

Łukasz PUTZ*
Milena KURZAWA*

BUDOWA I DZIAŁANIE UKŁADÓW STERUJĄCO-ZASILAJĄCYCH ZINTEGROWANYCH W LAMPACH LED

W artykule opisano układy sterująco-zasilające stosowane do zasilania diod świecących (LED), zintegrowane w lampie. Artykuł rozpoczyna wprowadzenie, w którym przedstawiono ideę stosowania układów zasilaczy do diod elektroluminescencyjnych. Następnie zaprezentowano ogólną budowę i działanie driverów do lamp LED. Omówiono wady i zalety, a także przedstawiono schematy wybranych, spotykanych obecnie, zasilaczy diod świecących, opartych na scalonych przetwornicach DC-DC. W dalszej części artykułu przedstawiono sposoby: zasilania diod LED, korekcji współczynnika mocy oraz regulacji strumienia świetlnego. Ostatecznie podsumowano przeprowadzone rozważania.

SŁOWA KLUCZOWE: funkcja przyciemniania, korekcja współczynnika mocy, LED, oświetlenie elektroluminescencyjne, przetwornice DC-DC, sterownik lampy LED

1. WPROWADZENIE

Głównym celem w projektowaniu wszelkich źródeł światła jest uzyskanie jak największej efektywności świetlnej przy jak najniższych kosztach produkcji. Projektanci skupiają się głównie na optymalizacji parametrów optycznych, termicznych i mechanicznych. W przypadku projektowania oświetlenia elektroluminescencyjnego należy również pamiętać o doborze układu sterująco-zasilającego, potocznie nazywanego driverem [11].

Układ drivera musi posiadać odpowiednią wydajność napięciowo-prądową, tzn. musi zapewniać regulację napięcia oraz natężenia prądu w całym zakresie pracy diod świecących. Dodatkowo układy sterujące muszą poprawnie reagować na szereg czynników, takich jak na przykład:

- wewnętrzne naturalne – zmieniająca się temperatura pracy diod LED, która ma znaczący wpływ na jakość światła wytwarzanego przez diody,
- zewnętrzne niezamierzone – wahania napięcia zasilającego oraz niewielkie przepięcia mogą bardzo szybko spowodować przepalenie diod świecących,

* Politechnika Poznańska.

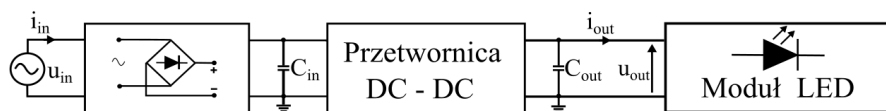
– zewnętrzne zamierzone – regulacja poziomu strumienia świetlnego.

Omawiane parametry mają istotny wpływ na jakość działania całej oprawy, jednak na etapie projektowania odsuwane są na dalszy plan.

Driver lampy LED ma najbardziej złożoną i skomplikowaną budowę spośród wszystkich elementów w oprawie. Jest więc najbardziej podatny na uszkodzenia i znacząco wpływa na żywotność półprzewodnikowych źródeł światła. Dobrze dobrany układ sterująco-zasilający znacząco wpływa na wydajność i jakość światła całej lampy, a także zapewnia bezpieczeństwo użytkownika na przykład przez odseparowanie napięcia sieciowego od pozostałych elementów oprawy. Drivery mogą także zapewnić zabezpieczenie przed przepięciami, zwarciami lub przegrzaniem [7].

2. BUDOWA LAMPY LED ZE ZINTEGROWANYM DRIVEREM

Oprawa oświetleniowa LED tworzy złożony układ, którego zadaniem jest przetworzenie energii elektrycznej na widzialne promieniowanie świetlne (rys. 1). Zasadniczym elementem takiego układu jest zasilacz połączony ze sterownikiem. Zadaniem zasilacza jest przekonwertowanie napięcia sieciowego AC na DC, galwaniczne odseparowanie tych napięć oraz obniżenie napięcia DC (obniżanie napięcia w niektórych rodzajach zasilaczy nie jest konieczne). Sterownik natomiast pozwala dostosować napięcie wyprostowane do formatu i poziomu odpowiedniego dla wysterowania diod elektroluminescencyjnych (LED) [1].



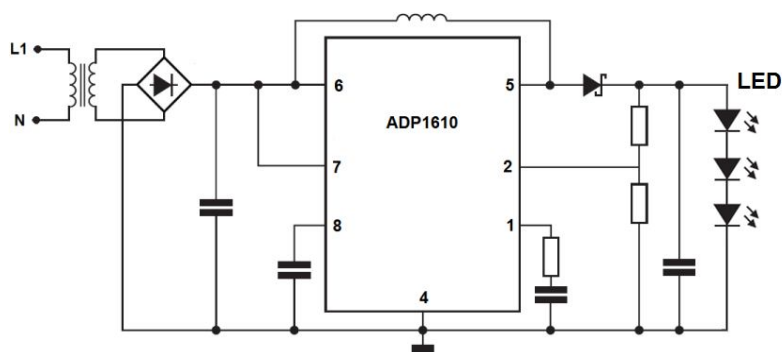
Rys. 1. Ogólny schemat blokowy lampy LED ze zintegrowanym driverem

Najistotniejsza w całym schemacie blokowym jest przetwornica DC-DC. Ze względu na ograniczone miejsce na płycie drukowanej drivera zintegrowanego w lampie LED, przetwornice wykonuje się w postaci miniaturowych układów scalonych. Pracują one impulsowo i wprowadzają ujemny kąt przesunięcia prądu względem napięcia zasilającego (charakter pojemnościowy). W działaniu zasilacza najważniejsze jest utrzymanie stałego prądu płynącego przez diodę świecącą, a od którego liniowo zależy strumień świetlny diody. Napięcie wyjściowe zasilacza (zasilające moduł LED) może być obniżane (tryb „buck”) lub podwyższane (tryb „boost”) względem wejścia.

Na rynku dostępnych jest wiele różnych rozwiązań układów przetwornic dedykowanych do zasilaczy lamp LED. Poniżej przedstawiono kilka wybranych układów zasilaczy ze scalonymi przetwornicami DC-DC [2].

2.1. ADP1610 – Analog Devices

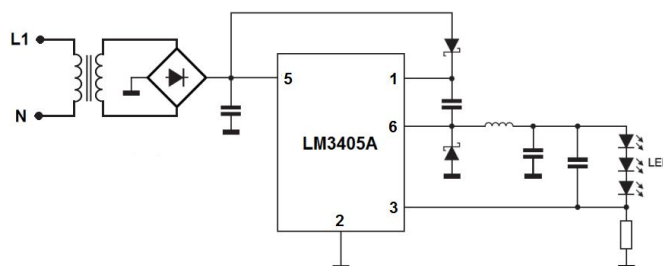
Układ ADP1610 jest to przetwornica impulsowa DC-DC podwyższająca napięcie wejściowe (topologia „boost”). Układ może być zasilany napięciem od 2,5 do 5,5 V, a maksymalne możliwe do uzyskania napięcie wyjściowe wynosi 12 V. Wewnątrz układu scalonego znajduje się tranzystor przełączający 1,2 A, 0,2 V. Częstotliwość przełączania może wynosić 700 kHz lub 1,2 MHz. W układzie zaimplementowano kilka przydatnych funkcji, jak np. „softstart”, czyli łagodne włączanie zasilania. Jest też tryb obniżonego poboru mocy „standby”, dzięki któremu możliwe jest szybsze uruchomienie przetwornicy. W tym stanie układ pobiera prąd o natężeniu tylko 10 nA. Przetwornica pozwala zabezpieczyć diody LED przed przegrzaniem oraz zbyt dużym prądem, a także przed przepięciami pochodzącymi z instalacji elektrycznej. Na rys. 2 przedstawiono schemat układu zasilacza zbudowanego na układzie scalonym produkowanym przez firmę Analog Devices [3].



Rys. 2. Zasilacz LED z przetwornicą ADP1610 firmy Analog Devices [3]

2.2. LM3405A – Texas Instruments

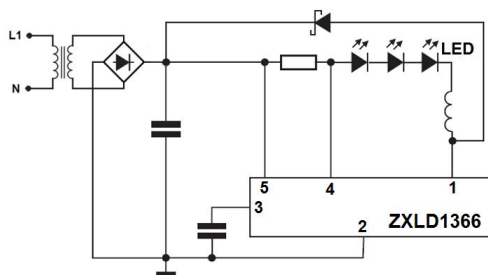
Innym układem do zasilania diod LED jest LM3405A. Ma on zintegrowany tranzystor NMOS, pracujący impulsowo z częstotliwością 1,6 MHz. Układ zasilany jest napięciem od 3 do 15 V, a maksymalne napięcie wyjściowe może wynieść nawet 24 V (topologia „boost”). Maksymalne natężenie prądu wyjściowego wynosi 1 A, co pozwala zasilić do 5 diod świecących połączonych szeregowo. Przetwornica ma również obwody zabezpieczenia przepięciowego i nadprądowego. Pozwala także odłączyć zasilanie diod po przekroczeniu dopuszczalnej temperatury pracy. Układ scalony zamknięty jest w obudowie SOT6, która ma tylko 6 pinów, co ułatwia jego aplikację na płytce drukowanej. Na rys. 3 przedstawiono przykład użycia układu zasilania diod LED produkcji firmy Texas Instruments [5].



Rys. 3. Zasilacz LED z przetwornicą LM3405A firmy Texas Instruments [5]

2.3. ZXLD1366 – Diodes Incorporated

Przetwornica impulsowa ZXLD1366 to układ scalony w obudowie TSOT23 o pięciu wyprowadzeniach. Pracuje w trybie obniżania napięcia wyjściowego, czyli w topologii „buck”. Może być zasilana napięciem od 6 do 60 V. Maksymalne natężenie prądu diod może wynieść 1 A. Częstotliwość kluczkowania tranzystora wewnętrznego to 1 MHz. Zasilacze diod świecących LED zbudowane z na układzie firmy Diodes Incorporated wyróżniają się prostotą budowy (rys. 4). Niewielka liczba pinów układu scalonego oraz tylko 4 elementy dodatkowe ułatwiają do minimum aplikację zasilacza na płytce drukowanej. Cechą charakterystyczną jest również wysoka sprawność przetwornicy sięgająca 97 %. Układ posiada funkcję łagodnego włączenia zasilania (softstart) oraz umożliwia regulowanie natężenia strumienia świetlnego diod elektroluminescencyjnych („dimming”). W układzie scalonym zaimplementowane są także zabezpieczenia termiczne i zwarciovowe [6].

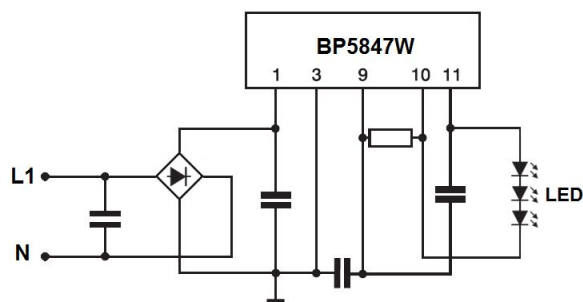


Rys. 4. Zasilacz LED z przetwornicą ZXLD1366 firmy Diodes Incorporated [6]

2.4. BP5847W – Rohm Semiconductors

Zasilacze stałoprądowe LED oparte na przetwornicach DC-DC z serii BP58xx firmy Rohm są o tyle ciekawe, że mogą być zasilane bezpośrednio z sieci napięcia przemiennego (bez potrzeby stosowania transformatora obniża-

jącego napięcie). Przykładowy schemat zasilacza diod LED z użyciem układu BP5847W przedstawiono na rys. 5. Dzięki zastosowaniu mostka diodowego 800 V/1 A, przez diody LED może płynąć prąd o natężeniu nawet 960 mA. Układy z rodziny BP58xx są produkowane na różne prądy wyjściowe z zakresu od 30 do 960 mA. Układ BP5847W zaprojektowany został do pracy pod sinusoidalnym napięciem sieciowym 220 – 240 V o częstotliwości 50 Hz. Przetwornica impulsowa pracuje w topologii obniżania napięcia wyjściowego (buck). Posiada również cały szereg zabezpieczeń. Jedną z ciekawszych funkcji produktu firmy Rohm Semiconductors jest możliwość regulacji natężenia strumienia świetlnego diod świecących. Do aplikacji układu scalonego na płytce drukowanej potrzebne są tylko trzy elementy elektroniczne [4].



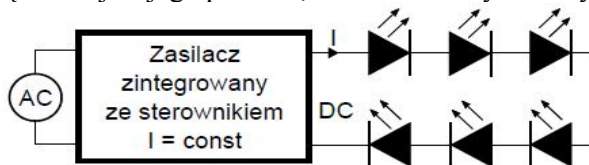
Rys. 5. Zasilacz LED z przetwornicą BP5847W firmy Rohm Semiconductors [4]

3. SPOSOBY ZASILANIA DIOD W LAMPACH LED

Rozróżnia się dwie podstawowe metody podłączenia sterownika do diod elektroluminescencyjnych: bezpośrednią oraz pośrednią. Jednak w sytuacji kiedy nie można jednoznacznie określić korzystniejszego rozwiązania, stosuje się również trzecią metodę podłączenia sterownika – konstrukcję mieszaną.

3.1. Konstrukcja bezpośrednia połączenia drivera z modułem LED

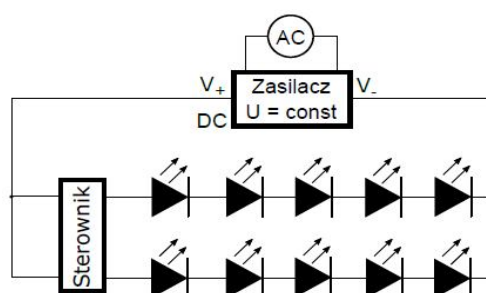
Jest to rozwiązanie stałoprądowe oparte na zasilaczu zintegrowanym wraz ze sterownikiem. Napięcie wyjściowe zależy od liczby użytych diod (rys. 6). Zaletą tego połączenia jest jego prostota, niska cena i wysoka wydajność [9].



Rys. 6. Schemat poglądowy konstrukcji bezpośredniej połączenia driver-moduł LED [10]

3.2. Konstrukcja pośrednia połączenia drivera z modulem LED

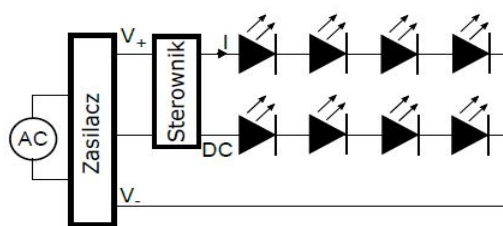
W tego typu konstrukcji, sterownik jest odseparowanym od zasilacza blokiem wielokanałowym mogącym dowolnie sterować prądem każdego łańcucha diod (rys. 7). Rozwiązanie pośrednie pozwala na zwiększenie liczby i mocy diod w układzie bez znacznego wzrostu napięcia i jednocześnie pozwala zachować szeroki zakres sterowania. To rozwiązanie wpływa także na żywotność lampy LED – uszkodzenie diody w jednym łańcuchu nie powoduje wyłączenia reszty diod [9].



Rys. 7. Schemat poglądowy konstrukcji pośredniej połączenia driver-moduł LED [10]

3.3. Konstrukcja mieszana połączenia drivera z modulem LED

Tego typu zasilacze mogą pracować w trybie stałego napięcia lub stałego prądu, zależnie od potrzeb (rys. 8). Układ utrzymuje stałe napięcie znamionowe na wyjściu w całym zakresie prądów, aż do osiągnięcia prądu znamionowego. Od momentu, gdy występuje zapotrzebowanie na wyższe prądy układ przechodzi w tryb stałego prądu i dalej jest już regulowane tylko napięcie.



Rys. 8. Schemat poglądowy konstrukcji mieszanej połączenia driver-moduł LED [10]

Ze względów technicznych faza stałego napięcia jest trudniejsza do sterowania zwłaszcza przy bardzo niskich wartościach napięcia. Dlatego też sterownik przechodzi w tryb bezpieczeństwa, gdy napięcie spadnie poniżej określonej wartości progowej.

Wybierając układ mieszany z pewnością uzyska się dużą elastyczność jak również w pełni wykorzystana się zapasy mocy zasilacza. Niestety trzeba się w tym przypadku liczyć z dużą złożonością i skomplikowaniem systemu jak również wyższą ceną takiego rozwiązania [9].

4. KOREKCJA WSPÓŁCZYNNIKA MOCY W LAMPACH LED

Moc czynna P , która jest niezbędna do przekształcenia energii elektrycznej na światło w lampach diodowych, może być znacznie niższa od całkowitej mocy pozornej S . Współczynnik mocy $\cos\phi$ dla oprawy może osiągać wartość na poziomie 0,4. Oznacza to, że pobierana jest niekorzystna moc bierna Q . Efektem tego zjawiska jest wydzielanie się ciepła po stronie pierwotnej zasilacza, a przez to skraca się jego żywotność. Niezbędne jest stosowanie układów PFC (ang. Power Factor Correction), które mają za zadanie zmniejszyć różnicę między mocą czynną a pozorną oraz obniżyć pobieraną moc bierną.

Układy PFC mogą być systemami wielostopniowymi. Zależy to od liczby oraz mocy lamp LED lub odżądanego poziomu korekcji. Jednak dla półprzewodnikowych źródeł światła wystarczają zazwyczaj systemy jedno- lub dwustopniowe [8].

4.1. Jednostopniowa korekcja PFC

W przypadku korekcji jednostopniowej w jednym bloku zaimplementowane są dwa systemy. Pierwszy to układ PFC odpowiedzialny za stronę pierwotną zasilacza. Drugi to układ PWM (ang. Pulse Width Modulation) do regulacji częstotliwościowej sygnału bez zmiany amplitudy. Odpowiada on za stronę wtórną zasilacza, kształtując sygnał zasilający diody elektroluminescencyjne.

Korekcja jednostopniowa niesie ze sobą niskie koszty, ponieważ zawiera prostą konstrukcję z niewielką ilością elementów. Jest to rozwiązanie o dużej skuteczności, zwłaszcza dla urządzeń o niewielkich mocach jakimi są źródła światła LED. Wadą jednostopniowych układów PFC są duże tętnienia na wyjściu sięgające nawet 10 % napięcia znamionowego zasilacza. Trudno też zaprojektować dobre sprzężenie zwrotne dla tego typu układu. Jeżeli sprzężenie zostanie źle wykonane, pogorszeniu ulegnie współczynnik mocy oraz wzrośnie współczynnik zawartości wyższych harmonicznych prądu [12].

4.2. Dwustopniowa korekcja PFC

Korekcja dwustopniowa posiada dwa odseparowane od siebie bloki funkcyjne. Pierwszy blok tworzy układ PFC znajdujący się po stronie pierwotnej zasilacza, drugi blok natomiast to system PWM znajdujący się za zasilaczem. Układy te są oddzielnie kontrolowane przez dodatkowy mikro sterownik. Tętnienia

napięcia na pierwszym stopniu wymuszają zastosowanie pojemności przed wejściem na drugi stopień, który z kolei wymaga większej stałości sygnału.

Rozwiązanie dwustopniowej korekcji PFC jest dość kosztowne ze względu na jej złożoność (skomplikowana budowa i duża liczba elementów). Jednak dzięki zastosowaniu tego typu układów można uzyskać bardzo dobre charakterystyki wyjściowe oraz wysoki współczynnik mocy $\cos\phi$. Korekcję dwustopniową z powodzeniem można stosować do odbiorników dużych mocy (np. lampy drogowe LED) [12].

5. FUNKCJA REGULACJI STRUMIENIA ŚWIETLNEGO

Funkcja ta umożliwia zmniejszanie strumienia świetlnego lamp diodowych. Nazwa pochodzi z języka angielskiego od słowa „dimming” oznaczającego przyciemnianie. Dzięki funkcji DIM można dostosować światło lampy LED do naturalnego oświetlenia pomieszczenia lub do osobistego zapotrzebowania (np. większe natężenie strumienia świetlnego podczas czytania książek, natomiast mniejsze w trakcie oglądania telewizji).

5.1. Regulacja liniowa

Strumień światła diody świecącej w przybliżeniu liniowo zależy od prądu płynącego przez diodę. Z kolei wartość prądu diod liniowo zależy od wartości zadanej w sterowniku. Jeżeli więc zmniejszy się prąd poniżej wartości znamionowej (przyjęcie zadanego poziomu oświetlenia), uzyska się efekt przyciemniania (zmiany strumienia) światła lampy LED (rys. 9). Wadą takiego rozwiązania jest zauważalna zmiana barwy światła [9].

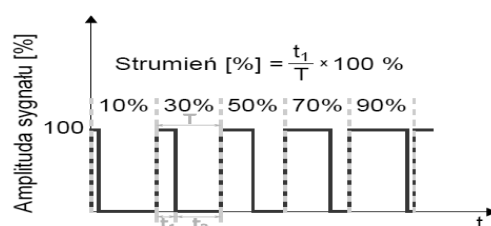


Rys. 9. Regulacja liniowa strumienia świetlnego w lampach LED [10]

5.2. Regulacja współczynnikiem wypełnienia

Jasność diod elektroluminescencyjnych zależy od czasu trwania impulsu prądu zasilającego, przy założonym stałym okresie. Zjawisko to poglądowo przedstawiono na wykresie z rys. 10. Diody LED zasilane są impulsami prądu, co w konsekwencji powoduje ich migotanie. Jednak przy dużej częstotliwości,

w zakresie od 100 Hz do 3 kHz, ludzkie oko nie jest w stanie zarejestrować migotania i zjawisko to nie powoduje uczucia zmęczenia wzroku. Jasność światła liniowo zależy od procentowego wypełnienia stałego okresu impulsem prostokątnym. Podczas zmiany natężenia strumienia świetlnego poprzez regulowanie współczynnika wypełnienia impulsu prądu, zmiana barwy światła lampy LED jest niezauważalna [9].



Rys. 10. Regulacja strumienia świetlnego współczynnikiem wypełnienia impulsu prądu [10]

6. PODSUMOWANIE

Układy sterująco-zasilające zintegrowane w lampach z diodami LED stanowią najistotniejszy element całej konstrukcji oprawy. Od pracy drivera zależy żywotność oraz jakość świecenia diod elektroluminescencyjnych. Podczas projektowania lampy LED należy wziąć pod uwagę zarówno parametry techniczne diod wraz z wymaganymi napięciami i prądami zasilania, jak i te związane z samym umiejscowieniem układu zasilającego. Po pierwsze driver musi posiadać niewielkie rozmiary oraz odpowiedni kształt, ponieważ w lampie LED nie ma zbyt dużo wolnej przestrzeni. Po drugie, jak w każdym układzie zasilającym, tak i tutaj, pojawia się problem wydzielania energii cieplnej. Zalecane temperatury pracy diod świecących nie przekraczają 80°C , jednak dla zachowania długiej żywotności diod świecących temperatura nie powinna być wyższa niż 50°C . Odprowadzenie ciepła z diod świecących stanowi poważny problem, zwłaszcza, że w oprawach nie ma miejsca na duże radiatory.

Problemem, na który jak na razie nie zważają projektanci oświetlenia LED do zastosowań domowych, jest pogorszenie jakości energii elektrycznej w instalacjach zasilających oświetlenie elektroluminescencyjne. Źródła światła LED są odbiornikami o charakterze pojemnościowym oraz pobierają prąd, którego sygnał jest znacznie odkształcony od sinusoidy. W efekcie pogorszeniu ulega współczynnik mocy i pobierana jest duża moc bierna oraz generowane są wyższe harmoniczne napięcia i prądu. Może to prowadzić do niewłaściwego działania, zwiększenia awaryjności, a nawet uszkodzenia innych urządzeń podłączonych do instalacji elektrycznej.

Powstały problem w niedalekiej przyszłości może się okazać bardzo poważny. Liczba lamp LED dołączanych do sieci elektrycznej rośnie w bardzo szybkim tempie. W niedługim czasie ten typ oświetlenia może wyprzeć z rynku

oświetleniowego tradycyjne żarówki. Konieczne jest więc prowadzenie badań, których celem będzie poprawa parametrów jakości energii lub chociażby zmniejszenie negatywnych skutków pogorszenia jakości energii. Z kolei projektanci półprzewodnikowych źródeł światła powinni dostosować się do norm jakości energii elektrycznej podczas projektowania opraw.

LITERATURA

- [1] Bogusz J.: „Zasilanie diod LED”, *Elektronika Praktyczna*, s. 56–73, 9/2014.
- [2] Gołaszewski M.: „Układy zasilania diod LED dużej mocy”, *Elektronika Praktyczna*, s. 73–80, 5/2009.
- [3] Karta katalogowa przetwornicy ADP1610 firmy Analog Devices.
- [4] Karta katalogowa przetwornicy BP5847W firmy Rohm Semiconductors.
- [5] Karta katalogowa przetwornicy LM3405A firmy Texas Instruments.
- [6] Karta katalogowa przetwornicy ZXLD1366 firmy Diodes Incorporated.
- [7] Materiały informacyjne Mean Well Europe B. V., 2012.
- [8] Priscak D.: „Zasilanie wysokonapięciowych diod LED HVHB”, *Elektronika Praktyczna*, s. 64–66, 1/2013.
- [9] Putz Ł.: „Requirements of using the LED lamps Power supplies”, *Proceedings of XV International Conference on Computational Problems of Electrical Engineering*, p. 44, Terchova (Slovakia), 9–12.09.2014 r.
- [10] Putz Ł.: „Wpływ zasilaczy i układów sterujących na działanie elektroluminescencyjnych źródeł światła”, *Materiały XXXV Międzynarodowej Konferencji z Podstaw Elektrotechniki i Teorii Obwodów*, s. 67–68, Ustroń, 23–26.05.2012r.
- [11] Sadowski P.: „Zasilanie diod LED”, *Elektroinstalator*, s. 64–66, 11/2006.
- [12] Sobesto K.: „Zasilanie diod LED małej mocy – nowe spojrzenie”, *Oświetlenie LED*, s. 22–23, 01/2012.

STRUCTURE AND OPERATING OF DRIVERS AND POWER SUPPLY SYSTEMS INTEGRATED IN LED LAMPS

In the article has been described drivers and power supply system's applied to powered the light emitting diodes (LED). Described systems are integrated in the lamp. At the begin of paper is an introduction, which in has been presented the idea of using the controlled supply systems in electroluminescent lighting. Next, has been shown general structure and operating of driver systems integrated in LED lamps. Also was discussed advantages and disadvantages of selected light emitting diodes' power supplies, constructed on integrated circuit DC-DC converter, currently used. Application diagrams of this converters have been shown. Later in this paper has been presented the ways: of the electroluminescent diodes' powering; of the power factor correction (PFC); of the luminous flux control (dimming). Finally the carried considerations have been summarized.

(Received: 14. 02. 2017, revised: 27. 02. 2017)