

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ  
ФАКУЛЬТЕТ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА  
ЕЛЕКТРОІНДЖЕНЕРІЇ  
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

ГРИДОВИЙ ВОЛОДИМИР МИРОНОВИЧ

УДК 628.93

**СТАБІЛІЗАЦІЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ  
НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНИМИ  
МОДУЛЯМИ ОХОЛОДЖЕННЯ**

141 Електроенергетика електротехніка та електромеханіка

**Автореферат**  
дипломної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр»

Тернопіль  
2019

Роботу виконано на кафедрі електричної інженерії Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України

**Керівник роботи:** кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри електричної інженерії  
**Закордонець Володимир Савич,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

**Рецензент:** кандидат технічних наук, ст., викладач кафедри ФЗ  
**Сіткар Оксана Андріївна,**  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 23 грудня 2019 р. о 9<sup>00</sup> годині на засіданні екзаменаційної комісії №39 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: а м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46а, корпус №7, к. 310.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи** Напівпровідникова світлотехніка є ефективною енергозберігаючою технологією, і протягом останніх років бурхливо розвивається практично у всіх країнах світу. Напівпровідникові джерела світла при однакових величинах світлового потоку споживають потужність в 10 раз меншу ніж лампи розжарювання і в 2 рази меншу ніж люмінесцентні лампи.

Незважаючи на високий *ККД* перетворення електричної енергії в світлову, близько 75% підведеної енергії перетворюється в теплову. Якщо її не відводити, то це спричинить надмірний нагрів джерела світла. Порушення його теплового режиму неминуче приведе до: зменшення світлового потоку, зменшення яскравості свічення, зменшення квантової ефективності, деградації світлових характеристик, зниження світлової проникності оптичної системи. В зв'язку із цим, особливої актуальності набуває забезпечення адекватного теплового режиму світлодних матриць. Для кардинального розв'язку цієї проблеми необхідно удосконалювати якість матеріалу напівпровідникового матеріалу. В той же час, вдало сконструйований тепловідвід вже на сучасному етапі розвитку напівпровідникових технологій дозволить суттєво покращити експлуатаційні характеристики існуючих напівпровідникових джерел світла.

**Мета роботи** полягає у виявленні параметрів, які найбільше впливають на тепловий режим напівпровідникових джерел світла та підбір засобів для його стабілізації.

**Об'єктом дослідження** є світлодіодні матриці та охолоджувальні системи для них.

**Предметом дослідження** є світлодіодні матриці.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

- Побудовано теплову математичну модель світлодіодної матриці, яка описує вплив основних параметрів: потужності, квантової ефективності, теплового опору охолоджувальної системи, температури зовнішнього середовища на її тепловий режим.
- Розраховано тепловий режим світлодіодної матриці з локальним радіатором.
- Розраховано тепловий режим світлодіодної матриці з термоелектричним модулем охолодження.
- Сформульовано рекомендації по збільшенню світлового потоку та світлової віддачі світлодіодної матриці при одночасній стабілізації її теплового режиму.

**Практична цінність результатів дослідження.**

- Запропоновано конструкцію світлодіодної лампи із системою охолодження на базі активного радіатора.
- Запропоновано конструкцію світлодіодної лампи із системою охолодження на базі термоелектричного модуля.

- Представлені результати дослідження, направлено на збільшення світлового потоку світлодіодних матриць при одночасній стабілізації їх теплового режиму.

**Апробація.** Основні результати роботи доповідались на VIII Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів. «Актуальні задачі сучасних технологій», Тернопіль, ТНТУ, 28 – 29 листопада 2019 р.

**Структура роботи.** Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 8 частин, висновків, та переліку посилань. Обсяг розрахунково-пояснювальної записки –101 арк. формату А4.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** встановлено актуальність тематики дипломної роботи, визначено основні завдання, які необхідно вирішити в роботі, відмічено наукову новизну та практичну цінність результатів виконання роботи.

**В аналітичній частині** проведений аналіз існуючих напівпровідникових джерел світла. На основі аналізу наукових публікацій доведено, що масове впровадження напівпровідникових джерел світла може зменшити енерговитрати на різні види освітлення у 6-8 разів. Встановлено, що в сучасних напівпровідникових джерелах світла ефективність перетворення електричної енергії в світлову складає близько 25%, інша частина енергії виділяється у вигляді тепла. Встановлено, що порушення теплового режиму приводить до значного підвищення температури гетеропереходу і суттєвого зниження світлового потоку, світловіддачі та терміну експлуатації приладу.

**В науково-дослідній частині** запропонована математична теплова модель світлодіодної матриці, яка описує вплив основних параметрів: потужності, квантової ефективності, теплового опору, температури зовнішнього середовища на її тепловий режим. Розраховано теплові режими світлодіодних матриць з активним радіатором. Розраховано тепловий режим світлодіодної матриці з термоелектричним модулем охолодження (ТЕМО). Показано, що застосування ТЕМО дає можливість зменшити температуру матриці до значень нижчих ніж температура навколишнього середовища. Це особливо актуально в умовах, коли температура середовища близька до критичної температури р-п-переходу. Показано, що ефективність використання ТЕМО знижується при збільшенні температури навколишнього середовища і сумарного теплового опору системи охолодження. Сформульовано рекомендації по збільшенню світлового потоку та світлової віддачі світлодіодної матриці при одночасній стабілізації її теплового режиму.

**В технологічній частині** описані термоелектричні явища, які лежать в основі термоелектричного охолодження, зокрема ефекти Зеебека і Пельтьє. Описана будова та методика застосування ТЕМО. Наведені основні термоелектричні співвідношення для розрахунку холодопродуктивності ТЕМО, холодильного коефіцієнту та перепаду температур між холодною та гарячими поверхнями ТЕМО. Описані режими його роботи, а також методика вибору оптимальної величини струму живлення. Наведено існуючі світові та вітчизняні

типи термоелектричних модулів, проаналізовано їх технічні характеристики та описана методика їх вибору.

**В проектно-конструкторській частині** визначено основні методи та способи охолодження напівпровідникових джерел світла. Сформульовано загальні рекомендації по збільшенню світлового потоку та світлової віддачі напівпровідникових джерел світла при одночасній стабілізації їх теплового режиму. Проаналізовано локальні та виносні системи охолодження та визначено їх переваги та недоліки. Обґрунтовано вибір термоелектричної системи охолодження та межі її застосування.

**В спеціальній частині** наведена інформація про основні параметри сучасних світлодіодних матриць з білим кольором свічення. Їх особливістю є висока питома щільність світлового потоку, що дозволяє при мінімальних витратах реалізувати як окремі світильники, так і системи освітлення різного призначення в яких би поєднувалися велика світловідача, високий ККД і зручність застосування. Конструкція світлодіодних матриць оптимізована для спрощення розробки та зниження собівартості систем освітлення. Показано, що витрати на розробку світильників, побудованих на основі світлодіодних матриць, істотно менші, від аналогічних світильників на дискретних світлодіодах.

**В частині «Обґрунтування економічної ефективності»** на основі представленої методики оцінки енергоефективності освітлення виробничих приміщень розраховано економічний ефект від заміни світильників *ЖСП-07 BOT 600* з лампою потужністю *600 Вт* (базовий варіант) на світильники *INDUSTRY LED* з світлодіодними модулями потужністю *270 Вт*. В розрахунку відображені статті витрат: матеріальних ресурсів, енергетичних ресурсів та обслуговування обладнання. Показано, що річна економія електроенергії може скласти *1250 кВт·год*, що становить 66,3% від базової установки. Показано, що світлодіодна система освітлення повертає додаткові капіталовкладення за 3,73 року. З цього часу витрати на базовий варіант перевищать додаткові капіталовкладення і почнеться пряма економія матеріальних ресурсів.

**В частині «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»** розглянуто вплив електричного струму на організм людини, причини електротравматизму на виробництві та дію електричного струму на робітників та службовців суб'єкта господарювання та забезпечення першої медичної допомоги при електротравмах. Вивчені особливості впливу інфрачервоного та електромагнітного випромінювання на організм людини.

**В частині «Екологія»** проаналізовано негативний вплив інфрачервоного та електромагнітного випромінювання на організм людини та на навколишнє середовище. Показана актуальність цієї проблеми в енергетиці та шляхи її вирішення.

**У загальних висновках до дипломної роботи** описано прийняті в роботі технічні рішення, які забезпечують підвищення енергоефективності напівпровідникових джерел світла. Дані узагальнені рекомендації щодо використання різноманітних методів та засобів охолоджувальних систем.

## ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу наукових публікацій встановлено, на сьогодні в Україні до 25-30% валових енерговитрат припадає на різні види освітлення. Масове впровадження світлодіодних засобів освітлення може скоротити цей обсяг в 6÷8 разів. Це разом з кумулятивними ефектами може спричинити зростання ВВП на 1.5÷2%.
2. Встановлено, що в сучасних напівпровідникових джерелах світла ефективність перетворення електричної енергії в світлову складає 20÷35%, інша частина енергії виділяється у вигляді тепла.
3. Встановлено, що порушення теплового режиму приводить до значного підвищення температури гетеропереходу і суттєвого зниження світловіддачі та терміну експлуатації приладу.
4. Запропонована математична теплова модель світлодіоду, яка описує вплив основних параметрів: потужності, квантової ефективності, теплового опору, температури зовнішнього середовища на тепловий режим світлодіоду. Це дозволяє керувати температурою гетеропереходу.
5. Для збільшення світлового потоку світлодіоду необхідно збільшувати величину прямого струму при одночасному зменшенні температури гетеропереходу.
6. Температура гетеропереходу світлодіода буде зменшуватися при зменшенні загального теплового опору системи охолодження і температури зовнішнього середовища. Тепловий опір можна зменшити застосовуючи активне охолодження.
7. При температурі середовища близькій до  $T_a = 85^\circ\text{C}$ , тепловий опір між гетеропереходом та середовищем близький до нуля, і адекватний тепловий режим не може бути реалізований жодною із традиційних систем охолодження окрім термоелектричної.
8. При використанні термоелектричної системи охолодження зменшенню температури гетеропереходу буде сприяти низька температура середовища і великий перепад температури між холодною і гарячою поверхнями ТЕМО.
9. Для відведення теплової енергії за межі світлодіодної лампи з щільною упаковкою потужних елементів може бути застосована радіальна система теплових трубок з'єднаних з виносним радіатором. Використання запропонованої схеми охолодження дозволить збільшити прямий струм і світловіддачу лампи.
10. Показано, що реальна температура гетеропереходу світлодіоду може відрізнитися від отриманої аналітично в бік збільшення в результаті: розігріву струмом провідності пасивних областей гетероструктури і його розтіканням по складній геометрії контактних площадок; залежності квантової ефективності світлодіода від струму і температури; температурної залежності коефіцієнтів теплопровідності матеріалів гетероструктури і конструкції світлодіода.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ**

Закордонець В.С., Кутузова Н.В., Гридовий В.М.. «Вплив термоелектричного охолодження на ефективність світлодіодних матриць»// Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 27-28 листопада 2019., м.Тернопіль. – С.35.

### **АНОТАЦІЯ**

Гридовий В.М. «Стабілізація теплового режиму напівпровідникових джерел світла термоелектричними модулями охолодження»

141 Електроенергетика електротехніка та електромеханіка. – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль, 2019.

У дипломній роботі побудовано теплову математичну модель світлодіодної матриці, яка описує вплив основних параметрів: потужності, квантової ефективності, теплового опору системи охолодження, температури зовнішнього середовища на її тепловий режим. Розраховано теплові режими світлодіодних матриць з локальним радіатором. Розраховано тепловий режим світлодіодної матриці з термоелектричним модулем охолодження (ТЕМО). Показано, що застосування ТЕМО дає можливість зменшити температуру матриці до значень нижчих ніж температура навколишнього середовища. Це особливо актуально в умовах, коли температура середовища близька до критичної температури р-п-переходу. Показано, що ефективність використання ТЕМО знижується при збільшенні потужності світлодіодної матриці, температури навколишнього середовища і сумарного теплового опору системи охолодження. Сформульовано рекомендації по збільшенню світлового потоку та світлової віддачі світлодіодної матриці при одночасній стабілізації її теплового режиму.

**Ключові слова:** НАПІВПРОВІДНИКОВІ ДЖЕРЕЛА СВІТЛА, ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, СВІТЛОДІОДНІ МАТРИЦІ, КВАНТОВА ЕФЕКТИВНІСТЬ, СВІТЛОВИЙ ПОТІК, СВІТЛОВА ВІДДАЧА, ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ, ТЕПЛОВИЙ ОПІР.

## ABSTRACT

V. Grydovyi. Stabilization of the thermal mode of semiconductor light sources by Thermoelectric Cooling Modules

141 «Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics». - Ternopil Ivan Puluj National Technical University. - Ternopil, 2019.

In the thesis the thermal mathematical model of the semiconductor light source is constructed. It describes the influence of the main parameters: power, quantum efficiency, thermal resistance, temperature of the external environment on its thermal regime. The thermal modes of LEDs with local and external radiators are calculated. The thermal mode of the LED with the thermoelectric cooling module is calculated. Recommendations for increasing the light flux and light output of semiconductor light sources with the simultaneous stabilization of their thermal regime are formulated.

**Key words:** ENERGY EFFICIENCY, SEMICONDUCTOR SOURCES OF THE LIGHT, LIGHTNING, QUANTUM EFFICIENCY, LIGHT WINDOW, LIGHT WINDOW, HEATING MODE, THERMAL OPERATION.