

DOI: 10.20535/kpi-sn.2020.3.200676

УДК 628.95

Д.О. Калустова, В.І. Корнага*, О.С. Олійник, А.В. Рибалочка

Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, Київ, Україна

*corresponding author: vasyak1284@gmail.com

СИСТЕМА ГРУПОВОГО КЕРУВАННЯ СВІТЛОДІОДАМИ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ЗМІШУВАННЯ КОЛЬОРІВ

Проблематика. Розроблення нових світлодіодних систем освітлення, які побудовані на основі різних типів світлодіодів (наприклад, WW, RGB, RGBW, RGBA тощо) і які реалізують динамічну зміну колірних параметрів світла та його інтенсивності за заданими сценаріями, вимагають розроблення нових методів змішування кольорів. Необхідно перевіряти й удосконалювати ці методи в процесі їх розроблення, а також враховувати реальні аспекти застосування та різні режими живлення світлодіодів. Перевірку розроблених методів зручно проводити за допомогою спеціалізованих програм, які дають змогу отримувати й аналізувати сумарну спектральну характеристику змішаного світла на основі відомих спектральних характеристик окремих світлодіодів у довільно заданих пропорціях. Але, зрозуміло, таке теоретичне змішування кольорів не враховує залежностей фотометричних параметрів світлодіодів від режиму керування і температурних умов їх роботи, які реалізуються на практиці. Ці фактори вказують на необхідність розроблення системи групового керування світлодіодами для реалізації практичної перевірки методів змішування кольорів за допомогою супутнього спектрофотометричного обладнання.

Мета дослідження. Розроблення системи групового керування світлодіодами для дослідження методів змішування кольорів.

Методика реалізації. Завдання та контроль точності відтворення поточних значень струмів через світлодіоди в постійному та імпульсному режимах живлення.

Результати дослідження. Продемонстровано восьмиканальну систему групового керування світлодіодами, налаштування режимів роботи якої можливо здійснювати як у ручному режимі, так і за допомогою комп'ютера, що дає змогу реалізувати повну автоматизацію досліджень параметрів змішаного світла за використання додаткового спектрорадіометричного чи фотометричного обладнання. Дослідження параметрів системи показали, що використання додаткової функції автопідлаштування дало можливість значно підвищити точність встановлення діючих значень струмів живлення світлодіодів і стабільність величин вихідних струмів від напруги живлення системи.

Висновки. Розроблена система групового керування світлодіодами може бути використана для експериментальних досліджень теоретичних розрахунків моделей змішування кольорів. Результати досліджень дають змогу провести аналіз розроблених методів змішування кольорів, виконати їх удосконалення та провести практичну адаптацію до систем штучного світлодіодного освітлення, які призначені для освітлення місць роботи та відпочинку людини з урахуванням циркадного впливу на психофізичний та емоційний її стани, агропромислового освітлення для тварин та фітоосвітлення для рослин, медичного лікувального чи дезінфікуючого освітлення, освітлення об'єктів культури та мистецтв, зовнішнього вуличного та промислового освітлення.

Ключові слова: світлодіод; система керування світлодіодами; автопідлаштування.

Вступ

Стрімкий розвиток напівпровідникових технологій і прагнення до відтворення світлових середовищ із заданими параметрами привели до розроблення систем освітлення, які, крім підвищення енергоефективності, дають можливість реалізовувати динамічну зміну колірних параметрів сумарного світла та його інтенсивності, а також довільні сценарії освітлення [1]. Такі системи широко використовуються в комплексах “розумний дім”, де також можуть виконувати функції сигналізації та передавання інформації [2]. На сьогодні основними світловипромі-

нювальними елементами систем освітлення є світлодіоди, оскільки вони мають високу світлову ефективність, малі розміри, а одночасне використання двох та більше типів світлодіодів дає змогу в широкому діапазоні змінювати колірні характеристики результуючого світла комбінуванням їх яскравості [3, 4].

Системи освітлення з можливістю налаштування світлових і колірних характеристик як багатопараметричні об'єкти конструювання вимагають розроблення нових методів змішування кольорів [5], самодіагностування, передавання інформації між окремими системами та основним вузлом керування, формування адаптивних

кривих сили світла [6, 7], а також ефективного змішування світла від світлодіодів різних типів. У системі повинно бути реалізовано декілька каналів керування різними типами світлодіодів [8, 9], і, оскільки вони мають певну залежність своїх фотометричних характеристик від температурного режиму роботи та струму керування, система повинна забезпечувати високу їх стабільність чи певним чином враховувати.

Розроблення методів змішування кольорів, які визначають величини керуючих струмів для кожного окремого типу світлодіодів у системах освітлення, є одним із основних завдань при їх створенні. Вихідними даними для розрахунків результуючого світла є спектральні характеристики випромінювання окремих світлодіодів, а також визначені на їх основі координати кольорності, яскравість, індекс кольоропередачі тощо. Перевірку теоретично розроблених методів змішування кольорів досить зручно проводити за допомогою спеціалізованих програм типу “ColorCalculator” компанії OSRAM [10], які дають можливість отримувати й аналізувати сумарну спектральну характеристику випромінювання, що може складатися з декількох складових спектральних характеристик окремих світлодіодів у довільно заданих пропорціях. Але, зрозуміло, таке “ідеальне” теоретичне змішування кольорів на практиці практично не реалізується. Це відбувається насамперед через те, що воно не враховує реальних аспектів різного ступеня впливу на сумарне світло таких факторів, як залежність ефективності світлодіодів від струму керування, особливості роботи широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) [11], а також особливостей та якості реалізованого в системах освітлення тепловідведення [12]. Одним із варіантів перевірки розроблених методів змішування кольорів є їх реалізація за допомогою системи групового керування світлодіодами, яка дасть змогу провести дослідження світлових і кольорних характеристик результуючого світла при застосуванні різних типів світлодіодів за різних режимів їх живлення.

Постановка задачі

Мета роботи – розроблення системи групового керування світлодіодами, яка дає можливість задавати і контролювати діючі значення струмів через світлодіоди в постійному та імпульсному режимах живлення.

Основні результати досліджень

Розроблення восьмиканальної системи групового керування світлодіодами

Першим етапом розроблення системи групового керування світлодіодами є визначення максимальної кількості незалежних каналів керування та планування основних вузлів системи. Кількість каналів повинна забезпечити можливість зміни кольорних параметрів результуючого світла в широкому діапазоні для широкого кола задач. У найпростіших системах освітлення зі змінними спектральними характеристиками використовують 2 канали (системи з двома білими світлодіодами) [3], а більш функціональні системи освітлення використовують три чи чотири канали [4, 13, 14]. Для уникнення дефіциту каналів керування, особливо при аналізованні можливостей систем освітлення під час реалізації фітоосвітлення [15, 16], та для забезпечення широких функціональних можливостей системи групового керування світлодіодами було передбачено 8 незалежних каналів керування.

Визначення характеристик результуючого світла при дослідженні методів змішування кольорів виконується за допомогою комплексу вимірювання світлотехнічних параметрів, який складається з інтегруючої сфери, спектрофотометра та комп'ютера. Відповідно, розроблена система повинна інтегруватися в цей комплекс (рис. 1) і в системі має бути реалізовано під'єднання до комп'ютера. Основні вузли системи групового керування світлодіодами показано на блок-схемі на рис. 2.

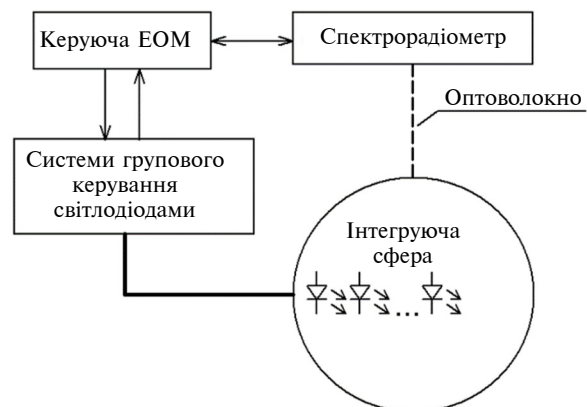


Рис. 1. Блок-схема інтеграції системи групового керування світлодіодами у вимірювальний комплекс

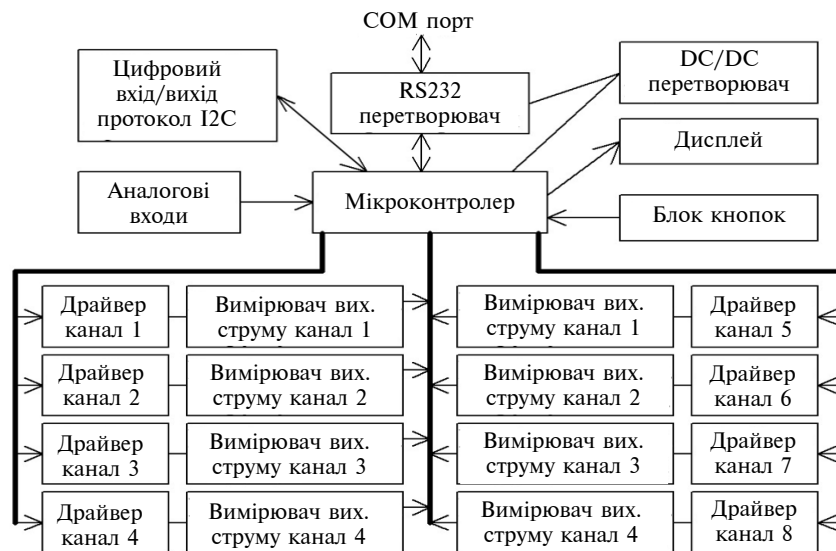
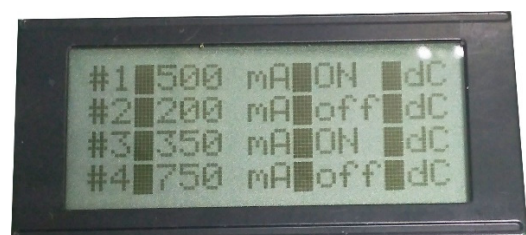


Рис. 2. Блок-схема восьмиканальної системи групового керування світлодіодами

Основним керуючим вузлом розробленої системи є 16-розрядний мікроконтролер PIC24FJ256GA106, який вибрано для досягнення максимальної швидкодії та функціональності системи. Цей мікроконтролер дає змогу генерувати вісім незалежних ШІМ-сигналів різної частоти, що використовуються в розробленій системі для керування вісьмома драйверами MBI6651. Струм на кожному з восьми каналів можна задавати у режимі як “постійного струму” (“DC”-режим), так і струму у формі ШІМ-сигналу (“PM”-режим) у діапазоні від 0 до 1000 mA з кроком 1 mA. Максимальна напруга на виході одного каналу становить 18 V. У розробленій системі передбачено можливість одночасного під’єднання зовнішніх пристроїв через використання семи аналогових входів чи двох цифрових, що працюють за протоколом I²C. Це можуть бути, наприклад, давачі температури, освітленості, вологості, колірності тощо. Автоматизація вимірювання виконується через з’єднання макета з комп’ютером за протоколом RS232, для роботи якого передбачено вузол зміни рівнів сигналів UART/RS-232. Для живлення мікроконтролера застосовується додатковий DC/DC-перетворювач, який перетворює вхідну напругу живлення драйверів 12–28 V на 3,3 V. У системі реалізований зворотній зв’язок через контроль поточного значення вихідного струму в кожному каналі, який побудований на основі спеціалізованого диференційного підсилювача INA180A1. Він у 20 разів підсилює різницю напруги на струмозадавальному резисторі, яка подається на АЦП мікроконтролера, що дає змогу

проводити до 500 тис. вимірів у секунду. Така висока швидкодія АЦП дає можливість виконувати автопідлаштування вихідного струму на 8-ми каналах одночасно. Програма коригування струму виконується на основі пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора.

Зображений на блок-схемі системи (див. рис. 1) дисплей являє собою монохроматичний рідкокристалічний дисплей, який дає змогу відображувати 4 рядки по 16 символів. Відображення інформації реалізовано у вигляді двох сторінок (рис. 3), на яких вказується: номер каналу, величина керуючих струмів (в мілі-



a



б

Рис. 3. Відображення інформації на дисплеї системи: а – перша сторінка, б – друга сторінка

амперах), індикація ввімкнення/вимкнення каналу, а також режим роботи системи ("DC" чи "PM"). Наявність дисплею розширює функціональні можливості системи, оскільки дає можливість її налаштувати без використання комп'ютера. Для цього також додатково передбачено 10 кнопок, за допомогою яких можна проводити налаштування та керування системою в процесі її автономної роботи.

Система групового керування світлодіодами реалізована у вигляді однієї друкованої плати, яка розміщена в корпусі розміром 140×145 мм (рис. 4). У правій частині корпусу знаходяться два роз'єми по 8 пінів, які дають можливість під'єднати світлодіоди з 1-го по 4-й канал та з 5-го по 8-й канал. У лівій частині корпусу розміщені роз'єми аналогових входів (синього кольору) та два цифрових порти (білого кольору). В торцевій частині корпусу розміщені роз'єми СОМ-порту та живлення, а на верхній панелі корпусу – рідкокристалічний дисплей і кнопки керування. Верхній ряд кнопок призначений для увімкнення/вимкнення каналів 1–8 (№1–8) зліва направо, а нижній ряд – кнопка увімкнення/вимкнення всіх каналів (№9) та кнопка зміни сторінок на дисплеї (№10).



Рис. 4. Розроблена система групового керування світлодіодами

Керування розробленою системою можливе як через спеціалізовані програми при підключенні до персонального комп'ютера, так і в автономному режимі без використання ПК через наявні фізичні кнопки керування. Керу-

вання при використанні ПК передбачає задавання через спеціалізовані програми значень струмів для кожного каналу та вибір каналів, які необхідно увімкнути. В автономному режимі систему можна налаштувати за допомогою наявних кнопок. Вхід у режим налаштування вихідного струму для кожного з восьми каналів реалізується трисекундним натиском кнопки з відповідним номером (№1–8). Індикацією входу системи в цей режим налаштування є миготіння значення його струму. Збільшення/зменшення величини струму реалізується кнопками №9 і №10. Налаштування режиму роботи системи ("DC" чи "PM") активується затисканням кнопки №9, що індикується миготінням крайнього правого стовпця на дисплеї (див. рис. 3). Зміна між цими двома режимами реалізується за допомогою кнопки №10. За відсутності зміни будь-яких параметрів протягом 10 с система виходить із режиму налаштування.

Дослідження параметрів системи групового керування світлодіодами

Важливою вимогою до системи групового керування світлодіодами є висока точність відтворення поточних значень струмів через світлодіоди в кожному каналі. Нами було проведено експериментальне дослідження залежностей вихідного струму від заданого його значення в режимах "DC" і "PM" з та без використання функції автопідлаштування. Вимірювання вихідного струму виконувалося за допомогою мультиметра Tectronix DMM4050. Результати проведених досліджень у діапазоні від 100 до 1000 мА та від 0 до 100 мА наведені на рис. 5 і 6 відповідно. В діапазоні вихідних струмів від 100 до 1000 мА у режимі "DC" максимальне відхилення отриманого значення струму від заданого спостерігається на значенні 100 мА і становить величину на 25 мА вищу за задане без автопідлаштування. Тобто максимальне відносне відхилення становить 25 %. Із функцією автопідлаштування максимальне відхилення від заданого значення становить 5 мА і спостерігається за значення 300 мА. Максимальне відносне відхилення при автопідлаштуванні в діапазоні сили струму від 100 до 1000 мА становить 2 %. Слід зазначити, що для режиму "PM" відповідні значення максимального відносного відхилення вимірюваних значень від заданих становлять 2 % без автопідлаштування та 1 % із ним. У діапазоні вихідних струмів від 0 до 100 мА у режимі "DC" максимальне

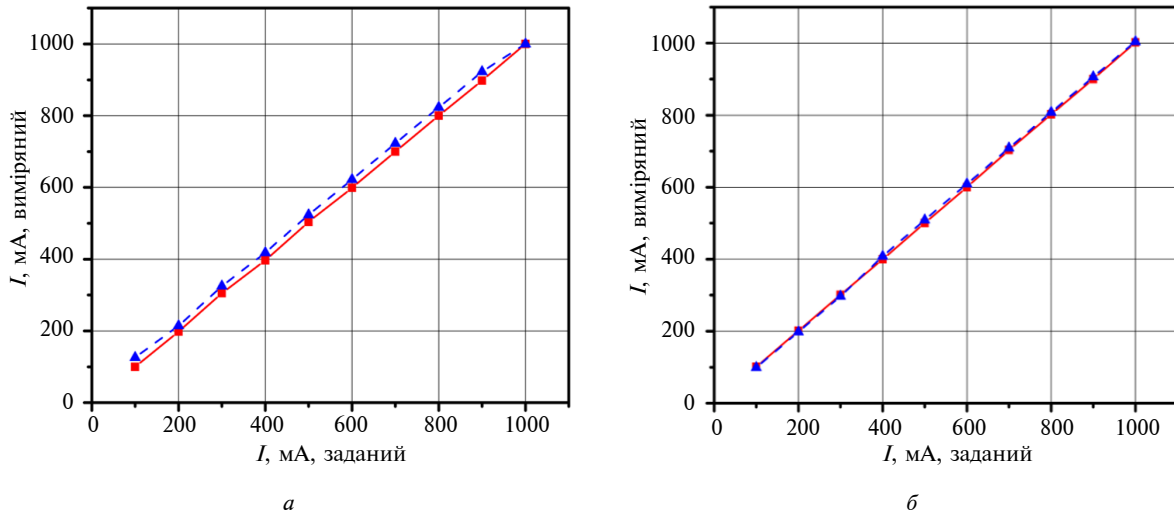


Рис. 5. Залежності вихідного струму системи від заданого в діапазоні 100–1000 мА: *a* – “DC”-режим; *б* – “PM”-режим; —■— з автопідлаштуванням, —▲— без автопідлаштування

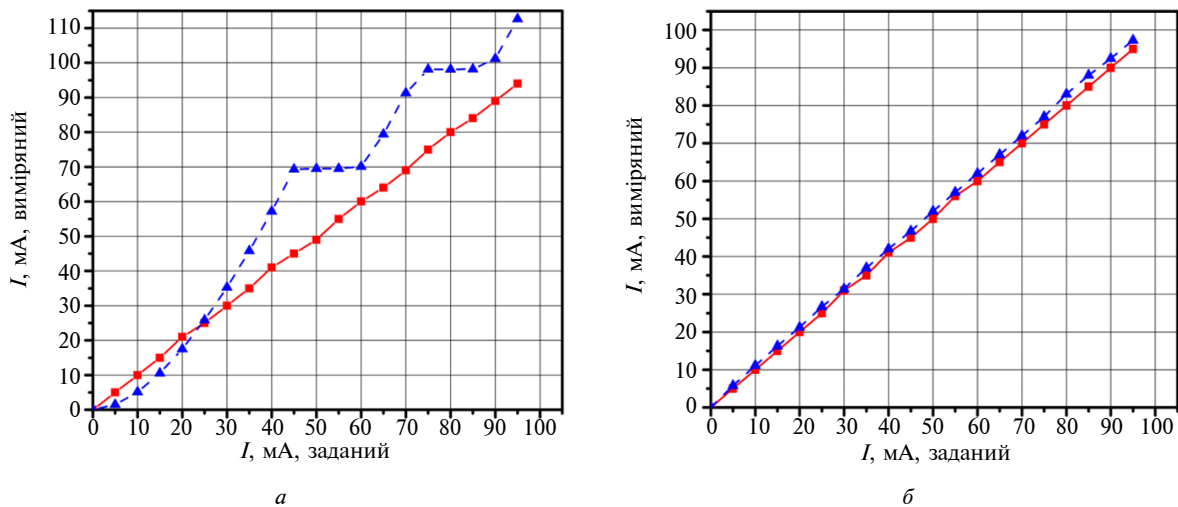


Рис. 6. Залежності вихідного струму системи від заданого в діапазоні 0–100 мА: *a* – “DC”-режим; *б* – “PM”-режим; —■— з автопідлаштуванням, —▲— без автопідлаштування

відхилення отриманого значення струму від заданого спостерігається на значенні 45 мА і становить величину на 24 мА вищу за задане без автопідлаштування, а максимальне відносне відхилення спостерігається за значення струму 5 мА і на 70 % нижче за задане. З функцією автопідлаштування максимальне відхилення від заданого значення становить 1 мА і спостерігається за значення 45 мА. Максимальне відносне відхилення при автопідлаштуванні в діапазоні сили струму від 0 до 100 мА становить близько 5 %.

Для режиму “PM” відповідні значення максимального відносного відхилення вимірних значень від заданих становлять 16 % без автопідлаштування та 3 % із ним.

Отримані залежності (див. рис. 5 і 6) показують, що в “DC”-режимі роботи системи відхилення вимірних значень струмів відносно заданих вищі, ніж у “PM”-режимі. Це може бути пояснено тим, що керуюча частота ШІМ у “DC”-режимі становить 3,3 кГц, у “PM”-режимі – 150 Гц за власної частоти драйвера 95 кГц. А це

своєю чергою призводить до більшого накопичення невідповідності діючого струму за однаковий проміжок часу для режиму з більшою тактовою частотою ШІМ, яким є “DC”-режим.

Також нами було досліджено залежність стабільності вихідного струму з та без автопідлаштування в “DC”- і “PM”-режимах від напруги живлення системи в діапазоні 12–28 В для заданого значення струму 350 мА (рис. 7). Результати цього дослідження демонструють, що без автопідлаштування значення вихідного струму перевищують задане на 15–35 мА у режимі “DC” та на 0–7 мА у режимі “PM”. При використанні функції автопідлаштування в зазначеному діапазоні напруг живлення відхилення вихідного струму від заданого становить не більше 1 мА для режиму “DC” і не більше 3 мА для режиму “PM”.

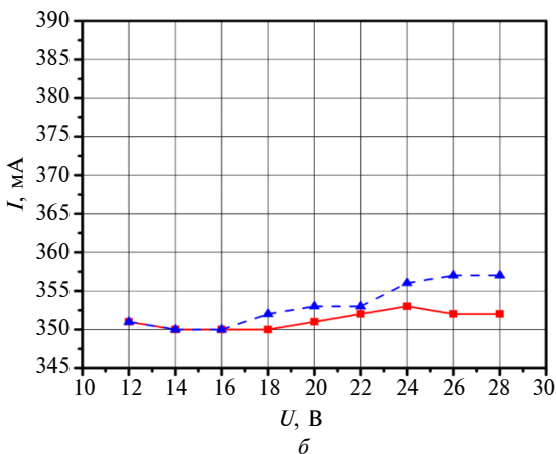
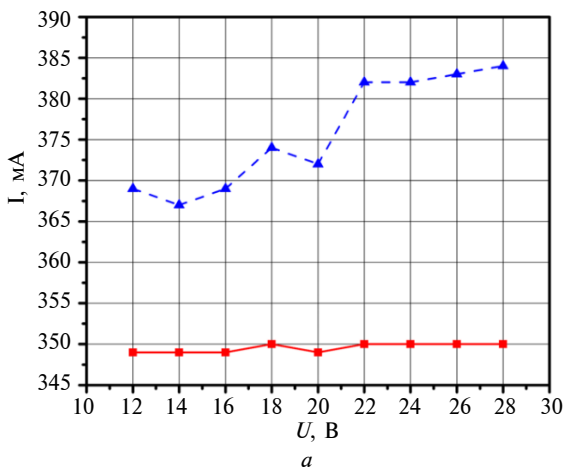


Рис. 7. Залежність струму макета від напруги живлення за заданого значення 350 мА: а – “DC”-режим; б – “PM”-режим; —■— з автопідлаштуванням, —▲— без автопідлаштування

Висновки

У роботі продемонстровано розроблену систему групового керування світлодіодами, яка дає можливість керувати 8-ми незалежними каналами живлення світлодіодів із задаванням струму в кожному каналі в діапазоні від 0 до 1000 мА з кроком 1 мА як у “DC”-, так і в “PM”-режимі. Для цієї системи реалізовані можливості керування як у ручному режимі за допомогою інтегрованих у неї елементів керування (кнопки), так і безпосередньо з персонального комп’ютера через протокол обміну даними UART.

Використання додатково розробленої функції автопідлаштування дало можливість значно підвищити точність встановлення величин струмів живлення в “DC”-режимі. Для нього максимальні відносні відхилення становили 2 % у діапазоні 100–1000 мА та 5 % у діапазоні 0–100 мА. Для “PM”-режиму максимальне відносне відхилення становило 1 % у діапазоні 100–1000 мА та 3 % у діапазоні 0–100 мА.

Продемонстровано, що функція автопідлаштування зменшує залежність значень вихідного струму як у “DC”-, так і в “PM”-режимі роботи від напруги живлення системи. В діапазоні напруг живлення системи 12–28 В за заданого вихідного струму 350 мА відхилення його значення від заданого становить не більше 1 мА для режиму “DC” та не більше 3 мА для режиму “PM”.

Подальші дослідження методів змішування кольорів при інтегруванні розробленої системи групового керування світлодіодами у вимірювальні комплекси для проведення досліджень світлотехнічних параметрів дадуть змогу провести теоретичний аналіз використаних методів їх удосконалення та розроблення нових методів змішування кольорів для різного типу систем штучного освітлення. Призначення таких систем освітлення може бути найрізноманітнішим: освітлення місць роботи та відпочинку людини з урахуванням циркадного впливу на психофізичний та емоційний її стани, агропромислове освітлення для тварин і фітоосвітлення для рослин, медичне лікувальне чи дезінфікуюче освітлення, освітлення об’єктів культури та промислове освітлення.

References

- [1] S. Tanga *et al.*, “Development of a prototype smart home intelligent lighting control architecture using sensors onboard a mobile computing system”, *Energy and Buildings*, vol. 138, no. 1, pp. 368–376, 2017. doi: 10.1016/j.enbuild.2016.12.069
- [2] V. Mayskaya, “Communication through lighting devices. Internet on a light bulb”, *Electronics: Science, Technology, Business*, vol. 7, pp. 32–36, 2010.
- [3] V.I. Kornaga *et al.*, “Color mixing models for smart lighting systems based on RGBW and WW LEDs”, *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics*, vol. 18, no. 3, pp. 302–308, 2015. doi: 10.15407/spqeo18.03.302
- [4] D. Kalustova *et al.*, “Color temperature tunable RGBW clusters with 3 control channels”, *Photonics Letters of Poland*, vol. 12, no. 1, pp. 10–12, 2020. doi: 10.4302/plp.v12i1.968
- [5] D. Kalustova *et al.*, “Red, green, blue, and white clusters for daylight reproduction”, *Optical Engineering*, vol. 59, no. 5, p. 055102-1-14, 2020. doi: 10.1117/1.OE.59.5.055102
- [6] N.V. Kobrina, “Adaptive system of the vehicle rear signal lights”, *Vehicle and Electronics. Innovative Technologies*, no. 12, pp. 82–89, 2017.
- [7] S.P. Sernov *et al.*, “Adaptive optical systems of the vehicle lighting equipment”, *Devices and Methods of Measurements*, no. 2, pp. 13–19, 2011.
- [8] A.V. Aladov *et al.*, “Polychromatic spectrally tunable LED lighting fixtures: development and application experience”, *Light & Engineering*, no. 5-6, pp. 34–39, 2013.
- [9] A.V. Aladov *et al.*, “Color Dynamic operation lamp with full color LED”, *Light & Engineering*, vol. 2, pp. 13-18, 2012.
- [10] OSRAM SYLVANIA *ColorCalculator* [Online]. Available: <https://www.osram.us/cb/tools-and-resources/applications/led-colorcalculator/index.jsp>
- [11] V.I. Kornaga *et al.*, “Investigation of visual perception of brightness of constant and impulse light signal of LEDs by human eye”, *Optoelectronic Information-Power Technologies*, vol. 1, pp. 81–87, 2014.
- [12] X. Luo *et al.*, “Experimental and numerical investigation of a microjet-based cooling system for high power”, *LEDs Heat Transfer Engineering*, vol. 29, no. 9, pp. 774–781, 2008. doi: 10.1080/01457630802053777
- [13] V.I. Kornaga *et al.*, “Algorithms and methods for automatic control of the optical characteristics of lighting systems”, *Reports BSUIR*, vol. 4, pp. 46–52, 2015.
- [14] R. Srividya and C. Pearl, “White light source towards spectrum tunable lighting – A review”, in *Proc. Int. Conf. Advances in Energy Conversion Technologies*, 2014, pp. 203–208. doi: 10.1109/ICAECT.2014.6757088
- [15] G.D. Massa *et al.*, “Plant productivity in response to LED lighting”, *HortScience*, vol. 43, pp. 1951–1956, 2008. doi: 10.21273/HORTSCI.43.7.1951
- [16] S. Devesh, “LEDs for energy efficient greenhouse lighting”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 49, pp. 139–147, 2015. doi: 10.1016/j.rser.2015.04.117

Д.А. Калустова, В.И. Корнага, А.С. Олейник, А.В. Рыбалочка

СИСТЕМА ГРУППОВОГО УПРАВЛЕНИЯ СВЕТОДИОДАМИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ СМЕШИВАНИЯ ЦВЕТОВ

Проблематика. Разработка новых светодиодных систем освещения, которые построены на основе различных типов светодиодов (например, WW, RGB, RGBW, RGBA и других) и реализуют динамическое изменение цветовых параметров света и его интенсивности по заданным сценариям, требует разработки новых методов смешивания цветов. Необходимо проверять и совершенствовать данные методы в процессе их разработки, а также учитывать реальные аспекты применения и различные режимы питания светодиодов. Проверку разработанных методов удобно проводить с помощью специализированных программ, которые позволяют получать и анализировать суммарную спектральную характеристику смешанного света на основе известных спектральных характеристик отдельных светодиодов в произвольно заданных пропорциях. Однако такое теоретическое смешивание цветов не учитывает зависимости фотометрических параметров светодиодов от режима управления и температурных условий их работы, реализуемых на практике. Эти факторы указывают на необходимость разработки системы группового управления светодиодами для осуществления практической проверки методов смешивания цветов с помощью сопутствующего спектрофотометрического оборудования.

Цель исследования. Разработка системы группового управления светодиодами для исследования методов смешивания цветов.

Методика реализации. Установление и контроль точности воспроизведения действующих значений токов через светодиоды в постоянном и импульсном режиме питания.

Результаты исследования. Продемонстрирована восьмиканальная система группового управления светодиодами, настройку режимов работы которой возможно осуществлять как в ручном режиме, так и с помощью компьютера, что позволяет реализовать полную автоматизацию исследований параметров смешанного света при использовании дополнительного спектрометрического или фотометрического оборудования. Исследования параметров системы показали, что использование дополнительной функции автоподстройки позволило значительно повысить точность установки действующих значений токов питания светодиодов и стабильность величин выходных токов от напряжения питания системы.

Выводы. Разработанная система группового управления светодиодами может быть использована для экспериментальной проверки теоретических расчетов моделей смешивания цветов. Результаты исследований позволяют провести анализ разработанных методов смешивания цветов, выполнить их усовершенствование и провести практическую адаптацию к системам искусственного светодиодного освещения, которые предназначены для освещения мест работы и отдыха человека с учетом циркадного влияния на его психофизическое и эмоциональное состояния, агропромышленного освещения для животных и фито-освещения для растений, медицинского лечебного или дезинфицирующего освещения, освещения объектов культуры и искусств, наружного уличного и промышленного освещения.

Ключевые слова: светодиод; система управление светодиодами; автоподстройка.

D.O. Kalustova, V.I. Kornaga, O.S. Oliinyk, A.V. Rybalochka

LED GROUP CONTROL SYSTEM FOR RESEARCH OF COLOR MIXING METHODS

Background. Development of new LED lighting systems, based on different types of LEDs (for example: WW, RGB, RGBW, RGBA, to name a few) and implement a dynamic change of color parameters of light and its intensity in given scenarios, requires the development of new methods of color mixing. These methods need to be tested and improved in the process of their development, as well as take into account the real aspects of application and different power supply modes of LEDs. It is convenient to check the developed methods with the help of specialized programs that allow obtaining and analyzing the total spectral characteristic of mixed light on the basis of known spectral characteristics of individual LEDs in arbitrarily given proportions. However, it is clear that such theoretical color mixing does not take into account the dependences of the photometric parameters of LEDs on the control mode and temperature conditions of their operation, which is observed in practice. These factors indicate the need to develop a group control system for LEDs to implement a practical test of color mixing methods using associated spectrophotometric equipment.

Objective. The purpose of the paper is development of a group control system for LEDs for the study of color mixing methods.

Methods. Set and control of accuracy of reproduction of current values through the LEDs in a constant and pulse power supply modes.

Results. An eight-channel system of group control of LEDs is demonstrated, which operation modes can be adjusted both manually and with the help of a computer, which allows fully automating the study of mixed light parameters using additional spectroradiometric or photometric equipment. Studies of the system parameters have shown that the use of an additional auto-tuning function has significantly increased the accuracy of setting the current values of the supply currents of LEDs and stability of the output currents from the supply voltage of the system

Conclusions. The developed system of group control of LEDs can be used for experimental research of theoretical calculations of color mixing models. The results of the research will allow us to analyze the developed methods of color mixing, to improve them and to carry out practical adaptation to artificial LED lighting systems, which are designed to illuminate workplaces and recreation, taking into account the circadian impact on psychophysical and emotional condition, agro-industrial lighting for animals and phytolighting plants, medical treatment or disinfectant lighting, lighting of cultural and artistic objects, outdoor street and industrial lighting.

Keywords: LED; LED control system; auto-tuning.

Рекомендована Радою
факультету прикладної математики
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції
10 квітня 2020 року

Прийнята до публікації
25 червня 2020 року