

УДК 628.9

*Розглядаються основні принципи проектування фотометра, здатного за співвідношенням RGB компонент досліджуваного випромінювання ідентифікувати джерело світла. Особливістю приладу є також можливість розрахунку світлових величин в присмерковому діапазоні функціонування зорового апарату*

*Ключові слова: фотометр, світлові величини*

*Рассматриваются основные принципы проектирования фотометра, способного по соотношению RGB компонент исследуемого излучения идентифицировать источник света. Особенностью прибора является также возможность расчета световых величин в сумеречном диапазоне функционирования зрительного аппарата*

*Ключевые слова: фотометр, световые величины*

*Basic principles of photometer planning, capable on correlation of RGB components of the probed radiation to identify the light source are examined. The device feature is also possibility of light quantities calculation in the twilight range of visual functionality*

*Key words: photometer, light quantities*

## КОНЦЕПЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ФОТОМЕТРА

**А. А. Серобаба**

Инженер

Кафедра Светотехники и источников света  
Харьковская национальная академия городского  
хозяйства

ул. Революции, 12, м. Харьков, 61002

Контактный тел.: 066-362-67-42

E-mail: A.Serobaba@gmail.com

Затраты энергии на освещение составляют значительную часть общего энергопотребления современного общества. Установленные нормы освещения позволяют обеспечить баланс расхода электроэнергии и качества световой среды. Задача определения и контроля светоэнергетических параметров является актуальной в связи с бурным развитием светотехнического оборудования, внедрением в эксплуатацию новых видов источников света, ужесточением норм определения параметров световой среды. Основными такими параметрами являются: освещенность, коррелированная цветовая температура, индекс цветопередачи и коэффициент пульсации. Для обеспечения энергетической и световой эффективности освещения необходимо обеспечить возможность точных измерений вышеперечисленных параметров [1].

Теория световых измерений является хорошо разработанной, а выпуск современных средств измерений световых величин обеспечен методически и не имеет ограничений в части использования последних достижений электроники. Качественный скачок светоизмерительного приборостроения был сделан в начале 90-х XX века как ведущими фирмами «LMT» (Германия) и «Minolta» (Япония), так и предприятиями постсоветского пространства «ТКА» (Россия) и «Тензор» (Украина). Обновление элементной база позволило существенно уменьшить инструментальную составляющую погрешности. В качестве прием-

ника оптического излучения современных приборов для измерения световых параметров применяются кремниевые прецизионные фотодиоды типа ФД 288 и серии S (Hamamatsu), обеспечивающие временную и температурную стабильность характеристик.

Как известно, ток фотодиода пропорционален облученности его активной поверхности и зависит от спектральных характеристик излучения и приемника. Измерения в световой системе величин подразумевают соответствие спектральной чувствительности прибора  $S(\lambda)$  и относительной спектральной световой эффективности излучения  $V(\lambda)$ . Отметим, что существует также ряд требований к геометрическим характеристикам прибора, в частности необходимость косинусной коррекции реакции приемника для люксметра, ограничение угла зрения для яркомера, но эти вопросы выходят за рамки данной статьи.

Согласно требованиям нормативных документов МКО [2,3], суммарная инструментальная погрешность прецизионных лабораторных фотометров должна иметь значение менее 3%, а для приборов, применяемых в технических измерениях не более 5-7%. Наиболее ответственным звеном, вносящим наибольшую погрешность, является спектральная чувствительность приёмников оптического излучения. Методы коррекции спектральной чувствительности фотометрической головки прибора под  $V(\lambda)$  заключаются в

расположении набора корректирующих светофильтров перед приемником.

Предлагаемые теоретические и экспериментальные исследования методов воспроизведения спектральной чувствительности позволяют на новом уровне оценить погрешность определения поправочного коэффициента фотометра, тем самым снизив погрешность, вызываемую спектральной чувствительностью приёмников оптического излучения.

Существенным отличием от классической конструкции является использование интегрированного датчика, оценивающего RGB компоненты излучения (1). Спектральное распределение энергии различных типов источников света известно и варьируется в достаточно узких пределах.

$$r_s = K_r \int_{380}^{780} S(\lambda) \cdot r(\lambda) d\lambda$$

$$g_s = K_g \int_{380}^{780} S(\lambda) \cdot g(\lambda) d\lambda$$

$$b_s = K_b \int_{380}^{780} S(\lambda) \cdot b(\lambda) d\lambda$$
(1)

где  $r(\lambda), g(\lambda), b(\lambda)$  – спектральные чувствительности фотоприемников датчика,  $K_r, K_g, K_b$  - коэффициенты усиления фотоприемников датчика.

Для уменьшения погрешности коррекции спектральной чувствительности фотометрической головки вводят поправочный коэффициент фотометра, который определяется теоретически для различных источников света. Следовательно, каждый источник может быть идентифицирован по отношению RGB составляющих исследуемого излучения, а в алгоритме пересчета будет учитываться соответствующий поправочный коэффициент.

Особое внимание уделено элементной базе проектирования фотометра. Интеграция и миниатюризация – требования, предъявляемые современным производством для создания эффективного и в тоже время простого по конструкции прибора. Размеры элементов позволяют разместить их в корпусе фотометрической головки. Структурная схема исполнения прибора приведены на рис. 1.

онного усилителя, преобразователя ток-напряжение с логарифмической зависимостью и температурной компенсации. Возможен и классический вариант – применение кремниевых прецизионных фотодиодов типа ФД 288 или серии Hamamatsu, для чего на плате предусмотрены дополнительные посадочные места.

Аналогово-цифровой преобразователь имеет разрешение 16 бит и включает в себя встроенный высокоточный источник опорного напряжения, что позволило добиться приемлемой дискретизации сигнала. Встроенная схема цифрового управления входным масштабированием позволяет снизить погрешность при малых уровнях сигнала. Выходной интерфейс преобразователя – цифровой, что позволяет избежать появления шумов и потерь при передаче сигнала от фотометрической головки к основному блоку.

Оценка смещения и нелинейности характеристик элементов оценивается на этапе калибровки фотометрической головки и учитывается введением корректирующих коэффициентов. Эти коэффициенты записываются в энергонезависимую память EEPROM.

Задачей основного блока является контроль шины I2C, в составе которой он выступает ведомым устройством, математическая обработка полученного сигнала фотометрической головки, индикация результата измерений на жидкокристаллическом экране, обеспечение интерфейса USB для передачи результатов измерений в память ПК или RS-485 для стыковки с измерительной системой.

Остановимся подробнее на математической обработке результатов.

При уровнях освещенности более 30 лк расчет проводится по стандартной методике. В условиях более низкой яркости адаптации спектральная эффективность излучения претерпевает значительных изменений. В последнее время этот вопрос активно развивается [4,5]. Показана целесообразность использования вместо  $V(\lambda)$  модифицированную функцию  $V(\lambda)_{mes}$ , определяющую действительную эффективность излучения при яркости адаптации менее 10 кд/м<sup>2</sup>. В рассматриваемой концепции реализована обработка выходного сигнала фотоэлемента, которая эквивалентна учету перестроения функций эффективности излучения для зрения человека. Расчет  $V(\lambda)_{mes}$  производится на основе MOVE-модели по методике с использованием S/P фактора ( $x$ ), ввиду наиболее эффективного и простого алгоритма. S/P фактор ( $x$ ) – это отношение

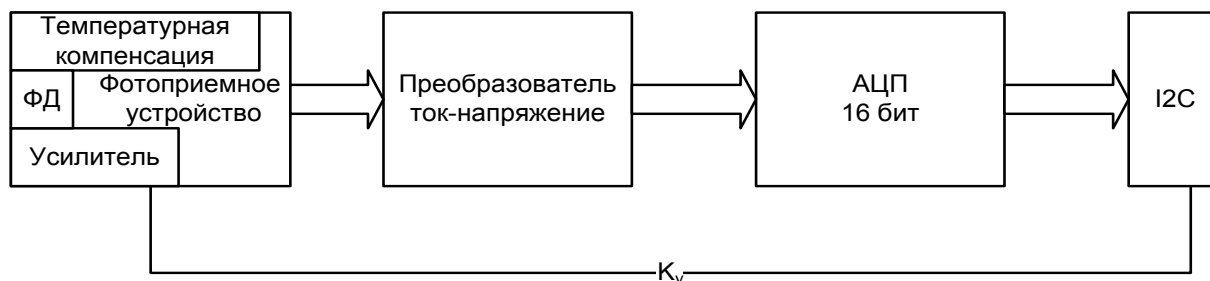


Рис. 1 Структурная схема фотометрической головки

В качестве главного фотоприемного устройства выбран датчик APDS 9series фирмы AVAGO. Его особенностью является наличие встроенного операци-

онных приемников, скорректированных под  $V(\lambda)$  и  $V'(\lambda)$  функции эффективности излучения для дневного и ночного зрения соответственно.

MOVE-модель имеет вид:

$$M(x)V_{mes}(\lambda) = xV(\lambda) + (1-x)V'(\lambda), \quad (2)$$

где

$$x = 1,49 + 0,2821gI_m(x, L, L'), \quad (3)$$

$$I_m(x, L, L') = \frac{L_m(x)}{K(x)} = \frac{V_{mes}(\lambda_0, x)}{683} L_{ek}(x), \quad (4)$$

где  $M(x)$  - функция нормализации, которая обеспечивает значение максимума  $V_{mes}(\lambda)$  единице. Сам параметр  $x$  определяется методом итераций для исследуемого уровня яркости и спектрального состава излучения. Для определения  $x$  методом итераций необходимо определить реакции приемников с чувствительностью  $V(\lambda)$  и  $V'(\lambda)$ .  $I_m(x)$  определяется как отношение  $L_m(x)$  к  $K(x)$ , где  $L_m(x)$  сумеречная яркость (рассчитанная по  $V_{mes}(\lambda)$  и  $K(x)$ ) - максимальная спектральная световая эффективность, которая принимает значение 683 при  $\lambda_0 = 555$  нм и условиях адаптации к дневному зрению.

Еще одним важным параметром световой среды является коэффициент пульсации. Излучение источников света обычно сопровождается пульсациями с частотой в два раза превышающую частоту сети. При работе с быстро движущимися объектами пульсации могут проявляться в образовании стробоскопического эффекта.

Поскольку результаты измерений постоянно находятся и обновляются в оперативной памяти микропроцессора основного блока с частотой более 1 кГц, расчет коэффициента пульсации не представляет проблем. Выражение для расчета имеет вид:

$$K_p = \frac{E_{max} - E_{min}}{2E} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где  $E_{max}$ ,  $E_{min}$ ,  $E$  - соответственно максимальное, минимальное и среднее значения освещенности.

Поскольку выборка за один период достаточно большая, над результатами измерений можно проводить усреднение. Время усреднения задается программно.

---

### Выводы

---

Приведенная в статье концепция проектирования фотометра отличается от классической активным внедрением цифровой техники. Это позволило сформировать прецизионную фотометрическую головку и интеллектуальный блок управления, способный идентифицировать используемый источник света и учесть поправочные коэффициенты для повышения точности измерений.

---

### Литература

1. Сіробаба О. О. Порівняльний аналіз ефективності сучасних і перспективних джерел світла в установках зовнішнього освітлення / О. О. Сіробаба, С. С. Овчинников // Технічна електродинаміка. – 2010. – №4. – С. 22-24.
2. Methods of characterizing the performance of radiometers and photometers, CIE Publication 53, 1982.
3. Methods of Characterizing illuminance Meters and Luminance Meters, CIE Publication 69, 1987.
4. Viikary M. Modeling spectral sensitivity at low light levels based on mesopic visual performance. / M. Viikary, A. Ekrias, M. Eloholma, L. Halonen // Clinical Ophthalmology. – 2008. - № 2(1).
5. Sagawa K. CIE supplementary system of photometry: brightness at any level including mesopic vision / K. Sagawa, A. Toward // Ophthalmic and Physiological Optics. – 2006. – Vol. 26. – pp. 240-245.