Wojciech GRZESIAK, Dariusz SOLNICA, Piotr GUZDEK, Paweł IWANICKI, Piotr MAĆKÓW , Tomasz MAJ, Artur POLAK, Krzysztof ZARASKA

Instytut Technologii Elektronowej LARS LIGHTING

doi:10.15199/48.2018.08.03

Inteligentne systemy oświetleniowe o bardzo wysokim współczynniku oddawania barw

Streszczenie. *W artykule omówiono wybrane zagadnienia związane z projektem i realizacją inteligentnego systemu oświetleniowego o bardzo wysokim współczynniku oddawania barw zbudowanym na bazie matrycy złożonej z 2x15x6 diod LED wytwarzających światło barwne w sześciu różnych kolorach. Zaprezentowano schemat blokowy systemu, jego wybrane człony oraz uzyskane wyniki badań. Głównie skupiono się nad blokami sytemu zasilania i sterowania diodami LED. Dokonano również prezentacji dwóch komercyjnych rozwiązań systemów oświetleniowych przeznaczonych do iluminacji ekspozycji muzealnych i wystawienniczych bazujących na białych diodach typu LED.*

Abstract. *The article discusses selected issues related to the design and implementation of intelligent lighting system with a very high color rendering index based on a matrix composed of 2x15x6 LEDs producing white light based on six different component colors. The block diagram of the system, its selected modules and obtained test results are presented. The article mainly focuses on the power supply and control modules of LED diodes. The presentation of two commercial solutions for lighting systems designed for the illumination of museum and exhibitions based on white LED diodes has also been made. (**Intelligent lighting systems with a very high value of color rendering index)***

Słowa kluczowe: inteligentny system oświetleniowy, dioda LED, współczynnik oddawania barw, CRI, R_a, czujnik obecności,
Keywords: Intelligent lighting system, color rendering index, presence sensor, color temperature sensor luminous flux sensor

Wprowadzenie

Dynamiczny postęp w rozwoju technologii i produkcji półprzewodnikowych źródeł światła typu LED (ang. light-emitting diode) oraz komponentów umożliwiających projektowanie i wytwarzanie zaawansowanych systemów sterowania przyczynił się do rozwoju systemów oświetleniowych charakteryzujących się bardzo wysokim współczynnikiem oddawania barw CRI.

Współczynnik oddawania barw CRI (ang. Colour Rendering Index) zwany dalej dla uproszczenia współczynnikiem CRI jest odpowiedzialny za wierność odwzorowania kolorów przedmiotów oświetlanych przez dane źródło światła. Im jego wartość jest bliższa wartości 100, tym odwzorowanie jest wierniejsze. Często w nomenklaturze krajowej nosi on nazwę ogólnego współczynnika oddawania barw R_a.

Komercyjnie systemy oświetleniowe o wysokim współczynniku CRI z reguły są projektowane głównie w oparciu o białe diody LED, a w najprostszym wykonaniu bazujące na diodach tego samego typu. Przykład takiego rozwiązania przeznaczonego do iluminacji ekspozycji muzealnych i wystawienniczych pokazano na rysunku 1.

Rys. 1. Wygląd zewnętrzny lampy z zbudowanej w oparciu o pojedynczą diodę LED

Pełny opis tego komercyjnego rozwiązania noszącego oznaczenie PX393 dostępny jest w poz.[1]. Należy podkreślić, że do zalet, rozwiązań tego typu należy całkowity brak emisji promieniowania ultrafioletowego, śladowe ilości promieniowania podczerwonego, wysoki współczynnik oddawania barw CRI, wysoka wartość strumienia świetlnego oraz wysoka sprawność energetyczna. Lampa ta w zależności od typu zastosowanej diody może mieć różną wartość współczynnika CRI, inną wartość temperatury barwowej oraz generować inną wartość strumienia świetnego. Przykładowe wartości tych parametrów dla poszczególnych wersji lampy zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie wybranych parametrów poszczególnych wersji lampy PX 393

Wersja lampy	CRI (min.)	CCT (K)	Strumień świetlny (lm)
PX393-X30	95	3000	1090
PX393-930*	90	3000	1850
PX393-950	90	5000	2215
PX393-830	80	3000	2385
PX393-850	80	5000	2420

*podstawowa wersja standardowa lamy
** inne wartości parametrów dostępne na zamówienie.

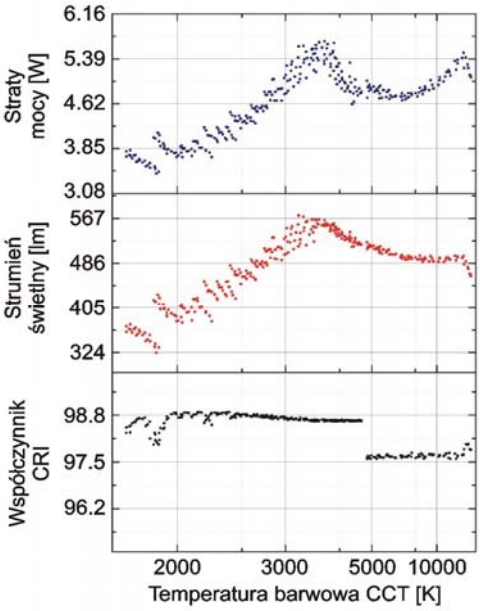
Ze specyfiki technologii diod LED i danych zebranych w powyższej tabeli wynika, że za wyższą wartość współczynnika CRI przy tej samej mocy zasilającej diodę musimy zadowolić się dużo niższą wartością strumienia świetlnego.

Na rynku dostępne są również rozwiązania zbudowane w oparciu o diody o dwóch różnych temperaturach barwowych pozwalające na regulację temperatury barwowej lampy w bardzo szerokim zakresie. Przykładem takiego rozwiązania jest lampa PxArt 12 wyposażona w 12 diod LED o temperaturach barwowych 2700 i 5000 K i strumieniu świetlnym 1200 lumenów. Lampa ta może być wyposażana w soczewki o różnych kątach rozsyłu strumienia świetlnego i dodatkowo może być sterowana np. z czujnika temperatury barwowej oraz strumienia świetlnego. Pełny opis lampy dostępny jest w poz.[1]. Jej wygląd zewnętrzny pokazano na rysunku 2.

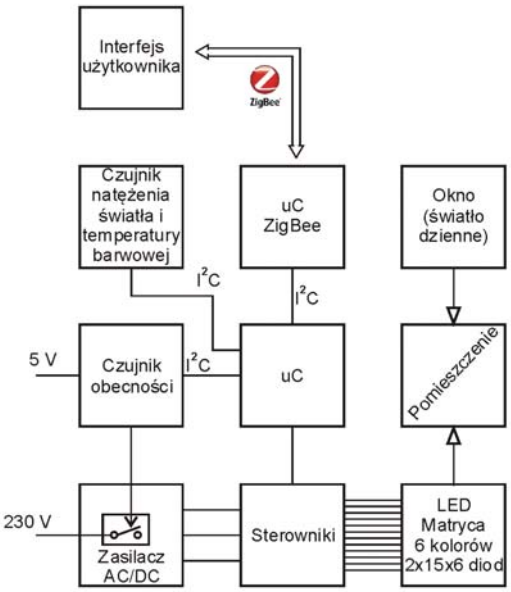
Należy zaznaczyć, że na dzień dzisiejszy dostępne są diody LED o współczynniku CRI dochodzącym do wartości 98. Diody takie opisano w poz.[2] i [3]. Ponieważ w momencie rozpoczęcia prac nad projektem diody takie nie były dostępne i jak wcześniej wspomniano za wysoką wartość współczynnika CRI płacimy niską wartością strumienia świetlnego, postanowiono zaprojektować system bazujący na wielokrotnościach sześciu różnych diod LED generujących światło barwne. W tym celu przeprowadzono badania symulacyjne oraz praktyczne na około setce

kombinacji barwnych diod LED, które pozwoliły osiągnąć rezultat przedstawiony na rysunku 3. Dane dotyczące składu i udziału poszczególnych kolorów w wybranym optymalnym ich składzie, na obecnym etapie projektu objęte są klauzulą poufności.

Rys. 2. Wygląd zewnętrzny lampy z zbudowanej w oparciu o 12 diod LED o dwóch różnych temperaturach barwowych.



Rys. 3. Zależność współczynnika CRI, strumienia świetnego i strat mocy w zestawie diod LED zastosowanym w eksperymencie w funkcji temperatury barwowej



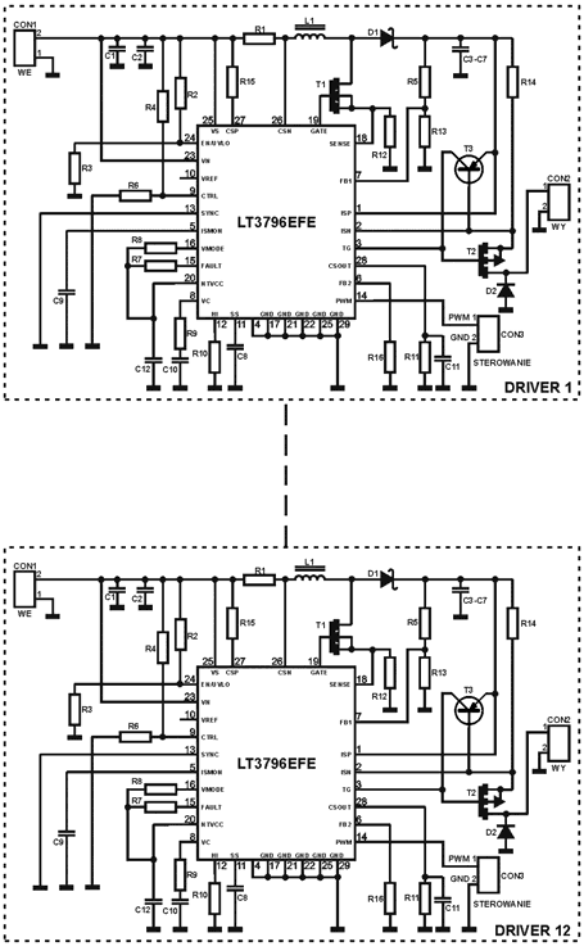
Rys. 4. Schemat blokowy prezentowanego systemu oświetleniowego

Opis projektu

Dla potrzeb projektu opracowano i wykonano demonstrator systemu oświetleniowego zaprezentowany na rysunku 4.

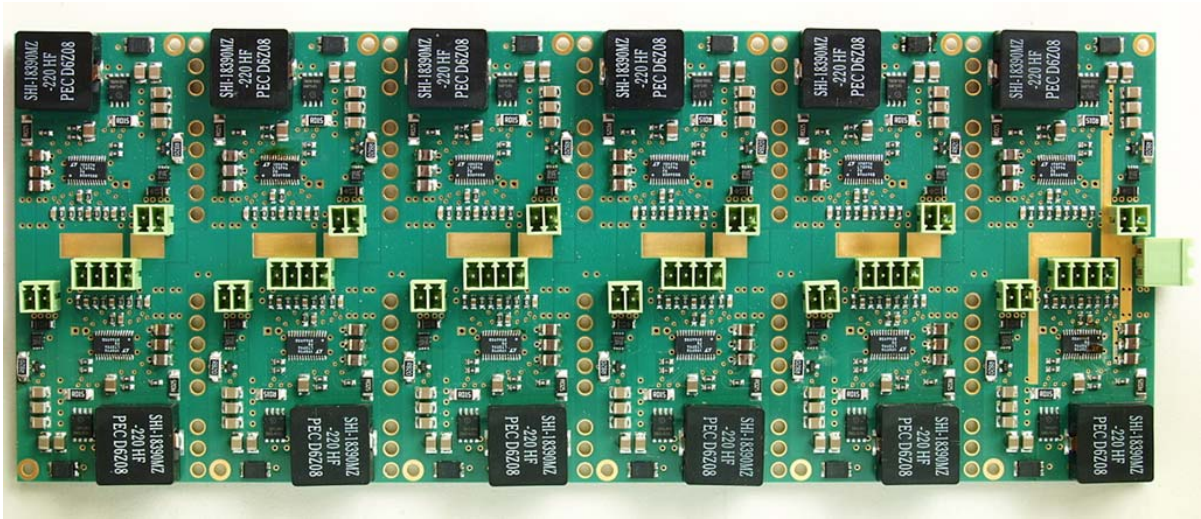
Blok zasilacza to komercyjny zasilacz HLG-240H-24A o mocy 240 W, napięciu wyjściowym 24 V dodatkowo regulowanym w zakresie od 22,4 do 25,6 V i prądzie 10 A regulowanym w zakresie od 5 do 10 A. Na decyzję o jego zastosowaniu wpłynęły niska cena, wysoka sprawność wynosząca 92,5 % oraz udzielana przez producenta gwarancja wynosząca 84 miesiące. Do załączania zasilacza zaprojektowano przekaźnik elektroniczny zbudowany w oparciu o triak i specjalizowany układ scalony MOC 3063, który zapewnia galwaniczną izolację obwodu sterującego od sterowanego (napięcie przebicia 7,5 kV) oraz dzięki wbudowanemu obwodowi ZCC (ang. zero crossing circuit) załączanie w zerze napięcia sieci zasilającej. Więcej na temat tego rozwiązania w poz. [5].

Kolejny blok to czujnik obecności zbudowany w oparciu o półprzewodnikowy fotometryczny sensor temperatury (bazujący na pomiarze podczerwieni IR) pozwalający na dokładny pomiar temperatury w każdym segmencie podzielonego na 1024 obszarów pomieszczenia. Na podstawie pomiaru temperatury z dokładnością do 0,5 stopnia w każdym z 1024 pól realizowanych przez czujnik i obróbkę softwarową stosownych algorytmów umożliwia on przeprowadzenie ciągłego wykrywania obecności użytkownika, wykorzystując efekt, iż jego temperatura odróżnia się od tła pomieszczenia. Na rys. nr 7 pokazano obszar pomieszczenia z identyfikacją osoby (w tle i na skali pokazano zakres mierzonych temperatur przez sensor).

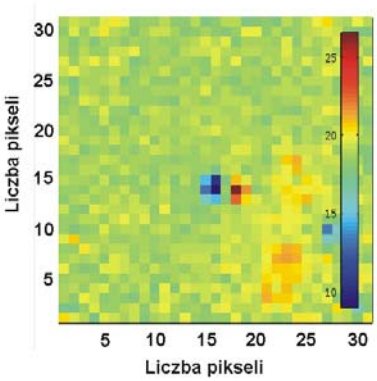


Rys. 5. Schemat ideowy modułu 12 driverów

Podstawowym elementem systemu pozwalajacym na uzyskanie bardzo wysokiego współczynnika CRI jest matryca o wymiarach 30x60 cm, wykonana ze 180 (2x15x6) diod LED bazujących na sześciu typach diod wytwarzających światło barwne. To rozwiązanie jest zasadniczym elementem projektu odróżniającym go od innych rozwiązań znanych autorom. Jego zaletą jest to, że posiada dużo większe możliwości modelowania charakterystyki spektralnej, generowanego przez nią strumienia świetlnego oraz większą wydajność świetlną. Wadą tego rozwiązania jest konieczność stosowania dedykowanych rozpraszaczy lub pryzm niezbędnych do zmieszania światła generowanego przez poszczególne barwne diody LED, które powodują dodatkowe tłumienie strumienia świetlnego i generują dodatkowe koszty. Duża ilość zastosowanych diod barwnych wymagała zastosowania 12 driverów (po 2 drivery na każdy kolor). Drivery te zbudowano w oparciu o dedykowany układ scalony typu LT 3796 EFE. W projekcie drivery są źródłami prądowymi pracującymi w szerokim zakresie napięć wejściowych i wyjściowych oraz dających możliwość sterowania sygnałem PWM (ang. Pulse-Width Modulation). Ze względu na fakt, że wyposażone są w przetwornicę step-up/step-down, dopuszczalne jest zasilanie łańcuchów diod LED o spadku napięcia do prawie 100 V, przy zasilaniu z zasilacza o dowolnym napięciu z zakresu 8÷100 V. W projekcie zastosowano aplikację wykorzystującą wyłącznie przetwornicę step-up i dlatego w tym przypadku napięcie zasilające musiało być niższe od spadku napięcia na diodach. Więcej informacji na ten temat można znaleźć w poz. [4] i [5]. Schemat ideowy zaprojektowanego i wykonanego modułu driverów pokazano na rysunku 5, a jego wygląd zewnętrzny na rysunku 6.



Rys. 6. Wygląd zewnętrzny modułu 12 driverów



Rys. 7 Detekcja obiektu w pomieszczeniu na bazie pomiaru temperatury

W projekcie zastosowano adaptacyjny układ sterowania mocą przez pomiar poziomu światła (fotodetektor - luksometr), mierzący oświetlenie powierzchni roboczej. W przypadku oświetlenia dopełniającego przez strumień światła dziennego (wpadającego przez okna, świetliki itp.) system zapewnia regulację mocy oświetlenia (zapewnienie mieszania) światła dziennego ze światłem z diod LED (moc lampy zostanie zmniejszona do utrzymania stosownego strumienia światła na powierzchni roboczej). Zastosowano również regulacje temperatury barwowej światła z lampy przez układ składający się z wyspecjalizowanego sensora temperatury barwowej CCT (correlated color temperature) i systemu zmian współczynnika PWM dla poszczególnych składowych widma światła (konkretnego koloru LED). Komunikacja z użytkownikiem oraz z dodatkowymi lampami (praca w sieci) została zrealizowana na zasadzie bezprzewodowej transmisji danych opartej na systemie ZigBee.

Wnioski końcowe

Zastosowanie opisanego rozwiązania wg aktualnej wiedzy autorów posiada cechy nowości. Uzyskane wyniki wykazały poprawność projektu i jego realizacji. Rozwiązanie to jest głównie dedykowane do realizacji systemów oświetleniowych dla poniższych obszarów aplikacyjnych:

- Zakłady graficzne zajmujące się produkcją materiałów drukowanych wszędzie tam gdzie, jakość koloru odgrywa istotną rolę zwłaszcza na stanowiskach kontrolnych.
- Przemysł samochodowy zwłaszcza stanowiska inspekcyjne przy montażu końcowym pojazdów.
- Salony sprzedaży pojazdów zwłaszcza oświetlenie powierzchni wystawowej.
- Sale operacyjne zwłaszcza oświetlanie pola operacyjnego.
- Gabinety dentystyczne oraz protetyczne - oświetlanie pola pracy.
- Stanowiska robocze w pracowniach konserwacji malarstwa i reprodukcji.
- Eksponaty muzealne, galerie sztuki.

Wybrane efekty prowadzonych prac mogą znaleźć zastosowanie wielu innych obszarach aplikacyjnych takich jak: rolnictwo (zwłaszcza doświetlanie roślin), oświetlenie dekoracyjne basenów, fontann, elementów ogrodów oraz elewacji budynków poz.[6], [7].

Prace badawcze współfinansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach 2 konkursu polsko-berlińskiego w obszarze fotoniki na podstawie umowy nr 1/POLBER-2/2016.

Autorzy: *dr inż. Wojciech Grzesiak Instytut Technologii Elektronowej LARS LIGHTING Sp. z o.o., Oddział w Krakowie, ul. Drukarska 1, 05-090 Jaworowa ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków mgr inż. Dariusz Solnica Instytut Technologii Elektronowej LARS LIGHTING Sp. z o.o., Oddział w Krakowie, ul. Drukarska 1, 05-090 Jaworowa ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, dr inż. Piotr Guzdek Instytut Technologii Elektronowej LARS LIGHTING Sp. z o.o., Oddział w Krakowie, ul. Drukarska 1, 05-090 Jaworowa ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, mgr inż. Paweł Iwanicki Instytut Technologii Elektronowej LARS LIGHTING Sp. z o.o., Oddział w Krakowie, ul. Drukarska 1, 05-090 Jaworowa ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, mgr Piotr Maćków Instytut Technologii Elektronowej LARS LIGHTING Sp. z o.o., Oddział w Krakowie, ul. Drukarska 1, 05-090 Jaworowa ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, Instytut Technologii Elektronowej LARS LIGHTING Sp. z o.o., Oddział w Krakowie, ul. Drukarska 1, 05-090 Jaworowa ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, mgr Tomasz Maj Instytut Technologii Elektronowej LARS LIGHTING Sp. z o.o., Oddział w Krakowie, ul. Drukarska 1, 05-090 Jaworowa ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, Artur Polak Instytut Technologii Elektronowej LARS LIGHTING Sp. z o.o., Oddział w Krakowie, ul. Drukarska 1, 05-090 Jaworowa ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, mgr inż. Krzysztof Zaraska Instytut Technologii Elektronowej LARS LIGHTING Sp. z o.o., Oddział w Krakowie, ul. Drukarska 1, 05-090 Jaworowa ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków*

LITERATURA

[1] Witryna internetowa http://www.pxm.pl, dostęp luty 2018
[2] http://www.seoulsemicon.com/en/technology/Sunlike/, dostęp luty 2018
[3] http://www.ledengin.com/products/gallerywhite, dostęp luty 2018
[4] Witryna internetowa http://www.linear.com dostęp luty 2018
[5] Wojciech Grzesiak, Piotr Guzdek, Piotr Maćków, Tomasz Maj, Artur Polak, Dariusz Solnica, Paweł Iwanicki, “Inteligentne wielokanałowe systemy oświetleniowe bazujące na technologii SSL LED”, Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review), 2/2018 pp.161 – 163, doi:10.15199/48.2018.02.37
[6] Zbigniew Porada, Katarzyna Strzałka-Gołuszka “LED – diody Elektroluminescencyjne” PODRĘCZNIK DLA ELEKTRYKÓW praca zbiorowa pod redakcją Jana Strojnego Zeszyt 44
[7] Grzesiak W., Żupnik M., Wojciechowska R.: "Praktyczna realizacja wielostanowiskowego programowalnego systemu doświetlania roślin zbudowanego w oparciu o technologie SSL LED", Prace Instytutu Elektrotechniki, nr. 267/2014, str. 97-107, doi:10.15199/48.2018.02.37