

Marian GILEWSKI
Walenty OWIECZKO

ZASTOSOWANIE KAMERY SMUGOWEJ DO POMIARU LED-OWYCH ŹRÓDEŁ PROMIENIOWANIA

STRESZCZENIE *W artykule opisano możliwość zastosowania kamery smugowej do pomiaru wybranych, widmowych i czasowych parametrów LED-owych źródeł światła. Omówiono w nim również przebieg procesu pomiarowego z użyciem tego przyrządu. Następnie przedstawiono sposób wyznaczania charakterystyk widmowych i czasowych źródła promieniowania. W końcowej części artykułu dokonano porównania opisaney techniki pomiarowej w stosunku do stosowanych innych metod i przyrządów pomiarowych.*

Słowa kluczowe: *pomiar promieniowania optycznego, LED-owe źródła światła, kamera smugowa*

DOI: 10.5604/00326216.1210818

1. WSTĘP

Istnieje wiele rozwiązań konstrukcyjnych mierników promieniowania optycznego. Przyrządy te umożliwiają pomiar wielu parametrów promieniowania w szerokim zakresie zmian wartości. Zauważając rozważania do zakresu promieniowania widzialnego można stwierdzić, iż jednym z najważniejszych parametrów źródeł światła jest widmowa charakterystyka emisyjna. Jej precyzyjny pomiar pozwala na wyznaczenie parametrów pochodnych, jak np. temperatura barwowa czy wskaźnik oddawania barw. Wraz z rozwojem technologicznym diod elektroluminescencyjnych zostały opracowane nowe źródła światła wykorzystujące technikę zasilania impulsowego. W związku z tym znaczenia nabrało zagadnienie pomiaru nowego parametru źródła, jakim jest charakterystyka czasowa strumienia świetlnego.

dr inż. Marian GILEWSKI, dr inż. Walenty OWIECZKO
e-mail: [pbwemagi; owiewal]@pb.edu.pl

Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

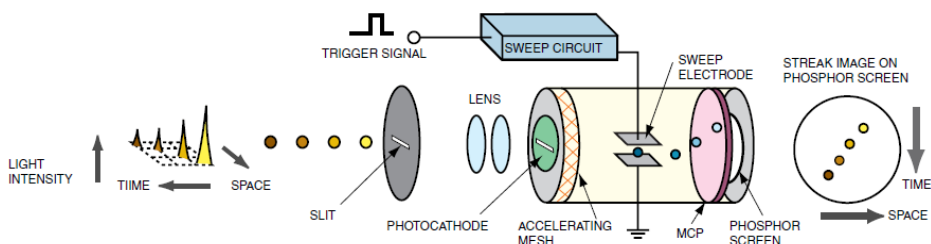
PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, ISSN-0032-6216, LXIII, zeszyt 273, 2016

Wcześniej stosowane źródła światła były zasilane prądem stałym lub prądem przemiennym o częstotliwości do 300 Hz. Wówczas częstotliwościowe pasmo pomiarowe mierników około 1 kHz było wystarczające [1, 2]. Sytuacja zaczęła się komplikować wraz z opracowaniem świetlówek kompaktowych, w których widmie częstotliwościowym pojawiły się wyższe harmoniczne. Problem jest jeszcze bardziej złożony w przypadku lamp LED-owych [3]. Do zasilania, LED-ów składowych lampy, bardzo często stosuje się zasilanie impulsowe sygnałem prostokątnym o zmiennym współczynniku wypełnienia impulsu i częstotliwości powtarzania około 10 kHz. W związku z tym, że sygnał prostokątny oprócz składowej harmonicznej o częstotliwości podstawowej zawiera znaczną zawartość wyższych harmonicznych, w sygnale świetlnym pojawiają się również harmoniczne o wyższych częstotliwościach. Stąd przy projektowaniu układów zasilających źródła LED-owe ważny jest pomiar charakterystyki czasowej źródła związanej bezpośrednio z jego charakterystyką częstotliwościową.

Precyzyjny pomiar odkształconego przebiegu czasowego wymaga zastosowania szerokopasmowego (w sensie widma częstotliwościowego) przyrządu pomiarowego. W tym przypadku o kształcie impulsu świetlnego nie można wnioskować na podstawie przebiegu czasowego prądu zasilającego. Impuls świetlny jest zniekształcany w stosunku do kształtu prądowego impulsu zasilającego ze względu na nieliniowość konwersji prąd – strumień świetlny. Co gorsza charakter tych zmian jest funkcją długości fali źródeł szerokopasmowych, np. w przypadku diod białych. Stąd w badaniach precyzyjnych zachodzi konieczność pomiaru charakterystyki czasowej źródła promieniowania w funkcji długości fali promieniowania. Jest to możliwe jedynie w układzie szybkiego pomiaru równoległego w całym zakresie spektralnym. Taka metoda pomiarowa jest stosowana w kamerze smugowej, której budowę oraz zasadę pracy krótko omówiono w następnym rozdziale.

2. BUDOWA I ZASADA PRACY KAMERY SMUGOWEJ

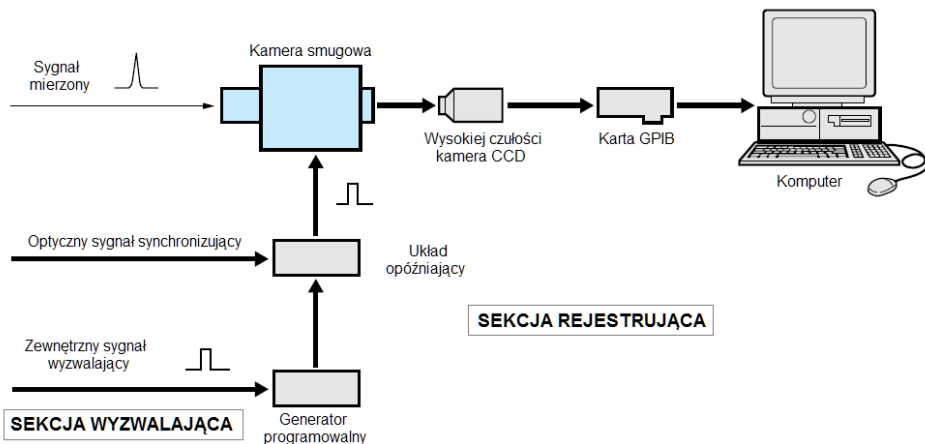
Istotą spektralnego pomiaru równoległego w kamerze smugowej jest konwersja wejściowych impulsów świetlnych w dwuwymiarowy obraz (rys. 1), z którego otrzymuje się informacje o rozkładzie widmowym i czasowym sygnału wejściowego.



Rys. 1. Zasada pracy lampy kamery smugowej [5]

Wejściowy, impulsowy oraz zmienny w czasie i amplitudzie sygnał świetlny, po uformowaniu przez szczelinę i optykę wejściową pobudza fotokatodę lampy. Pobudzona fotokatoda wytwarza strumień elektronów proporcjonalny do liczby fotonów impulsu wejściowego. Zatem sekwencyjnie do padających impulsów świetlnych, powstają strumienie elektronów które są następnie przyśpieszane. Strumienie te są kierowane (odchylane) w różne punkty powierzchni przekroju poprzecznego lampy za pomocą pary elektrod (SWEEP ELECTRODES) zasilanych z synchronicznie sterowanego zasilacza wysokiego napięcia (SWEEP CIRCUIT). Odchylone strumienie elektronów przechodzą następnie przez matrycę wzmacniaczy mikrokanalikowych (MCP) [4], w których są wzmacniane około 10000 razy. Po wzmożeniu pobudzają one luminofor ekranu wyjściowego, na którym powstaje dwuwymiarowy obraz rejestrowany przez kamerę CCD wysokiej czułości.

Układ i intensywność punktów świecących na ekranie wyjściowym odzwierciedla pierwotne położenie oraz czasowy rozkład mocy wejściowych impulsów świetlnych. Przy czym dzięki wysokiemu wzmożeniu, lampa daje możliwość pomiaru sygnałów na poziomie pojedynczych fotonów, zaś w wyniku dystrybucji przestrzennej impulsów uzyskuje się wysokie rozdzielczości czasowe rzędu ps [6]. Lampa kamery smugowej nie stanowi kompletnego systemu pomiarowego, wymaga uzupełnienia o dodatkowe podzespoły i przyrządy pomiarowe (rys. 2). Kompletny system zazwyczaj zawiera



Rys. 2. Przykładowa konfiguracja systemu pomiarowego kamery smugowej [5]

dodatkowo układy wyzwalające (sekcja wyzwalająca) oraz układy kontrolno – pomiarowe (sekcja sterująca). Pomiar z zastosowaniem kamery smugowej jest typowym pomiarem synchronicznym, czasy opóźnień wyzwalania układu odchylającego lampy są precyzyjnie kontrolowane. Stąd niezbędne jest wytworzenie sygnału wyzwalającego w generatorze programowalnym lub wygenerowanie takiego sygnału na podstawie mierzonego sygnału optycznego w przypadku okresowych źródeł promieniowania. Sekcja rejestrująca złożona z komputera wyposażonego w kartę pomiarową i odpowiednie interfejsy obsługuje procesy zbierania danych i ich obróbki oraz kontroli całego systemu.

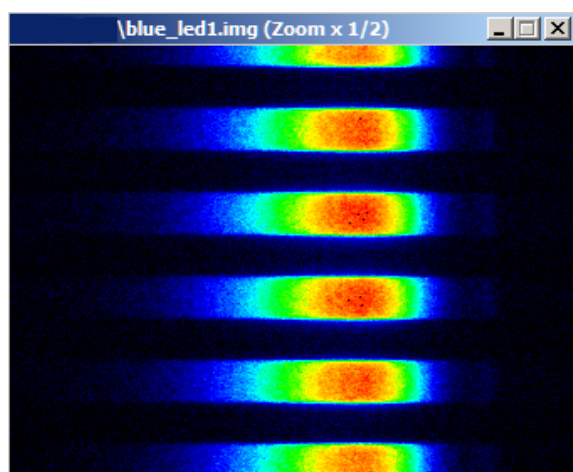
Komputer wytwarza sygnały sterujące: zasilaczem kamery, optyką wejściową, kamerą CCD oraz przyrządami (układami) wyzwalającymi. Przykładowy przebieg procesu pomiarowego został opisany w następnym rozdziale.

3. PRZEBIEG PROCESU POMIAROWEGO

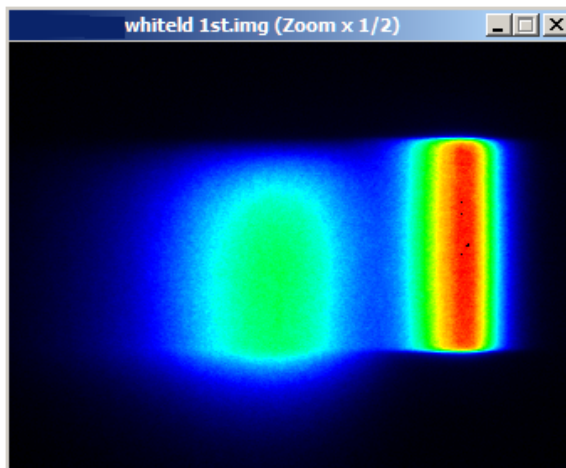
Cykl pomiarowy z użyciem kamery smugowej składa się z trzech podstawowych faz:

- fazy kalibracji,
- fazy pomiarowej,
- fazy przetwarzania.

Faza kalibracji obejmuje sprzętową synchronizację na poziomie sprzętu, korekcję ustawień optyki wejściowej (wybór siatki monochromatora, ustawienie szerokości szczeliny wejściowej, pozycjonowanie źródła sygnału wejściowego, itp.) oraz dobór poziomu wzmocnienia toru pomiarowego w stosunku do mocy sygnału wejściowego. W tej klasie aparatury pomiarowej nie stosuje się najczęściej systemowych zabezpieczeń przed przekroczeniem ustawień krytycznych, ze względu na wysoką liniowość i rozdzielczość pomiaru. Stąd wiele ustawień manualnych należy wykonywać z zachowaniem ostrożności, gdyż np. przesterowanie lampy wskutek źle dobranego wzmocnienia lub zbyt silnego sygnału wejściowego grozi szybszym jej zużyciem lub uszkodzeniem. Kolejnym krokiem jest ustawienie czasowego okna pomiarowego. Zazwyczaj ustawienia rozpoczyna się od większych wartości, co powoduje wyświetlanie na ekranie wielokrotności obrazów (rys. 3). Skracając okno czasowe oraz korygując wzmocnienie należy dążyć do wyświetlania pojedynczego obrazu w centrum okna pomiarowego, czyli np. obrazu przedstawionego na rysunku czwartym.

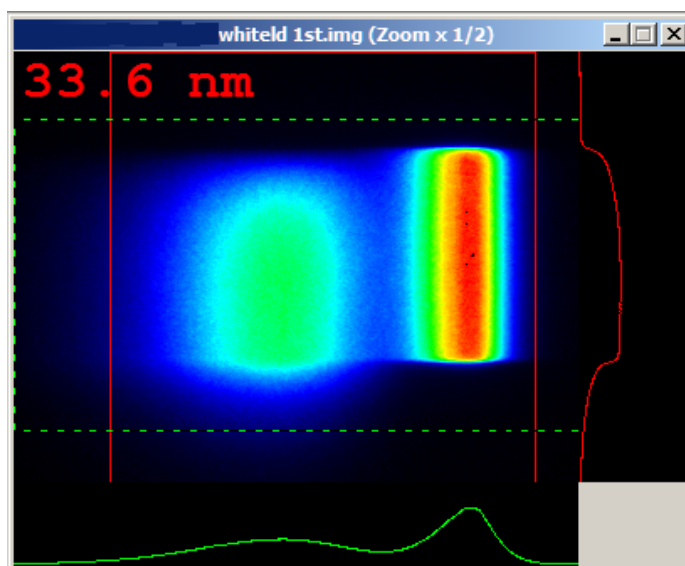


Rys. 3. Odwzorowanie kluczowanego strumienia LED w kamerze (10 kHz, 50% współczynnik wypełnienia)

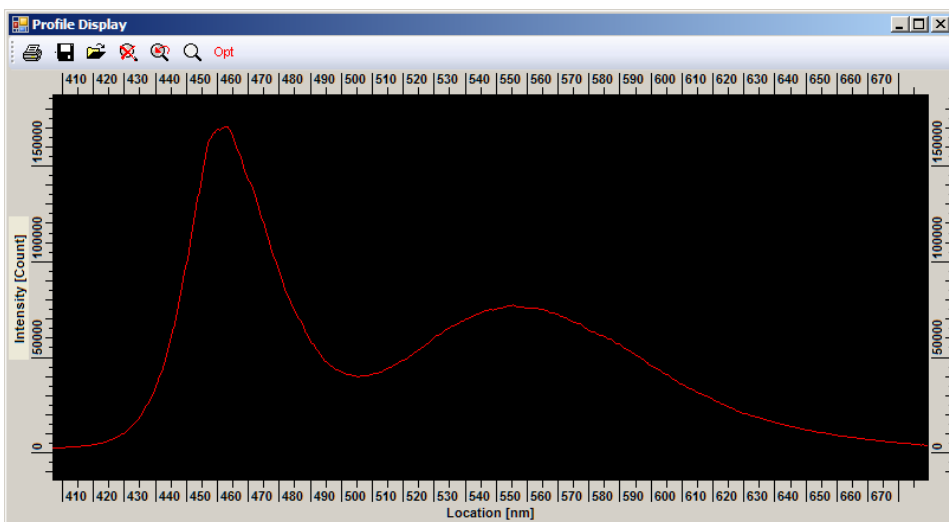


Rys. 4. Obraz pomiaru promieniowania białej LED

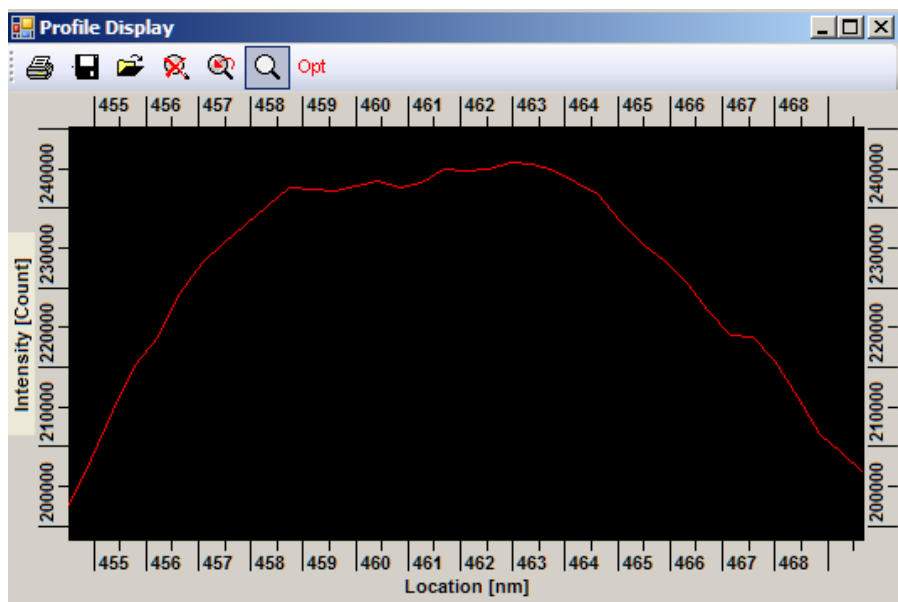
Po zarejestrowaniu danych sygnału wejściowego, w fazie pomiarowej, następuje przejście do fazy przetwarzania w trybie off-line. Korzystając z wbudowanych funkcji okien obróbki horyzontalnej i wertykalnej można dokonać wstępnej obróbki danych w sposób pokazany na rysunku piątym. Dokonując kadrowania wybranych obszarów obrazu otrzymuje się przybliżone kształty charakterystyki czasowej sygnału (prawa pionowa) oraz widmowej (dolna pozioma). Dokładniejsze dane (rys. 5) uzyskuje się dokonując zaawansowanej analizy widmowej w tym w jej wybranym zakresie (rys. 7).



Rys. 5. Widok obrazu pomiaru promieniowania LED po wykadrowaniu

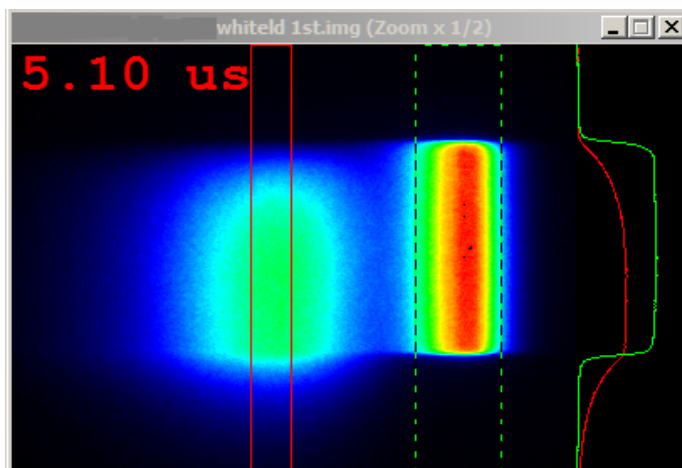


Rys. 6. Wyniki zaawansowanej analizy widmowej promieniowania LED

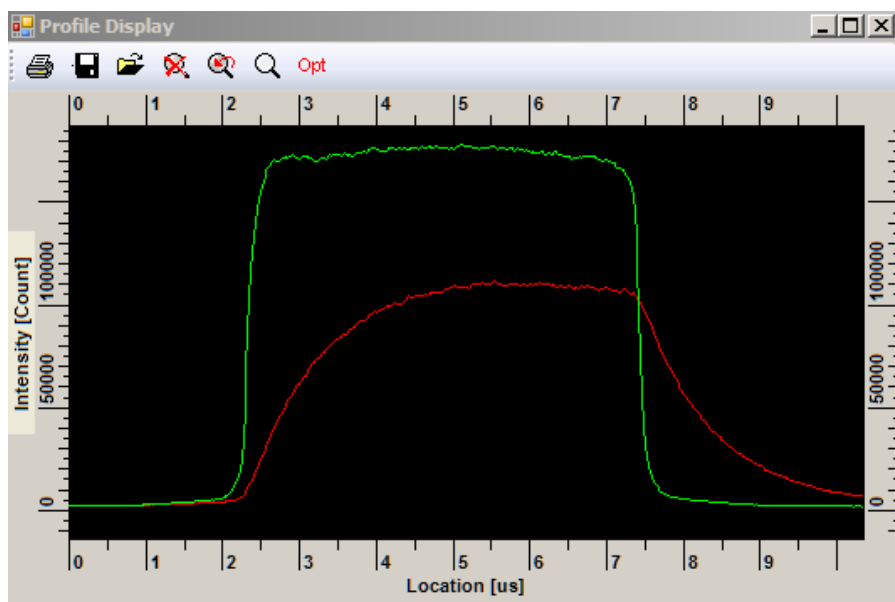


Rys. 7. Analiza wybranego zakresu widmowego na poziomie rozdzielczości systemu

W podobny sposób, wybierając interesujące zakresy widmowe (rys. 8) można dokonać zaawansowanej analizy czasowej (rys. 9). Jak widać z przedstawionych wyników, w przypadku białej LED charakterystyka czasowa emitowanego strumienia zależy również od przedziału widmowego a nie tylko od charakterystyki czasowej prądowych impulsów zasilających emiter. Możliwe do uzyskania rozdzielczości to pojedyncze ps.



Rys. 8. Wybór zakresów widmowych poddawanych analizie czasowej



Rys. 9. Kształty odpowiedzi czasowych wybranych przedziałów widmowych LED

4. PODSUMOWANIE

Opisane w pracy zastosowanie kamery smugowej do pomiaru parametrów widmowych i czasowych, np. LED-owych źródeł światła należy do kategorii pomiarów laboratoryjnych. Przy czym, w omawianym przypadku, ograniczono się do pokazania możliwości precyzyjnego pomiaru widmowej charakterystyki emisyjnej LED oraz charakterystyki czasowej strumienia świetlnego. Pomiar innych charakterystyk, w tym energetycznych jest możliwy, po dokonaniu odpowiedniej kalibracji toru pomiarowego. W niektórych przypadkach, wymaga to uzupełnienia toru pomiarowego o dodatkowe przyrządy, w stosunku do jego struktury opisanej w publikacji. Podstawowa wersja kamery smugowej pozwala na pomiary charakterystyk czasowych strumienia świetlnego oraz względnych charakterystyk widmowych. Przy czym charakterystyk odpowiedzi czasowych (strumienia świetlnego) nie należy utożsamiać z kształtem prądu zasilającego LED. Przyrząd pozwala na pomiar zmian w czasie światła (strumienia) z rozdzielczością do kilku ps.

Opisana metoda pomiarowa jest to czasochłonna, kosztowna i mało mobilna. Niemniej obecnie jest to jeden z niewielu precyzyjnych sposobów pomiaru szybkozmiennych sygnałów świetlnych, z którymi coraz częściej mamy do czynienia wobec burzliwego rozwoju oświetlenia LED-owego. Z powyższego względu autorom nie udało się znaleźć w dostępnej literaturze publikacji o zbliżonej tematyce w celu dokonania analizy porównawczej. Technika pomiaru za pomocą kamery smugowej łączy w sobie elementy spektrometrii, konwersji odpowiedzi fotodetektora na obraz dwuwymiarowy oraz analizy tego obrazu. Z drugiej strony producenci lamp LED-owych nie publikują i nie są zainteresowani ekspozycją charakterystyk czasowych tych źródeł zwłaszcza w zakresie wysokich częstotliwości. Powszechnie stosowane są impulsowe techniki zasilania lamp LED-owych, a zatem w ich widmie częstotliwościowym muszą wystąpić wyższe harmoniczne. Jaki jest wpływ ekspozycji wysokoczęstotliwościowych składników światła na organ wzroku w perspektywie dziesięcioleci oraz jakie są skutki wysokoczęstotliwościowych składowych prądu zasilającego dla energetycznego systemu zasilającego – są zupełnie innymi, pomijanymi lub ukrywanymi zagadnieniami.

Autorzy publikacji nie widzą sensu porównywania cech opisanego systemu pomiarowego z przyrządami powszechnego użytku stosowanymi często do pomiaru LED-owych źródeł światła typu średniej klasy luksomierze czy mierniki mocy optycznej, gdyż uzyskiwane wyniki pomiarowe charakteryzują się dokładnościami różniącymi się o co najmniej rząd wartości. Typowym przykładem jest zastosowanie luksomierza o częstotliwościowym paśmie pomiarowym 10 kHz do pomiaru natężenia oświetlenia uzyskiwanego z LED-owych źródeł światła. Typowym sygnałem kluczującym w źródłach tego typu jest przebieg prostokątny 10 kHz. Zatem w widmie częstotliwościowym takiego źródła wystąpi podstawowa harmoniczna i wyższe harmoniczne. Wspomniany luksomierz zmierzy co najwyżej składową podstawową – jaki sens ma zatem taki pomiar?

Zakres zastosowań systemu znacznie wykracza poza przykład opisany w artykule, obejmuje również inne dziedziny niż technika świetlna czy optoelektronika, gdziekolwiek można przetworzyć sygnał elektryczny oraz mechaniczny lub inny na sygnał optyczny może on mieć zastosowanie. Przedstawiony system jest następcą

wcześniejszych rozwiązań tzw. „oscyloskopów optycznych”, umożliwiających pełną kontrolę procesu programowania kształtu impulsów świetlnych poprzez kształtowanie przebiegu prądu zasilającego źródła. Jednak tamte rozwiązania nie sprawdziły się, czego dowodem jest fakt, iż producenci (w tym firma Hamamatsu) wycofali się z kontynuacji produkcji. Układ kamery smugowej nie zniekształca sygnału mierzonego (nie występują w nim elementy nieliniowe toru pomiarowego) oraz umożliwia szybki pomiar impulsów świetlnych. Pełnej kontroli przebiegu zbroczy impulsów świetlnych nie można osiągnąć stosując analizatory widma w optycznych systemach telekomunikacyjnych, gdyż w tych systemach główny nacisk kładzie się na pomiar innych parametrów transmisji niż dokładne odtwarzanie kształtu medium (impulsu) niosącego informację.

Celem publikacji było zasygnalizowanie możliwości jakie stwarza kamera smugowa w pomiarze burzliwie rozwijających się LED-owych źródeł światła. Nie było aspiracją autorów pisanie poradnika w tym zakresie, lecz przy okazji skróconej charakterystyki systemu zwrócenie uwagi na konieczność pomiarów tych cech nowych źródeł światła, które nie przekładają się bezpośrednio na wskaźniki ekonomiczne związane z ich stosowaniem. Te cechy mogą wiązać się z potencjalnym zagrożeniem jakie niesie wieloletnie stosowanie LED-owych źródeł światła zasilanych impulsowo.

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

LITERATURA

1. Dybczyński W.: Miernictwo promieniowania optycznego. Wydaw. Politechniki Białostockiej, Białystok, 1996.
2. Pietrzykowski J.: Technika Świetlna'09 – Pomiar promieniowania optycznego [rozdz.]. Polski Komitet Oświetleniowy SEP, Warszawa, 2009.
3. Hemka L.: Technika Świetlna'09 – Elektryczne źródła światła [rozdz.]. Polski Komitet Oświetleniowy SEP, Warszawa, 2009.
4. Milnes J., Howorth J.: Picosecond Time Response Characteristics of Micro-channel Plate PMT Detectors. Proc. SPIE, vol. 5580, s. 730-740, 2005.
5. Hamamatsu Photonics K.K.: Guide to Streak camera. Hamamatsu, Hamamatsu City Japan, 2010.
6. Kassier G.H., Haupt K., Erasmus N., Rohwer E.G., Bergmann H.M., Schwoerer H., Coelho S.M.M., Auret F.D.: A compact streak camera for 150 fs time resolved measurement of bright pulses in ultrafast electron diffraction. Review of Scientific Instruments 81, s. 105-103, 2010.
7. Hamamatsu Photonics K.K.: HPD-TA High Performance Digital Temporal Analyzer, <https://www.hamamatsu.com/sp/hc/software/HPD-TA.pdf>, 2014.

Przyjęto do druku dnia 14.06.2016

APPLICATION OF A STREAK CAMERA TO MEASURE LED LIGHT SOURCES

Marian GILEWSKI, Walenty OWIECZKO

ABSTRACT *This article describes the possibility of using the streak camera to measure chosen parameters of LED sources – like transient and spectral characteristics. It discusses a measurement process flow using a tracer camera. Then was presented a method for measuring the spectral and transient parameters of radiation. In the final part of the paper, there was compared this measurement method in relation to the alternative solutions.*

Keywords: *measurements of optical radiation, LEDs source, streak camera*

Dr inż. Marian GILEWSKI – pracuje na Wydziale Elektrycznym Politechniki Białostockiej, w Katedrze Automatyki i Elektroniki. Zajmuje się sterowanymi cyfrowo układami zasilania LED-ów i diod laserowych.

Dr inż. Walenty OWIECZKO – pracuje na Wydziale Elektrycznym Politechniki Białostockiej, w Katedrze Automatyki i Elektroniki. Zajmuje się problematyką związaną z analizą obrazów cyfrowych.