

Wojciech WOJTKOWSKI
Andrzej KARPIUK

CYFROWY REGULATOR PRĄDU DIOD LED STEROWANY MIKROKONTROLEREM AVR^{*)}

STRESZCZENIE *W artykule przedstawiono koncepcję cyfrowego regulatora prądu diody LED dużej mocy, przeznaczonego do zastosowań oświetleniowych. Główną zaletą proponowanego rozwiązania jest wysoka energooszczędność uzyskana dzięki wykorzystaniu wyjściowego stopnia mocy pracującego impulsowo. Cyfrowa regulacja zapewnia łatwą nastawę wartości prądu oraz jego stabilizację. W artykule prezentowane są wybrane wyniki badań eksperymentalnych.*

Słowa kluczowe: *cyfrowy regulator prądu, LED, AVR, oświetlenie*

1. WSTĘP

Na przestrzeni ostatnich kilku lat obserwuje się rosnące zainteresowanie wykorzystaniem diod LED do szeroko rozumianych celów oświetleniowych (np. iluminacja gmachów, oświetlenie wnętrz, podświetlanie eksponatów). Decydują

^{*)} Zrealizowano w ramach pracy S/WE/1/06 finansowanej przez MNiSW

dr inż. Wojciech WOJTKOWSKI
e-mail: w.wojtkowski@we.pb.edu.pl

dr inż. Andrzej KARPIUK
e-mail: akar@pb.edu.pl

Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny,
Katedra Automatyki i Elektroniki

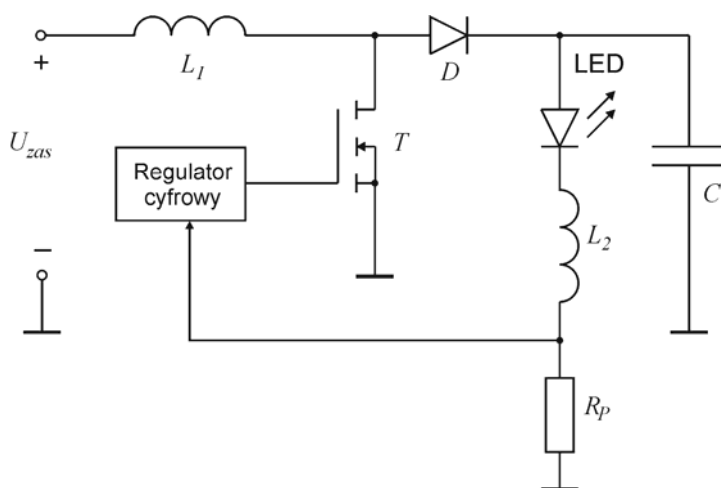
o tym nie tylko względy wizualne (artystyczne), ale również, a może przede wszystkim, ekonomiczne.

Niezwykle istotną częścią całego systemu oświetleniowego są układy zasilania i sterowania. Na rynku dostępna jest duża ilość specjalizowanych układów scalonych – sterowników diod LED, w większości są to jednak układy stosunkowo małej mocy.

W artykule przedstawiono koncepcję cyfrowego regulatora prądu diody LED, przeznaczonego do zastosowań oświetleniowych. Główną zaletą proponowanego rozwiązania jest wysoka energooszczędność uzyskana dzięki wykorzystaniu wyjściowego stopnia mocy pracującego impulsowo.

2. UKŁAD ZASILANIA DIOD LED Z CYFROWYM REGULATOREM PRĄDU

Proponowany układ (rys. 1) jest rozwinięciem koncepcji przedstawionej w [1], bazującej na znanej konfiguracji zasilacza impulsowego podwyższającego napięcie.



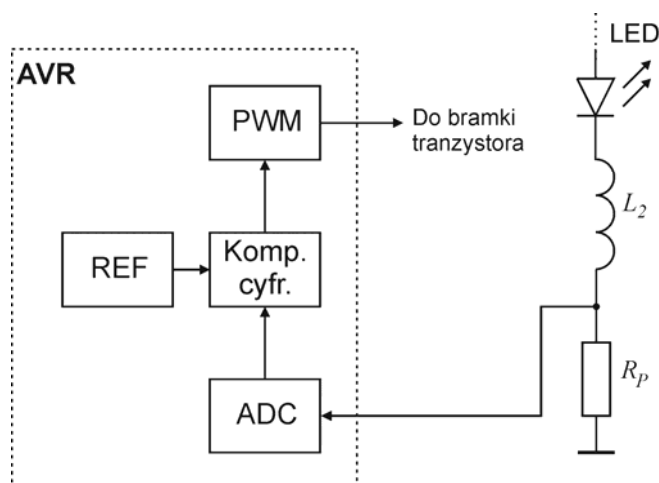
Rys. 1. Uproszczony schemat zasilania diody LED z regulatorem cyfrowym

Tranzystor MOSFET z kanałem typu n pełni rolę klucza elektronicznego. W pracy układu można wyróżnić dwie fazy. W pierwszej fazie cyklu klucz jest zamknięty (tranzystor przewodzi) i przez cewkę L_1 płynie prąd, zaś w cewce gromadzi się energia. W drugiej fazie, otwarcie klucza wymusza przejście prądu przez diodę D i pojawienie się w cewce L_1 siły elektromotorycznej samoindukcji.

Zaindukowana siła elektromotoryczna, sumuje się z napięciem zasilania U_{ZAS} , w związku z czym napięcie na obciążeniu może być wyższe od napięcia zasilającego. W tej fazie cyklu energia jest przekazywana do obciążenia i do kondensatora C . Rezystor pomiarowy R_p pełni rolę czujnika prądu pracującego w pętli sprzężenia zwrotnego. Spadek napięcia na tym rezystorze podawany jest na regulator cyfrowy, który w taki sposób zmienia wartość współczynnika wypełnienia impulsów generatora PWM, sterującego kluczem tranzystorowym, aby prąd obciążenia był stały. Warto podkreślić, iż dzięki małej wartości rezystancji R_p , nawet przy dużych wartościach prądu obciążenia, straty mocy w rezystorze pomiarowym są niewielkie.

Podstawowa zmiana układowa w porównaniu z [1] polega na włączeniu dodatkowej indukcyjności L_2 , szeregowo z zasilaną diodą LED i rezystorem pomiarowym R_p . Dzięki temu, zmniejszone zostały tętnienia prądu diody LED.

Rys. 2. Uproszczony schemat blokowy regulatora cyfrowego

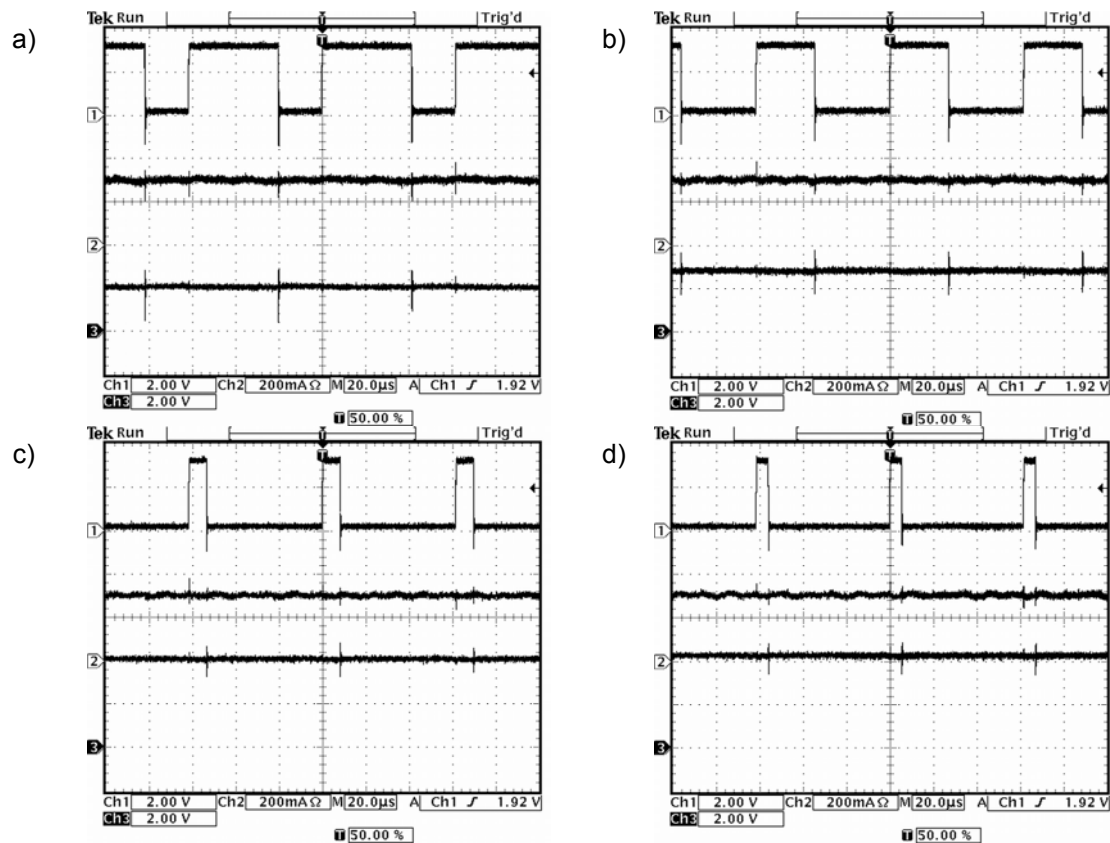


Najważniejszym modułem zasilacza jest regulator cyfrowy. Uproszczony schemat blokowy oraz sposób podłączenia regulatora, przedstawiony został na rysunku 2. Praktycznie cały regulator zaimplementowano w strukturze mikrokontrolera ATmega8 z rodziny AVR [2].

Napięcie z rezystora pomiarowego R_p , podawane jest na przetwornik analogowo-cyfrowy ADC. Komparator cyfrowy porównuje wartość binarną z przetwornika (odpowiadającą napięciu na rezystorze pomiarowym) ze słowem ośmiobitowym REF, reprezentującym zadaną wartość prądu. Przykładowo, jeżeli prąd obciążenia maleje to komparator wytwarza sygnał, powodujący zmianę szerokości impulsów sterujących tranzystorem przekształtnika, przy zachowaniu stałej częstotliwości przełączania. Stała częstotliwość generatora PWM jest uzyskana za pomocą odpowiednio zaprogramowanego układu licznikowego mikrokontrolera (generacja sprzętowa).

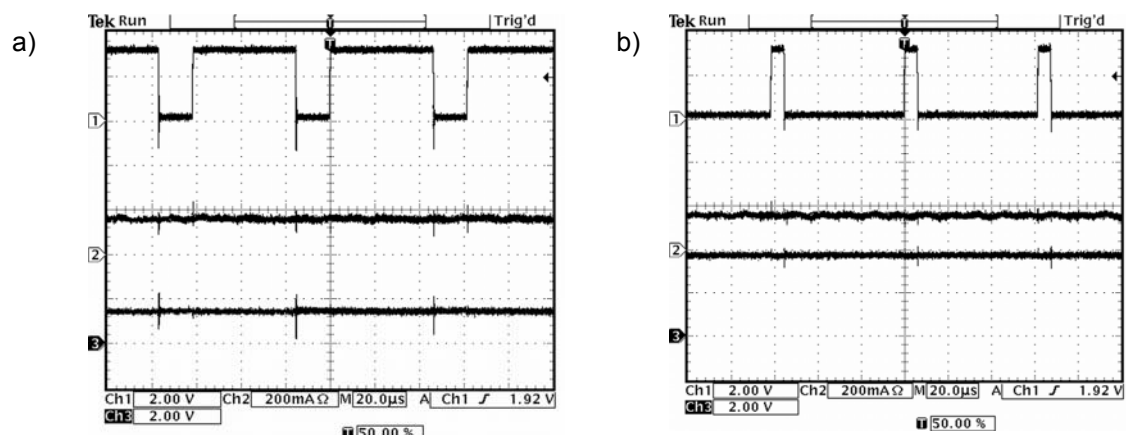
3. WYNIKI BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Prototyp zasilacza diody LED z regulatorem cyfrowym został poddany próbom laboratoryjnym. W czasie testów częstotliwość generatora PWM była ustawiona programowo na 16 kHz, wartości indukcyjności i pojemności wynosiły odpowiednio $L_1 = 200 \mu\text{H}$, $L_2 = 200 \mu\text{H}$, $C = 220 \mu\text{F}$, zaś wartość rezystancji pomiarowej R_P była równa $0,91 \Omega$. Do testów wybrano białą diodę LED, o prądzie dopuszczalnym 350 mA.



Rys. 3. Przebiegi napięcia sterującego (CH1), prądu diody LED (CH2), przy różnych napięciach wejściowych (CH3): a) 2 V, b) 2,8 V, c) 4 V, d) 4,3 V

Na rysunkach 3a – 3d, przedstawione zostały oscylogramy ilustrujące pracę układu przy stałym prądzie diody LED równym 300 mA. Istotne jest, że przy zmianie napięcia wejściowego w zakresie od 2 V do 4,3 V, prąd diody nie zmienia wartości. Jest to efekt prawidłowej pracy regulatora cyfrowego, który odpowiednio zmienia współczynnik wypełnienia przebiegu sterującego tranzystorem kluczującym (rys. 3a – 3d). Analogiczne przebiegi dla prądu diody równego 150 mA, zostały przedstawione na rysunku 4.



Rys. 4. Przebiegi napięcia sterującego (CH1), prądu diody LED (CH2), przy różnych napięciach wejściowych (CH3): a) 1,4 V, b) 3,7 V

Przeprowadzono badania zakresów zmian napięć wejściowych oraz odpowiadających im średnich wartości prądów pobieranych z zasilacza przy wybranych prądach diody LED. Wyniki zestawiono w tabeli 1.

TABELA 1

Zakres zmian napięć wejściowych oraz średnich prądów pobieranych z zasilacza, przy różnych prądach diody LED

I_{LED} [mA]	$U_{wej\ min}$ [V]	I_{zas} przy $U_{wej\ min}$ [mA]	$U_{wej\ max}$ [V]	I_{zas} przy $U_{wej\ max}$ [mA]
30	0,7	220	3,4	35
90	1,1	650	3,75	100
150	1,4	940	4,1	170
200	1,6	1200	4,2	210
300	2,1	1950	4,6	320

Warto zauważyć, że minimalne napięcia zasilające, są znacznie mniejsze, niż napięcie przewodzenia diody LED. Napięcia te można jeszcze obniżyć, zwiększając zakres regulacji współczynnika wypełnienia impulsów, który podczas badań był ograniczony od góry do wartości 85%. Układ przy pracy z minimalnymi napięciami wejściowymi wymaga stosunkowo dużych prądów wejściowych. Z drugiej strony, zastosowanie wyższych napięć zasilających skutkuje znacznie lepszym wykorzystaniem prądu zasilacza (przekraczającym 90%).

4. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono koncepcję cyfrowego regulatora prądu diod LED, bazującego na popularnym mikrokontrolerze 8-bitowym z rodziny AVR.

Badania eksperymentalne wykazały, iż układ spełnia swoje zadania. Układ umożliwia pracę przy zasilaniu napięciami znacznie niższymi od spadku napięcia na diodzie LED, co może być istotne w urządzeniach zasilanych bateryjnie.

Proponowany układ może zastąpić droższe i często trudno dostępne, w ilościach detalicznych, sterowniki specjalizowane.

Wewnętrzne zasoby sprzętowe zastosowanego mikrokontrolera pozwalają na znaczne rozszerzenie funkcjonalności regulatora, bez rozbudowy układu np.:

- ustawianie cykli czasowych oświetlenia,
- automatyczne wykrywanie i sygnalizacja uszkodzenia diody,
- praca w charakterze kluczowanego źródła prądu (regulacja jasności za pomocą sygnału PWM),
- regulacja jasności za pomocą zmiany wartości prądu,
- miękki start.

Dodatkowe funkcje wymagają jedynie odpowiedniej modyfikacji oprogramowania.

LITERATURA

1. Karpiuk A., Wojtkowski W.: Cyfrowy regulator prądu diody LED do zastosowań oświetleniowych. Przegląd Elektrotechniczny, R.85, nr 11/2009, s.304-305.
2. 8-bit AVR with 8K Bytes In-System Programmable Flash. ATmega8, Rev.2486V–AVR–05/09, www.atmel.com

Rękopis dostarczono, dnia 26.03.2010 r.

Opiniował: prof. dr hab. inż. Władysław Dybczyński

DIGITAL LED CURRENT REGULATOR CONTROLLED BY AVR MICROCONTROLLER

Wojciech WOJTKOWSKI, Andrzej KARPIUK

ABSTRACT *This paper describes an idea of the digital power LED current regulator using the AVR microcontroller for lighting purpose. The main advantage of the proposed circuit is high efficiency acquired thanks to the output power stage working in the switching mode. Digital control allows easy setting of output current and its stabilization. The experimental results are presented in the article.*

Dr inż. Wojciech WOJTKOWSKI, Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej. W roku 2005 uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie naukowej Elektrotechnika specjalność Energoelektronika. Autor lub współautor ponad 40 publikacji z zakresu przekształtników rezonansowych, układów sterowania oraz systemów cyfrowych. Prowadzi badania związane z zastosowaniem układów programowalnych i procesorów jednocukłowych w sterowaniu rezonansowych układów przekształtnikowych.



Dr inż. Andrzej KARPIUK, stopień magistra inżyniera elektronika (1986) a następnie doktora nauk fizycznych (1990) uzyskał w Państwowym Uniwersytecie Elektrotechnicznym (LETI) w Sankt Petersburgu. Aktualnie pracuje w Katedrze Automatyki i Elektroniki na Wydziale Elektrycznym Politechniki Białostockiej. Zainteresowania naukowe: komputerowe modelowanie i symulacja układów elektronicznych, układy nieliniowe, układy chaotyczne. Autor ponad 40 publikacji w czasopismach i materiałach konferencyjnych.

