

УДК 628.981(045)

¹Є. В. Ковальський, асп.,
²А. Б. Зюзіна-Зінченко, асп.**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СВІТЛОДІОДІВ**

Інститут аерокосмічних систем управління НАУ, e-mail: ¹1286113@gmail.com
²a.b.zinchenko@gmail.com

Розглянуто основні параметри, що впливають на значення ефективності світлодіодів. Запропоновано методику розрахунку ефективності світлодіодів залежно від спектру їх випромінювання.

Ключові слова: світловипромінювальний діод, енергоефективність, світлова ефективність, коефіцієнт корисної дії.

Вступ. Проектування світлових приладів і систем на основі напівпровідникових джерел світла достатньо складний процес. Ринок світлодіодної продукції тепер перебуває на стадії формування і через деякий час він стане прозорим та упорядкованим, що сприятиме не тільки економічному, але й технічному прогресу. Це означає, що ефективність використання енергії стане одним з найважливіших критеріїв критичного оцінювання виробу.

Аналіз досліджень і публікацій. Пошук оптимального варіанта проектування світлових приладів та подолання проблеми енергоефективності здійснюється за допомогою фізичного і математичного моделювання. Цей підхід знайшов відображення у працях Ю. Б. Айзенберга, Ф. Е. Шуберта, А. Е. Юновича та ін.[1 – 3].

Постановка завдання. Розглянути основні втрати, що впливають на ефективність світловипромінювальних діодів, сформулювати методику розрахунку коефіцієнта корисної дії світлодіода залежно від спектру його випромінювання.

Ефективність світлодіодів. Загальна ефективність світлодіода має дві основні її складові: енергетичну та світлову. Енергетична ефективність – це відношення вихідної оптичної до вхідної електричної потужності. Енергетичні втрати у світлодіоді ілюструє рис. 1.

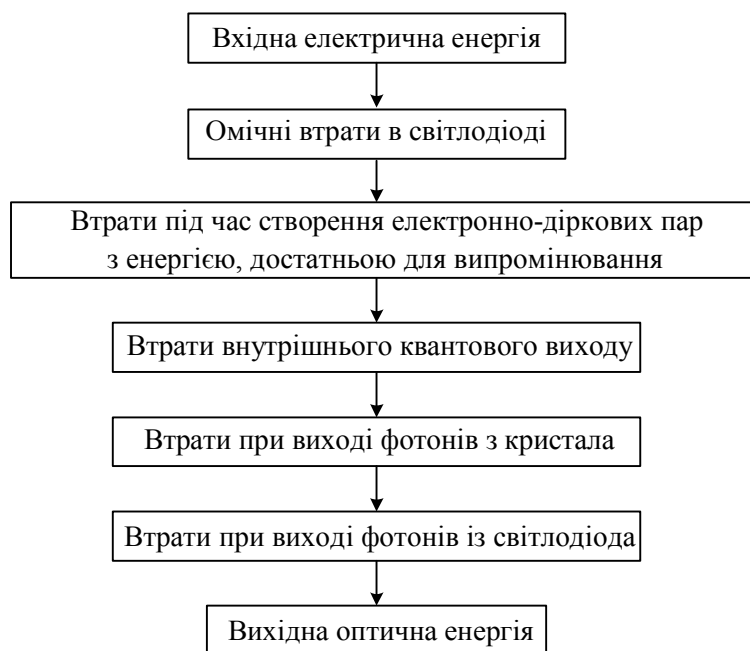


Рис. 1. Енергетичні втрати у світлодіоді

Друга складова – це світлова ефективність, вона пов'язана з поняттям зовнішнього квантового виходу випромінювання, що для ідеальних світлодіодів дорівнює одиниці. Проте в реальних світлодіодах частина фотонів все ж залишається в середині напівпровідника:

1) вони можуть бути поглинуті підкладкою світлодіода, якщо вона має здатність поглинати випромінювання відповідної довжини хвилі;

2) вони можуть зіштовхнутися з металевою поверхнею контакту і також поглинутися нею, що зумовить зниження квантового виходу.

Крім того, існує повне внутрішнє відбивання, суть якого полягає у локалізації світла в середині структури, що також знижує імовірність виходу фотонів за межі напівпровідника.

Структура світлодіода передбачає використання мікролінз з люмінофорами, тому виникає проблема, зумовлена ефективністю матеріалів, використовуваних для перетворювання довжин хвиль.

Ефективність перетворювання короткохвильового випромінювання в довгохвильове матеріалом для перетворення довжин хвиль (λ -перетворювачем) визначається двома основними факторами: зовнішнім квантовим виходом λ -перетворювача і неминучими втратами енергії в процесі перетворювання довжин хвиль.

Ці параметри відображають якість світлодіода. Без використання складних і дорогих технологічних процесів майже неможливо зробити світлодіод з високим коефіцієнтом корисної дії.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) світлодіода

$$\eta = \frac{\Phi_e}{UI}, \quad (1)$$

де UI – електрична потужність, що підводиться до світлодіода; Φ_e – потужність оптичного випромінювання, що виходить за межі світлодіода.

Потужність оптичного випромінювання залежить від світлового потоку. Світловий потік монохроматичного випромінювання визначають за формулою

$$F(\lambda) = \Phi(\lambda)K(\lambda) = 683\Phi(\lambda)V(\lambda), \quad (2)$$

де $\Phi(\lambda)$ – потужність монохроматичного променя; $K(\lambda)$ – коефіцієнт, що враховує відношення між світловим потоком та потоком випромінювання; $V(\lambda)$ – відносна спектральна чутливість ока для випромінювання з довжиною хвилі λ .

Для складного випромінювання світловий потік

$$F = 683 \int_{380}^{780} \Phi(\lambda)V(\lambda)d\lambda. \quad (3)$$

Спектральна чутливість ока – властивість ока оцінювати однакову променеву потужність різних довжин хвиль оптичного діапазону. Криву спектральної чутливості ока показано на рис. 2. Максимум цієї кривої, умовно взятий за одиницю, припадає на довжину хвилі $\lambda = 555$ нм. Вочевидь, що чутливість ока до випромінювання інших довжин хвиль буде меншою за одиницю (за однакової потужності).

Загальну світлову ефективність можна розрахувати за формулою:

$$\Phi_e = \sum [(\Phi_{e\max} \Phi_{e\lambda_i}) \Delta\lambda], \quad (4)$$

де $\Phi_{e\max}$ – максимальне значення світлової ефективності; $\Phi_{e\lambda_i}$ – оптичний спектр випромінювання, що визначає розподіл оптичної потужності в проміжку довжин хвиль, в якому випромінює світлодіод. Оптична потужність визначається площею під кривою спектру і вимірюється у ватах.

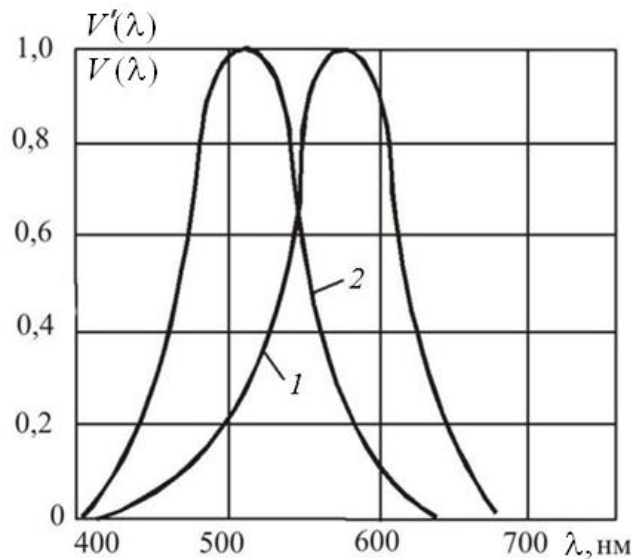


Рис. 2. Спектральна чутливість ока: 1 – для денних умов зору; 2 – для нічних умов зору
Максимальне значення світлової ефективності розраховують таким чином:

$$\Phi_{\text{emax}} = \frac{\Phi_v}{K_m \int_{380}^{780} \Phi(\lambda) V(\lambda) d\lambda}, \quad (5)$$

де K_m – це коефіцієнт, що допомагає перейти від енергетичних величин (Вт) до світлових (лм) і дорівнює 683 лм/Вт.

Таким чином, ККД світлодіода

$$\eta = \frac{\sum \left[\left(\frac{\Phi_v}{K_m \left[\sum (\Phi_{e\lambda_i} V_{\lambda_i}) \Delta\lambda \right]} \Phi_{e\lambda_i} \right) \Delta\lambda \right]}{UI}. \quad (6)$$

Методика розрахунку ККД світлодіода. Алгоритм розрахунку дає змогу виконати розрахунок ККД світлодіода за відомих значень споживаної потужності, кривої розподілення спектра випромінювання та значення світлового потоку для відповідних параметрів потужності.

За запропонованою методикою розраховано значення ККД для світлодіода Luxeon Rebel ES з кривою спектрального розподілу (рис. 3) [4].

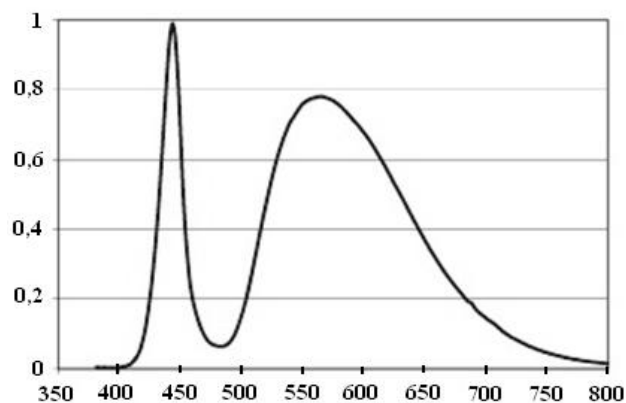


Рис. 3. Спектр випромінювання світло діода Luxeon Rebel ES

Отримані результати зображено на рис. 4.

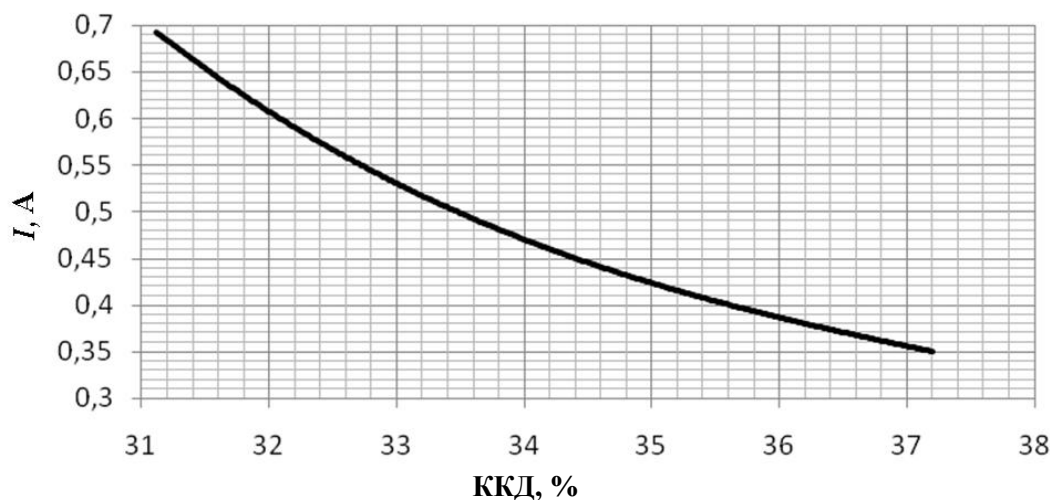


Рис. 4. Залежність ККД від струму живлення світлодіода

Висновки. Такі результати пояснюються тим, що хоч спектр випромінювання світлодіодів і залишається більш-менш стабільним (відхилення значень коливається в межах 2–3 %), проте різниця між електричною потужністю, що підводиться до світлодіода, і потужністю оптичного випромінювання, що виходить за межі світлодіода, зменшується. Ця залежність пояснюється не тільки особливостями будови світлодіода, втратами та їх складовими, але й умовами, в яких експлуатується світлодіод (температура навколишнього середовища, наявність елементів охолодження, тип друкованої плати та ін.).

Таким чином, проектуючи світлові прилади на основі світловипромінювальних діодів, необхідно приділяти особливу увагу ефективності світлодіодів як окремих важливих характеристик.

Список літератури

1. Юнович А. Э. Светодиоды как основа будущего / А. Э. Юнович // Светотехника. – 2003. – № 3. – С. 2 – 6.
2. Шуберт Ф. Светодиоды / Шуберт Ф.; пер. с англ. под ред. А. Э. Юновича. – 2-е изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
3. Коган Л. М. Полупроводниковые светодиоды: современное состояние / Л. М. Коган // Светотехника. – 2000. – № 6. – С. 11 – 15.
4. Luxeon Technical Datasheet. www.philipslumileds.com/uploads/datasheets/DS61.pdf

Е. В. Ковальский, А. Б. Зюзина-Зинченко

Исследование эффективности светодиодов

Рассмотрены основные параметры, влияющие на значения эффективности светодиодов. Предложена методика расчета эффективности светодиодов в зависимости от спектра их излучения.

E. V. Kovalskiy, A. B. Zyuzina-Zinchenko

LED efficiency research

Examined the basic parameters that affect on efficiency of LEDs. Proposed a method for calculating of the efficiency of LEDs, depending on the spectrum of their radiation.