ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ И УСТРОЙСТВА

OPTICAL PHENOMENA AND FACILITIES

ОПТИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ И УСТРОЙСТВА

OPTICAL PHENOMENA AND FACILITIES

Статья поступила в редакцию 14.07.15. Ред. рег. № 2297 The article has entered in publishing office 14.07.15. Ed. reg. No. 2297

УДК 621.383.522 doi: 10.15518/isjaee.2015.13-14.015

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЕТОДИОДОВ В КАЧЕСТВЕ ФОТОДАТЧИКОВ

Л.Ю. Юферев

Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства (ВИЭСХ)
109456 Москва, 1-й Вешняковский пр., д. 2
Тел.: (499) 171-19-20, факс: (499) 170-51-01, e-mail: leouf@ya.ru

Заключение совета рецензентов: 17.07.15 Заключение совета экспертов: 20.07.15 Принято к публикации: 23.07.15

В приборах для измерения фотовеличин применяются датчики на основе фоторезисторов, фотодиодов, вакуумных и газонаполненных фотоэлементов. При этом, как правило, к этим фотодатчикам приходится добавлять светофильтры и системы светофильтров. На основе проведенных экспериментов установлено, что в качестве фотодатчиков можно использовать светодиоды. В ходе лабораторных испытаний установлено, что светодиоды разного цвета свечения реагируют на определенный участок оптического излучения. Светодиоды нечувствительны к излучениям с длиной волны длиннее той, на которой они излучают свет. Установлено, что максимум чувствительности всех светодиодов немного сдвинут в область более короткой длины волны, чем та, которую светодиод излучает. На основе светодиодных датчиков можно изготавливать люксметры, RGB-датчики, измерители фотосинтез-активной радиации и измерители ближнего УФ излучения. С функцией относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для ночного зрения совпадает чувствительность желтого светодиода с рабочей длиной волны 590 нм, а с функцией относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения совпадает чувствительность красных светодиодов с рабочей длиной волны 625 и 628 нм. Для создания RGB датчиков понадобятся светодиоды с рабочими длинами волны 660, 625 и 525 нм. При этом отсутствует необходимость в применении корректирующих светофильтров.

Ключевые слова: фотодатчик, светодиод, спектральная чувствительность.

RESEARCH OF LEDS AS PHOTOSENSORS

L.Yu. Yuferev

All-Russia Scientific-Research Institute for Electrification of Agriculture (VIESH)
2, 1st Veshnyakovsky pr., Moscow, 109456, Russia
Tel.: (499) 171-19-20, fax: (499) 170-51-01, e-mail: leouf@ya.ru

Referred: 17.07.15 Expertise: 20.07.15 Accepted: 23.07.15

In devices for measuring photovision applied sensors on the basis of photoresistors, photodiodes, vacuum and gas-filled photocells. These photosensors have to add filters and system filters. On the experimental data found that as of photosensors, you can use the LEDs. In laboratory tests, the LEDs of different colors of light react to individual optical radiation. LEDs are not sensitive to radiation with a wavelength longer than at which they emit light. Established that the maximum sensitivity of all LEDs a bit is shifted into the region of shorter wavelength than which the led emits. On the basis of led sensors can make the light meter, RGB-sensors, photosynthesis active radiation and measuring the near UV radiation. With the function of relative spectral luminous efficacy of monochromatic radiation for night vision coincides sensitivity of yellow led with a wavelength of 590 nm. With the function of relative spectral luminous efficacy of monochromatic radiation for daylight vision matches the sensitivity of red LEDs with a wavelength of 625 and 628 nm. To create RGB sensors need LEDs with operating wavelengths 660, 625 and 525 nm. There is no need to use corrective filters.

Keywords: photosensor, led, spectral sensitivity.

International Publishing House for scientific periodicals "Space"

Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

Леонид Юрьевич Юферев
Leonid Yu. Yuferev

Сведения об авторе: канд. техн. наук, доцент, ВРИО директора ФГБНУ ВИЭСХ.
Образование: Московский гос. агроинженерный университет им. В.П. Горячкина (2002).
Область научных интересов: резонансные системы передачи электроэнергии, электротехнологии в сельском хозяйстве.
Публикации: 98.

Informatuon about the author: Ph.D., associate professor, head of the laboratory VIESH.
Education: Moscow State Agro-engineering University (2002).
Research area: the resonant electricity transmission system, electrical technology in agriculture.
Publications: 98.

Для измерения освещенности необходимо, чтобы у датчика света была строго заданная спектральная чувствительность, определенная ГОСТ Р 8.850-2013 «Характеристики люксметров…», а также функции относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения $V(K)$ по ГОСТ 8.332.

Прибор для измерения освещенности (фотометр) не должен быть чувствителен к ультрафиолетовому излучению. УФ-излучение может появиться из-за недостаточной УФ-блокировки или эффекта флуоресценции.

Фотометр не должен быть чувствителен и к инфракрасному излучению.

Для создания фотометров, как правило, применяют датчики на основе фоторезисторов, фотодиодов, вакуумных и газонаполненных фотоэлементов и др., при этом часто к этим фотодатчикам приходится добавлять различные светофильтры.

Известно, что в качестве фотодатчика можно использовать светодиоды, включенные в режим с обратным смещением, при котором при попадании света на светодиод у него появляется проводимость. Также известно, что при освещении светодиода у него появляется фототок [1, 2].

В ходе лабораторных испытаний установлено, что светодиоды разного цвета свечения реагируют на определенный участок оптического излучения. В испытаниях исследовались характеристики 11 различных светодиодов с излучением в диапазоне от 400 до 800 нм. В качестве источника света использовался специальный линейный излучатель на основе 14 светодиодов с излучением в диапазоне от 400 до 880 нм. Для сравнения спектральной чувствительности кроме светодиодов проверялись широкополосный pin-фотодиод, а также специальные фотодатчики Motorola и NOA1212.

Все испытанные светодиоды показали возможность работы в качестве фотодатчиков с определенной спектральной чувствительностью. При этом светодиоды никак не реагировали на излучение с длиной волны менее той, на которой они излучают (рабочей длины волны). Есть предположение, что это связано с эффектом «красной границы фотоэффекта металла (в данном случае материала *p-n*-перехода)» [3].

Граничная (максимальная) длина волны:

$$\lambda_{\text{макс}} = \frac{hc}{U_{p-n}q} = \frac{6,62\cdot10^{-34}\cdot3\cdot10^{8}}{U_{p-n}\cdot1,6\cdot10^{-19}},$$

где h – постоянная Планка, Дж·с; c – скорость света, м/с; q – заряд электрона, Кл; U – рабочее напряжение *p-n*-перехода, В.

Также установлено, что максимум чувствительности всех светодиодов немного сдвинут в область более короткой длины волны, чем та, которую светодиод излучает. Этот сдвиг зависит от рабочей длины волны и определяется следующей формулой:

$$\Delta\lambda = -0,0014\lambda^2 + 1,358\lambda x - 249,57,$$

где λ – рабочая длина волны светодиода, нм.

Результаты определения спектральной чувствительности испытуемых светодиодов представлены на рис. 1.

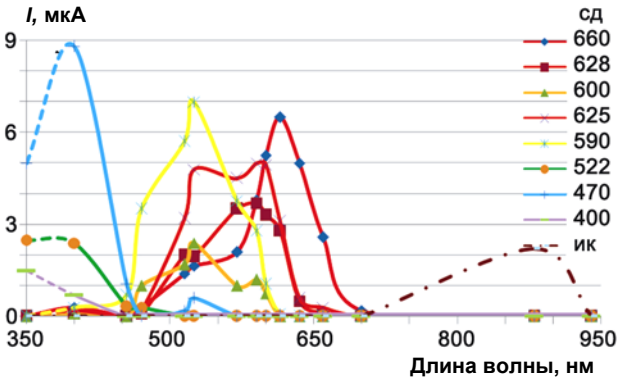


Рис. 1. Спектральная чувствительность светодиодов
Fig. 1. Spectral sensitivity of the LEDs

Зависимость сдвига максимальной чувствительности светодиодов от рабочей длины излучения представлена на рис. 2.

International Publishing House for scientific periodicals "Space"
Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

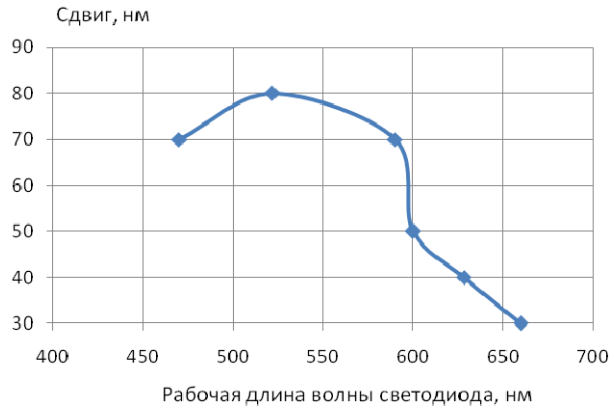


Рис. 2. Сдвиг диапазона максимальной фоточувствительности относительно рабочей длины волны светодиодов
Fig. 2. The shift of the band maximum photosensitivity relative to the operating wavelength of the LEDs

На основе проведенных экспериментальных данных выявлены светодиоды, которые с большой точностью обладают чувствительностью, соответствующую функции относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного и ночного зрения человека. Так, с функцией относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для ночного зрения совпадает чувствительность желтого светодиода с рабочей длиной волны 590 нм, а с функцией относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения совпадает чувствительность красных светодиодов с рабочей длиной волны 625 и 628 нм (рис. 3). При этом для фотометров светодиоды должны быть с прозрачной линзой без применения каких-либо светофильтров.

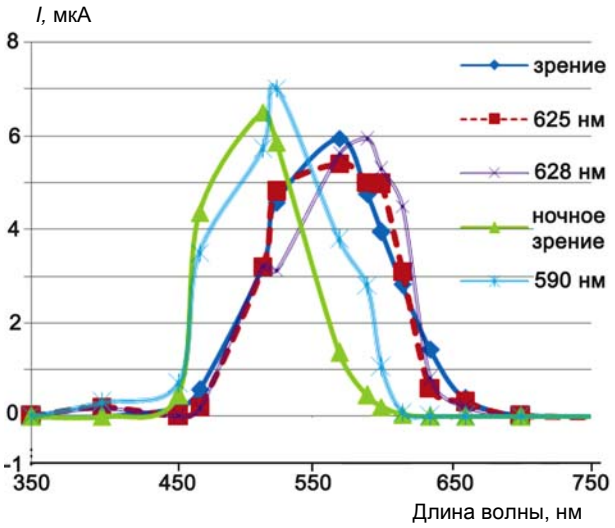
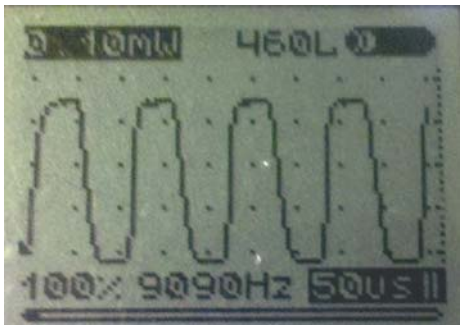


Рис. 3. Спектральная чувствительность светодиодов для применения в фотометрах
Fig. 3. Spectral sensitivity of LEDs for use in photometers

Светодиоды в качестве фотодатчиков обладают довольно большим быстродействием. На рис. 4 представлены сравнительные осциллограммы красного светодиода и pin-фотодиода с быстродействием 5 нс.



a

b

Рис. 4. Осциллограммы фотодатчиков: *a* – на основе светодиода; *b* – pin-фотодиода
Fig. 4. Waveforms of photosensors on the basis of the LED (*a*) and the pin photodiode (*b*)

Лабораторные испытания показали линейную зависимость выходного тока от освещенности в диапазоне от 50 до 100000 лк, однако при меньшей освещенности светодиоды проигрывают по чувствительности фотодиодам. При использовании светодиодов в качестве фотодатчиков в следящих системах для солнечных электростанций низкая освещенность не имеет значения.

Светодиоды можно также использовать в качестве датчиков УФ-излучения диапазона УФА, УФВ. Для этого потребуются светодиоды с рабочей длиной волны 400 нм. Расчетный максимум чувствительности таких светодиодов будет находиться на длине волны 330 нм, а ширина спектра чувствительности – в диапазоне 280-390 нм.

Для создания RGB датчиков понадобятся светодиоды с рабочими длинами волн 660, 625 и 525 нм. А для измерителя интенсивности фотосинтез-активной радиации подходят светодиоды синий (470 нм), имеющий избирательный спектр 350-450 нм, желтый (590 нм), имеющий диапазон 450-600 нм, и красный (660 нм), имеющий диапазон 550-680 нм [4, 5].

Измеритель (рис. 5) работает следующим образом. Оптическое излучение поступает на светодиод (СД), который генерирует фототок, при этом на со-

International Publishing House for scientific periodicals "Space"
Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

противлении нагрузки R1 выделяется разность потенциалов, которая поступает на вход измерительной части прибора, которая может включать предварительный усилитель на основе операционного усилителя.

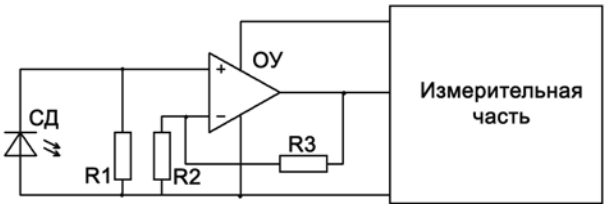


Рис. 5. Фрагмент электрической принципиальной схемы измерителя освещенности на основе светодиода
Fig. 5. Fragment of a finished schematic of the meter illumination based on LEDs

Пример реализации измерителя освещенности – светодиод (СД) с прозрачной линзой подключается к нагрузочному сопротивлению R1 10 кОм и ко входу усилителя на основе операционного усилителя ОУ, у которого резисторами R2, R3 задается коэффициент усиления. К выходу усилителя подключается измерительная часть, например, на основе цифровой измерительной головки или АЦП микроконтроллера. При этом отсутствует необходимость в применении корректирующих светофильтров.

Заключение

Применение светодиодов в качестве фотодатчиков, хотя и имеет пониженную чувствительность при низкой освещенности, однако в некоторых случаях может упростить сложную оптическую систему и систему светофильтров.

International Publishing House for scientific periodicals "Space"
Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

Список литературы

1. http://electronics.stackexchange.com/questions/36080/specific-color-sensing-is-it-possible-in-an-economical-way-without-using-camer.

2. Заявка на патент № 2012147014/08, 06.11.2012. Дата публикации заявки: 20.05.2014.

3. Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Физика: Оптика. Квантовая физика. 11 кл.: Учеб. для углубленного изучения физики. 2-е изд., стереотип. М.: Дрофа, 2002.

4. Юферев Л.Ю. Повышение эффективности систем уличного освещения // Инновации в сельском хозяйстве. Электронный журнал ФГБНУ ВИЭСХ. 2014. № 4.С. 314-317.

5. Пат. № 137973 РФ, МПК G01J 3/00. Измеритель фотосинтетически-активной радиации / Л.Ю. Юферев, А.В. Соколов; заявитель и патентообладатель: Москва. Гос. научное учреждение Всероссийский НИИ электрификации сельского хозяйства Российской Академии сельскохозяйственных наук. № 2012147558/28; заявл. 09.11.2012; опубл. 27.02.2014 // Бюл. № 6.

References

1. http://electronics.stackexchange.com/questions/36080/specific-color-sensing-is-it-possible-in-an-economical-way-without-using-camer.

2. Zaâvka na patent № 2012147014/08, 06.11.2012. Data publikacii zaâvki: 20.05.2014.

3. Mâkišev G.Â., Sinâkov A.3. Fizika: Optika. Kvantovaâ fizika. 11 kl.: Učeb. dlâ uglublennogo izučeniâ fiziki. 2-e izd., stereotip. M.: Drofa, 2002.

4. Ûferev L.Û. Povyšenie èffektivnosti sistem uličnogo osveêeniâ // Innovacii v sel'skom hozâjstve. Èlektronnyj žurnal FGBNU VIÈSH. 2014. № 4.S. 314-317.

5. Pat. № 137973 Rossijskaâ Federaciâ, MPK G01J 3/00. Izmeritel' fotosintetičeski-aktivnoj radiacii / L.Û. Ûferev, A.V. Sokolov; zaâvitel' i patentoobladatel': Moskva. Gos. naučnoe učreždenie Vserossijskij NII èlektrifikacii sel'skogo hozâjstva Rossijskoj Akademii sel'skohozâjstvennyh nauk. № 2012147558/28; zaâvl. 09.11.2012; opubl. 27.02.2014 // Bûl. № 6.

Транслитерация по ISO 9:1995