

Lech GRODZKI

## STAŁOPRĄDOWE STEROWANIE GRUPOWE DIODAMI LED<sup>\*)</sup>

**STRESZCZENIE** *W niektórych zastosowaniach diod LED wymagane jest jednakowe sterowanie całych grup diod. Użycie wielu, nawet identycznych obwodów sterujących podnosi koszt urządzenia, zwiększa jego wymiary i obniża niezawodność. Dlatego na uwagę zasługują rozwiązania umożliwiające jednoczesne sterowanie pracą wielu elementów LED. Artykuł prezentuje przykłady, seryjnie produkowanych układów scalonych mających właśnie takie możliwości. W pracy zamieszczono wyniki przeprowadzonych badań wybranych parametrów prezentowanych układów. Opisano również ich dodatkowe funkcje, realizowalne w połączeniu z nadrzędnym mikrokontrolerem. Artykuł zawiera również propozycje aplikacji prezentowanych rozwiązań między innymi w technice motoryzacyjnej, w tym budowy inteligentnych komponentów samochodowej instalacji oświetleniowej.*

**Słowa kluczowe:** *sterowanie stałoprądowe LED, praca grupowa LED*

### 1. STEROWANIE GRUPOWE DIODAMI LED

---

Część aplikacji diod LED polega na jednoczesnym sterowaniu kilku lub więcej elementów optoelektronicznych. Są to konstrukcje służące do podświetlania innych urządzeń (ekranów LCD, reklam, itp.) albo pełniące bezpośrednio

---

<sup>\*)</sup> Zrealizowano w ramach pracy S/WE/1/06.

---

**dr inż. Lech GRODZKI**  
e-mail: lgrodzki@we.pb.edu.pl

Wydział Elektryczny  
Politechnika Białostocka

funkcje informacyjne, jak na przykład sygnalizatory uliczne, znaki drogowe, panele informacyjne. W najprostszym przypadku zadaniem układów sterujących pracą diod LED w tych urządzeniach jest włączanie i wyłączanie całych zespołów diod, liczących czasem nawet kilkadziesiąt sztuk. Bardziej zaawansowane aplikacje dają także możliwość regulacji jasności sterowanych grupowo diod. Funkcja ta pozwala między innymi na automatyczne dopasowanie natężenia strumienia emitowanego światła do warunków zewnętrznych, takich jak oświetlenie zewnętrzne czy pora dnia.

Gdy w sterowaniu grupowym chodzi jedynie o uzyskanie prostych funkcji włącz / wyłącz, bez jakiegokolwiek regulacji jasności świecenia, obwody sterujące mogą być ograniczone do pracujących dwustanowo kluczy tranzystorowych. Uzyskanie możliwości regulacji strumienia światła wymaga bardziej złożonych układów sterujących. W tym przypadku rozwiązaniem stosowanym od lat jest użycie do sterowania tranzystorem mocy włączającym diody LED prostokątnego przebiegu PWM [9, 10]. Współczynnik wypełnienia tego sygnału decyduje o czasach włączenia i wygaszenia grupy diod. Zwiększenie czasu pracy diod, przy stałym okresie przełączania, powoduje uzyskanie większej jasności źródła światła. Ten sposób sterowania wykorzystuje właściwości zmysłu wzroku ludzkiego: całkowania impulsów świetlnych i ograniczonego postrzegania szybkimi zjawiskami.

W ostatnich latach różni producenci zaczęli oferować układy scalone umożliwiające kontrolowanie ciągłego prądu płynącego przez diodę LED. Daje to możliwość bardziej precyzyjnego kontrolowania jasności świecenia takiej diody. Zwłaszcza interesujące, z punktu widzenia sterowania grupowego, są układy scalone oferujące jednocześnie sterowanie większą liczbą diod.

## 2. UKŁADY DO STEROWANIA GRUPOWEGO

---

### 2.1. Ogólna charakterystyka

---

Firma Texas Instruments opracowała serię układów scalonych dedykowanych do sterowania pracą grup diod LED. Są wśród nich zarówno układy 8-wyjściowe - TLC5916/17, jak i 16-wyjściowe - TLC5926/27 [7, 8]. Ich wspólną cechą charakterystyczną jest zastosowanie  $N$  sterowanych źródeł prądowych, o grupowo regulowanej wydajności prądowej. Regulacja wartości prądów może odbywać się na dwa sposoby:

1. Poprzez zmianę wartości zewnętrznego rezystora  $R_{EXT}$  uzyskujemy możliwość określenia maksymalnej wydajności prądowej, jednakowej dla wszystkich wyjść układu zgodnie ze wzorem:

$$I_{OUTMAX} = 1,25V \cdot 15 : R_{EXT} \quad (1)$$

Z konstrukcji układu oraz możliwości odprowadzania ciepła wynika dopuszczalny zakres prądów  $I_{OUTMAX}$ : 5 - 120 mA.

2. Poprzez wpisanie odpowiedniego bajtu konfiguracyjnego (rys. 1), którego zawartość wskazuje jaki ułamek określonej przez zewnętrzny rezystor  $R_{EXT}$  wartości prądu wyjściowego  $I_{OUTMAX}$  ma stanowić bieżąca wydajność źródeł prądu. Ułamek ten zwany jest wzmocnieniem prądowym ( $CG$ ), a jego wartość może przyjmować 256 dyskretnych wartości pomiędzy  $1/12$  a  $127/128$ , zgodnie z poniższymi wzorami.

$$VG = (1 + HC) \cdot (1 + CC : 64) : 4 \quad (2)$$

$$CG = VG \cdot 3^{CM-1} \quad (3)$$

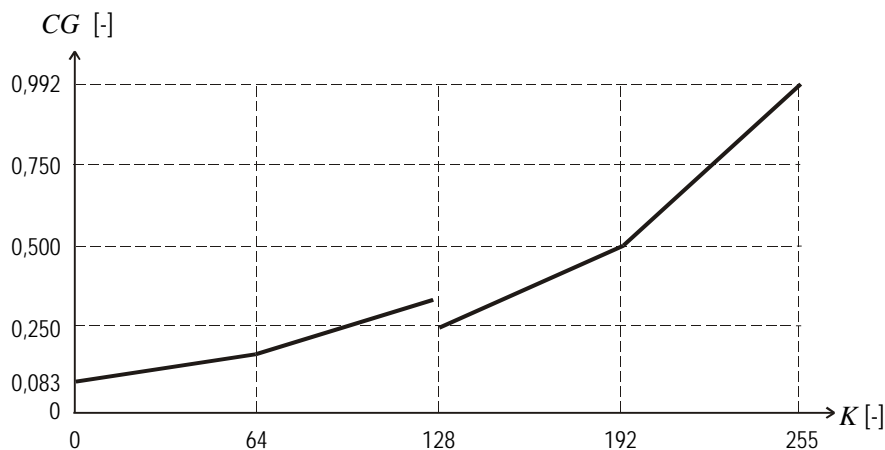
gdzie:

$CM$ ,  $HC$  i 6-bitowe słowo  $CC$  są składnikami bajtu konfiguracyjnego.

$CM$	$HC$	$CC_5$	$CC_4$	$CC_3$	$CC_2$	$CC_1$	$CC_0$
------	------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Rys. 1. Format bajtu konfiguracyjnego układów TLC5916/17

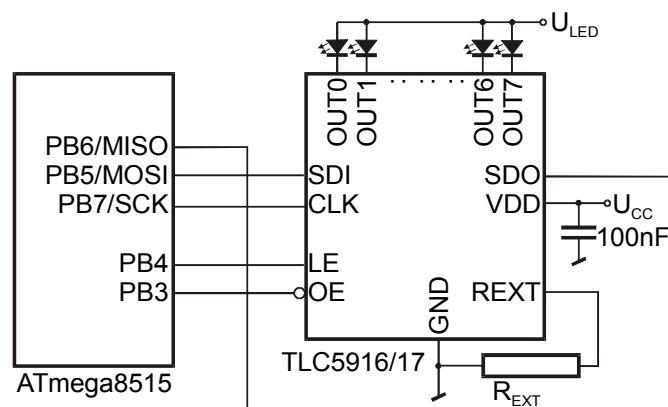
Po włączeniu zasilania układy działają z domyślnymi ustawieniami:  $CM = 1$ ,  $HC = 1$ ,  $CC = 111111b$ . Oznacza to pracę z  $CG = 0,992$  i maksymalną wartością prądu wyjściowego  $I_{OUTMAX}$ . Zależność wzmocnienia prądowego  $CG$  od wartości bajtu konfiguracyjnego przy stałej wartości rezystancji  $R_{EXT}$  ilustruje wykres z rysunku 2.



Rys. 2. Zależność wzmocnienia prądowego  $CG$  od wartości  $K$  bajtu konfiguracyjnego

Skorzystanie z drugiej opcji regulacji wzmocnienia prądowego jest możliwe jedynie przy podłączeniu opisywanych układów do nadrzędnego mikrokontrolera. Rysunek 3 przedstawia układ wykorzystywany w opisywanych badaniach. Jest to typowy schemat aplikacyjny dla tej rodziny układów scalonych. Mikrokontroler wykorzystuje do przesyłania do sterownika diod słowa włączającego wyjścia  $OUT_x$  oraz bajtu konfiguracji interfejs SPI. Interfejs ten umożliwia też odczyt słowa statusu układu, zawierającego informację o wykrytych niesprawnościach w torach diod świecących. Obwody kontrolujące źródła prądowe potrafią wykryć następujące sytuacje:

- brak przepływu prądu – przerwa w torze diody;
- zadziałanie blokady termicznej w danym kanale (od przegrzania się wyjściowego tranzystora źródła prądowego);
- zwarcie diody – zbyt wysoki potencjał na wyjściu układu (tylko układy TLC5917 i TLC5927).



**Rys. 3. Schemat ideowy układu wykorzystanego przy przeprowadzonych badaniach**

Sterując jednocześnie grupą kilku diod LED zależy nam na zapewnieniu im identycznych punktów pracy, ponieważ gwarantuje to równomierne ich świecenie. W przypadku omawianych układów, producent gwarantuje różnice wartości prądów regulowanych źródeł prądowych na poziomie  $\pm 3\%$  w obrębie danego egzemplarza układu scalonego i maksimum  $\pm 6\%$  w grupie układów scalonych. Wartości te są zadowalające biorąc pod uwagę rozrzuty parametrów pracy diod LED.

## 2.2. Regulacja prądu świecenia diody LED

W poprzednim punkcie wspomniano o dwóch metodach regulacji wydajności prądowej wyjść układu:

- sprzętowej, polegającej na zmianie wartości rezystora zewnętrznego;
- programowej, wykorzystującej bajt konfiguracyjny wpisywany do układu złączem SPI.

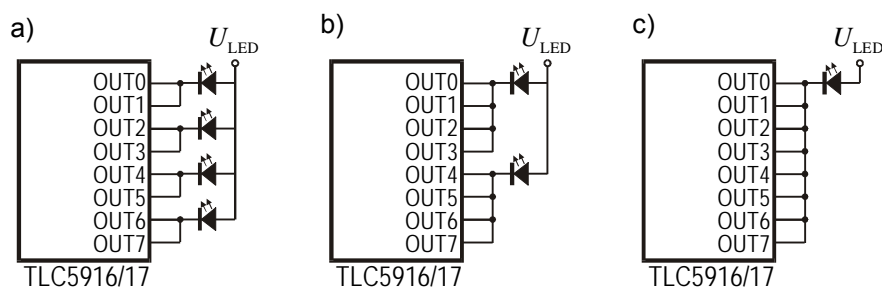
Obie metody pozwalają na precyzyjny dobór wartości prądów roboczych diod LED podłączonych do wyjść układu. Przy czym druga z nich jest o wiele wygodniejsza, mimo iż wymaga obecności nadrzędnego mikrokontrolera.

Realizując w praktyce metodę programowej regulacji prądów wyjściowych można postąpić dwojako:

1. Dobieramy wartość zewnętrznego rezystora  $R_{EXT}$  tak by uzyskać przy pełnym wysterowaniu pożądaną prąd świecenia diody  $I_{FLED} = I_{OUTMAX}$ . W tym przypadku wpisanie jakiegokolwiek bajtu konfiguracyjnego o wartości różnej od 11111111b oznaczać będzie zmniejszenie prądu świecenia diod. Uzyskujemy możliwość płynnego wygaszania lub rozjaśniania grupy diod podłączonych do wyjść  $OUT_X$  układu.
2. Wartość rezystora  $R_{EXT}$  ustalamy na mniejszą niż w poprzednim punkcie, co spowoduje, że optymalną wartość prądu  $I_{FLED}$  osiągniemy przy wzmocnieniu prądowym  $CG < 0,992$  ( $I_{FLED} < I_{OUTMAX}$ ). Wtedy przed włączeniem wyjść  $OUT_X$  układu należy wpisać odpowiedni bajt konfiguracyjny, obniżający wartość prądu  $I_{OUT}$ . Uzyskamy co prawda mniej poziomów regulacji prądu  $I_{FLED}$  przy płynnym wygaszaniu bądź włączaniu diod, ale zyskujemy za to możliwość okresowego zwiększenia tego prądu ponad wartość normalną. Takie przejściowe zwiększenie prądu świecenia diody LED może okazać się bardzo użyteczne w aplikacjach wymagających zapewnienia dostatecznego kontrastu między świecąca dioda a jej tłem. Przykładowo, przejściowy wzrost natężenia oświetlenia zewnętrznego będziemy mogli skompensować zwiększonym prądem  $I_{FLED}$ , a przez to zwiększoną emisją światła.

Wykorzystując notę aplikacyjną [2] prezentowanych układów, można wskazać jeszcze jeden wariant regulacji prądu świecenia diody POWER LED. Mimo, iż maksymalny prąd wyjściowy każdego z wyjść  $OUT_X$  układu jest znaczny (120 mA), może okazać się, że będzie on niewystarczający do sterowania pracą takiej diody. W takim przypadku można z powodzeniem łączyć równolegle wyjścia  $OUT_X$ , uzyskując prąd maksymalny będący wielokrotnością 120 mA. Mając do dyspozycji 8-kanalowe TLC5916/17 można sterować pracą POWER LED o prądzie świecenia do 960 mA, w ilości 4, 2 lub 1 sztuki w zależności od ich prądu roboczego – rysunek 4.

Dostępne metody regulacji wartości prądu świecenia tak sterowanych diod POWER LED ulegają wtedy poszerzeniu o wariant z indywidualnym kłucowaniem kanałów zasilających wspólnie daną diodę. By uzyskać stopniową



**Rys. 4. Warianty sterowania diodami POWER LED w zależności od ich prądu roboczego: a) do 240 mA; b) do 480 mA; c) do 960 mA**

zmianę jasności diody LED wystarczy tylko odpowiednio dobierać ilość włączonych kanałów i wartość bajtu konfiguracyjnego. Dostępność opisanego trybu sterowania diod POWER LED znacząco poszerza sferę potencjalnych zastosowań prezentowanych układów.

### 2.3. Wybrane wyniki badań

Dane katalogowe prezentowanych układów podają, że maksymalna częstotliwość sygnału taktującego interfejs SPI wynosi 30 MHz. W praktyce, ze względu na wymagany format transmisji, odbiegający nieco od standardu SPI, komunikację z tymi układami należy realizować na drodze programowej. Dla układu z rysunku 3 przygotowano niezbędne oprogramowanie w języku asemblera AVR. Programy te uruchomiono i przetestowano w środowisku AVRStudio. Przeprowadzone próby z mikrokontrolerem ATmega8515, taktowanym częstotliwością 10 MHz, pozwalają oszacować maksymalne szybkości transmisji osiągnięte na drodze programowej. Czasy realizacji poszczególnych operacji dla układów TLC5916/17 i TLC5926/27 podaje tabela 1. Analizując jej treść, można stwierdzić, że dla układu 8-kanałowego możliwa jest aktualizacja

**TABELA 1**

Czasy programowej realizacji poszczególnych operacji kontrolno-sterujących dla układów TLC5916/17 i TLC5926/27

Operacja	TLC5916/17	TLC5926/27
przesłanie słowa sterującego ON/OFF (8b dla TLC5916/17, 16b dla TLC5926/27)	11,1 $\mu$ s	23,1 $\mu$ s
przesłanie słowa konfiguracyjnego - określenie współczynnika wzmocnienia prądowego (8b dla TLC5916/17, 16b dla TLC5926/27)	10,6 $\mu$ s	16,3 $\mu$ s
przełączenie trybu pracy z normalnego na specjalny	4,1 $\mu$ s	4,1 $\mu$ s
przełączenie trybu pracy ze specjalnego na normalny	3,7 $\mu$ s	3,7 $\mu$ s
ustawienie specjalnego trybu pracy i odczyt słowa błędów (8b dla TLC5916/17, 16b dla TLC5926/27)	16,6 $\mu$ s	26,2 $\mu$ s
włączenie / wyłączenie grupy diod sygnałem /OE	0,3 $\mu$ s	0,3 $\mu$ s
minimalny okres sygnału taktującego SCLK	0,4 $\mu$ s	0,4 $\mu$ s

słowa włączającego oraz bajtu konfiguracyjnego z szybkością około 90000 razy na sekundę. Układ o 16 wyjściach obsługiwany jest wolniej.

Trzy spośród wymienionych w tabeli 1 operacji mogą być zrealizowane częściowo z wykorzystaniem sprzętowego interfejsu SPI, o ile użyty mikrokontroler nim dysponuje. Operacje te i czasy ich realizacji podaje tabela 2.

**TABELA 2**

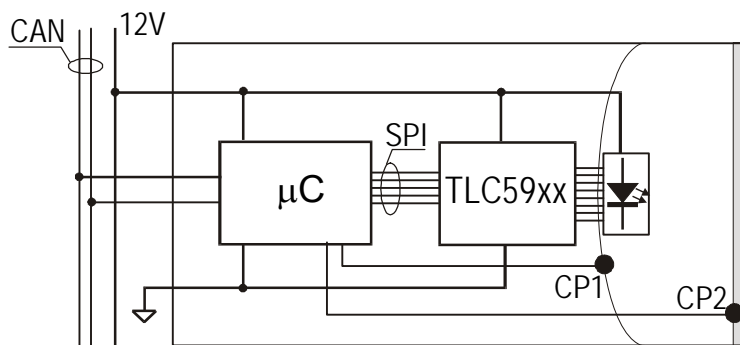
Czasy programowo-sprzętowej realizacji ważniejszych operacji kontrolno-sterujących dla układów TLC5916/17 i TLC5926/27

Operacja	TLC5916/17	TLC5926/27
przesłanie słowa sterującego ON/OFF (8b dla TLC5916/17, 16b dla TLC5926/27)	5,7 $\mu$ s	9,4 $\mu$ s
przesłanie słowa konfiguracyjnego - określenie współczynnika wzmocnienia prądowego (8b dla TLC5916/17, 16b dla TLC5926/27)	6,6 $\mu$ s	10,3 $\mu$ s
ustawienie specjalnego trybu pracy i odczyt słowa błędów (8b dla TLC5916/17, 16b dla TLC5926/27)	14,0 $\mu$ s	18,2 $\mu$ s

## 2.4. Propozycja aplikacji układów

Jednym z możliwych zastosowań omawianych układów jest ich użycie do sterowania światłami sygnalizacyjnymi samochodu. Celem byłoby zbudowanie np. świateł STOP, które automatycznie dopasowują jasność swego świecenia do zmieniających się warunków otoczenia, tak aby zapewnić optymalny kontrast pomiędzy włączonymi światłami STOPU, a innymi widocznymi światłami pojazdu, oświetleniem zewnętrznym itp. Optymalny kontrast oznacza różnicę w ilości emitowanego światła wystarczającą do szybkiego ich dostrzeżenia i zareagowania przez kierowcę pojazdu jadącego z tyłu. Należy nadmienić, że normy międzynarodowe dopuszczają już instalowanie takich świateł w pojazdach samochodowych [4]. Zasadę konstrukcji takiej lampy sygnalizacyjnej opisano między innymi w [3]. Prezentowane tam rozwiązanie może być zrealizowane w oparciu o lokalny układ analogowo-cyfrowy, korygujący prąd świecenia źródła światła lampy. Użycie zamiast takiego układu pary mikrokontroler i nadzorowany przezeń układ z prezentowanej rodziny znacząco poszerza funkcjonalność rozwiązania.

W sugerowanym rozwiązaniu (rys. 5) mikrokontroler jest połączony ze sterownikiem diod LED lokalnym interfejsem SPI. Za jego pośrednictwem przesyła rozkazy sterujące pracą źródła światła (włączanie, wyłączenie, korekcja jasności świecenia) w oparciu o polecenia, które sam otrzymuje od układu nadrzędnego siecią CAN zintegrowaną z instalacją elektryczną pojazdu.



**Rys. 5. Propozycja konstrukcji inteligentnej lampy sygnalizacyjnej samochodu**

Na podstawie lokalnych czujników pomiarowych CP1 i CP2 [3] oraz informacji otrzymywanych magistralą CAN, mikrokontroler dokonuje korekty wartości prądu diod LED. Ponadto wykorzystując cechy układu TLC59xx może kontrolować sprawność źródła światła jakim jest zespół diod LED. Jak to wcześniej przedstawiono, niesprawności (przerwa, zwarcie, zadziałanie zabezpieczenia termicznego) w dowolnym z kanałów są sygnalizowane w odczytywanym z układu słowie statusu. Informacje te powinny być przekazane do centralnego komputera pojazdu. Mogą też być wykorzystane lokalnie do korekcji pracy źródła światła, na przykład przez zwiększenie prądu w pozostałych sprawnych torach zasilania diod, tak by wypadkowy strumień światła emitowany przez diody nie odbiegał znacząco od wartości wymaganej w aktualnych warunkach pracy lampy. Sugerowana samochodowa aplikacja układów serii TLC59xx mogłaby znaleźć zastosowanie także w klasycznej instalacji elektrycznej pojazdu. W tym przypadku mikrokontroler nadzorujący pracę lampy sygnalizacyjnej odbierałby polecenia włącz i wyłącz nie w formie rozkazów na magistrali CAN, ale jako stany dedykowanej linii zasilającej bezpośrednio daną lampę.

### 3. PODSUMOWANIE

Układy scalone dostarczające ciągłego prądu zasilającego diody LED oferują też inni światowi producenci. Przykładowo, w ofercie firmy National Semiconductors można znaleźć szereg takich układów. Są to jednak układy o jednym [5] lub co najwyżej kilku wyjściach sterowanych [6]. Ponadto, w zależności od przyjętego schematu aplikacyjnego, wymagają one dodatkowych elementów zewnętrznych (rezystory, kondensatory i indukcyjności). Natomiast regulacja jasności diod LED, polega w ich przypadku na doprowadzeniu



do wyróżnionej końcówki układu przebiegu PWM, np. z nadrzędnego mikrokontrolera. 8- i 16-wyjściowe układy sterujące diodami LED oferuje także firma Allegro MicroSystems [1]. Jednak ich interfejs SPI pozwala jedynie na włączanie i wyłączenie poszczególnych wyjść z ewentualną kontrolą sprawności diod. Płynne zapalenie i wygaszanie można uzyskać tylko dodatkowym sygnałem sterującym typu PWM.

Obserwując poszerzającą się ofertę układów ze stałoprądowym sterowaniem diod LED, można przypuszczać, że znajdą one sobie trwałe miejsce w szerokiej gamie zastosowań diod świecących.

## LITERATURA

1. Allegro MicroSystems: Constant-Current LED Drivers. Application Information AN29503 on [www.allegromicro.com](http://www.allegromicro.com). 2007.
2. Day M.: LED driver - Paralleled Outputs Provide High-Current Outputs. Application report on [www.ti.com](http://www.ti.com). 2006.
3. Łukasik M.: The concept of the wheeled vehicle's adaptive stop lamps operation. *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 8, str. 186-189, 2008.
4. Moćko W., Kaźmierczak P., Łukasik M.: Luminance contrast of vehicle signalling lamps. *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 11, str. 272-275, 2009.
5. National Semiconductors: LM3402/LM3402HV 0.5A constant Current Buck Regulator for Driving High Power LEDs. Datasheets on [www.national.com](http://www.national.com). 2008.
6. National Semiconductors: LM3432/LM3432B 6-Channel Current Regulator for LED Backlight Application. Datasheets on [www.national.com](http://www.national.com). 2008.
7. Texas Instruments: TLC5916, TLC5917 8-bit constant-current LED sink drivers. Datasheets on [www.ti.com](http://www.ti.com). 2008.
8. Texas Instruments: TLC5926, TLC5927 16-bit constant-current LED sink drivers. Datasheets on [www.ti.com](http://www.ti.com). 2008.
9. Wojtkowski W.: Wielokanałowa regulacja jasności świecenia diod LED z wykorzystaniem układów programowalnych FPGA. *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 11, str. 310-312, 2009.
10. Wojtkowski W.: Wykorzystanie sprzętowych bloków PWM mikrokontrolerów AVR do regulacji jasności świecenia diod LED dużej mocy. *Przegląd Elektrotechniczny*, nr 11, str. 306-309, 2009.

*Rękopis dostarczono, dnia 26.03.2010 r.*

**Opiniował: prof. dr hab. Jacek Sosnowski**

## CONSTANT-CURRENT DRIVING OF THE LEDS' GROUP

Lech GRODZKI

**ABSTRACT** *Some LED applications need parallel driving of the groups of diodes. Using many, even identical driving circuits increases cost, overall dimensions and decreases operational reliability. Therefore the integrated circuits, which allow control the work of many LED diodes should be taken into account. The article presents few selected chips designed to constant-current LED driving. The paper contains the description of main properties of those integrated circuits and some results of realised research works on their application features. Because presented devices have SPI-slave interface, they can be controlled by supervising microcontroller. The paper also contains the proposal of automotive application, as the component of modern vehicle electrical system.*



**Dr inż. Lech GRODZKI**, Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Białostockiej (1985). W 1996r. uzyskał tam również stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie elektrotechnika. Obecnie pracuje jako adiunkt w Katedrze Automatyki i Elektroniki Politechniki Białostockiej. Zajmuje się projektowaniem i programowaniem sterowników mikroprocesorowych.