

## Programowanie świetlnej odpowiedzi czasowej emitera promieniowania widzialnego

**Streszczenie.** W artykule opisano problem programowania odpowiedzi czasowej półprzewodnikowych źródeł światła. Zaproponowano metodę modelowania odpowiedzi z użyciem przestrajanych źródeł prądowych. Następnie przedstawiono układ aplikacyjny wykorzystujący proponowaną koncepcję. W końcowej części zamieszczono przykładowe wyniki pomiarów wraz z ich krótką interpretacją.

**Abstract.** This paper describes the problem of programming the timing response of semiconductor light source. In the beginning a method of modeling the response has been proposed. This method uses tunable current sources. In the next part of the work was discussed practical circuit applying this method. In the final part of the paper, the measurement results were placed and their brief interpretation. (**Programming a transient response of a semiconductor light source**).

**Słowa kluczowe:** programowanie światła impulsowego, strojone źródła prądowe, konwersja C/A, kamera smugowa.

**Keywords:** pulsed light programming, variable current sources, digital to analog conversion, streak camera.

### Wstęp

Zagadnienie programowania charakterystyki czasowej strumienia świetlnego stało się aktualne w warunkach dynamicznego rozwoju półprzewodnikowych źródeł promieniowania takich jak: LED-y lub diody laserowe. Z powodu możliwości cyfrowej regulacji wartości średniej strumienia świetlnego, te źródła są często zasilane okresowym prądem impulsowym. W związku z tym, że organ wzroku uśrednia zmienny w czasie strumień energetyczny, powoduje to subiektywne wrażenie regulacji jego mocy. Zatem programując kształt zasilających impulsów prądowych - pośrednio kontroluje się parametry czasowe i częstotliwościowe strumienia świetlnego. Zagadnienie kontroli kształtu impulsów świetlnych, dotyczy wybranych obszarów zastosowań [1,2] optoelektroniki i techniki oświetleniowej. Wobec burzliwego rozwoju LED-owych systemów oświetleniowych powstaje nowa przestrzeń w kontekście: sprawności energetycznej oraz kontroli zawartości harmonicznnych tych odbiorników. Stąd zasadne jest uwzględnianie kształtu prądu zasilającego w procesie projektowania impulsowych sterowników lamp diodowych. Stosowanie prądowych sygnałów prostokątnych

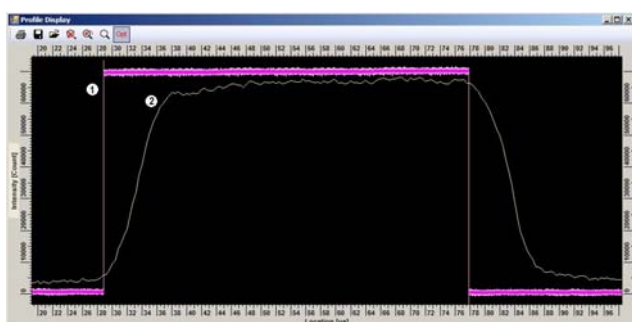
świetlny ma charakter liniowy. Zakłada się, skoro stała czasowa diody jest pomijalna w porównaniu z okresem częstotliwości kluczującej PWM, że kształt świetlnej czasowej odpowiedzi będzie powielał kształt pobudzenia, czyli prądu zasilającego. Że jest tak dokładnie nie jest, pokazują charakterystyki przedstawione na rysunku 1. Krzywa nr 1 zmierzona oscyloskopem odpowiada kształtowi prądu zasilającego LED małej mocy. Krzywa druga jest odpowiedzią układu, czyli czasową charakterystyką strumienia świetlnego zmierzonego przy pomocy kamery smugowej [3]. Powyższe charakterystyki pokazują jedynie charakter zjawiska, dlatego na wykres otrzymany z kamery smugowej nałożony został kształt sygnału wymuszającego z oscyloskopu. Jednak widoczne są cechy charakterystyczne, różnicujące charakterystyki czasowe pobudzenia i odpowiedzi. Odpowiedź świetlna pojawia się z opóźnieniem w stosunku do pobudzenia, nie są zachowane czasy narastania impulsów ani nachylenia zboczy.

Celem niniejszego artykułu jest próba odpowiedzi na pytanie: czy można w dostępnych warunkach technologicznych modyfikować w takim stopniu kształt prądu zasilającego, żeby otrzymać w przybliżeniu oczekiwany kształt odpowiedzi czasowej strumienia świetlnego LED [4] ?

### Warunki graniczne proponowanej metody

Zagadnienie faktycznie sprowadza się do modelowania okresowego przebiegu prądowego zasilającego LED o programowalnym kształcie i zmiennym współczynniku wypełnienia. Nie jest łatwe, jeżeli możliwe, znalezienie uniwersalnego rozwiązania analitycznego [4]. Wynika to głównie z uwarunkowań technologicznych emiterów promieniowania i układów zasilających. Ich rozrzut parametryczny, mnogość typów i mała powtarzalność czasowo-parametryczna powodują, iż praktycznie nie jest możliwe znalezienie wiarygodnej zależności analitycznej pomiędzy wymuszeniem a kształtem odpowiedzi. Nie da się dokonać ani unifikacji emiterów ani rozwiązań konstrukcyjnych układów zasilających, gdyż nie jest możliwe zatrzymanie rozwoju technologii. W tej sytuacji, rozwiązaniem problemu jest podejście iteracyjne. Możliwe jest opracowanie przestrajalnego układu zasilającego LED, uruchomienie go dla zadanych parametrów początkowych, metodą przybliżania zmian nastaw oraz kolejnych pomiarów - osiągnięcie akceptowalnej charakterystyki odpowiedzi.

Kolejnym uwarunkowaniem technicznym przyjętym w badaniach, jest ograniczony zbiór struktur układu

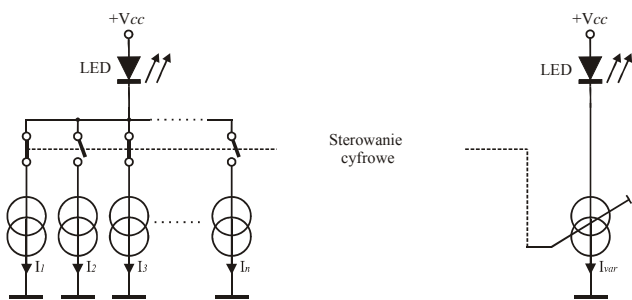


Rys. 1. Świetlna odpowiedź czasowa (2) a kształt pobudzenia (1)

o zmodulowanym współczynniku wypełnienia impulsu (PWM) powoduje generację w sygnałach elektrycznym i świetlnym wyższych harmonicznnych (typowo powyżej 10 kHz sygnału częstotliwości kluczującej). Obecności nadmiarowych składowych nie tłumaczą ani względy energetyczne ani oświetleniowe zwłaszcza, że pomiar składowych światła wysokich częstotliwości jest praktycznie niemożliwy za pomocą typowych luksomierzy.

W układach emiterów półprzewodnikowych często przyjmuje się, iż konwersja prądu zasilającego na strumień

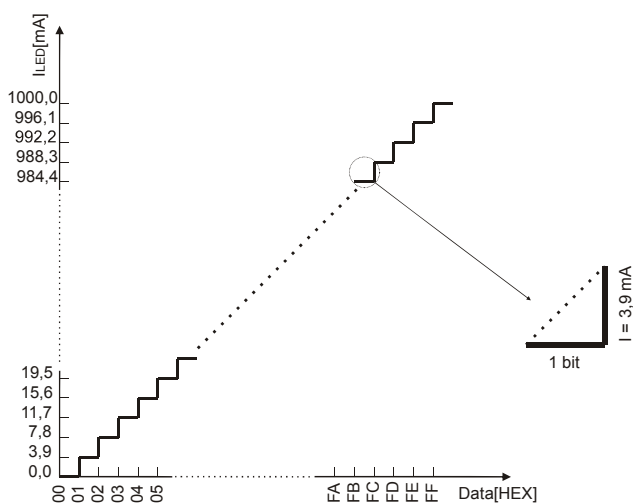
zasilającego pojedynczą lub matrycę LED. Skoro układ ma być przestrajalny, możliwe są dwie jego realizacje: (Rys.2) szeregową i równoległą [5]. W strukturze szeregowej, zmianę kształtu prądu zasilającego LED można otrzymać



Rys.2. Sterownik LED w konfiguracji równoległej i szeregowej

w układzie pojedynczego, przestrajanego cyfrowo źródła prądowego  $I_{VAR}$ . Natomiast struktura równoległa zawiera zespół przełączanych źródeł prądowych o różnych wydajnościach (od  $I_1$  do  $I_n$ ). Struktura równoległa jest bardziej złożona konstrukcyjnie, wymaga zastosowania większej liczby elementów. W strukturze szeregowej wyższe są wymagania parametryczne podzespołów. Dalszą część rozdziału poświęcona jest zagadnieniu możliwości realizacyjnej obu struktur.

Warunek przestrajalności cyfrowego układu wymusza konieczność zastosowania w jego architekturze elementu zmieniającego swoje parametry w zależności od wartości nastaw cyfrowych - bajtu/słowa konfigurującego. Do tej kategorii elementów należą między innymi: przetworniki cyfrowo-analogowe, potencjometry cyfrowe lub wzmacniacze sterowane cyfrowo [6]. W przypadku struktury szeregowej potencjometr cyfrowy jest predysponowanym podzespołem ze względu na elastyczność obsługi. Podobnie jak w każdym elemencie cyfrowo-analogowym, również w tym przypadku przestrajany parametr wyjściowy (rezystancja) przyjmuje wartości dyskretne. Z tym faktem wiąże się kolejne ograniczenie układowe w postaci efektu dyskretyzacji (Rys.3). Zatem skala wartości natężeń prądu źródła zasilającego LED może przyjmować określone poziomy ze skończonego zbioru rozdzielczości elementu. W efekcie teoretyczna charakterystyka przestrajania nie jest linią ciągłą lecz krzywą schodkową. Oś natężenia prądu jest tym gęściej pokryta możliwymi wartościami im dłuższe jest słowo sterujące *Data* - liczba bitów zadających nastawy.



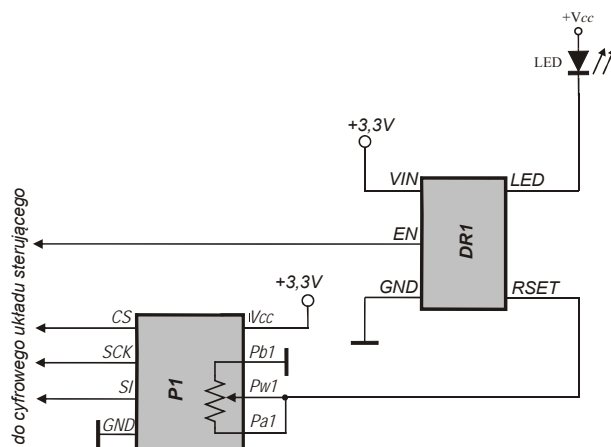
Rys.3. Schodkowość charakterystyki regulacji źródła prądowego

Przykład z rysunku 3 obrazuje przypadek potencjometru 8-bitowego, co na zakresie 1 A przestrajania pozwala uzyskać rozdzielczości rzędu 3,9 mA. W przypadku wymagań większej rozdzielczości, możliwe jest połączenie szeregowo kilku potencjometrów o różnych zakresach znamionowych.

Kolejny zbiór ograniczeń aplikacji stanowią parametry dynamiczne układu zasilającego, gdyż parametry czasowe samego źródła w mniejszym stopniu ograniczają wypadkowe charakterystyki. Głównie dotyczy to parametrów potencjometru jak też stopnia końcowego - wyjściowego wzmacniacza prądowego. Stopniem wyjściowym jest najczęściej scalony wzmacniacz prądowy - driver LED. Typowe częstotliwości graniczne pracy driverów są rzędu kilku MHz z czasami narastania impulsów poniżej 1  $\mu$ s. Są to najczęściej wartości leżące powyżej górnego progu pracy współczesnych impulsowych sterowników diod elektroluminescencyjnych w systemach oświetleniowych. Zatem największe ograniczenie w procesie modelowania wnosi sam potencjometr, czyli jego cechy takie jak: rozdzielczość oraz szybkość zmian wartości nastaw (częstotliwość pracy magistrali transmisyjnej). Maksymalne częstotliwości komunikacyjne magistral współczesnych potencjometrów są rzędu 10 MHz, co przy szeregowej transmisji 16-bitowego słowa sterującego pozwala na uzyskanie czasów zmian wartości rzędu pojedynczych  $\mu$ s. Więc zastosowanie pojedynczego, liniowego potencjometru cyfrowego jako elementu regulacyjnego, pozwala na aproksymację odcinkową kształtu impulsu prądowego zasilającego LED z rozdzielczością amplitudową około 0,4% oraz czasową około 1  $\mu$ s.

#### Przykładowe realizacje aplikacyjne

Jedną z możliwych realizacji układ zasilania w konfiguracji szeregowej przedstawiono na rysunku czwartym. Zawiera on potencjometr cyfrowy *P1* oraz wzmacniacz prądowy *DRI* [7]. Zmiana nastaw wartości *P1*

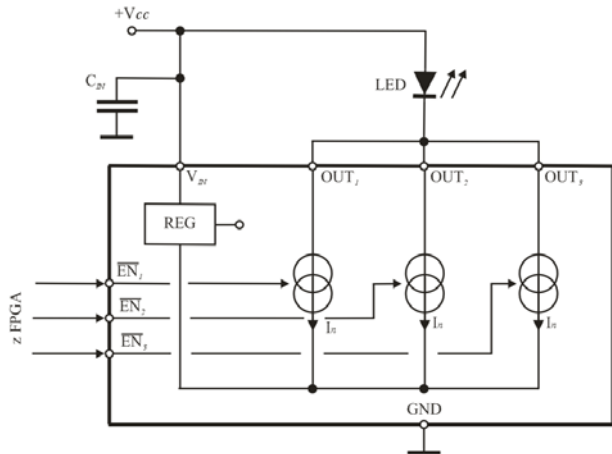


Rys.4. Struktura aplikacyjna szeregowego sterowania LED

realizowana jest za pomocą szeregowej magistrali SPI [8] (sygnały: *CS*, *SCK* i *SI*) łączącej z cyfrowym układem sterującym. Obwód wykonawczy potencjometru połączony z wejściem *RSET* wzmacniacza *DRI*. Na tym wejściu utrzymywane jest napięcie referencyjne 1,2 V. Zatem prąd płynący przez potencjometr, przy stałym napięciu na jego zaciskach, zależy od zadanej nastawami cyfrowymi wartości rezystancji. Wartość tego prądu, wzmocniona 400-krotnie w układzie *DRI* bezpośrednio zasila *LED*. Wzmacniacz *DRI* posiada dodatkowe, cyfrowe wejście sterujące *EN*. Pozwala ono na kluczkowanie prądu zasilającego LED a tym samym kontrolę współczynnika

wypełnienia impulsu lub kontrolę opóźnień. Stąd w przedstawionym układzie, użytkownik posiada dwa mechanizmy oddziaływania na sygnał wyjściowy: zmianę wartości rezystancji potencjometru oraz możliwość modulacji PWM od strony wejścia sterującego  $EN$ .

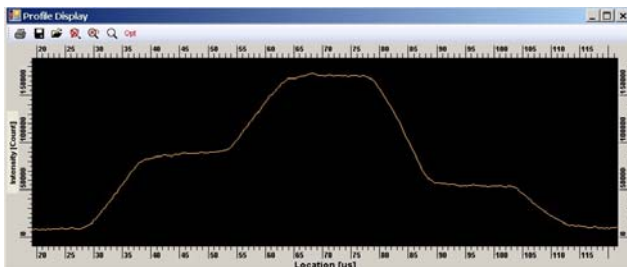
W przypadku syntezy konfiguracji równoległej możliwe jest wykorzystanie istniejących rozwiązań stałoprądowych driverów LED. Niektóre z nich [9] zawierają zespoły kluczowanych źródeł prądowych o ustalonej wydajności, co



Rys.5. Struktura aplikacyjna równoległego sterowania LED pozwala na sumowanie natężeń prądów składowych

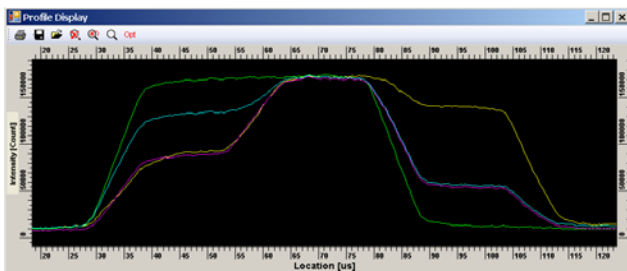
### Przykładowe wyniki pomiarów

Realizacje układowe w obu konfiguracjach pozwalają na uzyskanie zbliżonych pod względem rozdzielczości modelowania charakterystyk czasowych. Przy czym struktura szeregową może stanowić część architektury równoległej. W dalszej części publikacji przedstawiono dwa



Rys.6. Wyniki równoległy, 3-punktowego układu syntezy czasowej

dwa przykłady (Rys.6, Rys.7) wyników programowania kształtu odpowiedzi czasowej strumienia optycznego. Rysunek szósty zawiera wyniki pomiarów kształtu strumienia świetlnego LED, zasilanej 3-elementową strukturą równoległą zawierającą kluczowane źródła prądowe. Widać wyraźnie, iż układ zachowuje się jak filtr



Rys.7. Rodzina charakterystyk 3-punktowej syntezy równoległej

dolnoprzepustowy, wygładzając stany przejściowe (spodziewaną "schodkowość" krzywej). Kolejny rysunek (Rys.7) zawiera rodzinę charakterystyk. Dowodzi ona, iż za pomocą tylko 3 źródeł można modelować sygnały o złożonym kształcie i różnych nachyleniach zboczy impulsów. Zwiększając liczbę źródeł prądowych struktury równoległej lub rozdzielczość struktury szeregową można metodą aproksymacji odcinkowej dokonywać syntezy skomplikowanych charakterystyk czasowych, uwzględniając ograniczenia dynamiczne podzespołów.

### Wnioski

Podsumowując rozważania, można stwierdzić, iż w obecnych warunkach technologicznych możliwa jest budowa układów pozwalających na programowanie odpowiedzi czasowych charakterystyk oświetlaczy półprzewodnikowych. Można to realizować w różnych konfiguracjach źródeł prądowych, zależnie od stopnia złożoności układu, oczekiwanych wartości parametrów i technik ich modyfikacji. Uzyskiwane rozdzielczości, będące miernikiem jakości modelowania optycznej odpowiedzi czasowej układu, zależą od parametrów elementu odpowiedzialnego za konwersję cyfrowo-analogową w zasilaczu. Takim elementem może być potencjometr cyfrowy, w tym przypadku istotnymi parametrami są: liczba bitów zadających możliwe wartości rezystancji, charakterystyka regulacji (liniowa, logarytmiczna, wykładnicza) oraz maksymalna wartość częstotliwości pracy magistrali sterującej. Ze względu na brak możliwości unifikacji parametrów półprzewodnikowych źródeł promieniowania, rozrzut parametrów elementów składowych i różnorodność konfiguracyjną źródeł prądowych oraz wpływ elementów pasożytniczych konkretnych rozwiązań technologicznych - nie jest celowe poszukiwanie optymalnego analitycznego rozwiązania układu konstrukcyjnego. Właściwym podejściem do rozwiązania problemu jest zastosowanie metody iteracyjnej, w której metodą kolejnych przybliżeń można zbliżyć się do oczekiwanej charakterystyki czasowej strumienia świetlnego.

Publikację przygotowano w ramach realizacji pracy statutowej S/WE/1/11

**Autor:** dr inż. Marian Gilewski, Politechnika Białostocka, Katedra Automatyki i Elektroniki, Białystok, ul. Wiejska 45A, tel.: 85 7469352, e-mail: m.gilewski@pb.edu.pl

### LITERATURA

- [1] Weiner A. M., Ultrafast optical pulse shaping, *Optics communication*, Elsevier, 248 (2011), 3669-3692, [www.elsevier.com/locate/optcom](http://www.elsevier.com/locate/optcom)
- [2] Kitzler M., Gräfe S., Ultrafast Dynamics Driven by Intense Light Pulse, *Springer*, Vol. 86, 2015, ISBN: 3319201727
- [3] Hamamatsu Photonics K.K.: Guide to Streak Camera, Japan, 2010.
- [4] Sealite Pty Ltd, Apollo-155 Long Range Lantern Adjustable from 4-12nm+ Programming, Installation & Service Manual, Version 2.0, Australia, [www.sealite.com](http://www.sealite.com), 18.12.2015
- [5] Harrison L.T.: Current Sources & Voltage References, *Elsevier*, USA, 2005
- [6] Radulov G., Quinn P., Hegt H., Arthur H.M. van Roermund : Smart and Flexible Digital-to-Analog Converters, *Springer*, 2012
- [7] Semiconductor Components Industries: CAT4101 - 1 A Constant Current LED Driver with PWM Dimming, [www.onsemi.com](http://www.onsemi.com), 2012
- [8] Microchip Technology Inc., Section 23. Serial Peripheral Interface (SPI), DS61106G, 2011, [www.microchip.com](http://www.microchip.com)
- [9] Supertex Inc., CL320 3-Channel, 20 mA, Linear LED Driver, A-091508, [www.supertex.com](http://www.supertex.com), 2005