

System wbudowany do sterowania oświetleniem stanowiska biurowego

Streszczenie. W pracy przedstawiono system wbudowany dedykowany do sterowania oświetleniem stanowiska roboczego. Przedstawiono budowę rozważanego systemu oświetleniowego z diodami LED i koncepcję jego sterowania. Przedstawiono wyniki badań skonstruowanego systemu, w szczególności wyniki pomiarów parametrów elektrycznych i optycznych. Przedyskutowano uzyskane wyniki badań.

Abstract. In the paper the embedded system dedicated to control lighting of the workplace is proposed. The construction of the considered lighting system with the power LED and the idea of its control are presented. Some results of investigations of the constructed lighting system, particularly some results of measurements of optical and electrical parameters, are shown and discussed. (Embedded system to control lighting of the office workplace).

Słowa kluczowe: systemy wbudowane, systemy oświetleniowe, sterowanie, oświetlenie LED.

Keywords: embedded systems, lighting systems, controlling, LED lighting.

Wprowadzenie

Właściwe oświetlenie stanowiska pracy jest ważne z punktu widzenia komfortu pracy oraz jej efektywności. Dlatego stosowane wymagania dotyczące oświetlenia takiego stanowiska są sformułowane w aktach prawnych oraz w normach [1]. Jednak cytowane dokumenty nie zawierają szczegółów rozwiązań technicznych, które zapewniają uzyskanie pożądanych wartości parametrów charakteryzujących oświetlenie stanowiska pracy.

Od kilku lat coraz powszechniej stosowane są w technice oświetleniowej źródła światła LED [2, 3, 4, 5]. Charakteryzują się one wysoką sprawnością konwersji energii elektrycznej na światło, a jednocześnie umożliwiają bardzo łatwą regulację emitowanego strumienia świetlnego przez regulację prądu przewodzenia diod LED [2].

Przy oświetleniu stanowiska pracy istotne znaczenie ma wartość natężenia oświetlenia pochodzącego ze źródeł zewnętrznych, np. od oświetlenia głównego pomieszczenia lub od światła słonecznego. W takiej sytuacji, zapewnienie pożądanej wartości natężenia oświetlenia na powierzchni roboczej jest możliwe przy niższej wartości natężenia oświetlenia ze źródła oświetlenia miejscowego. Ograniczenie wartości tego parametru pozwala na zmniejszenie wartości prądu zasilania diody LED i oszczędność energii elektrycznej.

W pracy przedstawiono system wbudowany umożliwiający automatyczną regulację natężenia oświetlenia stanowiska biurowego wyposażonego w źródło światła LED. W kolejnych rozdziałach scharakteryzowano wymagania dotyczące oświetlenia stanowiska biurowego, strukturę opracowanego systemu wbudowanego wraz z systemem zasilania źródła światła LED oraz wyniki testów ilustrujących praktyczną przydatność opracowanego systemu oświetleniowego.

Wymagania dotyczące oświetlenia stanowiska biurowego

Przeprowadzenie oceny oświetlenia na stanowisku pracy wymaga znajomości oraz uwzględnienia parametrów i kryteriów określonych w normie PN-EN 12464-1:2012. Pole zadania jest określone w tej normie jako część pola w miejscu pracy, na którym wykonywane jest zadanie wzrokowe. W zaprojektowanym stanowisku pomiarowym przyjęto pole zadania jako obszar o rozmiarze arkusza A3.

Najmniejsze uśrednione natężenie oświetlenia stanowiska, na którym wykonywana jest praca z dużymi wymaganiami wzrokowymi nie może być mniejsze niż 500

lx. Z kolei, średnie natężenie oświetlenia E_{sr} stanowi średnią arytmetyczną natężenia oświetlenia zmierzonego dla danej powierzchni we wszystkich punktach pomiarowych. Podczas panujących warunków oświetlenia należy wziąć także pod uwagę minimalną wartość natężenia oświetlenia E_{min} zmierzoną na danej powierzchni.

Pomiary natężenia oświetlenia należy wykonać na płaszczyźnie roboczej określonej jako pole zadania o wymiarach p razy q . Podczas przeprowadzania interpretacji wyników pomiarów oświetlenia ogólnego należy uwzględnić zalecenie wskazujące, że w miejscu stałego pobytu, eksploatacyjne natężenie oświetlenia nie powinno być mniejsze niż 200 lx [1].

Ważnym parametrem charakteryzującym oświetlenie rozważanego obszaru jest najmniejsza dopuszczalna liczba punktów pomiarowych na równomiernie oświetlonym stanowisku pracy. Zależy ona od wskaźnika w danego wzorem:

$$(1) \quad w = \frac{p \cdot q}{h \cdot (p + q)}$$

gdzie h oznacza odległość między zawieszonym źródłem światła a polem zadania. Jeżeli wartość parametru $w < 1$, to wymagany jest pomiar natężenia oświetlenia w 4 punktach, dla $1 < w < 2$ – w 9 punktach, dla $2 < w < 3$ – w 16 punktach, a dla $w > 3$ – w 25 punktach [6].

W celu wyznaczenia równomierności rozkładu natężenia oświetlenia δ pola zadania należy określić iloraz minimalnego natężenia oświetlenia E_{min} do średniego natężenia oświetlenia E_{sr} na wybranym polu zadania. Najmniejsza równomierność natężenia oświetlenia na polu zadania nie może być mniejsza od 0,65 dla płaszczyzny roboczej, na której wykonywana jest praca ciągła lub od 0,4 - dla płaszczyzny roboczej, na której wykonywana jest praca dorywcza.

Badany system oświetleniowy

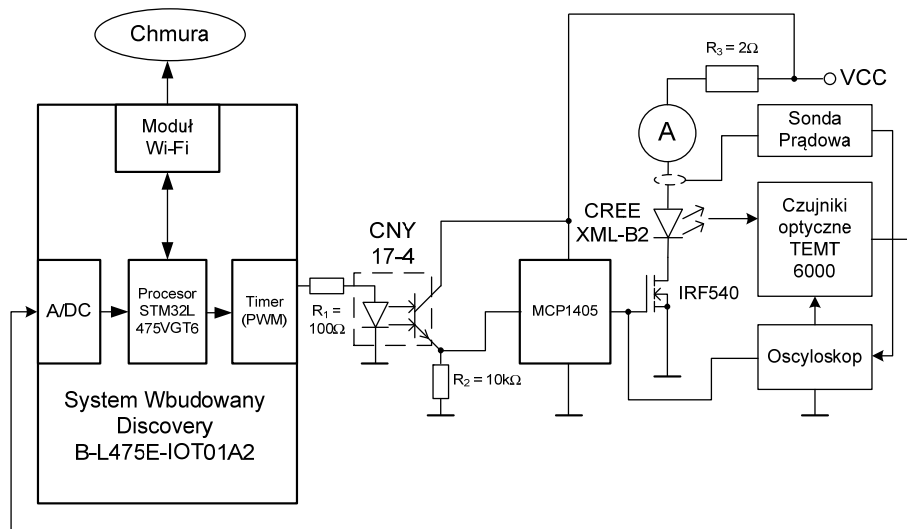
System wbudowany do sterowania oświetleniem stanowiska biurowego został zbudowany z wykorzystaniem mikrokontrolera z rodziny STM32L4 [7] oraz analogowych czujników natężenia oświetlenia typu TEMENT6000 [8]. Elementem światłoczułym czujnika optycznego jest fototranzystor, którego parametry eksploatacyjne zostały przedstawione w tabeli 1.

Na rysunku 1 przedstawiono schemat blokowy systemu wbudowanego do sterowania oświetleniem stanowiska biurowego, którego głównym składnikiem jest system

sterowania zbudowany przy wykorzystaniu procesora STM32L475VGT6 [9]. Procesor ten jest elementem składowym płyty ewaluacyjnej typu Discovery B-L475E-IOT01A2 przystosowanej do pracy z IoT (Internet of Things) poprzez moduł Wi-Fi. System ten wykorzystuje przetwornik analogowo-cyfrowy w celu rejestracji napięć generowanych przez analogowe czujniki natężenia oświetlenia TEMENT6000. W celu generowania sygnału PWM wykorzystywany jest układ czasowy zaimplementowany w procesorze [9]. W celu separacji galwanicznej obwodu masy płyty ewaluacyjnej oraz układu zasilania diody LED zastosowano transoptor CNY17-4 [10]. W celu zwiększenia wydajności prądowej wyjścia sygnału PWM zastosowano sterownik typu MCP1405 [11]. Jako element załączający prąd diody LED wykorzystano tranzystor MOSFET IRF540 [14].

Tabela 1. Parametry eksploatacyjne czujnika TEMENT6000 [1].

Parametr	Symbol	Wartość	Jednostka
Moc elektryczna pobierana	P_{tot}	100	mW
Maksymalna temperatura wnętrza	T_j	100	°C
Rezystancja termiczna złącze - otoczenie	R_{thj-a}	450	K/W
Kąt czułości półówkowej	φ	± 60	°
Zakres czułości widmowej	λ_p	360 do 970	nm



Rys.1. Schemat blokowy systemu wbudowanego do sterowania oświetleniem stanowiska.

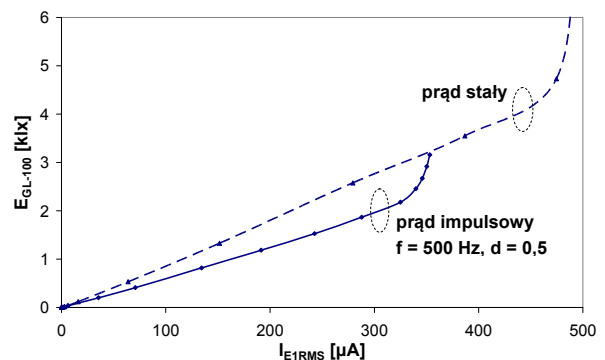
Źródłem światła jest dioda LED typu XMLBWT-00-0000-000LT40E4 firmy CREE nazywana dalej diodą XML-B2 [12]. Zastosowana dioda może pracować przy maksymalnym prądzie przewodzenia $I_{Fmax} = 3A$, mocy całkowitej P_{tot} dochodzącej do 10W, emitowany strumień świetlny osiąga 341 lm przy prądzie przewodzenia $I_F = 0,35 A$, natomiast kąt emisji promieniowania optycznego wynosi 125° . W czasie pracy systemu oświetleniowego dioda LED była zamontowana na radiatorze typu RAD-A5723/100.

W celu sterowania oświetleniem stanowiska biurowego przygotowano algorytm zaimplementowany w mikrokontrolerze STM32L4. Przetwornik analogowo-cyfrowy A/D pobiera dane z 4 analogowych czujników natężenia oświetlenia. Kolejnym krokiem jest uśrednienie wyników pomiarów tych czujników. Przetwornik pobiera 2000 próbek z każdego czujnika optycznego i dokonuje uśrednienia wyników pomiarów. Operacja uśredniania dla czterech czujników trwa nie dłużej niż 5s. Kolejnym krokiem jest porównanie zmierzonej wartości natężenia oświetlenia z wartością przyjętą jako wartość odniesienia. W przypadku, gdy wartości te są równe, następuje odczyt kolejnych 2000 próbek, natomiast gdy odczyt jest zawyżony lub zaniżony w stosunku do przyjętej normy następuje regulacja średniej wartości prądu diody LED przy wykorzystaniu regulacji współczynnika wypełnienia sygnału sterującego bramką tranzystora IRF540.

Wyniki testów

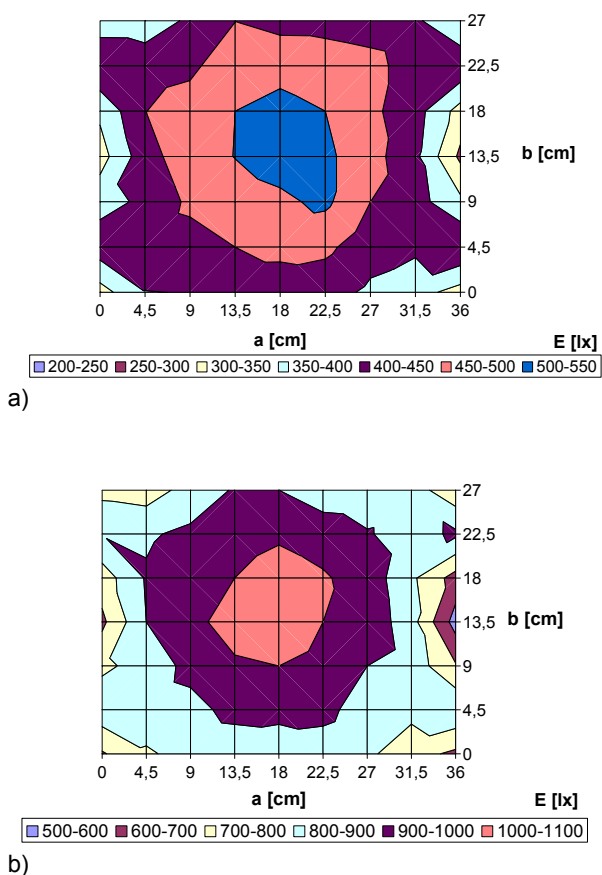
W celu weryfikacji poprawności projektu rozważanego

stanowiska pomiarowego przeprowadzono szereg testów, których wyniki pokazano w dalszej części niniejszego rozdziału. Na rysunku 2 przedstawiono wyniki kalibracji zastosowanych czujników natężenia oświetlenia TEMENT6000. W pomiarach tych rolę przyrządu wzorcowego spełniał luksomierz L-100 firmy Sonopan. Na rysunku tym linią ciągłą oznaczono krzywą uzyskaną przy zasilaniu źródła światła LED przebiegiem prostokątnym prądu o częstotliwości 500 Hz i współczynnikiem wypełnienia 0,5, zaś linią kreskową – wyniki uzyskane przy zasilaniu tej diody prądem stałym. Na rysunku tym na osi poziomej podane są wartości skuteczne prądu czujnika.



Rys.2. Krzywa kalibracyjna czujnika natężenia oświetlenia TEMENT6000 dla różnych warunków zasilania źródła światła.

Na rysunku 3 przedstawiono zmierzony rozkład natężenia oświetlenia dla dwóch różnych wartości prądu przewodzenia diody LED równych odpowiednio a) 0,8 A i b) 1,875 A. Jak widać, większą wartość równomierności δ równą 0,673 uzyskuje się dla prądu przewodzenia diody LED równego 0,8 A. Przy prądzie przewodzenia równym 1,875 A równomierność δ jest równa 0,642.

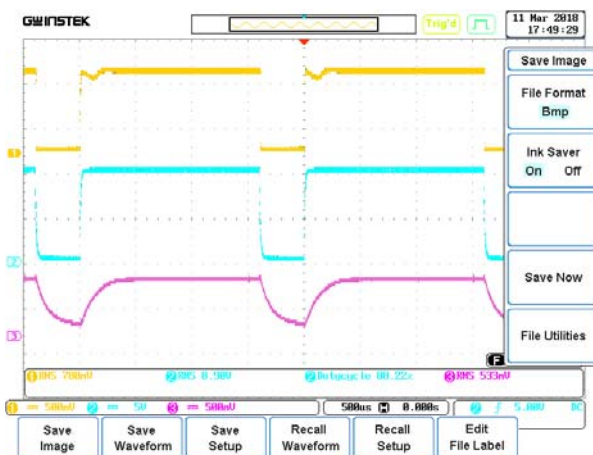


Rys.3. Rozkład natężenia oświetlenia w polu zadania dla prądu przewodzenia diody a) 0,804 A i b) 1,875 A.

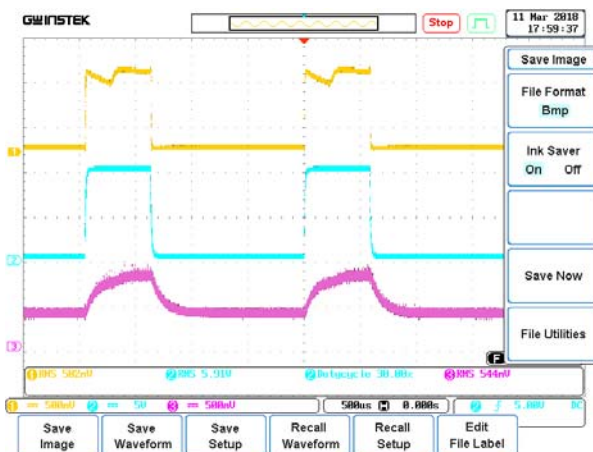
Jak można zauważyć, na zdecydowanej większości oświetlanej powierzchni różnice między zmierzonymi wartościami natężenia oświetlenia nie przekraczają 20%. Jedynie przy brzegach rozważanego obszaru obserwuje się mniejsze wartości mierzonej wielkości. Na podstawie przedstawionych wyników pomiarów wyznaczono wartości parametrów charakteryzujących oświetlenie rozważanego obszaru roboczego. Dla rozkładu pokazanego na rysunku 3b wartość parametru $E_{sr} = 869,7$ lx, $E_{min} = 558$ lx, a równomierność wynosi 0,642. Z kolei, dla rozkładu z rysunku 3a wartości tych parametrów wynoszą odpowiednio 429,2 lx, 289 lx oraz 0,673. Jak widać, większą wartość równomierności uzyskano dla prądu przewodzenia diody LED równej 0,8 A.

Na rysunku 4 pokazano zmierzone w układzie z rysunku 1 przebiegi czasowe prądu drenu tranzystora IRF540 (kanał 1), napięcie między bramką a źródłem tranzystora IRF540 (kanał 2) i napięcie analogowego czujnika optycznego (kanał 3). Przebiegi te zarejestrowano przy zerowym natężeniu oświetlenia zewnętrznego ($E = 0$ lx), przy pomocy oscyloskopu GW INSTEK typu GDS2104A. Jak widać, czujnik optyczny cechuje się bardzo dużą inercją, co wynika z działania czujników optycznych z fototranzystorem. Prąd drenu tranzystora, równy prądowi diody LED, ma przebieg zbliżony do fali prostokątnej o wartości skutecznej równej 1 A i współczynniku wypełnienia $d = 80$ %. Z kolei,

wartość skuteczna napięcia na fotodetektorze wynosi 567 mV, co odpowiada natężeniu oświetlenia o wartości 421 lx.



Rys.4. Przebiegi czasowe prądu drenu I_D (1), napięcia bramka źródło U_{GS} (2) i napięcia czujnika E_1 (3) przy $E = 0$ lx.



Rys.5. Przebiegi czasowe prądu drenu I_D (1), napięcia bramka źródło U_{GS} (2) i napięcia czujnika E_1 (3) przy $E = 200$ lx.

Na rysunku 5 pokazano zmierzone przebiegi rozważanych wielkości przy natężeniu zewnętrznego oświetlenia równym $E = 200$ lx. Jak widać, w porównaniu z rysunkiem 4 zmianie uległa wartość współczynnika wypełnienia prądu drenu. Wynosi on $d = 40$ %. Z kolei, wartość skuteczna napięcia na fotodetektorze tylko nieznacznie się zmieniła i wynosi około 556 mV. Świadczy to o poprawnej pracy rozważanego systemu wbudowanego.

Podsumowanie

W pracy przedstawiono system oświetlenia stanowiska biurowego z diodą LED oraz systemem wbudowanym, który umożliwia automatyczną regulację prądu zasilania tej diody i utrzymywanie ustalonej wartości natężenia oświetlenia przy zmianach zewnętrznych warunków oświetlenia. Przeprowadzone przez autorów badania wstępne potwierdzają poprawność opracowanej koncepcji działania rozważanego systemu.

W dalszych badaniach przewiduje się zastosowanie większej liczby źródeł światła, co umożliwi poprawę równomierności oświetlenia obszaru roboczego. Przeprowadzone zostaną także testy weryfikujące szybkość odpowiedzi na zmianę zewnętrznych warunków oświetlenia.

Autorzy: dr inż. Przemysław Ptak, Akademia Morska w Gdyni, Wydział Elektryczny, Katedra Elektroniki Morskiej, ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia; prof. dr hab. inż. Krzysztof Górecki, Akademia Morska w Gdyni, Wydział Elektryczny, Katedra Elektroniki Morskiej, ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia; inż. Sylwia Wnuczko, Akademia Morska w Gdyni, Wydział Elektryczny, Katedra Elektroniki Morskiej, ul. Morska 81-87, 81-225 Gdynia.

LITERATURA

- [1] PN-EN 12464-1:2012, Światło i oświetlenie. Oświetlenie miejsc pracy, Część 1: Miejsca pracy we wnętrzach, PKN, Warszawa
- [2] E.F. Schubert: Light emitting diodes. Second edition. Cambridge University Press, New York, (2008)
- [3] Lasance C.J.M., Poppe A.: Thermal Management for LED Applications. Springer Science+Business Media, New York, (2014)
- [4] Żagan W.: Podstawy techniki świetlnej. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, (2014)
- [5] Górecki K., Ptak P.: Modelling LED lamps with thermal phenomena taken into account. *Microelectronics Reliability*, Vol. 79, (2017), 440-447
- [6] Pawlak A., Nowe wymagania w projekcie europejskiej normy oświetleniowej, *Bezpieczeństwo Pracy*, (2010), 10, 22-25
- [7] Nota katalogowa płyty ewaluacyjnej z mikrokontrolerem STM32L4 Discovery Kit, <http://www.st.com/en/evaluation-tools/b-1475e-iot01a.html>
- [8] Czujnik natężenia oświetlenia TEMT6000: <https://www.vishay.com/docs/81579/temt6000.pdf>
- [9] Nota katalogowa procesora STM32L475VGT6, <http://www.st.com/en/microcontrollers/stm32l475vg.html>
- [10] Nota katalogowa transoptora CNY17-4, <https://www.vishay.com/docs/83606/cny17.pdf>
- [11] Nota katalogowa sterownika MCP1405, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22022b.pdf>
- [12] Nota katalogowa diody Xlamp XM-L2: <http://www.cree.com/led-components/media/documents/XLampXML2.pdf>