

## Inteligentne wielokanałowe systemy oświetleniowe bazujące na technologii SSL LED

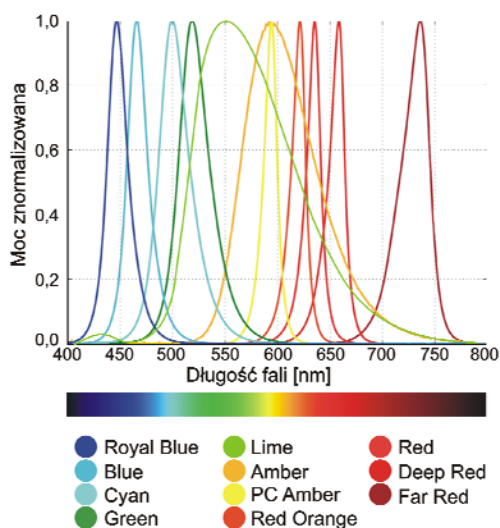
**Streszczenie.** W artykule zaprezentowano wybrane zagadnienia z zakresu projektowania i praktycznych realizacji inteligentnych systemów oświetleniowych oraz doświetleniowych, bazujących na technologii SSL LED (Solid-State Lighting Light-Emitting Diode). Szczególną uwagę poświęcono problematyce związanej z zasilaniem i sterowaniem wielokanałowych systemów pozwalających na modyfikację ich charakterystyki spektralnej. Przedstawiono koncepcję i realizację inteligentnego systemu oświetleniowego bazującego na n różnobarwnych diodach pozwalającego na uzyskanie współczynnika oddawania barw CRI (ang. Colour Rendering Index) na poziomie 98. Przedstawiono kilka możliwości modyfikowania charakterystyki spektralnej systemu w zależności od aktualnych czynników zewnętrznych. Nawiązano również do możliwości zastosowania wyników prac w innych obszarach aplikacyjnych bazując na przykładach rozwiązań przeznaczonych dla potrzeb doświetlania roślin.

**Abstract.** In the article, selected issues of design and practical implementation of intelligent lighting and illumination systems based on SSL LED (Solid-State Lighting Light-Emitting Diode) technology are presented. Particular attention is given to issues related to the power supply and control of multi-channel systems that allow their spectral characteristics to be adjusted. An idea and implementation of an intelligent lighting system using multiple diodes of various colours and allowing a colour rendering index (CRI) of the order of 98 to be achieved is presented. A few possibilities of modifying spectral characteristics of the system depending on current ambient conditions are shown. A reference is also made to the applicability of the results of the work in other areas based on exemplary solutions for plant illumination systems. **Intelligent Multi-Channel Lighting Systems Based on SSL LED Technology**

**Słowa kluczowe:** Dioda LED, półprzewodnikowe źródła światła, CRI, współczynnik oddawania barw  
**Keywords:** SSL LED, Solid-State Lighting Light-Emitting Diode, CRI, Colour Rendering Index

### Wprowadzenie

Dynamiczny rozwój technologii SSL LED i jej komercjalizacja dały projektantom systemów oświetleniowych obszerny wachlarz możliwości doboru diod LED pod kątem mocy, wymiarów, sposobu montażu jak również palety kolorów. Dodatkowo dały również możliwość modelowania charakterystyki widma systemu oraz olbrzymią sprawność i niezawodność niedoścignioną wśród innych źródeł światła eksploatowanych dotychczas. Wiodący producenci diod LED dają nam do dyspozycji poza diodami białymi o różnych temperaturach barwowych, kilkanaście diod kolorowych. Na rysunku 1 przedstawiono zależność mocy znormalizowanej od długości fali dla jedenastu diod kolorowych jednego z producentów.



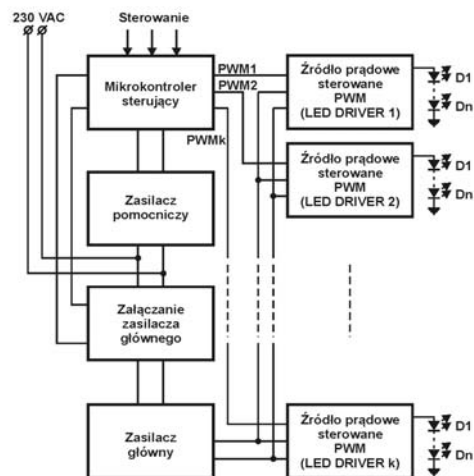
Rys.1. Zależność mocy znormalizowanej od długości fali dla jedenastu diod kolorowych jednego z producentów.

W ramach prac prowadzonych przez jednego z realizatorów projektu na bazie przeprowadzonego eksperymentu dowiedziano, że możliwym jest takie zmieszanie światła wybranych sześciu diod, aby uzyskać

współczynnik CRI na poziomie 98. Współczynnik oddawania barw CRI to parametr charakteryzujący wszelkie źródła światła – zarówno naturalne, jak i sztuczne. Informuje on, w jakim stopniu dane źródło światła pozwala na wierne odwzorowanie kolorów.

### Praktyczna realizacja systemu

Dla praktycznej realizacji projektu zaprojektowano i wykonano inteligentny wielokanałowy system, którego schemat blokowy przedstawiono na rysunku 2.

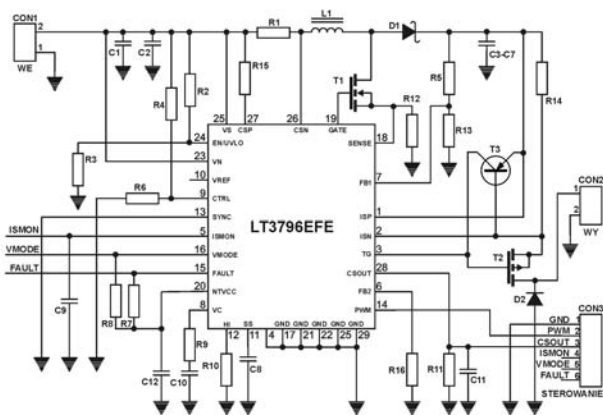


Rys.2. Schemat blokowy inteligentnego wielokanałowego systemu oświetleniowego bazującego na technologii SSL LED

W systemie zastosowano dwanaście łańcuchów kolorowych diod LED. Każde dwa łańcuchy to inny kolor. Dobór kolorów i ich procentowy udział jest na obecnym etapie projektu objęty klauzulą poufności.

Do sterowania diodami zastosowano dwanaście źródeł prądowych (LED DRIVER), do których dołączono po 15 diod LED. Każde ze źródeł jest sterowane sygnałem PWM (ang. Pulse-Width Modulation), czyli poprzez modulację szerokości (czasu trwania) impulsu.

Każde z dwunastu źródeł prądowych zostało zaprojektowane i zrealizowane w oparciu o schemat ideowy przedstawiony na rysunku 3.



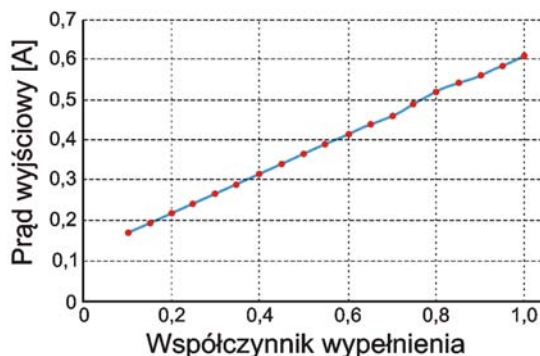
Rys.3. Schemat ideowy źródła prądowego (LED DRIVER)

Powyższe źródło prądowe znamienne jest szerokim zakresem napięć wejściowych i wyjściowych. Pozwala na sterowanie PWM. Ze względu na fakt, że wyposażone jest w przetwornicę step-up/step-down, pozwala na zasilanie łańcuchów diod LED o spadku napięcia do prawie 100 V, przy zasilaniu z zasilacza o dowolnym napięciu z zakresu 8÷100 V. Więcej informacji na ten temat zawarto w poz. [1]. Wartości i typy zastosowanych podzespołów w projekcie również objęte są klauzulą poufności.

Zależność prądu wyjściowego, czyli prądu płynącego przez gałąź diod LED w funkcji współczynnika wypełnienia przedstawiono na rysunku 4.

Do zdjęcia tej zależności zastosowano:

- Multimetr cyfrowy Keithley model 2700 o rozdzielczości 6 1/2 cyfry
- Bocznik amperomierza 50 A, 0,001 Ohm, ±1%, Keithley model 1651
- Cyfrowy oscyloskop typu TDS 3054 B firmy Tektronix
- Mikroprocesorowy generator własnej konstrukcji pozwalający na wytwarzanie przebiegu o kształcie prostokątnym, częstotliwości 200 Hz i regulacji współczynnika wypełnienia w zakresie od 0,1 do 1 (0 do 100 %)



Rys.4. Zależność prądu wyjściowego, czyli prądu płynącego przez gałąź diod LED w funkcji współczynnika wypełnienia

Zasilacz główny to komercyjny zasilacz HLG-240H-54, którego wygląd zewnętrzny przedstawiono na rysunku 5, a jego parametry zebrano w tabeli 1.

Przy jego doborze kierowano się jego parametrami zwłaszcza bardzo wysoką sprawnością, długim okresem gwarancji oraz bardzo atrakcyjną ceną będącą na poziomie 200 zł. netto.

Zasilacz pomocniczy to komercyjny zasilacz IRM-01, którego wygląd zewnętrzny przedstawiono na rysunku 6, a jego parametry zebrano w tabeli 2. Przy jego doborze

również kierowano się jego parametrami, długim okresem gwarancji oraz bardzo atrakcyjną ceną będącą na poziomie 15 zł. netto.



Rys.5. Wygląd zewnętrzny zastosowanego zasilacza głównego

Tabela 1. Parametry zastosowanego zasilacza głównego:

Producent	MEAN WELL
Typ zasilacza	impulsowy
Zastosowanie	LED
Rodzaj zasilacza	CV+CC
Moc	240,3 W
Napięcie wyjściowe	54 V DC
Prąd wyjściowy	4,45 A
Napięcie zasilania	90+305 V AC, 127+431 V DC
Klasa szczelności	IP67
Wymiary zewnętrzne	244,2 x 68 x 38,8 mm
Rodzaj obudowy	994C
Właściwości zasilaczy/przetwornic	znamionowe parametry uzyskiwane przy pełnym obciążeniu
Zabezpieczenie	przeciążenie, przegrzanie, wzrost napięcia, zwarcie
Masa	1,3 kg
Temperatura pracy	-40+70 °C
Podłączenie elektryczne	przewody 300 mm
Liczba wyjść	1
Seria	HLG-240 H
Sprawność	93,5 %
Funkcje dodatkowe	PFC aktywne
Gwarancja (miesiące)	84



Rys.6. Wygląd zewnętrzny zastosowanego zasilacza pomocniczego

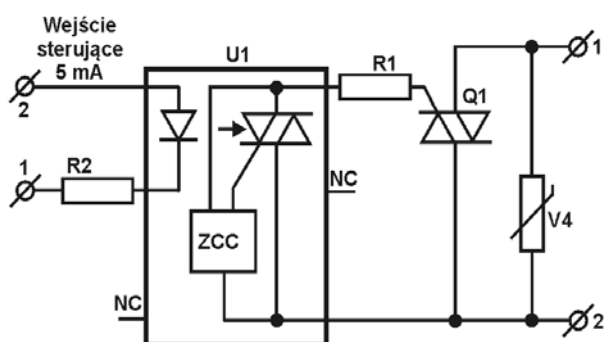
Dla potrzeb załączania systemu zaprojektowano i wykonano przekaźnik elektroniczny według schematu przedstawionym na rysunku 5.

W przekaźniku zastosowano jako komponent U1 specjalizowany układ scalony MOC 3063, który zapewnia galwaniczną izolację obwodu sterującego od obwodu sterowanego (napięcie przebicia 7,5 kV) oraz dzięki wbudowanemu obwodowi ZCC (ang. zero crossing circuit) załączanie w zerze napięcia sieci zasilającej. Koszt zakupu

układu MOC 3063 na poziomie ok. 1 zł. powoduje, że rozwiązanie to skutecznie konkuruje z komercyjnymi przełącznikami mechanicznymi i elektronicznymi.

Tabela 2. Parametry zastosowanego zasilacza pomocniczego:

Producent	MEAN WELL
Typ zasilacza	impulsowy
Rodzaj zasilacza	modułowy
Moc	1 W
Napięcie wyjściowe	5 V DC
Prąd wyjściowy	0,2 A
Napięcie zasilania	85÷305 V AC, 120÷430 V DC
Masa	19 g
Podłączenie elektryczne	THT
Zabezpieczenie	przeciążenie, wzrost napięcia, zwarcie
Montaż	PCB
Liczba wyjść	1
Temperatura pracy	-30÷85°C
Wymiary zewnętrzne	33,7 x 22,2 x 15 mm
Sprawność	70 %
Seria	IRM-01



Rys. 7. Schemat ideowy przełącznika elektronicznego włączającego zasilacz przy napięciu sieci zasilającej bliskim 0 V.

Opracowany system zasilania został zastosowany w projekcie pt. „Adaptacyjny Sterowany Obecnością Zintegrowany i Regulowany System Oświetlenia”, w którym dodatkowo wprowadzono sterowanie poszczególnych kanałów poprzez:

- Zastosowanie półprzewodnikowego fotometrycznego sensora temperatury, który pozwala na dokładny pomiar temperatury w każdym segmencie podzielonego na 64 obszarów pomieszczenia. Na podstawie pomiaru temperatury z dokładnością do 0,5 stopnia w każdym z 64 pól realizowanych przez czujnik i obróbkę softwarową algorytmów niezbędnych do przeprowadzenia ciągłego wykrywania obecności użytkownika.
- Zastosowanie adaptacyjnego czujnika poziomu światła (fotodetektor - luksometr), przez który będzie można zmierzyć oświetlenie powierzchni roboczej. W przypadku oświetlenia dopełniającego przez strumień światła dziennego (wpadającego przez okna, świetliki itp.) system zapewni regulację mocy oświetlenia (zapewni niemieszanie) światła dziennego ze światłem z diod LED (moc lampy zostanie zmniejszona do utrzymania stosownego strumienia światła na powierzchni roboczej).
- Zastosowanie pomiaru temperatury barwowej przez układ składający się z fotodetektora i wyłączania impulsowego poszczególnych składających widma światła (konkretnego koloru LED) lub przez zastosowanie wyspecjalizowanego sensora temperatury barwowej

## Wnioski końcowe

Prowadzone prace bazujące na wcześniejszych doświadczeniach związanych z systemami doświetlania roślin opisanych w pozycjach lit. [2-8] w połączeniu z bogatą ofertą producentów diod LED, mogą znaleźć zastosowanie w wielu innych obszarach aplikacyjnych takich jak:

- Medycyna
- Rolnictwo [9]
- Oświetlenie dekoracyjne basenów, fontann, elementów ogrodów oraz elewacji budynków.
- Oświetlenie wnętrz oraz detali architektonicznych
- Oświetlenie obiektów muzealnych i wielu innych.

## Podziękowania

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 Oddział w Krakowie, ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: grzesiak@ite.waw.pl; dr inż. Piotr Guzdek, Instytut Technologii Elektronowej Oddział w Krakowie, ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: pguzdek@ite.waw.pl; mgr Piotr Maćków, Instytut Technologii Elektronowej Oddział w Krakowie, ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: pmackow@ite.waw.pl; mgr Tomasz Maj, Instytut Technologii Elektronowej Oddział w Krakowie, ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: maj@ite.waw.pl; Artur Polak, Instytut Technologii Elektronowej Oddział w Krakowie, ul. Zabłocie 39, 30-701 Kraków, E-mail: polak@ite.waw.pl; mgr inż. Dariusz Solnica, LARS LIGHTING Sp. z o.o., ul. Drukarska 1, 05-090 Jaworowa, E-mail: dariusz.solnica@larslighting.pl; mgr inż. Paweł Iwanicki, LARS LIGHTING Sp. z o.o., ul. Drukarska 1, 05-090 Jaworowa, E-mail: pawel.iwanicki@larslighting.pl;

## LITERATURA

- [1] <http://www.linear.com>, dostęp wrzesień 2017
- [2] Grzesiak W., Cież M., Nowak S. Zaraska W., Dubert F., Czyżyło-Mysza I., „Application of PV Powered High Intensity LED's for Supplementary Irradiation of Horticultural Plants”, Proc. of the 2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, May 7-12.2006, Hilton Waikoloa Village, Waikoloa, Hawaii, pp. 2400-2403 + prezentacja posterowa
- [3] Wojciech Grzesiak, Stanisław Nowak, Jerzy Początek, Agata Skwarek, Sławomir Kurpaska, Franciszek Dubert, Andrzej Maria Skoczowski, Ilona Czyżyło-Mysza, „Zastosowanie diod LED w systemach doświetlania roślin wyzwaniem na dzisiaj i na jutro”, (Application of LEDs in plants irradiation systems – challenge for today and for tomorrow), Elektronika 10/2009, pp. 73-77
- [4] Wojciech Grzesiak, Adam Bieńkowski, Marek Żupnik, Renata Wojciechowska, Anna Kołtun, Sławomir Kurpaska, „Nowoczesne systemy doświetlania roślin oparte o najnowsze osiągnięcia technologii SSL LED”, Elektronika 6/2011, pp. 137-139
- [5] Grzesiak W., Żupnik M., Wojciechowska R.: „Inteligentny system doświetlania roślin bazujący na technologii SSL LED”, Prace Instytutu Elektrotechniki, nr. 255/2012, str. 259-276
- [6] Żupnik M., Grzesiak W., Wojciechowska R., Kurpaska S.: „Programowalny system doświetlania roślin zbudowany w oparciu o technologię SSL LED”, Inżynieria Rolnicza 2(136)/2012, str. 361-369
- [7] Grzesiak W., Żupnik M., Wojciechowska R.: „Praktyczna realizacja wielostanowiskowego programowalnego systemu doświetlania roślin zbudowanego w oparciu o technologię SSL LED”, Prace Instytutu Elektrotechniki, nr. 267/2014, str. 97-107
- [8] Grzesiak W., Żupnik M.: „Analiza możliwości i zasadności zastosowania technologii SSL LED w procesie doświetlania upraw trawy pszenicznej”, Prace Instytutu Elektrotechniki, nr. 267/2014, str. 87-95
- [9] Grzesiak W.: „Wykorzystanie energooszczędnego oświetlenia w rolnictwie - stan badań i perspektywy rozwoju”, Rozdział w Monografii pt. Współczesna inżynieria rolnicza - osiągnięcia i nowe wyzwania, PTIR, Kraków, 2013, str. 157-189