УДК 628.94

Моделирование светодиодных светильников с оптимальным температурным режимом работы светодиодов

Широбокова Т.А., Суринский Д.О., Егоров С.В.

Государственный аграрный университет Северного Зауралья

Аннотация

В настоящей статье рассматриваются вопросы конструирования светодиодных светильников с оптимальным тепловым режимом работы применяемых светодиодов. Выполнен термический анализ модели при помощи программного обеспечения SolidWorks Simulation.

Ключевые слова. СВЕТОДИОДНЫЙ СВЕТИЛЬНИК, СВЕТОДИОД, ОПТИМАЛЬНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ, АНАЛИЗ

Актуальность

Поиск новых источников электрической энергии, а также повышение энергоэффективности потребителей электрической энергии является важной составляющей современной науки [1-5]. Анализ затрат электроэнергии на предприятиях сельскохозяйственного назначения показывает, что более 40 % электроэнергии расходуется на освещение [6]. Поэтому предприятиям необходимо использовать такие научно-технические разработки, применение которых позволит сократить затраты на энергетические ресурсы, что приведет к снижению себестоимости продукции [3, 7-11]. Стремление к энергосбережению является общей тенденцией для отраслей национальной экономики, поэтому светодиодная светотехника активно внедряется в различные отрасли промышленности в качестве источников света.

Современный кристалл светодиода способен работать при температурах до 150°C. Исследования показывают, что 65-80% электроэнергии при работе светодиода уходит в тепло. Поэтому в настоящее время ученые уделяют достаточно большое внимание вопро-

сам тепловых расчетов светодиодных светильников. При моделировании и проектировании светодиодных светильников могут возникать трудности, связанные с расстановкой всех элементов в ограниченном пространстве при условии недопущения превышения температурного режима работы системы в целом. Правильно спроектированный теплоотвод позволяет минимизировать деградацию светодиодов во времени и снижение светового потока. В результате время использования светодиодов может увеличиваться [12]. Срок службы и эффективность светодиодных установок тесно связаны с температурным режимом работы кристалла светодиода, поэтому особое внимание необходимо уделять обеспечению нормальной температуры работы светодиода [13, 14].

Материалы и методы

Задачу отвода тепла от светодиодов решают через расчет и минимизацию тепловых сопротивлений материалов [15].

Основной путь отвода тепла для светодиода можно представить следующим образом: кристалл светодиода → точка пайки → печатная плата → радиатор (алюминиевый корпус) → окружающая среда. (Рис. 1)

Рис. 1. Модель теплового сопротивления светодиода

Общее тепловое сопротивление может быть выражено суммой отдельных сопротивлений вдоль пути тепла от кристалла светодиода в окружающую среду [14]:

$$R_{1-5} = R_{1-2} + R_{2-3} + R_{3-4} + R_{4-5}. \quad (1)$$

Измерение температуры световозлучающего кристалла является затруднительной за-

дачей. Обычно большая часть работ по проектированию и разработке прodelывается на основании установленных правил расчета тепловых режимов определенного компонента, готового узла или печатной платы. Так как ход проектирования и разработки электронного изделия является итеративным, необходимые расчеты приходится многократно повторять. На каждом этапе разработки необходимо редактировать проектные недочеты, ввиду существующей вероятности получения недостоверных данных. Каждая редакция проекта несет за собой удорожание проекта в целом и дополнительную задержку. Притом относительно невысокая точность формульного метода приводит к тому, что разработчики закладывают большой запас по регулированию режимов отвода тепла, например, используя массивный охладитель, который увеличивает габаритные размеры и соответственно стоимость светодиодного светильника.

Таким образом, использование методов компьютерного теплового моделирования позволяет разрабатывать экономичные, долговечные и компактные светильники. Еще одно важное достоинство метода компьютерного моделирования заключается в сокращении временных затрат на проектирование, что дает возможность рассмотрения множества вариантов реализации теплового менеджмента и выбора оптимального из них. Поэтому для анализа температурного режима работы светодиода используют компьютерные методы моделирования [16]. Наилучшим способом реализации теплового анализа является использование автоматизированного алгоритма расчета, так как поиск оптимального варианта оптического устройства связан с большим объемом вычислительной работы.

Результаты исследования

При проектировании светодиодных светильников необходимо учитывать зависимость характеристик светодиодов от температуры окружающей среды. Для достижения данной задачи и облегчения расчетов разработан алгоритм работы и программа, позволяющая учитывать зависимость характеристик светодиодов от температуры окружающей среды. Программа написана в программной среде на графическом языке (Рис. 2) программирования стандарта C++ [17].

Рис. 2. Текст программы

В программе рассчитывается тепловая схема замещения светодиода для определения температурного параметра $p-n$ перехода кристалла светодиода. Рассеиваемое тепло и температура рассчитываются итерационно, а затем полученные значения (Рис. 3) этих параметров используются для получения величины светового выхода. Тепловое сопротивление участков полупроводникового устройства определяется:

$$R = \frac{\delta}{\lambda \cdot S}, \quad (2)$$

где δ -толщина материала, через который проходит тепловой поток, мм;

λ - коэффициент теплопроводности материала;

S –площадь поверхности, через которую проходит тепловой поток, мм².

Температура $p-n$ определяется:

$$T_{pn} = T_a + R_{\Sigma} P, \quad (3)$$

где T_a - температура окружающей среды, K ;

R_{Σ} - суммарное тепловое сопротивление «кристалл – окружающая среда»;

P – тепловая мощность одного светодиода, Вт.

```

input
Ta - температура окружающей среды; Trn - температура p-n перехода
Ta=20°C   Trn=64.4145°C
Ta=22°C   Trn=66.4145°C
Ta=24°C   Trn=68.4145°C
Ta=26°C   Trn=70.4145°C
Ta=28°C   Trn=72.4145°C
Ta=30°C   Trn=74.4145°C
Ta=32°C   Trn=76.4145°C
Ta=34°C   Trn=78.4145°C
Ta=36°C   Trn=80.4145°C
Ta=38°C   Trn=82.4145°C
Ta=40°C   Trn=84.4145°C

...Program finished with exit code 0
Press ENTER to exit console.

```

Рис. 3. Результат работы программы

Результаты работы

Термический анализ светодиодного светильника (Рис. 4, 5) из алюминиевого профиля из сплава АД31 мощностью 60 Вт проведен при помощи программного обеспечения SolidWorksSimulation.

Рис. 4. Термический анализ модели светодиодного светильника выполненный в SolidworksSimulation

Рис. 5. График зависимости максимальной температуры нагрева кристалла светодиода и минимальной температуры нагрева корпуса модели светильника во времени

Проведенный анализ показывает, что применение теплоотвода позволяет снизить температуру работы светодиода до рекомендуемых значений.

Заключение

Таким образом, задача по обеспечению эффективного теплового режима в светодиодном освещении является наиболее актуальной в современной светотехнике. Основная цель разработчиков светодиодных светильников – обеспечить стабильный тепловой режим работы устройств. Современные методы компьютерного моделирования позволяют производить термический анализ в соответствии с применяемыми моделями и заданными характеристиками светодиодных светильников.

Список используемых источников

1. Андреас Поль. Особенности расчета систем отвода тепла при использовании светодиодов в корпусах PLCC // Полупроводниковая светотехника: Сб. М. - 2010. - № 5. - С. 54-57.
2. Возмилов А.Г., Широбокова Т.А., Астафьев Д.В., Лошкарев И.Ю. Алгоритм рас-

чета конструктивных параметров светодиодного осветительного прибора // АПК России. – 2019. – Т. 26. – № 2. – С. 185–188.

3. Савчук И.В., Суринский Д.О., Юркин В.В. Видеосветоловушка для мониторинга насекомых. Патент на полезную модель RU 190558 U1, 03.07.2019. Заявка № 2019108563 от 25.03.2019.

4. Loshkarev I.Y. Methods for assessing the parameters of led-based lighting in livestock houses Shirobokova T.A. // Journal of Physics: Conference Series. The proceedings International Conference "Information Technologies in Business and Industry". - 2019. - С. 062013.

5. Savchuk I., Marandin A., Surinskij D. Calculation of crop production using integrated plant protection against pests // E3S Web of Conferences. Topical Problems of Green Architecture, Civil and Environmental Engineering, TPACEE 2019. - 2020. - С. 06008.

6. Тимофеев Е.В., Эрк А.Ф., Судаченко В.Н., Размук В.А. Повышение энергоэффективности в сельском хозяйстве // Молодой ученый. – 2017. – №4. – С. 213-217.

7. Савчук И.В. Математическая модель расчета конструктивных параметров видеосветоловушки /Савчук И.В., Суринский Д.О., Русаков И.А. // Вестник КрасГАУ. - 2017. - № 4 (127). - С. 81-88.

8. Баранова И.А. Светодиодное освещение птичника с программой регулирования/ Баранова И.А., Широбокова Т.А., Новоселов И.М.//Вестник НГИЭИ. 2021. № 5 (120). С. 42-52.

9. Широбокова Т.А. Разработка экспериментальной установки светодиодного светильника с термоэлектрическим эффектом // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. -2021. - № 1 (65). - С. 62-67.

10. Vozmilov A.G., Astafev D.V. Algorithm and software for calculating the design parameters of led lighting device // Proceedings - 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2020. - 2020. - С. 9111934.

11. Loshkarev I.Y., Shirobokova T.A., Shuvalova L.A. Automation of artificial lighting design for dairy herd cows // Journal of Physics: Conference Series. The proceedings International Conference "Information Technologies in Business and Industry". - 2019. - С. 042018.

12. Butorin V.A., Tkachev A.N. Lifetime evaluation of electric radiant film heaters // Russian Electrical Engineering. - 2018. - Т. 89. - № 3. - С. 182-185.

13. Газалов В.С., Шабаетов Е.А. Моделирование процесса нагрева радиатора, применяемого для охлаждения светодиода // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. — 2019. — № 3. - С. 62-70.

14. Ковенский В., Савельев А. Эффективные решения для теплоотвода в светодиодной светотехнике // Современная светотехника. - 2011. — № 1.

15. Liu K., Xin H., Settari P. Effects of light-emitting diode light v. fluorescent light on growing performance, activity levels and well-being of non-beak-trimmed W-36 pullets // Animal. – 2018. – 12 (1). – P. 106-115.

16. Maksimov A.N., Lekomtsev P.L., Rybakov L.M., Obolensky N.V., Ovchukova S.A.,

Maksimova L.A., Arinina N.N., Gonik E.G., Ivanova N.V., Terentyev A.G. On the question of numerical modeling of the flow stability of bodies // Journal of Physics: Conference Series. International Conference "Information Technologies in Business and Industry" - 2 - Mathematical Simulation and Computer Data Analysis. - 2019. - С. 032096.

17. Кениг Эндрю, Му Барбара Э. Эффективное программирование на C++. Том 2 / Кениг Эндрю. – Вильямс, 2002. – 368 с.

=====

Цитирование:

Широбокова Т.А., Суринский Д.О., Егоров С.В. Моделирование светодиодных светильников с оптимальным температурным режимом работы светодиодов [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №7. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/7/st_006.pdf.

DOI: <https://doi.org/10.51419/20217006>.