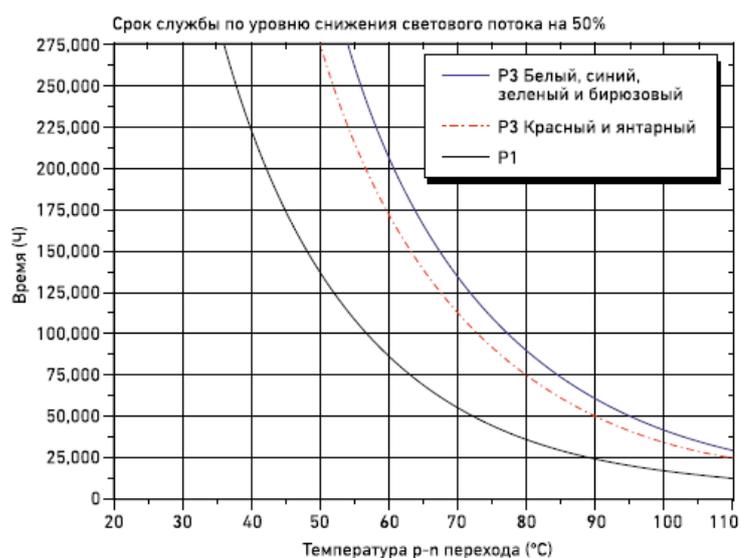


Рисунок 1 – Зависимость светового потока светодиода от температуры (по горизонтальной оси – температура кристалла, °C; по вертикальной оси – световой поток, %)



P1 – светодиоды на основе соединений AlAsP;

P2 – светодиоды красного и янтарного цвета на основе соединений InGaN;

P3 – светодиоды зеленого, синего и белого цвета на основе соединений InGaN.

Рисунок 2 – Зависимость срока службы светодиодов от температуры

Из этих рисунков видно, что при температуре перехода  $+75\text{ }^{\circ}\text{C}$  световая отдача снижается примерно на 30%, прогнозируемый срок службы – примерно также. При дальнейшем росте температуры происходит еще более заметное снижение основных параметров светодиодов. Предельной температурой перехода можно считать  $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Отсюда можно сделать однозначный вывод: чтобы создать эффективный осветительный прибор, необходимо, прежде всего, позаботиться о температурном режиме светодиодов.

#### 1.4. Питание светодиодов

Для питания светодиодов нужен постоянный ток низкого напряжения, величина которого зависит от цветности излучения: у красных светодиодов это 1,9–2,1 В, у зеленых 2,5–3 В, у синих и белых – около 4-х В. Поэтому для включения их в сеть требуются специальные источники питания – устройства управления (УУ) или конверторы. Эти аппараты – неотъемлемая часть любого светильника со светодиодами, поэтому к ним должны предъявляться такие же требования, как и к источникам света. Устройства управления должны обеспечивать не только питание светодиодов, но

и электромагнитную совместимость светильника и сети, то есть определенную форму потребляемого тока (отсутствие высших гармоник), отсутствие радиопомех, коэффициент мощности. Кроме этого, есть еще один параметр – это пульсации выходного тока или напряжения. Светодиоды – практически безынерционный источник света, поэтому излучаемый ими световой поток, полностью повторяет форму протекающего через светодиод тока. Это приводит к пульсациям освещенности на освещаемом месте. Санитарные правила и нормы жестко регламентируют глубину пульсаций освещенности. Например, для рабочих помещений с компьютерами глубина пульсаций освещенности должна быть не более 5% [1].

Рассмотрим особенности питания белых светодиодов. Как известно, светодиод имеет нелинейную вольт-амперную характеристику с характерной «пяткой» на начальном участке.



Рисунок 3 – Вольт-амперная характеристика светодиода (белого свечения)

Как мы видим, светодиод начинает светиться, если на него подано напряжение больше 2,7 В. При превышении порогового напряжения (выше 3В) ток через светодиод начинает быстро расти и здесь требуется ограничить ток, стабилизировать его на определенном уровне. Простейшим ограничителем тока через светодиод является резистор. Существует несколько вариантов схемотехнического включения светодиодов. Они делятся на схемы с параллельным, последовательным и смешанным включением.

Последовательное включение преследует цель либо повысить мощность излучения, либо увеличить излучаемую поверхность.

На рис. 4 показана схема последовательного включения излучающих диодов.

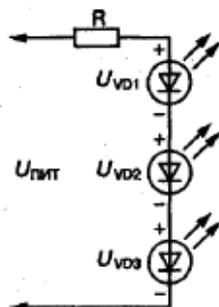


Рисунок 4 - Схема последовательного включения светодиодов

Недостатками последовательного включения является:

- во-первых, с увеличением числа светодиодов увеличивается и напряжение питания, потому что для прохождения тока через последовательно включенные светодиоды необходимо соблюдение условия  $U_{пит} > U_{vd1} + U_{vd2} + U_{vd3}$ ;
- во-вторых, увеличение числа светодиодов снижает надежность системы, при выходе из строя одного из светодиодов перестают работать все последовательно включенные светодиоды.

При параллельном включении светодиодов через каждый излучатель протекает отдельный ток, задаваемый отдельным токозадающим резистором.

На рис. 5 показана схема параллельного включения излучающих диодов.

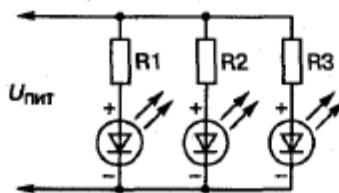


Рисунок 5 – Схема параллельного включения светодиодов

Преимуществом параллельного включения является высокая надежность, так как при выходе из строя одного из излучателей остальные продолжают работать.

Недостатки:

- каждый светодиод потребляет отдельный ток и повышается энергопотребление;
- увеличиваются потери на токозадающих резисторах.

Наиболее эффективным является смешанное (комбинированное) последовательно-параллельное включение, показанное на рис. 6.

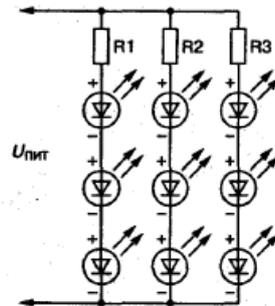


Рисунок 6 – Схема последовательно-параллельного включения светодиодов

В этом случае число последовательно включенных излучателей ограничено напряжением питания, а число параллельных ветвей выбирается в зависимости от требуемой мощности. Смешанное соединение включает в себя положительные свойства вариантов параллельного и последовательного включения. В связи с тем, что зрительный аппарат человека является инерционным, довольно часто при питании светодиодов используют импульсный ток. На рис. 7 показаны временные диаграммы импульсного тока.

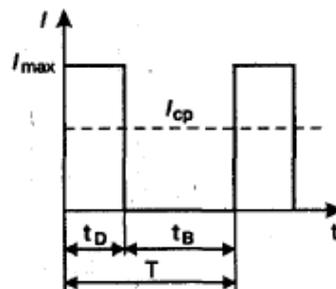


Рисунок 7 – Временные диаграммы импульсного тока

Как уже упоминалось, резистор является элементом, ограничивающий ток, протекающий через светодиод. Но резистор удобно применять, если питающее напряжение постоянно. На практике часто случается, что напряжение не стабильно, например, напряжение аккумуляторной батареи

уменьшается при ее разряде довольно в широких пределах. В этом случае широко применяют линейные стабилизаторы тока. Простейший линейный стабилизатор тока можно собрать на широко распространенных микросхемах типа КР142ЕН12(А), LM317 (и их многочисленных аналогах), как показано на рис. 8.

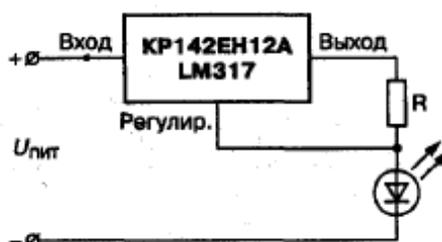


Рисунок 8 – Схема простейшего линейного стабилизатора тока

Схема построения таких стабилизаторов тока отличается простотой (микросхема и один резистор), компактностью и надежностью. Надежность дополнительно обусловлена развитой системой защиты от перегрузок и перегрева, встроенной в микросхему стабилизатора. Для стабилизации токов от 350 мА и выше можно использовать и более мощные микросхемы линейных регуляторов с малым падением напряжения серий 1083, 1084, 1085 различных производителей либо отечественные аналоги КР142 ЕН 22А / 24N26А.

Но у линейных стабилизаторов тока есть существенные недостатки:

- низкий КПД;
  - большие потери сильный нагрев при регулировке больших токов.
- Поэтому в данный момент все чаще применяются импульсные преобразователи и стабилизаторы для питания светодиодов и светодиодных модулей [2].

## **2. Теоретический расчет искусственного освещения**

### **2.1. Основные требования, предъявляемые к осветительным установкам**

Основные требования, предъявляемые к осветительным установкам, заключаются в следующем [3]:

- обеспечение равномерности распределения освещенности на рабочей поверхности, постоянства освещенности во времени и отсутствия в поле зрения слепящих яркостей (других светильников);
- отсутствие теней на рабочей поверхности (правильный выбор направления светового потока, использование светильников рассеянного или отраженного светораспределения);
- обеспечение спектрального состава излучения (цветопередачи).

Расчетам предшествует ряд подготовительных этапов [4]:

1. Определение нормируемых характеристик и параметров: установление нормативов, анализ габаритно-планировочных параметров объекта расчета с выявлением расположения рабочих поверхностей и точек пространства, для которых соответственно приняты нормативы; выявление объектов, могущих оказать затеняющее действие; анализ оптических характеристик ограждающих поверхностей; выявление направления отражающих поверхностей для соблюдения мер ограничения отраженной блескости; установление режима использования электрического освещения как фактора, влияющего на выбор источника света; определение требований к спектральным характеристикам источника света.

2. Оценка действия многократных отражений: определение коэффициента отражения отражающих поверхностей и оценка их роли в перераспределении светового потока светильников; выявление отражающих характеристик локально расположенных у рабочих мест поверхностей; оценка влияния оконных проемов или других мало отражающих поверхностей на перераспределение светового потока.

3. Оценка потерь светового потока: установление категории среды в зоне возможного размещения осветительных приборов и в пространстве полезного распространения их светового потока; определение допустимых для применения в данной установке осветительных приборов в соответствии с их характеристиками; определение расчетного значения коэффициента запаса.

4. Выбор схемы размещения светильников и способов расчета: оценка возможности подбора типовых решений; выбор типа источника света; подбор вариантов для сравнения; выбор способа расчета необходимой мощности и числа ламп.

Значение нормируемой освещенности выбирается в зависимости от характера зрительной работы, размеров объекта различения, фона и контраста объекта с фоном, вида и системы освещения, типа источника света. Нормы освещенности приведены в СНиП 23-05-95. [5]

## **2.2. Размещение осветительных приборов**

Первой задачей размещения светильников является определение расчетной высоты подвеса  $H_n$ :

$$H_n = H - h_c - h_p,$$

где  $H$  – высота помещения, м;  $h_c$  – расстояние светильников от перекрытия (фермы), как правило, принимается в пределах 0–1,5 м;  $h_p$  – высота рабочей поверхности над полом, м.

По соображениям безопасности высота установки светильников над полом должна, как правило, быть более 2,5 м.

Второй задачей размещения светильников является обеспечение требуемой равномерности освещения при наименьшем световом потоке источника.

Существует два вида размещения светильников: равномерное и локализованное. При локализованном способе размещения светильников выбор их места расположения решается в каждом случае

индивидуальной зависит от технологического процесса и плана размещения освещаемых объектов. Далее будем рассматривать равномерное освещение.

Для обеспечения равномерности освещения светильники обычно размещают по вершинам квадрата или ромба. Оптимальное расстояние между светильниками определяется по формуле

$$\lambda_c \cdot H_n \leq L \leq \lambda_\varepsilon \cdot H_n,$$

где  $\lambda_c$ ,  $\lambda_\varepsilon$  – относительные светотехнические и энергетические наимыгоднейшие расстояния между светильниками.

При невозможности размещения светильников по вершинам квадрата или ромба их размещают по вершинам прямоугольника [4].

Расстояние от стены до ближайшего ряда светильников  $l_B$  или до ближайшего светильника в ряду  $l_A$  принимают в пределах  $(0,3 \dots 0,5)L_{A,B}$ , но при наличии рабочих поверхностей у стен возможны и меньшие значения, а также размещение светильников на стенах.

Тогда по известным  $l_{A,B}$  и  $L_{A,B}$ , длине  $A$  и ширине  $B$  помещения можно определить число рядов светильников:

$$N_2 = \frac{B - 2 \cdot l_B}{L_B} + 1,$$

а также число светильников в одном ряду

$$N_1 = \frac{A - 2 \cdot l_A}{L_A} + 1$$

и общее число светильников в помещении  $N_\Sigma = N_1 \cdot N_2$ .

### **3. Расчет системы освещения коттеджа**

#### **3.1. Нормы освещения и выбор параметров**

В качестве расчетной площади выбрана кухня. Ту или иную часть этого помещения необходимо освещать в разной степени.

Количество света, необходимое для освещения уголка со столом, отличается от количества света, которое необходимо для комфортного использования рабочей столешницы. Задача - выбрать оптимальный тип светильников, на основе принятых показателей рассчитать нужную мощность ламп и сделать пребывание на кухне комфортным для глаз.

Параметры разных типов ламп первое, на что следует обратить внимание.

Параметры типов ламп:

- Мощность (Вт). Этот параметр указывает количество энергии, которое потребляет элемент. Измеряется в Ваттах.
- Цветопередача (К). Оттенок света у источников колеблется в разном диапазоне. От низкого - 1800 К (красный) до высокого - 16000 К (синий).

Обращая внимание на этот параметр, необходимо подобрать приятный для восприятия тон свечения. Чем ниже показатель, тем тон теплее, например, свечение лампы накаливания. Чем ближе к синему, тем цвета более холодные. Отличный пример такого свечения - светодиодные лампы для дома. Единица измерения - Кельвины.

Примеры цветопередачи:

1. 2000 К - Свеча
2. 2200-2800 К - Лампа накаливания
3. 3000 К - Теплый LED свет
4. 5000 К - Люминесцентная лампа
5. 6000 К - Холодный LED свет

Световой поток - это количество света, отдаваемое лампочкой. Измеряется в люменах. В паре с этим показателем нужно говорить о

световой отдаче, показателе эффективности лампочки. Соотношение количества света к мощности, которую "берет" лампа. Чем этот показатель выше, тем эффективней лампочка применяет свою мощность.

Световой поток светодиодная лампы 40 Вт: 3440 лм, светоотдача 86 лм/Вт.

Освещенность - необходимый поток света на один метр квадратный комнаты. Освещенность измеряется в Люксах (Лк). 1 люкс = 1 люмен × 1 м<sup>2</sup>.

Выписка из СНиП:

- Ванная комната: 30 лк
- Туалет: 30 лк
- Подвал: 20 лк
- Холл: 50 лк
- Коридор: 50 лк
- Библиотека: 300 лк
- Кабинет: 300 лк
- Кухня: 150 лк

Из этой выписки можно сделать вывод: чем ответственнее помещение для работы глаз, тем больше освещенности необходимо предоставить.

План коттеджа представлен на рис.9, 10.



Рисунок 9 – План 1-ого этажа коттеджа

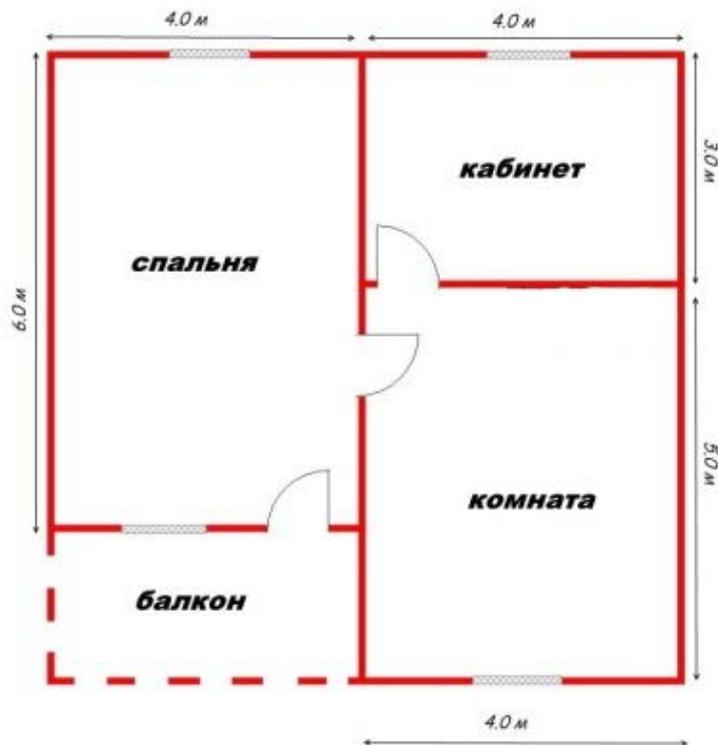


Рисунок 10 – План 2-ого этажа коттеджа

### 3.2. Алгоритм расчета освещенности

#### 3.2.1. Расчет освещения кухни

Кухня общей площадью  $12 \text{ м}^2$ , разделенная на условные 3 зоны:



Рисунок 11 – Схема кухни

- зона отдыха
- общая зона

- рабочая зона

На всей кухне применено светодиодное освещение. По центру установлен общий светильник, а по потолку размещены точечные светильники. Над рабочей зоной, по желанию, можно смонтировать светодиодную ленту в качестве дополнительного освещения.

В целом для рабочей зоны отдельное освещение не является обязательным условием, но так намного удобнее работать, поскольку стоящий около столешницы загораживает сам себе основной свет с потолка.

Применяя светильники потолочные светодиодные, можно не только избавиться от слишком мощных лампочек на основной люстре по центру, но и распределить свет по всей площади равномерно.



Рисунок 12 – Светильник потолочный светодиодный

Согласно выписке из СНиП, норма освещенности кухни 150 Люкс на 1 м<sup>2</sup>. Общая площадь: 12 м<sup>2</sup>.

$$150 \cdot 12 = 1800 (\text{Лк}).$$

Следовательно, для освещения указанной площади необходимо добиться освещенности, равной 1800 люксов.

Зная, что 1лк = 1лм и ориентируясь на приведенные выше значения, необходимо рассчитать нужную суммарную мощность всех светодиодных ламп.

1 Ватт дает 86 лк освещения. Следовательно, мощность всех ламп для 12 м<sup>2</sup> составляет:

$$\frac{1800}{86} = 20,93(Вт).$$

Необходимо округлить в пользу большего значения и добавить еще 3 Вт для компенсации поглощения света стенами и отбивание от поверхностей, окончательно нужно принять 24 Вт.

Размещение светильников по потолку: над зоной отдыха 2 точечных светильника по 4 Вт для указанных на схеме 3,0 м<sup>2</sup>. Один основной светодиодный светильник мощностью 9 Вт по центру. Он будет оснащен матовым плафоном, поэтому цифру необходимо увеличить, чтобы компенсировать потерю света. Также размещаем 2 точечных светильника между рабочей зоной и основным плафоном, по 4 Вт каждый.



Рисунок 13 – Светильник точечный светодиодный

Для полного, равномерного и качественного освещения, нужно применить 25 Вт светодиодной подсветки для кухни площадью 12 м<sup>2</sup>.

Для рабочей зоны возможно дополнительно применить светодиодную ленту. Светодиодная лента подходит для декоративного эффекта и усиления локального освещения. Была выбрана лента SMD3528. Такая лента продается мотками по 5 метров и потребляет 4,8 Вт на один свой метр длины. Была принята длина 3 метра.

Мощность ленты составляет:

$$4,8 \cdot 3 = 14,4(\text{Вт}).$$

Нужное для ленты напряжение составляет 12 В, поэтому применение ленты подразумевает установку блока питания.

Мощность блока питания необходимо принять на 20% больше расчетной, для запаса:

$$14,4 + 20\% = 17,28(\text{Вт}).$$

Кухня имеет следующую схему размещения светильников и мощностей.

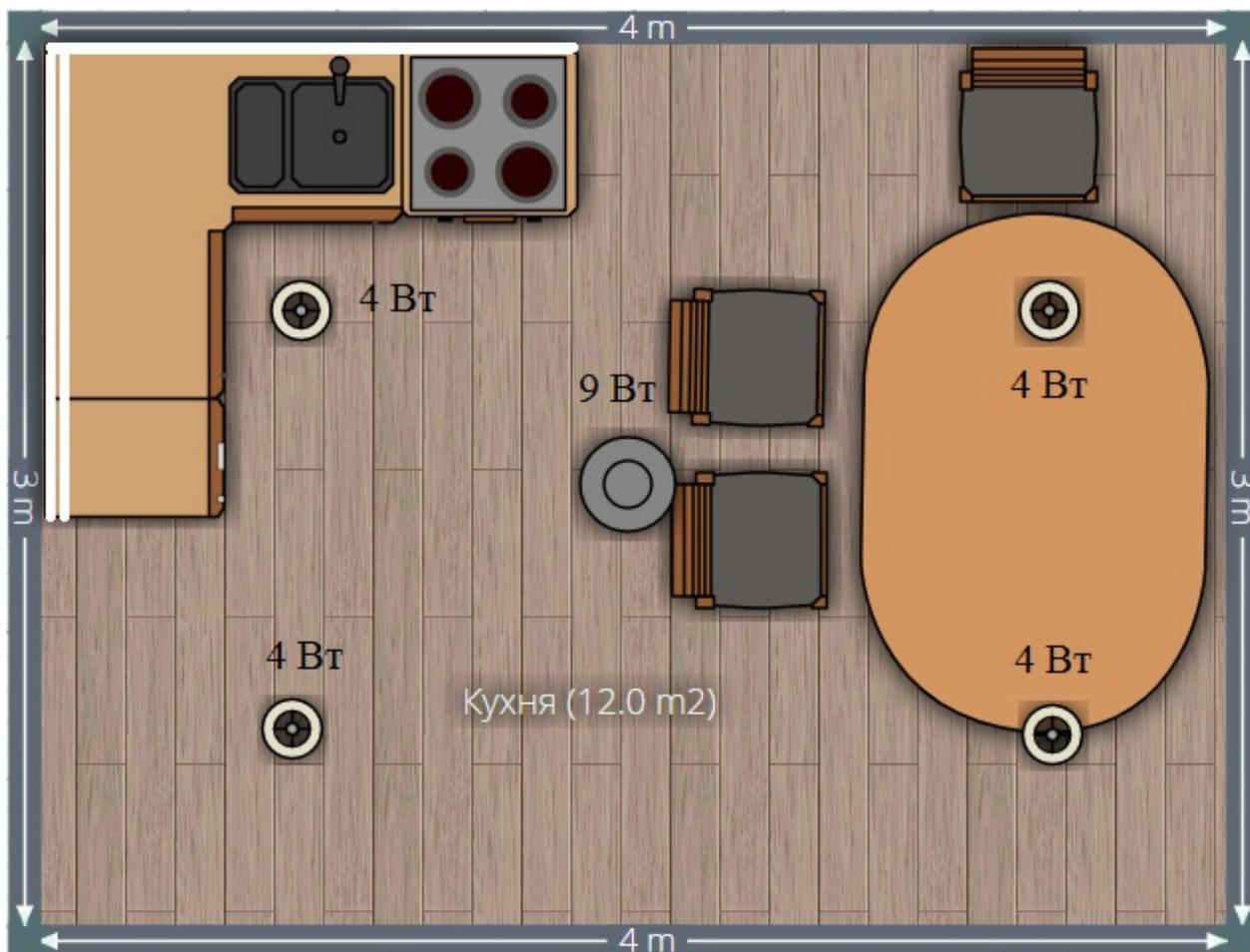


Рисунок 14 – Схема размещения светильников и мощностей

### 3.2.2. Расчет освещения спальни на 1-ом этаже

Общая площадь спальни: 12 м<sup>2</sup>.



Рисунок 15 – Схема спальни

Согласно выписке из СНиП, норма освещенности спальни 150 Люкс на 1 м<sup>2</sup>.

$$150 \cdot 12 = 1800 (\text{Лк}).$$

Следовательно, для освещения указанной площади необходимо добиться освещенности, равной 1800 люксов.

Мощность всех ламп для 12 м<sup>2</sup> составляет:

$$\frac{1800}{86} = 20,93 (\text{Вт}).$$

Необходимо округлить в пользу большего значения и добавить еще 3 Вт для компенсации поглощения света стенами и отбивание от поверхностей, окончательно нужно принять 24 Вт.

Освещение спальни разделено на базовое, прикроватное, декоративное и освещение зеркала.

Размещение светильников по потолку: основной светодиодный светильник мощностью 9 Вт по центру, оснащенный матовым плафоном,

поэтому цифру необходимо увеличить, чтобы компенсировать потерю света. Также размещены 4 точечных светодиодных светильника мощностью 3 Вт. По обеим сторонам кровати размещены 2 светодиодных бра мощностью 2 Вт.

Для дополнительного освещения зеркала по его периметру располагается светодиодная лента SMD3528, также эта светодиодная лента применена в качестве декоративного освещения кровати. Для освещения зеркала использовано 4 м светодиодной ленты, кровати – 5 м.

Мощность лент составляет:

$$4,8 \cdot 4 = 19,2 (Вт)$$

$$4,8 \cdot 5 = 24 (Вт)$$

Мощность блока питания необходимо принять на 20% больше расчетной, для запаса:

$$19,2 + 20\% = 23,04 (Вт)$$

$$24 + 20\% = 28,8 (Вт)$$

На рисунке XX представлен вариант декоративной подсветки кровати светодиодной лентой.



Рисунок 16 – Декоративное освещение кровати

Спальня имеет следующую схему размещения светильников и мощностей.

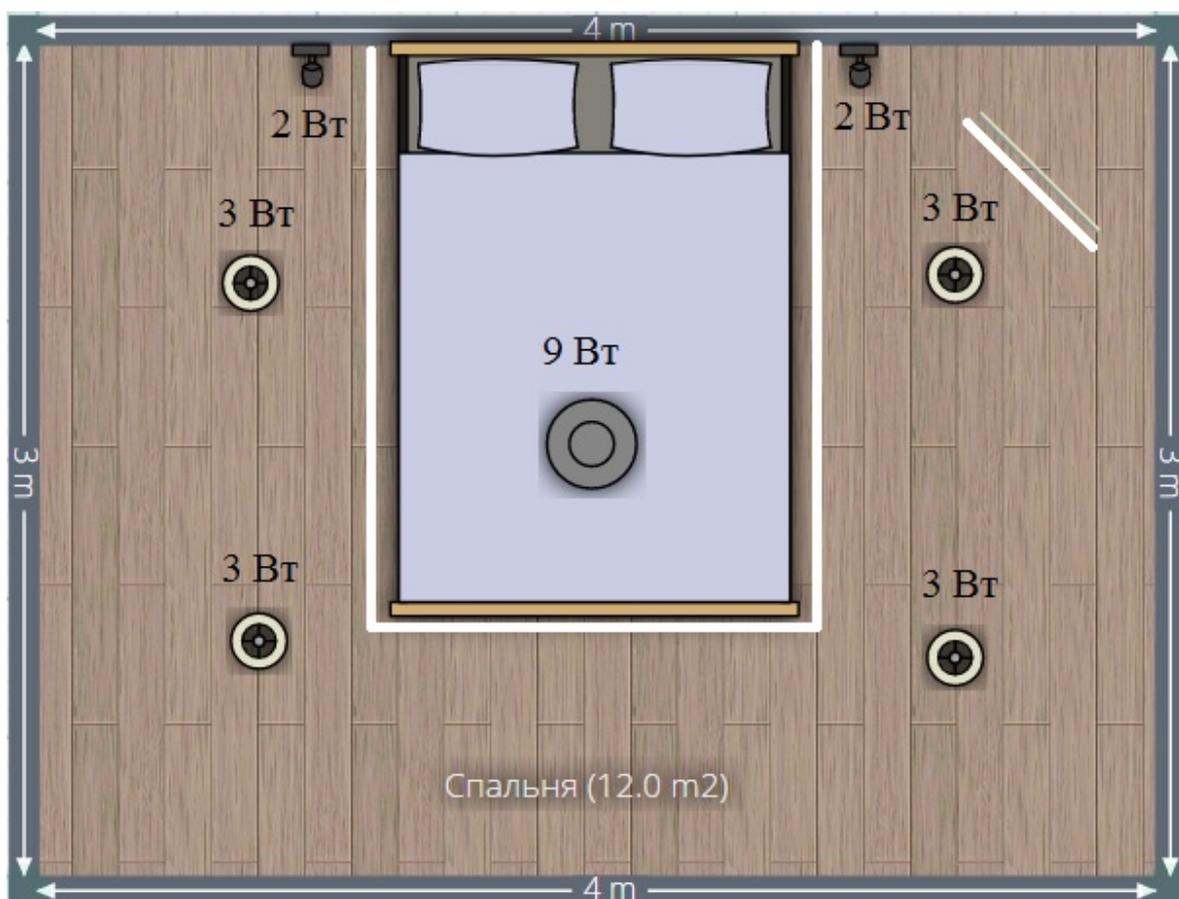


Рисунок 17 – Схема размещения светильников и мощностей

### 3.2.3. Расчет освещения спальни на 2-ом этаже

Общая площадь спальни составляет 24 м<sup>2</sup>.

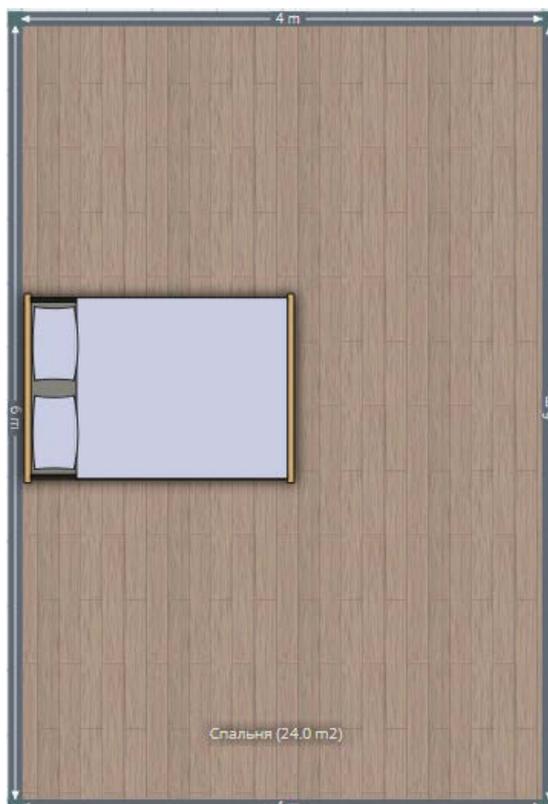


Рисунок 18 – Схема спальни на 2-ом этаже

Согласно выписке из СНиП, норма освещенности спальни 150 Люкс на 1 м<sup>2</sup>.

$$150 \cdot 24 = 3600(\text{Лк}).$$

Следовательно, для освещения указанной площади необходимо добиться освещенности, равной 3600 люксов.

Мощность всех ламп для 24 м<sup>2</sup> составляет:

$$\frac{3600}{86} = 41,86(\text{Вт}).$$

Необходимо округлить в пользу большего значения и добавить еще 3 Вт для компенсации поглощения света стенами и отбивание от поверхностей, окончательно нужно принять 45 Вт.

Освещение спальни разделено на базовое и прикроватное.

По потолку размещены 7 точечных светодиодных светильников мощностью 6 Вт. По обеим сторонам кровати размещены светодиодные бра мощностью 3 Вт.

Итого для комфортного освещения спальни необходимо 46 Вт.

Спальня имеет следующую схему размещения светильников и мощностей.

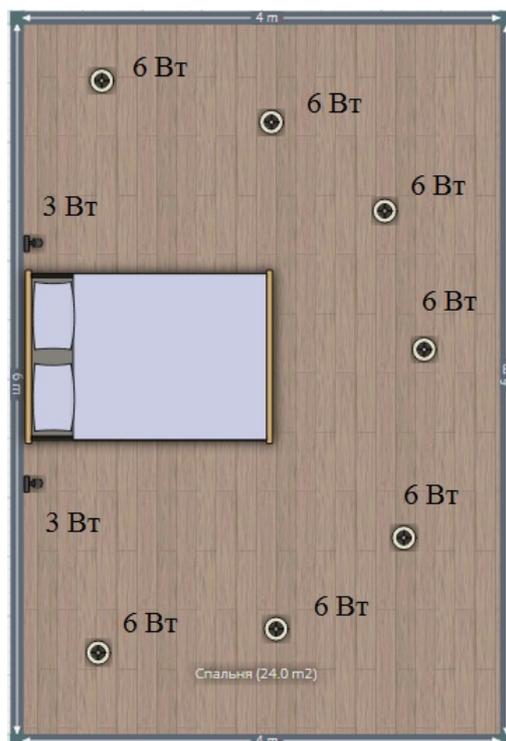


Рисунок 19 – Схема размещения светильников и мощностей

На рисунке 20 представлен вариант освещения спальни при помощи точечных светодиодных светильников.



Рисунок 20 – Пример освещения спальни точечными светильниками

### 3.2.4. Расчет освещения ванной комнаты

Общая площадь составляет 6 м<sup>2</sup>.



Рисунок 21 – Схема ванной комнаты

Согласно выписке из СНиП, норма освещенности ванной комнаты составляет 30 Люкс на 1 м<sup>2</sup>.

$$30 \cdot 6 = 180(\text{Лк}).$$

Следовательно, для освещения указанной площади необходимо добиться освещенности, равной 180 люксов.

Мощность всех ламп для 6 м<sup>2</sup> составляет:

$$\frac{180}{86} = 2,09(\text{Вт}).$$

Необходимо округлить в пользу большего значения и добавить еще 3 Вт для компенсации поглощения света стенами и отбивание от поверхностей, окончательно нужно принять 6 Вт.

В данном случае ванная комната имеет миниатюрный размер, поэтому для ее комфортного освещения достаточно поместить светодиодный светильник в центре потолка. Он будет оснащён матовым плафоном, поэтому мощность лампы необходимо увеличить до 9 Вт. Для удобства также следует дополнительно осветить зону умывания и зеркала, чтобы все косметические процедуры было проводить намного проще.

Для дополнительного освещения зоны умывания используется светодиодная лента SMD3528 длиной 4 метра, обладающая защитой IP67 или IP68. Эта защита заключается в наличии сплошной герметизации. Стоит отметить, что LED-лента с маркировкой IP67 может выдерживать временное погружение в воду. Светодиодную ленту с маркировкой IP68 можно погружать под воду на долгое время, но глубина погружки не должна превышать одного метра.

Мощность ленты составляет:

$$4,8 \cdot 4 = 19,2(\text{Вт}).$$

Мощность блока питания необходимо принять на 20% больше расчетной, для запаса:

$$19,2 + 20\% = 23,04(\text{Вт}).$$



Рисунок 22 – Освещение зеркала в ванной комнате светодиодной лентой

Ванная комната имеет следующую схему размещения светильников и мощностей.



Рисунок 23 – Схема размещения светильников и мощностей

### 3.2.5. Расчет освещения холла

Общая площадь холла составляет 6 м<sup>2</sup>.



Рисунок 24 – Схема холла

Согласно выписке из СНиП, норма освещенности холла составляет 50 Люкс на 1 м<sup>2</sup>. Общая площадь: 6 м<sup>2</sup>.

$$50 \cdot 6 = 300(\text{Лк}).$$

Следовательно, для освещения указанной площади необходимо добиться освещенности, равной 300 люксов.

Мощность всех ламп для 6 м<sup>2</sup> составляет:

$$\frac{300}{86} = 3,49(\text{Вт}).$$

Необходимо округлить в пользу большего значения и добавить еще 3 Вт для компенсации поглощения света стенами и отбивание от поверхностей, нужно принять 7 Вт.

По потолку располагается 2 точечных светодиодных светильника мощностью 4 Вт. Итого для комфортного освещения холла необходимо 8 Вт.

Холл имеет следующую схему размещения светильников и мощностей.



Рисунок 25 – Схема размещения светильников и мощностей

### 3.2.6. Расчет освещения гостиной

Общая площадь гостиной составляет 20 м<sup>2</sup>.

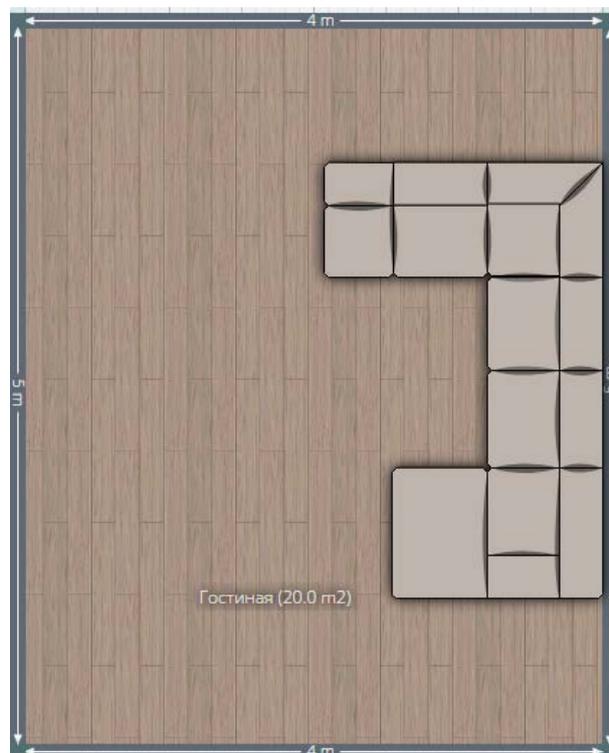


Рисунок 26 – Схема гостиной

Согласно выписке из СНиП, норма освещенности гостиной составляет 150 Люкс на 1 м<sup>2</sup>.

$$150 \cdot 20 = 3000(\text{Лк}).$$

Следовательно, для освещения указанной площади необходимо добиться освещенности, равной 3000 люксов.

Мощность всех ламп для 20 м<sup>2</sup> составляет:

$$\frac{3000}{86} = 34,88(\text{Вт}).$$

Необходимо округлить в пользу большего значения и добавить еще 3 Вт для компенсации поглощения света стенами и отбивание от поверхностей, нужно принять 38 Вт.

В гостиной необходимо обеспечить общий свет, способный достаточно осветить комнату, но при этом не слишком яркий, для комфортного пребывания в комнате. Общий свет реализуется с помощью основного светодиодного светильника с матовым плафоном мощностью 9 Вт и точечных светильников мощностью 4 Вт. В качестве локального освещения можно использовать настенные светильники или торшеры, которые уместно располагать около дивана для обеспечения необходимой яркости света, например, при чтении. В данном случае используются 2 настенных бра мощностью 3 Вт. Итого для комфортного освещения гостиной необходимо 39 Вт.

Гостиная имеет следующую схему размещения светильников и мощностей.

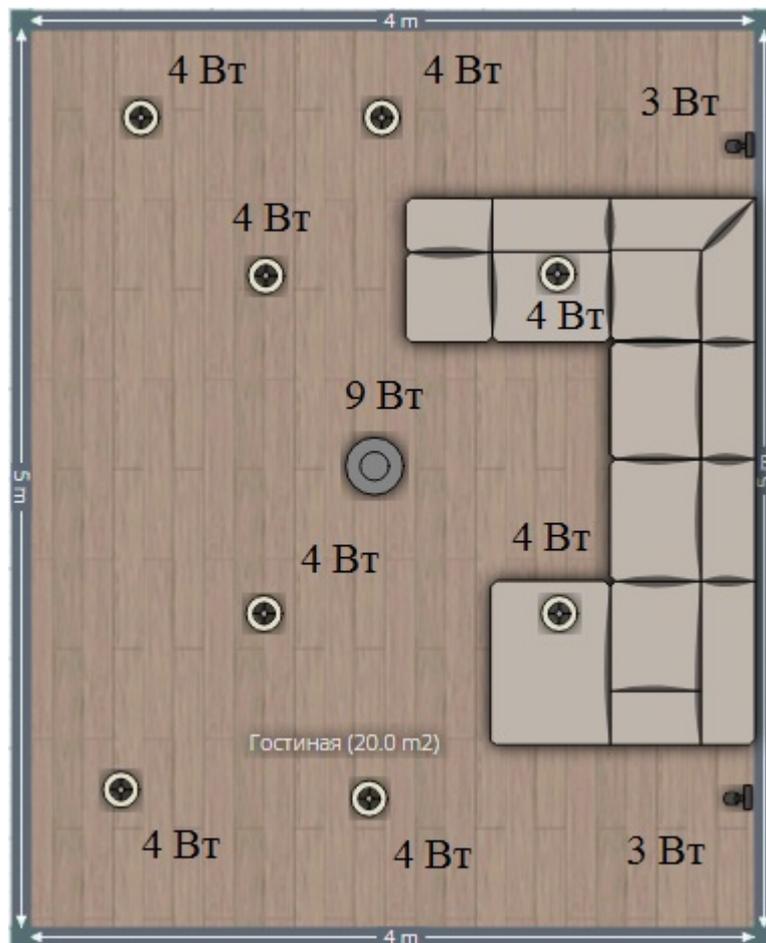


Рисунок 27 – Схема размещения светильников и мощностей

Пример использования точечных светодиодных светильников в гостиной представлен на рисунке 28.



Рисунок 28 – Точечные светодиодные светильники в интерьере гостиной

### 3.2.7. Расчет освещения кабинета

Общая площадь кабинета составляет 12 м<sup>2</sup>.

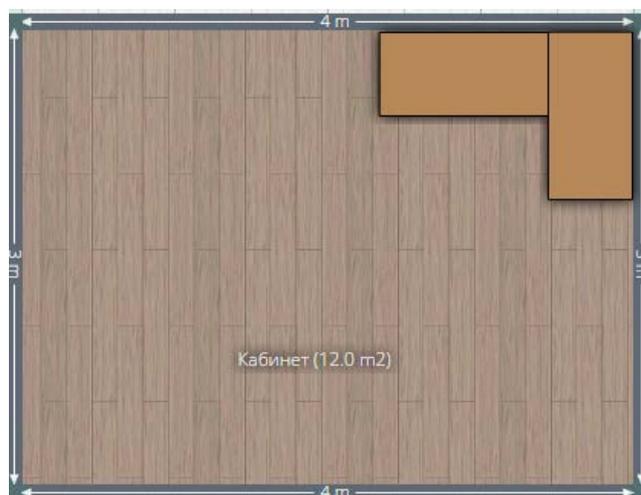


Рисунок 29 – Схема кабинета

Согласно выписке из СНиП, норма освещенности кабинета составляет 300 Люкс на 1 м<sup>2</sup>.

$$300 \cdot 12 = 3600(\text{Лк}).$$

Следовательно, для освещения указанной площади необходимо добиться освещенности, равной 3600 люксов.

Мощность всех ламп для 12 м<sup>2</sup> составляет:

$$\frac{3600}{86} = 41,86(Вт).$$

Необходимо округлить в пользу большего значения и добавить еще 3 Вт для компенсации поглощения света стенами и отбивание от поверхностей, нужно принять 45 Вт.

В центре помещения устанавливается общий светодиодный светильник с матовым плафоном мощностью 36 Вт, не дающий тяжелой тени, также устанавливаются 3 точечных светодиодных светильника мощностью 3 Вт. На рабочем месте размещается дополнительный источник света – светодиодная лента SMD3528 длиной 3 метра.

Мощность ленты составляет:

$$4,8 \cdot 3 = 14,4(Вт).$$

Мощность блока питания необходимо принять на 20% больше расчетной, для запаса:

$$14,4 + 20\% = 17,28(Вт).$$

Кабинет имеет следующую схему размещения светильников и мощностей.

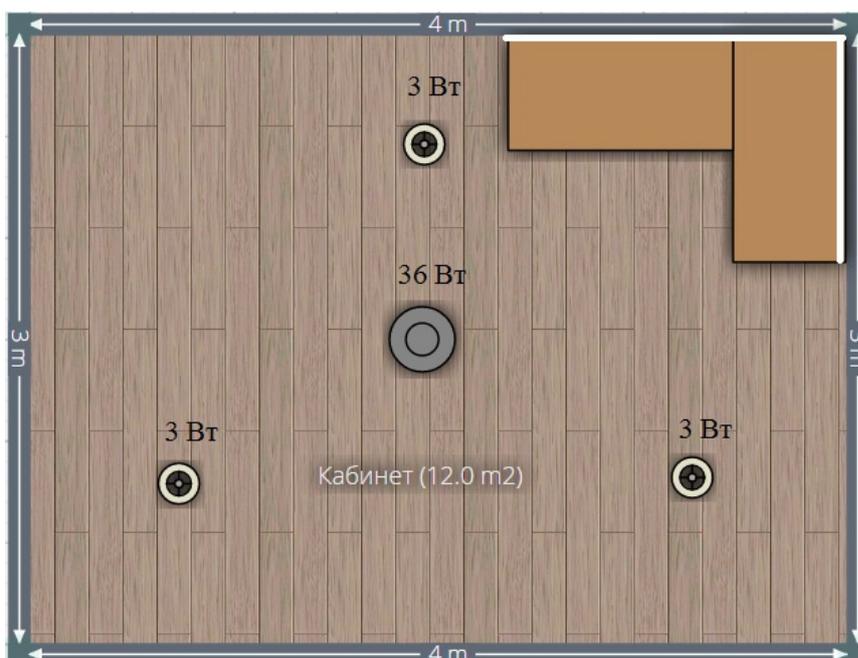


Рисунок 30 – Схема размещения светильников и мощностей

Пример использования светодиодной ленты в качестве дополнительной подсветки рабочего места представлен на рисунке 31.



Рисунок 31 – Светодиодная лента в качестве дополнительной подсветки рабочего места

### 3.2.8. Расчет освещения комнаты на 2-ом этаже

Общая площадь комнаты составляет 20 м<sup>2</sup>.

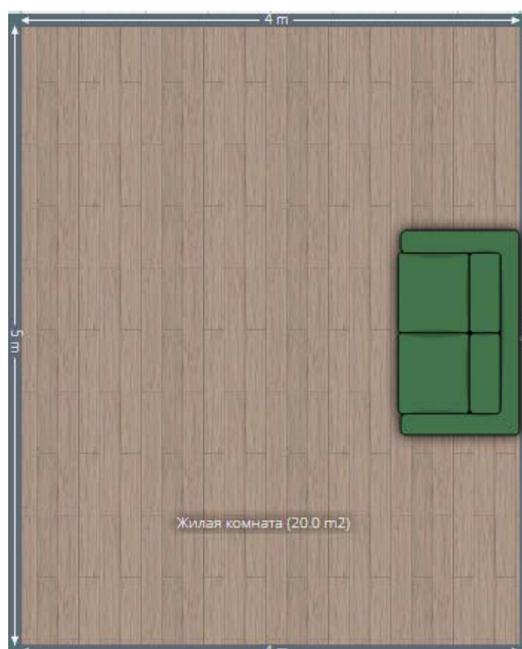


Рисунок 32 – Схема комнаты

Согласно выписке из СНиП, норма освещенности жилой комнаты составляет 150 Люкс на 1 м<sup>2</sup>.

$$150 \cdot 20 = 3000(\text{Лк}).$$

Следовательно, для освещения указанной площади необходимо добиться освещенности, равной 3000 люксов.

Мощность всех ламп для 20 м<sup>2</sup> составляет:

$$\frac{3000}{86} = 34,9(\text{Вт}).$$

Необходимо округлить в пользу большего значения и добавить еще 3 Вт для компенсации поглощения света стенами и отбивание от поверхностей, нужно принять 38 Вт.

В качестве общего светильника используется светодиодный светильник мощностью 20 Вт, а также по потолку располагаются 5 точечных светодиодных светильников мощностью 4 Вт. Итого для комфортного освещения комнаты необходимо 40 Вт.

Комната имеет следующую схему размещения светильников и мощностей.

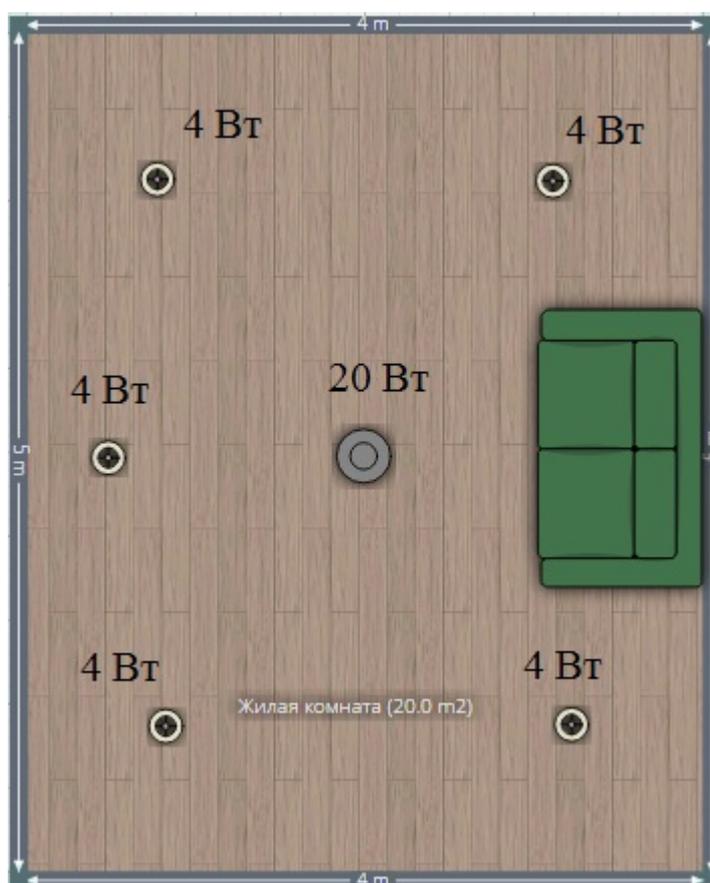


Рисунок 33 – Схема расположения светильников и мощностей

### 3.2.9. Расчет освещения террасы

Согласно выписке из СНиП, норма освещенности террасы составляет 50 Люкс на 1 м<sup>2</sup>. Общая площадь: 8 м<sup>2</sup>.

$$50 \cdot 8 = 400(\text{Лк}).$$

Следовательно, для освещения указанной площади необходимо добиться освещенности, равной 400 люксов.

Мощность всех ламп для 8 м<sup>2</sup> составляет:

$$\frac{400}{86} = 4,65(\text{Вт}).$$

Необходимо округлить в пользу большего значения и добавить еще 3 Вт для компенсации поглощения света стенами и отбивание от поверхностей, нужно принять 8 Вт.

Необходимо обеспечить яркое освещение лестницы при входе на террасу, пристроенную к дому. Источников освещения лестницы должно быть несколько, так как ступеньки будут отбрасывать тень, что затруднит восприятие размеров каждой ступени и может привести к травмам.

По периметру террасы используется 8 точечных светодиодных светильников мощностью 1 Вт и 2 точечных светодиодных светильника мощностью 1 Вт для освещения ступеньки.

Терраса имеет следующую схему размещения светильников и мощностей.



Рисунок 34 – Схема размещения светильников и мощностей

Пример освещения террасы с помощью точечных светодиодных светильников приведен на рис.35.

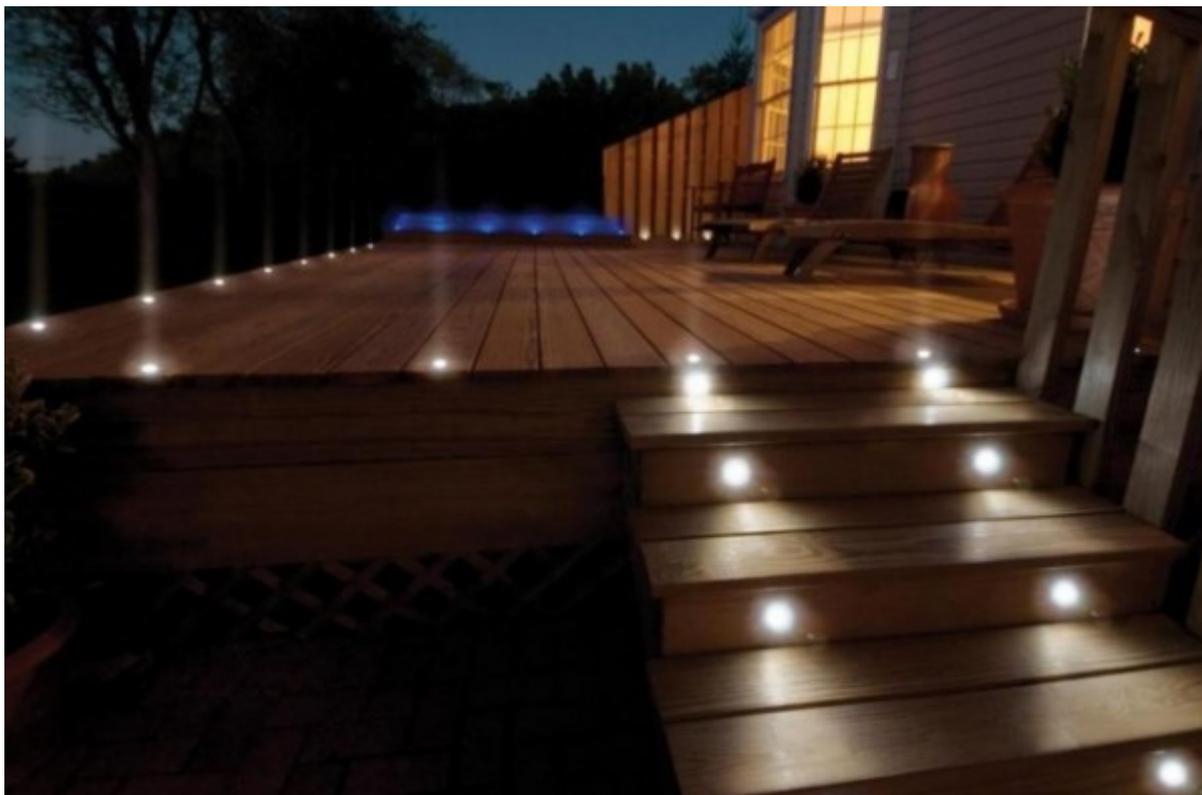


Рисунок 35 – Освещение террасы с помощью точечных светодиодных светильников

### 3.2.10. Расчет освещения балкона

Согласно выписке из СНиП, норма освещенности балкона составляет 50 Люкс на 1 м<sup>2</sup>. Общая площадь: 8 м<sup>2</sup>.

$$50 \cdot 8 = 400(\text{Лк}).$$

Следовательно, для освещения указанной площади необходимо добиться освещенности, равной 400 люксов.

Мощность всех ламп для 8 м<sup>2</sup> составляет:

$$\frac{400}{86} = 4,65(\text{Вт}).$$

Необходимо округлить в пользу большего значения и добавить еще 3 Вт для компенсации поглощения света стенами и отбивание от поверхностей, нужно принять 8 Вт.

Для комфортного освещения будет достаточно трёх точечных светодиодных светильников мощностью 3 Вт. Итого для комфортного освещения балкона необходимо 9 Вт.

Балкон имеет следующую схему размещения светильников и мощностей.

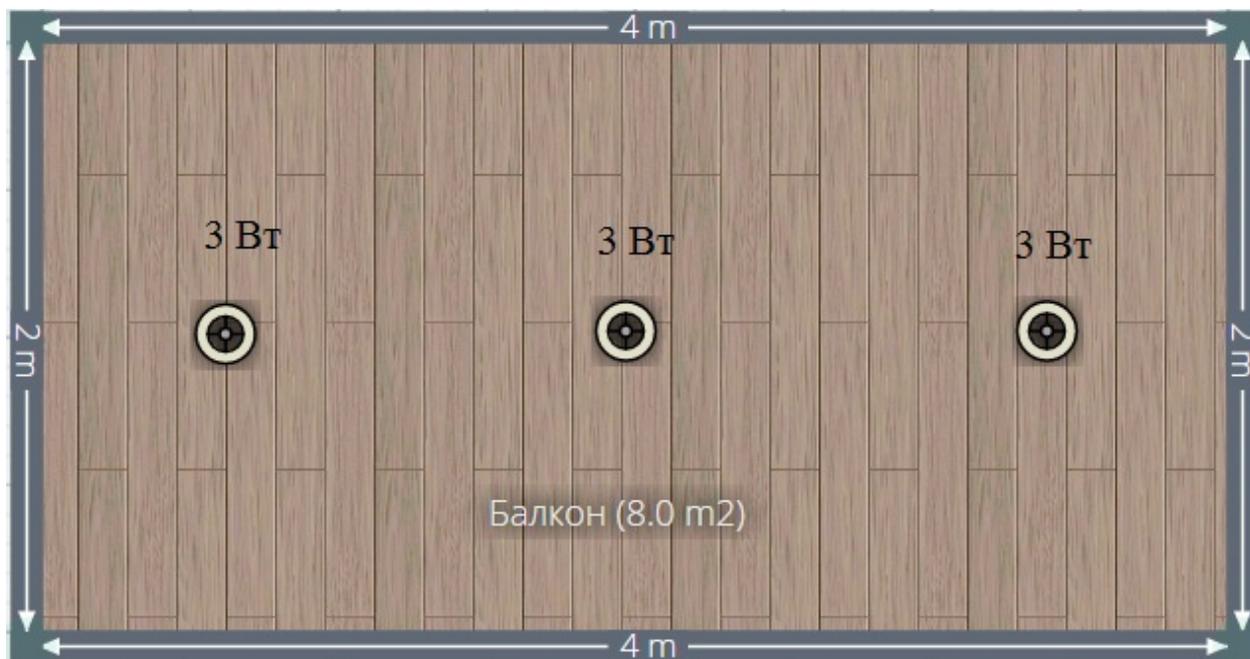


Рисунок 36 – Схема размещения светильников и мощностей

Пример освещения балкона с помощью точечных светодиодных светильников представлен на рис.37.



Рисунок 37 – Освещение балкона с помощью точечных светодиодных светильников

## **4. Источник питания для светодиодного освещения**

### **4.1. Требования к питанию светодиодов**

Светодиоды и светодиодные модули требуют специализированного электрического питания, для которого существуют следующие требования:

1. Блок электропитания должен сохранять работоспособность в течение незначительного временного ресурса порядка 50000 часов и более, обеспечивая при этом требуемые характеристики;
2. Питание должно быть стабилизированным по току, иметь защиту от импульсов перенапряжения и обратной полярности;
3. Цена всего вышеуказанного не должна существенно превышать стоимость светодиодного модуля.

### **4.2. Разработка структурной схемы источника питания**

Источники питания являются важнейшей частью светотехнической конструкции. Необходимо тщательно подходить к их выбору или разработке. У светодиодов характеристики светимости зависят от уровня и стабильности протекающего через них тока. Поэтому к устройствам питания светодиодов предъявляются специальные требования по регулированию выходного тока в зависимости от характеристик источника питания и нагрузки. [1]

Источники питания делятся на линейные и импульсные. Линейные отличаются низкой ценой, но эффективность их работы невелика – при работе они выделяют много тепла, а это потери мощности. Кроме того, светодиодные светильники с линейными драйверами очень чувствительны к параметрам питающего напряжения. Структурная схема источника питания изображена на рисунке 38.

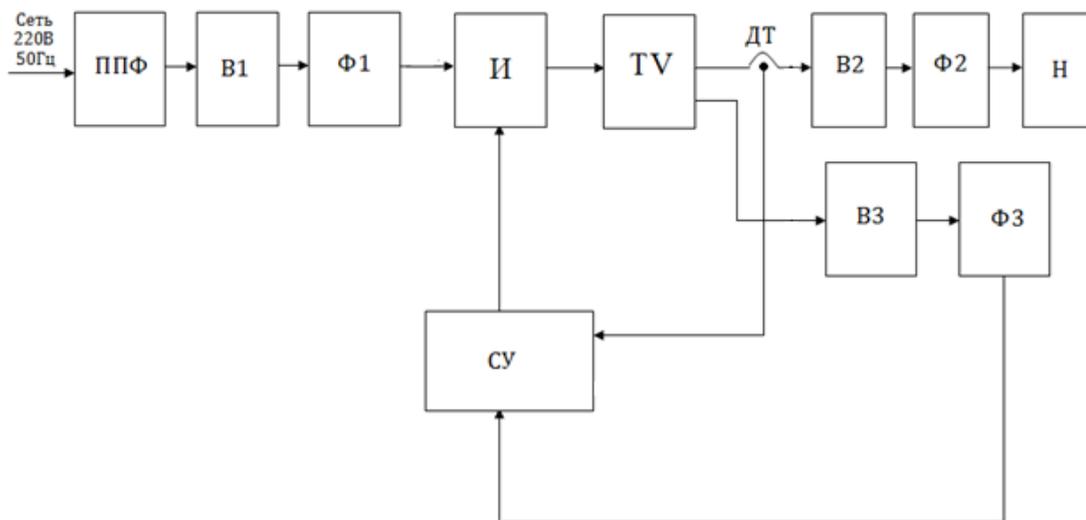


Рисунок 38 – Общая структурная схема источника питания светильника:  
 ППФ – помехоподавляющий фильтр; В1 – входной выпрямитель; Ф1 – емкостной сглаживающий фильтр; И – высокочастотный инвертор; ТV – высокочастотный трансформатор; ДТ – датчик тока; В2 – выходной выпрямитель; Ф2 – емкостный сглаживающий фильтр; В3 – выходной выпрямитель; Ф3 – емкостный сглаживающий фильтр; СУ – система управления; Н – нагрузка

Функциональное назначение вышеприведенных блоков:

- ППФ – помехоподавляющий фильтр предназначен для подавления электромагнитных помех со стороны самого источника питания.
- В1 – входной низкочастотный однофазный выпрямитель преобразует напряжение промышленной частоты 50 Гц в постоянное.
- Ф1 – входной фильтр предназначен для компенсации токов рекуперации, которые обусловлены спецификой работы электромагнитных элементов на высокой частоте.
- И – высокочастотный инвертор преобразует постоянное выпрямленное напряжение в переменное высокочастотное.
- ТV – высокочастотный трансформатор понижает напряжение инвертора до необходимой величины и обеспечивает эффективную передачу мощности на сигналах с быстрыми фронтами.
- ДТ – датчик тока. Используется для стабилизации заданного значения тока.

- В2, В3 – выходные высокочастотные выпрямители, которые преобразуют переменное высокочастотное напряжение в постоянное выпрямленное.
- Ф2, Ф3 – выходные высокочастотные фильтры, предназначены для фильтрации выходного высокочастотного напряжения.
- СУ – система управления силовыми транзисторами. Используется принцип широтно-импульсной модуляции (ШИМ) с применением обратной связи по току. Задаёт частоту и длительность импульсов тока силовых ключей.
- Н – нагрузкой является светодиодная линейка с нелинейной вольт – амперной характеристикой.

### **4.3. Выбор системы управления**

Главная цель схемы управления – это поддерживать выходное постоянное напряжение для большого диапазона токов нагрузки. Для этого используется контур отрицательной обратной связи. Контроллеры всех источников питания как линейных, так и импульсных – считывают выходное напряжение. Номинальное выходное напряжение понижается до уровня опорного напряжения внутри микросхемы контроллера. Это напряжение обратной связи подаётся на инверсный вход операционного усилителя с большой степенью усиления, называемого усилителем напряжения ошибки. Опорное напряжение подаётся на не инверсный вход того же операционного усилителя. Выход усилителя соответствует усиленной разнице между опорным и выходным напряжениями. Это выходное напряжение называется напряжением ошибки (рассогласования). Далее это напряжение используется для управления той частью энергии, которую источнику питания необходимо передать нагрузке. Напряжение ошибки может быть положительным в результате слишком низкого выходного напряжения. В этом случае источник питания должен увеличить значение передаваемой энергии. А может быть напряжение ошибки и отрицательным в результате слишком

высокого выходного напряжения. В этом случае источник должен уменьшить значение передаваемой энергии.

Выбор метода управления микросхемы является очень важным моментом. В общем случае, прямоходовые топологии обычно используют контроллеры, работающие в режиме напряжения, а обратноходовые обычно в токовом режиме [16].

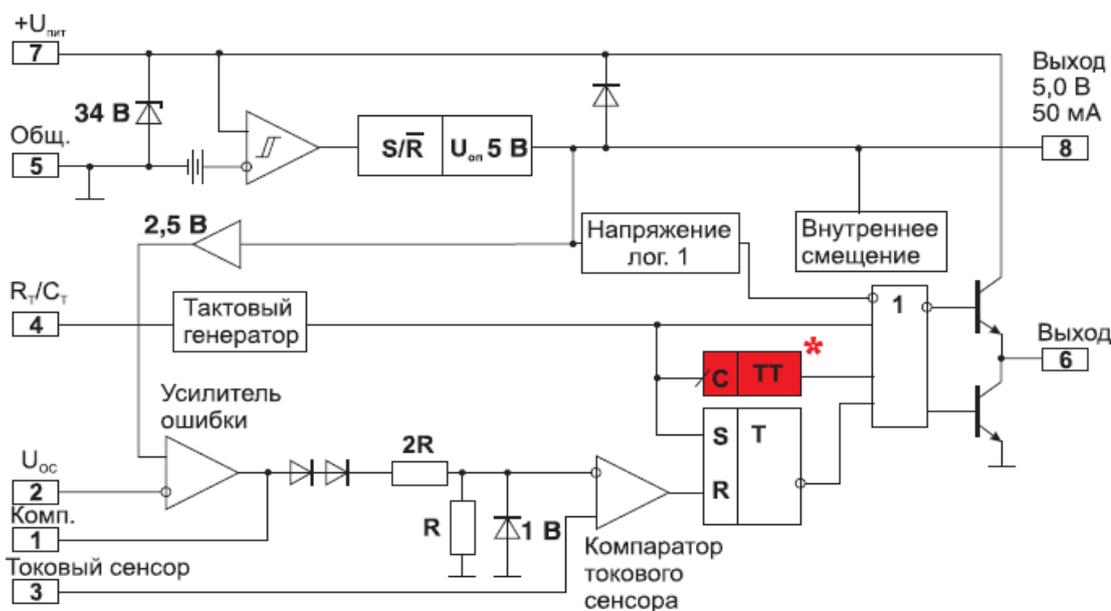
Так как светодиод является токовым прибором и силовая часть строится на основе обратноходового преобразователя, то в данной работе будет использован токовый режим управления контроллера.

Для управления силовой частью разрабатываемого источника питания хорошо подходит ШИМ – контроллер из семейства UC2844 – UC 3845. Это очень дешёвый и распространённый чип, выпускаемый многими производителями. Выберем один из вариантов этой серии исходя из следующих соображений:

- в данной серии чипов есть возможность ограничения величины рабочего цикла любой величиной, и все расчёты могут быть адаптированы под любое максимальное значение рабочего цикла;
- сетевому источнику питания желательно иметь большой гистерезис питающего напряжения чипа – это значительно облегчает построение схем запуска и защиты;
- данная микросхема выпускается в двух модификациях. В чипах, обозначение которых содержит индекс (A), снижен стартовый ток и несколько выше тонность опорного напряжения, но стоимость их одинакова, поэтому лучше использовать микросхему с индексом.

Сопоставляя всё вышесказанное, остановимся на выборе микросхемы UC 2844 A как отвечающей всем условиям.

Структурная схема внутреннего строения микросхемы изображена на рисунке 39.



\* присутствует только в UCX844 и UCX845

Рисунок 39 – Структурная схема микросхемы UC 2844A

Микросхема содержит блок защитного выключения при снижении напряжения питания. Блок состоит из триггера Шмитта, имеющего дифференциальные входы, и источника опорного напряжения. С помощью RS – триггера этот блок управляет общим источником опорного напряжения 5В. Этот источник имеет собственный вывод и обеспечивает ток до 50мА. В режиме короткого замыкания он способен выдерживать до 100 мА. Этот ШИМ – контроллер получил название токовый из-за блока защитного отключения (рис. 40).

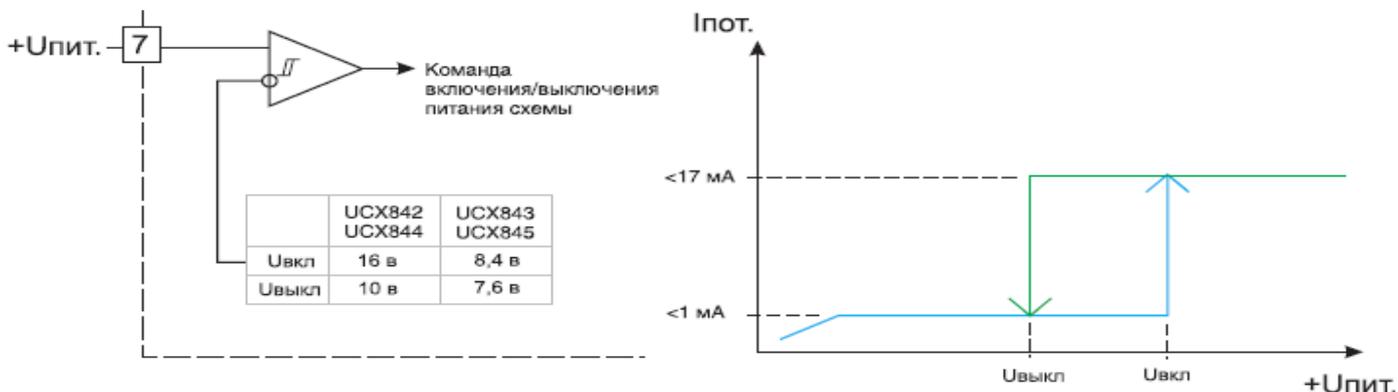


Рисунок 40 – Блок защитного отключения

Микросхема начинает работать при токе потребляемого около 1 мА и допускает питание от источника высокого напряжения через цепочку резисторов, главное чтобы обеспечивался диапазон рабочих токов и напряжений по выводам питания. Для этой цели между плюсом и землей включен стабилитрон с напряжением пробоя. Помимо блока защитного отключения на кристалле выполнена схема внутреннего смещения и схема питания логики. Так же генератор импульсов, который имеет один вывод для подключения времязадающей RC-цепи (рис. 41). На минимальную частоту ограничений в справочнике не указано, а максимальная частота равна 500кГц.

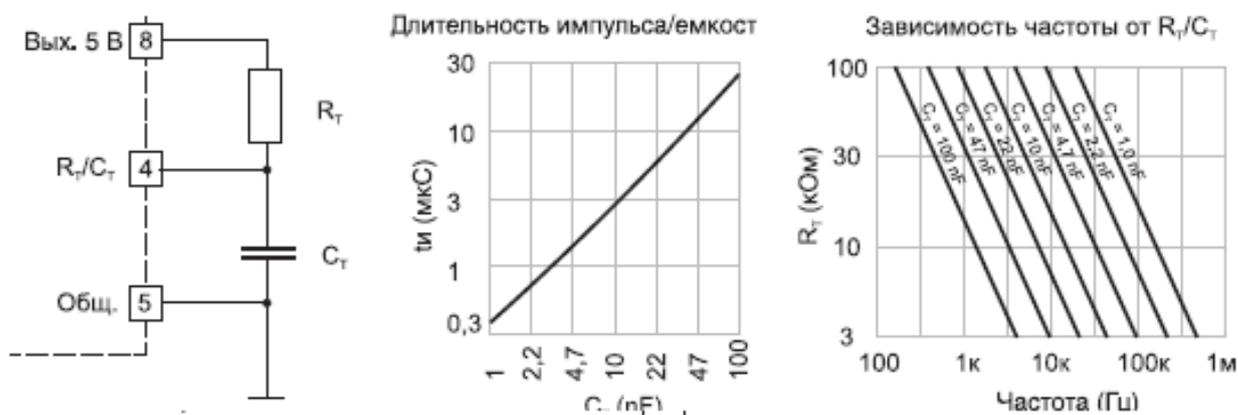
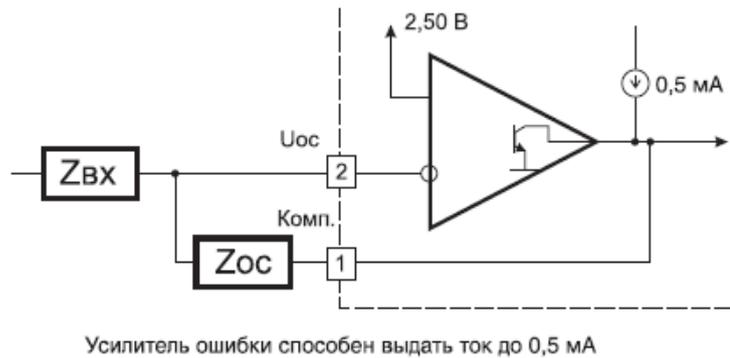


Рисунок 41 – Генератор импульсов и зависимости рабочего цикла от ёмкости и частоты от сопротивления

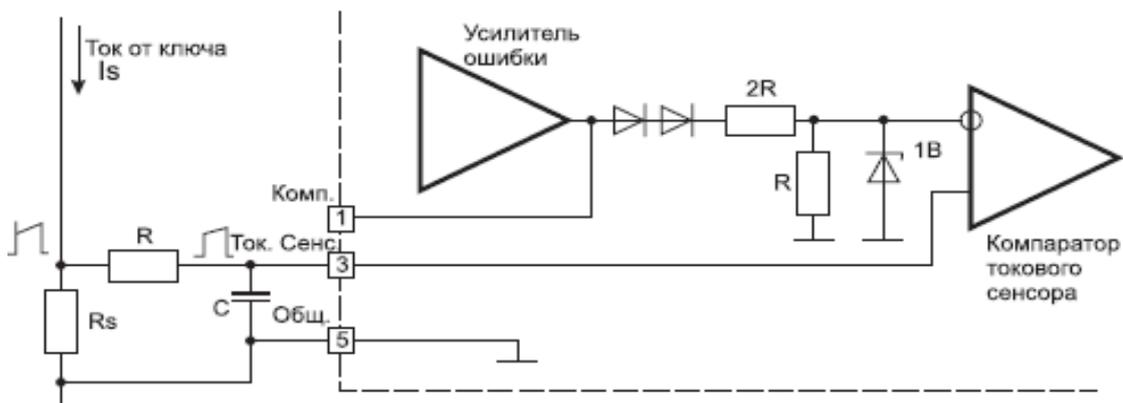
На кристалле имеется усилитель ошибки (рис. 42), неинвертирующий вход которого подключен к внутреннему источнику напряжения 2,5 В, а инвертирующий вход имеет собственный вывод, служащий входом обратной связи.



Усилитель ошибки способен выдать ток до 0,5 мА

Рисунок 42 – Усилитель ошибки

Выход этого усилителя соединяется с выводом 1 и через цепочку сдвига уровня с инвертирующим входом компаратора ограничения тока. Не инвертирующий вход компаратора ограничения тока выведен на отрицательный вывод и служит для подключения к внешнему токоизмерительному резистору (рис. 43), через который течёт ток нагрузки. Номинал этого резистора и, соответственно, падение напряжения на нём и определяет предельный ток, текущий через мощный внешний ключ, которым управляет контроллер.



Максимальный ток ключа  $I_s$  вычисляется по формуле  $I_{smax} = \frac{1,0 \text{ В}}{R_s}$

Небольшой RC-фильтр необходим для подавления выбросов, возникающих при работе мощного ключа

Рисунок 43 – Токвый сенсор

Другие устройства на кристалле – это RS – защёлка и логика. Вместе

они обеспечивают модуляцию ширины импульса в зависимости от напряжения усилителя ошибки и сигнала токового компаратора. Выходной каскад состоит из двух  $n - p - n$  транзисторов.

#### 4.4. Выбор входного выпрямителя

В качестве В1 (рис. 38) лучше всего использовать однофазную мостовую схему двухтактного выпрямителя, так как используется однофазная сеть, плюс, эта схема может работать непосредственно от сети без трансформатора и на любой вид нагрузки.

Преимущества однофазной мостовой схемы двухтактного выпрямителя по сравнению с однополупериодной одноконтурной схемой [17]:

- выше частота пульсации;
- небольшое обратное напряжение;
- хорошее использование трансформатора;
- возможность работы без трансформатора, непосредственно от сети;
- отсутствие вынужденного намагничивания.

Недостатки – необходимость в четырёх вентилях, повышенное напряжение в вентильном комплекте и невозможность установки однотипных вентилях на одном радиаторе без изолирующих прокладок.

Схемы такого выпрямителя на активно – ёмкостную и индуктивно ёмкостную нагрузку показаны на рисунке 44.

Вентильный мост содержит две группы вентилях – катодную (нечетные вентилях) и анодную (четные вентилях). В мостовой схеме ток проводят одновременно два вентилях – один из катодной группы и другой из анодной. В схеме начнет пропускать ток пара вентилях, у которой анод вентилях катодной группы имеет наиболее высокий потенциал, а катод вентилях анодной группы – наиболее низкий потенциал. В течение отрицательной полуволны  $U_{вх}$  катод вентилях VD2 имеет наиболее низкий потенциал, а анод вентилях VD3 – наиболее высокий потенциал, поэтому ток пропускают вентилях VD2 и VD3.

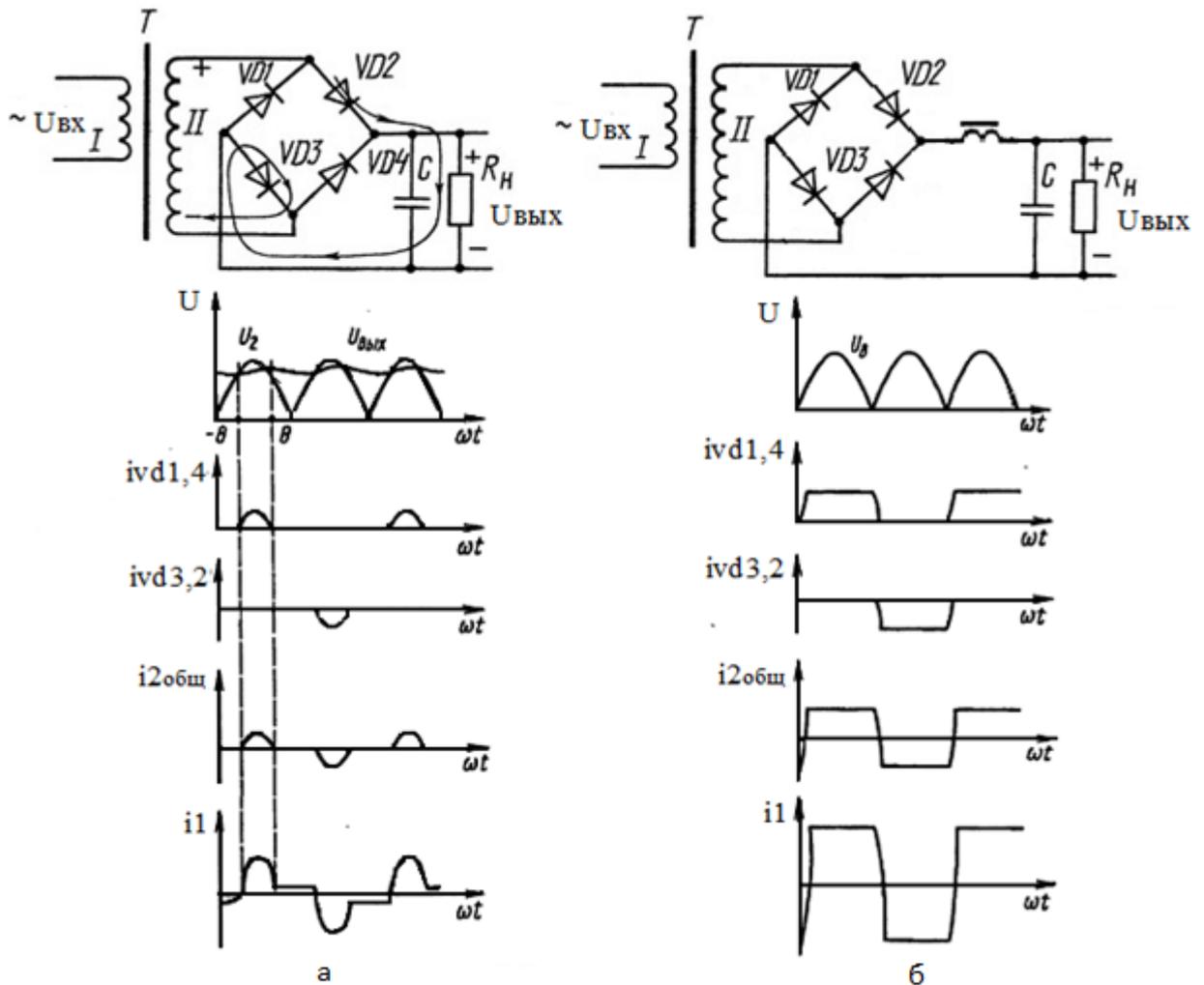


Рисунок 44—Схемы и диаграммы работы однофазного мостового выпрямителя  
 а - с активно-ёмкостной нагрузкой;  
 б - с индуктивно-ёмкостной нагрузкой.

#### 4.5. Разработка корректора коэффициента мощности

Международная электротехническая комиссия (МЭК) и Европейская организация по стандартизации в электротехнике (CENELEC) приняли стандарты IEC555 и EN60555, устанавливающие ограничения на содержание гармоник во входном токе вторичных источников электропитания, электронных нагрузках люминесцентных ламп, драйверах двигателей постоянного тока и аналогичных приборах.

Один из эффективных способов решения этой задачи - применение корректоров коэффициента мощности PFC (Power Factor Correction). На практике это означает, что во входную цепь практически любого электронного устройства с импульсными преобразователями необходимо включать специальную PFC-схему, обеспечивающую снижение или полное подавление гармоник тока.

Коррекция коэффициента мощности бывает пассивной и активной. Пассивный метод коррекции чаще всего применяется в недорогих малопотребляющих устройствах (где не предъявляется строгих требований к интенсивности младших гармоник тока).

Существует несколько схем, при помощи которых можно реализовать активную коррекцию коэффициента мощности. Наиболее популярна в настоящее время «схема преобразователя с повышением» (boost converter). Эта схема удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к современным источникам питания. Во-первых, она позволяет работать в сетях с различными значениями питающего напряжения (от 85 до 270 В) без ограничений и каких-либо дополнительных регулировок. Во-вторых, она менее восприимчива к отклонениям электрических параметров сети (скачки напряжения или кратковременное его отключение). Еще одно достоинство этой схемы – более простая реализация защиты от перенапряжений. Упрощенная схема «преобразователя с повышением» приведена на рисунке 45.

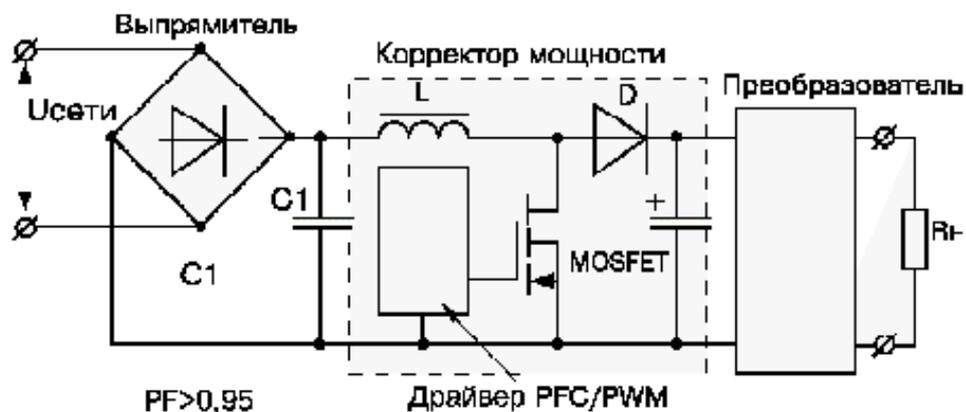


Рисунок 45 – Схема преобразователя с повышением

Стандартный корректор коэффициента мощности представляет собой AD/DC-преобразователь с широтно-импульсной (PWM) модуляцией. Модулятор управляет мощным (обычно MOSFET) ключом, который преобразует постоянное или выпрямленное сетевое напряжение в последовательность импульсов, после выпрямления которых на выходе получают постоянное напряжение.

Временные диаграммы работы корректора показаны на рисунке 46. При включенном MOSFET-ключе ток в дросселе линейно нарастает - при этом диод заперт, а конденсатор C2 разряжается на нагрузку. Затем, когда транзистор запирается, напряжение на дросселе «открывает» диод и накопленная в дросселе энергия заряжает конденсатор C2 (и одновременно питает нагрузку). В приведенной схеме (в отличие от источника без коррекции) конденсатор C1 имеет малую емкость и служит для фильтрации высокочастотных помех. Частота преобразования составляет от 50 до 100 кГц. В простейшем случае схема работает с постоянным рабочим циклом.



Рисунок 46 – Временные диаграммы работы корректора коэффициента мощности

#### 4.6. Выбор датчика тока

Датчик тока образует обратную связь по току. Основной задачей обратной связи является стабилизация заданного значения тока. Для этого требуется знать значение тока в выходной цепи источника. Существует несколько распространенных типов датчиков тока [18]:

- токовый шунт;
- трансформатор тока;
- датчик тока на основе эффекта Холла.

Токовый шунт является очень распространенным и недорогим методом измерения тока. Однако ему свойственны два недостатка: поглощение мощности и, соответственно нагрев, и отсутствие электрической изоляции. Вместе с этим индуктивность большинства мощных резисторов ограничивает частотный диапазон. Низкоиндуктивные мощные шунты для ВЧ-приложений более дорогие, но и позволяют работать в диапазоне выше 500 кГц. На рисунке 47 изображена схема включения токового шунта  $R_{cs}$ .

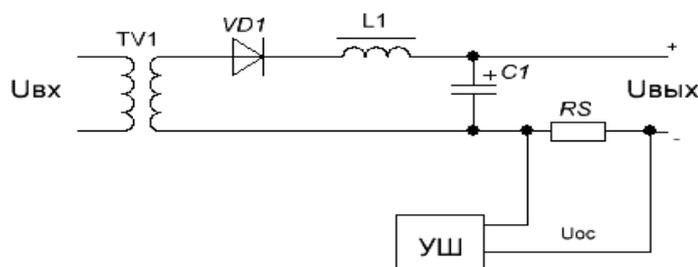


Рисунок 47 - Схема включения токового шунта

Трансформаторы тока применяются только в случае измерения переменных токов. Большинство недорогих токовых трансформаторов работают в очень узком диапазоне частот и не способны измерять постоянный ток. Широкополосные же трансформаторы превосходят по стоимости датчики тока на эффекте Холла и резистивные. Однако токовые трансформаторы не вносят потерь, не требуют питания и не имеют напряжения смещения. Способ включения трансформатора тока ТА1 в

выходной каскад показан на рисунке 48.

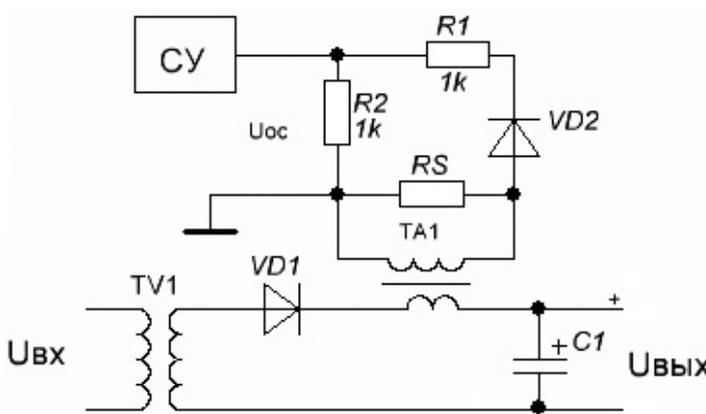


Рисунок 48 – Схема включения трансформатора тока

Датчик тока на основе эффекте Холла. Эффект Холла (см. рисунок 49) формулируется следующим образом. Если через полупроводник в одном направлении пропускать постоянный ток  $I$  плотностью  $j$ , а в другом направлении воздействовать магнитным полем  $B$ , то в третьем направлении можно измерить напряжение  $V$ , меняющееся пропорционально силе магнитного поля:

$$V = R \cdot B \cdot b \cdot j,$$

где  $R$  - постоянная Холла;

$b$  - расстояние между гранями, на которых возникает измеряемое напряжение.

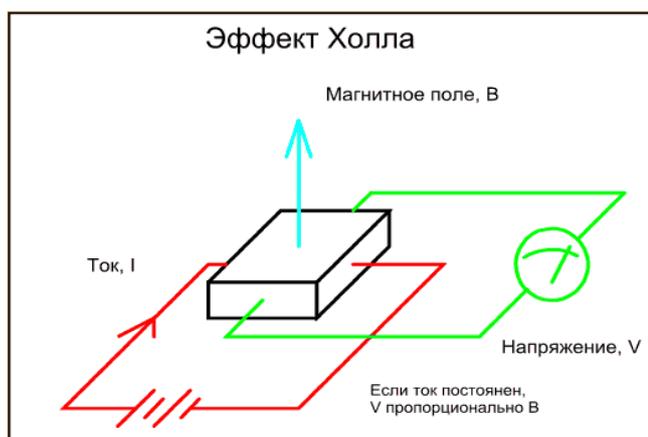


Рисунок 49 –Эффект Холла

Этот датчик представляют наиболее интересную группу распространенных на сегодняшний день устройств измерения тока. К их главным достоинствам следует отнести отсутствие вносимых в систему потерь мощности (и как следствие, выделение теплоты), хорошую электрическую изоляцию, широкий диапазон частот и возможность измерения постоянных токов. Недостатком, по сравнению с вышерассмотренными методами, является необходимость внешнего источника питания.

С целью уменьшения потерь, нагрева и обеспечения минимальных размеров общей конструкции источника питания, а также исключения дополнительного питания датчика тока будет использоваться трансформатор тока.

#### **4.7. Выбор помехоподавляющего фильтра**

Источник питания как источник ЭМП (электромагнитной помехи) создает на входных (сетевых) зажимах симметричное напряжение помехи и между каждым из сетевых проводов и корпусом прибора или землей – несимметричное напряжение помехи [19]. Эти напряжения приводят к протеканию соответствующих токов ЭМП. Симметричные токи замыкаются через сопротивление сети, а несимметричные – через сопротивление заземления и паразитные емкостные связи.

Главная причина генерации электромагнитных помех источниками электропитания импульсного типа – это коммутационные процессы в силовых цепях, обусловленные ключевым характером работы активных элементов. Образующиеся при этом перепады тока и напряжения приводят к появлению поля радиопомех, а также кондуктивных помех. Другими причинами ЭМП можно считать высокочастотные колебания, формируемые за счет энергии, запасенной в паразитных реактивных элементах цепи, образующих резонансные контуры.

Ослабление ЭМП достигается либо снижением уровня напряжения генератора помех, либо увеличением сопротивления на пути их распространения. Это может быть реализовано как непосредственно в источнике питания (внутренние средства ослабления помех), так и с помощью дополнительных внешних помехоподавляющих средств.

По своему назначению помехоподавляющие фильтры (ППФ) – это широкополосные фильтры нижних частот, пропускающие в идеальном случае беспрепятственно постоянный ток или ток промышленной частоты и не пропускающие высокочастотные токи радиодиапазона. Между полосой пропускания и затухания находится широкий промежуточный диапазон, поэтому ППФ обычно выполняется по сравнительно простым схемам емкостных, индуктивных и индуктивно-емкостных пассивных фильтров.

Особенностью ППФ является то, что они работают при большом сетевом напряжении и максимальном токе, потребляемом от сети.

Ввиду наличия двух различных путей распространения помех от источника питания (симметричного и несимметричного), ППФ должны содержать элементы, подавляющие помехи, распространяющиеся по каждому из этих путей.

На рисунке 50 показаны разновидности емкостных фильтров. ППФ, состоящие только из несимметричных конденсаторов  $C_u$  (см. рис. 50, а), и по схеме на (см. рис. 50, в) подавляют как несимметричные, так и симметричные помехи (два последовательно включенных конденсатора  $C_u$  подавляют помехи, распространяющиеся по симметричному пути). ППФ, состоящие только из симметричных конденсаторов  $C_x$  (см. рис. 50, б), подавляют лишь симметричные помехи.

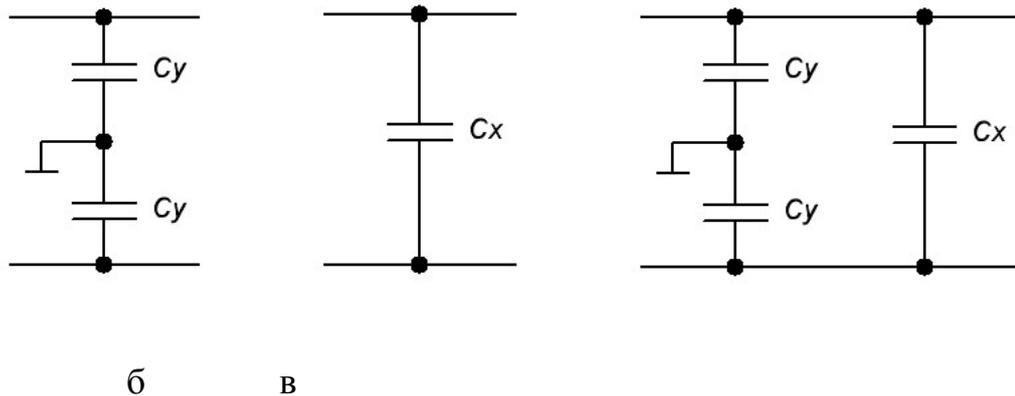


Рисунок 50– Разновидности ёмкостных фильтров

Конденсаторы для подавления симметричной помехи  $C_x$  ограничений на значение емкости не имеют. Сложнее ослаблять несимметричные помехи, так как значение емкостей несимметричных конденсаторов  $C_y$  ограничены по соображениям техники безопасности.

Разновидности индуктивных фильтров показаны на рисунке 51. ППФ, состоящие из двух дросселей, включенных в каждый из проводов (рис. 51, а), подавляют симметричные и несимметричные помехи. Для уменьшения падения сетевого напряжения на ППФ и увеличения его КПД применяют вдвоенные (режекторные) дроссели, обмотки которых подключаются, как показано на рисунке 51, (б). Конструктивно вдвоенные дроссели представляют собой две обмотки, намотанные с одинаковым количеством витков на общем магнитопроводе. ППФ по схеме, изображенной на рисунке 51, (б), подавляет помехи, когда токи помех проходят через обмотки дросселя в одном направлении (при этом индуктивность дросселя для симметричного тока помех определяется его индуктивностью рассеяния). При питании от сети переменного тока исключается подмагничивание рабочим током; при питании от сети постоянного тока исключается постоянное подмагничивание, становится возможным применение магнитопроводов из материалов с высокой магнитной проницаемостью.

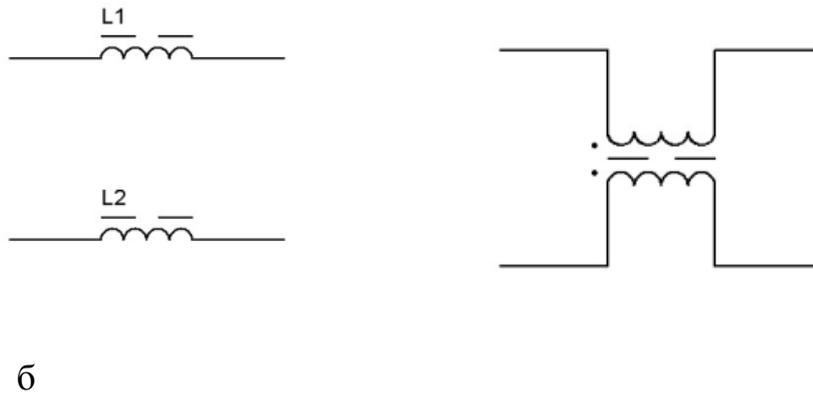


Рисунок 51 - Разновидности индуктивных фильтров

#### 4.8. Разработка источника питания и обоснование его мощности

Требуется спроектировать светодиодный источник питания, который планируется установить для питания системы освещения коттеджа. Габаритные размеры коттеджа:

- Площадь  $S = 128 \text{ м}^2$ .
- Высота потолка  $h = 3 \text{ м}$ .

Методика расчета параметров и характеристик источника питания выбрана из [7].

Суммарная мощность светильников:

$$\sum P = 364 \text{ Вт} .$$

Для сравнения, произведен расчет количества светильников и суммарную мощность – если делать освещение с помощью ламп накаливания.

Суммарная мощность для освещения с использованием ламп накаливания:

$$\sum P = 2056 \text{ Вт} .$$

Из расчетов видно, что использование светодиодных светильников имеет наилучшие показатели в плане потребляемой мощности. Отсюда следует вывод, что переход на светодиодное освещение позволит уменьшить

расход вырабатываемой энергии на освещение, а также это будет выгодно в экономическом плане.

Исходя из выходной мощности, выбираем из сравнительного анализа (по рис. 52) обратноходовой источник питания. [1]



Рисунок 52 – Топология источников питания

#### 4.8.1. Расчет “черного ящика”

На рис. 39 представлен обратноходовой источник питания в виде “черного ящика” с нижеприведенными параметрами:

- Номинальное напряжение питающей сети  $U_c = 220 \text{ В}$  ;
- Максимальное напряжение питающей сети  $U_{c\_max} = 220 + 220 \cdot 10\% = 242 \text{ В}$  ;
- Минимальное напряжение питающей сети  $U_{c\_min} = 220 - 220 \cdot 15\% = 187 \text{ В}$  ;
- Частота сети  $f_c = 50 \text{ Гц}$  ;
- Номинальный ток нагрузки  $I_H = 350 \text{ мА}$  ;
- Мощность потребляемая нагрузкой  $P_H = 42 \text{ Вт}$  ;
- Частота преобразования  $f_{ПР} = 20 \dots 100 \text{ кГц}$  выбирается с целью оптимального использования магнитного материала (частота регулируется в данном диапазоне за счет микросхемы).

Далее будет проведен расчет входных и выходных параметров “черного ящика”. [1]

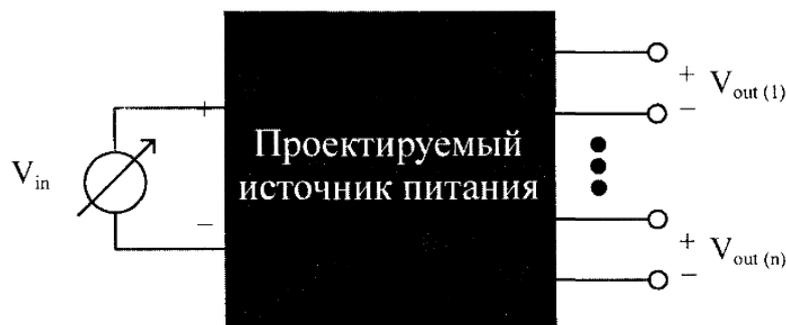


Рисунок 53 – Представление источника питания как “черный ящик”

Выходная мощность:

$$P_{\text{вых}} = \sum_{m=1}^n (V_{\text{вых}} \cdot I_{\text{вых}}) = 6 \cdot 20 \cdot 0,35 = 42 \text{ Вт.}$$

Входная мощность:

$$P_{\text{вх}} = \frac{P_{\text{вых}}}{\eta} = \frac{42}{0,75} = 56 \text{ Вт.}$$

Номинальный ток при напряжении питания 220 В:

$$I_{\text{вх.ном}} = \frac{P_{\text{вх}}}{V_{\text{вх.ном}}} = \frac{56}{220} = 0,254 \text{ А.}$$

где 220 В – напряжение, необходимое для нормального функционирования источника.

Наибольший ток при отклонении напряжения питающей сети от номинального в меньшую сторону:

$$I_{\text{вх.мах}} = \frac{P_{\text{вх}}}{V_{\text{вх.мин}}} = \frac{56}{187} = 0,3 \text{ А.}$$

Входной пиковый ток:

$$I_{\text{пик}} = \frac{k \cdot P_{\text{вх}}}{V_{\text{вх.мин}}} = \frac{5,5 \cdot 42}{187} = 1,23 \text{ А,}$$

где  $k_1 = 5,5$  – оценочный коэффициент пикового тока в обратноходовом преобразователе.

#### 4.8.2. Проектирование и расчет обратноходового трансформатора

Трансформатор работает при частотах от 20 кГц до 100 кГц (так как микросхема выполнена с коррекцией мощности).

Максимальная индукция первичной обмотки при минимальной рабочей частоте:

$$L_{\text{перв}} = \frac{V_{\text{вх.мин}} \cdot \partial_{\text{макс}}}{I_{\text{пик}} \cdot f_{\text{мин}}} = \frac{187 \cdot 0,5}{1,23 \cdot 20000} = 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Индуктивность вторичной обмотки:

$$L_2 = \frac{(U_n + U_o) \cdot \frac{1}{f} \cdot \partial_{\text{макс}}^2}{2 \cdot I_n} = \frac{(120 + 2) \cdot \frac{1}{20000} \cdot 0,5^2}{2} = 0,76 \cdot 10^{-3} \text{ Гн.}$$

Энергия, поступающая в сердечник на протяжении времени замкнутого состояния ключа:

$$E = \frac{L_{\text{перв}} \cdot I_{\text{пик}}^2}{2} = \frac{3,8 \cdot 10^{-3} \cdot 1,23^2}{2} = 2,875 \text{ мВ.}$$

Для того, чтобы убедиться в том, что способность трансформатора поддерживать максимальную непрерывную выходную мощность сможет удовлетворить требованиям по максимальной мощности нагрузки, вычисляем:

$$P_{\text{вх.непрер}} = 0,5 \cdot L_{\text{перв}} \cdot (I_{\text{пик}})^2 \cdot f_{\text{мин}} > P_{\text{вых}} ;$$

$$0,5 \cdot 3,8 \cdot 10^{-3} \cdot 1,23^2 \cdot 20000 > 42;$$

$$57,49 \text{ Вт} > 42 \text{ Вт.}$$

Выбираем сердечник фирмы EPCOSAG типоразмера ETD29. Выбор материала сердечника произведем по рекомендации производителя (феррит N27 для диапазона частот до 100 кГц). [10]

К преимуществу использования конфигурации ETD можно отнести удобство намотки обмоток толстым проводом и медной лентой, большое число выводов намоточных каркасов, обеспечивающих модульность конструкции многообмоточного трансформатора, а также низкую трудоемкость изготовления на них моточных изделий. Стандартные ряды вертикальных и горизонтальных намоточных каркасов помогают оптимизировать расположение трансформатора на сердечнике ETD на печатной плате. Существенным фактором в пользу использования данных сердечников в новых разработках является также широкое применение всех

типоразмеров этой конфигурации в изделиях российской силовой электроники, уменьшающее сроки и цены поставок. На рисунке 28 изображен магнитопровод трансформатора. Ниже приведены характеристики сердечника трансформатора:

- $l_e = 70,4$  мм – длина средней линии магнитопровода;
- $\mu_e = 1470$  – магнитная проницаемость сердечника;
- $A_L = 2000$  нГн – характеризует индуктивность сердечника на виток;
- $V = 5,35$  см<sup>3</sup> - объем магнитопровода.

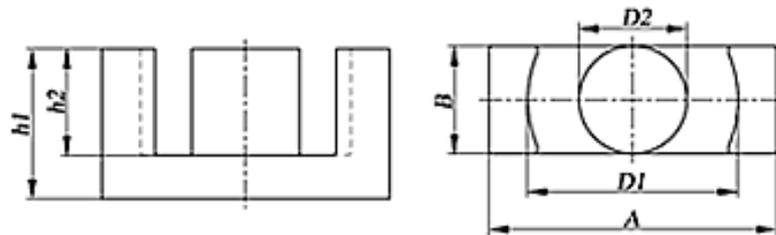


Рисунок 54 – Сердечник трансформатора

В таблице 1 приведены размеры сердечника:

Таблица 1 – Размеры сердечника трансформатора.

Типоразмер	A [мм]	B [мм]	D1 [мм]	D2 [мм]	h1 [мм]	h2 [мм]
ETD 29	30,6-1,6	9,8-0,6	22,0	9,8-0,6	16,0-0,4	10,7+0,6

Проверка объема магнитопровода [4]:

$$V_M \approx 1,5 \cdot \sqrt{\frac{Ak_{\text{доб}}}{k_M}} \cdot \frac{P}{f^4 \cdot \Delta T} = 1,5 \cdot \sqrt{\frac{110 \cdot 5}{0,25}} \cdot \frac{42}{20000^{\frac{1}{4}} \cdot 50} = 5,1 \text{ см}^3,$$

где A – коэффициент, учитывающий свойства материала магнитопровода.

Из расчетов видно, что сердечник ETD29 подходит по размерам, поэтому окончательно выбираем этот тип.

Воздушный зазор требуется для всех устройств с управлением униполярным магнитным потоком. Так как данный сердечник не имеет такого зазора, то необходимо его обеспечить. Для этого приклеим на стык двух магнитопроводов изоляционные прокладки.

Величина немагнитного зазора:

$$l_3 = l_e \cdot 0,01 = 70,4 \cdot 0,01 = 0,704 \text{ мм.}$$

Количество витков первичной и вторичной обмоток:

$$w_1 = \sqrt{\frac{L_1}{A_L}} = \sqrt{\frac{3,8 \cdot 10^{-3}}{2000 \cdot 10^{-9}}} = 43,4 = 44;$$

$$w_2 = \sqrt{\frac{L_2}{A_L}} = \sqrt{\frac{0,76 \cdot 10^{-3}}{2000 \cdot 10^{-9}}} = 19,49 = 20.$$

Питание микросхемы равняется 15 В, рассчитываю количество витков для обмотки питания микросхемы. Так как методики расчета аналогичны, то:

$$w_3 = 2,5 \approx 3 \text{ витка.}$$

### 4.8.3. Расчет обмотки трансформатора

Обмотка трансформатора будет намотана из литцендрата. Литцендрат - это многожильный провод, особенностью которого является то, что каждая его жила изолирована от прочих. Обычно это лаковая изоляция. Сверху провод может быть обмотан слоем лавсановых, капроновых или шёлковых нитей. [11]

В таком проводе максимально уменьшены потери на скин-эффекте, у него лучше показатели по потерям на высоких частотах по сравнению со сплошными проводниками. Чаще всего его используют в конструировании импульсных источников питания и другого высокочастотного оборудования. А именно - в намотках катушек индуктивности. Такие катушки имеют более высокую добротность при сходных размерах и весе. Это объясняется более эффективным использованием суммарного сечения составляющих этот провод жил, так как переменный ток в проводнике протекает преимущественно в поверхностном слое. У катушек с литцендратом намотано больше проволочек при одинаковом общем сечении. Применение литцендратов повышает добротность катушек на 30-40 %.

Малые сечения проводников проводов исключают эффект вытеснения тока к поверхности провода (скин-эффект), то есть не меняется его удельное

сопротивление. Толщина скин-слоя для максимально возможной частоты 100 кГц:

$$\Delta = 503 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\mu_m \cdot f}} = 503 \cdot \sqrt{\frac{0,017 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 100000}} = 0,21 \text{ мм.}$$

Литцендрат будет из медного провода ПЭВ-2 с высокопрочной утолщенной изоляцией, с параметрами:

- $d_{\text{п}} = 0,2 \text{ мм}$  - диаметр голого провода;
- $d_{\text{п.из}} = 0,24 \text{ мм}$  - диаметр провода с изоляцией;
- $S_{\text{п}} = 0,0314 \text{ мм}^2$  - сечение голого провода.

Сечение провода с изоляцией:

$$S_{\text{п.из}} = \pi \cdot \frac{d_{\text{п.из}}^2}{4} = 3,14 \cdot \frac{0,24^2}{4} = 0,045 \text{ мм}^2.$$

Обратный коэффициент трансформации и коэффициент трансформации трансформатора:

$$k = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} = \sqrt{\frac{0,76 \cdot 10^{-3}}{3,8 \cdot 10^{-3}}} = 0,447 ;$$

$$k = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = \sqrt{\frac{3,8 \cdot 10^{-3}}{0,76 \cdot 10^{-3}}} = 2,236.$$

Пиковый ток вторичной обмотки:

$$I_{\text{пик2}} = \frac{I_{\text{пик}}}{K_{\text{тр}}} = \frac{1,23}{0,447} = 2,75 \text{ А.}$$

Рассчитаем среднеквадратичные значения токов первичной и вторичных обмоток:

$$I_{1.д} = I_{\text{пик}} \cdot \sqrt{\frac{\gamma_{\text{max}}}{3}} = 1,23 \cdot \sqrt{\frac{0,5}{3}} = 0,5 \text{ А ;}$$

$$I_{2.д} = I_{\text{пик2}} \cdot \sqrt{\frac{1-\gamma_{\text{max}}}{3}} = 2,75 \cdot \sqrt{\frac{1-0,5}{3}} = 1,12 \text{ А.}$$

$I_{3.ср} = 0,001 \text{ А}$  – средний ток потребляемый СУ (микросхемой).

Находим необходимые площади поперечного сечения проводов первичной и вторичных обмоток при плотности тока  $j = 4 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$  по формуле:

$$S_i = \frac{I_{i.д.}}{j};$$

$$S_1 = \frac{I_{1.д.}}{j} = \frac{0,5}{4} = 0,125;$$

$$S_2 = \frac{I_{2.д.}}{j} = \frac{1,12}{4} = 0,28;$$

$$S_3 = \frac{I_{3.ср.}}{j} = \frac{0,001}{4} = 0,00025 \text{ мм}^2.$$

Предварительно оценим коэффициент заполнения окна магнитопровода по формуле:

$$K_3 = \frac{S_{\Sigma}}{S_o},$$

где  $S_{\Sigma} = W_1 \cdot S_1 + W_2 \cdot S_2 + W_3 \cdot S_3$  – суммарное сечение всех обмоток;

$$S_o = \frac{(d_1 - d_2)}{2} \cdot h_2 = \frac{22 - 9,8}{2} \cdot 10,7 = 65,27 \text{ мм}^2 \text{ – площадь окна магнитопровода.}$$

Вычисляем суммарное сечение всех обмоток и площадь окна магнитопровода:

$$S_{\Sigma} = w_1 \cdot S_1 + w_2 \cdot S_2 + w_3 \cdot S_3 = 44 \cdot 0,125 + 20 \cdot 0,28 + 3 \cdot 0,00025 = 11,1 \text{ мм}^2.$$

Коэффициент заполнения:

$$K_3 = \frac{S_{\Sigma}}{S_o} = \frac{11,1}{65,27} = 0,17.$$

По предварительным расчетам, выбранный сердечник вмещает в себя необходимые обмотки. Произведем конструктивный расчет трансформатора.

Подсчитаем количество жил провода, необходимых для намотки:

$$N_1 = \frac{S_1}{S_n} = \frac{0,125}{0,0314} = 4 \text{ жилы};$$

$$N_2 = \frac{S_2}{S_n} = \frac{0,28}{0,0314} = 9 \text{ жил};$$

$$N_3 = \frac{S_3}{S_n} = \frac{2,5 \cdot 10^{-4}}{0,0314} = 1 \text{ жила.}$$

Определим диаметры многожильных проводов с учетом изоляции каждой жилы по формуле:

$$d_i = 2 \cdot \sqrt{\frac{N_i \cdot S_{\text{п.из}}}{k_{\text{ук}} \cdot \pi}},$$

где  $k_{\text{ук}} = 0,85$  – коэффициент укладки, учитывающий неплотное прилегание витков.

$$d_1 = 2 \cdot \sqrt{\frac{N_1 \cdot S_{\text{п.из}}}{k_{\text{ук}} \cdot \pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 0,045}{0,85 \cdot 3,14}} = 0,52 \text{ мм};$$

$$d_2 = 2 \cdot \sqrt{\frac{N_2 \cdot S_{\text{п.из}}}{k_{\text{ук}} \cdot \pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{9 \cdot 0,045}{0,85 \cdot 3,14}} = 0,78 \text{ мм};$$

$$d_3 = 2 \cdot \sqrt{\frac{N_3 \cdot S_{\text{п.из}}}{k_{\text{ук}} \cdot \pi}} = 2 \cdot \sqrt{\frac{1 \cdot 0,045}{0,85 \cdot 3,14}} = 0,26 \text{ мм}.$$

Обмотка трансформатора будет выполнена на пластмассовом каркасе с толщиной стенок  $\Delta_{\text{ст}} = 0,5$  мм. Тогда высота одного слоя:

$$h_{\text{сл}} = h_2 - 2 \cdot \Delta_{\text{ст}} = 10,7 - 2 \cdot 0,5 = 9,7 \text{ мм}.$$

Число витков в слое:

$$W_{\text{сл}i} = \frac{h_{\text{сл}} \cdot k_{\text{ук}}}{d_i};$$

$$W_{\text{сл}1} = \frac{h_{\text{сл}} \cdot k_{\text{ук}}}{d_1} = \frac{9,7 \cdot 0,85}{0,52} = 16 \text{ витков};$$

$$W_{\text{сл}2} = \frac{h_{\text{сл}} \cdot k_{\text{ук}}}{d_2} = \frac{9,7 \cdot 0,85}{0,78} = 11 \text{ витков};$$

$$W_{\text{сл}3} = \frac{h_{\text{сл}} \cdot k_{\text{ук}}}{d_3} = \frac{9,7 \cdot 0,85}{0,26} = 31 \text{ витков}.$$

Тогда число слоев каждой обмотки:

$$n_{\text{сл}1} = \frac{w_1}{W_{\text{сл}1}} = \frac{40}{16} \approx 3;$$

$$n_{\text{сл}2} = \frac{w_2}{W_{\text{сл}2}} = \frac{20}{11} \approx 2.$$

Вторичная обмотка, предназначенная для питания драйвера, умещается в 1 слой. [4]

Толщина катушки:

$$c_{ki} = d_i \cdot n_{кли} + \Delta_{см} + \Delta_{сл} (n_{кли} - 1),$$

где  $\Delta_{сл}$  – толщина межслоевой изоляции. В качестве межслоевой изоляции выбираю клейкую ленту intertape 51594 с  $\Delta_{сл} = 0,051$  мм.

$$c_{k1} = d_1 \cdot n_{сл1} + \Delta_{ст} + \Delta_{сл} (n_{сл1} - 1) = 0,52 \cdot 3 + 0,5 + 0,051 \cdot 2 = 2,16 \text{ мм};$$

$$c_{k2} = d_2 \cdot n_{сл2} + \Delta_{ст} + \Delta_{сл} (n_{сл2} - 1) = 0,78 \cdot 2 + 0,5 + 0,051 \cdot 1 = 2,11 \text{ мм};$$

$$c_{k3} = d_3 \cdot n_{сл3} + \Delta_{ст} + \Delta_{сл} (n_{сл3} - 1) = 0,26 \cdot 1 + 0,5 = 0,76 \text{ мм};$$

$$c_k = c_{k1} + c_{k2} + c_{k3} = 2,16 + 2,11 + 0,76 = 5,03 \text{ мм}.$$

Площадь сечения катушки:

$$S_k = h_2 \cdot c_k = 10,7 \cdot 5,03 = 53,821 \text{ мм}^2.$$

Коэффициент заполнения согласно формуле:

$$K_3 = \frac{S_k}{S_o} = \frac{53,821}{65,27} = 0,824.$$

Расчет показал, что катушка трансформатора с параметрами:  $S_k = 53,821 \text{ мм}^2$ ;  $c_k = 5,03 \text{ мм}$ , подходит для выбранного магнитопровода с параметрами:  $S_o = 65,27 \text{ мм}^2$ ;  $c = \frac{d_1 - d_2}{2} = \frac{21,2 - 10,9}{2} = 6,1 \text{ мм}$ .

#### 4.8.4. Расчет RCD-цепочки

Данная цепочка служит для защиты силового транзистора от потенциального пробоя. Так как величина перенапряжения может составлять удвоенную величину напряжения питания и даже больше (из-за паразитных индуктивных выбросов).[2]

Принцип работы данной цепочки заключается в следующем: рассмотрим трансформатор в фазе передачи энергии в нагрузку. Видно, что в первичной обмотке, нагруженной элементами R, C и VD появляется электрический ток, наведенный в ней током вторичной обмотки. Этот ток заряжает емкость C, напряжение на которой в установившемся режиме равно

напряжению питания. Например, при размыкании транзистора на первичной обмотке возник индуктивный выброс. Если амплитуда этого выброса больше, чем напряжение на конденсаторе С, диод VD открывается и оба напряжения выравниваются, а энергия выброса перетекает в конденсатор.

Мощность, рассеиваемая на сопротивлении, может находиться в пределах 2% от мощности, выделяющейся на нагрузке:

$$R1 = \frac{U_n^2}{0,02 \cdot P_H} = \frac{220^2}{0,02 \cdot 42} = 57,6 \text{ кОм};$$

$$C1 = \frac{100}{R \cdot f} = \frac{100}{57,6 \cdot 10^3 \cdot 20000} = 86,8 \text{ нФ}.$$

Диод выбирается из соотношения:

$$U_{д.обр} = 1,5 \cdot U_{п.мах} = 1,5 \cdot 242 = 363 \text{ В}.$$

Выбран диод Шоттки MURS340T3G (VD1) с параметрами, приведенными в таблице 2. [2]

Таблица 2 – Характеристики диода MURS340T3G.

Обратное напряжение, В	400
Падение напряжения в прямом направлении, В	1,28
Время восстановления, нс	75
Непрерывный ток в прямом направлении, А	4
Максимальный ток перегрузки, А	75
Обратный ток, IR, mA	10
Материал	Карбид кремния

#### 4.8.5. Расчет выходного диода и выходного конденсатора

Данный выходной каскад выпрямляет и фильтрует высокочастотные импульсные сигналы переменного тока, создаваемые ключами.[1]

Обратное напряжение на диоде (VD2):

$$U_{\text{д.обр}} = U_{\text{вых}} \cdot K_{\text{тр}} + \frac{P_{\text{н}}}{I_{\text{н}}} = 120 \cdot 2,236 + \frac{42}{0,35} = 388 \text{ В};$$

Средний ток через диод будет равен току вторичной обмотки:

$$I_{\text{д}} = I_{2,\text{д}} = 1,12.$$

Выбран VD4 диод Шоттки C3D04060E с параметрами:

- $U_{\text{обр}} = 600 \text{ В}$  максимальное обратное напряжение диода;
- $U_{\text{д}} = 1,7 \text{ В}$  – прямое падение напряжения на диоде;
- $I_{\text{д,макс}} = 4 \text{ А}$  – максимальный прямой ток диода.

Емкость конденсатора определяется по формуле:

$$C_{\text{б}} = \frac{I_{\text{вых}} \cdot (1 - \gamma)}{f \cdot V_{\text{пульс}}} = \frac{350 \cdot 10^{-3} (1 - 0,5)}{20000 \cdot 30 \cdot 10^{-3}} = 30 \text{ мкФ}.$$

#### 4.8.6. Выбор силового ключа

Основной целью секции ключа является преобразование входного постоянного напряжения в модулированное по ширине импульса переменное напряжение. Для того чтобы выполнить преобразование постоянного тока в переменный, ключ функционирует только в состоянии насыщения и отсечки.

Напряжение на силовом ключе (VT1) [1]:

$$U_{\text{д.обр}} = U_{\text{вых}} \cdot \frac{w_1}{w_2} + \sqrt{2} \cdot U_{\text{вх.макс}} = 120 \cdot \frac{44}{20} + \sqrt{2} \cdot 240 = 599 \text{ В}.$$

Ток силового ключа находится по формуле:

$$I_{\text{ключа}} = 1,5 I_{\text{пик}} = 1,5 \cdot 1,23 = 1,85.$$

Выбран транзистор SPP03N60S5, характеристики которого приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики транзистора SPP03N60S5.

Структура	n-канал
Максимальное напряжение сток-исток $U_{си}$ , В	600
Максимальный ток сток-исток при 25 С $I_{си.макс.}$ , А	3,2
Максимальное напряжение затвор-исток $U_{зи.макс.}$ , В	±30
Сопротивление канала в открытом состоянии $R_{си.вкл.}$ , мОм	1400
Максимальная рассеиваемая мощность $P_{си.макс.}$ , Вт	38
Крутизна характеристики, S	1,8

## 5. Моделирование силовой части источника питания

Для более детального исследования силовой части источника питания создадим математическую модель в пакете PSpice и проанализируем диаграммы токов и напряжений на основных элементах схемы.

На рисунке 55 представлена схема модели силовой части источника питания.

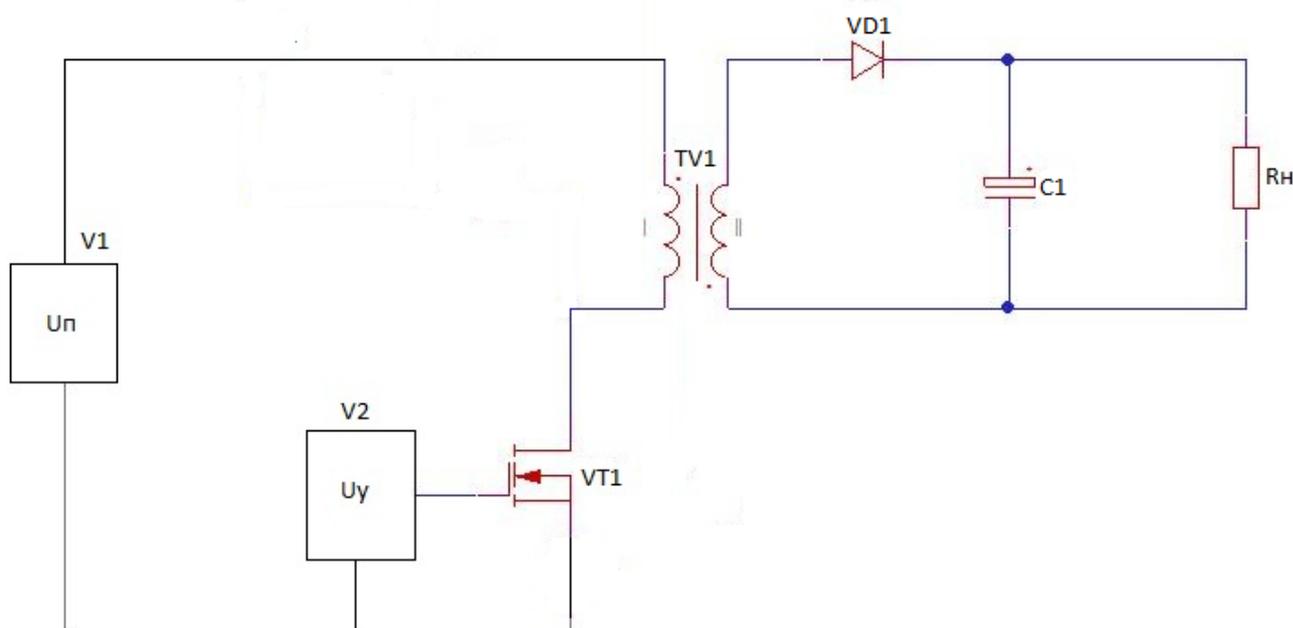


Рисунок 55 – Схема силовой части источника питания

Параметры модели:

- Входное напряжение в виде источника постоянного питания 327 В;
- Индуктивности первичной и вторичной обмоток трансформатора 1,78 мГн и 61,5 мкГн соответственно;
- Диоды и транзисторы считаются идеальными;
- Для управления транзистором используются источник импульсного напряжения.

Параметры сигнала:

- Напряжение низкого уровня V0 – 0 В;
- Напряжения высокого уровня V1 – 1 В;
- Время задержки TD – 0 с;

- Время нарастания  $T_R$  – 100 нс;
- Время спада  $T_F$  – 100 нс;
- Длительность импульса  $PW$  – 4.5 мкс, что соответствует относительной длительности импульса  $\gamma = 0,45$ ;
- Период  $PER$  – 10 мкс, что соответствует частоте работы преобразователя 100 кГц;

На рисунке 56 показаны основные диаграммы, работы модели силовой части источника питания.

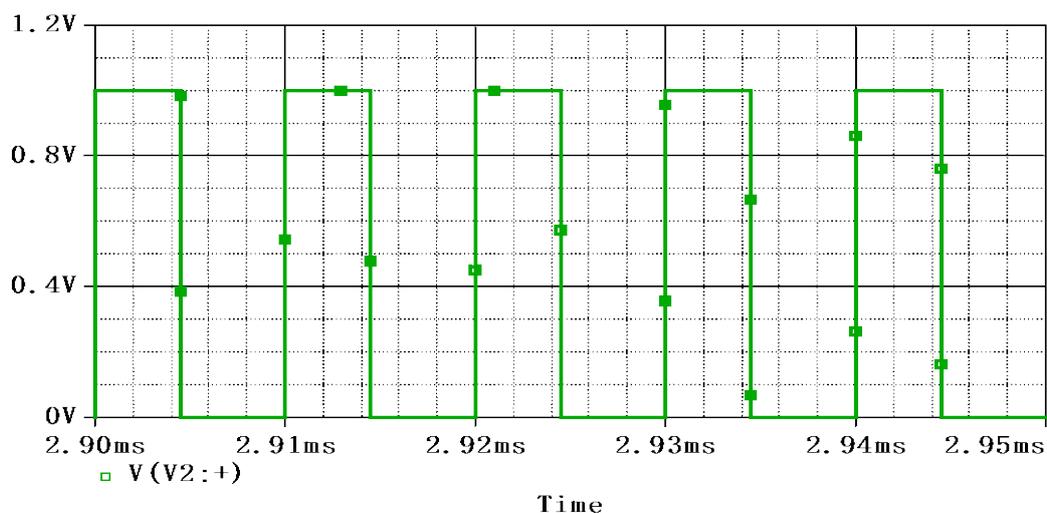


Рисунок 56 – Управляющие импульсы

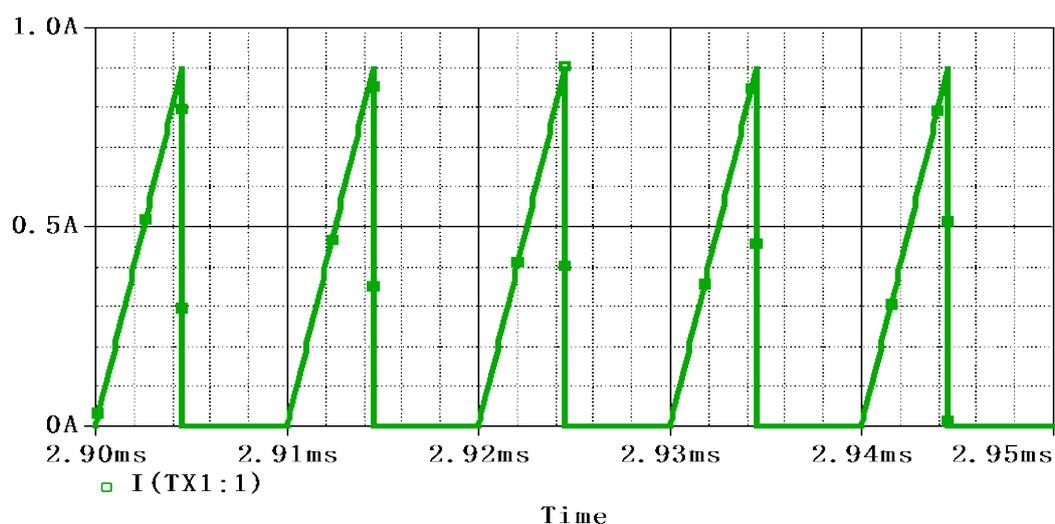


Рисунок 57 – Ток первичной обмотки трансформатора

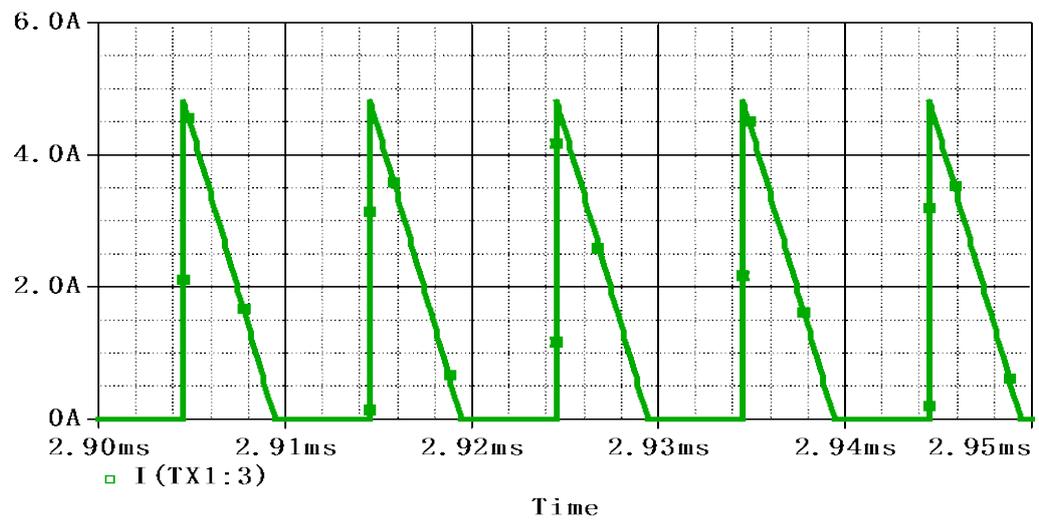


Рисунок 58 – Ток вторичной обмотки трансформатора

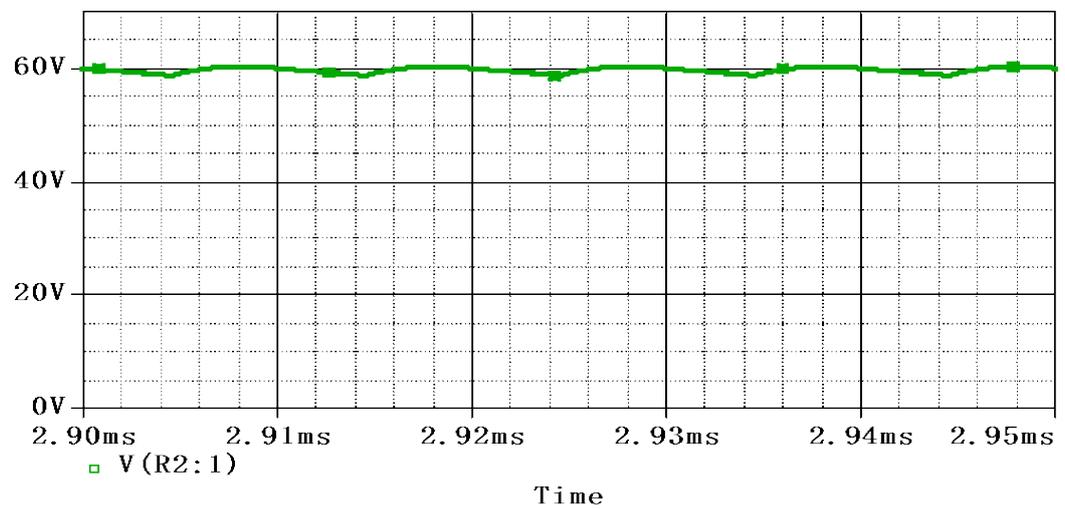


Рисунок 59 – Напряжение в нагрузке

Из диаграмм работы силовой части источника питания видно, что токи и напряжения по своей форме соответствуют действительности, а по значению совпадают с расчётными значениями.

## 6. Система управления гаражными воротами

Как правило, в частных домах число открывания ворот в сутки не превышает нескольких раз. Электропривод таких ворот не требует плавного регулирования скорости и, как правило, обладает небольшой мощностью, благодаря использованию уравнивающих механизмов. Поэтому в качестве приводного двигателя в большинстве случаев используют асинхронный двигатель. Типовая схема маломощного электропривода автоматических гаражных ворот представлена рис. 60.

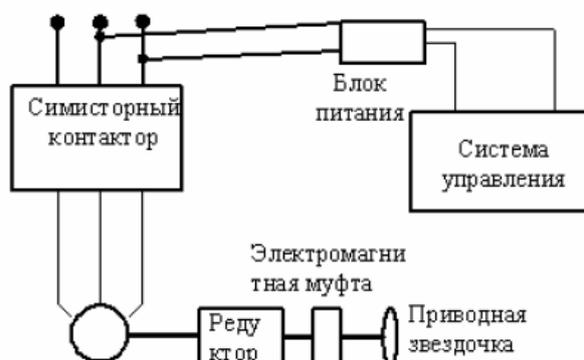


Рисунок 60 – Схема электропривода автоматических гаражных ворот

В качестве приводного двигателя используется короткозамкнутый асинхронный двигатель, который управляется с помощью системы дистанционного управления. Двигатель вращает приводную звездочку через понижающий редуктор и электромагнитную муфту. Муфта предназначена для передачи крутящего момента от двигателя к приводной звездочке, а также разрывает кинематическую связь между приводом и звездочкой, чтобы обеспечить открывание ворот вручную. Включение двигателя, а также его реверсирование осуществляется с помощью симисторного контактора.

В задачу систем управления таким электроприводом, прежде всего, входит организация пуска, торможения, реверса и осуществление этих операций в определенной последовательности. Кроме того, эта система управления должна обеспечивать защиту от перегрузок и возможного закрывания ворот в момент нахождения в проеме посторонних предметов или людей. Системы управления такими электроприводами обычно строятся

на полупроводниковых приборах с использованием интегральных аналоговых и цифровых микросхемах или программируемых микроконтроллерах. Часть системы управления может быть выполнена на релейно-контакторной аппаратуре, которая выполняет функции коммутации силовых цепей. Благодаря такой элементной базе система управления имеет компактные размеры, более высокую надежность и быстродействие, а также сохраняет возможность дальнейшей модернизации без существенного изменения схемы. Типовая схема системы управления представлена на рис.61.



Рисунок 61 – Схема системы управления автоматическими гаражными воротами

Управление приводом осуществляется с помощью системы дистанционного управления, в которую входит пульт управления и приемник радиосигнала. Частота передачи радиосигнала 433,92 МГц разрешена для использования в России[5].

При нажатии кнопки на пульте дистанционного управления кодированный сигнал передается на приемник, который принимает и декодирует сигнал.

Система управления представляет собой жесткую логику, функционирующую в соответствии с заданным алгоритмом работы, и в зависимости от сигналов с пульта дистанционного управления подает команды на подъем, опускание или экстренной остановки. Блок конечных

(путевых) выключателей осуществляет остановку привода в конечных положениях, а также контролируют процесс торможения привода при опускании ворот для их плавной остановки. Эту же роль играет также, так называемый инфракрасный «бампер». Он отключает двигатель, если в проеме ворот находится посторонний предмет или человек.

Система дистанционного управления имеет достаточно простую внутреннюю структуру (рис.62, 63), поэтому занимает немного места, потребляет небольшое количество энергии, а возможные неисправности обнаруживаются при простом диагностировании.

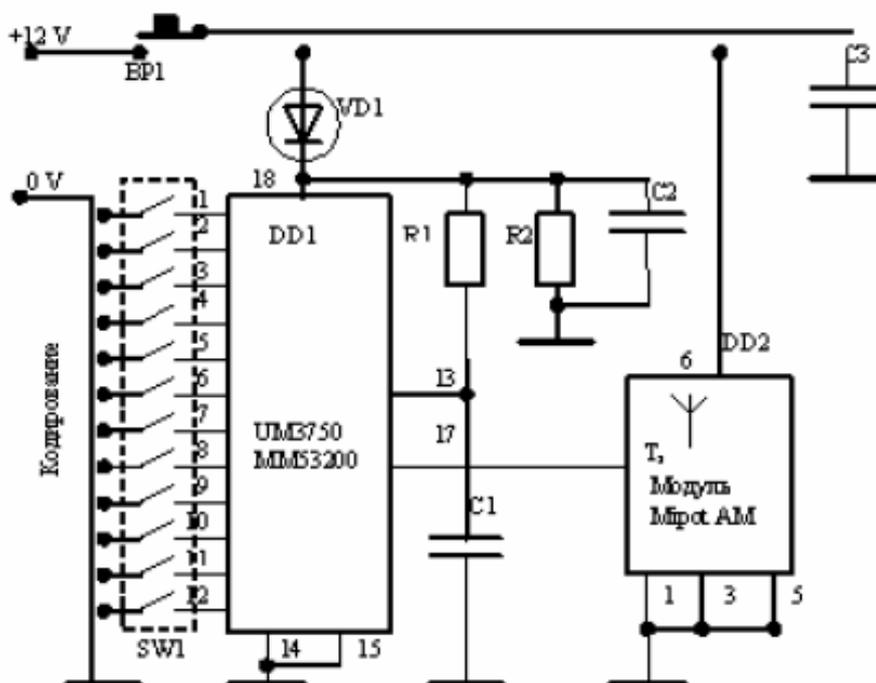


Рисунок 62 – Схема пульта дистанционного управления

Кодирующий элемент на микросхеме UM 3750 передает закодированный сигнал на модульный передатчик, который в свою очередь преобразует его в радиосигнал.

Приемное устройство (рис.63) принимает радиосигнал, преобразует и декодирует его. После распознавания сигнала на выходе приемника вырабатывается импульс, который импульсов, поступающих с приемного устройства, подсчитывается счетным устройством и в соответствии с

заложенным алгоритмом подает управляющие команды на открывание или закрывание.

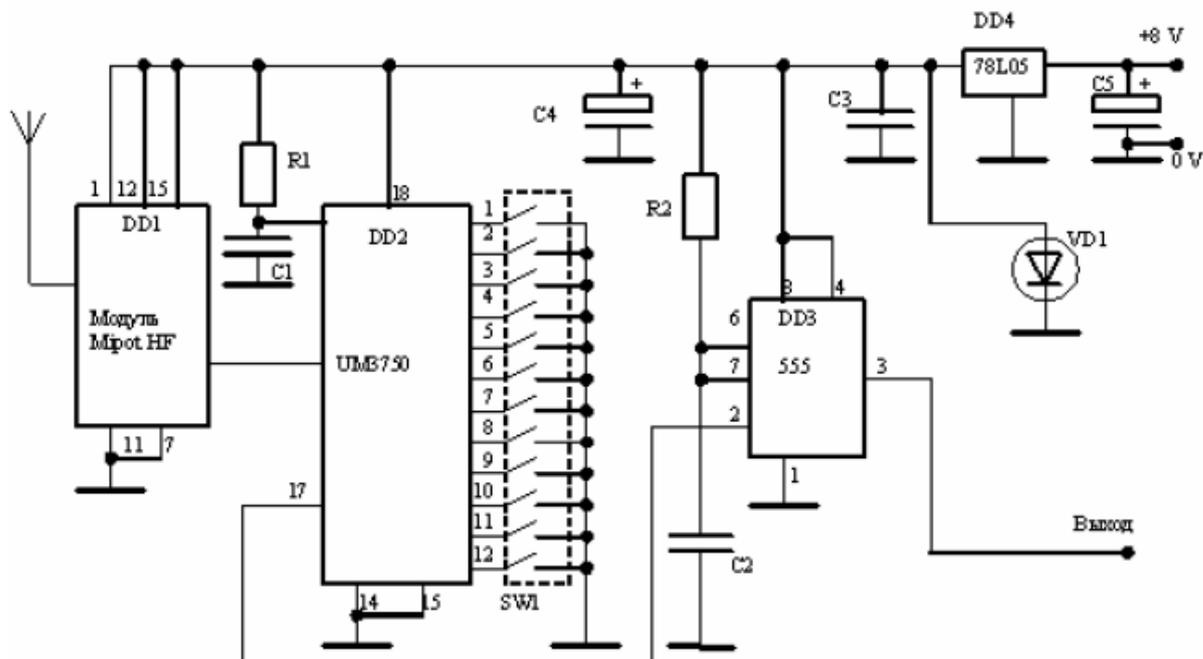


Рисунок 63 – Схема приемного устройства

Каждый второй импульс управления является «стоповым», т.е. при нажатии кнопки на пульте дистанционного управления привод останавливается, если до этого он работал, управляющим сигналом для системы управления.

Система управления состоит из счетного устройства, собранного на двух триггерах, а также логической части. Разработанная система управления построена на базе интегральных микросхем серии К155. В состав этой серии входит большое количество функциональных схем: дискретные элементы, дешифраторы, мультиплексоры, триггеры, счетчики, автогенераторы, компараторы и т.д. Поэтому система управления, построенная на базе данной серии микросхем, имеет низкую стоимость и отвечает российским условиям эксплуатации.

Применены микросхемы ТТЛ серии К155. Разработанная на базе этой серии система управления реализует простой и жесткий алгоритм работы. Возможные неисправности могут быть выявлены с помощью простого диагностического теста. Электропривод также не имеет каких-либо

особенностей. Применен маломощный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Однако использование симисторного контактора вместо обычного реле позволяет повысить срок службы контактора, упрощает (в некоторой степени) систему управления, а также позволяет разместить симисторы вместе с системой управления в одном блоке. Разработка и модернизация такой системы управления необходима, прежде всего, для того, что данная схема может быть использована не только для управления гаражными воротами, но и других устройств, которые должны управляться дистанционно или для которых дистанционное управление является более предпочтительной. Например, нагревательные приборы, осветительные установки, охранные сигнализации, системы кондиционирования и т.д. Кроме того, предлагаемые на рынке системы дистанционного управления имеют достаточно высокую стоимость, так как построены на базе элементов иностранного производства. Таким образом, освоение производства аналогичных систем управления даст возможность предлагать более дешевую отечественную продукцию.

### **6.1. Выбор привода для гаражных ворот**

При выборе привода гаражных ворот необходимо учитывать следующие параметры:

1. Габариты ворот;
2. На какой несущей системе сделаны ворота (от этого зависит легкость перемещения полотна);
3. Интенсивность эксплуатации ворот (сколько циклов в час ворота работают при максимальной нагрузке, сколько циклов в день);
4. Масса створки.

Поскольку ворота будут использоваться в частном доме с небольшим количеством жильцов, достаточно привода с интенсивностью эксплуатации 30%.

Конструкция автоматических сдвижных ворот может быть консольной (самонесущей) или подвесной, с верхним или нижним креплением направляющей. Привод для сдвижных ворот монтируется чаще всего на фундаменте непосредственно у створки ворот и состоит из электродвигателя с ведущей шестерней, редуктора, внутри которого находится жидкая или консистентная смазка и блока управления. Управление усилием осуществляется при помощи электроники или фрикционной муфты. Для передачи усилия на полотно ворот служит зубчатая рейка, которая устанавливается на створке ворот.

Одной из важнейших характеристик привода гаражных ворот является частота (интенсивность) эксплуатации. Приводы личного использования предназначены для нечастого использования, до 20 циклов открывания/закрывания дверей в сутки.

Необходимый комплект автоматики для откатных ворот: брелок-передатчик (пульт ДУ), сигнальная лампа, зубчатая рейка, привод с блоком управления и радиоприёмником, фотоэлементы, ключ-выключатель, антенна.



Рисунок 64 – Система управления гаражными воротами

Фотоэлементы (световой барьер) – это одна из систем безопасности привода откатных ворот. Система состоит из двух устройств: передатчика и

приёмника инфракрасного луча. Они, как правило, ставятся на противоположных столбах и улавливают любые помехи движению створки ворот. При пересечении луча автоматика незамедлительно реагирует на оказавшиеся в воротном проёме препятствия и отменяет все ранее поданные команды, полностью останавливая текущий цикл ворот.

Сигнальная лампа призвана привлечь внимание к процессу движения полотна ворот и оповестить окружающих. По миганию лампы видно, что прошёл сигнал с пульта и ворота сейчас придут в движение.

Для данных ворот можно подобрать приводы различных производителей, такие как NICE, CAME, AN-Motors, FratelliComenello.

Таблица 4 – Характеристики приводов гаражных ворот

Марка, модель	CAME BX-243	NICE RD400	AN-Motors ASL500	Fratelli Comenello FT424KIT
Максимальный вес ворот, кг	300	400	500	400
Максимальное тяговое усилие, Н	300	400	500	350
Скорость перемещения ворот, м/с	0,20	0,25	0,20	0,12
Интенсивность использования, циклов/час	25	20	25	40
Потребляемая мощность, Вт	170	210	250	70
Диапазон рабочих температур, °С	-20...+55	-20...+50	-20...+65	-20...+50
Масса, кг	12	8	10	9
Цена, руб.	16740	13000	12180	16125

Для привода фирмы AN-MotorsASL500 выбран электродвигатель типа АИР56В2У3.

Для короткозамкнутого асинхронного двигателя по каталожным данным определены параметры Т-образной схемы замещения.

Паспортные данные электродвигателя типа АИР56В2 У3:

$P_H = 0,25$  кВт – номинальная мощность двигателя;

$U_{1H} = 380$  В – номинальное линейное напряжение;

$U_{1\phi} = 220$  В – фазное напряжение;

$n_0 = 3000$  об/мин - синхронная частота вращения;

$s_H = 8$  % – номинальное скольжение двигателя;

$\eta_H = 0,68$  – КПД в режиме номинальной мощности (100 %-я нагрузка);

$\cos \varphi_H = 0,77$  – коэффициент мощности;

$k_i = \frac{I_{II}}{I_H} = 5$  о.е. – кратность пускового тока;

$k_{II} = \frac{M_{II}}{M_H} = 2$  о.е. – кратность пускового момента;

$k_{max} = \frac{M_K}{M_H} = 2,2$  о.е. – кратность максимального момента;

Номинальная частота вращения:

$$n_H = n_0 \cdot (1 - s_H) = 3000 \cdot (1 - 0,08) = 2760 \text{ об/мин.}$$

Ток холостого хода асинхронного двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - (p_* \cdot I_{1H} \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H))^2}{1 - (p_* \cdot (1 - s_H) / (1 - p_* \cdot s_H))^2}} =$$

$$= \sqrt{\frac{0,554^2 - (0,75 \cdot 0,723 \cdot (1 - 0,08) / (1 - 0,75 \cdot 0,08))^2}{1 - (0,75 \cdot (1 - 0,08) / (1 - 0,75 \cdot 0,08))^2}} = 0,231 \text{ А,}$$

где  $I_{1H} = \frac{P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} = \frac{250}{3 \cdot 220 \cdot 0,77 \cdot 0,68} = 0,723$  А – номинальный ток статора

двигателя;

$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_H}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_{p_*} \cdot \eta_{p_*}} = \frac{0,75 \cdot 250}{3 \cdot 220 \cdot 0,755 \cdot 0,68} = 0,554$  А – ток статора двигателя при

частичной загрузке;

$\eta_{p^*} = \eta_n = 0,68$  – КПД при частичной нагрузке;

$\cos \varphi_{p^*} = 0,98 \cdot \cos \varphi_n = 0,98 \cdot 0,77 = 0,755$  – коэффициент мощности при частичной нагрузке;

$p_* = P/P_n = 0,75$  – коэффициент загрузки двигателя;

Из формулы Клосса определено соотношение для расчета критического скольжения. В первом приближении принято  $\beta=1$  (коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора):

$$s_K = s_H \cdot \frac{k_{\max} + \sqrt{k_{\max}^2 - (1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_{\max} - 1)} =$$
$$= 0,08 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 - (1 - 2 \cdot 0,08 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,08 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,417 \text{ о.е.}$$

Далее определен ряд промежуточных коэффициентов:

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{0,231}{2 \cdot 5 \cdot 0,723} = 1,032;$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{\max} \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,08)}{2 \cdot 1,032 \cdot 2,2 \cdot 250} = 117,688.$$

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора:

$$R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_K}\right) \cdot C_1} = \frac{117,688}{\left(1 + \frac{1}{0,417}\right) \cdot 1,032} = 33,543 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление статорной обмотки:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,032 \cdot 33,543 \cdot 1 = 34,612 \text{ Ом.}$$

Определен параметр  $\gamma$ , который позволяет найти индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_K^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,417^2} - 1^2} = 2,182.$$

Тогда сопротивление короткого замыкания:

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 2,182 \cdot 1,032 \cdot 33,543 = 75,522 \text{ Ом.}$$

Для того, чтобы выделить из индуктивного сопротивления короткого замыкания сопротивления рассеяния фаз статора и ротора, необходимо воспользоваться соотношениями, которые справедливы для серийных асинхронных двигателей.

Индуктивное сопротивление рассеяния роторной обмотки, приведенное к статорной:

$$X'_{2H} = \frac{0,58 \cdot X_{KH}}{C_1} = \frac{0,58 \cdot 75,522}{1,032} = 42,45 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление рассеяния статорной обмотки:

$$X_{1H} = 0,42 \cdot X_{KH} = 0,42 \cdot 42,45 = 31,719 \text{ Ом.}$$

Для нахождения ЭДС ветви намагничивания определен  $\sin \varphi_H$ :

$$\varphi_H = \arccos[\cos(\varphi_H)] = \arccos(0,77) = 0,692 \text{ рад;}$$

$$\sin(\varphi_H) = \sin(0,692) = 0,638.$$

ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме:

$$\begin{aligned} E_m &= \sqrt{(U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_H - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1\phi} \cdot \sin \varphi_H - X_{1H} \cdot I_{1H})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0,77 - 34,612 \cdot 0,723)^2 + (220 \cdot 0,638 - 31,719 \cdot 0,723)^2} = 186,086 \text{ В.} \end{aligned}$$

Тогда индуктивное сопротивление намагничивания определится как:

$$X_{\mu H} = \frac{E_m}{I_0} = \frac{186,086}{0,231} = 806,833 \text{ Ом.}$$

По найденным значениям  $C_1$ ,  $R'_2$  и  $X_{KH}$  определено критическое скольжение:

$$s_{k1} = \frac{C_1 \cdot R'_2}{\sqrt{R_1^2 + X_{KH}^2}} = \frac{1,032 \cdot 33,543}{\sqrt{34,612^2 + 75,522^2}} = 0,417.$$

Индуктивность рассеяния статорной обмотки:

$$L_{1\sigma} = \frac{X_{1H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{31,719}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,101 \text{ Гн.}$$

Индуктивность рассеяния роторной обмотки, приведенной к статорной:

$$L'_{2\sigma} = \frac{X'_{2H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{42,45}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,135 \text{ Гн.}$$

Индуктивность ветви намагничивания:

$$L_{\mu H} = \frac{X_{\mu H}}{2 \cdot \pi \cdot f_{IH}} = \frac{806,833}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 2,568 \text{ Гн.}$$

## **7. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В экономической части выпускной квалификационной работы освещены вопросы технико-экономического обоснования применения светодиодного освещения для жилых коттеджей, что позволит оценить целесообразность перехода от устаревших источников освещения к светодиодам.

Задачами является сравнение электропотребления светодиодов и ламп накаливания, вычисление затрат на проектирование и закупку оборудования, расчет годовых затрат электроэнергии для систем освещения на светодиодных элементах и с использованием ламп накаливания, их сравнение, расчет экономии и срока окупаемости.

### **7.1. Определение трудоемкости и графика выполнения работ**

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ.

Трудоемкость выполнения работ оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5} = \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 3}{5} = 1,8,$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

В таблице ниже представлены виды выполняемых работ и их продолжительность.

Таблица 5 – Продолжительность работ по проектированию и монтажу

Выполняемые работы	Исполнитель	Продолжительность в часах
Разработка концепции освещения	Проектировщик	2
Подбор оборудования	Проектировщик	2
Светотехнический расчет	Проектировщик	4
План расстановки светильников	Проектировщик	2
Составление ведомости осветительного оборудования и комплектующих	Проектировщик	1
Монтаж и установка светодиодного оборудования	Монтажник	5

На основании табл. 5 построена диаграмма Ганта.

Таблица 6 – План-график проведения работ

№ раб от	Вид работ	Исполни- тели	$T_{ki}$ , часы	Продолжительность выполнения работ			
				16.04	17.04	18.04	19.04
1	Разработка концепции освещения	Проект-к	2	■			
2	Подбор оборудования	Проект-к	2	■			
3	Светотехнический расчет	Проект-к	4		■		
4	План расстановки светильников	Проект-к	2			■	
5	Составление ведомости осветительного оборудования и	Проект-к	1			■	

	комплектующих						
6	Монтаж и установка светодиодного оборудования	Монт-к	5				

 –монтажник

 – проектировщик

По данным таблицы общее время работы проектировщика составляет 11 часов, монтажника – 5 часов.

## 7.2. Затраты на проект

Для расчета затрат на проект необходимо рассчитать заработную плату исполнителей работы, дополнительную заработную плату, отчисления во внебюджетные фонды, накладные расходы и затраты на закупку оборудования.

На основании выполненных работ необходимо рассчитать заработную плату исполнителей проекта.

Заработная плата работника за месяц с учетом премии:

$$Z_{\text{м.проект-ка}} = Z_{\text{оклад}} \cdot 1,3 \cdot (1 + 20\%) = 20000 \cdot 1,3 \cdot (1 + 20\%) = 31200(\text{руб.})$$

$$Z_{\text{м.монт-ка}} = Z_{\text{оклад}} \cdot 1,3 \cdot (1 + 20\%) = 18000 \cdot 1,3 \cdot (1 + 20\%) = 28080(\text{руб.})$$

Заработная плата из расчета за 1 час:

$$Z_{\text{час.проект-ка}} = \frac{Z_{\text{м}}}{21 \cdot 8} = \frac{31200}{168} = 185,7(\text{руб.})$$

$$Z_{\text{час.монт-ка}} = \frac{Z_{\text{м}}}{21 \cdot 8} = \frac{28080}{168} = 167,1(\text{руб.})$$

Основная заработная плата исполнителей:

$$Z_{\text{осн.проект-ка}} = Z_{\text{час}} \cdot \sum \text{часов} = 185,7 \cdot 11 = 2042,7(\text{руб.})$$

$$Z_{\text{осн.монт-ка}} = Z_{\text{час}} \cdot \sum \text{часов} = 167,1 \cdot 5 = 835,5(\text{руб.})$$

Дополнительная заработная плата рассчитывается как 12% от суммы основной заработной платы:

$$З_{\text{доп.проект-ка}} = 2042,7 \cdot 0,12 = 245,1(\text{руб.})$$

$$З_{\text{доп.монт-ка}} = 835,5 \cdot 0,12 = 100,3(\text{руб.})$$

Отчисления во внебюджетные фонды являются обязательными отчислениями по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС). Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется как 30% от суммы основной и дополнительной заработной платы.

$$З_{\text{внеб.проект-ка}} = (2042,7 + 245,1) \cdot 0,3 = 686,3(\text{руб.})$$

$$З_{\text{внеб.монт-ка}} = (835,5 + 100,3) \cdot 0,3 = 280,7(\text{руб.})$$

Накладные расходы учитывают прочие затраты, такие как затраты электроэнергии, печать материалов, оплата услуг связи и т.д. Рассчитываются как 80% от суммы основной заработной платы.

$$З_{\text{накл.}} = (2042,7 + 835,5) \cdot 0,8 = 2302,6(\text{руб.})$$

Исходя из ведомости осветительного оборудования для проекта, необходима закупка подобранного оборудования. В табл.3 представлены расходы на приобретение светодиодного оборудования.

Таблица 3 – Затраты на приобретение светодиодного оборудования

Наименование	Цена, руб.	Количество, шт	Итого
Точечный светодиодный светильник 3 Вт	127	3	381
Точечный светодиодный светильник 4 Вт	186	27	5022
Точечный светодиодный светильник 6 Вт	210	7	1470
Потолочный светодиодный свет-к 9 Вт	1800	4	7200
Потолочный светодиодный свет-к 20 Вт	2600	1	2600
Потолочный светодиодный свет-к 36 Вт	3635	1	3635
Светодиодные настенные бра	373	2	746
Светодиодная лента, 1м	53	19	1007
Блок питания 24 Вт	405	3	1215

Блок питания 35 Вт	493	1	493
Итого	23769 рублей		

Общие затраты на проект системы освещения коттеджа на светодиодных элементах сведены в табл. 4.

Таблица 4 – Затраты на проект системы освещения

Наименование	Руб.	%
Светодиодное оборудование	23769,0	79,5
Заработная плата	2878,2	9,6
Отчисления во внебюджетные фонды	967,0	3,2
Накладные расходы	2302,6	7,7
Итого	29916,8	100

Из таблицы видно, что наибольшие расходы проекта приходятся на закупку оборудования.

### 7.3. Электропотребление светодиодами и лампами накаливания

Основное преимущество светодиодного освещения — существенная экономия энергоресурсов. В таблице указано соотношение мощностей для светодиодов и ламп накаливания для наглядного сравнения разницы в энергопотреблении.

Таблица 5 – Соотношение мощностей ламп накаливания и светодиодов

Лампа накаливания, Вт	Светодиоды, Вт	Поток света, Лм
25	3	250
40	5	400
60	8	650
100	14	1300
150	22	2100

Из таблицы видно, что мощность светодиодов меньше примерно в 7 раз, а эффективность свечения и яркость одинаковы.

В таблице учтено наличие матовой колбы у светодиодных ламп, которая снижает яркость на 20% и мощности 1 Вт, которая уходит на нагрев драйвера. Применение светодиодных ламп без матовой колбы вредно воздействует на глаза, поэтому крайне не рекомендуется.

Также светодиодные лампы обладают значительно более высоким КПД, который показывает, сколько электроэнергии преобразовывается в свет, а сколько в тепловую энергию. КПД светодиодной лампы составляет 90% по сравнению с альтернативным вариантом, КПД которого около 7-9%. Благодаря высокому КПД светодиодные лампы практически не нагреваются, максимальная температура их нагрева составляет 50<sup>0</sup>С, что позволяет применять их в любом помещении. Стекло колбы лампы накаливания нагревается в пределах 170<sup>0</sup>С, поэтому такое изделие является пожароопасным, его использование не рекомендуется применять при монтаже электропроводки в деревянном доме.

Кроме того по сравнению с хрупкой лампой накаливания, корпус светодиодной лампы имеет более прочную конструкцию, практически не разбивается.

#### **7.4. Расчет экономии и срока окупаемости**

Объем потраченной электроэнергии за год при светодиодном освещении при среднем времени горения ламп в день, равном 8 часам:

$$W = P \cdot T = 365 \cdot 8 \cdot 0,364 = 1062,88(\text{кВт} \cdot \text{ч}),$$

где P – общая мощность всех светодиодов;

T – общее время горения светодиодов за год.

Объем потраченной электроэнергии при освещении на лампах накаливания при среднем времени горения ламп в день, равном 8 часам:

$$W = P \cdot T = 365 \cdot 8 \cdot 2,056 = 6003,52(\text{кВт} \cdot \text{ч}),$$

где P – общая мощность всех ламп накаливания;

T – общее время горения ламп накаливания за год.

Стоимость электроэнергии за 1 *кВт·ч* принимаем 2,17 руб.

Стоимость электроэнергии для светодиодного освещения:

$$1062,88 \cdot 2,17 = 2306,4(\text{руб.})$$

Стоимость электроэнергии для освещения на лампах накаливания:

$$6003,52 \cdot 2,17 = 13027,6(\text{руб.})$$

$$\text{Экономия} = 10721,2(\text{руб.})$$

Срок окупаемости светодиодного освещения:

$$\frac{\text{Затраты}}{\text{Экономия}} = \frac{29916,8}{10721,2} = 2,79(\text{года})$$

Переход на светодиодное освещение является целесообразным и выгодным решением. Экономия электричества светодиодами очевидна, при одинаковом потоке света потребляемая мощность светодиодов в среднем в 8 раз меньше, чем у ламп накаливания. Кроме того важен такой аспект как долговечность: срок работы лампы накаливания около 1000 часов, но может уменьшиться из-за нестабильного электричества в сети или брака, срок службы светодиодов существенно выше – до 25000 часов, с поправкой на долговечность электроники. Также КПД светодиодов намного выше, чем у ламп накаливания, т.к. большая часть мощности лампы накаливания уходит на нагрев, а большая часть мощности светодиодов уходит на освещение, нагрев же светодиодов незначителен, ими нельзя обжечься.

Можно сделать вывод о том, что благодаря длительному сроку службы и значительно меньшему электропотреблению, высокая стоимость светодиодов окупается в краткие сроки.

## **8. Социальная ответственность**

Целью данного раздела является анализ опасных и вредных факторов при работе с системой освещения коттеджа, разработка требований и мероприятий по технике безопасности, анализ пожарной безопасности и выработка мероприятий, направленных на предотвращение ЧС и ликвидации их последствий.

### **8.1. Характеристика помещения**

Большое значение для здоровья человека имеет качество воздуха жилых и общественных помещений, так как в их воздушной среде даже малые источники загрязнения создают высокие концентрации его (из-за небольших объемов воздуха для разбавления), а длительность их воздействия максимальна по сравнению с другими средами.

Современный человек проводит в жилых и общественных зданиях от 52 до 85% суточного времени. Поэтому внутренняя среда помещений даже при относительно невысоких концентрациях большого количества токсических веществ может влиять на его самочувствие, работоспособность и здоровье. Кроме того, в зданиях токсические вещества действуют на организм человека не изолированно, а в сочетании с другими факторами: температурой, влажностью воздуха, ионно-озонным режимом помещений, радиоактивным фоном и др.

Согласно требованиям строительных норм и правил (СНиП):

1. Температура воздуха в жилых помещениях должна быть не менее  $+18^{\circ}\text{C}$ , а в угловых комнатах  $+20^{\circ}\text{C}$ ;
2. Относительная влажность - от 40 до 69%;
3. Скорость движения воздуха - от 0,1 до 0,15 м/сек;
4. Искусственное освещение - 10-12 Вт на 1 м<sup>2</sup> (100-150 лк);

5. Кратность воздухообмена на кухне, в ванной и санузле должна быть не менее двух объемов помещения в час, в жилых комнатах 0,5-1 объемов помещения в час.

При несоответствии комплекса этих факторов гигиеническим требованиям внутренняя среда помещений может стать источником риска для здоровья.

## **8.2. Анализ опасных и вредных факторов**

При выполнении вышеперечисленных работ возможны следующие виды опасностей:

### 1. Опасные факторы:

- Возможность поражения электричеством;
- Возможность загорания (пожара);

### 2. Вредные факторы:

Факторы, связанные с характером среды помещения:

- Температура воздуха рабочей зоны;
- Влажность воздуха;
- Запыленность воздуха рабочей зоны;
- Недостаточная освещенность рабочих мест;
- Тепловое излучение.

Эти параметры по отдельности и в комплексе влияют на организм человека, определяя его самочувствие.

## **8.3. Техника безопасности**

Правилами техники безопасности при монтаже осветительных приборов разрешено выполнение таких работ лицами, прошедшими

специальное обучение, вводный инструктаж и проверку знаний. Светодиодные светильники должны соответствовать правилам безопасного использования: качество материалов лампы, электропроводки, креплений и плафона.

При монтаже светильников различного типа необходимо соблюдать следующие рекомендации:

- Перед проведением монтажа светильников рабочие должны проверить наличие исправного рабочего оборудования и дополнительного оснащения (перчатки, замеряющие приборы и т.д.).
- Перед установкой светильников необходимо ознакомиться с инструкцией и, следуя рекомендациям изготовителя, приступить к монтажу, так как разные производители предъявляют индивидуальные требования к установке. Также на работу влияет сложность и масштаб.
- Установка светильников должна проходить при полном отключении напряжения в сети.
- Допускается использование стремянок и приставных лестниц при монтаже на высоте не более 5 метров. В случае превышения данного показателя необходимо использовать краны и другие высотные установки.

Для качественного выполнения своих обязанностей работники (электрики, монтажники) должны регулярно проходить инструктаж по технике безопасности и охране труда. В случае внесения изменений в рекомендации по установке осветительного оборудования бригадир или старший должен донести нововведения до начала работ. В таком случае будут выполняться все необходимые требования.

#### **8.4. Электропоражение**

Основными причинами поражения электрическим током в домашних условиях являются:

- нарушение элементарных норм электробезопасности;
- эксплуатация неисправных электроприборов;
- неосторожное и невнимательное отношение к электроустановкам дома и на приусадебном хозяйстве;
- ремонт электроприборов и электропроводки лицами, имеющими недостаточную квалификацию.

Общие правила техники безопасности, соблюдение которых может предотвратить возможные неприятности при эксплуатации бытовых электроприборов.

1. Очень часто причиной электротравматизма является нарушение изоляции электропроводки в доступных для прикосновения местах. Особенно это характерно для помещений, где выполнена открытая прокладка электропроводки. Поэтому необходим периодический осмотр изоляции электропроводов, при обнаружении нарушения изоляции необходимо принять срочные меры для ее восстановления.

2. При возникновении, по тем или иным причинам, коротких замыканий и перегрузок в электрических цепях должны отключаться автоматические выключатели или «перегорать» плавкие вставки предохранителей, установленных в вводных щитах коттеджа. Для исключения возгорания электропроводки токовые уставки этих аппаратов должны быть калиброванными, то есть они должны срабатывать при токах, превышающих установленные значения.

3. При эксплуатации внутридомовых электрических сетей очень важно следить за исправностью установочных элементов электропроводки, то есть розеток и выключателей, чтобы они не стали причиной поражения электрическим током.

4. Сетевые шнуры многих бытовых приборов часто выходят из строя из-за надлома или обрыва токопроводящей жилы, что может вызвать искрение, нагрев и даже возгорание провода. Поэтому очень важно следить за исправностью изоляции провода и вилки включения сетевых шнуров.

7. Нельзя оставлять электроприборы под напряжением без присмотра на долгое время.

### **8.5. Микроклимат в помещении**

Микроклимат помещения – это состояние внутренней среды помещения, оказывающее воздействие на человека, характеризуемое показателями температуры воздуха и ограждающих конструкций, влажностью и подвижностью воздуха. В помещениях жилых и общественных зданий следует обеспечивать оптимальные или допустимые параметры микроклимата в обслуживаемой зоне. Параметры, характеризующие микроклимат в жилых и общественных помещениях: температура воздуха; скорость движения воздуха; относительная влажность воздуха; результирующая температура помещения; локальная асимметрия результирующей температуры.

Требуемые параметры микроклимата: оптимальные, допустимые или их сочетания следует устанавливать в зависимости от назначения помещения и периода года с учетом требований соответствующих нормативных документов. Оптимальные и допустимые параметры микроклимата в обслуживаемой зоне помещений жилых (в том числе общежитий), детских дошкольных учреждений, общественных, административных и бытовых зданий следует принимать для соответствующего периода года в пределах значений параметров, приведенных в таблице 1[16]:

Таблица 6 - Оптимальные и допустимые нормы температуры,

относительной влажности и скорости движения воздуха в обслуживаемой  
зоне помещений жилых зданий и общежитий

Период года	Наименование помещения	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая не более	оптимальная не более	допустимая не более
Холодный	Жилая комната	20-22	18-24 (20-24)	19-20	17-23 (19-23)	45-30	60	0,15	0,2
	Жилая комната в районах с температурой наиболее холодной пятидневки (обеспеченностью 0,92) минус 31 °С и ниже	21-23	20-24 (22-24)	20-22	19-23 (21-23)	45-30	60	0,15	0,2
	Кухня	19-21	18-26	18-20	17-25	Не нормируется	Не нормируется	0,15	0,2
	Туалет	19-21	18-26	18-20	17-25	Не нормируется	Не нормируется	0,15	0,2
	Ванная, совмещенный санузел	24-26	18-26	23-27	17-26	Не нормируется	Не нормируется	0,15	0,2
	Межквартирный коридор	18-20	16-22	17-19	15-21	45-30	60	Не нормируется	Не нормируется
Теплый	Жилая комната	22-25	20-28	22-24	18-27	60-30	65	0,2	0,3
Примечание - Значения в скобках относятся к домам для престарелых и инвалидов.									

Локальная асимметрия результирующей температуры должна быть не более 2,5 °С для оптимальных и не более 3,5 °С для допустимых показателей.

Качество воздуха в помещениях жилых и общественных зданий обеспечивается согласно действующим нормативно-техническим

документам необходимым уровнем вентиляции (величиной воздухообмена в помещениях), обеспечивающим допустимые значения содержания углекислого газа в помещении. При сокращении воздухообмена обеспечивается снижение энергозатрат системой вентиляции, а также повышение энергоэффективности систем вентиляции.

Необходимый воздухообмен в помещении может быть определен двумя способами: на основе удельных норм воздухообмена; на основе расчета воздухообмена, необходимого для обеспечения допустимых концентрации загрязняющих веществ.

Расходы воздуха систем вентиляции, принимаемые для обеспечения качества воздуха, зависят от количества людей в помещении, их деятельности, технологических процессов (выделений загрязняющих веществ от бытовой и оргтехники, из строительных материалов, мебели и др.), а также от систем отопления и вентиляции. Применение второго способа, основанного на балансе вредностей в помещении, позволяет определить воздухообмен с учетом загрязнений наружного воздуха и заданного уровня качества воздуха (комфорта) в помещении.

Требуемое состояние микроклимата рабочей зоны может быть обеспечено при использовании:

- защиты от источников тепловых излучений для снижения температуры воздуха в помещении и теплового облучения работающих;
- устройство вентиляции и отопления;

Задача вентиляции – обеспечение чистоты воздуха и заданных метеорологических условий в производственных помещениях. Вентиляция достигается удалением загрязненного или нагретого воздуха из помещения и подачей в него свежего воздуха. Целью отопления помещения является

поддержание в них в холодное время года заданной температуры воздуха, а так же обеспечить безопасность в отношении пожаров и взрывов. В зависимости от теплоносителя системы отопления бывают водяные, паровые, воздушные и комбинированные, в санитарно – гигиеническом отношении система водяного отопления наиболее эффективна. Кроме того, она требует минимальных затрат на обслуживание и обеспечивает возможность регулирования температуры в широких пределах.

### **8.5. Освещенность**

Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда.

Недостаточная освещенность рабочего места не только уменьшает остроту зрения, но и вызывает утомление организма в целом, что приводит к снижению производительности труда и увеличению опасности заболеваний человека.

Для общего и местного освещения следует использовать источники света с цветовой температурой от 2400 °К до 6800 °К. Интенсивность ультрафиолетового излучения в диапазоне длин волн 320-400 нм не должно превышать 0,03 Вт/м<sup>2</sup>. Наличие в спектре излучения длин волн менее 320 нм не допускается. Для общего освещения помещений следует использовать энергоэкономичные светодиоды со световой отдачей не менее 55лм/Вт, в соответствии с областью их применения. Световые приборы для общего и местного освещения со светодиодами должны иметь рассеиватели или защитные углы, исключающие попадание в поле зрения прямого излучения.

Нормы освещенности в различных помещениях согласно СНиП[2]:

Вид помещения	Норма освещенности согласно СНиП, Лк
Проходы технических этажей, подвалов, чердаков	20
Венткамеры, тепловые пункты, насосные и электрощитовые	20
Лестницы	20
Ванные комнаты, санузлы, душевые	50
Гардеробная	75
Подсобные	300
Кабинет, библиотека	300
Детские	200
Кухни	150
Жилые комнаты	150

## 8.6. Пожарная опасность

Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага, наносящего материальный ущерб. Согласно ГОСТ 12.1.033-81 понятие пожарная безопасность означает состояние объекта, при котором с установленной вероятностью исключается возможность возникновения и развития пожара и воздействия на людей опасных факторов пожара, а также обеспечивается защита материальных ценностей.

Противопожарные требования к жилым зданиям рассчитываются исходя из класса огнеопасности здания. Для обеспечения безопасного проживания используются следующие меры:

- Архитектурные решения - еще на начале проекта проводится аудит огнеопасности будущего дома. Рассчитываются модели распространения огня. Определяется максимально допустимый класс пожаробезопасности жилого здания. В расчет также принимают территориальные правила, действующие только в определенной местности.

- Системы оповещения. Пожарная безопасность жилых зданий разрабатывается с целью предотвратить порчу имущества во время пожара и свести к минимуму вероятность человеческих жертв по причине возгорания. Конструктивные способы пожарной безопасности, о которых говорилось выше, будут малоэффективными, если не предупредить о пожаре жильцов дома.
- Системы пожаротушения - автоматические установки позволяют практически мгновенно среагировать в случае возгорания. Установка автоматических систем требуется также на парковке, если в проекте предусмотрена автомобильная стоянка возле жилых зданий.
- Меры, направленные на предотвращение возгорания и уменьшение последствия пожаров. Регулярно проводятся мероприятия по обеспечению надлежащего состояния и проверки безопасности коридоров, аварийных и эвакуационных выходов, чердаков и подвалов. В технических помещениях не допускается хранение горючих веществ, ветоши и других предметов которые могут стать причиной возгорания. Эти же требования предъявляются к подвалам.
- Требования к содержанию территории. Надзор за безопасностью возлагается на владельца здания. Требования пожарной безопасности жилых зданий указывают, что вокруг дома должен быть оставлен пожарный проезд, достаточный для свободного подъезда техники сотрудников МЧС.
- Фасад - для утепления используют негорючие минеральные утеплители. Требования к облицовке жилого здания – использование материалов увеличивающих огнестойкость и звукоизоляцию помещений. При монтаже пенополистирола и пенопласта, обязательным условием является установка противопожарных рассечек. Современные системы могут обеспечить как внутреннее, так и наружное пожаротушение для жилых зданий. 9. В электрощитовых

жилых зданий должен находиться индивидуальный комплект пожаротушения.

На территории жилой застройки подрядчик должен установить системы обеспечения пожарной безопасности. Для этого используются датчики, средства первичного пожаротушения, пож-шкафы и т.д.

- Датчики. Правила пожарной безопасности для жилых зданий продумываются таким образом, чтобы дать всем жильцам, находящимся в доме возможность эвакуироваться из горящего здания. Своевременно выявленный пожар легче потушить, а у людей появится больше возможностей спастись из охваченного огнем дома. Противопожарное оборудование помещений в первую очередь начинается с установки систем оповещения.
- Системы пожаротушения. Устройства для тушения в жилых помещениях выбираются исходя из фактической потребности в согласии с ФЗ №123. Категория пожароопасности жилого здания влияет на минимальные требования, предъявляемые к системе пожаротушения. Наиболее востребованными являются спринклерные устройства. Внутреннее пожаротушение в жилом здании может быть выполнено с помощью порошковых, газовых составов и воды.
- Пож – шкафы - устанавливаются на каждом этаже. В шкафах находятся пожарные гидранты, а также предметы первичного пожаротушения: огнетушители, средства индивидуальной защиты и т.д. Во время проведения проверки, соблюдения пожарной безопасности, инспектор проверяет наличие и исправность оборудования.

Противопожарные требования к жилым многоэтажным зданиям обязуют поддерживать пожарную безопасность запасных выходов. Они не должны быть захламлены. Направление движения при эвакуации должно быть четко обозначено указателями. Нормы пожарной безопасности для жилых

малоэтажных зданий, определяются в СНиП и ППБ. Основными мерами предотвращения пожара являются:

- Конструкционные решения. Простенки балконов в многоэтажных домах сделаны с дверью, чтобы в случае возгорания в своей квартире можно было пройти в соседнее помещение. Корпуса разной этажности ограждаются противопожарными поясами во избежание распространения пожара. Функциональная безопасность обеспечивается с помощью усиленной защиты несущих конструкций лестничных проемов и т.д.
- Огнезащита - проводится в согласии с проектной декларацией на жилое здание, в согласии с предусмотренными мероприятиями. Огнезащита вентканалов осуществляется с помощью красок и герметиков. Несущие конструкции подлежат обязательной обработке огнезащитными составами.
- Регулярные мероприятия ПБ. Эксплуатация систем пожаротушения требует проверки их исправности в сроки, оговоренные в СНиП. После проведенного аудита выписывается акт о приемке работ.

### **8.7. Защита окружающей среды от процессов в коттедже**

Процессы в коттедже сопряжены с образованием и выделением газообразных, жидких и твердых отходов.

Газообразные отходы, загрязняющие воздух помещения: естественные выделения - углекислый газ, пары воды, летучие органические соединения - ЛОС (альдегиды, кетоны), азотистые соединения и др. органов дыхания человека; бытовая пыль; и др. Перед выбросом воздух помещений подвергается обязательной очистке в фильтровентиляционных системах, что предотвращает атмосферу от загрязнения. Жидкие отходы - бытовые отходы, образующиеся в процессах влажной уборки помещений, при пользовании

водопроводом, туалетом и т.п., сбрасываются в городскую канализацию и далее поступают в системы централизованной очистки на городских очистных сооружениях.

При обращении с твердыми отходами: бытовой мусор (отходы бумаги, пищевые отходы); отработанные лампы; бытовая техника, комплектующие и запчасти, утратившие в результате износа потребительские свойства – надлежит руководствоваться Постановлением Администрации г. Томска от 11.11.2009 г. №1110 (с изменениями от 24.12.2014) [23]: бытовой мусор после предварительной сортировки складировать в специальные контейнеры для бытового мусора (затем специализированные службы вывозят мусор на городскую свалку); утратившее потребительские свойства электрооборудование передают специальным службам (предприятиям) для сортировки, вторичного использования или складирования на городских мусорных полигонах.

Отработанные лампы утилизируются в соответствии с Постановлением Правительства РФ от 03.09.2010 №681 [24].

К сфере защиты ОС и рационального использования природных ресурсов относится и экономия ресурсов, в частности, энергетических. Реальным вкладом здесь может стать экономия электрической и тепловой энергии на территории коттеджа. Несмотря на кажущуюся малость вклада в энергосбережение и в защиту атмосферного воздуха от загрязнения массовое движение в этом направлении, в том числе, в быту, принесет значимый эффект.

#### **8.8. Предотвращение ЧС и ликвидация их последствий**

Наиболее вероятные чрезвычайные ситуации в коттедже: возникновение пожара и электропоражение.

Основными причинами пожара могут быть: перегрузка проводов, короткое замыкание, большие переходные сопротивления в электрических цепях, электрическая дуга, искрение и неисправности оборудования.

Согласно [19], пожарная профилактика обеспечивается: системой предотвращения пожара; системой противопожарной защиты; организационно - техническими мероприятиями. К мерам предотвращения пожара относятся: применение средств защитного отключения возможных источников загорания (защитного зануления); применение искробезопасного оборудования; применение устройства молниезащиты здания; выполнение правил (инструкций) по пожарной безопасности.

К мерам противопожарной защиты относятся: применение пожарных извещателей; системы автоматической пожарной сигнализации; порошковых или углекислотных огнетушителей.

При обнаружении загорания необходимо немедленно сообщить по телефону 01 в пожарную охрану, приступить к эвакуации жильцов и материальных ценностей. Тушение пожара организуется первичными средствами с момента обнаружения пожара. Пострадавшим при пожаре обеспечивается скорая медицинская помощь.

Современная система электробезопасности обеспечивает защиту от поражения в двух наиболее вероятных и опасных случаях:

- при прямом прикосновении к токоведущим частям электрооборудования;
- при косвенном прикосновении.

Под косвенным прикосновением понимается прикосновение человека к открытым проводящим частям оборудования, на которых в нормальном режиме (исправном состоянии) электроустановки отсутствует электрический потенциал, но при каких-либо неисправностях, вызвавших нарушение изоляции или ее пробой на корпус, на этих частях возможно появление опасного для жизни человека потенциала.

Для защиты от прямого прикосновения к токоведущим частям, согласно [26] п.412. служат изоляция токоведущих частей, применение ограждений и оболочек, установка барьеров, размещение вне зоны досягаемости, устройства защитного отключения (УЗО).

Для защиты от косвенного прикосновения применяются: защитное заземление и защитное зануление [26].

Даже если при электропоражении человек внешне сохранил формат нормального самочувствия, он должен быть осмотрен врачом с заключением о состоянии здоровья, т.е. пострадавшему должна быть обеспечена скорая медицинская помощь. Предварительно пострадавший должен быть освобожден от действия электрического тока. Если при этом отключить напряжение быстро невозможно, освобождение от электричества пострадавшего необходимо производить, изолировав себя диэлектрическими перчатками или галошами. При необходимости перерезать провода (каждый в отдельности) инструментом с изолированными ручками. Если есть необходимость (при потере сознания, остановке сердца и т.п.) оказания первой помощи, то до прибытия медработника необходимо начать делать: наружный массаж сердца, искусственное дыхание.

### **Заключение**

В результате работы над ВКР была рассчитана система освещения коттеджа на светодиодных элементах: освещенность всех комнат коттеджа, расстановка светильников и их мощность, специализированный источник питания, принцип действия которого основан на высокочастотном преобразовании энергии, а также привод гаражных ворот

В ходе работы над проектом получен опыт в проектировании системы освещения и оформлении технической документации.

### **Список используемой литературы**

1. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 800 с.
2. Кнорринг Г.М. Осветительные установки. – Л.: Энергия, 1981. – 412 с.
3. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под ред. Г.М. Кнорринга. – СПб.: Энергоатомиздат, 1992. – 448 с.
4. Бондаренко, С. И. Электрическое освещение : учеб. пособие / С. И. Бондаренко. – Иркутск : ИрГТУ, 2000. – 52 с.

5. Васендин, В. Н. Расчет освещения помещений : метод. указания к лабораторной работе / В. Н. Васендин, Д. А. Кобалева. – Нижний Тагил : НТИ (ф) ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. – 28 с.
6. Естественное и искусственное освещение: СНиП 23-05-95: Министерство строительства Российской Федерации (минстрой России), Москва 1995.
7. Электронный ресурс. <http://дляворот.рф>. Дата обращения: 15.05.2017.
8. Шуберт, Ф.Е. Светодиоды / Ф.Е. Шуберт. / Пер. с англ. под ред. А.Э Юновича. – 2е изд.– М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
9. Туркин, А. Полупроводниковые светодиоды: история, факты, перспективы / А. Туркин. // Полупроводниковая светотехника. – 2011.- № 5. -с.28 – 33.
10. Браун, М. Источники питания. Расчёт и конструирование / М. Браун. Пер. с англ. – К.: МК – Пресс, 2007. – 288 с.
11. Семёнов, Б.Ю. Экономическое освещение для всех / Ю.Б. Семёнов. – М.: СОЛОН – ПРЕСС, 2010. – 224 с.: ил. – (Серия <<Технология электроснабжения>>).
12. Давиденко, Ю.Н. 500 схем для радиолюбителей. Современная схемотехника в освещении. Эффективное электропитание люминесцентных, галогенных ламп, светодиодов, элементов <<Умного дома>>. / Ю.Н. Давиденко. – СПб.: Наука и Техника, 2008. – 320 с.: ил. +CD.
13. Никифоров, С.Г. Реальный технический уровень современных светодиодов и осветительных приборов на их основе / С.Г. Никифоров. // Полупроводниковая светотехника. – 2011.-№ 6.-с.10 – 12.
14. Чемакин, Л. Компоненты ON Semiconductor для устройств питания сверхъярких светодиодов и светодиодных матриц /Л. Чемакин. // Новости электроники. – 2008.№10.
15. Макашков, Д.М. Обратногоходовой преобразователь / Д. Макашков. 2005. – С. 46.

- 16.ГОСТ 30494-2011. «Здания жилые и общественные».
- 17.СНиП 23-05-2010. «Естественное и искусственное освещение».
- 18.СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий».
- 19.ГОСТ 12.1.033-81 ССБТ. «Пожарная безопасность».
- 20.Правила устройства электроустановок, ПУЭ, утвержденные Министерством энергетики России от 08.07.2002, №204, Глава 1.7.
- 21.ГОСТ 12.1.004-91, СС5Т. «Пожарная безопасность. Общие требования».
- 22.СП 9.13130.2009. Техника Пожарная. Огнетушители. Требования к эксплуатации».
- 23.Постановление Администрации г. Томска от 11.11.2010, №1116 (с изменениями от 24.12.2014). «Об организации сбора, вывоза, утилизации и переработки бытовых и промышленных отходов на территории муниципального образования "Город Томск"».
- 24.Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 №681. «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств».
25. Долин П.А. Справочник по технике безопасности. – 6е изд., переработанное и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 824 с.
- 26.ГОСТ Р 50571.3-94. «Электроустановки зданий. Часть 4. Требования по обеспечению безопасности. Защиты от поражения электрическим током».

