

ГОНІОФОТОМЕТРИЧНА УСТАВА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТУЖНИХ СВІЛЛОДІОДІВ

Д.П. Зубков, Л.А. Назаренко

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова
61002, Україна, Харків, вул. Революції, 12,
тел. (057) 707-32-42, факс (057) 706-15-54,
e-mail: Lnazarenko@ksame.kharkov.ua

The goniophotometer facility is constructed at O.M. Beketov National University of Urban Economy for characterizing photometric and spectral properties of high-power LEDs in accordance to recommendations of the International Commission on Illumination. Considered in detail the design features of each part and expediency of the selected options. Described design features of the rotational block and photometer. Described the process of measuring characteristics of LED at the desired junction temperature. Showed the necessity of using small photometric sphere as diffuser and as input optics for spectrometer. The basic characteristics and sources of error when using a photometer are presented.

Вступ

В загальному бюджеті світових енергетичних витрат значна складова відноситься до освітлення, тому особливу увагу серед переваг СВД привертає висока енергоефективність. Завдяки цьому створюються сприятливі умови для інтенсивної розробки та впровадження СВД освітлення в усіх галузях життєдіяльності людини, яке забезпечить не тільки високу якість освітлення, але й збереження енергії і зменшення викидів CO₂.

СВД сильно відрізняються від традиційних джерел світла своїми розмірами, температурним режимом, спектром та просторовим розподілом випромінювання. Ці відмінності сильно впливають на результати вимірювання, що при використанні традиційних підходів веде до значних відмінностей в результатах вимірювання світлових величин. Тому, для створення загальної методики визначення фотометричних і радіометричних характеристик СВД, Міжнародною комісією з освітлення (МКО) були розроблені рекомендації щодо їх вимірювання МКО 127-2007 [1].

Нажаль, в Україні на даний момент відсутня верхня еталонна ланка в галузі вимірювань СВД, тому постає гостра необхідність у створенні еталонної бази засобів вимірювання фотометричних характеристик СВД, які будуть відповідати рекомендаціям МКО, а також необхідність розробки відповідних методик проведення калібрування засобів вимірювання та їх прив'язки до державного первинного еталону, що забезпечить єдність і необхідну точність вимірювань.

На даний момент досі залишається відкритим питання, якими характеристиками повинні володіти еталонні засоби вимірювання СВД. Для вимірювання світлового потоку СВД, – найбільш важливого світлотехнічного параметру для джерел світла, метод інтегруючої фотометричної кулі досить привабливий з огляду на швидкість. Однак, для виконання прецизійних вимірювань необхідно використовувати еталонне джерело випромінювання. Окрім того, використання гоніофотометра також не виключається, оскільки вимірювання світлорозподілу вимірюваного зразка на гоніофотометрі необхідне для розрахунку поправки на нерівномірність відбиваючої характеристики стінок кулі. Тому створення засобу вимірювання світлового потоку СВД одразу на основі гоніометричного методу виглядає найбільш доцільним.

1. Вибір типу гоніометру

Для виконання поставленого завдання серед різних типів гоніофотометрів найбільш привабливим з економічної, технічної і ергономічної точки зору

представляється пристрій з обертовим ДС та фіксованим приймачем, який виконує вимірювання в системі площин C, γ [2].

Для визначення світлового потоку по просторовому розподілу сил світла застосовується формула:

$$\Phi_v = 2\pi r^2 \sum_{\theta=0}^{\pi} E(\theta, \varphi) (\cos\theta_1 - \cos\theta_2), \quad (1)$$

де r – відстань вимірювання, E – освітленість в площині апертури приймача.

3. Розробка гоніофотометра

Згідно обраного типу була проведена робота по розробці та конструюванню гоніофотометру та супутніх систем. Результатом роботи стала гоніофотометрична устава для вимірювання потужних СВД – LGF-C-42 (LED Goniophotometer Facility); для проведення вимірювань в системі С-площин; максимальний розмір досліджуваного зразка (монтажної плати) – 42 мм).

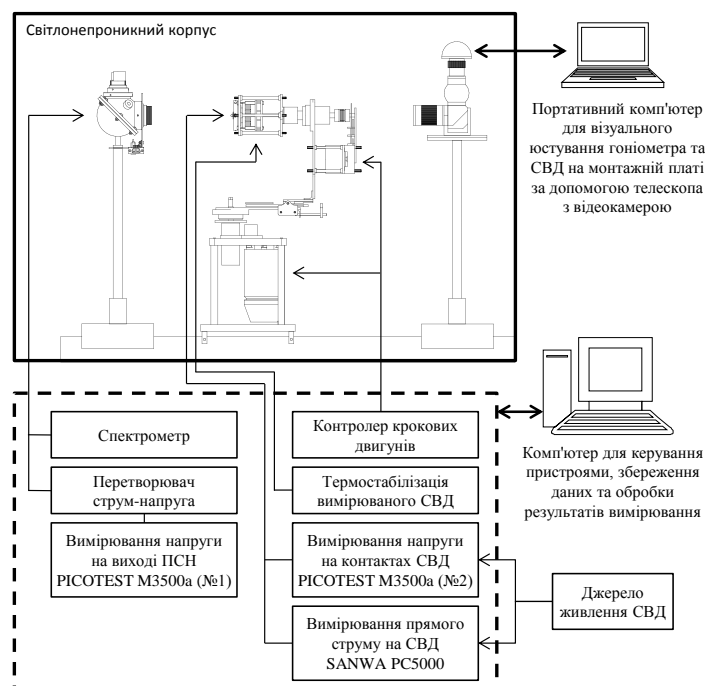


Рис. 1 Структура устави LGF-C-42.

Гоніофотометр розміщується в світлонепроникному корпусі, внутрішні поверхні якого мають мінімальний коефіцієнт відбиття для зменшення розсіяного світла. Для встановлення та вирівнювання досліджуваного зразка СВД використовується оптичний метод юстування за допомогою цифрового телескопу.

Досліджуваний зразок під час вимірювань закріплюється на термостаті. Його використання дозволяє виконувати вимірювання потужних СВД (споживана потужність яких більше 1 Вт) по методу, розробленому в NIST [3], тобто дозволяє визначати характеристики СВД, які він буде мати у кінцевому світловому приладі за реальних температурних умов. Таким чином, стає можливим встановлення і підтримання температури р-n переходу вимірюваного СВД на заданому рівні під час вимірювання світлових характеристик.

4. Фотометр

Для застосування в блоці фотометра було обрано модель фотодіоду Hamamatsu S1337-1010BQ. Згідно рекомендацій МКО [1], фотометри для вимірювання СВД

повинні мати спектральну чутливість, максимально близьку до функції $V(\lambda)$. Відповідність цій вимозі оцінюється по числу f_1' використовуваного фотометра, яке у разі вимірювання СВД має бути не вище 3%. Оскільки фотодіоди серії S1337 не скореговані під функцію $V(\lambda)$, було розраховано та виготовлено світлофільтр на основі набору кольорового оптичного скла. Розрахунок виконувався за допомогою програми для підбору фільтрів [4], при цьому показник f_1' розрахованого комплексу рівний 2,7%.

Досягти відповідності спектральній світловій ефективності $f_1' = 0$, практично неможливо, тому застосовується коефіцієнт спектральної корекції F^* [1]. Цей коефіцієнт розраховується індивідуально для кожного вимірюваного джерела випромінювання за виразом (2):

$$F^* = \frac{\int S(\lambda)V(\lambda)d\lambda}{\int S(\lambda)s_{\text{відн.}}(\lambda)d\lambda} \cdot \frac{\int S_A(\lambda)s_{\text{відн.}}(\lambda)d\lambda}{\int S_A(\lambda)V(\lambda)d\lambda}, \quad (2)$$

де $S(\lambda)$ – відносний спектральний розподіл випромінювання досліджуваного СВД;
 $S_A(\lambda)$ – відносний спектральний розподіл стандартного джерела МКО типу А;
 $V(\lambda)$ – відносна спектральна світлова ефективність;
 $s_{\text{відн.}}(\lambda)$ – відносна спектральна чутливість фотометра.

Для знаходження відносного спектрального розподілу випромінювання досліджуваного СВД використовується спектрометр з ПЗС-матрицею – AvaSpec-ULS2048L-BB-50. Згідно з рекомендаціями [1] для вимірювання спектральних характеристик СВД в якості дифузору для спектрометра може бути використана фотометрична куля з діаметром близько 50 мм. Окрім того, нерівномірність чутливості по чутливій поверхні фотометрів з фотометричною кулею в якості дифузора рівна 0,1% і менше, що в 3–5 раз краще за рівномірність чутливості кремнієвих фотодіодів найвищої якості [5]. З огляду на вищесказане, переваги використання фотометричної кулі в якості дифузора стають очевидними, тому для створення фотометра була розроблена та виготовлена така фотометрична куля (рис. 2).

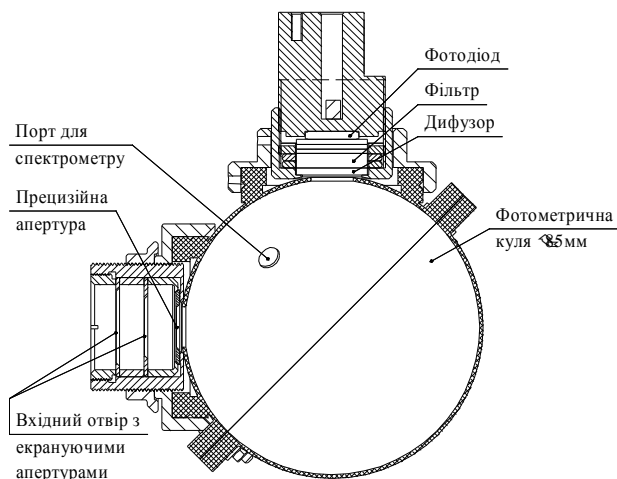


Рис. 2 Перетин фотометра з фотометричною кулею в якості дифузора.

Корпус фотометру виготовлений з двох роз'ємних половинок пустотілої пластикової кулі діаметром 85мм, внутрішня поверхня якої пофарбована фарбою на основі сірчаноокислого барію ($BaSO_4$) згідно методики, викладеній в [6]. Для під'єднання спектрометра використовується порт на бічній стінці кулі.

Вимірювання фотоструму фотометра та його підсилення виконується за допомогою перетворювача струм-напруга (ПСН), який розроблено на основі операційного підсилювача AD549JHZ. В якості опору зворотного зв'язку використовується прецизійний резистор С2-29В-1 з опором 8,25 МОм (точність номінального значення 0,5%).

Основні характеристики та джерела похибок при застосуванні розробленого фотометра визначались у відповідності до технічного звіту МКО 69-1987 [7], та зведені в Таблицю 1.

Таблиця 1. Характеристики розробленого фотометру

№	Характеристика	Символ	Значення
1	Невідповідність спектральній світловій ефективності	f'_1	2,7%
2	Реакція на ультрафіолетове випромінення	u	0,2%
3	Реакція на інфрачервоне випромінення	r	0,2%
4	Кутова чутливість фотометра	f_2	1,5%
5	Нелінійність фотометра	f_3	0,2%
6	Температурний коефіцієнт (залежність результатів вимірювання від температури)	α	0,012%/°C
7	Вплив втомлюваності приймача	f_5	0,146%
8	Вплив модульованого світла	f_7	0,1%
9	Вплив поляризації	f_8	2%
10	Нерівномірність чутливості по поверхні вхідного отвору з апертурою	f_9	0,1%
11	Невизначеність калібрування фотометра по освітленості	U (k=2)	1,4%

Для автоматизації керування процесом вимірювання було розроблено відповідне програмне забезпечення. Процес вимірювання СВД виконується автоматично. По закінченню вимірювання результати можна зберегти у вигляді протоколу вимірювання або у вигляді електронної таблиці у форматі *.csv, де містяться значення сил світла у відповідних напрямках. Також є можливість зберегти результати вимірювання у форматі IESNA 2002, які в подальшому можна використовувати в таких програмах для моделювання освітлювальних приладів, як, наприклад, Photopia, Zemax чи TracePro.

Список літератури

1. Measurement of LEDs : CIE 127-2007. — [2nd edition]. — s.l.: s.n., 2007. — 38 с. — ISBN 978 3 901 906 58 9.
2. Зубков Д.П. Гониометрический метод измерения излучения светодиодов / Зубков Д. П. // Світлотехніка та електроенергетика. — №4. — 2011. — С. 30-37.
3. Y. Zong, Y. Ohno. New practical method for measurement of high-power LEDs : CIE Expert Symposium 2008 on Advances in Photometry and Colorimetry / CIE x033:2008. — Turin, 2008.
4. Назаренко Л.А. Програмне забезпечення для розрахунку світлофільтрів / Л.А. Назаренко, С.А. Рева, М. В. Гур'єв // Світлотехніка та електроенергетика. — №3. — 2012. — С. 12-15.
5. Optical Radiometry. Experimental Methods in the Physical Sciences / Edited by Albert C. Parr, Raju U. Datla and James L. Gardner — 1 edition — San Diego: Academic Press, 2005. — Volume 41 — 586 с. — ISBN: 978-0-12-475988-6.
6. Лампы электрические. Методы измерения электрических и световых параметров : ГОСТ 17616-82. — [Действует с 01.01.83] — М: Издательство стандартов, 1983. — 50 с.
7. Methods of Characterising Illuminance Meters and Luminance Meters. Performance, characteristics and specifications : CIE 69-1987. — s.l.: s.n., 1987. — 43 с. — ISBN 978 3 900734 04 6.