

Porównanie właściwości statycznych wybranych czujników fotometrycznych

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki pomiarów parametrów statycznych czterech różnych czujników natężenia oświetlenia. Czujniki te mogą być wykorzystywane w systemach oświetleniowych jako źródło sygnału zwrotnego dla układów wykonawczych w postaci półprzewodnikowych źródeł światła. Za pomocą rozważanych czujników zmierzono parametry charakteryzujące promieniowanie emitowane przez pięć różnych źródeł światła. Uzyskane wyniki badań zostały zaprezentowane i przedyskutowane.

Abstract. This paper presents the result of the measurements of the static parameters of four different light intensity sensors. These sensors could be used in lighting systems as a source of feedback for executive systems in the form of the semiconductor light sources. Using considered light sensors, the radiation emitted by five different light sources was measured. The obtained results were presented and discussed. (**Comparison of static properties of the selected photometric sensors**).

Słowa kluczowe: fotodioda, fototranzystor, l^2C , czujnik fotometryczny, element systemu oświetleniowego, oświetlenie LED

Keywords: photodiode, phototransistor, l^2C , photometric sensor, lighting system component, LED lighting

Wprowadzenie

Jednym z istotnych zagadnień metrologicznych jest wiarygodny pomiar parametrów fotometrycznych wybranych źródeł światła. Niezbędnym komponentem układów pomiarowych umożliwiającym realizację takich pomiarów są czujniki fotometryczne. Na rynku dostępnych jest wiele typów takich czujników, ale największe znaczenie mają dwie grupy czujników natężenia oświetlenia, zawierających w swojej strukturze fotodiody lub fototranzystory [1-4].

W pracach [5-7] zaproponowano cyfrowe systemy kontrolno-pomiarowe wykorzystujące jako czujnik natężenia oświetlenia sensor BH1750FVI, zawierający element światłoczuły w postaci fotodiody. Przedstawione systemy są wykorzystywane głównie w technice motoryzacyjnej oraz telekomunikacji do sterowania podświetleniem wyświetlaczy samochodowych lub telefonów komórkowych. W pracach [5-7] opisano budowę rozważanych czujników oraz wyniki pomiarów parametrów fotometrycznych budowanych systemów oświetleniowych z tymi czujnikami, natomiast zauważa się brak pomiarów charakteryzujących właściwości samego czujnika fotometrycznego.

Najważniejszymi parametrami statycznymi badanych czujników natężenia oświetlenia, z punktu widzenia praktycznych aplikacji, są napięcie zasilania czujnika, dopuszczalna moc wydzielana w strukturze półprzewodnikowej czujnika oraz zakres czułości widmowej podawany w nm. Największym problemem stawianym przed projektantami systemów oświetleniowych jest zakres mierzonego natężenia oświetlenia, podawany w luksach oraz dynamika pracy takiego czujnika. Przykładowo, w pracy [8] pokazano sposób zastosowania czujnika TEMT6000 [1], w którym elementem światłoczułym jest fototranzystor, do pomiaru natężenia oświetlenia stanowiska roboczego. Tego typu czujniki charakteryzują się małą wartością częstotliwości pracy, nieprzekraczającą kilku kHz.

Celem pracy jest zbadanie parametrów statycznych wybranych czujników natężenia oświetlenia oraz określenie przydatności tych czujników do pomiaru właściwości źródła promieniowania o różnych długościach fali.

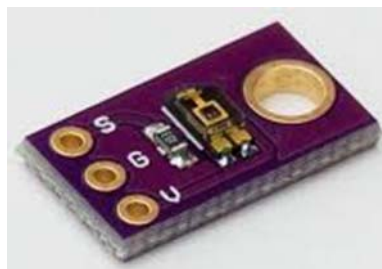
W rozdziale drugim opisano parametry statyczne badanych czujników natężenia oświetlenia oraz przedstawiono strukturę wewnętrzną dwóch typów czujników. Rozdział trzeci zawiera opis opracowanego stanowiska pomiarowego oraz wartości parametrów źródeł światła zastosowanych w badaniach. Z kolei, w rozdziale czwartym zostały przedstawione wyniki pomiarów

parametrów statycznych oraz widma wykorzystywanych źródeł światła.

Badane czujniki

Badane dyskretnie czujniki natężenia oświetlenia zostały przedstawione na rysunku 1. Na rysunku 1a pokazano widok czujnika typu TEMT6000 [1], którego parametry statyczne zostały przedstawione w Tabeli 1. Czujnik ten charakteryzuje się wąskim zakresem mierzonych wartości natężenia oświetlenia, który typowo nie przekracza kilku tysięcy luksów. Jest to spowodowane przez właściwości fototranzystora pełniącego rolę elementu światłoczułego. Czujniki takie charakteryzują się szybkim wchodzeniem w stan nasycenia charakterystyki wyjściowej fototranzystora i ograniczeniem jego zakresu pomiarowego.

a)



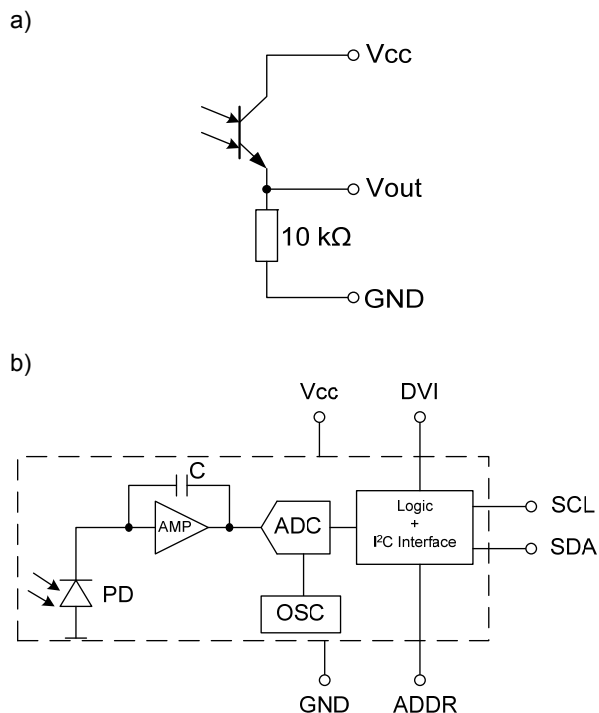
b)



Rys. 1. Widok czujników natężenia oświetlenia typu TEMT6000 (a) i BH1750FVI (b) [1, 2]

Na rysunku 1b przedstawiono widok czujnika natężenia oświetlenia typu BH1750FVI [2], którego parametry statyczne zostały zebrane w Tabeli 2. Czujnik ten charakteryzuje się bardzo szerokim zakresem pomiaru wartości natężenia oświetlenia - od 1 do 65535 lx. Jest to efektem zastosowania fotodiody jako elementu światłoczułego.

Na rysunku 2a przedstawiono schemat układu czujnika natężenia oświetlenia TEMT6000. Układ ten zawiera oprócz fototranzystora, rezystor o rezystancji 10 kΩ ograniczający prąd kolektora. Spadek napięcia na tym rezystorze steruje wejściem przetwornika analogowo-cyfrowego systemu pomiarowego, które to rozwiązanie zostało przedstawione w pracy [8].



Rys. 2. Struktura wewnętrzna czujników natężenia oświetlenia TEMT6000 (a) i BH1750FVI (b) [1, 2]

Na rysunku 2b przedstawiono schemat układu czujnika typu BH1750FVI, który oprócz fotodiody zawiera wzmacniacz operacyjny pracujący w układzie konwertera prądowo-napięciowego, przetwornik analogowo-cyfrowy, który jest taktowany z wewnętrznego układu oscylatora oraz układ logiki zawierający interfejs komunikacyjny I²C. Za pomocą interfejsu I²C czujnik natężenia oświetlenia komunikuje się z systemem pomiarowym. Zaletą czujnika typu BH1750FVI jest duża rozdzielczość pomiaru, osiągająca nawet 0,4 lx przy odpowiedniej konfiguracji rejestrów czujnika.

Tabela 1. Parametry czujnika natężenia oświetlenia TEMT6000 [1]

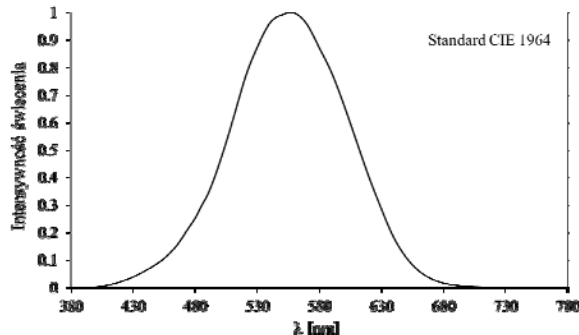
Parametr	Wartość
Maksymalne napięcie kolektor-emiter [V]	6
Maksymalny prąd kolektora [mA]	20
Dopuszczalna moc [mW]	100
Maksymalna temperatura złącza [°C]	100
Rezystancja termiczna złącze-otoczenie [K/W]	450
Środkowa długość fali [nm]	570
Zakres czułości widmowej [nm]	440-800

Tabela 2. Parametry czujnika natężenia oświetlenia BH1750FVI [2]

Parametr	Wartość
Maksymalne napięcie zasilania [V]	4,5
Maksymalny prąd fotozłącza p-n [mA]	7
Moc dopuszczalna [mW]	260
Zakres pomiarowy natężenia oświetlenia [lx]	1-65535
Środkowa długość fali [nm]	560
Zakres czułości widmowej [nm]	490-620

Ponadto w badaniach zostały wykorzystane dwa fabryczne czujniki natężenia oświetlenia. Czujnikiem wzorcowym była głowica GL-100 luksomierza L-100 firmy

Sonopan [3]. Drugim czujnikiem pomiarowym była głowica LP471 Photo pracująca z luksomierzem typu HD2302 firmy Delta Ohm [4]. Czułość wspomnianych fabrycznych czujników jest opisana przez charakterystykę widmową wyznaczoną według standardu CIE1964 opisanego m.in. w pracach [9, 10] i pokazaną na rysunku 3.



Rys. 3. Charakterystyka widmowa głowicy GL-100 i LP471 Photo według standardu CIE1964 [3, 4, 9]

Stanowisko pomiarowe i testowane źródła światła

Stanowisko pomiarowe do badania rozważanych czujników zawiera sinusoidalne źródło napięcia zasilania, amperomierz i woltomierz kontrolujący parametry zasilania testowanego źródła światła, światłoszczelny tor pomiarowy wykonany z jednolitego kawałka rury PCV oraz zamontowane cztery różne czujniki natężenia oświetlenia. Długość toru pomiarowego wynosi w przybliżeniu 205 cm i jest liczona od źródła światła do powierzchni czujnika fotometrycznego. W celu wykonania pomiaru charakterystyk widmowych badanych źródeł światła w miejsce czujnika natężenia oświetlenia montuje się spektrometr optyczny typu Ocean Optics USB650 [11]. Przedstawiony układ pomiarowy pozwala na pomiar parametrów statycznych wybranych czujników natężenia oświetlenia oraz charakterystyk widmowych wybranych źródeł światła.

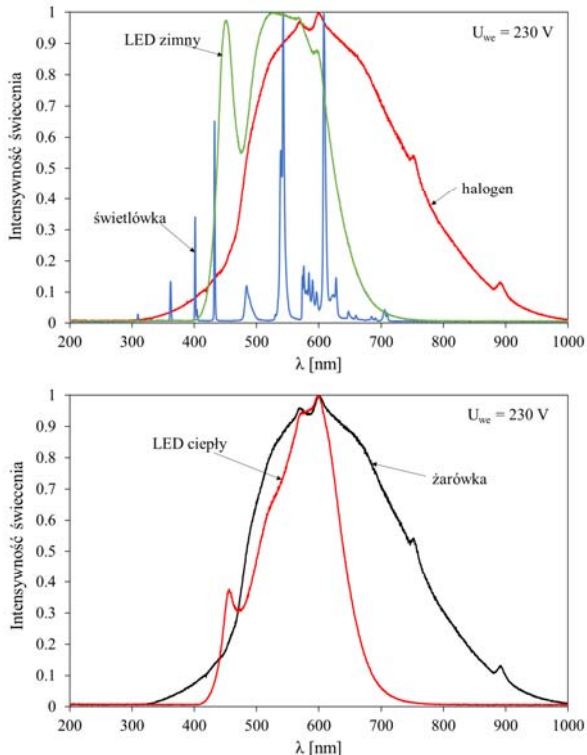
W Tabeli 3 przedstawiono parametry zastosowanych źródeł światła. Definicje tych parametrów oraz budowę wybranych źródeł światła przedstawiono m.in. w pracach [10, 12-14, 16, 17]. W pracy [15] przedstawiono szczegółowe rozważania na temat zastosowanych źródeł światła LED. Wszystkie rozważane źródła światła charakteryzują się zbliżoną wartością strumienia świetlnego równą około 1000 lm. Moc pobierana ze źródła zasilania przez wybrane źródła światła mieści się w zakresie od 11,5 do 75 W. Największą żywotność osiągają lampy LED - wynosi ona około 17000 godzin. Czas ten zależy oczywiście od warunków środowiskowych, w jakich pracuje lampa LED, w szczególności od temperatury. Temperatura barwowa zastosowanych źródeł światła zawiera się w zakresie od 2700 K do 6500 K.

Tabela 3. Wartości wybranych parametrów badanych źródeł światła

Źródła światła	LED ciepły	LED zimny	Zarówka wolframowa	Lampa halogenowa	Światłówka
Strumień świetlny [lm]	1 050	1 070	1 000	915	1 100
Czas życia [h]	17 000	17 000	1 000	2 000	6 000
Moc źródła światła [W]	11,5	11,5	75	57	18
Temperatura barwowa [K]	2 700 ÷ 3 200	5 500 ÷ 6 500	2 700	2 800	2 700

Wyniki pomiarów

Podczas badań zarejestrowano wartość natężenia oświetlenia badanych czujników fotometrycznych. Pomiary te wykonano przy stałej wartości napięcia zasilającego badane źródła światła równego 230 V. Zaproponowane stanowisko pomiarowe pozwoliło także na rejestrację charakterystyk widmowych badanych źródeł światła oraz wyznaczenie długości fali promieniowania elektromagnetycznego, przy których uzyskuje się maksimum emitowanego natężenia oświetlenia.



Rys. 4. Zmierzone charakterystyki widmowe rozważanych źródeł światła

Analizując charakterystyki widmowe wybranych źródeł światła przedstawione na rysunku 4 można wywnioskować, że najszersze widmo promieniowania uzyskuje się dla żarówki z włóknem wolframowym oraz dla lampy halogenowej. Widmo promieniowania emitowanego przez te dwa źródła światła zawiera się w zakresie od bliskiego ultrafioletu (około 350 nm) do głębokiej podczerwieni (około 850 nm). Taka charakterystyka widmowa tych źródeł światła pozwala m.in. na zastosowanie ich w procesie lutowania rozpliwowego z wykorzystaniem emisji promieniowania w zakresie podczerwonym. Najbardziej nierównomierny rozkład widmowy uzyskuje się dla świetlówki, natomiast najbardziej równomierny rozkład emitowanego widma promieniowania uzyskuje się dla wykorzystanych podczas badań doświadczalnych lamp LED. Analizując widmo promieniowania lamp LED można zauważyć, że lampa LED zimny emitująca promieniowanie o temperaturze barwowej równej 6500 K, posiada dużo większą moc promieniowania w zakresie światła niebieskiego (około 450 nm) niż lampa LED ciepły, a różnica ta wynosi około 262 %. Może być to spowodowane większymi stratami energii przy konwersji energii optycznej w luminoforze wykorzystanym do wytwarzania światła białego w lampie LED emitującej promieniowanie o barwie ciepłej (około 2700 K).

Za pomocą stanowiska pomiarowego opisanego w poprzednim rozdziale zostały zmierzone parametry statyczne czujnika TEMT6000 dla trzech różnych wartości napięć zasilania, których wartości zostały podane w

Tabeli 4. Można zauważyć, że w większości przypadków zwiększenie wartości napięcia zasilania powoduje spadek zmierzonej wartości natężenia oświetlenia.

Dla oszacowania błędu pomiarowego ustalono, że wzorcowym czujnikiem natężenia oświetlenia jest głowica GL-100. Najmniejszy błąd pomiaru uzyskuje się dla czujnika BH1750FVI wynosi on jedynie 5,7 %, natomiast dużo większy błąd uzyskuje się dla czujnika TEMT6000, który w najgorszym przypadku wynosi aż 137 % (przy oświetlaniu tego czujnika lampą halogenową). Tak duży błąd pomiaru w przypadku czujnika TEMT6000 może być spowodowany niestabilnym napięciem referencyjnym doprowadzonym do przetwornika analogowo-cyfrowego lub niestabilnym napięciem zasilania czujnika natężenia oświetlenia.

Tabela 4. Wartości parametrów statycznych wybranych czujników natężenia oświetlenia

Źródła światła	G.L-100	LP471	BH1750	TEMT6000		
				U _{zas} =3,3V	U _{zas} =5V	U _{zas} =6V
	[lx]	[lx]	[lx]	[lx]	[lx]	[lx]
LED - Ciepły	134,4	92,95	126	96,43	92,98	82,76
LED - Zimny	166,0	119,05	150	120,63	119,50	112,91
Świetlówka	32,4	21,85	29	27,48	22,35	8,91
Żarówka halogenowa	14,8	10,47	14	39,88	35,16	22,53
Żarówka 75W	146,1	101,19	140	128,25	139,34	146,74

Podsumowanie

W pracy przedstawiono wyniki pomiarów parametrów statycznych czterech arbitralnie wybranych czujników fotometrycznych. Opracowano układ pomiarowy, który pozwolił również na pomiar charakterystyk widmowych pięciu źródeł światła o różnych parametrach eksploatacyjnych. Przegląd literatury oraz przeprowadzone pomiary wykazały przydatność wybranych dyskretnych czujników fotometrycznych TEMT6000 i BH1750FVI do zastosowań w systemach sterowania oświetleniem wybranych powierzchni lub pomieszczeń.

W dalszych badaniach przewiduje się pomiar parametrów dynamicznych przedstawionych czujników fotometrycznych w szerokim zakresie zmian napięcia zasilania czujników oraz wartości częstotliwości sygnału sterującego zasilaniem źródeł światła. Pomiary te pozwolą oszacować szybkość działania czujników wykonanych przy użyciu fotodiody i fototranzystora.

Autorzy: dr inż. Przemysław Ptak, Uniwersytet Morski w Gdyni, Wydział Elektryczny, Katedra Elektroniki Morskiej, ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia, E-mail: p.ptak@we.umg.edu.pl; Michał Gensikowski, Uniwersytet Morski w Gdyni, Wydział Elektryczny, Katedra Elektroniki Morskiej, ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia, E-mail: michal_gensikowski@wp.pl; inż. Paweł Kołodziejczyk, Uniwersytet Morski w Gdyni, Wydział Elektryczny, Katedra Elektroniki Morskiej, ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia; prof. dr hab. inż. Krzysztof Górecki, Uniwersytet Morski w Gdyni, Wydział Elektryczny, Katedra Elektroniki Morskiej, ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia, E-mail: k.gorecki@we.umg.edu.pl.

LITERATURA

- [1] Czujnik natężenia oświetlenia TEMT6000, <https://www.vishay.com/docs/81579/temt6000.pdf>
- [2] Czujnik natężenia oświetlenia BH1750FVI, <https://www.mouser.com/ds/2/348/bh1750fvi-e-186247.pdf>
- [3] Luksomierz L-100, https://www.sonopan.com.pl/pliki/pobierz/io_L100.pdf

- [4] Luksomierz HD2302, <https://www.deltaohm.com/en/wp-content/uploads/document/DeltaOHM-2302.0-Portable-Luxmeter-Datasheet-en.pdf>
- [5] Gao J., Luo J., Xu A., Yu J., Light intensity intelligent control system research and design based on automobile sun visor of BH1750, 29th IEEE Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2017, 3957-3960
- [6] Yun Z., Bai T., Indoor light intensity measuring instrument based on BH1750FVI, Microcontrollers and Embedded Systems, 2012
- [7] Wang J., Mao T., Chen Y. G., Design and implementation of luminometer system based on novel BH1750 IC, Journal of Changshu Institute of Technology, 2011
- [8] Ptak P., Górecki K., Wnuczko S., System wbudowany do sterowania oświetleniem stanowiska biurowego, Przegląd Elektrotechniczny 94 (2018), nr 11, 76-79
- [9] Mizeraczyk J., Podstawy optoelektroniki, Akademia Morska w Gdyni, 2010
- [10] Żagan W., Podstawy techniki świetlnej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014
- [11] Spectrometr Ocean Optics USB650, <https://oceanoptics.com/wpcontent/uploads/RedTideGuide.pdf>
- [12] Schubert E. F., Light emitting diodes, 3rd Edition Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, 2014
- [13] Lasance C. J. M., Poppe A., Thermal management for LED applications, Springer Science, NY, 2014
- [14] Górecki K., Półprzewodnikowe źródła światła, Akademia Morska w Gdyni, 2010
- [15] Górecki K., Ptak P., Modelling LED lamps with thermal phenomena taken into account, Microelectronics Reliability, Vol. 79, 2017, 440-447
- [16] Górecki K., Górecka K., Górecki P., Porównanie właściwości eksploatacyjnych wybranych typów lamp LED, Przegląd Elektrotechniczny 88 (2012), nr 11a, 111-114
- [17] Górecki K., Dąbrowski J., Modelling properties of solar cells irradiated from different lighting sources, 13th IEEE International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering IEEE CPE POWERENG 2019, Sonderborg, 2019, paper SF-001643