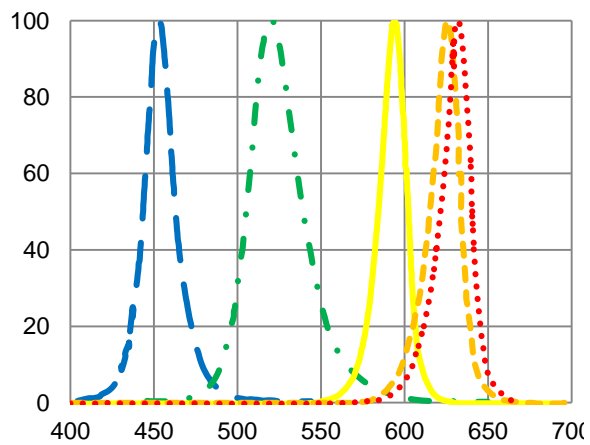
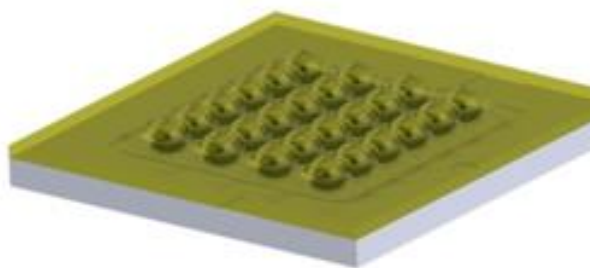


К.А. Виноградова, С.Н. Липницкая, В.Е. Бугров

ОПТОЭЛЕКТРОНИКА СВЕТОДИОДОВ



Министерство образования и науки Российской Федерации

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ**

К.А. Виноградова, С.Н. Липницкая, В.Е. Бугров

ОПТОЭЛЕКТРОНИКА СВЕТОДИОДОВ

Санкт-Петербург

2013

К.А. Виноградова, С.Н. Липницкая, В.Е. Бугров. Оптоэлектроника светодиодов – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – 86 с.

Представленные в сборнике лабораторные работы предлагаются студентам кафедры «Светодиодных технологий» для закрепления и применения знаний, полученных на лекциях, практических занятиях и во время самостоятельной работы, и расширения знаний о характеристиках светодиодных устройств, некоторых критических аспектах, учет которых необходим при разработке нового светодиодного изделия. В частности, освещены вопросы организации теплового режима, получения спектра излучения высокого качества, выбора источника питания. Проводится знакомство с возможностями программного пакета Zemax для расчёта различных оптических систем, в том числе, светодиодов. К каждой лабораторной работе сформулированы контрольные вопросы и задания. Пособие адресовано студентам, обучающимся по магистерской программе 200400.68 «Светодиодные технологии» направления подготовки 200400 «Оптотехника».

Учебное пособие подготовлено на кафедре «Светодиодных технологий».

Рекомендовано к печати Учёным Советом факультета оптико-информационных систем и технологий 11.06.2013, протокол №6.



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2013

© К.А. Виноградова, С.Н. Липницкая, В.Е. Бугров, 2013

Содержание

Содержание	4
ВВЕДЕНИЕ	5
РОССИЙСКИЕ СВЕТОДИОДЫ.....	6
Лабораторная работа №1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДНЫХ УСТРОЙСТВ	9
Этап 1. Расчет электрических и оптических характеристик светодиодов.....	14
Этап 2. Измерение оптических и электрических характеристик светодиодов	15
Этап 3. Измерение радиометрических характеристик светодиодов.....	16
Лабораторная работа №2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА В СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ	17
Этап 1. Расчет теплового сопротивления.....	19
Этап 2. Измерение температуры светодиодного чипа	20
Этап 3. Подбор радиатора к светодиодному источнику света.....	20
Лабораторная работа №3. РАСЧЕТ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ СВЕТОДИОДНОГО МОДУЛЯ.....	21
Лабораторная работа №4. СПЕКТР СВЕТОДИОДНОГО ИСТОЧНИКА СВЕТА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ.....	30
Лабораторная работа №5. ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ ZEMAX. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	40
Этап 1. Знакомство с интерфейсом ZEMAX. Построение простых геометрических объектов.....	44
Этап 2. Проведение расчета и анализ результатов	46
Лабораторная работа №6. ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ ZEMAX. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОРПУСИРОВАННОГО СВЕТОДИОДНОГО ЧИПА.....	47
Этап 1. Построение геометрии оптической системы	48
Этап 2. Задание оптических свойств объектов и свойств источника	49
Этап 3. Проведение расчёта и анализ результатов	49
Приложение 1 Варианты заданий	50
Приложение 2 Спецификации на светодиодные чипы	51
Приложение 3 Электрические схемы соединений светодиодных чипов и светодиодов	60
Приложение 4 Виды светодиодных корпусов	61
Приложение 5 Спецификация на светодиод модели OLP-X5050F6C-XXXX.....	62
Приложение 6 Спецификации на радиаторы	69
Приложение 7 Спецификации на светодиодные модули	71
Приложение 8 Спецификации на источники питания для светодиодных источников света.....	76
КАФЕДРА СВЕТОДИОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	83

ВВЕДЕНИЕ

Представленные в сборнике лабораторные работы предлагаются студентам кафедры «Светодиодных технологий» для получения базовых и расширенных знаний об основных характеристиках светодиодных чипов, светодиодов, светодиодных модулей, радиаторов и источников питания, а также методов оценки характеристик светодиодных устройств. Выполнение лабораторных работ позволит понимать техническую документацию на светодиодные изделия, спецификации, руководства по эксплуатации, проводить измерения и моделирование оптических и электрических характеристик светодиодных устройств.

Каждая лабораторная работа содержит *цель, основные сведения о предмете работы, описание задействованного оборудования, схему проведения работы, контрольные вопросы и задания*. Схема лабораторной работы представлена этапами, соблюдение последовательности которых является обязательным, для логичного усвоения материала лабораторных работ, так же, как и последовательность выполнения самих работ. Работа считается выполненной при условии проведения каждого этапа работы и *предоставления отчета к лабораторной работе*.

Отчет к лабораторной работе должен содержать отчетные листы по каждому этапу работы. После каждого этапа студент составляет протокол наблюдений и визирует его у преподавателя. В отчет следует включить цель работы, схемы задействованных установок с описанием функциональных узлов, ответы на контрольные вопросы и задания.

Для успешной подготовки отчета к лабораторной работе рекомендуется использовать дополнительную литературу. Список рекомендуемой литературы вы найдёте после пункта «Контрольные вопросы и задания».

РОССИЙСКИЕ СВЕТОДИОДЫ

Компания «Оптоган» одна из немногих в мире и единственная в России, обладающая технологиями мирового уровня и полным циклом производства светодиодов и светодиодной техники. Продукция компании: светодиоды, осветительные приборы на их основе, а также интеллектуальные системы освещения. Производственные мощности компании «Оптоган» расположены в городе Санкт-Петербург, Россия, и в городе Эрголдинг, Германия.



Рис. 1. Производственная площадка компании «Оптоган» в Санкт-Петербурге.

Компания была основана в 2004 году в городе Хельсинки, Финляндия Максимом Анатольевичем Одноблюдовым, Владиславом Евгеньевичем Бугровым и Алексеем Руслановичем Ковшом — выпускниками Физико-технического института им. А. Ф. Иоффе, учениками нобелевского лауреата Жореса Алфёрова.

По распоряжению Правительства Российской Федерации от 27 февраля 2013 г. №254-р Максиму Анатольевичу Одноблюдову и Владиславу Евгеньевичу Бугрову была присуждена премия Правительства Российской Федерации 2012 года в области науки и техники и звание «Лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники».

Миссия компании «Оптоган» — внести свой вклад в инновационное

развитие России и в улучшение качества жизни посредством создания, производства и широкого внедрения светодиодных систем освещения в повседневную жизнь людей.

География реализованных проектов охватывает все субъекты Российской Федерации, страны Западной и Восточной Европы, страны Содружества Независимых Государств. Быстрый рост компании на российском и зарубежном рынках, прежде всего, связан с повседневной работой по совершенствованию потребительских характеристик продукции, разработкой и выводом на рынок новых продуктовых линеек как самих светодиодов, так и светильников на их основе. Основной акцент компания делает на разработку продуктов и технологий с высокой степенью инновационности.

Сотрудники компании опираются на высококвалифицированные кадры. Технологии и производственные процессы компании защищены многочисленными российскими и международными патентами.

В 2011 году было создано научно-исследовательское подразделение ООО «Оптоган. Новые технологии света», ставшее участником Инновационного центра «Сколково». Один из продуктов компании, запатентованный мощный светодиодный модуль «Оптоган X10», удостоен звания «Продукт года» по версии немецкого специализированного журнала по электронике *Elektronik*.

Компания «Оптоган» ориентирована на построение надежного взаимовыгодного и долгосрочного сотрудничества. Именно поэтому компания является привлекательным бизнес-партнёром как на российском, так и зарубежном рынке.

В апреле 2012 года компания Philips, мировой лидер в области световых решений, подписали с компанией «Оптоган» соглашение о создании совместного предприятия по производству светодиодных светильников и интеллектуальных систем для уличного и дорожного освещения. Совместное предприятие успешно функционирует, предлагая рынку высокоэффективные осветительные системы.

Компания «Оптоган» является соучредителем единственной в России профессиональной ассоциации в светодиодной отрасли — Некоммерческого Партнёрства Производителей Светодиодов и Систем на их основе.


Акционерами компании являются Группа ОНЭКСИМ, ОАО «Роснано», ОАО «РИК», основатели компании.

В настоящее время компания «Оптоган» выпускает светодиодные светильники для освещения офисов, световые указатели аварийного освещения, мощные светодиодные светильники уличного освещения, светильники промышленного освещения, устройства вспомогательного освещения для объектов жилищно-коммунальных хозяйств, различные светодиодные светильники для декорирования пространства, светильники

архитектурного освещения, светодиодные лампы с цоколем E27, GU5.3 и T8, а также интеллектуальные системы освещения. На рис. 2 представлены лишь некоторые модели.

ОФИСНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Оптолюкс-Офис-45



Встроенный светодиодный светильник для общего освещения - флуоресцентного назначения 4x45 Вт. Предназначен для установки в подвесные потолки типа «армстронг» в жилых и офисных помещениях.


- Повышенная яркость, освещенность на 20% больше, чем у люминесцентных аналогов с таким же потреблением энергии. Светит стабильно в течение всего срока службы, при использовании менее чем в 10 раз меньше энергии.
- Снижение энергопотребления более чем в 2 раза по сравнению с люминесцентными аналогами.
- Линейная освещенность на 10% превышает стандартные нормы для помещений общего назначения.
- Светильник имеет длительный срок службы - до 50000 часов.
- Имеет повышенную пожаро- и взрывозащиту, устойчив к ударам, перепадам температур и воздействию агрессивных сред.
- Снижение эксплуатационных расходов за счет длительного срока службы, до 50000 часов.

Напряжение питания	100-240 В
Мощность	45 Вт
Средняя температура / Диапазон температур	25 / от -40 до +40 °С
Средняя влажность / Диапазон влажности	50 / от 10 до 90 %
Средняя освещенность	1000 лк
Средняя освещенность в центре	1200 лк
Средняя освещенность в периферии	800 лк
Средняя освещенность в углах	600 лк
Средняя освещенность в центре потолка	100 лк
Средняя освещенность в периферии потолка	80 лк
Средняя освещенность в углах потолка	60 лк
Средняя освещенность в центре комнаты	100 лк
Средняя освещенность в периферии комнаты	80 лк
Средняя освещенность в углах комнаты	60 лк

Наименование системы управления на странице 11

АВАРИЙНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Оптолюкс-Сигнал-Альфа/Бета/Гамма



Светильники предназначены для аварийного освещения. Предназначены для установки в производственных, торговых и складских помещениях.


- Правильный алгоритм работы при отключении питания.
- Устойчивость к ударам и перепадам температур.
- Устойчивость к воздействию агрессивных сред.
- Снижение эксплуатационных расходов за счет длительного срока службы, до 50000 часов.

Напряжение питания	100 В
Мощность	5 Вт
Средняя температура / Диапазон температур	25 / от -40 до +40 °С
Средняя влажность / Диапазон влажности	50 / от 10 до 90 %
Средняя освещенность	100 лк
Средняя освещенность в центре	120 лк
Средняя освещенность в периферии	80 лк
Средняя освещенность в углах	60 лк

Наименование системы управления на странице 11

УЛУЧШЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Оптолюкс-Ригель 70/80/90/100/110



Светильники предназначены для равномерного освещения помещений. Предназначены для установки в жилых и офисных помещениях.


- Устойчивость к ударам и перепадам температур.
- Устойчивость к воздействию агрессивных сред.
- Снижение эксплуатационных расходов за счет длительного срока службы, до 50000 часов.

Напряжение питания	100-277 В
Мощность	100 Вт
Средняя температура / Диапазон температур	25 / от -40 до +40 °С
Средняя влажность / Диапазон влажности	50 / от 10 до 90 %
Средняя освещенность	100 лк
Средняя освещенность в центре	120 лк
Средняя освещенность в периферии	80 лк
Средняя освещенность в углах	60 лк

Наименование системы управления на странице 11

ПРОМЫШЛЕННОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Оптолюкс-Холл-100



Промышленный светодиодный светильник - люминесцентного назначения 100 Вт. Предназначен для установки в подвесные потолки типа «армстронг» в жилых и офисных помещениях.


- Повышенная яркость, освещенность на 20% больше, чем у люминесцентных аналогов с таким же потреблением энергии.
- Снижение энергопотребления более чем в 2 раза по сравнению с люминесцентными аналогами.
- Линейная освещенность на 10% превышает стандартные нормы для помещений общего назначения.
- Светильник имеет длительный срок службы - до 50000 часов.
- Имеет повышенную пожаро- и взрывозащиту, устойчив к ударам, перепадам температур и воздействию агрессивных сред.
- Снижение эксплуатационных расходов за счет длительного срока службы, до 50000 часов.

Напряжение питания	100-240 В
Мощность	100 Вт
Средняя температура / Диапазон температур	25 / от -40 до +40 °С
Средняя влажность / Диапазон влажности	50 / от 10 до 90 %
Средняя освещенность	1000 лк
Средняя освещенность в центре	1200 лк
Средняя освещенность в периферии	800 лк
Средняя освещенность в углах	600 лк

Наименование системы управления на странице 11

КОММЕРЦИАЛЬНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Оптолюкс-Смарт-605/1005



Светильники предназначены для освещения коммерческих помещений. Предназначены для установки в подвесные потолки типа «армстронг» в жилых и офисных помещениях.


- Повышенная яркость, освещенность на 20% больше, чем у люминесцентных аналогов с таким же потреблением энергии.
- Снижение энергопотребления более чем в 2 раза по сравнению с люминесцентными аналогами.
- Линейная освещенность на 10% превышает стандартные нормы для помещений общего назначения.
- Светильник имеет длительный срок службы - до 50000 часов.
- Имеет повышенную пожаро- и взрывозащиту, устойчив к ударам, перепадам температур и воздействию агрессивных сред.
- Снижение эксплуатационных расходов за счет длительного срока службы, до 50000 часов.

Напряжение питания	100-240 В
Мощность	60 Вт
Средняя температура / Диапазон температур	25 / от -40 до +40 °С
Средняя влажность / Диапазон влажности	50 / от 10 до 90 %
Средняя освещенность	1000 лк
Средняя освещенность в центре	1200 лк
Средняя освещенность в периферии	800 лк
Средняя освещенность в углах	600 лк

Наименование системы управления на странице 11

АРХИТЕКТУРНАЯ ПОДСВЕТКА

Оптолюкс-Декор-Плюс



Светильники предназначены для архитектурной подсветки. Предназначены для установки в жилых и офисных помещениях.


- Устойчивость к ударам и перепадам температур.
- Устойчивость к воздействию агрессивных сред.
- Снижение эксплуатационных расходов за счет длительного срока службы, до 50000 часов.

Напряжение питания	100-240 В
Мощность	10 Вт
Средняя температура / Диапазон температур	25 / от -40 до +40 °С
Средняя влажность / Диапазон влажности	50 / от 10 до 90 %
Средняя освещенность	100 лк
Средняя освещенность в центре	120 лк
Средняя освещенность в периферии	80 лк
Средняя освещенность в углах	60 лк

Наименование системы управления на странице 11

СВЕТОДИДНЫЕ ЛАМПЫ

Оптолюкс-Пойнт-12В



Светодиодная лампа - люминесцентного назначения 12 В. Предназначена для установки в подвесные потолки типа «армстронг» в жилых и офисных помещениях.


- Повышенная яркость, освещенность на 20% больше, чем у люминесцентных аналогов с таким же потреблением энергии.
- Снижение энергопотребления более чем в 2 раза по сравнению с люминесцентными аналогами.
- Линейная освещенность на 10% превышает стандартные нормы для помещений общего назначения.
- Светильник имеет длительный срок службы - до 50000 часов.
- Имеет повышенную пожаро- и взрывозащиту, устойчив к ударам, перепадам температур и воздействию агрессивных сред.
- Снижение эксплуатационных расходов за счет длительного срока службы, до 50000 часов.

Напряжение питания	12 В
Мощность	5 Вт
Средняя температура / Диапазон температур	25 / от -40 до +40 °С
Средняя влажность / Диапазон влажности	50 / от 10 до 90 %
Средняя освещенность	100 лк
Средняя освещенность в центре	120 лк
Средняя освещенность в периферии	80 лк
Средняя освещенность в углах	60 лк

Наименование системы управления на странице 11

СВЕТОДИДНЫЕ ЛАМПЫ

Оптолюкс-E27, 11 Вт



Светодиодная лампа - люминесцентного назначения E27. Предназначена для установки в подвесные потолки типа «армстронг» в жилых и офисных помещениях.

- Повышенная яркость, освещенность на 20% больше, чем у люминесцентных аналогов с таким же потреблением энергии.
- Снижение энергопотребления более чем в 2 раза по сравнению с люминесцентными аналогами.
- Линейная освещенность на 10% превышает стандартные нормы для помещений общего назначения.
- Светильник имеет длительный срок службы - до 50000 часов.
- Имеет повышенную пожаро- и взрывозащиту, устойчив к ударам, перепадам температур и воздействию агрессивных сред.
- Снижение эксплуатационных расходов за счет длительного срока службы, до 50000 часов.

Напряжение питания	100-240 В
Мощность	11 Вт
Средняя температура / Диапазон температур	25 / от -40 до +40 °С
Средняя влажность / Диапазон влажности	50 / от 10 до 90 %
Средняя освещенность	100 лк
Средняя освещенность в центре	120 лк
Средняя освещенность в периферии	80 лк
Средняя освещенность в углах	60 лк

Наименование системы управления на странице 11

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Интеллектуальная система освещения



Интеллектуальная система предназначена для автоматизации и оптимизации управления осветительными приборами.

- Устойчивость к ударам и перепадам температур.
- Устойчивость к воздействию агрессивных сред.
- Снижение эксплуатационных расходов за счет длительного срока службы, до 50000 часов.

Напряжение питания	100-240 В
Мощность	100 Вт
Средняя температура / Диапазон температур	25 / от -40 до +40 °С
Средняя влажность / Диапазон влажности	50 / от 10 до 90 %
Средняя освещенность	100 лк
Средняя освещенность в центре	120 лк
Средняя освещенность в периферии	80 лк
Средняя освещенность в углах	60 лк

Наименование системы управления на странице 11

Рис. 2. Несколько спецификаций на светодиодные устройства, выпускаемые компанией «Оптоган».

Лабораторная работа №1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СВЕТОДИОДНЫХ УСТРОЙСТВ

Цель работы: ознакомиться с основными характеристиками светодиодных чипов, светодиодов, светодиодных модулей. Научиться рассчитывать характеристики светодиодных устройств, используя значения характеристик компонентов. Получить навыки работы с технической документацией на светодиодные продукты. Научиться проводить измерения электрических и фотометрических характеристик светодиодных устройств.

Основные понятия

Светодиодный чип — это полупроводниковое оптоэлектронное устройство, излучающее свет при прохождении через него электрического тока в прямом направлении. Длины волн излучения светодиодных чипов зависят от используемых полупроводниковых материалов и могут приходиться на область спектра излучения от ультрафиолетовой до инфракрасной.

Светодиод — это полупроводниковый прибор, состоящий из одного или нескольких полупроводниковых чипов, электрических соединений, оптического покрытия и корпуса. Контактные площадки чипов с помощью металлической проволоки соединяются с контактными площадками корпуса, формируя путь для электрического тока. Оптическое покрытие, как правило, изготавливается из высокоэластичных силиконовых полимеров или стекол, которые могут содержать люминофор. Оно позволяет эффективнее выводить свет из светодиодного чипа, за счет того, что показатель преломления материала оптического покрытия меньше показателя преломления светодиодного чипа, к тому же оптическое покрытие выполняет защитную функцию — герметизирует контакты, электрические соединения, поверхность чипа, тем самым снижая влияние внешних факторов: влажности, механического воздействия. Форма поверхности оптического покрытия (плоская, линза и другие) и корпуса светодиода определяют распределение света в пространстве, то есть формируют диаграмму направленности светодиода.

В современной осветительной промышленности используются светодиоды «белого света», цвет которых в большинстве случаев реализован смешением спектров синего света от светоизлучающего чипа и желтого света от люминофора.

Светодиодный модуль, светодиодная матрица — светоизлучающее изделие, созданное на базе светодиодов. Обычно представляет собой печатную плату с размещенными на ней светодиодами. Светодиоды крепятся к печатной плате при помощи паяных соединений, созданных

между контактами корпуса светодиода и контактными площадками платы. Паяные соединения формируют путь для переноса электрического и теплового токов.

Светодиодный светильник — светоизлучающее изделие на светодиодах или светодиодных модулях, размещенных в корпусе, снабженном радиатором, драйвером и оптической системой из рефлектора (отражателя) и рассеивателя.

Вариация оптических характеристик, миниатюрные размеры и гибкие возможности дискретного управления обеспечили создание на базе светодиодных чипов, светодиодов, светодиодных матриц самых различных световых приборов.

Поскольку изготовленные светодиодные чипы и светодиоды обладают разбросом характеристик, для удобства работы с ними введено понятие бина. *Бин* — диапазон значений параметра, по которому осуществляется сортировка изделий. Процесс сортировки светодиодных чипов и светодиодов по бинам называется *бинингом*. Для чипов параметрами бининга являются рабочее напряжение, осевая сила света или оптическая мощность, пиковая или доминантная длина волны излучения. Для светодиодов белого света параметрами бининга являются рабочее напряжение, осевая сила света, световой поток, координаты цветности, коррелированная цветовая температура. При осуществлении бининга обычно указывается максимальное (max) и минимальное (min) значения характеристик, то есть границы диапазона, в большинстве случаев указывается среднее (average) или типичное (typical) значение характеристики.

Основные характеристики светодиодных чипов, светодиодов, светодиодных матриц и светодиодных светильников представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики светодиодных изделий

Характеристика	Единица измерения	Определение / дополнение
Сила света, luminous intensity, candlepower, I_l	кд cd	Количественная величина потока излучения, приходящегося на единицу телесного угла в пределах его распространения, то есть количество света (в люменах), приходящееся на 1 стерадиан. Обычно указывается осевая сила света для рабочего тока.
Мощность излучения, radiant flux, P_{opt}	Вт W	Энергетическая характеристика потока излучения. Представляет собой интеграл мощности излучения по длинам волн спектра излучения.

Характеристика	Единица измерения	Определение / дополнение
Световой поток, luminous flux, Φ	лм lm	Мощность излучения источника света, воспринимаемая человеческим глазом.
Пиковая длина волны, peak wavelength, λ_{peak}	нм nm	Длина волны максимума спектрального распределения интенсивности излучения.
Доминантная длина волны, dominant wavelength, λ_{dom}	нм nm	Длина волны монохроматического цвета, расположенного на периметре цветового графика на самом коротком расстоянии от цвета излучения источника. Для определения доминирующей длины волны проводят прямую линию к периметру графика, проходящую через точку эталонного источника белого света и точку с координатами цветности (x, y), соответствующими тестируемому источнику света. Точка пересечения этой прямой с периметром цветового графика и будет определять доминирующую длину волны источника.
Ширина спектра на полувысоте, spectral half-width, spectral width at half maximum, FWHM, $\Delta\lambda$	нм nm	Для светодиодных чипов составляет 10–40 нм и характеризует область перекрытия спектра излучения.
Угол обзора, viewing angle	градус degree	Светодиоды обладают неравномерной зависимостью силы излучения от угла отклонения от продольной оси симметрии светодиода. В качестве нормирующей характеристики принят угол излучения половинной яркости, который определяет сектор диаграммы, в пределах которого интенсивность излучения составляет не менее половины максимального значения.
Выходная диаграмма направленности, radiation pattern	б/р*	Характеризует распределение светового потока в пространстве. Выходная диаграмма направленности светового потока формируется как формой

Характеристика	Единица измерения	Определение / дополнение
		рефлектора, так и формой корпуса светодиода. Возможно создание диаграмм направленности с различной шириной по вертикали и горизонтали, например, 120° по горизонтали и 60° по вертикали (т.н. овальные светодиоды).
Коррелированная цветовая температура, correlated color temperature, CCT	К К	Характеризует температуру источника излучения белого света. Используется в случае, если координаты цвета источника белого света не попадают на кривую Планка. Для нахождения коррелированной цветовой температуры источника излучения на цветовой диаграмме МКО 1976 года определяется самая близкая к источнику точка на кривой Планка (то есть определяется самое короткое геометрическое расстояние). Температура черного тела, расположенного в этой точке, и будет соответствовать коррелированной цветовой температуре рассматриваемого источника. Для нахождения коррелированной цветовой температуры по цветовой диаграмме МКО 1931 года на него необходимо нанести линии, соответствующие постоянным значениям коррелированной цветовой температуры. По цветовой температуре различают теплый белый свет (warm white light) CCT=3000 К, нормальный белый свет (normal white light) CCT=4000 К, дневной нормальный белый свет (day white light) CCT=5000 К, холодный белый свет (cold white light) CCT=6500 К.
Индекс цветопередачи, color rendering index, CRI	б/р	Характеризует качество белого света, уровень соответствия естественного цвета тела видимому (кажущемуся) цвету этого тела при освещении его рассматриваемым источником белого света. Чем выше индекс, тем естественнее воспринимается освещаемый объект.

Характеристика	Единица измерения	Определение / дополнение
Прямой рабочий ток, рабочий ток, forward current, DC, I_f	A A	Рабочий ток, на котором работает светодиодный чип/светодиод/светодиодная матрица, светильник.
Пиковое значение тока, максимальный ток, peak forward current, I_{peak}	A A	Максимально возможное значение тока, протекающее через светодиодный чип/светодиод. Указывается с условиями подачи — частотой (frequency) и задержкой между импульсами (duty), обычно для светодиодного чипа размером 1717 mil, составляет 100 мА при 1кГц и 1/10 duty.
Обратное напряжение, reverse voltage	B V	Допустимое обратное напряжение, прикладываемое к светодиодному чипу, светодиоду для оценки величины обратного тока. Составляет для чипов InGaN обычно -5 В.
Обратный ток, reverse current	A A	Ток, протекающий через светодиодный чип/светодиод при приложении к нему обратного напряжения, обычно составляет до 10 мкА.
Прямое напряжение, forward voltage	B V	Прямое падение напряжение на светодиодном чипе/светодиоде при рабочем токе.
Световая эффективность (оптического излучения), luminous efficiency	лм/Вт lm/W	Коэффициент преобразования оптической мощности в световой поток.
Световая отдача источника света, luminous efficacy	лм/Вт lm/W	Коэффициент преобразования электрической мощности в световой поток.
Рабочая температура, operation temperature, T_{op}	°C °C	Температура, при которой предусмотрена работа данного устройства, для светодиодных чипов составляет обычно от -40 до +85 °C.
Температура хранения, storage temperature,	°C °C	Температура, при которой рабочие свойства прибора сохраняются, для светодиодных чипов составляет обычно от -40 до +85 °C.

Характеристика	Единица измерения	Определение / дополнение
T_{st}		
Максимально-допустимая температура корпуса, board temperature, T_{board}	°C °C	Максимально возможная температура корпуса устройства, при которой возможна его работа. При превышении данной температуры прибор выходит из строя.
Мощность рассеяния, dissipation power, P_{dis}	Вт W	Параметр характеризует рассеиваемую тепловую мощность.
Температура p-n перехода, junction temperature, T_j	°C °C	Максимально возможная температура перехода в светодиодном чипе при которой еще возможна его работа без появления необратимых изменений, для InGaN чипов обычно составляет 125 °C.
Срок службы, life time	час hour	Обычно подразумевается время, в течение которого уровень светового потока от светодиодного источника излучения снизится до 80–70% от первоначального значения, для лучших светодиодов составляет 50 000 часов.
Тепловое сопротивление, thermal resistance, R_{th}	°C/Вт K/W	Определяет, с какой скоростью переносится тепло между участками, в частности, для чипа, между верхним и нижнем слоями структуры, для светодиода — между чипом и контактной площадкой корпуса. Для светодиодного чипа InGaN, выращенного на сапфире составляет 16 °C/Вт.

Стоит отметить, что в Таблице 1 представлены далеко не все характеристики светодиодных устройств. Для ознакомления с ними обратитесь к спецификациям, расположенным в приложении, и к источникам рекомендованной литературы.

Проведение лабораторной работы

Этап 1. Расчет электрических и оптических характеристик светодиодов

1. Получите у преподавателя номер Варианта задания. Обратитесь к Приложению 1 для определения модели чипа, на базе которого Вы

- будете рассчитывать светодиодный продукт.
2. Ознакомьтесь с содержанием Приложения 2. На основании данных Приложения 2 выпишите основные технические характеристики модели светодиодного чипа, соответствующей вашему варианту задания. Данные представьте в виде таблицы Excel.
 3. Ознакомьтесь с содержанием Приложения 3. Рассчитайте электрические и оптические характеристики устройств, схемы которых представлены в Приложении 3. Все расчеты проведите в Excel, дополнительно, в Pspice, Pcad или ином программном пакете, подходящем для расчетов элементов цепи.
 4. Составьте и заполните Таблицу основных характеристик пяти светодиодных продуктов, рассчитанных в п.3. Приведите значения характеристик устройств в случае потери 5, 10, 20 % оптической мощности за счет специфического окружения чипов, наличия корпуса, полимерного материала. Приведите основные формулы расчетов.
 5. На основе характеристик чипа вашего варианта задания рассчитайте необходимое количество светодиодных чипов, нарисуйте и опишите электрическую схему устройства, которое будет работать на номинальном токе 300 ± 50 мА и излучать минимум 700 мВт оптической мощности. Дополните результатами Таблицу, составленную вами в п.4, обоснуйте выбор используемого электрического соединения.

Контрольные вопросы и задания

1. Проанализируйте полученные результаты. Объясните наблюдаемые тенденции.
2. Оцените надежность предлагаемых Приложением 3 вариантов соединений чипов. Зафиксировав значение потребляемого тока 5 вариантами устройств, рассчитайте значение тока, протекающего через чип в случае обрыва соединения в одной из цепочек. Какое максимально возможное значение выдержит чип? Предложите свой вариант соединения чипов для количества чипов варианта III и IV Приложения 3.
3. Какой технический параметр должен быть строго зафиксирован при построении чипов в параллельной схеме включения?
4. Составьте отчет по Этапу 1 лабораторной работы. Включите в него все данные, полученные в ходе выполнения Этапа 1, ответы на контрольные вопросы и задания.

Этап 2. Измерение оптических и электрических характеристик светодиодов

1. Получите у преподавателя светодиод и спецификацию на него.
2. Поместите светодиод в держатель.
3. Установите держатель в окно позиционирования интегральной сферы.

4. Осуществите калибровку интегральной сферы.
5. На источнике питания установите минимальное значение тока, при котором наблюдается свечение источника (приблизительно 5 мА). Установите ограничение по напряжению в соответствии со спецификацией.
6. Включите источник питания на 2 секунды, проведите измерения оптических и электрических характеристик светодиода.
7. Внесите данные измерений в таблицу результатов измерений:

I_f , мА	U_f , В	P_{el} , Вт	P_{opt} , Вт	КПД, %	Φ , лм	ССТ, К	Ra	(x; y)	λ_{peak} , нм	λ_{dom} , нм

8. Повторите пункт 4 – 6 при изменении значения подаваемого тока с шагом в 5 мА до достижения током значения, на 30% превышающем номинальное.
9. Повторите пункты 1 – 7 для светодиода с большим количеством чипов и для излучающего устройства «чип на плате».

Контрольные вопросы и задания:

5. Постройте ВАХ. Объясните наблюдаемые тенденции.
6. Постройте зависимости светового потока от потребляемой мощности измеряемых устройств, световой эффективности от плотности тока через устройства. Объясните причины линейного роста и спада зависимостей.

Этап 3. Измерение радиометрических характеристик светодиодов

1. Поместите светодиод в держатель.
2. Установите в окно позиционирования интегральной сферы.
3. Осуществите калибровку интегральной сферы.
4. На источнике питания установите номинальные значения тока измеряемого светодиода и ограничение по напряжению.
5. Включите источник питания на 10 секунд, проведите измерения оптических характеристик, зафиксировав (в таблице ниже) значение напряжения.
6. Заполните таблицу

I_f , мА	U_f , В	$I_f \cdot U_f$, Вт	Мощность излучения, Вт	КПД, %	Интенсивность излучения, Вт/м ²

7. Повторите измерения 3 раза с разницей в 5 минут.

Контрольные вопросы:

1. Объясните принцип работы интегральной сферы.
2. Зачем необходимо производить калибровку интегральной сферы? Принцип проведения калибровки.

3. Объясните отличие мощности излучения от светового потока. Поясните понятие «кривая чувствительности человеческого глаза».
4. В каких случаях следует использовать для расчета КПД преобразования значение мощности оптического излучения?
5. Объясните разницу в результатах повторных измерений.

Рекомендуемая литература

1. Шуберт Ф. Е. // Светодиоды. Пер. с англ. под ред. Юновича А. Э. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2008. – 496 с.
2. Варфоломеев В.П. // Светотехника. Краткое справочное пособие. М.: Световые технологии, 2004. — 128 с.

Лабораторная работа №2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА В СВЕТОДИОДНЫХ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Цель работы: получить представление о тепловых характеристиках светодиодов, научиться рассчитывать и измерять тепловое сопротивление элементов корпуса светодиода, осуществлять осознанный выбор радиатора для светодиодной системы.

Основные сведения

В процессе работы светодиода больше половины мощности потребления преобразуется в тепло. Количество выделяющегося тепла сильно влияет на характеристики устройства, в частности, электрические и оптические. Из графической зависимости интенсивности излучения от температуры окружающей среды, представленной в Приложении 5 видно, что увеличение температуры до 75 °С приводит к 20% снижению интенсивности излучения. При создании любого осветительного устройства на светодиодах обеспечение теплового режима (*thermal management*) играет ключевую роль, определяет срок службы устройства. Обязательным требованием к созданию светодиодной осветительной системы является поддержание температуры *p-n* перехода ниже определенного максимально допустимого значения.

Основными источниками зарождения тепла являются активная область (за счет процессов безызлучательной рекомбинации), места контактов разнородных материалов. При длительной непрерывной работе светодиодный чип деградирует по причине генерации дефектов, электрической миграции атомов материалов. Деграция сильнее проявляется при повышенной температуре, протекании тока больше номинального рабочего значения.

Для расчета теплового сопротивления R_{th} участка цепи используют выражение:

$$R_{th} = \frac{h}{S \cdot \sigma},$$

где h — длина участка цепи, например, толщина слоя; S — площадь участка цепи; σ — коэффициент теплопроводности. Коэффициент теплопроводности сильно изменяется в зависимости от температуры.

Другая функциональная зависимость, характеризующая изменение температуры между двумя точками переноса тепла при рассеивании тепловой мощности P_Q :

$$R_{th} = \frac{T_2 - T_1}{P_Q}.$$

Тепловая мощность определяется исходя из мощности потребления светодиода за исключением мощности P_{opt} , преобразуемой в световое излучение:

$$P_Q = I \cdot U - P_{opt},$$

где I — электрический ток, протекающий через светодиод, U — падение напряжения на нем.

Тепловое сопротивление между активной областью светодиода и корпусом светодиода определяется конструктивными особенностями устройства и указывается в спецификации.

Основным путём переноса тепла в одиночном светодиоде является следующий: p - n переход чипа → точка крепления корпуса светодиода к печатной плате, так называемая «точка пайки» → печатная плата → радиатор → окружающая среда.

В этом случае поток тепла последовательно встречает тепловые сопротивления:

$R_{th\ p-n\ \text{пайки}}$ между p - n переходом и точкой пайки;

$R_{th\ \text{пайки_ПП}}$ между точкой пайки и печатной платой;

$R_{th\ \text{ПП_радиатор}}$ между печатной платой и радиатором;

$R_{th\ \text{радиатор_окружающая среда}}$ между радиатором и окружающей средой.

Общее тепловое сопротивление выражается суммой всех компонент. Тепловое сопротивление каждого элемента светодиодной системы определяется расчётным путём и эмпирически.

К радиатору, как к конечному изделию, контактирующему с окружающей средой и обуславливающему в итоге характеристики светодиодного устройства, предъявляются определённые требования по величине теплового сопротивления, значения мощности, которую радиатор способен рассеять при определённых условиях окружающей среды, в частности, температуры воздуха, скорости воздушного потока, высоты над уровнем моря. Радиатор имеет внешнюю развитую поверхность для увеличения площади контакта с окружающей средой.

Тепловые сопротивления чип – корпус и корпус – радиатор указываются в справочных данных на изделия.

При определении характеристик радиатора всегда нужно рассматривать максимально возможную мощность, которую необходимо рассеять.

Проведение лабораторной работы

Этап 1. Расчет теплового сопротивления

1. Получите у преподавателя вариант задания. Определите габаритные размеры светодиодного чипа исходя из Приложений 1, 2.
2. Рассчитайте тепловое сопротивление между слоями материалов, составляющих светодиодный чип и светодиод. Схематично структура светодиодного чипа представлена на рис. 1 Приложения 2. Структура светодиода показана на рис. 3. Характеристики слоёв приведены в Таблице 2.

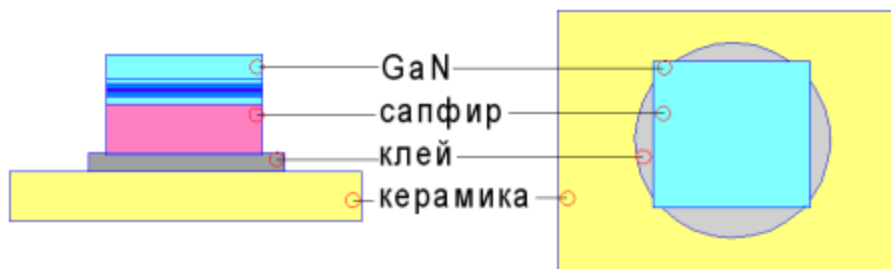


Рис. 3. Схематическая структура светодиода.

Таблица 2. Характеристики слоёв светодиодного чипа

Материал слоя	Толщина слоя, мкм	Теплопроводность, Вт/(м·К) при 298 К
GaN	0.32	130
Сапфир	120	27
Полидиметилсилоксановый клей (вариант 1–6)	1	0.2
Серебросодержащий эпоксидный клей (вариант 7–12)	10	5
Керамика Al ₂ O ₃ (вариант 1–6)	630	25
Керамика AlN (вариант 7–12)	630	160

Определите габаритные размеры керамического основания, при которых температура на противоположной стороне керамического основания светодиода будет равна 72 °С в случае, если температура чипа составляет 80 °С, $I = 20$ мА, $U = 3.2$ В, $P_{opt} = 20$ мВт. Пренебрегите наличием конвекции со всех поверхностей материалов, кроме керамической. Считайте, что единственным путем для переноса тепла является последовательно соединенные слои материалов.

3. Определите тепловое сопротивление Au проволоки длиной 1000 мкм, диаметром 38 мкм. Определите температуру источника тепла, соединенного с двумя такими проволоками при потреблении им 0.05 Вт мощности при учете равенства температуры на противоположных концах 100 °С.
4. Составьте отчет к Этапу 1 лабораторной работы. Включите в него результаты расчетов и выводы.

Этап 2. Измерение температуры светодиодного чипа

1. Получите у преподавателя вариант задания, определите характеристики светодиода из Приложений 1, 5. Определите тепловое сопротивление чип – корпус из спецификации.
2. Закрепите в месте контакта вывода светодиода с печатной платой термопару.
3. Установите на источнике питания значение рабочего тока и ограничение по напряжению согласно выписанным в п. 1 Этапа 2 данным. Включите светодиод, включите тестер, обратите внимание на изменение напряжения и температуры на источнике питания и тестере, соответственно. Зафиксируйте установившееся значение температуры (через 10 минут от начала работы устройства).
4. Определите температуру *p-n* перехода.
5. Составьте отчет к Этапу 2 лабораторной работы. Включите в него функциональную схему тестового стенда, функциональные зависимости, используемые в расчетах и результаты.

Этап 3. Подбор радиатора к светодиодному источнику света

1. Получите у преподавателя светодиодный источник света со спецификацией.
2. Рассчитайте параметры радиатора, который необходим данному светодиодному источнику. Выберите модель радиатора из Приложения 6.

Контрольные вопросы и задания

1. Составьте отчет к лабораторной работе. Включите в него результаты расчетов, которые были выполнены на Этапах 1–3. Сделайте выводы.
2. Какие параметры являются критическими при подборе радиатора к светодиодному источнику света?
3. Почему в большинстве случаев материал радиатора выполнен из металла? Что характеризует теплоёмкость материала?
4. Как повышенная и пониженная относительно нормальных условий температура сказываются на характеристиках полупроводникового источника света? Какие характеристики изменяются?
5. Как с течением времени работы светодиода на постоянном токе

изменяется значение падения напряжения? Почему?

Рекомендуемая литература

1. Андерс П. // "Особенности расчета систем отвода тепла". Полупроводниковая светотехника. 2010. №5. С. 54–57
(http://led-e.ru/assets/files/pdf/2010_5_54.pdf).
2. Seri Lee, перевод Савельев А. // "Как выбрать систему охлаждения". Силовая электроника. 2006. №3. С. 96–99
(http://www.power-e.ru/pdf/2006_03_96.pdf).
3. Свитнев С. // "Теплоотвод в светодиодных осветительных системах". Новости электроники+светотехника. 2010. №0 (1). С. 17–20
(http://compeljournal.ru/images/articles/2010_S0_6.pdf).
4. <http://led-e.ru/articles/led-cooling.php>
5. <http://lib.chipdip.ru/181/DOC000181262.pdf>

Лабораторная работа №3. РАСЧЕТ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ ДЛЯ СВЕТОДИОДНОГО МОДУЛЯ

Цель работы: усвоить основные характеристики светодиодных источников света, включая светодиоды, светодиодные модули, системы «чип на плате» и основные характеристики источника питания для светодиодов. Рассчитать характеристики светодиодного источника света и подобрать к нему источник питания.

Основные понятия

Источник питания светодиодного источника света — это электрическая часть светодиодного изделия, за исключением светодиодов, функция которой состоит в обеспечении светодиодного модуля рабочими электрическими сигналами. Другими словами, источник питания для светодиодного источника света, снабжает светодиодный модуль постоянным током заданного номинала. В дальнейшем для удобства, вместо «источник питания для светодиодного источника света», используется «драйвер».

Входной сигнал драйвера — электрический сигнал, который можно подавать на драйвер от источника электрического питания.

Выходной сигнал драйвера — значения характеристик электрической цепи, которые будет «выдавать» драйвер при поступлении на его вход разрешенного диапазона значения входных характеристик.

Основными характеристиками драйвера являются входное напряжение, выходное напряжение, выходной ток, эффективность преобразования, рабочая температура.

Ниже рассмотрены свойства драйвера [1], работающего от сети постоянного тока. Такой драйвер не является самым распространенным, но обладает упрощенной конструкцией.

При отсутствии необходимости регулировки яркости схема включения драйвера с понижающей топологией преобразования следующая: вход управления оставляется неподключенным; одна цепочка последовательно включенных светодиодов подключается на выход драйвера. Так как драйвер — это источник постоянного тока, а не напряжения, то токоограничивающий резистор не нужен. Напряжение на выходе драйвера устанавливается в зависимости от числа светодиодов в цепочке. При необходимости подключить более 8 светодиодов, можно организовать параллельное подключение нескольких последовательных цепочек из светодиодов, но при этом потребуются токоограничивающий резистор в каждой цепочке (рис. 4). Например, чтобы подключить до 9...16 светодиодов с рабочими токами 350 мА, необходимо выбрать драйвер с выходным током 700 мА, и подключить на его выход две последовательные цепочки светодиодов. На выход драйвера с выходным током 1000 мА, можно подключить три такие последовательные цепочки.

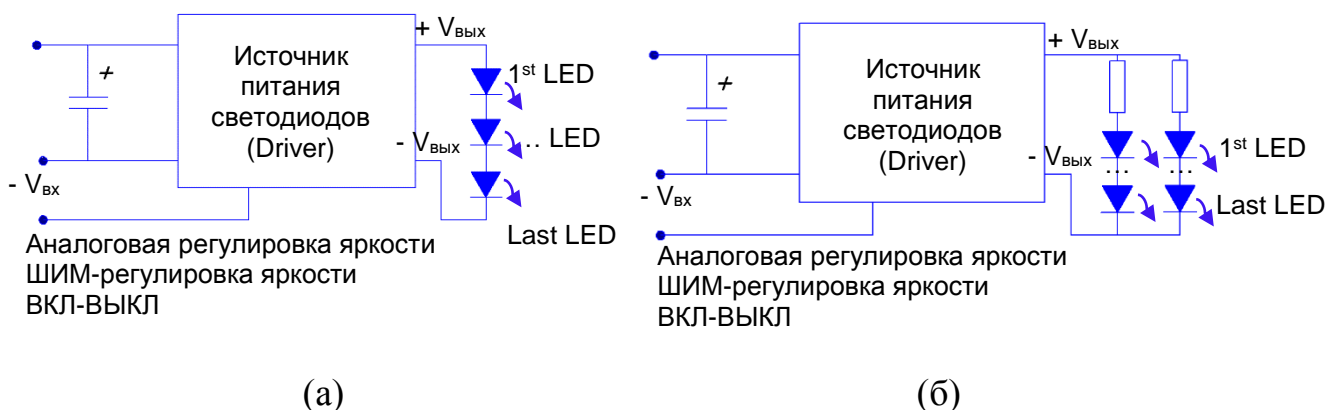


Рис. 4. Схема подключения одной цепочки светодиодов (а) и более 1 цепочки светодиодов к драйверу, питаемому источником постоянного тока (б).

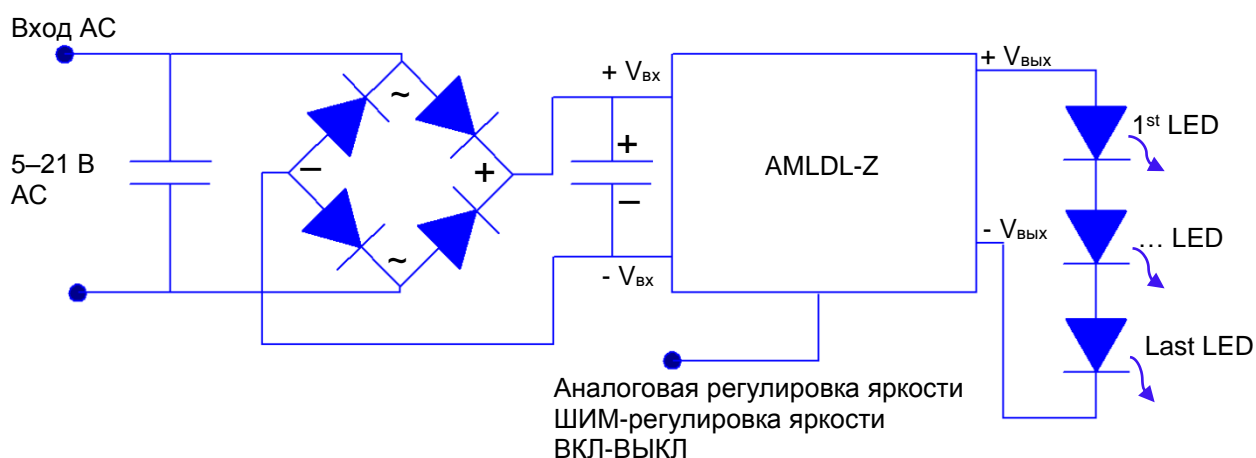


Рис. 5. Подключение драйверов при питании драйвера от источника переменного напряжения.

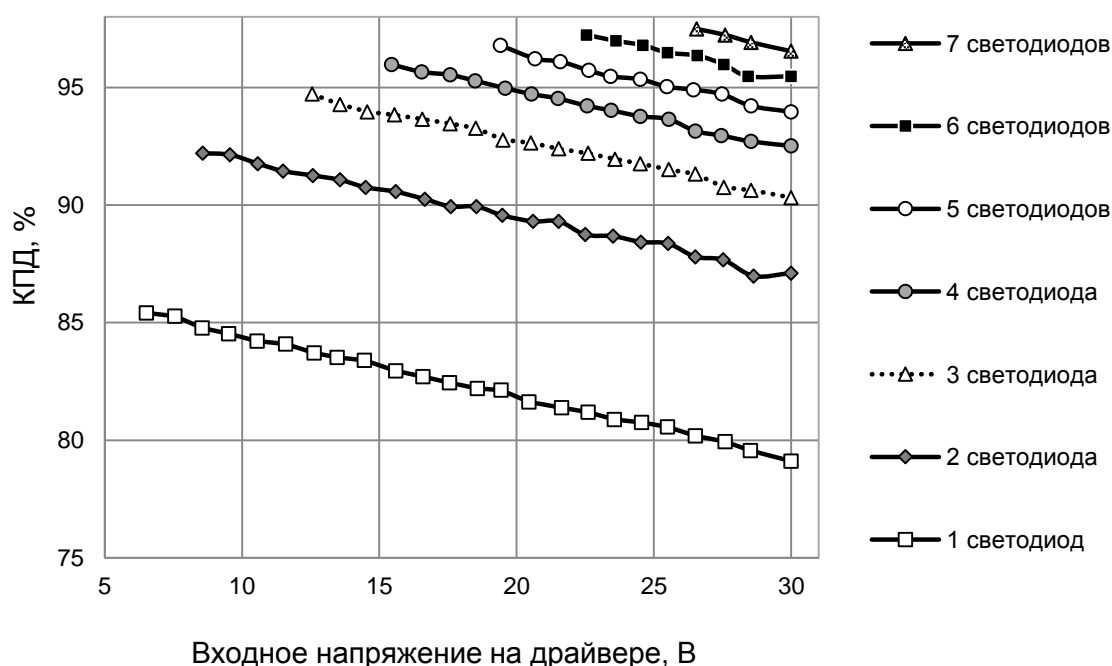


Рис. 6. Коэффициент преобразования электрической энергии в драйвере в зависимости от значения входного напряжения и числа светодиодов.

В случае отсутствия источника питания постоянного тока, можно включить драйверы светодиодов по схеме, представленной на рис. 5, при этом входное напряжение должно быть, как минимум на 2..3 В выше выходного падения напряжения на цепочке последовательно подключённых светодиодов. Величина переменного напряжения определяет используемую модель драйвера.

Для светодиодных драйверов характерна зависимость эффективности работы от падения напряжения на цепочке светодиодов: чем ближе нагрузка на драйвер к допустимой, тем эффективнее его работа (см. рис. 6).

Регулировка яркости свечения светодиодов возможна при наличии у драйвера входа управления. Существует два способа регулировки яркости: аналоговый, путем изменения напряжения на входе управления, и цифровой — с помощью широтно-импульсно модулированного (ШИМ) сигнала на том же входе. В случае аналогового способа, изменение напряжения на входе управления должно быть в пределах 0.3...1.25 В DC для рассматриваемой модели драйвера. Схема включения при использовании для регулировки яркости источника стабильного и нестабильного напряжения приведена на рис. 7. Там же приведена простая формула для расчёта элементов схемы.

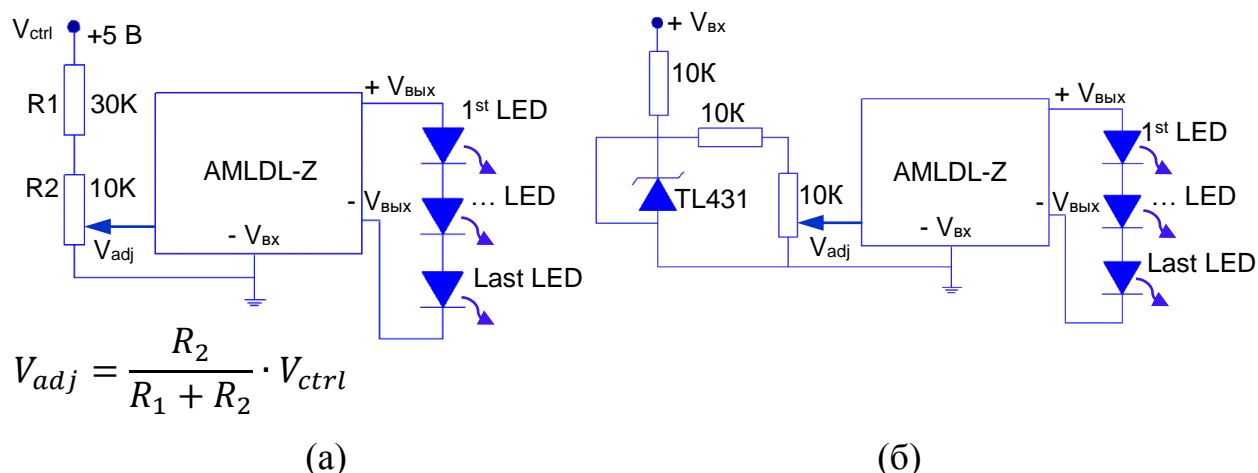


Рис. 7. Схема регулировки яркости при наличии стабильного напряжения управления (а) и нестабильного напряжения управления (б).

Величину выходного тока драйвера в зависимости от величины управляющего напряжения V_{adj} можно рассчитать по формуле:

$$I_{out} = \frac{0.08 \cdot V_{CTRL}}{X}$$

Параметр X для каждой модели драйвера свой (см. Таблицу 3).

Таблица 3. Значения параметра X для моделей драйверов AMLDL-30XXXX.

Модель	Значение параметра X
AMLDL-3030Z	0.327
AMLDL-3035Z	0.280
AMLDL-3050Z	0.197
AMLDL-3060Z	0.165
AMLDL-3070Z	0.139
AMLDL-30100Z	0.095

Зависимость выходного тока драйвера от величины напряжения управления (V_{adj}) имеет практически линейный характер и сходна для всех моделей. В качестве примера на рис. 8 приведена эта зависимость для модели драйвера AMLDL-3035Z. Максимальный выходной ток в этой модели равен 350 мА.

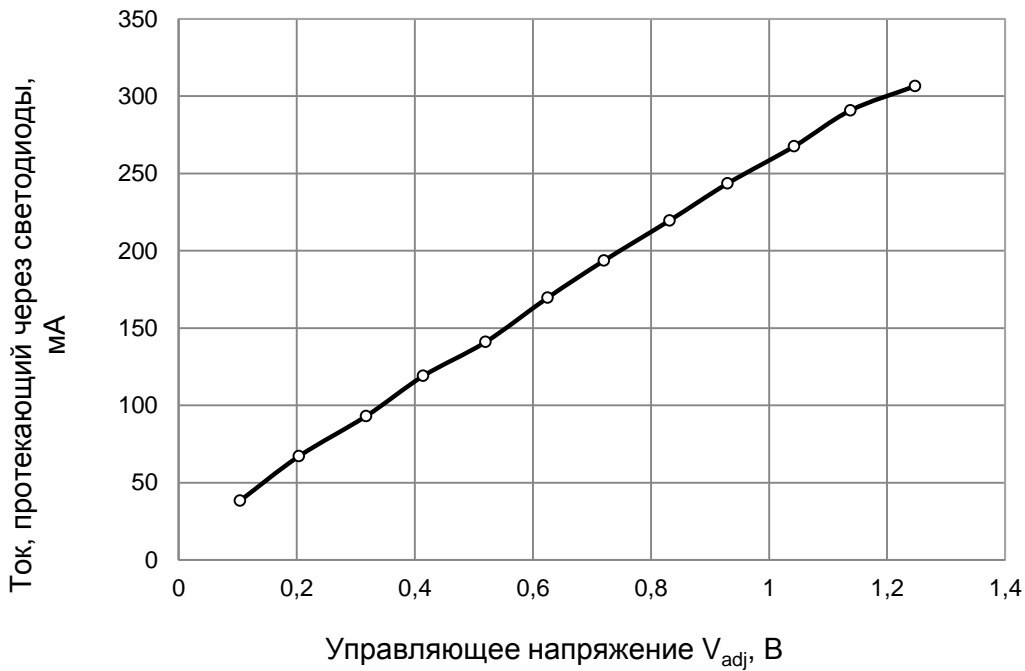


Рис. 8. Зависимость выходного тока драйвера AMLDL-3035Z от управляющего напряжения.

Аналоговый способ регулирования можно осуществить путем использования переменного резистора. В этом случае внешний источник напряжения не требуется. Конденсатор C_{adj} предназначен для снижения воздействия наводок и высокочастотных помех на вход управления. Рекомендуется установить керамический конденсатор с номиналом 0.22 мкФ. Выходной ток драйвера рассчитывается в зависимости от напряжения управления.

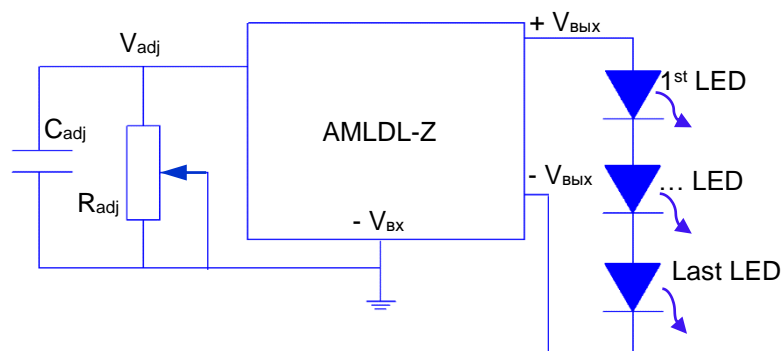


Рис. 9. Схема регулировки яркости при помощи переменного резистора.

Для регулировки выходного тока драйвера ШИМ сигнал управления с длительностью рабочего цикла DPWM можно подать непосредственно на вход управления (рис. 10).

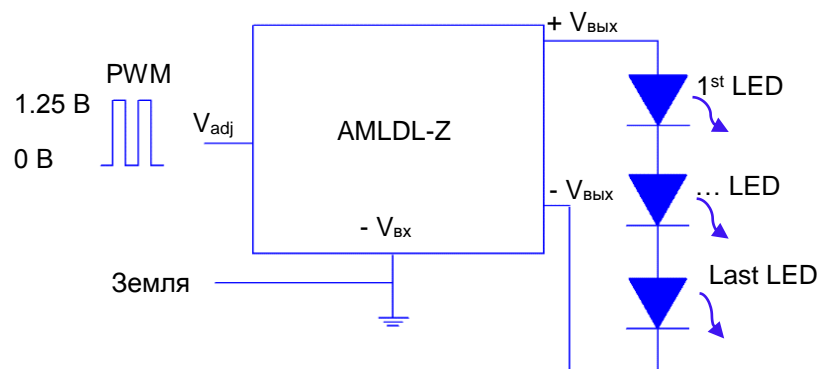


Рис. 10. Схема регулировки яркости светодиодов с помощью ШИМ сигнала.

Возможно управление яркостью светодиодов ШИМ сигналом от выхода с открытым коллектором (или стоком) микроконтроллера, как показано на рис. 11. Резистор 10 кОм и диод необходимы на выходе микроконтроллера для подавления выбросов отрицательной полярности на входе V_{adj} из-за емкости сток-исток (коллектор-эмиттер) полевого (или биполярного) транзистора. Любые выбросы отрицательной полярности будут вносить погрешности и/или нестабильность в выходной ток драйвера.

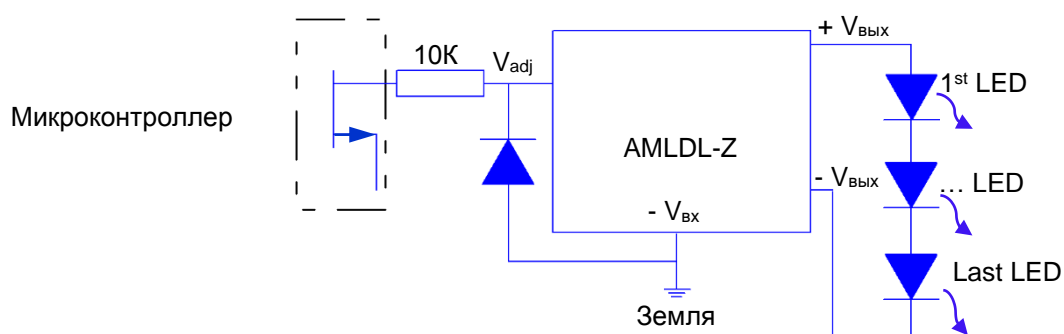


Рис. 11. Управление яркостью светодиодов ШИМ сигналом микроконтроллера.

Драйвер светодиодов, как и любой импульсный преобразователь, создает радиопомехи в сети питания. Чтобы снизить уровень помех до величины соответствующей классу В (EN55022), необходимо установить входной фильтр. На рис. 12 в качестве примера рассмотрен такой фильтр. Так как на входе драйвера стоит конденсатор, то вместе с внешними компонентами получается классический «П-образный» фильтр, который достаточно успешно подавляет импульсные помехи.

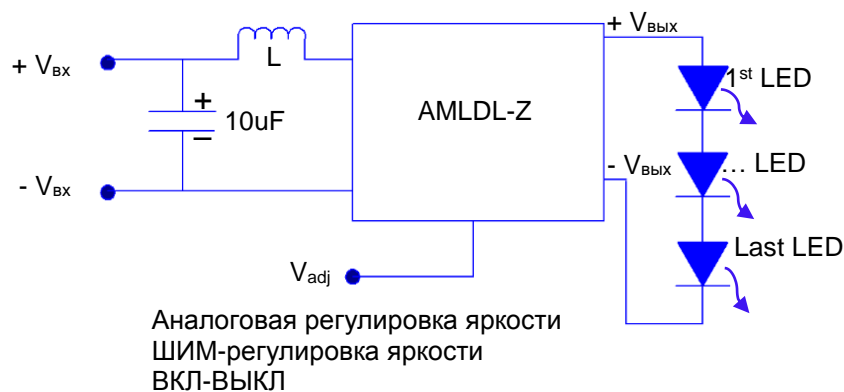


Рис. 12. Схема входного фильтра для снижения уровня помех до класса В (EN55022).

Для того чтобы избежать перегрева светодиодов во время работы, используют термокомпенсацию рабочего тока с выхода драйвера. Она представлена на рис. 13. Для рассматриваемой схемы выбор компонентов термокомпенсирующей обратной связи зависит от номиналов резисторов R2 и R3 и эффективности радиатора светодиодов.

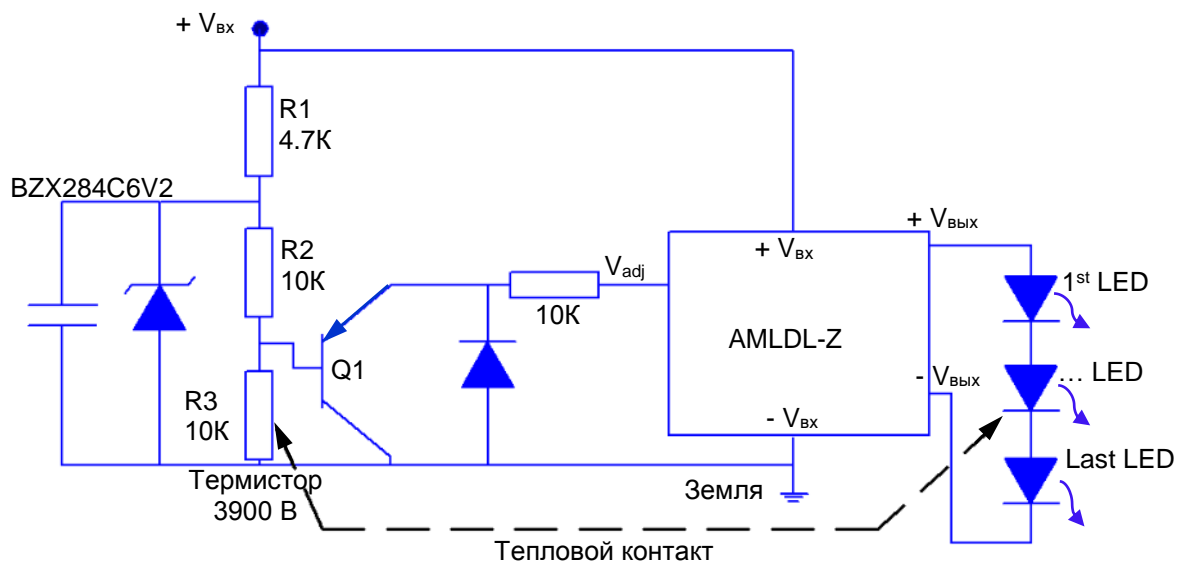


Рис. 13. Схема термокомпенсации тока питания светодиодов.

Значения температуры, при которых будет изменяться величина протекающего тока, устанавливаются регулировкой резистора R2. Предлагаются три температурные пороговые точки: 25, 40 и 60 °С. Необходимо помнить, что ток через светодиоды не будет плавно уменьшаться до нуля — схема регулировки, подающая напряжение управления на вход управления VADJ, обеспечивает пределы изменения выходного тока в диапазоне, примерно 5:1.

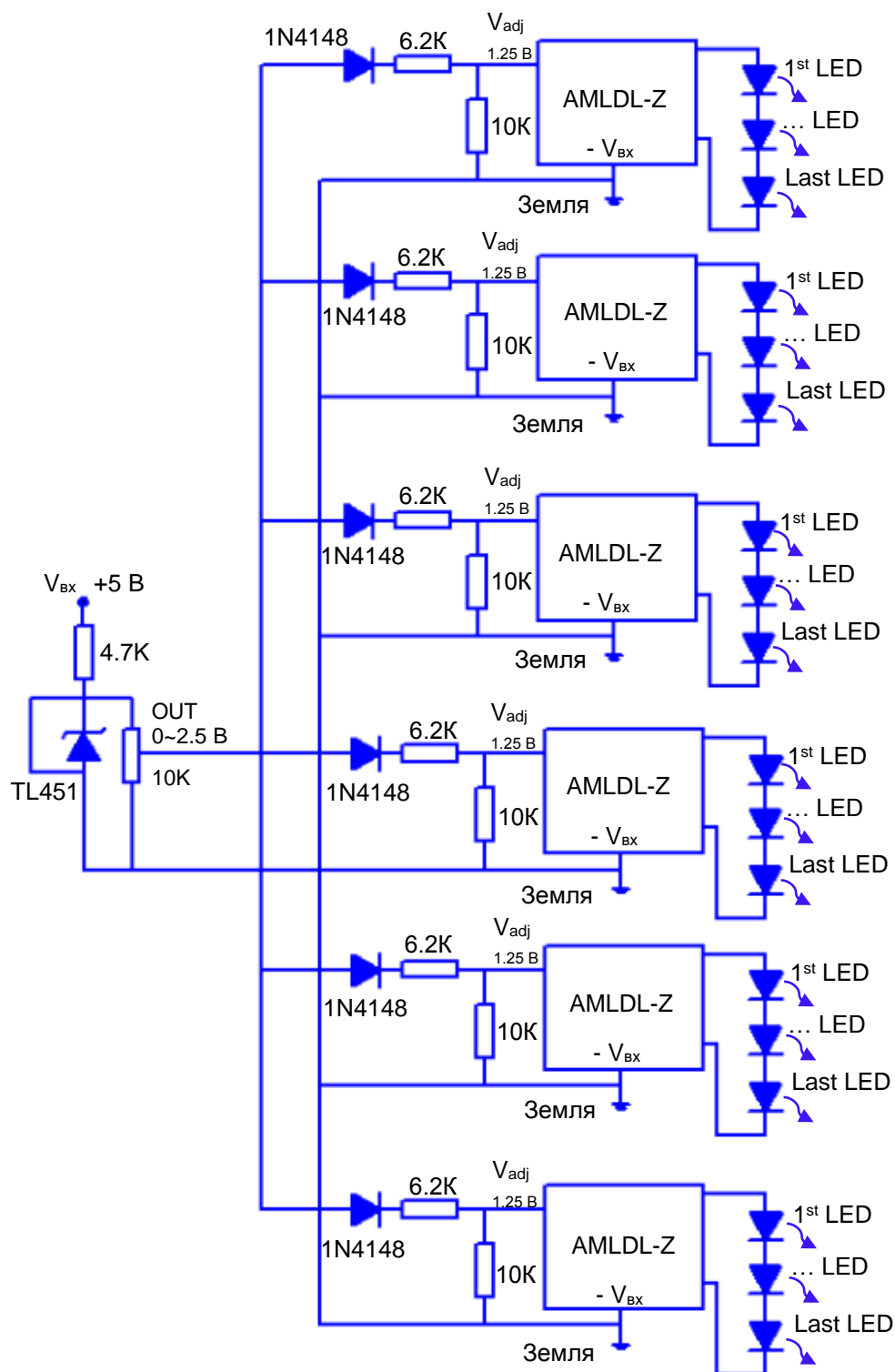


Рис. 14. Параллельное управление несколькими группами светодиодов одновременно.

Как только напряжение управления упадёт ниже порога отключения (примерно 200 мВ), ток через светодиоды станет равным нулю. Крутизна уменьшения выходного тока драйвера зависит от температурного коэффициента сопротивления (ТКС) термистора. Чем больше ТКС, тем выше крутизна изменения выходного тока. Наклон характеристики регулировки тока светодиодов будет также зависеть от изменений

напряжения база–эмиттер транзистора Q1 от окружающей температуры.

При необходимости обеспечения питанием нескольких драйверов от одного источника питания при их параллельном соединении, важно, чтобы каждая группа светодиодов, подключенных к одному драйверу, не имела электрического контакта с другими светодиодами и входным источником питания для того, чтобы избежать повреждения драйверов светодиодов и взаимовлияния групп светодиодов. Кроме того, при питании нескольких драйверов (как и любых DC/DC преобразователей) от одного источника, необходима развязка входа каждого драйвера с помощью малогабаритного дросселя (до 47 мкГн), чтобы устранить взаимное влияние внутренних генераторов драйверов друг на друга. В противном случае, при совпадении частот генераторов драйверов возможно разрушение внутренних компонентов входной цепи драйвера и их выход из строя вследствие резонанса на частоте преобразования.

Проведение лабораторной работы

1. Получите от преподавателя вариант задания.
2. В соответствии с вариантом задания из Приложения 1 определите исследуемый светодиод. Определите основные характеристики светодиода из технической спецификации, представленной в Приложении 5.
3. На основе характеристик светодиода рассчитайте светодиодный модуль, который будет потреблять 900 мА постоянного тока и выдавать световой поток в 1400 лм. Составьте электрическую схему светодиодного модуля и подберите драйвер к данному устройству из таблиц 1, 2 Приложения 8.
4. В соответствии с вариантом задания из Приложения 1 определите исследуемый светодиодный модуль.
5. На основании технического описания светодиодного модуля, приведенного в Приложении 7 и технического описания светодиодов (Приложение 5), на базе которых собран светодиодный модуль, определите электрическую схему соединения светодиодов в светодиодном модуле. Результаты представьте в виде таблицы и схематически. Примите значение потребляемого тока светодиодами OLP-X3528F4A-XXXX, OLP-X3528F2A-XXXX равным 20 мА.
6. На основании технического описания светодиодного модуля, определите параметры драйвера, который необходим данному устройству.
7. Из таблиц 1, 2 Приложения 8 выберите подходящие драйвера, выпишите их технические характеристики, определите из выбранных драйверов наиболее эффективное устройство.
8. Дайте определение всем техническим терминам, входящим в таблицы 1,

2 Приложения 8.

Контрольные вопросы и задания

1. Составьте отчет по лабораторной работе. Включите в него функциональную схему драйвера, схему соединений светодиодов в исследованном светодиодном модуле, ответы на вопросы пп. 1–8.
2. Перечислите основные характеристики драйвера. Каким образом рассчитывается эффективность драйвера?
3. С помощью каких элементов электронной техники в простейшем случае можно заменить драйвер? Назовите виды драйверов.
4. Дайте определение термину «коэффициент мощности драйвера». Объясните зависимости, представлены на рис. 2–4 Приложения 8.

Рекомендуемая литература

1. Дмитриев С. // «Драйверы светодиодов — зачем они нужны?». Мир электронных компонентов. 2010. № 1.
2. <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/2195/doc/48105/>.
3. <http://www.compeljournal.ru/enews/2011/5/5>.

Лабораторная работа №4. СПЕКТР СВЕТОДИОДНОГО ИСТОЧНИКА СВЕТА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНДЕКСА ЦВЕТОПЕРЕДАЧИ

Цель работы: получить навыки по созданию светодиодных источников, обладающих определенными спектральными характеристиками, вычислить основные характеристики светодиодного источника света — коррелированную цветовую температуру, доминантную, пиковую длины волн, FWHM, координаты цветности, CRI.

Основные сведения

Светодиоды характеризуются достаточно узким значением ширины спектра на полувысоте, 10–40 нм, и хотя такой свет не является монохроматичным, он все же воспринимается человеческим глазом как определенный цвет, например, синий, если пиковая длина волны излучения светодиода лежит в области синих цветов, например, 465 нм. На рис. 15 представлены спектры излучения светодиодов различных цветов.

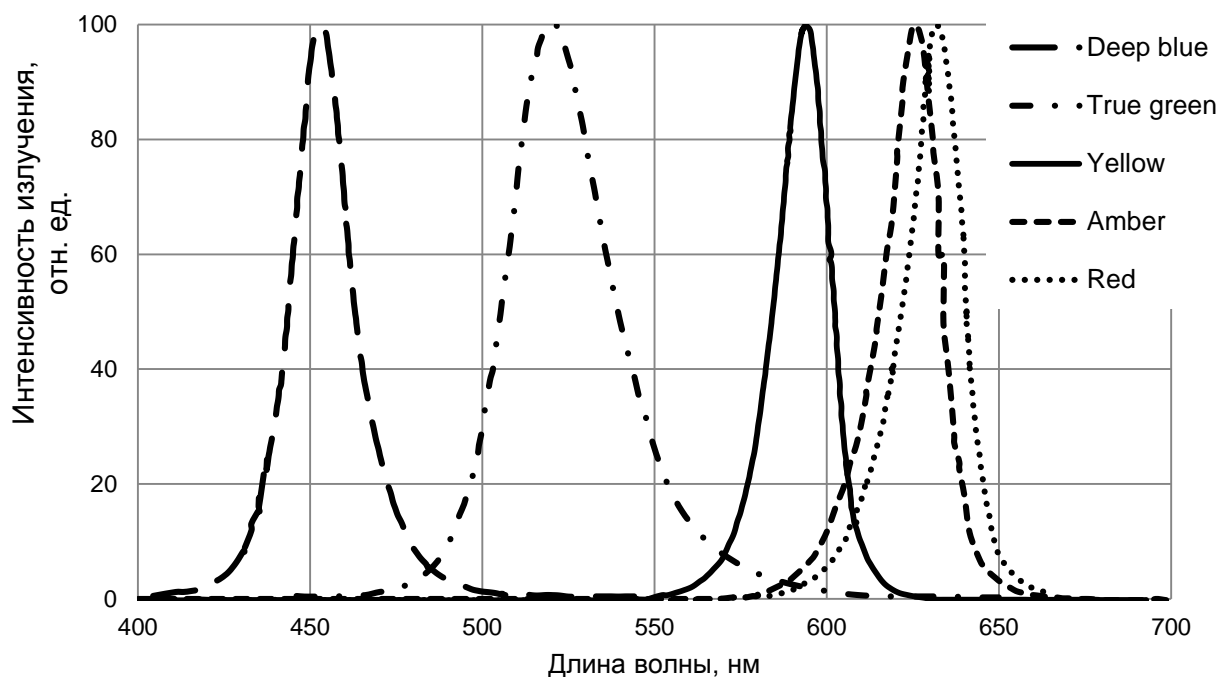


Рис. 15. Спектры излучения чипов разного цвета (названия даны в соответствии с названием компании-производителя Osram).

При соединении спектров излучения источников света за счет метамерии возникает ощущение определённого цвета, отличного от смешиваемых. Эффект субъективного слияния в однородное цветовое качество нескольких световых излучений, имеющих различный спектральный состав, при их попадании на один и тот же участок сетчатки глаза, положен в основу метода аддитивного смешения цветов. Первое научное описание феноменов аддитивного смешения цветов дал И. Ньютон в 1672 году на основании опытов с разложением и сложением световых лучей призмами и линзами. Результаты опытов Исаака Ньютона и последующих исследователей получили обобщенное выражение в форме *законов смешения цветов*. Формальное представление законов смешения цветов в алгебраической форме впервые ввел в 1856 году Грассман. Оно послужило основанием для создания Международной системы спецификации цвета в терминах Стандартного наблюдателя, выпущенной Международной комиссией по освещению (МКО или CIE, Commission Internationale de l'Eclairage) в 1931 г.

На базе именно этой особенности из трех цветов — красного, зелёного, синего, создают источники излучения белого света. Такие системы получили название систем *RGB*.

Для получения белого света в светодиодных источниках зачастую применяется система, содержащая светодиод коротковолнового, в большинстве, синего спектра излучения и люминофор, спектр излучения которого приходится на жёлтую область. Итоговая смесь синего и жёлтого

света воспринимаются человеком как белый свет.

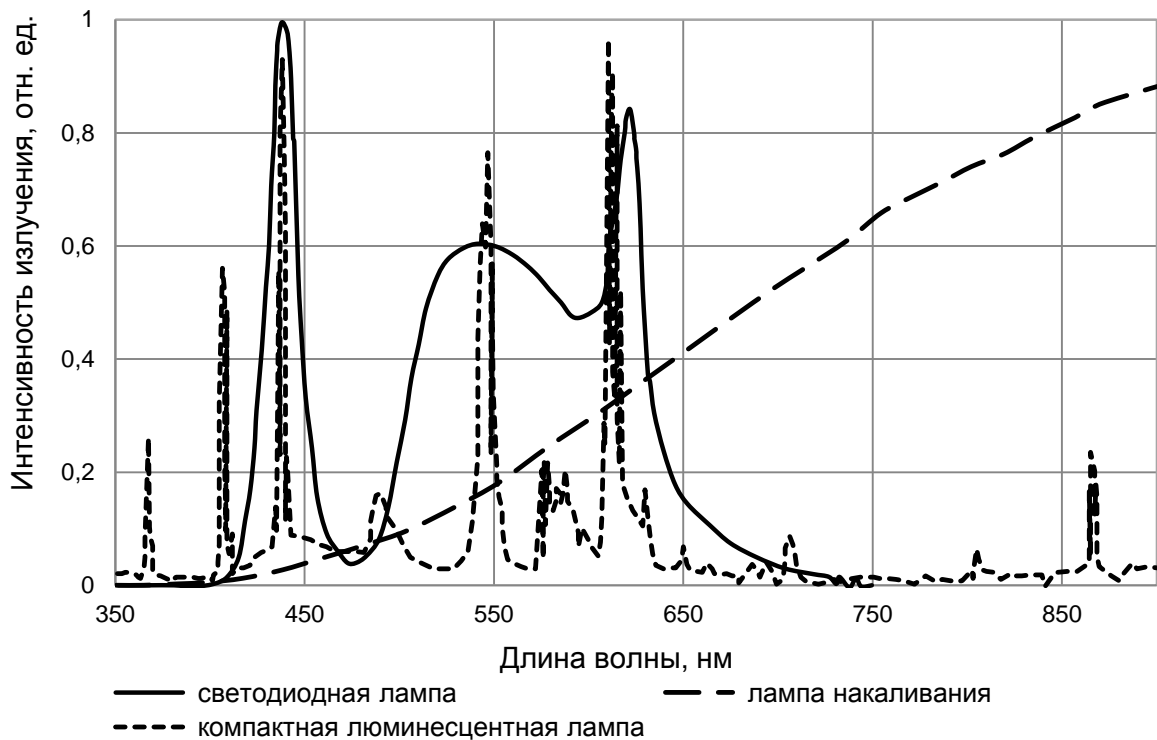


Рис. 16. Спектр излучения лампы накаливания, КФЛ, светодиодной лампы белого света.

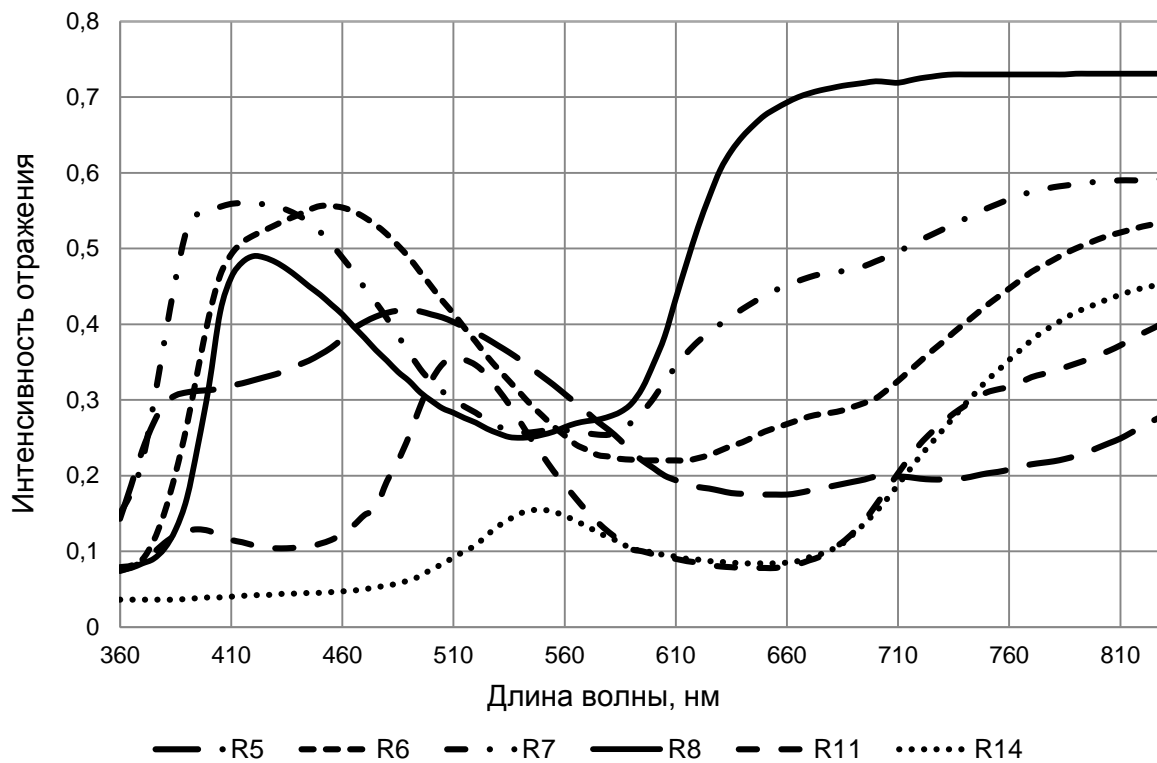


Рис. 17. Спектры отражения контрольных цветов R5, R6, R7, R8, R11, R14.

Получить белый свет можно и смешиванием спектров излучения других источников. Критерием создания такого источника является создание такого спектра, координаты цветности которого будут находиться вблизи точки равной энергии (0.3333, 0.3333) на цветовой диаграмме.

Одним из методов определения качества излучаемого белого света является метод контрольных цветов. Качество цвета определяется на основе индекса цветопередачи (CRI или Ra): чем он выше, тем естественнее цвет облучаемого объекта. Индекс цветопередачи лампы накаливания принят равным максимальному значению 100. На рис. 16 представлены спектры излучения лампы накаливания, люминесцентной и светодиодной ламп.

Метод контрольных цветов полностью соответствует публикации МКО 1974 г. Показателями качества цветопередачи в данном методе служат индексы цветопередачи, определяемые на основе величин цветовых различий, получаемых на стандартных цветных отражающих образцах при переходе от испытываемого источника света к эталонному. Всего выделяют 14 образцов контрольных цветов, из них основными считаются 8: R1 — цвет увядшей розы, R2 — горчичный, R3 — салатный, R4 — светло-зеленый, R5 — бирюзовый, R6 — небесно-голубой, R7 — цвет фиолетовой астры, R8 — сиреневый. Контрольные цвета R9–R14 характеризуются высокой насыщенностью. На рис. 17 приведены некоторые спектры отражения контрольных цветов.

Общий индекс цветопередачи Ra дает усредненную характеристику для 8 образцов средней насыщенности. Специальные индексы цветопередачи Ri характеризуют цветопередачу, соответственно, на цветах большей насыщенности — красном, желтом, зеленом и синем, а также на образцах, воспроизводящих цвет человеческой кожи и зеленой листвы.

Оценка цветопередачи должна производиться по отношению к эталонным источникам света, цветность которых такая же или близкая к цветности исследуемого источника. Разница в цветности Δc между испытываемой лампой (u_k, v_k) и эталонным источником должна быть менее чем $5.4 \cdot 10^{-3}$ и рассчитывается по формуле:

$$\Delta c = \sqrt{(u_k - u_r)^2 + (v_k - v_r)^2},$$

где u_k, u_r, v_k, v_r — координаты равноконтрастного цветового графика публикации МКО 1960 г.

Допуск $\Delta c = 5.4 \cdot 10^{-3}$ для различных цветовых температур примерно соответствует значениям в градусах Кельвина, указанным в таблице 3.

Для источников света с цветовой температурой 5000 К и ниже в качестве эталона используется излучатель Планка, а для источников света с цветовой температурой выше 5000 К — дневной свет, спектральное

распределение которого рассчитывается как функция цветовой температуры.

Во всех случаях для эталонных источников света должно быть известно распределение спектральной плотности энергетической освещенности для интервалов длин волн не более 10 нм по всему диапазону.

Для расчета общего индекса цветопередачи применяется набор из восьми образцов контрольных цветов, рекомендуемых МКО, имеющих определенные спектральные коэффициенты отражения. Их значения даны в таблице Б.5 приложения Б ГОСТ 23198-94. Эти образцы, охватывающие цветовые тона по кругу, являются средними по насыщенности и почти одинаковыми по яркости.

Для специальных целей можно использовать дополнительные образцы контрольных цветов. Данные для этих образцов в обычном случае не включаются в расчет общего индекса цветопередачи.

Расчет индекса цветопередачи проводится следующим образом:

1. По измеренным значениям распределения спектральной плотности энергетической освещенности испытуемого источника рассчитывают его координаты цвета, X_k, Y_k, Z_k , а затем координаты цветности x_k, y_k по формулам:

$$X_k = \sum_{\lambda=380}^{\lambda=800} E_{\lambda,k}(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot \Delta\lambda;$$

$$Y_k = \sum_{\lambda=380}^{\lambda=800} E_{\lambda,k}(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot \Delta\lambda;$$

$$Z_k = \sum_{\lambda=380}^{\lambda=800} E_{\lambda,k}(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot \Delta\lambda,$$

где $E_{\lambda,k}(\lambda)$ — относительное распределение спектральной плотности энергетической освещенности испытуемого источника света;
 $\bar{x}(\lambda), \bar{y}(\lambda), \bar{z}(\lambda)$ — ординаты кривых сложения Публикации МКО 1931 г., приведенные на рис. 18.

Координаты цветности рассчитываются по формулам:

$$x_k = \frac{X_k}{X_k + Y_k + Z_k}; y_k = \frac{Y_k}{X_k + Y_k + Z_k}.$$

На основании полученных значений координат цветности определяется цветовая температура T_c испытуемого источника света по цветовому графику с нанесенными на нём линиями $T_c = \text{const}$. На рис. 19 приведены лишь некоторые линии постоянной температуры.

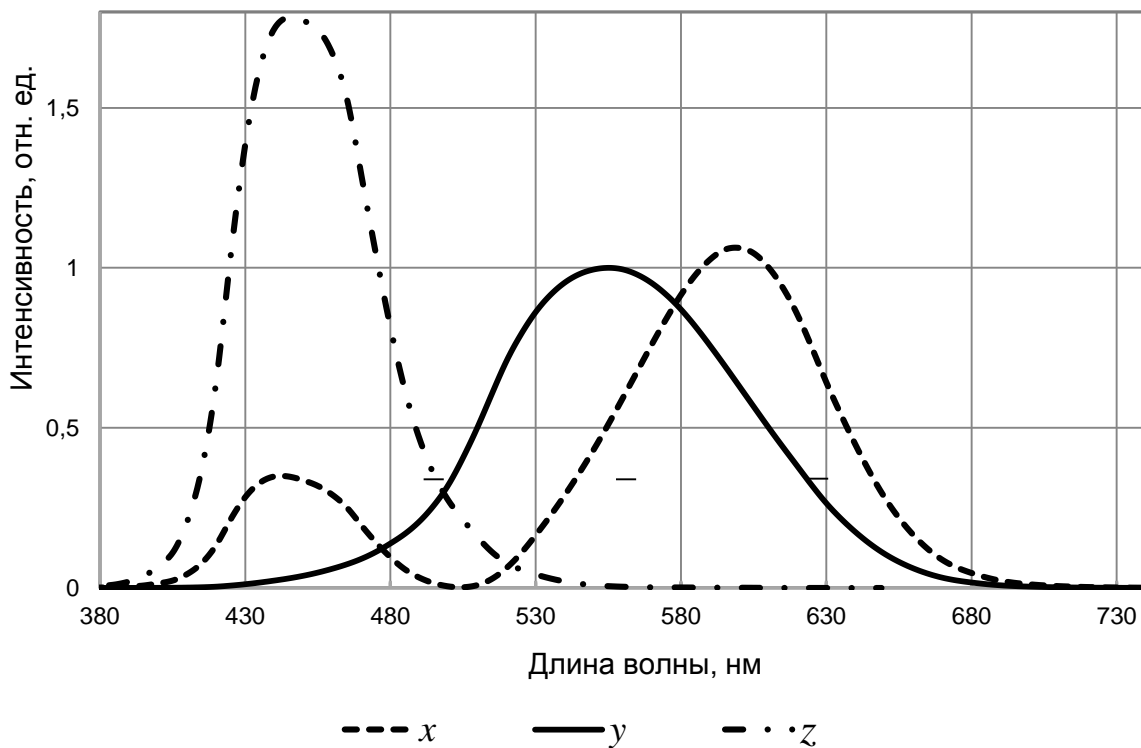


Рис. 18. Функции выравнивания цвета $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ МКО 1931 г. в зависимости от длины волны.

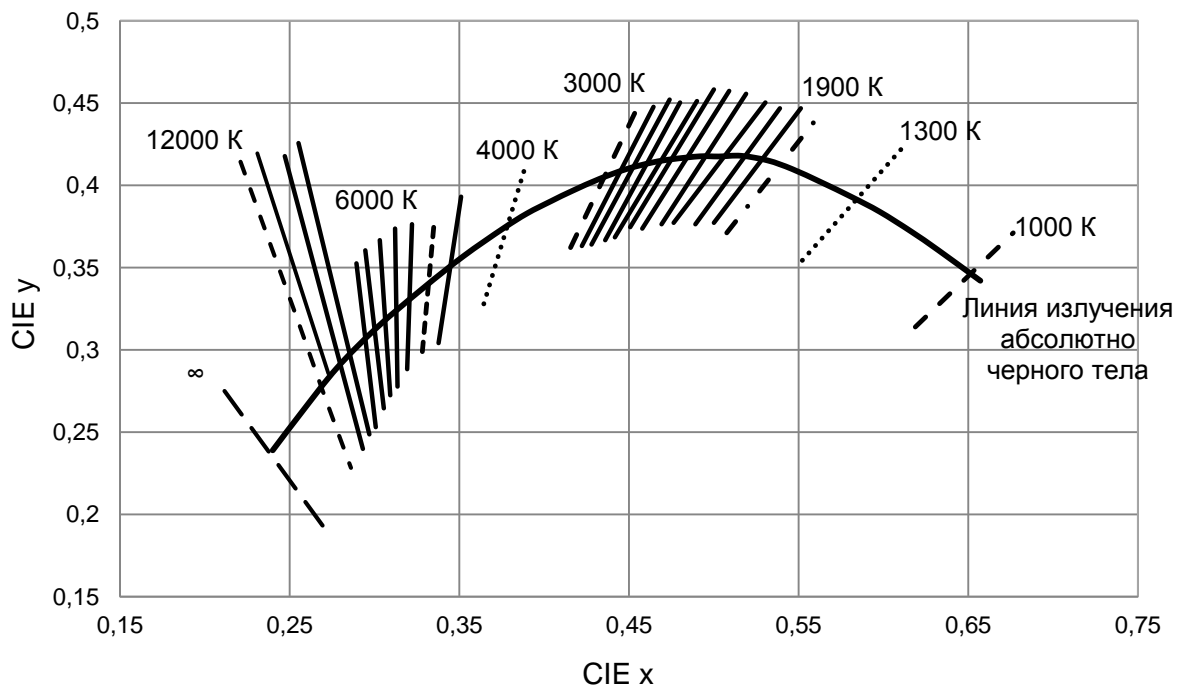


Рис. 19. График для определения цветовой температуры по изотемпературным линиям.

Для получения большей точности T_c испытуемого источника света определяется следующим образом.

Изотемпературные линии, вычерченные на диаграмме цветности (рис. 18), пересекаются примерно в точке, где $x_0 = 0.329$, $y_0 = 0.187$ в диапазоне цветовых температур 2500–8000 К и в точке $x_0 = 0.33$, $y_0 = 0.19$ в диапазоне температур 4000–10000 К. Цветовую температуру испытуемого источника можно найти расчетом A наклона изотемпературной линии, проходящей через точку цветности этого источника по формуле:

$$A = \frac{x - x_0}{y - y_0};$$

$$T_c = 669 \cdot A^4 - 779 \cdot A^3 + 3660 \cdot A^2 - 7047 \cdot A + 5652 .$$

По найденному значению T_c испытуемого источника света выбирается эталонный источник света с допуском по цветовой температуре ΔT не более указанного в Таблице 4.

Рассчитываются координаты цвета X_{ki}, Y_{ki}, Z_{ki} и координаты цветности x_{ki}, y_{ki} контрольных образцов при освещении их испытуемым источником по формулам:

$$X_{ki} = \sum_{\lambda=380}^{\lambda=800} E_{\lambda,k}(\lambda) \cdot \bar{x}(\lambda) \cdot \rho_i(\lambda) \cdot \Delta\lambda;$$

$$Y_{ki} = \sum_{\lambda=380}^{\lambda=800} E_{\lambda,k}(\lambda) \cdot \bar{y}(\lambda) \cdot \rho_i(\lambda) \cdot \Delta\lambda;$$

$$Z_{ki} = \sum_{\lambda=380}^{\lambda=800} E_{\lambda,k}(\lambda) \cdot \bar{z}(\lambda) \cdot \rho_i(\lambda) \cdot \Delta\lambda,$$

$$x_{ki} = \frac{X_{ki}}{X_{ki}+Y_{ki}+Z_{ki}}; y_{ki} = \frac{Y_{ki}}{X_{ki}+Y_{ki}+Z_{ki}},$$

где $\rho_i(\lambda)$ — спектральные коэффициенты отражения i контрольных образцов ($i = 1..14$), приведенные в таблицах ГОСТ 23198-94. Координаты цветности должны быть рассчитаны с точностью до четырех знаков после запятой.

Таблица 4. Допуск цветовой температуры для определения эталонного источника света

T_c , К	ΔT , К	T_c , К	ΔT , К
7000	735	2800	120
6500	635	2600	100
6000	550	2400	86

T_c, K	$\Delta T, K$	T_c, K	$\Delta T, K$
5500	455	2300	79
5000	375	2200	73
4500	300	2100	66
4000	240	2000	60
3500	180	1900	54
3000	140	1800	49

2. Колориметрические данные должны быть далее преобразованы из стандартной колориметрической системы Публикации МКО 1931 г. (X, Y, Z, x, y) в координаты равноконтрастного цветового графика Публикации МКО 1960 г. u, v по следующим формулам:

$$u = \frac{4x}{-2x+12y+3}; v = \frac{6y}{-2x+12y+3}.$$

3. Определяются координаты цветности контрольных образцов u'_{ki}, v'_{ki} после учета адапционного сдвига, полученного при перемещении испытуемого источника к эталонному:

$$u'_{ki} = \frac{10,872 + 0,404 \cdot \frac{c_{ki}}{c_k} \cdot c_r - 4 \cdot \frac{d_{ki}}{d_k} \cdot d_r}{16,518 + 1,481 \cdot \frac{c_{ki}}{c_k} \cdot c_r - \frac{d_{ki}}{d_k} \cdot d_r};$$

$$v'_{ki} = \frac{5,520}{16,518 + 1,481 \cdot \frac{c_{ki}}{c_k} \cdot c_r - \frac{d_{ki}}{d_k} \cdot d_r}.$$

Функции c и d , используемые в этих формулах, рассчитываются следующим образом:

$$c = \frac{1}{v}(4 - u - 10v); d = \frac{1}{v}(1,708v + 0,404 - 1,481u).$$

Значения c_r и d_r приводятся в виде справочных величин в таблице Б.7 приложения Б ГОСТ 23198-94.

4. Далее координаты цветности должны быть преобразованы в координаты равноконтрастного цветового пространства Публикации МКО 1964 г. с применением следующих формул:

$$W_{ri}^* = 25(\bar{Y}_{ri})^{1/3} - 17;$$

$$W_{ki}^* = 25(\bar{Y}_{ki})^{1/3} - 17;$$

$$\begin{aligned}\bar{Y}_{ri} &= \frac{Y_{ri}}{Y_r} 100; \\ \bar{Y}_{ki} &= \frac{Y_{ki}}{Y_k} 100; \\ U_{ri}^* &= 13W_{ri}^*(u_{ri} - u_r); \\ U_{ki}^* &= 13W_{ki}^*(u'_{ki} - u'_k); \\ V_{ri}^* &= 13W_{ri}^*(v_{ri} - v_r); \\ V_{ki}^* &= 13W_{ki}^*(v'_{ki} - v'_k);\end{aligned}$$

Значения $u'_k = u_r$, $v'_k = v_r$ являются координатами цветности испытуемого источника света после учета адаптационного сдвига. Эталонные значения U_{ri}^* , V_{ri}^* , W_{ri}^* , u_r , v_r даны в таблице Б.7 и в таблице Б.8 приложения Б ГОСТ 23198-94.

- Для расчета различия между воспринимаемым цветом контрольного образца, освещенного испытуемым источником света, и цветом того же образца, освещенного эталонным источником, используют формулу цветового различия Публикации МКО 1964 г.:

$$\Delta E_i = \sqrt{(U_{ri}^* - U_{ki}^*)^2 + (V_{ri}^* - V_{ki}^*)^2 + (W_{ri}^* - W_{ki}^*)^2}.$$

- Для каждого контрольного образца рассчитывают специальный индекс цветопередачи (R_i):

$$R_i = 100 - 4,6 \cdot \Delta E_i.$$

- Общий индекс цветопередачи R_a находят как среднее арифметическое восьми значений R_i для контрольных образцов

$$R_a = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 R_i.$$

Результат округляют до ближайшего целого числа.

Именно такой метод реализован в программах по расчету индекса цветопередачи, в том числе и тех, которые входят в программное обеспечение к приборам для измерения оптических характеристик светодиодных устройств.

Данная лабораторная работа проводится в программе разработанной сотрудниками кафедры Светодиодных технологий. Кроме индекса цветопередачи программа выдает значения координат цветности стандартной колориметрической системы публикации МКО 1931 г., координат цветности равноконтрастного цветового графика варианта 1960 г., коррелированную цветовую температуру. Кроме данной функции программа позволяет рассчитывать итоговый спектр светодиода

светильника в зависимости от спектров отдельных светодиодов.

Для получения высокого индекса цветопередачи необходимо создать источник, спектр излучения которого будет равен солнечному.

Светодиодные источники света можно использовать для создания специального спектра, например, спектра поглощения растений, ответственных за определенную стадию их роста. На рис. 20 представлены спектры поглощения растений на этапах синтеза хлорофилла, фотосинтеза, фотоморфогенеза.

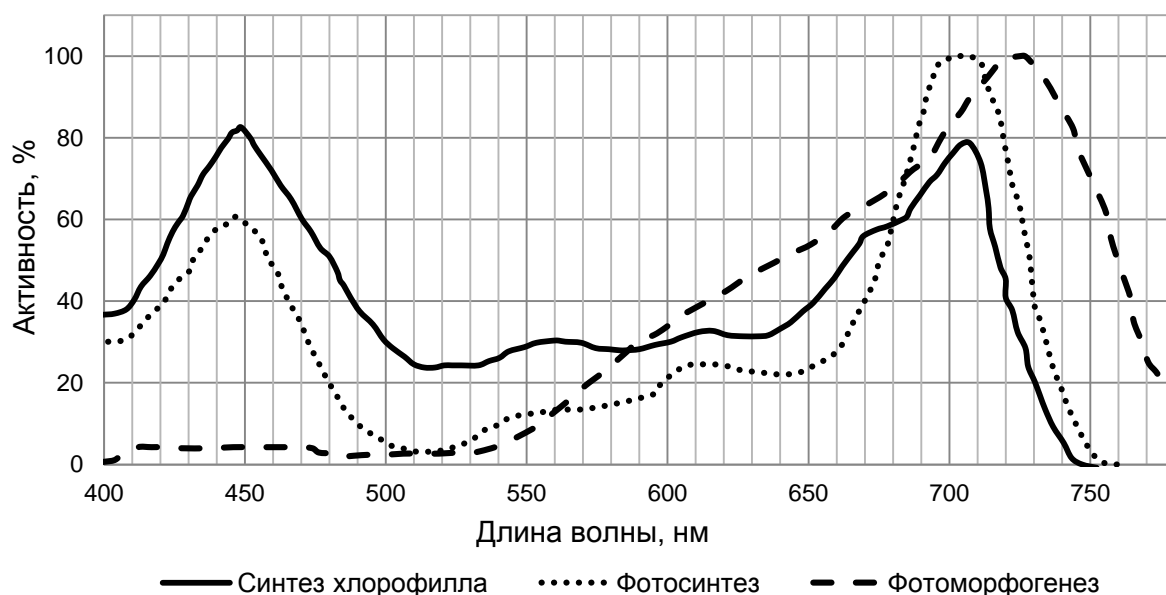


Рис. 20. Спектр поглощения хлорофилла.

Проведение лабораторной работы

1. Получите вариант задания от преподавателя. Из Приложения 1 определите спектр, который Вам нужно создать.
2. Ознакомьтесь с содержанием программы «Расчет цветовых характеристик источника света».
3. Смоделируйте заданный спектр из имеющихся в программе спектров. В случае, если этих спектров не хватает, создайте спектр светодиода с заданной Вами пиковой длиной волны. Сохраните полученный спектр единичного светодиода и основные оптические характеристики.
4. Зафиксируйте характеристики полученного спектра, заполнив таблицу

Координаты цветности испытуемого источника 1931г.		ССТ, К	Температура эталонного источника, К	Координаты цветности испытуемого источника 1960г.		Координаты цветности испытуемого источника 1976г.	
x_k	y_k			u	v	u'	v'
...

Общий индекс цветопередачи	Световой поток, лм	Оптическая мощность, Вт	Электрическая мощность системы, Вт	Световая эффективность, лм/Вт
Ra	<i>Flux, lm</i>	<i>Popt, W</i>	<i>Pel, W</i>	<i>lm/W</i>
...

Скопируйте смоделированный спектр в отчет к лабораторной работе.

5. На основе имеющихся в программе спектров цветных светодиодов, спектры которых представлены на рис. 14, создайте спектр, индекс цветопередачи которого равен 98.

Контрольные вопросы и задания

1. Составьте отчет к лабораторной работе. Включите в него результаты расчетов, используемые спектры.
2. Какой минимальный набор цветов обеспечит белый цвет с CRI > 90?
3. Оцените эффективность источника белого цвета, созданного на базе системы RGB. В каких световых системах оправдано использовать такую систему цветов?
4. Объясните, почему в системах общего освещения используются светодиоды белого цвета, созданные на базе «желтый люминофор – синий чип».
5. Объясните разницу в цветовых координатах МКО 1931 г. и 1976 г. Объясните термин эллипсы Мак Адама. Дайте описание равноконтрастной цветовой диаграмме. Приведите случаи, в которых её используют.

Рекомендуемая литература

1. Шуберт Ф. Е. // Светодиоды. Пер. с англ. под ред. Юновича А. Э. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2008. – 496 с.
2. ГОСТ 23198-94 Лампы электрические. Методы измерения спектральных и цветовых характеристик.

Лабораторная работа №5. ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ ZEMAX. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Цель работы: знакомство с программным пакетом ZEMAX [1], при помощи которого осуществляется численное моделирование оптических систем. Обзор возможностей программного пакета: построение геометрии оптической системы, задание свойств материалов (отражение, поглощение, объемное и поверхностное светорассеяние, светопропускание, коэффициент преломления), моделирование источников света, обработка результатов.

Общие сведения

ZEMAX — это программный пакет, позволяющий моделировать и анализировать оптические системы. Этот пакет использует трассировку лучей по методу Монте-Карло [2], суть метода заключается в отслеживании траектории лучей и расчета взаимодействий с лежащими на траекториях объектами, от момента испускания лучей источником света до момента их поглощения или попадания на детектор.

Порядок постановки задачи можно разбить на несколько этапов:

- 1. Геометрия оптической системы.** Оптическая система состоит из отдельных составляющих, каждая из которых строится отдельно и обладает индивидуальными свойствами. Такими составляющими могут быть геометрические объекты – детали устройства (напр. поверхности корпуса, отражатель, чип, оптический элемент и т.д), источники света (излучающие поверхности, точки или объемы), детекторы.
- 2. Свойства материалов.** Каждый геометрический объект обладает своими оптическими свойствами. Для непрозрачных объектов это свойства поглощения, отражения и поверхностного рассеяния света.

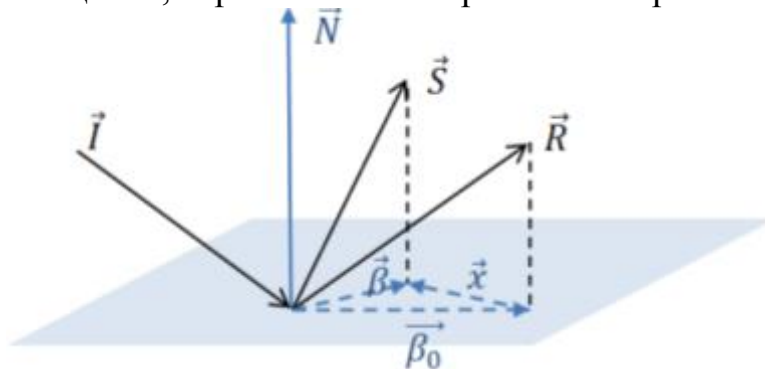


Рис. 21. Схематическое изображение падающего (I), зеркально отраженного (R) и рассеянного (S) луча, относительно нормали к поверхности (N).

Рассеяние света на поверхности характеризуется функцией двунаправленного поверхностного рассеивания (англ. Bi-Directional Scatter Distribution Function (BSDF))

$$BSDF(\theta_i, \varphi_i, \theta_s, \varphi_s) = \frac{dL_s(\theta_s, \varphi_s)}{dE_i(\theta_i, \varphi_i)}$$

Здесь L — яркость, E — освещенность, полярные координаты луча: θ — нормальный угол, φ — азимутальный угол, индексы i и s соответствуют падающему (incident) и рассеянному (scattered) направлению (рис. 21). BSDF может быть так же определена как функция вектора \vec{x} . Так же важным параметром для многих моделей рассеивания является интегральная характеристика Total Integrated Scatter (TIS), которая определяется следующим образом:

$$TIS(\theta_i, \varphi_i) = \iint BSDF(\theta_i, \varphi_i, \theta, \varphi) \cos\theta \sin\theta d\theta d\varphi$$

В ZEMAX есть несколько моделей поверхностного рассеяния света, рассмотрим основные из них:

- Ламбертовское рассеивание (*Lambertian scattering*) — рассеяние света на поверхности происходит по всем направлениям, и не зависит от телесного угла, в пределах которого падает световой поток:

$$BSDF = 1/\pi.$$

Световой поток выходит после такого рассеивателя равномерно распределенным в пределах телесного угла 2π . Примером может служить белая бумага или молочное стекло. Яркость такой поверхности постоянна по всем направлениям и не зависит от направления падающего света, то есть полностью подчиняется закону Ламберта. Кривая распределения силы света таких поверхностей имеет форму окружности.

- Гауссово рассеивание (*Gaussian scattering*) определяется следующим образом:

$$BSDF(\vec{x}) = A e^{-\frac{|\vec{x}|^2}{\sigma^2}},$$

где A — нормировочная константа. Распределение рассеянных лучей осесимметрично в пространстве направляющих косинусов. Безразмерная величина σ определяет ширину Гауссова распределения. Величины σ больше 5.0 приближают это рассеивание к ламбертовскому.

- АВg модель рассеивания определяется следующим образом:

$$BSDF(\vec{x}) = \frac{A}{B + |\vec{x}|^g}.$$

На коэффициенты этой модели накладываются следующие ограничения: $A \geq 0$; $B \geq 10^{-12}$.

Эта модель часто используется для поверхностей с однородной шероховатостью, если характерные размеры шероховатости меньше длины волны падающего света.

Для прозрачных объектов задается интенсивность светопропускания, коэффициент преломления и объемное светорассеяние (bulk scattering).

Интенсивность светопропускания определяется законом Бера:

$$t = e^{-\alpha\tau}.$$

Здесь α — коэффициент поглощения, который зависит от длины волны света, τ — длина пути луча внутри прозрачного материала.

В ZEMAX есть большой каталог различных прозрачных материалов, для которых все оптические свойства уже определены и не требуют дополнительного задания.

Если в материале имеются какие-то частицы или неоднородности, то так же следует задавать объемное светорассеяние. Объемное светорассеяние определяется функцией распределения вероятности P для угла рассеяния θ (угол, на который отклоняется луч после светорассеяния) и свободным пробегом луча до светорассеяния.

Некоторые из предлагаемых моделей объемного рассеяния приведены ниже:

- a. Угловое рассеяние (Angle Scattering). После рассеяния направление луча меняется случайным образом, но лежит в пределах некоторого конуса, угол которого является параметром модели. Вероятность рассеяния по направлению любого угла постоянна:

$$P = 1/2.$$

- b. Полиномиальное рассеяние (Poly bulk scat):

$$P(\theta) = \sum c_i \theta^i.$$

- c. Рассеяние Хеньи—Гринштейна (Henyey-Greenstein). Обычно характеризует рассеяние света на маленьких частицах (например, в тумане):

$$P(\theta) = \frac{1}{4\pi} \frac{1 - g^2}{(1 + g^2 - 2g \cos \theta)^{3/2}},$$

параметр g характеризует распределение, например, если $g = 0$, то рассеяние на всех углах равновероятное, при приближении g к единице, распределение имеет высокий пик в окрестности $\theta = 0$.

- d. Рассеяние Рэлея (Rayleigh). Характеризует рассеяние на частицах, размер которых сильно меньше длины волны света и средняя длина пробега луча до светорассеяния пропорциональна длине волны света ($\sim \lambda^4$):

$$P(\theta, \lambda) = 0.375 \frac{1 + \cos^2 \theta}{\lambda^4}.$$

3. **Источники света.** Возможны различные варианты источников света: точечные, плоские, объемные. Для каждого источника требуется задать количество лучей, длину волны испускаемого света и энергию лучей (или световой поток), для некоторых источников (например, прямоугольный источник) задается так же распределение энергии в зависимости от угла наклона луча.

4. Детекторы. Для обработки полученных результатов, перед запуском расчетов необходимо так же создать детекторы – поверхности, на которых будет фиксироваться информация о лучах, которые на нее попадают. Например, детекторы могут быть плоские или в виде сферы, включающей в себя всю оптическую систему.

После постановки задачи следует указать параметры расчета, такие как количество возможных пересечений и столкновений лучей с объектами, минимальная учитываемая мощность луча и т.д. (*system-general-Non Sequential*). Затем запускается расчет, после чего следует обработка результатов. По результатам расчета можно провести анализ световых или энергетических потерь в оптической системе, вклады в эти потери отдельных объектов системы, возможно построение диаграммы направленности осветительного прибора.

Проведение лабораторной работы

Лабораторная работа проводится в программном комплексе ZEMAX. В процессе выполнения работы происходит знакомство с интерфейсом программы, построение простых геометрических объектов (линза) и задание их оптических свойств (коэффициент преломления, светопропускание), построение простого источника света (прямоугольный источник), построение детектора.

Этап 1. Знакомство с интерфейсом ZEMAX. Построение простых геометрических объектов

1. Запустите программу Zemax. Для моделирования светодиодных устройств используйте непоследовательную трассировку лучей (*FILE - Non-Sequential mode*). При запуске откроется окно непоследовательных компонентов (*non-sequential component editor*), которое будет содержать в себе все компоненты оптической системы (геометрические объекты, источники, детекторы) и их геометрические и физические параметры.
2. Создайте новый объект: после двойного щелчка по «Null object» откроется окно «object 1 properties» (рис. 22). В этом окне выберете тип нового объекта – линза. В списке представлены основные типы геометрических объектов, источников и детекторов.
3. Аналогичным образом создайте прямоугольный источник (*Source Rectangle*) и плоский детектор (*Detector Rectangle object*). Таким образом, мы заполнили окно компонентов тремя объектами (рис. 23).
4. Задайте геометрические характеристики (для линзы – радиусы кривизны и толщину, для прямоугольного детектора и источника – ширину и высоту) и расположите их в пространстве относительно друг друга, путем заданием параметров в окне «non-sequential component editor». Так же следует задать энергетические характеристики источника и количество лучей для расчета.

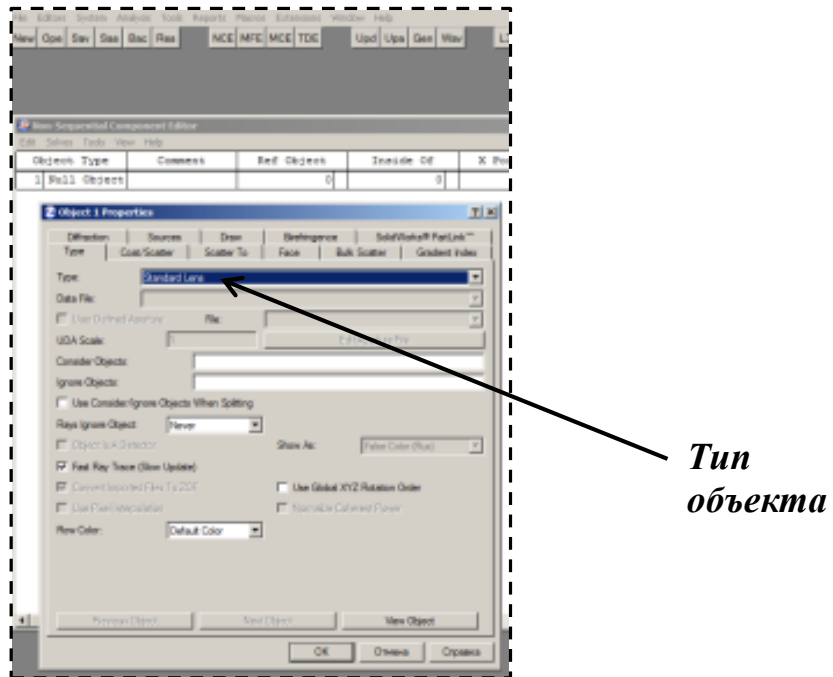


Рис. 22. Окно «object 1 properties».

Non-Sequential Component Editor				
Edit Solves Tools View Help				
Object	Type	Comment	Ref Object	Inside Of
1	Standard ..		0	0
2	Source Re..		0	0
3	Detector ..		0	0

Рис. 23. Окно «non-sequential component editor».

5. Чтобы визуально оценить всю систему в верхнем меню нажмите «L3n» или «LSn» и откройте окно «NSC 3D layout» или, соответственно, «NSC shaded model» (рис. 24).

Для примера, зададим для линзы следующие размеры и расположение: радиус кривизны второй поверхности Radius 2 – -5 мм, толщина линзы Thickness – 0.2 мм, расположение по оси Z – 2 мм. Для источника: размеры – 0.2 мм на 0.2 мм и количество лучей – 100, мощность – 1 Вт. Для детектора: расположение по оси Z – 5 мм, 1000*1000 пикселей.

Чтобы задать материал линзы выберем какой-нибудь каталог зеркал во вкладке «Gla» в верхнем меню. Затем в окне «non-sequential component editor» установим материал для линзы, допустим, это будет каталог «SCHOTT» и стекло K4.

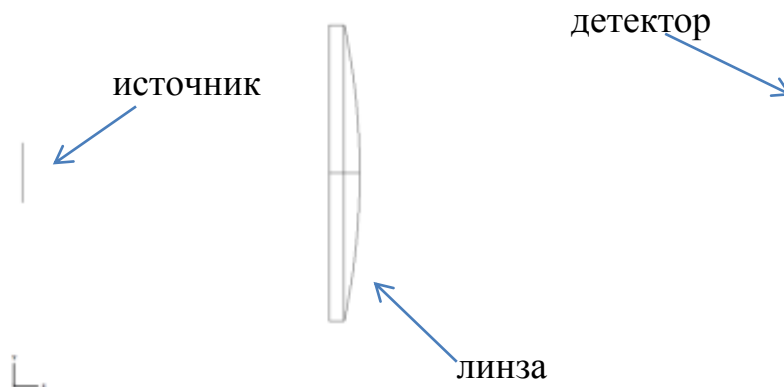


Рис. 24. Схема оптической системы.

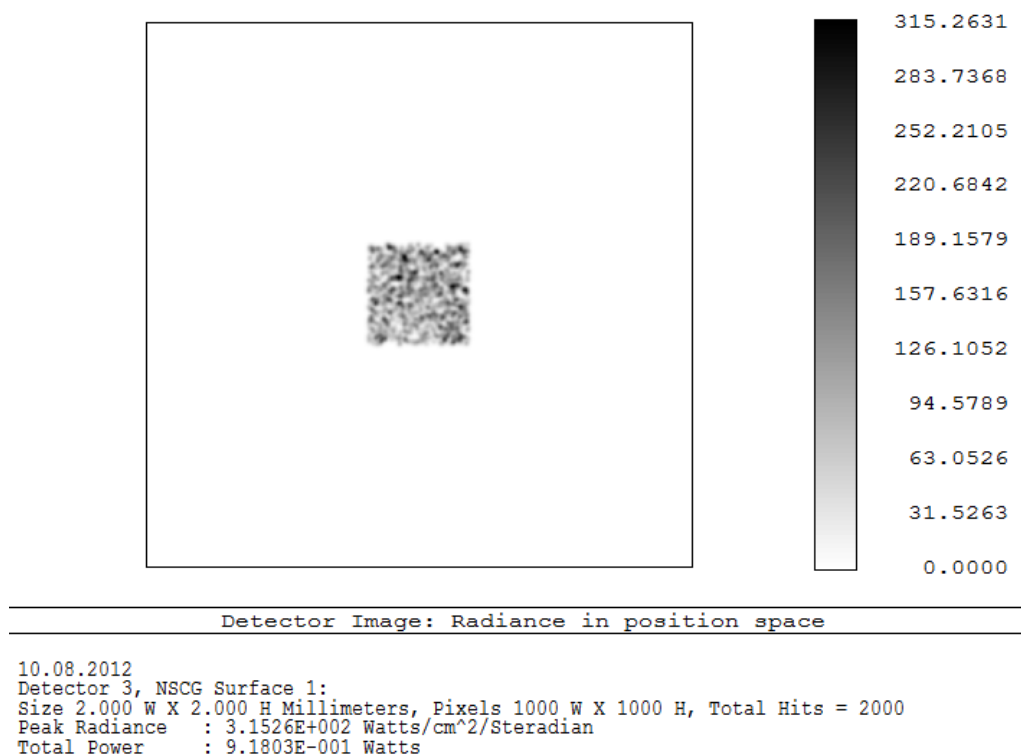


Рис. 25. Показания детектора.

Этап 2. Проведение расчета и анализ результатов

1. После постановки задачи (построения геометрии, источников и детекторов) укажите параметры расчета, такие как максимальная учитываемая мощность луча, количество возможных пересечений и столкновений луча с объектами и пр. Все это задается в меню System-General вкладка non-sequential. Когда параметры установлены, откройте окно запуска расчета «Rtc», в нем укажите так же параметры расчета – учет рассеивания, поляризации и разделения лучей.

2. Запустите расчет.

3. Для анализа результатов откройте показания детектора «Dvr».

Из анализа Total Power видно, что на детектор попала не вся энергия источника, а только $\approx 92\%$ (рис. 25).

Контрольные вопросы и задания

1. Какой численный метод использует программа ZEMAX?
2. Какие оптические свойства требуется задавать для прозрачных и непрозрачных материалов?
3. Как моделируется поверхностное рассеяние света на поверхностях?
4. Каким образом можно провести моделирование наличия частиц люминофора в прозрачном материале?
5. Напишите отчет к лабораторной работе. Отчет должен содержать:
 - а) Постановку задачи: геометрия оптической системы, свойства материалов, свойства источников;
 - б) Постановку расчета: количество расчетных лучей, количество возможных пересечений и столкновений лучей с объектами, минимальная учитываемая мощность луча;
 - в) Анализ результатов: показания детектора;
 - г). Выводы: причины, по которым на детектор попала не вся энергия источника.

Рекомендуемая литература

1. Zemax User's Manual. January 2012. P. 835.
2. Szirmay-Kalos L. // Monte-Carlo methods in global illumination. Institute of Computer Graphics. University of Technology. 2000. P. 118.
3. Ландсберг Г. С. // Оптика. ФИЗМАТЛИТ. 2003. С. 848.

Лабораторная работа №6. ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ ZEMAX. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОРПУСИРОВАННОГО СВЕТОДИОДНОГО ЧИПА

Цель работы: расчет вывода света из простейшей модели корпусированного светодиодного чипа с помощью программного комплекса ZEMAX [1]. Исследование энергетических потерь, сравнение диаграмм направленности двух разных оптических светодиодных систем.

Общие сведения

При моделировании светодиодных осветительных приборов ключевыми моментами является анализ энергетических потерь и анализ диаграммы направленности.

Причины потерь энергии в оптической системе могут быть следующие: поглощение света поверхностями объектов, объемное поглощение в прозрачных материалах, френелевские потери, т.е. частичное отражение света при прохождении границы между двумя прозрачными средами (из 1 в 2). Доля этого отражения определяется по формуле $100\% \cdot \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2}$, где n_1 и n_2 коэффициенты преломления сред [2].

Диаграмма направленности характеризует пространственное распределение силы света.

Проведение лабораторной работы

Этап 1. Построение геометрии оптической системы

В качестве исследуемых объектов возьмем два корпусированных светодиода. Светодиод представляет собой синий светодиодный чип, расположенный на «дне» светоотражающего корпуса и покрытый прозрачным герметизирующим веществом. Для первого светодиода поверхность герметизирующего вещества является плоской, для второго – на поверхности герметизирующего вещества расположена выпуклая сферическая линза (рис. 26).

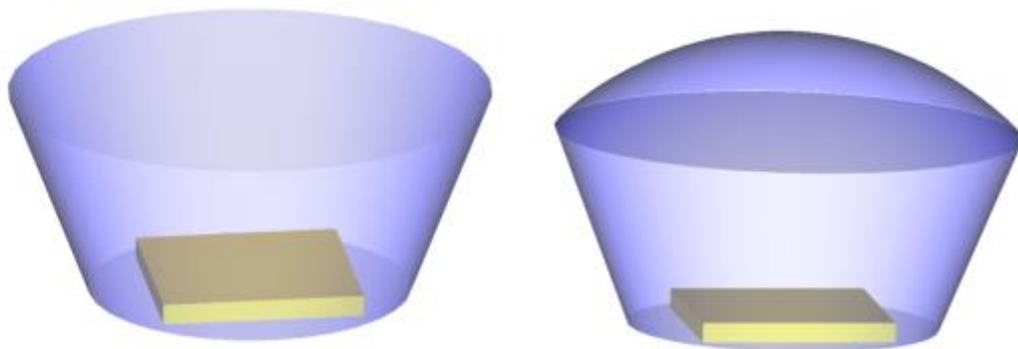


Рис. 26. Схема двух рассчитываемых светодиодов.



Рис. 27. Геометрические характеристики объектов оптической системы

Размеры и расположение объектов оптической системы изображено на рис. 2.76. Оптическая система состоит из следующих объектов: Elliptical Volume, Standart lens, Source Volume Rectangle. Помимо этого, для дальнейшей обработки результатов требуется создать детектор типа Detector Polar – объемный детектор в виде сферы с радиусом, достаточным

для того, что бы вместить всю оптическую систему.

Этап 2. Задание оптических свойств объектов и свойств источника

Объект Elliptical Volume является светоотражающим корпусом, заполненным герметизирующим покрытием. Что бы смоделировать этот объект, зададим материал объекта SILICA (каталог MISC) [3], а на боковую поверхность и «дно» нанесем отражающее покрытие, которое отражает все лучи зеркально и поглощает 5% падающей энергии. Для линзы Standart lens зададим материал PMMA [3].

Источник представляет собой параллелепипед, объем которого испускает лучи одинаковой интенсивности по всем направлениям. Количество лучей для расчета – 10^6 , мощность – 1Вт, длина волны – 0.45 мм.

Этап 3. Проведение расчёта и анализ результатов

Расчет проводится с учётом рассеивания, отражения, преломления и поляризации лучей. После расчёта строится диаграмма направленности для двух случаев и проводится оценка энергетических потерь.

Контрольные вопросы и задания:

1. Анализ каких параметров следует проводить после расчета оптической системы?
2. Каковы возможные причины энергетических потерь в оптических системах?
3. Напишите отчет к лабораторной работе. Отчет должен содержать:
 - а) постановку задачи: геометрия оптической системы, свойства материалов, свойства источников;
 - б) постановку расчета: количество расчетных лучей, количество возможных пересечений и столкновений лучей с объектами, минимальная учитываемая мощность луча;
 - в) анализ результатов: сравнение диаграмм направленности, сравнение энергетических потерь;
 - г) выводы: причины энергетических потерь, объяснение различий в диаграммах направленности и их особенностей.

Рекомендуемая литература

1. Zemax User's Manual, January, 2012, 835 p.
2. Ландсберг Г. С., Оптика // ФИЗМАТЛИТ, 2003. - 848 с.
3. Bass M., et al. (eds.) OSA, Handbook of Optics Vol. II // CRC Press LLC, 2003.

Приложение 1
Варианты заданий

Таблица 1. Варианты заданий

Вариант задания	Модель чипа	Модель светодиода
1	ОНТ- Н 102300х-JD	OLP-D5050F6C-50D6
2	ОНТ- х454510х-MB	OLP-N5050F6C-40A1
3	ОНТ- В 171700х-GC	OLP-W5050F6C-30B2
4	ОНТ- D 102300х-CC	OLP-C5050F6C-65E5
5	ОНТ- В 171700х-EC	OLP-D5050F6C-50C3
6	ОНТ- х454510х-LA	OLP-D5050F6C-50F7
7	ОНТ- В 102300х-FB	OLP-N5050F6C-40C1
8	ОНТ- D 171700х-AB	OLP-W5050F6C-30A2
9	ОНТ- В 102300х-EA	OLP-C5050F6C-65E3
10	ОНТ- Н 171700х-IA	OLP-D5050F6C-50B3
11	ОНТ- х454510х-MD	OLP-N5050F6C-40D2
12	ОНТ- В 102300х-EE	OLP-W5050F6C-30C4
Вариант задания	Модель светодиодного модуля	Спектр излучения
1	OMA-X100H86-XXFB	Синтез хлорофилла
2		Фотосинтез
3		Фотоморфогенез
4		CRI = 80
5	OMA-X100H87-XXFA	CRI = 85
6		CRI = 95
7		Спектр контрольного цвета R5
8		Спектр контрольного цвета R6
9	OMA-X252R186-XXFX	Спектр контрольного цвета R7
10		Спектр контрольного цвета R8
11		Спектр контрольного цвета R11
12		Спектр контрольного цвета R14

Приложение 2

Спецификации на светодиодные чипы

Внешний вид и характерные размеры светодиодных чипов

Структура, то есть последовательность слоев светодиодных чипов, выращенных на сапфире, представлен на рис. 1. В Таблице 1 представлены геометрии контактных площадок к *p*- и *n*- областям и характерные параметры светодиодных чипов моделей:

- ОНТ- X 102300х-хх
- ОНТ- X 171700х-хх
- ОНТ- х454510х-хх.

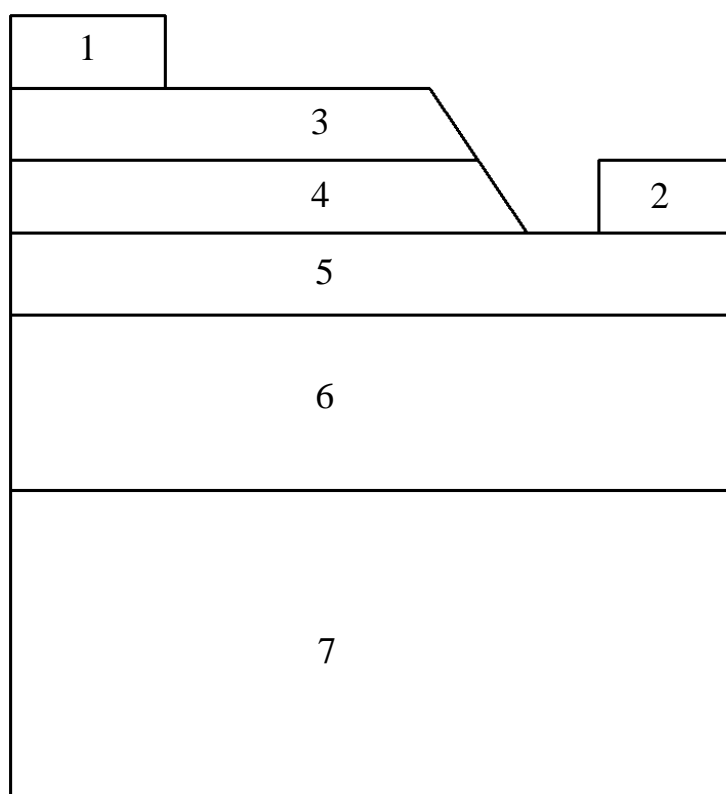


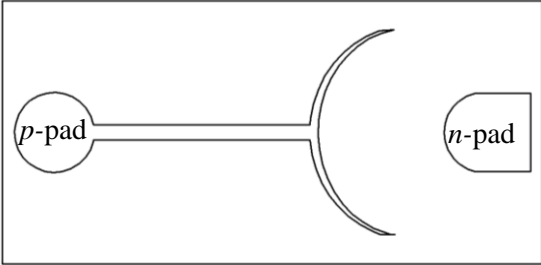
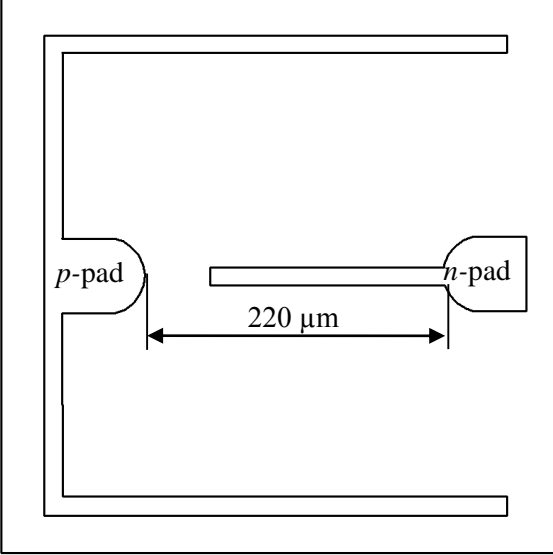
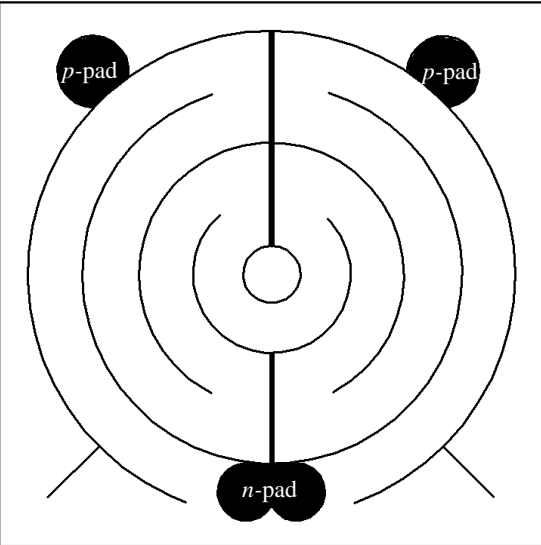
Рис. 1. Структура чипов GaN, выращенных на сапфире. Вид сбоку.

На рисунке обозначены:

1. Anode
2. Cathode
3. *p*-GaN
4. InGaN EPAC active region
5. *n*-GaN cladding/contact layers
6. ULD GaN buffer layers
7. Sapphire substrate

Приложение 2
Спецификации на светодиодные чипы
Продолжение

Таблица 1. Вид сверху светодиодных чипов моделей ОНТ- X 102300х-хх, ОНТ- X 171700х-хх, ОНТ- х454510х-хх и характерные параметры.

<p style="text-align: center;">ОНТ- X 102300х-хх</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chip size: $240 \pm 10 \times 560 \pm 10 \mu\text{m}^2$ (10×23 mil²) ▪ Effective chip size: $220 \times 540 \mu\text{m}^2$ ▪ Light emitting area: 0.1 mm^2 ▪ Bonding pad linear size: $70 \pm 5 \mu\text{m}$ ▪ Chip thickness: $90 \pm 10 \mu\text{m}$
<p style="text-align: center;">ОНТ- X 171700х-хх</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chip size: $430 \pm 10 \times 430 \pm 10 \mu\text{m}^2$ (17×17 mil²) ▪ Effective chip size: $390 \times 390 \mu\text{m}^2$ ▪ Light emitting area: 0.1 mm^2 ▪ Bonding pad linear size: $70 \pm 5 \mu\text{m}$ ▪ Chip thickness: $90 \pm 10 \mu\text{m}$
<p style="text-align: center;">ОНТ- х454510х-хх</p> 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chip size: $1150 \pm 25 \times 1150 \pm 25 \mu\text{m}^2$ (45×45 mil²) ▪ <i>p</i>-bonding pad linear size: $100 \pm 10 \mu\text{m}$ ▪ <i>n</i>-bonding pad linear size: $2 \times (110 \pm 10) \mu\text{m}$ ▪ Chip thickness: $150 \pm 10 \mu\text{m}$

Код светодиодного чипа

Каждый производитель светодиодных чипов и светодиодов по своему усмотрению вводит информацию о характеристиках продукта и в каждой спецификации указывается обозначение той или иной позиции в коде. В любом случае код содержит информацию о производителе, часто типе и размере чипов, бин по длине волны, бин по силе света или по мощности излучения, или по световому потоку, бин по напряжению.

Для примера рассмотрим следующий код, характеризующий светодиодные чипы компании Оптоган.

ОНТ- D 171700х-хх

1 2 3 4 5

- 1 — обозначение компании-производителя, в данном случае, компании Оптоган;
- 2 — бин по длине волны;
- 3 — размер сторон чипа в mil;
- 4 — позиции, оставленные производителем для введения новых бинов, например, по типу чипа — латеральный или вертикальный;
- 5 — бин по мощности излучения и длины волны.

Бининг по мощности излучения и доминантной длине волны

В Таблицах 2–8 представлены кодовые обозначения светодиодных чипов. Под таблицей указан диапазон мощности излучения, слева от таблицы — диапазон доминантных длин волн.

Рассмотрим в качестве примера
код светодиодного чипа **ОНТ- В 102300х-ГС**.

Данный код означает, что:

- чип произведен компанией Оптоган,
- имеет размер 10×23 mil,
- обладает доминантной длиной волны в диапазоне 445.0–447.5 нм,
- и значением мощности излучения 25–30 мВт.

Приложение 2
Спецификации на светодиодные чипы
Продолжение

Таблица 2.

ОНТ- D 171700х-xx (445-455 nm)

45	AD	BD	CD	DD
40	AC	BC	CC	DC
35	AB	BB	CB	DB
30	AA	BA	CA	DA
25				

445.0 447.5 450.0 452.5 455.0
nm

Таблица 3.

ОНТ- D 102300х-xx (445-455 nm)

27.5	AE	BE	CE	DE
26.0	AD	BD	CD	DD
24.5	AC	BC	CC	DC
23.0	AB	BB	CB	DB
21.5	AA	BA	CA	DA
20.0				

445.0 447.5 450.0 452.5 455.0
nm

Таблица 4.

ОНТ- B 171700х-xx (455-465 nm)

45	ED	FD	GD	HD
40	EC	FC	GC	HC
35	EB	FB	GB	HB
30	EA	FA	GA	HA
25				

455.0 457.5 460.0 462.5 465.0
nm

Таблица 5.

ОНТ- B 102300х-xx (455-465 nm)

27.5	EE	FE	GE	HE
26.0	ED	FD	GD	HD
24.5	EC	FC	GC	HC
23.0	EB	FB	GB	HB
21.5	EA	FA	GA	HA
20.0				

455.0 457.5 460.0 462.5 465.0
nm

Таблица 6.

ОНТ- H 171700х-xx (465-475 nm)

45	ID	JD
40	IC	JC
35	IB	JB
30	IA	JA
25		

465.0 467.5 470.0
nm

Таблица 7.

ОНТ- H 102300х-xx (465-475 nm)

27.5	IE	JE
26.0	ID	JD
24.5	IC	JC
23.0	IB	JB
21.5	IA	JA
20.0		

465.0 467.5 470.0
nm

Таблица 8. **ОНТ- x454510х-xx (445-465 nm)**

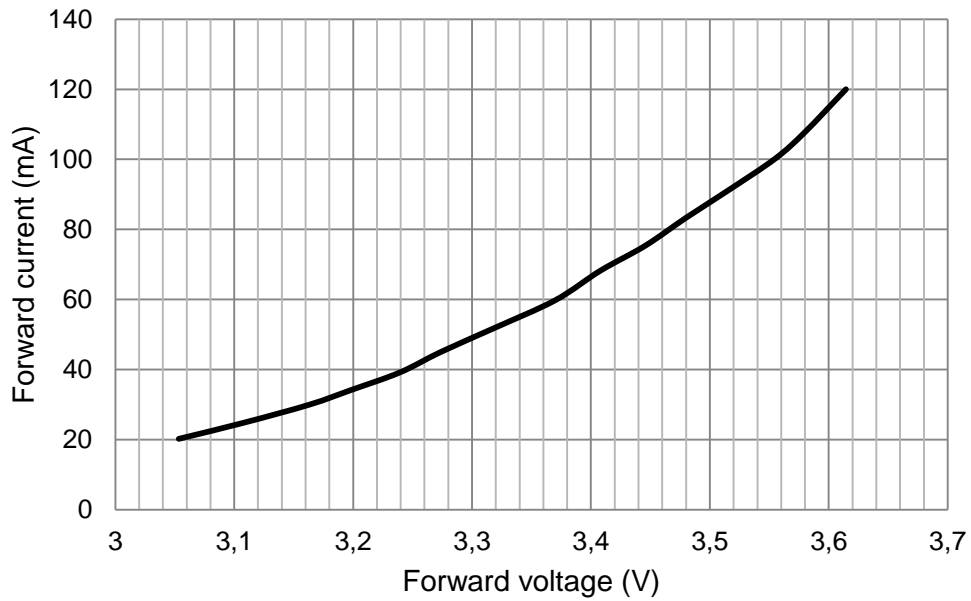
450	LD	MD
410	LC	MC
380	LB	MB
350	LA	MA
325		

445.0 455.0 465.0
nm

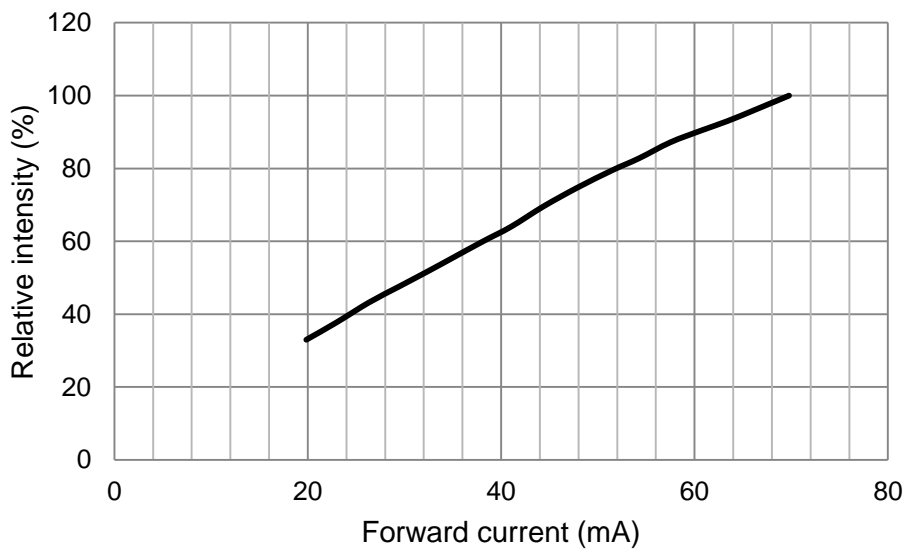
Приложение 2
Спецификации на светодиодные чипы
Продолжение

Типичные зависимости вольт-амперной характеристики, зависимости интенсивности излучения от прямого тока при температуре окружающей среды $T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$ для моделей чипов ОНТ- X 171700x-xx и ОНТ- X x102300x

Forward current vs. forward voltage ($T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$)



Relative intensity vs. forward current ($T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$)



Приложение 2
Спецификации на светодиодные чипы
Продолжение

*Типичные и максимальные значения основных характеристик
светодиодных чипов модели*

OHT- X 171700x-xx

при температуре окружающей среды $T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$

Table 9. Typical electrical & optical characteristics ($T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$)

OHT- X 171700x-xx

Item	Symbol	Condition	Minimum	Typical	Maximum	Unit
Forward voltage	V_F	$I_f = 30\text{ mA}$	2.8	3.2	3.4	V
Dominant wavelength	λ_{dom}	$I_f = 30\text{ mA}$	445	–	470	nm
Reverse current	I_{rev}	$V_{\text{rev}} = 5\text{ V}$	–	–	2	μA
Spectral half-width	$\Delta\lambda$	$I_f = 30\text{ mA}$	20	–	25	nm
Thermal resistance	R_{th}	$I_f = 30\text{ mA}$	–	16	–	K/W
Electrostatic discharge classification - class 2. Preconditioning - according to JEDEC level 3.						

Table 10. Absolute maximum ratings ($T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$) **OHT- X 171700x-xx**

Item	Symbol	Absolute maximum rating	Unit
Forward current (DC)	I_F	60	mA
Peak forward current*	I_{FP}	100	mA
Reverse voltage	V_{rev}	5	V
Operation temperature	T_{opr}	-40 ~ +85	$^\circ\text{C}$
Storage temperature	T_{stg}	-40 ~ +100	$^\circ\text{C}$
* frequency = 1 kHz, duty = 1/10.			

Приложение 2
Спецификации на светодиодные чипы
Продолжение

*Типичные и максимальные значения основных характеристик
светодиодных чипов модели*

OHT- X x102300x

при температуре окружающей среды $T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$

Table 11. Typical electrical & optical characteristics ($T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$)

OHT- X x102300x

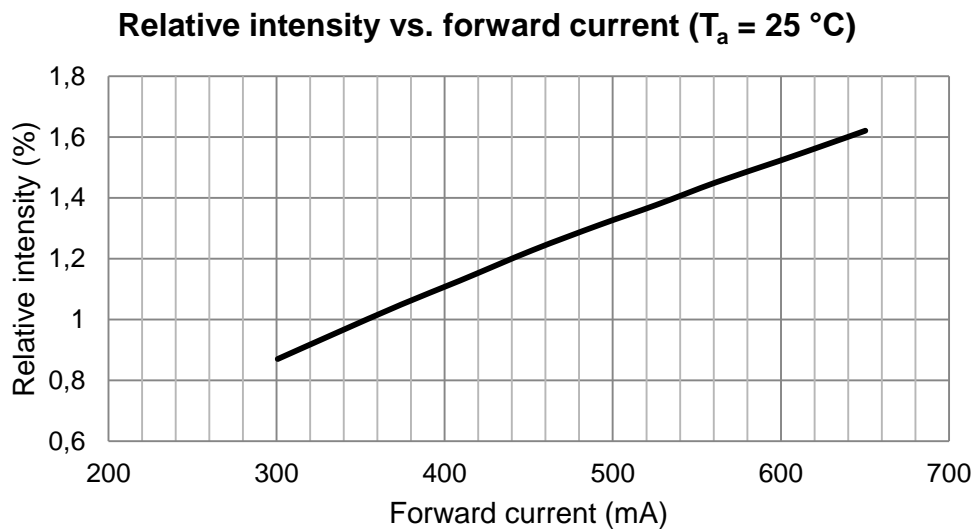
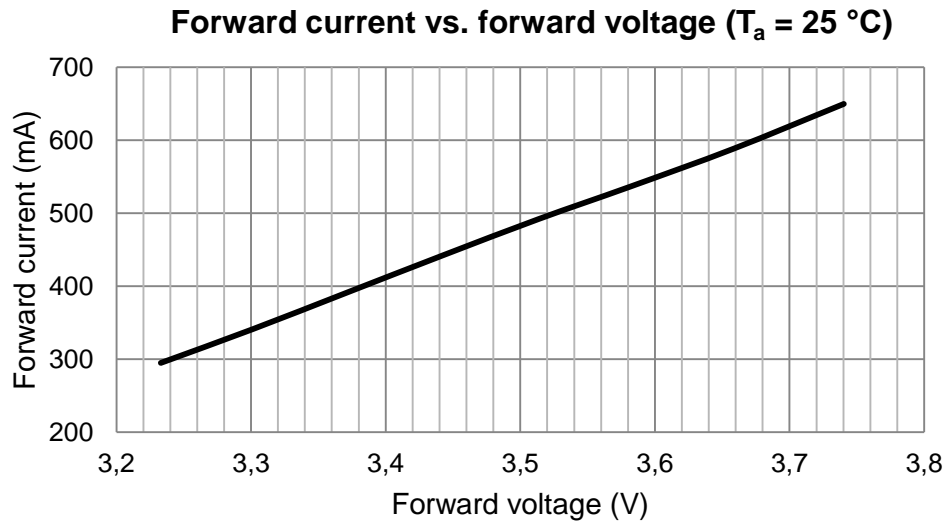
Item	Symbol	Condition	Minimum	Typical	Maximum	Unit
Forward voltage	V_F	$I_f = 20\text{ mA}$	2.8	3.2	3.4	V
Dominant wavelength	λ_{dom}	$I_f = 20\text{ mA}$	445	–	470	nm
Reverse current	I_{rev}	$V_{\text{rev}} = 5\text{ V}$	–	–	2	μA
Spectral half-width	$\Delta\lambda$	$I_f = 20\text{ mA}$	20	–	25	nm
Thermal resistance	R_{th}	$I_f = 30\text{ mA}$	–	16	–	K/W
Electrostatic discharge classification - class 2. Preconditioning - according to JEDEC level 3.						

Table 12. Absolute maximum ratings ($T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$) **OHT- X x102300x**

Item	Symbol	Absolute maximum rating	Unit
Forward current (DC)	I_F	30	mA
Peak forward current*	I_{FP}	100	mA
Reverse voltage	V_{rev}	5	V
Operation temperature	T_{opr}	-40 ~ +85	$^\circ\text{C}$
Storage temperature	T_{stg}	-40 ~ +100	$^\circ\text{C}$
* frequency = 1 kHz, duty = 1/10.			

Приложение 2
Спецификации на светодиодные чипы
Продолжение

*Типичные зависимости вольт-амперной характеристики, зависимости
интенсивности излучения от прямого тока при температуре
окружающей среды 25 °С для модели чипов*
ОНТ- X 454510х-хх



Приложение 2
Спецификации на светодиодные чипы
Продолжение

*Типичные и максимальные значения основных характеристик
светодиодных чипов модели*

OHT- X 454510x-xx

при температуре окружающей среды $T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$

Table 13. Typical electrical & optical characteristics ($T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$)

OHT- X 454510x-xx

Item	Symbol	Condition	Minimum	Typical	Maximum	Unit
Forward voltage	V_F	$I_f = 350\text{ mA}$	3.0	3.3	3.5	V
Dominant wavelength	λ_{dom}	$I_f = 350\text{ mA}$	445	–	470	nm
Reverse current	I_{rev}	$V_{\text{rev}} = 5\text{ V}$	–	–	2	μA
Spectral half-width	$\Delta\lambda$	$I_f = 350\text{ mA}$	20	–	25	nm
Thermal resistance	R_{th}	$I_f = 350\text{ mA}$	–	3	–	K/W
Moisture level classification - according to JEDEC level 2.						

Table 14. Absolute maximum ratings ($T_a = 25\text{ }^\circ\text{C}$) **OHT- X 454510x-xx**

Item	Symbol	Absolute maximum rating	Unit
Forward current (DC)	I_F	700	mA
Peak forward current*	I_{FP}	900	mA
Reverse voltage	V_{rev}	5	V
Operation temperature	T_{opr}	-30 ~ +85	$^\circ\text{C}$
Storage temperature	T_{stg}	-40 ~ +85	$^\circ\text{C}$
* frequency = 1 kHz, duty = 1/10.			

Приложение 3

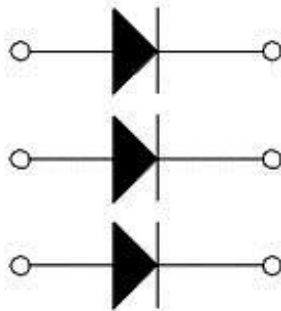
Электрические схемы соединений светодиодных чипов и светодиодов

Представлены 5 электрических схем соединения светодиодных чипов и светодиодов. Схема V содержит 20 рядов по 7 светодиодов в каждом:

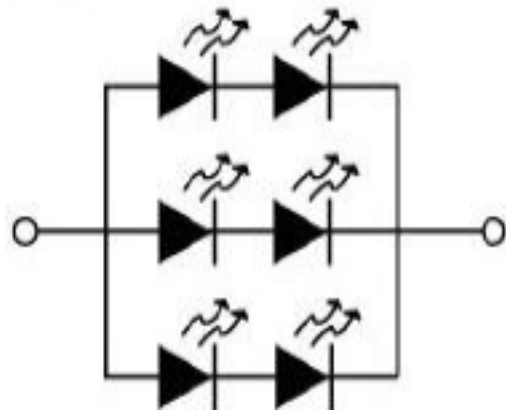
I



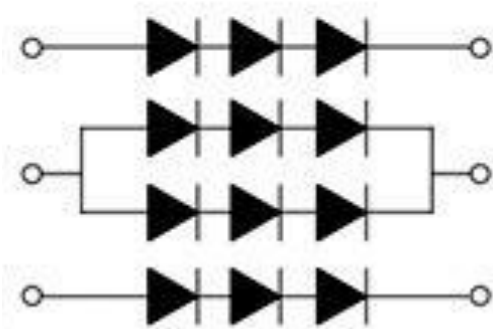
II



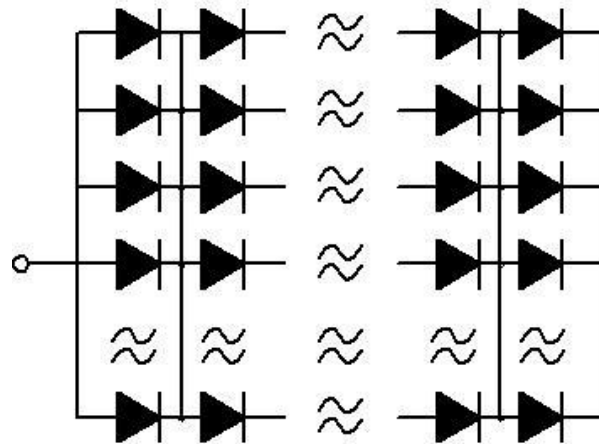
III



IV



V



Приложение 4

Виды светодиодных корпусов

Светодиоды, применяемые в устройствах освещения, чаще всего имеют пластиковый, керамический или *MCPCB* корпус. Чем мощнее светодиод, тем большую тепловую мощность должен рассеять корпус, то есть тем большей теплопроводностью должны обладать материалы, из которых он изготовлен.

Корпуса светодиодов, представленные на рис.1 (а–в) используются для систем «чип на плате», *chip on board*. Их изготавливают из керамики AlN , Al_2O_3 или алюминия, меди с прослойками диэлектрика, отделяющего токоведущие элементы от основания корпуса. Корпуса на рис. 1 (г, д) предназначены для светодиодов высокой яркости (*high bright LED*), часто изготавливаются из пластика полиметилметакрилата (PMMA).

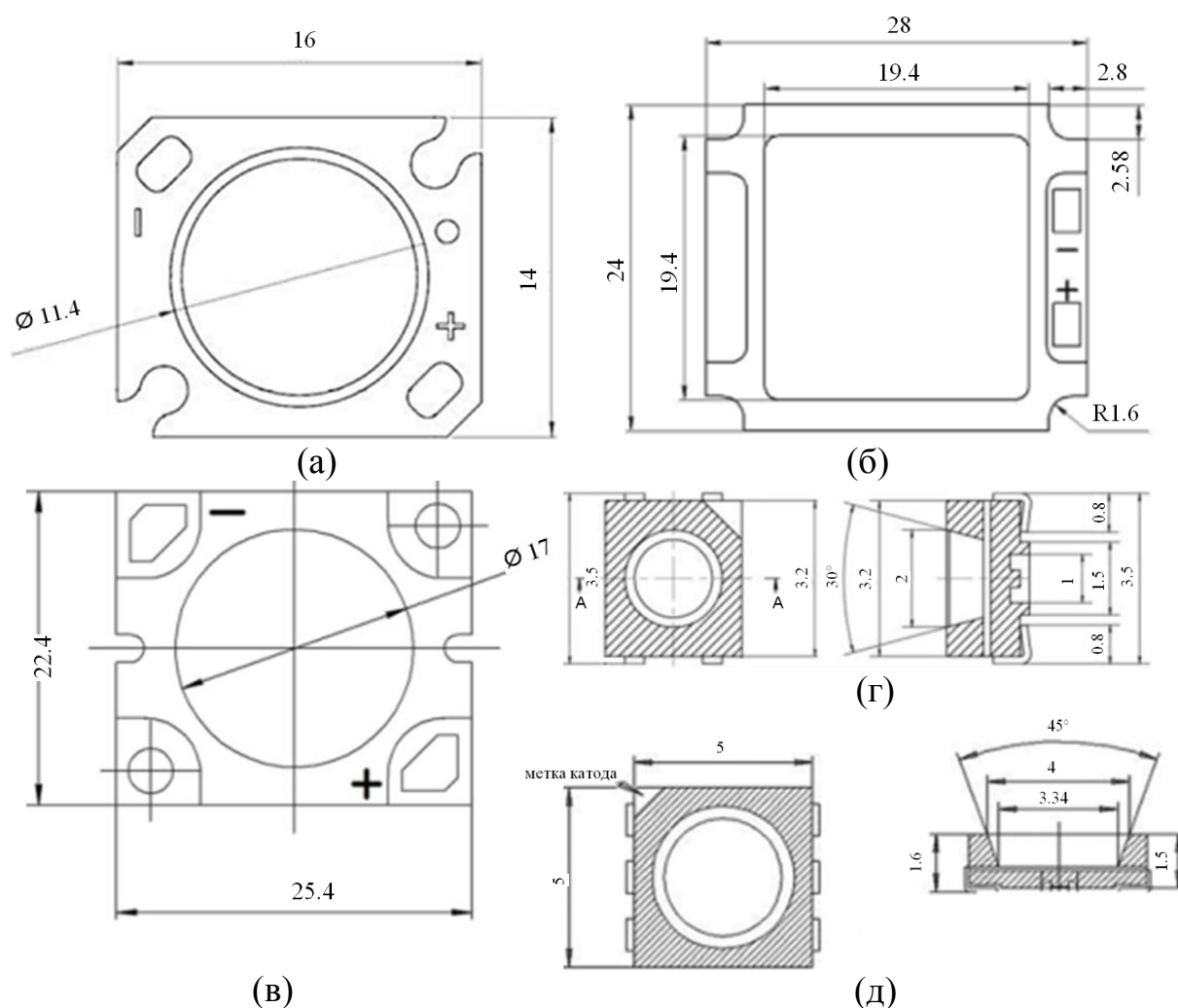


Рис. 1. Виды корпусов светодиодов: корпус на металлическом или керамическом основании для устройства «чип на плате» (а–в), вид сверху; корпус из PMMA для светодиода высокой яркости (г, д), вид сверху и сбоку. Размеры на чертежах указаны в мм.

Приложение 5

Спецификация на светодиод модели OLP-X5050F6C-XXXX¹

Таблица 1. Типовые электрические и оптические характеристики (T_a = 25 °С)

Параметр	Обозначение	Условия	Мин.	Тип.	Макс.	Единица измерений
Прямое напряжение*	V _F	I _F = 100 мА	8.8	–	10.8	В
Координаты цветности	(x, y)	I _F = 100 мА	–	(0.3447; 0.3553)	–	–
Световой поток	Φ _V	I _F = 100 мА	75	–	105	лм
Двойной угол половинной яркости	2θ ^{1/2}	I _F = 100 мА	–	120	–	град
Тепловое сопротивление чип/корпус	R _{th}	I _F = 100 мА	–	60	–	°С/Вт

* В случае специального запроса возможна сортировка светодиодов по величине прямого напряжения в диапазоне 0.4 В.

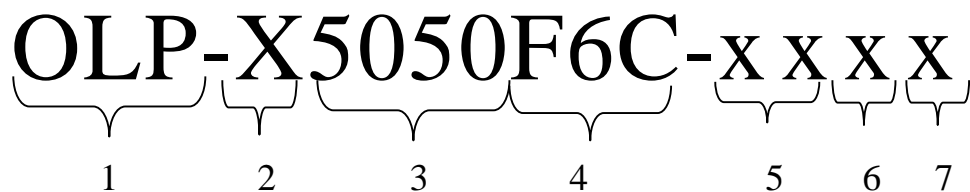
Таблица 2. Абсолютные максимальные значения (T_a = 25 °С)

Параметр	Обозначение	Абсолютное максимальное значение	Единица измерений
Потребляемая мощность	P _D	1.2	Вт
Постоянный прямой ток	I _F	120	мА
Пиковый прямой ток (t ≤ 0.1 мсек, D ≤ 1/10)	I _{FP}	150	мА
Диапазон рабочих температур	T _{opr}	-40 ~ +100	°С
Температура хранения	T _{stg}	-40 ~ +100	°С
Температура плавления припоя	T _{sol}	+260**	°С

** Время воздействия должно составлять не более 5 сек.

¹ На основании материалов http://www.optogan.ru/products/led_components/leds/smd

Код светодиода



- 1 — обозначение компании-производителя, в данном случае, компании Оптоган;
- 2 — вид цвета;
- 3 — размер сторон светодиода в мм;
- 4 — позиции, оставленные производителем для введения новых бинов, например, по типу чипа — латеральный или вертикальный;
- 5 — цветовой бин;
- 6 — бин по световому потоку;
- 7 — бин по прямому напряжению.

Бины по прямому напряжению, световому потоку

Таблица 3. Бины по прямому напряжению

Код бина	Прямое напряжение, В
1	8.8–9.2
2	9.2–9.6
3	9.6–10.0
4	10.0–10.4
5	10.4–10.8
6	10.8–11.2
7	11.2–11.6

Таблица 4. Бины по световому потоку

Код бина	Световой поток, лм
A	75–80
B	80–85
C	85–90
D	90–95
E	95–100
F	100–105

Приложение 5
Спецификация на светодиод модели OLP-X5050F6C-XXXX
Продолжение

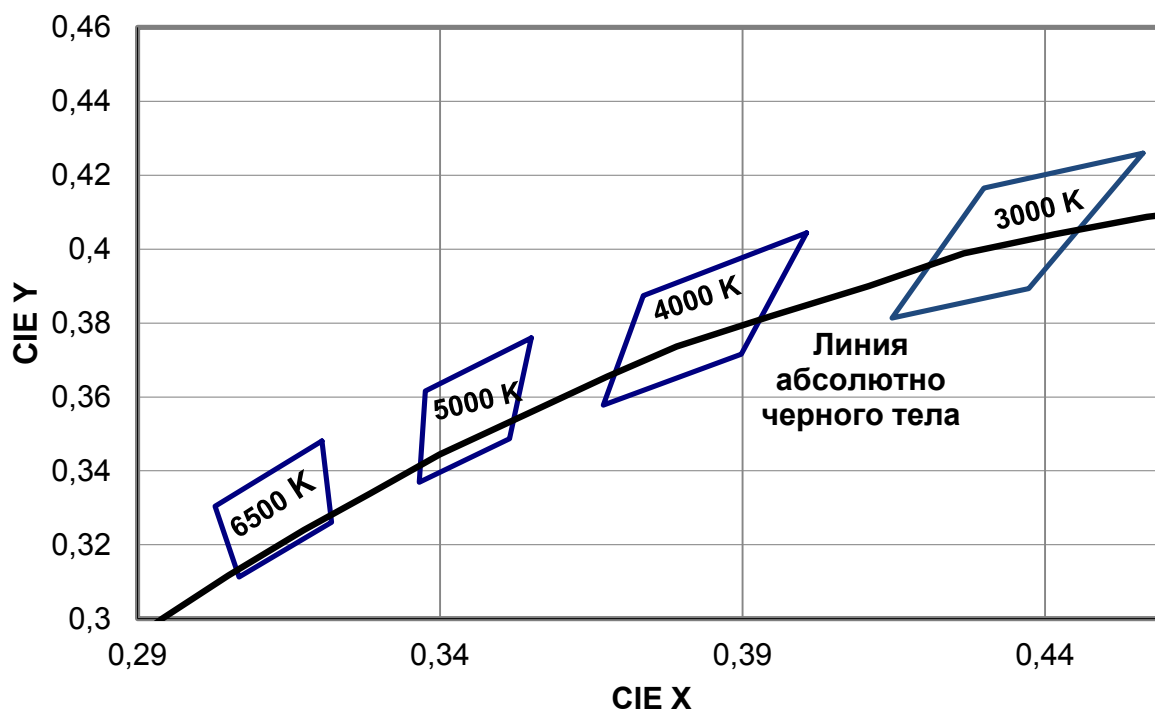
Цветовые бины

Таблица 5. Цветовые бины согласно стандарту Energy Star Requirements for solid state lighting

Вид цвета	Холодный белый		Дневной белый		Нормальный белый		Теплый белый	
Цветовой бин	6500 К		5000 К		4000 К		3000 К	
ССТ, К	6530±510		5028±283		3985±275		3045±175	
Код бина	65		50		40		30	
Цветовые координаты	х	у	х	у	х	у	х	у
	0.325	0.348	0.355	0.376	0.400	0.404	0.456	0.426
	0	1	1	0	6	4	2	0
	0.302	0.330	0.337	0.361	0.373	0.387	0.429	0.416
	8	4	6	6	6	4	9	5
0.306	0.311	0.336	0.336	0.367	0.357	0.414	0.381	
8	3	6	9	0	8	7	4	
0.322	0.326	0.351	0.348	0.389	0.371	0.437	0.389	
1	1	5	7	8	6	3	3	

Расположение цветовых бинов на диаграмме цветности

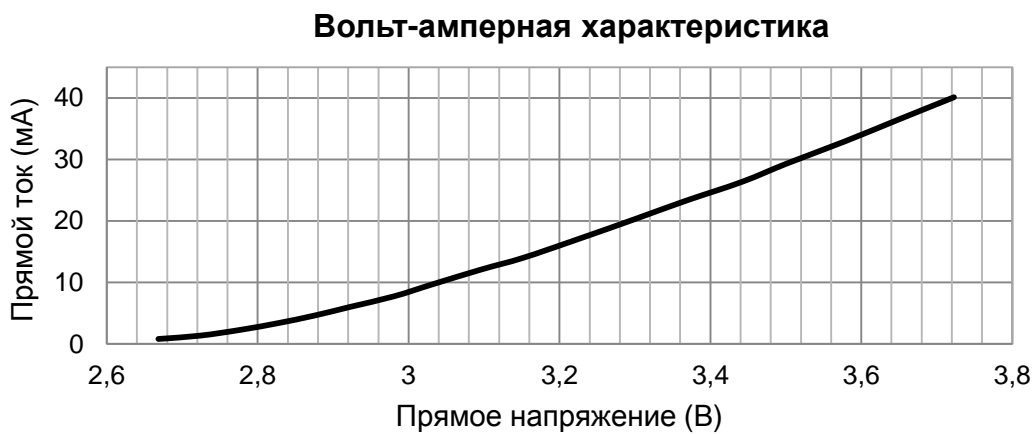
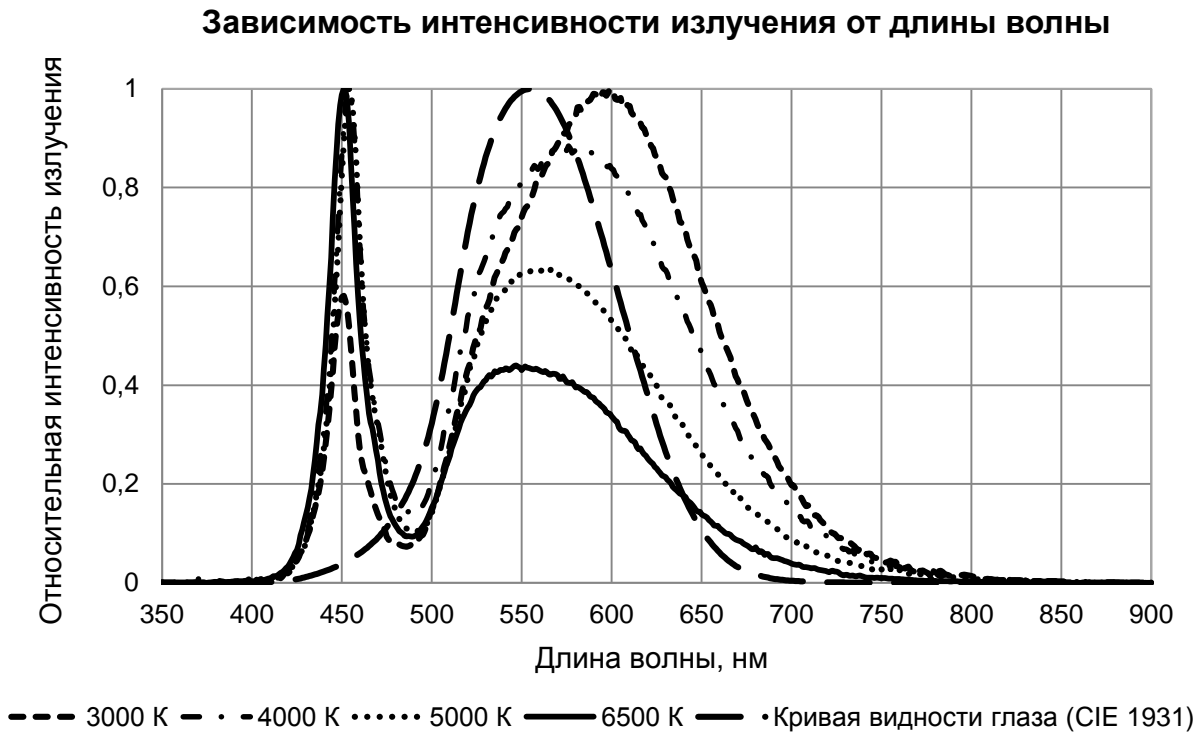
На рис. 1 приведены цветовые бины и линия абсолютно черного тела.



Приложение 5
Спецификация на светодиод модели OLP-X5050F6C-XXXX

Продолжение

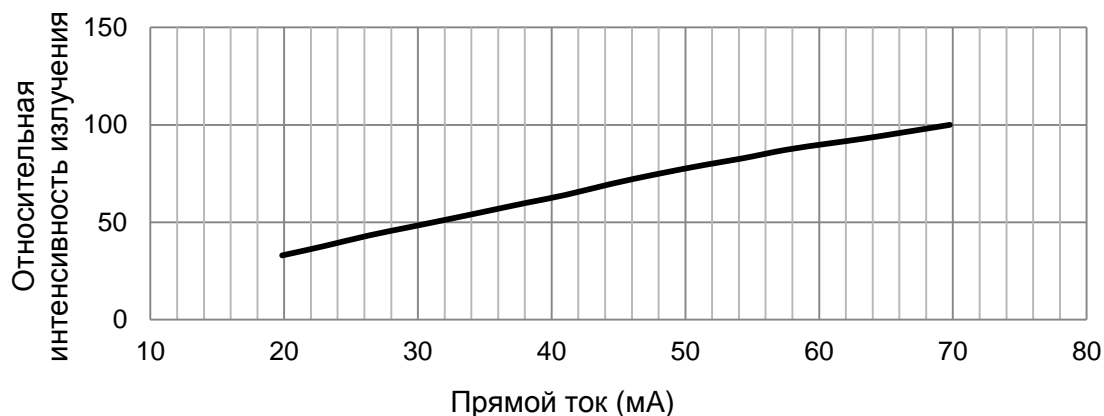
Рис. 1. Бины по цветовой температуре и линия абсолютно черного тела.



Приложение 5 Спецификация на светодиод модели OLP-X5050F6C-XXXX

Продолжение

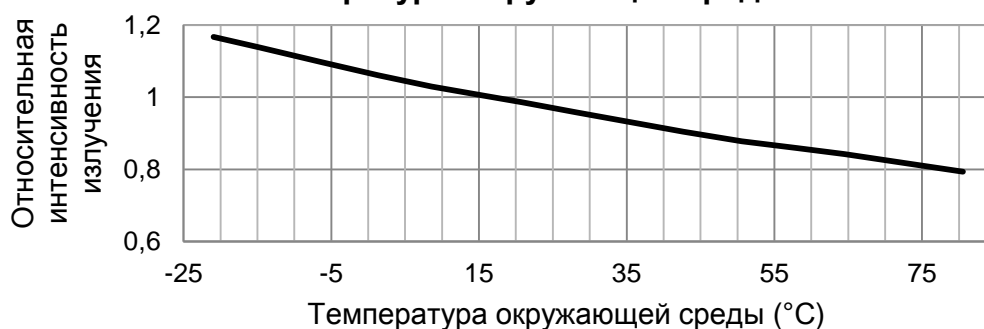
Зависимость интенсивности излучения от прямого тока



Зависимость прямого тока от температуры окружающей среды



Зависимость интенсивности излучения от температуры окружающей среды

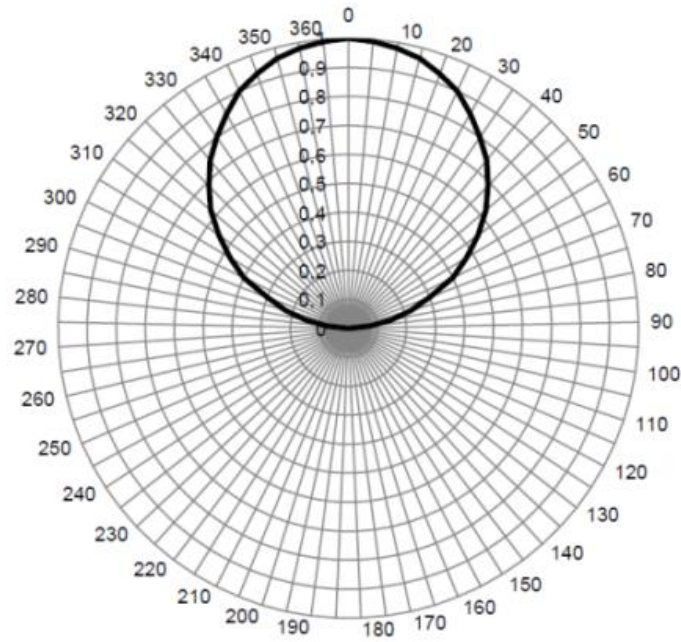


Отношение световых потоков при температуре перехода 100 °C и 25 °C (*hot-cold factor, HC*) составляет 74.3%.

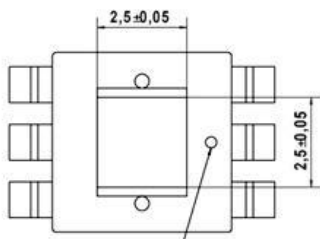
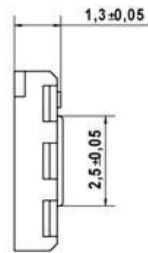
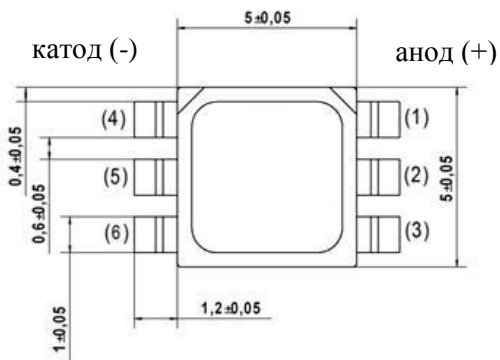
Диаграмма направленности

Приложение 5 Спецификация на светодиод модели OLP-X5050F6C-XXXX

Продолжение

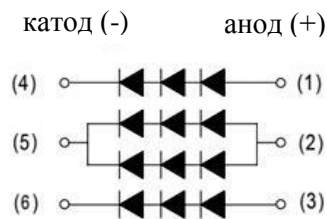


Габаритные размеры, схема подключения светодиодов, внешний вид



метка анода

Схема электрической цепи

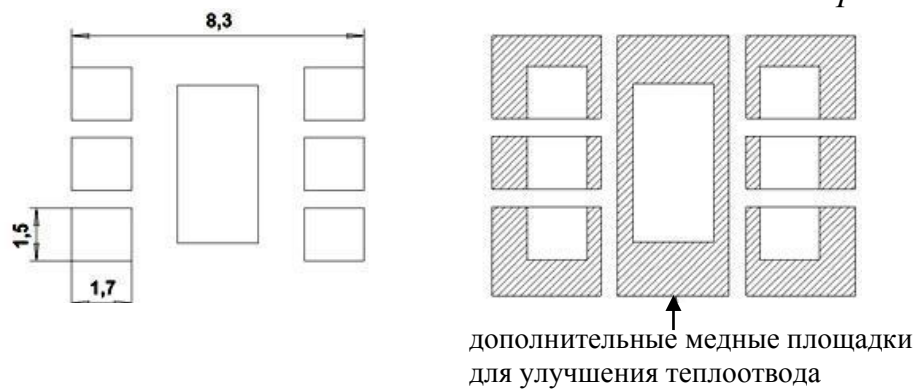


Внешний вид
светодиода
OLP-X5050F6C-XXXX

Размеры контактных площадок для монтажа светодиодов на печатную плату

Приложение 5
Спецификация на светодиод модели OLP-X5050F6C-XXXX

Продолжение



Материалы элементов корпуса светодиода

Таблица 6. Основные материалы конструктивных элементов светодиода

Элемент корпуса	Материал*
Герметизирующая оболочка	Силикон
Корпус	Пластик
Выводная рамка	Медь, покрытая серебром

* Среди материалов, из которых изготовлен светодиод, свинец отсутствует.

Приложение 6 Спецификации на радиаторы

Ниже представлены модели промышленно-выпускаемых ребристых радиаторов РТР 3270, РТР 3225, HS155, HS156, HS172, HS178 и игольчатых радиаторов И-650, И-110 и техническая информация о них. Принятые сокращения: $P_{\text{рас.}}$ — рассеиваемая радиатором мощность; R_{Θ} — тепловое сопротивление, К/Вт; W_T — погонный вес, кг/м. Размеры на чертежах указаны в мм.

РТР 3270



$P_{\text{рас.}} = 1 \text{ Вт}$

РТР 3225



$P_{\text{рас.}} = 2.5 \text{ Вт}$

И-650



Радиатор изготовлен из силумина.
Технические характеристики:

- площадь поверхности 102 см²
- мощность рассеивания 6 Вт
- масса радиатора 30 г
- габаритные размеры 59×36×14 мм

И-110

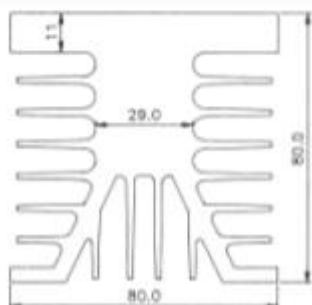
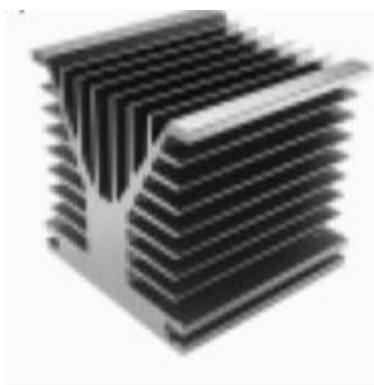


Радиатор изготовлен из силумина.
Технические характеристики:

- площадь поверхности 1160 см²
- мощность рассеивания 70–75 Вт
- масса радиатора 30 г
- габаритные размеры 90×268×20 мм

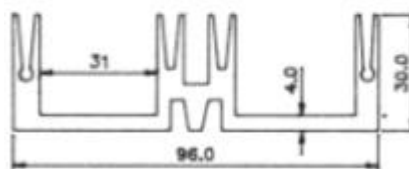
Приложение 6
Спецификации на радиаторы
Продолжение

HS155-xx



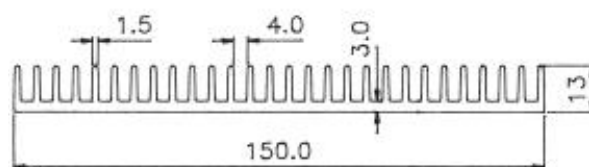
$R_{\Theta} = 2.7 \text{ K/Вт}$
 $W_T = 9.44 \text{ кг/м}$

HS156-xx



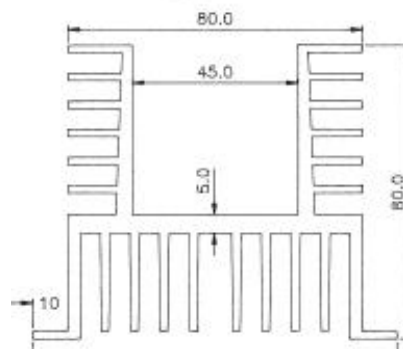
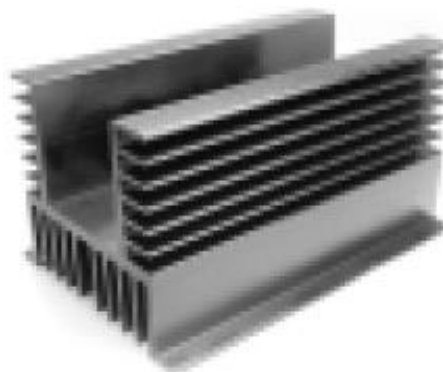
$R_{\Theta} = 5.9 \text{ K/Вт}$
 $W_T = 2.29 \text{ кг/м}$

HS172-xx



$R_{\Theta} = 3.1 \text{ K/Вт}$
 $W_T = 2.54 \text{ кг/м}$

HS178-xx



$R_{\Theta} = 2.9 \text{ K/Вт}$
 $W_T = 4.9 \text{ кг/м}$

Приложение 7

Спецификации на светодиодные модули²

Краткие характеристики светодиодных модулей ОМА-Х100Н86-ХХFB, ОМА-Х100Н87-ХХFA, ОМА-Х252R186-ХХFD, производимые компанией «Оптоган», представлены на рис. 1 и в Таблицах 1–3.

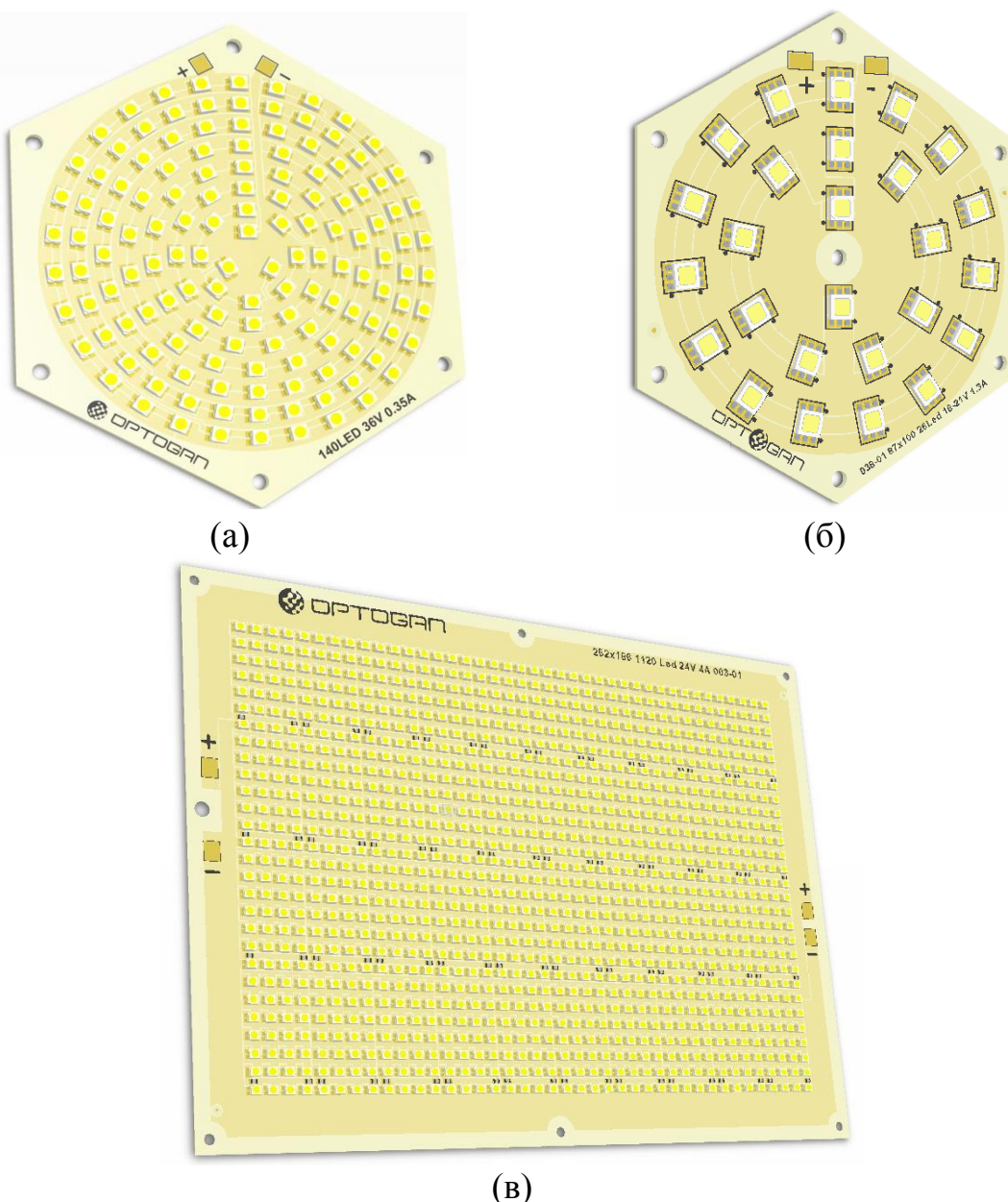


Рис. 1. Внешний вид светодиодных модулей, выпускаемых компанией «Оптоган»:

- (а) модель ОМА-Х100Н86-ХХFB;
- (б) модель ОМА-Х100Н87-ХХFA;
- (в) модель ОМА-Х252R186-ХХFD.

² На основании материалов http://www.optogan.ru/products/led_components/led_modules

Приложение 7
Спецификации на светодиодные модули
Продолжение

Габаритные размеры светодиодных модулей
ОМА-X100Н86-XXFB, ОМА-X100Н87-XXFA, ОМА-X252R186-XXFD

На рис. 2 (а–в) указаны характерные размеры светодиодных модулей.

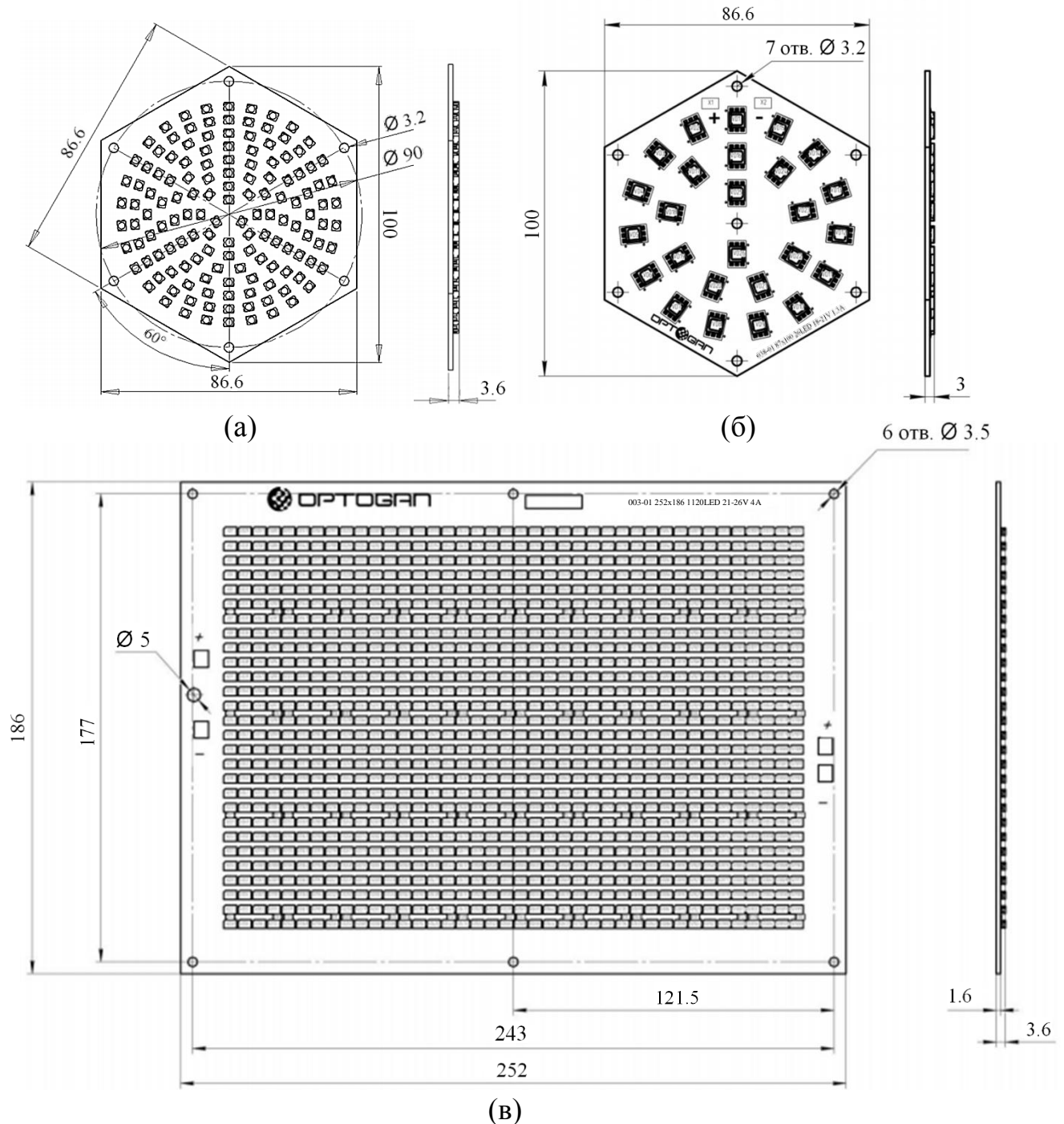


Рис. 2. Характерные размеры светодиодных модулей:
 модель ОМА-X100Н86-XXFB (а);
 модель ОМА-X100Н87-XXFA (б);
 модель ОМА-X252R186-XXFD (в).

Приложение 7
Спецификации на светодиодные модули
Продолжение

Основные технические характеристики светодиодного модуля

ОМА-Х100Н86-ХХФВ

Таблица 1. Характеристики светодиодного модуля **ОМА-Х100Н86-ХХФВ**

Описание продукта			
Модель	ОМА-Х100Н86-ХХФВ		
Материал печатной платы	Алюминий		
Количество светодиодов	140 шт.		
Потребляемая мощность	12 Вт		
Срок службы	50 000 часов		
Электрические характеристики			
Напряжение питания	36 В		
Ток питания	350 мА		
Режим работы драйвера	Постоянный ток		
Светотехнические характеристики			
Тип светодиодов	OLP-Х3528F4А-ХХХХ OLP-Х3528F2А-ХХХХ		
Световой поток	Не менее 950 лм		
Угол излучения	120 град.		
Механические характеристики			
Общая масса нетто	50 г		
Диапазон рабочих температур	-40 °С ÷ +50 °С		
Температура хранения	-60 °С ÷ +50 °С		
Минимальная площадь рассеивающего радиатора	0.006 м ²		
Возможные модификации			
Модель	Оттенок белого	Цветовая температура, К	Световой поток, лм
ОМА-Х100Н86-30FA	Теплый белый	3000	950
ОМА-Х100Н86-40FA	Нормальный белый	4000	980
ОМА-Х100Н86-50FA	Дневной белый	5000	980
ОМА-Х100Н86-65FA	Холодный белый	6500	980

Приложение 7
Спецификации на светодиодные модули
Продолжение

Основные технические характеристики светодиодного модуля

ОМА-Х100Н87-ХХФА

Таблица 2. Характеристики светодиодного модуля **ОМА-Х100Н87-ХХФА**

Описание продукта			
Модель	ОМА-Х100Н87-ХХФА		
Материал печатной платы	Алюминий		
Количество светодиодов	26 шт.		
Потребляемая мощность	25 Вт		
Срок службы	50 000 часов		
Электрические характеристики			
Напряжение питания	18–21 В		
Ток питания	1300 мА		
Режим работы драйвера	Постоянный ток		
Светотехнические характеристики			
Тип светодиодов	OLP-Х5050F6С-ХХХХ		
Световой поток	Не менее 2100 лм		
Угол излучения	120 град.		
Механические характеристики			
Общая масса нетто	50 г		
Диапазон рабочих температур	-40 °С ÷ +50 °С		
Температура хранения	-60 °С ÷ +50 °С		
Минимальная площадь рассеивающего радиатора	0.1 м ²		
Возможные модификации			
Модель	Оттенок белого	Цветовая температура, К	Световой поток, лм
ОМА-Х100Н87-30ФА	Теплый белый	3000	2100
ОМА-Х100Н87-40ФА	Нормальный белый	4000	2200
ОМА-Х100Н87-50ФА	Дневной белый	5000	2200
ОМА-Х100Н87-65ФА	Холодный белый	6500	2200

Приложение 7
Спецификации на светодиодные модули
Продолжение

Основные технические характеристики светодиодного модуля

ОМА-X252R186-XXFD

Таблица 3. Характеристики светодиодного модуля **ОМА-X252R186-XXFD**

Описание продукта			
Модель	ОМА-X252R186-XXFD		
Материал печатной платы	Алюминий		
Количество светодиодов	1120 шт.		
Потребляемая мощность	96 Вт		
Срок службы	50 000 часов		
Электрические характеристики			
Напряжение питания	21–26 В		
Ток питания	4 А		
Режим работы драйвера	Постоянный ток		
Светотехнические характеристики			
Тип светодиодов	Серия OLP-X3528F2A		
Световой поток	Не менее 10 000 лм		
Угол излучения	120 град.		
Механические характеристики			
Общая масса нетто	260 г		
Диапазон рабочих температур	-40 °С ÷ +85 °С		
Температура хранения	-60 °С ÷ +100 °С		
Минимальная площадь рассеивающего радиатора	0.5 м ²		
Возможные модификации			
Модель	Оттенок белого	Цветовая температура, К	Световой поток, лм
ОМА-N252R186-40FD	Нормальный белый	4000	10 000
ОМА-D252R186-50FD	Дневной белый	5000	10 000
ОМА-C252R186-65FD	Холодный белый	6500	10 000

Спецификации на источники питания для светодиодных источников света

Представлены две серии источников питания для светодиодных источников света. На рис. 1 приведен внешний вид драйверов LXC40 и LPF-40.



Рис. 1. Внешний вид источников питания для светодиодного источника света: модель LXC40 производства Excelsys Technologies (а), модель LPF-40 Mean Well производства TRC Electronic Incorporation (б).

В Таблице 1 приведены основные характеристики серии источников питания постоянного тока LXC40, производимых компанией Excelsys Technologies.

В Таблице 2 представлены основные характеристики серии источников питания постоянного тока LPF-40 Mean Well, производимых компанией TRC Electronic Inc.

Оба рассмотренных изделий обеспечивают до 40 Вт мощности на выходе. В серии LXC40 возможна реализация до 3.33 А выходного тока и до 114 В выходного напряжения. В серии LPF-40 — до 3.34 А и 54 В.

На рис. 2–4 приведены особенности поведения характеристик источника питания Mean Well LPF-40: зависимость нагрузки источника питания от температуры окружающей среды и входного напряжения (рис. 2), зависимость коэффициента мощности (рис. 3) и эффективности (рис. 4) от нагрузки.

В Таблицы 1 и 2 входит техническая информация на источники питания, взятая из соответствующих спецификаций. Материал изложен на английском языке для получения навыков работы с англоязычными спецификациями.

Приложение 8
Спецификации на источники питания для светодиодных источников
света
Продолжение

Таблица 1. Технические характеристики источников питания для светодиодных источников света серии LXC40 производителя Excelsys Technologies

Model number	Output voltage, V	Output current, mA	Input voltage, VAC	OVP ^{3*} Hiccup Max, V	Efficiency, %
LXC40-0350SW	38–114	350	90–305	130	88.0
LXC40-0450SW	30–89	450	90–305	101	88.0
LXC40-0700SW	18–54	700	90–305	60	87.0
LXC40-1050SW	12–36	1050	90–305	42	87.0
LXC40-1280SW	10–29	1280	90–305	37	87.0
LXC40-1400SW	10–25	1400	90–305	37	87.0
LXC40-1660SW	8–23	1660	90–305	32	86.0
LXC40-2220SW	6–16	2220	90–305	25	85.0
LXC40-3330SW	4–11	3330	90–305	17	84.0
Input Specifications					
Parameter	Conditions/Descriptions	Min	Nom	Max	Units
Input voltage range	Wide input	90		305	VAC
Input frequency range		47		63	Hz
Input current	100 VAC in, 40 W output			0.48	A
Inrush current	230 VAC in, 25 °C, cold start			60	A
Power factor	220 VAC, 110 VAC	0.92		0.98	
Output Specifications					
Parameter	Conditions/Descriptions	Min	Nom	Max	Units
Line regulation				±2	%
Load regulation				±5	%
Voltage range	see «output voltage» above				
Output current range	see «output current» above				
Ripple and noise	20 MHz bandwidth. see note 1	3		5	V
Overshoot				10	%
Turn-on delay	measured at 220 VAC and full load			2.0	s
Short circuit protection	auto recovery		1.25 V max		

³ OVP — over voltage protection.

Приложение 8
Спецификации на источники питания для светодиодных источников
света
Продолжение

General Specifications					
Parameter	Conditions/Descriptions	Min	Nom	Max	Units
Isolation voltage	input to output see note 2	3000			VAC
	input to chassis	1500			VAC
Efficiency	see individual models		87		%
Safety agency approvals	UL 8750 compliant to UL 1310 class 2 EN61347-1, -2-13				
No load power dissipation	measured at 120 VAC and 220 VAC			6	W
MTBF	MIL HDBK 217-F, 110 VAC input, 80% load, 25 °C		487 000		Hours
Lifetime	45 °C, 110 VAC input, 80% load		77 000		Hours
Weight			300		g
Operating temperature		-20		+60	°C
Storage temperature		-40		+85	°C
Relative humidity	non-condensing (operating)	10		100	% RH

Note 1. Output connected in parallel with 0.1 uF ceramic capacitor and 10 uF electrolytic capacitor.

Note 2. Primary to Secondary Isolation test not be carried out on power supply.

Таблица 2. Технические характеристики источников питания для светодиодных источников света серии Mean Well LPF-40 производителя TRC Electronic Incorporation

Zone	Model	LPF-40-12	LPF-40-15	LPF-40-20	LPF-40-24	LPF-40-30	LPF-40-36	LPF-40-42	LPF-40-48	LPF-40-54
Output	DC Voltage, V	12	15	20	24	30	36	42	48	54
	Constant current region (note 4), V	7.2 ~ 12	9 ~ 15	12 ~ 20	14.4 ~ 24	18 ~ 30	21.6 ~ 36	25.2 ~ 42	28.8 ~ 48	32.4 ~ 54
	Rated current, A	3.34	2.67	2	1.67	1.34	1.12	0.96	0.84	0.76
	Rated power, W	40.08	40.08	40	40.08	40.2	40.32	40.32	40.32	41.04
	Ripple & noise (max.) (note 2), mVp-p	150	150	150	150	200	250	250	250	350
	Voltage tolerance (note 3), %	±4	±4	±4	±4	±4	±4	±4	±4	±4

Приложение 8
Спецификации на источники питания для светодиодных источников
света
Продолжение

Zone	Model	LPF-40-12	LPF-40-15	LPF-40-20	LPF-40-24	LPF-40-30	LPF-40-36	LPF-40-42	LPF-40-48	LPF-40-54	
	Line regulation, %	±0.5	±0.5	±0.5	±0.5	±0.5	±0.5	±0.5	±0.5	±0.5	
	Load regulation, %	±2.0	±1.5	±1.0	±0.5	±0.5	±0.5	±0.5	±0.5	±0.5	
	Setup, rise time (note 7)	1000 ms, 80 ms / 115 VAC at full load						1200 ms, 80 ms / 230 VAC			
	Hold up time (typ.)	16 ms / 230 VAC				16 ms / 115 VAC at full load					
Input	Voltage range (note 5)	90~305 VAC				127~431 VDC					
	Frequency range	47 ~ 63 Hz									
	Power factor (typ.)	PF>0.97/115 VAC, PF>230 VAC, PF>0.92/277 VAC at full load (please refer to *Power factor characteristic* curve)									
	Efficiency (typ.), %	84	85	86	87	88	88	88.5	90	90	
	AC current (typ.)	0.6 A / 115 VAC				0.3 A / 230 VAC					
	Inrush current (typ.)	cold start 75A / 230 VAC									
	Leakage current	< 0.75 mA / 240 VAC									
Protection	Over current (note 4)	95 ~ 108%									
		protection type: constant current limiting, recovers automatically after fault condition is removed									
	Short circuit	hiccup mode, recovers automatically after fault condition is removed									
	Over voltage	15 ~ 17 V	17.5 ~ 21 V	23 ~ 27 V	28 ~ 35 V	34 ~ 40 V	41 ~ 49 V	46 ~ 54 V	54 ~ 63 V	59 ~ 66 V	
		Protection type: shut down and latch off o/p voltage, re-power on to recover									
Environment	Over temperature	90 °C ± 10 °C (RTH2)									
		Protection type: shut down o/p voltage, repower on to recover									
Environment	Working temperature	-40 °C ~ +70 °C (refer to «Derating curve»)									
	Working humidity	20 ~ 95% RH non-condensing									
	Storage temperature, humidity	-40 °C ~ +80 °C, 10 ~ 95% RH									
	Temp. coefficient	±0.03% (0 ~ 50 °C)									

Приложение 8
Спецификации на источники питания для светодиодных источников
света
Продолжение

Zone	Model	LPF-40-12	LPF-40-15	LPF-40-20	LPF-40-24	LPF-40-30	LPF-40-36	LPF-40-42	LPF-40-48	LPF-40-54
	Vibration	10 ~ 500 Hz, 5G 12 min. / 1 cycle, period for 72 min. each along X, Y, Z axes								
Safety & EMC	Safety standards (note 6)	UL8750, EN61347-1, EN61347-2-13 independent, J61347-1, J61347-2-13, IP67 approved: design refer to UL60950-1, TUV EN60950-1								
	Withstand voltage	I/P-O/P: 3.75 KVAC								
	Isolation resistance	I/P-O/P: 100 MOhms / 500 VDC / 25 °C / 70% RH								
	EMC emission	compliance to EN55015, EN61000-3-2 class C ($\geq 60\%$ load); EN61000-3-3								
	EMC immunity	compliance to EN61000-4-2, 3, 4, 5, 6, 8, 11; EN61547, EN55024, light industry level (surge 2 KV), criteria A								
Others	MTBF	438.8 Khrs min. MIL-HDBK-217F (25 °C)								
	Dimension	162.5*43*32 mm (L*W*H)								
	Packing	0.44 Kg; 32 pcs / 15.08 Kg / 0.93 CUFT								
Note	1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 230 VAC input, rated load and 25 °C of ambient temperature.									
	2. Ripple & noise are measured at 20 MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1 uf & 47 uf parallel capacitor.									
	3. Tolerance: includes set up tolerance, line regulation and load regulation									
	4. Constant current operating region is within 60% ~ 100% rated output voltage. This is the suitable operation region for LED related applications, but please reconfirm special electrical requirements for some specific system design.									
	5. Derating may be needed under low input voltages. Please check the static characteristics for more details.									
	6. Suitable for indoor use or outdoor use without direct sunlight exposure. Please avoid immerse in the water over 30 minutes.									
	7. Length of set up time is measured at cold first start. Turning ON/OFF the power supply may lead to increase of set up time.									
	8. The power supply is considered as a component that will be operated in combination with final equipment, Since EMC performance will be affected by the complete installation, the final equipment manufacturers must re-qualify EMC Directive on the complete installation again.									

Приложение 8
Спецификации на источники питания для светодиодных источников света
Продолжение

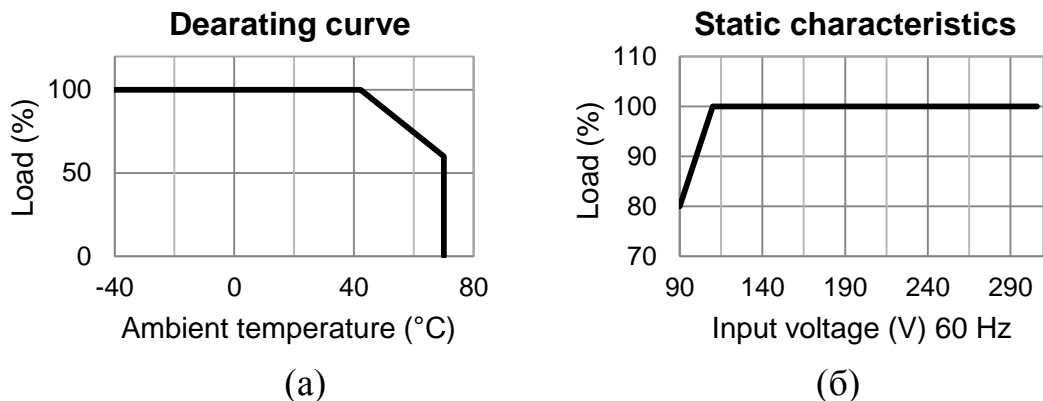


Рис. 2. Зависимость нагрузки источника питания Mean Well LPF-40 от температуры окружающей среды (а) и от входного напряжения (б).

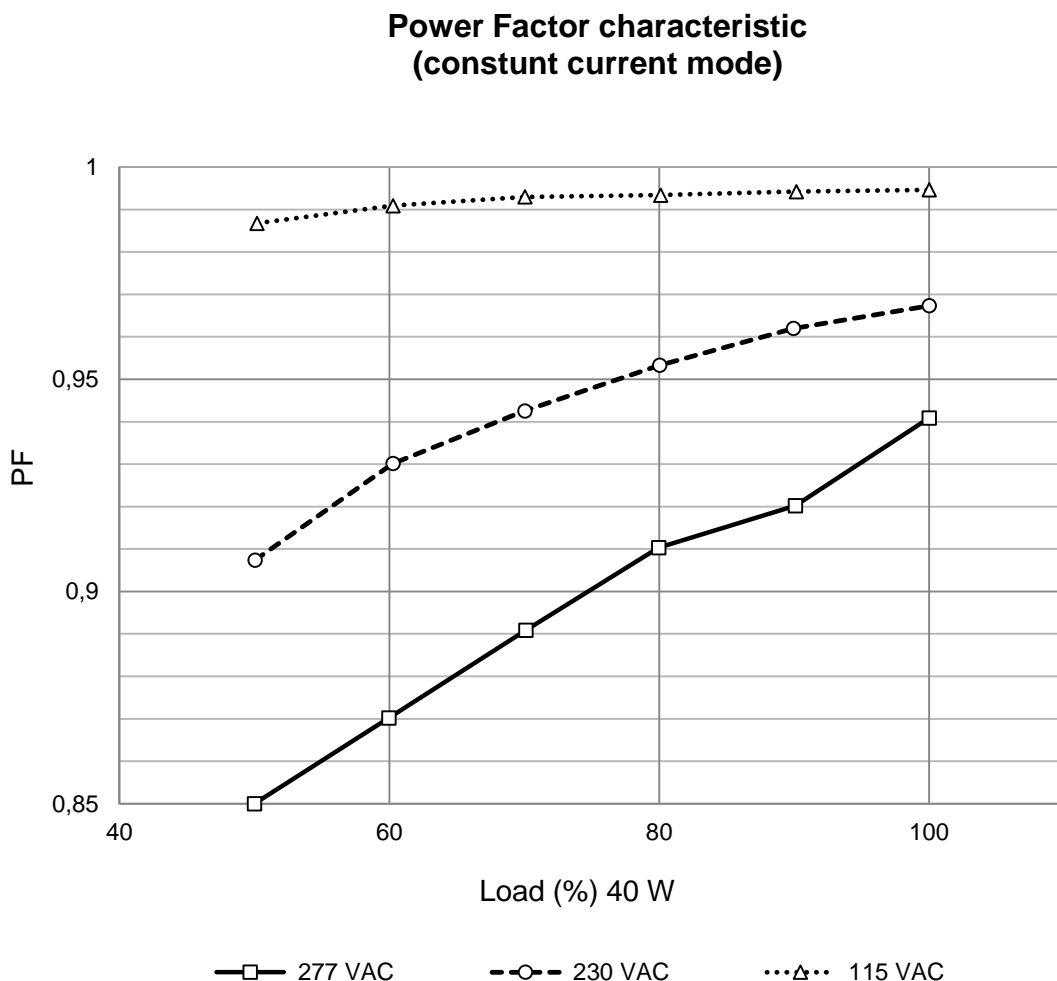


Рис. 3. Зависимость коэффициента мощности источника питания Mean Well LPF-40 от нагрузки.

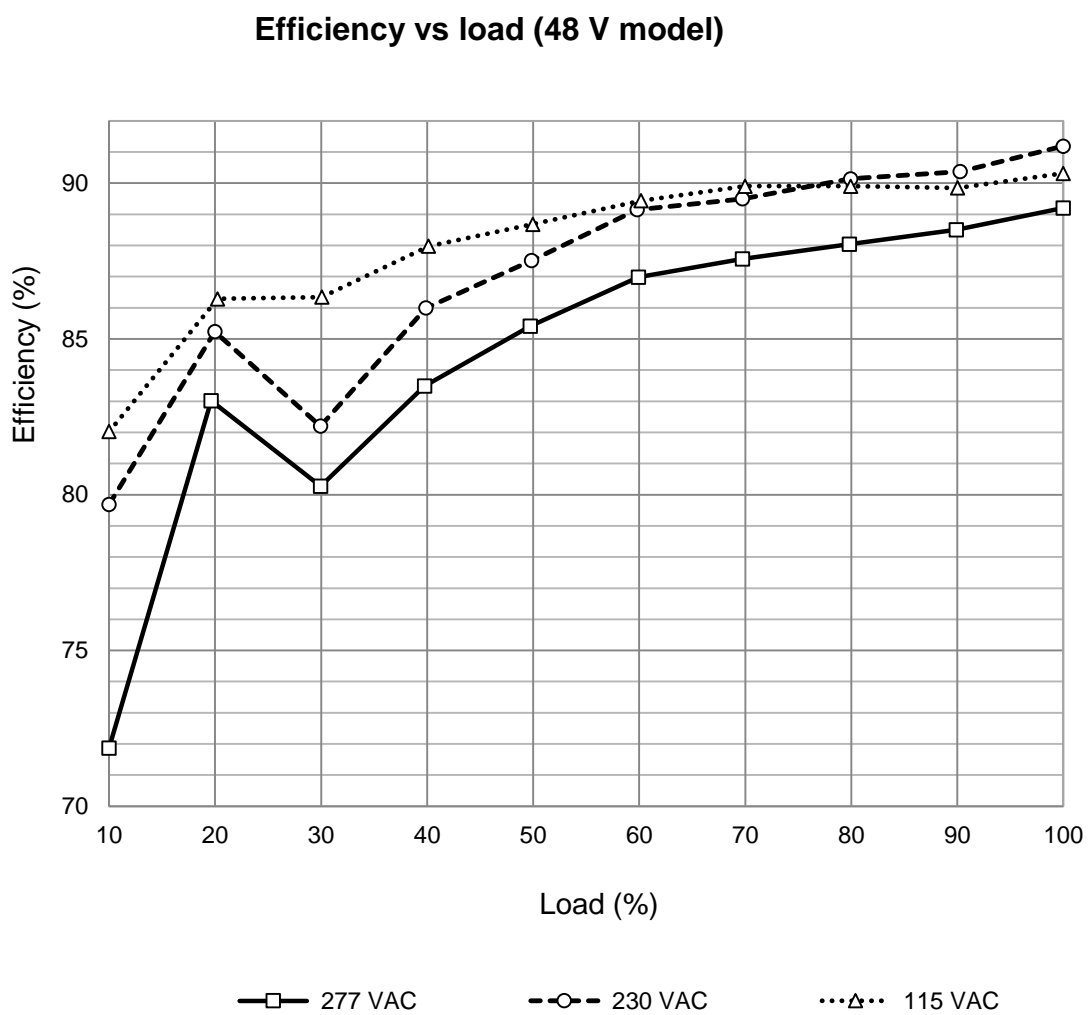


Рис. 4. Зависимость эффективности источника питания Mean Well LPF-40 от нагрузки.



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

КАФЕДРА СВЕТОДИОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Базовая магистерская кафедра светодиодных технологий была основана 4 октября 2011 года в рамках осуществления программы стратегического партнёрства между федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» (НИУ ИТМО) и российской компанией «Оптоган», обладающей уникальными технологиями производства светодиодов и светодиодной техники. Кафедра организована в составе факультета оптико-информационных систем и технологий НИУ ИТМО.

С момента основания кафедры её заведующим является Владислав Евгеньевич Бугров, исполнительный вице-президент компании «Оптоган», курирующий направления научных исследований и разработок компании. Сотрудники кафедры — ведущие специалисты в области физики и технологии полупроводниковых наногетероструктур и приборов, физического материаловедения, а также производства светодиодов и светодиодных устройств. На сегодняшний день кафедра светодиодных технологий и компания «Оптоган» успешно реализуют ряд совместных научно-исследовательских проектов.

На кафедре проводится обучение магистров по направлению 200400 «Оптотехника» по программе 200400.68 «Светодиодные технологии» и аспирантов по специальностям 01.04.05 — «Оптика», 05.11.07 —

«Оптические и оптоэлектронные приборы и комплексы», 01.04.14 — «Теплофизика и теоретическая теплотехника», 01.02.04 — «Механика деформируемого твердого тела». Целью обучения является подготовка высококвалифицированных специалистов, обладающих компетенциями и навыками для работы в инновационной сфере светодиодных технологий.

Светодиодные технологии — это наукоёмкое постоянно развивающееся направление в современной технике, основанное на последних разработках физики полупроводников, оптики и науки о материалах. Освоение программы по профилю «Светодиодные технологии» выводит студентов на высокий научный и познавательный уровень, предоставляя широкие возможности выбора и получения высокооплачиваемой и увлекательной работы в ведущих высокотехнологичных компаниях.

Более подробную информацию о кафедре светодиодных технологий вы можете получить на сайте кафедры <http://led.ifmo.ru/>. Ознакомиться с инновационной деятельностью компании «Оптоган» и выпускаемой продукцией можно на сайте <http://www.optogan.ru/>. Современные научные исследования, разработки и достижения компании, а также актуальные научно-исследовательские проекты представлены на сайте <http://www.nts.optogan.ru/>.

Ксения Анатольевна Виноградова
Светлана Николаевна Липницкая
Владислав Евгеньевич Бугров

Оптоэлектроника светодиодов

Учебное пособие

В авторской редакции
Редакционно-издательский отдел НИУ ИТМО
Зав. РИО
Лицензия ИД № 00408 от 05.11.99
Подписано к печати
Заказ №
Тираж
Отпечатано на ризографе

Н.Ф. Гусарова

Редакционно-издательский отдел
Санкт-Петербургского национального
исследовательского университета информационных
технологий, механики и оптики
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49

