

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

ЛИТВИНЮК ВОЛОДИМИР ЮРІЙОВИЧ

УДК 535.621.1

**МОДЕЛЮВАННЯ СПЕКТРАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА**

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Автореферат
дипломної роботи магістра

Тернопіль
2018

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

Керівник роботи: кандидат технічних наук, доцент, кафедри світлотехніки та електротехніки
Осадца Ярослав Михайлович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Рецензент: кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації технологічних процесів та виробництв
Савків Володимир Богданович,
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Захист відбудеться 24 грудня 2018 р. о 9⁰⁰ годині на засіданні експертної комісії № 39 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46006, м. Тернопіль, вул. Микулинецька, 46а, навчальний корпус №7, ауд. 504.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми роботи. Вплив освітлення на стан та самопочуття людини пов'язаний із залежністю секреції гормонів, серцевого ритму, концентрації вітаміну D від спектрального складу і яскравості світла. Тому важливою задачею при проектуванні нових світлових приладів та освітлювальних систем є забезпечення можливості керування не тільки світлотехнічними, але і колориметричними характеристиками джерел випромінювання в залежності від факторів навколишнього середовища.

Швидкий розвиток освітлювальних пристроїв спонукає до пошуку шляхів зорієнтованих на підвищення їх енергоефективності та комфортності. Одним із способів підвищення комфортності штучного освітлення є наближення його характеристик до характеристик природного світла. Це можна забезпечити шляхом використання джерел світла змінного спектрального складу випромінювання.

Перевагами напівпровідникових джерел світла в порівнянні із іншими є: висока надійність, великий термін служби, малі габаритні розміри, для більшості випадків застосування відсутність необхідності у зовнішніх оптичних елементах, високий коефіцієнт використання світлового потоку; висока стійкість до механічних навантажень, здатність працювати в широкому діапазоні температур, екологічність, яка пов'язана із відсутністю ртуті та інших шкідливих речовин, електрична безпека; простота схем включення та керування. А велика різноманітність світлодіодів по кольору випромінювання створює передумови для їх застосування в динамічних освітлювальних системах.

Тому **актуальною** є проблема, пов'язана із створенням моделей спектральних характеристик напівпровідникових джерел світла, випромінювання яких було б максимально наближеним по колориметричним характеристикам до випромінювання природного світла.

Мета роботи: отримання спектрів джерел світла, колірні характеристики яких відповідали б денному світлу в різних його фазах із забезпеченням високого рівня кольоропередачі шляхом адитивного змішування випромінювань напівпровідникових джерел світла різних кольорів свічення.

Об'єкт дослідження: процес синтезу світла із заданими колірними характеристиками.

Предмет дослідження: колориметричні характеристики напівпровідникових джерел світла.

Методи дослідження: чисельні методи інтегрування функцій, методи апроксимації Гауссіанами, методи колориметричного розрахунку, методи оцінки кольоропередачі, методи розв'язування систем лінійних рівнянь.

Наукова новизна отриманих результатів:

- аналітично встановлені залежності, за допомогою яких можна підбирати світловий потік компонентів суміші випромінювання для забезпечення необхідних координат кольоровості;
- проведено апроксимацію функцій густини спектрального розподілу випромінювань, отриманих шляхом адитивного змішування випромінювань світлодіодів різних кольорів свічення;

- визначено кількість та спектральний склад випромінювань, при адитивному змішуванні яких можна отримати випромінювання, колориметричні характеристики якого є максимально наближеними до колориметричних характеристик денного світла в різних його фазах, при цьому індекс кольоропередачі результуючого випромінювання буде максимальним.

Практична цінність результатів дослідження:

- на основі використання спектральних характеристик напівпровідникових джерел світла виробництва Cree проведено моделювання спектрального розподілу, який відповідає значенням корельовано колірної температури денного світла: 4359, 5412, 5536 та 5580 К..

Апробація. Окремі результати роботи публікувалися у збірнику тез VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів. «Актуальні задачі сучасних технологій», Тернопіль, ТНТУ, 28-29 листопада 2018 р [41].і

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 8 частин, висновків, переліку посилань, додатків. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 115 арк. формату А4, графічна частина – 11 аркушів формату А4.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми роботи, наведено мету, задачі, об'єкт, предмет та методи досліджень.

В аналітичній частині проведено аналіз систем відображення кольорів. Розглянуто колориметричні характеристики природного світла. Визначено основні шляхи отримання білого світла із використанням світлодіодів різних кольорів свічення. Описано методи моделювання джерел світла із заданою кольоровістю.

У науково-дослідній частині на основі поставленої задачі для моделювання спектрів адитивного змішування кольорів напівпровідникових джерел світла аналітично отримано рівняння для розрахунку відношень масштабувальних коефіцієнтів. Проведено апроксимацію функцій густини спектрального розподілу отриманих випромінювань.

У технологічній частині наведено світлотехнічні та електричні характеристики досліджуваних світлодіодів. Проведено розрахунок координат кольоровості напівпровідникових джерел світла та їх колірної температури. Розраховано координати кольоровості денного світла в різних порах доби.

У проектно-конструкторській частині проведено розрахунок відношень світлових потоків світлодіодів, випромінювання яких були використані для моделювання спектральних характеристик джерел денного світла. Розраховано індекси кольоропередачі отриманих випромінювань.

1. **У спеціальній частині** для розрахунків координат кольору та кольоровості вибрано систему MATLAB. В даному пакеті розроблено програми для розрахунку координат кольоровості джерел світла та інтерполяції функцій спектральної густини випромінювання й питомих координат кольору.

У частині «Обґрунтування економічної ефективності» проведено аналіз продуктивності світлового приладу на основі напівпровідникових джерел світла в порівнянні із стандартними джерелами.

У частині «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто питання особливостей випромінювання оптичного діапазону, актуальності проблеми електробезпеки, підвищення стійкості роботи об'єктів світлотехнічної галузі у військовий час.

У частині «Екологія» наведено основні екологічні проблеми енергетики та проведено аналіз методів захисту від впливу електромагнітних полів.

У загальних висновках щодо дипломної роботи описано результати роботи по моделюванні напівпровідникових джерел світла, кольорова температура випромінювання яких дорівнює корельованій кольоровій температурі денного світла в різних його фазах.

У графічній частині подано колориметричні характеристики денного світла, спектральні характеристики досліджуваних світлодіодів, методику розрахунку відношень масштабних коефіцієнтів, моделі спектральних розподілів отриманих напівпровідникових джерел світла, гістограми індексу кольоропередачі в залежності від суміші кольорів світлодіодів, криві апроксимації спектральних характеристик сумішей випромінювання напівпровідникових джерел світла.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз систем відображення кольорів, на основі якого встановлено, що найбільш поширеною та зручною для колориметричних розрахунків є система уявних кольорів XYZ.

2. Розглянуто колориметричні характеристики природного світла. Зосереджено увагу на стандартні джерела білого світла типів A, B, C та D₆₅. Встановлено, що найбільш точніше відображають денне освітлення у різних його фазах джерела світла типу D. Необхідними вихідними даними моделювання природного світла для забезпечення необхідних колориметричних характеристик є колірна температура сонячного випромінювання протягом дня. Охарактеризовано зміну колірної температури природного світла протягом доби.

3. Визначено основні шляхи отримання білого світла із використанням світлодіодів різних кольорів свічення. Крім забезпечення необхідного рівня кольорової температури колірні характеристики джерел світла повинні забезпечувати необхідний індекс кольоропередачі. Встановлено, що найбільш оптимальним по індексу кольоропередачі є суміш випромінювань RGB світлодіодів та білого світлодіода нейтрального свічення. Описано методи моделювання джерел світла із заданою кольоровістю. Дані методи полягають в адитивному змішуванні випромінювання двох або більше джерел світла. Встановлено, що високоякісні джерела світла отримують шляхом змішування трьох і більше випромінювань.

4. Для моделювання природного світла запропоновано використання світловипромінювальних діодів різних кольорів свічення. Проведено розрахунок координат кольоровості напівпровідникових джерел світла та їх колірної температури. Розраховано координати кольоровості денного світла в різних порах доби.

5. На основі поставленої задачі для моделювання спектрів адитивного змішування кольорів напівпровідникових джерел світла аналітично отримано рівняння для розрахунку відношень масштабувальних коефіцієнтів, а отже і світлових потоків компонентів суміші випромінювань. Для розрахунків координат кольору та кольоровості вибрано систему MATLAB. В даній системі для інтерполяції кривих питомих координат кольору та спектрального розподілу використано метод лінійної інтерполяції, для реалізації якого було спеціально розроблено програму. На основі метода трапецій, розроблено програму для розрахунку координат колірності джерел світла по їх спектральному розподілу.

6. Проведено розрахунок відношень світлових потоків світлодіодів, випромінювання яких були використані для моделювання спектральних характеристик, кольорова температура яких дорівнювала кольоровій температурі денного світла в різних його фазах. Проведено перевірочний розрахунок координат кольору та кольоровості отриманих випромінювань, а також корельованої колірної температури. Встановлено, що різниця між координатами кольоровості та колірною температурою отриманих випромінювань та природного світла в різних його фазах не перевищує 0,1 %, що дозволяло вважати дане моделювання коректним.

7. Розраховано індекси кольоропередачі отриманих випромінювань. На основі результатів розрахунку встановлено, що максимального рівня кольоропередачі при моделюванні спектральних характеристик напівпровідникових джерел світла, які відтворюють денне випромінювання, можна досягти за допомогою адитивного змішування випромінювань трьох різнокольорових світлодіодів, але за умови, що один із них має бути білого кольору свічення. Індекс кольоропередачі при змішуванні випромінювань світлодіодів червоного, зеленого та синього кольорів не перевищує 23 %. При змішуванні випромінювань білого та червоного, зеленого й синього світлодіодів отримати випромінювання з вказаними колірними температурами та індексом кольоропередачі більшим, ніж 78 %, неможливо.

8. Проведено апроксимацію функцій густини спектрального розподілу отриманих випромінювань. Встановлено, що для математичного опису найбільш оптимальною є сума Гауссіанів, яка складається із чотирьох доданків.

9. Проведено техніко-економічне обґрунтування, в якому здійснено аналіз порівняння варіантів приладу, а також розроблено заходи, спрямовані на охорону праці, безпеку в надзвичайних ситуаціях та екологію.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1. . Литвинюк В.Ю. Апроксимація спектральних характеристик напівпровідникових джерел світла / В.Ю. Литвинюк, Я.М. Осадца // зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 28–29 листоп. 2018.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2018. – С. 48.

АНОТАЦІЯ

Литвинюк В.Ю. Моделювання спектральних характеристик напівпровідникових джерел світла.

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. – Тернопіль, 2018.

У дипломній роботі на основі адитивного змішування випромінювань світлодіодів різних кольорів свічення отримано спектральні характеристики випромінювань, які забезпечують отримання кольорових колірних температур денного світла в різних його фазах.

Ключові слова: СВІТЛОДІОД, КОЛІРНА ТЕМПЕРАТУРА, КООРДИНАТИ КОЛЬОРОВОСТІ, СВІТЛОВИЙ ПОТІК, ІНДЕКС КОЛЬОРОПЕРЕДАЧІ

ANNOTATION

V.Iu. Lytvyniuk. Simulation of spectral characteristics of semiconductor light sources.

141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics". – Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University - Ternopil, 2018.

In the thesis the spectral characteristics of radiations, which provide color temperatures of different phases of day lighting, are received on the basis of additive mixing of radiation of light emitting diodes of different colors of a luminescence

Keywords: LED, COLOR TEMPERATURE, COLOR COORDINATES, LIGHT FLUX, CRI.