

## МОДЕРНИЗАЦИЯ НА КЪЛБОВ ФОТОМЕТЪР С ЦИФРОВИ ФОТОСЕНЗОРИ

**Красимир Велинов, Венко Войводов**

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, E-mail: [candela@mail.bg](mailto:candela@mail.bg) <http://lighting-bg.eu/>

**РЕЗЮМЕ.** В доклада се описва фотометър на Ulbricht за измерване на светлинния поток на светлинни източници и осветители, който е построен в МГУ "Св. Иван Рилски" като се използват 12 цифрови фотоприемника, инсталирани по повърхността на сферата. Сензорите са микропроцесорни устройства с вградени 16-битови АЦП. Към системата е включен измервател на мощност HM8115-2. Разработен е специализиран софтуер под DELPHI, който управлява измервателната система и генерира протоколи от измерванията.

### MODERNIZATION OF ULBRICHT PHOTOMETER WITH DIGITAL PHOTO SENSOR

*Krassimir Velinov, Venko Voivodov*

*University of mining and geology "ST. IVAN RILSKI" E-mail: [candela@mail.bg](mailto:candela@mail.bg) <http://lighting-bg.eu/>*

**ABSTRACT.** The report describes the Ulbricht sphere in measuring the luminous flux of light sources and luminaires, which was built in UMG "St. Ivan Rilski" using 12 digital photosensor installed on the surface of the sphere. Sensors are microprocessor-based devices with integrated 16-bit ADC. system is connected to a power meter HM8115-2. specialized software has been developed under DELPHI, which controls the measurement system and generates reports of measurements.

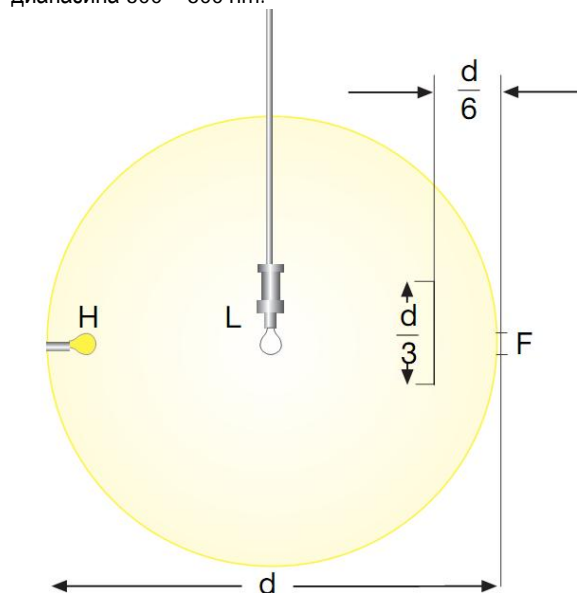
Keywords: Optimization, LED, luminaire, light distribution

### Въведение

Измерването на светлинния поток на източници на светлина може да се извърши по два метода – абсолютен и относителен. Първият метод използва разпределителен фотометър и позволява измерването на светлинния поток с висока точност [1]. За бързо провеждане на измерването се използва и относителен метод – чрез кълбов фотометър. При него трябва да разполагаме с еталонен източник на светлинния поток.

Кълбовият фотометър представлява куха сфера, чиято вътрешна повърхност е покрита с дифузно отразяващ материал. Светлинният източник /L/ е монтиран вътре във фотометъра (Фиг. 1). Светлината, многократно отразявана от вътрешността на сферата, се регистрира през отвор /O/ с луксметър. За предпазване на фотоелемента на луксметъра от пряката светлина на лампата, пред нея се монтира екран /K/. При тези условия осветеността /E/ на отвора /O/ е пропорционална на излъчения светлинния поток от източника. Решаващ фактор е максималният размер на източника на светлина, който ще се измерва. Колкото по-голям източник на светлина, толкова по-голяма трябва да бъде интегрираща сфера, за да се сведат до минимум грешките при измерването. Сферата е боядисана от вътре с бяла боя, която дифузно отразява светлината. Изискванията към боята са да бъде с висок коефициент на отражение в широк четотен обхват – ултравиолетовата, видимата и инфрачервената зона от спектъра и да отразява дифузно светлината. Съществуват много материали, които да отговарят на тези качества, но най-разпространен е прах от бариев сулфат разтворен в поливинилалкохол. При многократно нанасяне на тънки

слоеве с този материал може да се получи коефициент на дифузно отражение – 0.98, при това запазващ се в диапазона 300 – 800 nm.



Фиг. 1.

Въз основа на принципа на многократно дифузно отражение, интегрираща сфера се използва за измерване на светлинния поток от външен или вътрешен източник на радиация.

### Теория на кълбов фотометър.

Светлинният източник във вътрешността на кълбого осветява вътрешната му повърхност. Осветеността на

всеки елемент от повърхността на кълбовия фотометър  $E$  може да се раздели на две съставящи:

$$E = E_g + E_0,$$

където  $E_g$  е осветеността, създадена непосредствено от светлинния източник,  $E_0$  – осветеността, създадена в резултат на многократните отражения на светлинния поток от стените на сферата.



Фиг. 2. Общ изглед на кълбовия фотометър

Осветеността  $E_g$  може да се изчисли чрез закона на квадратичното отдалечение, т.е. зависи от светлоразпределителната крива и местоположението на светлинния източник. Големината на осветеността  $E_0$  се определя с израза:

$$E_0 = \frac{\rho\Phi}{(1-\rho)4\pi R^2}, \quad (1)$$

където  $\Phi$  е излъченият от източника светлинен поток;  
 $\rho$  - коефициент на отражение на вътрешната повърхност на сферата;  
 $R$  - радиусът на сферата.

В резултат на многократните отражения на светлинния поток, от уравнението се вижда, че осветеността зависи от потока, излъчен от светлинния източник, размерите и коефициента на отражение на кълбовия фотометър, а не от местоположението на светлинния източник.

За определяне на светлинния поток на изследвания светлинен източник се извършват две измервания на осветеността  $E_0$ . Първоначално в сферата се поставя еталон с известен светлинен поток и се измерва осветеността. След това в сферата се поставя изследваният светлинен източник и се измерва осветеността. Съвместното решаване на уравненията за двете осветености:

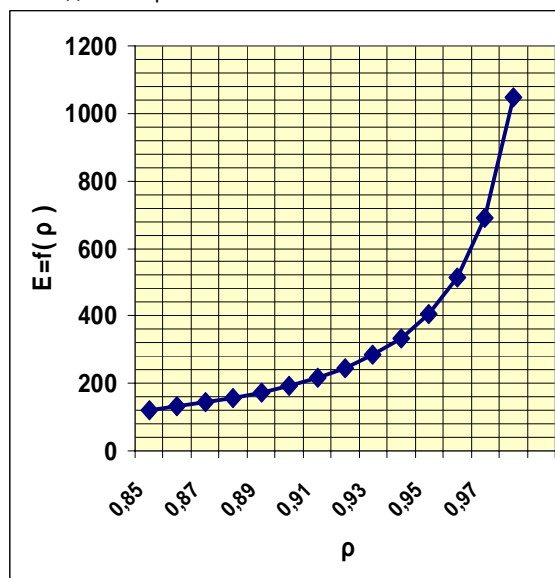
$$E_{0em.} = \frac{\rho\Phi_{em}}{(1-\rho)\pi R^2} \quad \text{и} \quad E_{0изсл.} = \frac{\rho\Phi_{изсл.}}{(1-\rho)\pi R^2}$$

дава възможност да се определи светлинния поток на изследвания светлинен източник.

$$\Phi_{изсл.} = \Phi_{em.} \frac{E_{0изсл.}}{E_{0em.}}. \quad (2)$$

В зависимост от светлината, която излъчват светлинните източници (насочена, разсеяна), позицията на фотодетекторните елементи, екраните и размера на сферата, интегриращите сфери могат да бъдат конфигурирани за редица приложения.

В НИЛ „Осветителна техника“ към МГУ „Св. Иван Рилски“ от дълги години има изграден със собствени усилия кълбов фотометър с диаметър на сферата – 2м. Като еталонен източник на светлина се използва нажежаема лампа с мощност 100W, която периодично се калибрира в Български институт по метрология, сектор „Оптични измервания“. Точността на измерването зависи от съотношението на размерите на кълбото към тези на светлинния източник и от коефициента на отражение на покритието. Колкото по-висок е той, толкова по-равномерно се разпределя светлинния поток и точността е по-висока. От (1) като се знае диаметърът на кълбото, светлинния поток на еталонния източник и измерената осветеност може да се изчисли коефициента на отражение на покритието. На фиг. 3 е показана тази зависимост за кълбо с диаметър 2м и наличния еталон.

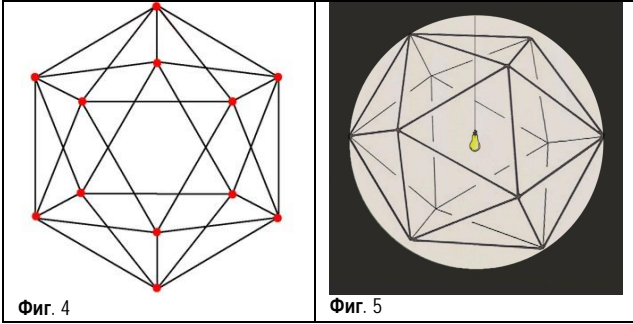


Фиг. 3

От графиката и измерената осветеност се установява, че средната стойност на коефициента на отражение на кълбовия фотометър е 0.93. Това е сравнително ниска стойност, поради което се препоръчва преобядисването му. При ниски стойности на коефициента на отражение и измерване на осветители с насочено излъчване може да се получи неравномерно разпределение на осветеността в кълбото. Това увеличава грешката при измерването.

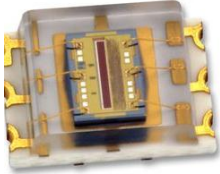
С оглед увеличаване на точността на измерванията бяха направени изменения и подобрения на съществуващия кълбов фотометър, като целта беше да се намали грешката при измерване на светлинния поток (грешка от не добро отражение на вътрешната повърхност на сферата). За целта броят на фотосензорите се увеличи от един на дванадесет – по шест във всяка половина на кълбото.

Фотосензорите са разположени във формата на вписан икосаедър – фиг.4 и фиг.5.



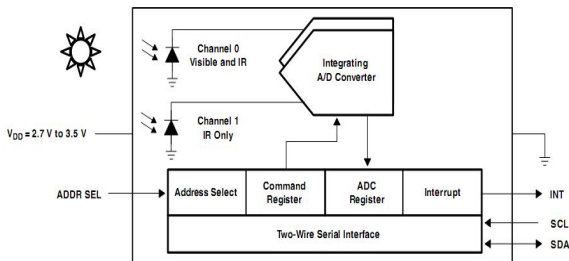
Фиг. 4

Фиг. 5



Фиг.6а. Външен вид на фотоприемника

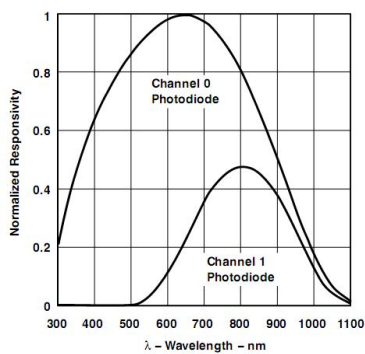
Като фотосензори са използвани TSL2561. Те представляват микропроцесорни прибори с вградени 16 разрядни АЦП и вграден програмируем предусилвател на 16 [3] (Фиг. 6).



Фиг. 8б. Вътрешна структура на фотоприемника

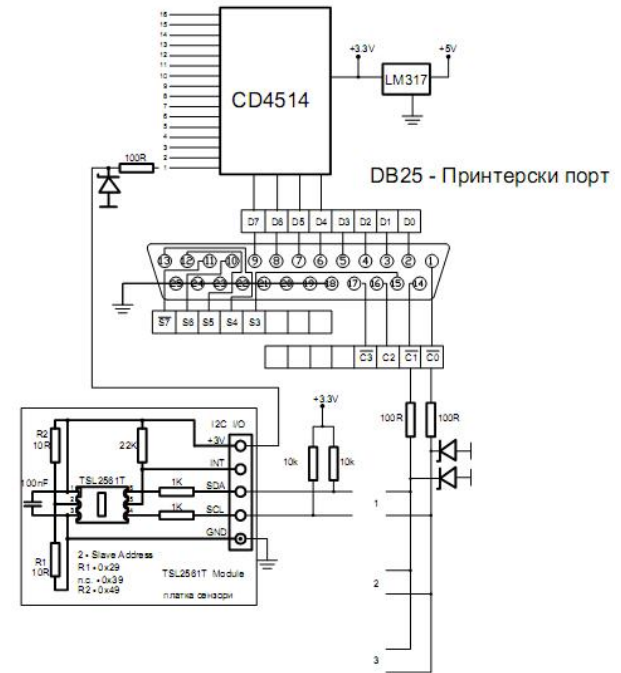
Всеки сензор за осветеност съдържа два канала с аналогово-цифров преобразувател, който интегрира тока от два фотодиода. Коммуникацията с устройството се осъществява чрез стандартна, двупроводна линия по I<sup>2</sup>C серийна шина. Всяко устройство съчетава един фотодиод с широк спектрален диапазон (видима плюс инфрачервена светлина) и един инфрачервен фотодиод върху CMOS интегрална схема способни да осигурят спектрална чувствителност близка до човешкото око с ефективен 20-битов динамичен обхват (16-битова резолюция) (фиг. 7). От тези два цифрови сигнала може да се получи осветеността в луксове чрез емпирична формула, която осигурява спектрална чувствителност близка до тази на човешкото око.

За измерване на цветната температура и цветните координати на светлината в сферата допълнително е монтиран RGB сензор описан в [4].



Фиг. 7. Спектрална чувствителност за всеки от двата канала

Схемата за управление е показана на фиг. 8. Тя е максимално упростена чрез използване на паралелния порт на компютъра.



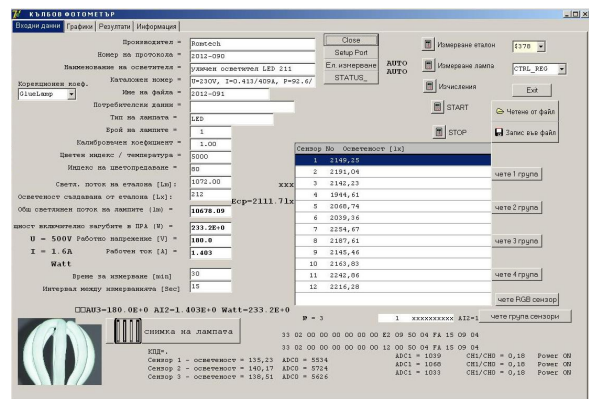
Фиг. 8. Принципа електрическа схема

За да се контролират електрическите параметри на осветителите по време на измерването се използва лабораторния измервател на мощност NM-8115-2 (фиг. 9). Той позволява измерването на напрежение, ток, активна и реактивна мощност, като управлението на уреда може да се извърши от компютър и резултатите да се получат по вградения интерфейс [5].



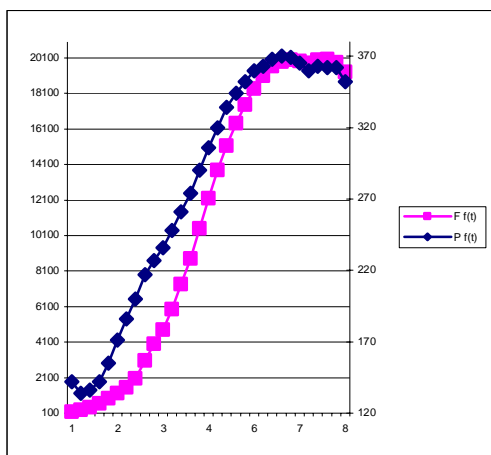
Фиг.9

За извършване на измерванията и обработката на измерените стойности е създаден подходящ софтуер. Програмите са написани на DELPHI. На фиг. 10. е показан екрана за управление на измерванията.

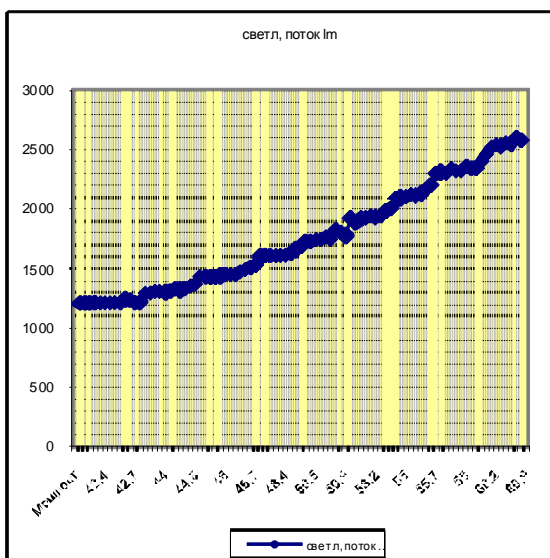


Фиг.10

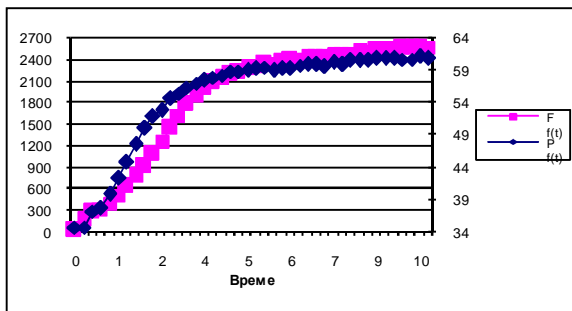
Стойностите на напрежението –  $U$ , тока –  $I$ , активната мощност –  $P$  и светлинния поток –  $\Phi$  се отчитат през 15 секунди. На фиг. 11 – 14 са показани резултатите от измерванията, осъществени с горната постановка.



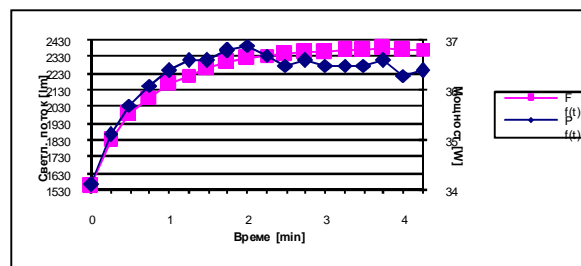
Фиг.11. Промяна на светлинния поток и мощността на живачна лампа 400W след включване на лампата



Фиг.12. Характеристика на димиране на НЛВН 70W



Фиг.13. Промяна на светлинния поток и мощността на НЛВН 70W след включване на лампата



Фиг.14. Промяна на светлинния поток и мощността на компактна луминисцентна лампа 35W след включване на лампата

## Изводи

1. С помощта на големия брой сензори беше отчетено отклонение на осветеността на отделните сензори до 20% от средната стойност при използване на източник на светлина с насочено излъчване. При стандартната схема на измерване това би могло да доведе до грешка от 20%. С използването на голям брой сензори тази грешка се минимизира.

2. Използването на натриеви лампи с малка мощност (50 и 70W) в режим на димиране не е целесъобразно. От фиг. 12. се установява, че за да се намали светлинния поток на 50% от номиналния, трябва да се подаде 73% от номиналната мощност.

## Литература

- [1] Велинов К, Модернизация на гониофотометър с голям брой цифрови фотосензори, Научна сесия на МГУ "Св. Иван Рилски", 19-20.10.2011. Годишник на МГУ "Св. Иван Рилски", 2011 г.
- [2] БДС EN 13032-1,2:2005, Светлина и осветление. Измерване и представяне на фотометрични данни на лампи и осветители.
- [3] Texas Advanced Optoelectronic Solutions Inc., TSL2561, LIGHT-TO-DIGITAL CONVERTER
- [4] Велинов К, Измерване на цветни координати и цветна температура с RGB сензор, III научна конференция ЕФ 2011
- [5] Hameg HM8115-2, Programmable AC Power Meter, <http://www.testequipmentdepot.com/hameg/powersupplies/hm81152.htm>