

Marian GILEWSKI
Lech GRODZKI

NOWA KONCEPCJA ZINTEGROWANYCH FOTODETEKTORÓW PÓŁPRZEWODNIKOWYCH^{*)}

STRESZCZENIE *Stosowane obecnie konstrukcje torów pomiarowych promieniowania optycznego zawierają fotodetektory, najczęściej fotodiody półprzewodnikowe w postaci matrycy elementów. W artykule omówiono parametry konwerterów światło-częstotliwość TSL235R, TSL238. Podano charakterystyki czułości widmowej i zależność częstotliwości wyjściowej od temperatury pracy konwertera.*

Słowa kluczowe: *promieniowanie optyczne, konwertery, fotoelementy*

1. WPROWADZENIE

Współcześnie stosowane konstrukcje torów pomiarowych promieniowania optycznego z fotodetektorami półprzewodnikowymi zawierają pod względem funkcjonalnym dwa podstawowe bloki. Pierwszy z nich stanowi układ analogowy, jego zadaniem jest: zapewnienie odpowiednich warunków pracy fotoelementu, wstępna obróbka sygnału fotoelektrycznego, korekcja charakterystyki częstotliwościowej toru oraz dopasowanie poziomu sygnału wyjściowego.

^{*)} Publikację zrealizowano w ramach pracy statutowej S/WE/1/06 finansowanej ze środków KBN

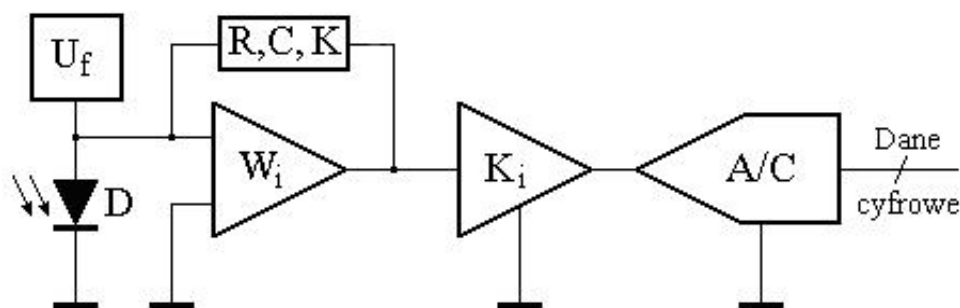
Dr inż. Marian GILEWSKI, dr inż. Lech GRODZKI
e-mail : pbwemagi@pb.edn.pl

Politechnika Białostocka, Wydział Elektryczny
ul. Wiejska 45D, 15-351 Białystok

Przetwornik AC jest elementem łączącym blok analogowy oraz cyfrowy. Zadaniem układu cyfrowego jest obróbka danych pomiarowych oraz sterowanie procesem ekspozycji wyników i elementami układu analogowego. Złożoność oraz wrażliwość na zakłócenia części analogowej toru pomiarowego z fotoelementem półprzewodnikowym stanowiły dotychczas znaczące utrudnienie konstrukcyjne.

2. TYPOWA APLIKACJE CZĘŚCI ANALOGOWEJ TORU POMIAROWEGO

Najczęściej stosowanym fotoelementem półprzewodnikowym jest fotodioda lub jej pochodne w postaci matryc elementów podstawowych, dlatego dalsza część publikacji dotyczy aplikacji tego elementu. Właściwości metrologiczne toru pomiarowego takie jak: czułość, liniowość, dynamika oraz przebieg charakterystyki częstotliwościowej zależą głównie od konfiguracji części analogowej toru pomiarowego (rys. 1).



Rys. 1. Ogólna struktura bloku analogowego toru pomiarowego z fotodiode półprzewodnikową

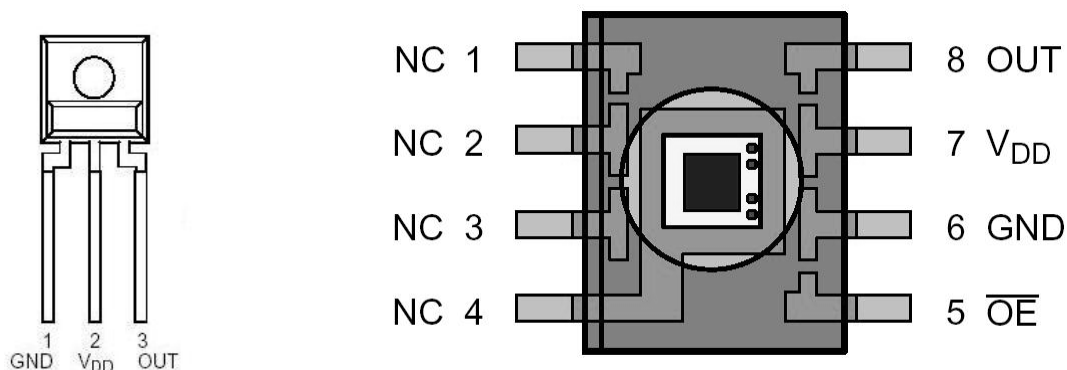
Punkt pracy fotodetektora ustalają: opcjonalny układ polaryzujący U_f oraz wzmacniacz wstępny W_1 . Spotyka się różne aplikacje szczegółowe wzmacniacza wstępnego [1, 2] w postaci: wzmacniacza napięciowego, konwertera prąd–napięcie lub integratora kluczowanego. W zależności od konkretnej realizacji w pętli sprzężenia zwrotnego tego układu mogą wystąpić elementy rezystancyjne R , pojemnościowe C oraz klucze sterowane K . Prawidłowa praca wzmacniacza wstępnego wymaga doprowadzenia dwóch napięć zasilających oraz dwóch cyfrowych sygnałów sterujących kluczami w przypadku aplikacji z integratorem kluczowanym.

Zadaniem wzmacniacza wyjściowego K_i jest zapewnienie wymaganego zakresu dynamiki toru pomiarowego oraz dopasowanie poziomu napięcia wyjściowego do parametrów wejściowych przetwornika analogowo–cyfrowego. Współcześnie często stosowane są scalone wzmacniacze instrumentalne, sterowane cyfrowo o zmiennej wartości wzmocnienia napięciowego. Elementy tego typu wymagają zasilania unipolarnego oraz co najmniej dwóch cyfrowych sygnałów sterujących.

Z przedstawionej pobieżnej analizy wynika, iż część analogowa toru pomiarowego jest złożonym układem elektronicznym, zawiera około dwudziestu elementów dyskretnych oraz wymaga doprowadzenia około dziesięciu zewnętrznych wyprowadzeń napięć zasilających i sygnałów sterujących. Tak rozbudowana, rozłożona struktura jest bardzo wrażliwa na wpływ zewnętrznych sygnałów zakłócających, zwłaszcza w przypadku pomiaru słabych sygnałów optycznych, o mocy na poziomie pojedynczych pW. Szczególnie wrażliwy na zakłócenia jest obwód wejściowy wzmacniacza wstępnego i wymaga skomplikowanej konstrukcji ekranującej, zwiększającej masę oraz gabaryty toru pomiarowego. W układzie z integratorem kluczowanym możliwe jest częściowe uproszczenie [3] układu analogowego w wyniku zastąpienia przetwornika AC komparatorem oraz mniej złożonym konstrukcyjnie cyfrowym układem sterującym. Redukcja liczby elementów części analogowej bywa niewystarczająca w niektórych zastosowaniach, takich jak systemy ze zwiłokrotnioną liczbą torów pomiarowych i prowadzi do złożonych rozwiązań konstrukcyjnych. Postęp technologii fotodetektorów półprzewodnikowych w ostatnich latach doprowadził do opracowania nowej kategorii zintegrowanych fotodetektorów półprzewodnikowych. Niektóre z tych elementów są już dostępne [4, 5, 6] w ofertach sprzedaży, część z nich [7] pozostaje na etapie badań i wdrażania do produkcji.

3. ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE FOTODETEKTORÓW ZINTEGROWANYCH

Pojedyncza, monolityczna struktura tych fotoelementów zawiera zintegrowane wszystkie elementy bloku analogowego, od fotodiody poprzez układy wzmacniające do układu konwersji analogowo cyfrowej łącznie. W zależności od konkretnych zastosowań układy wykonywane są w obudowie do montażu przewlekane lub powierzchniowe (rys. 2). Sygnałem wejściowym jest promieniowanie optyczne, zaś wyjściowym sygnał cyfrowy. Charakter wyjściowego sygnału cyfrowego jest podstawą klasyfikacji tych elementów.



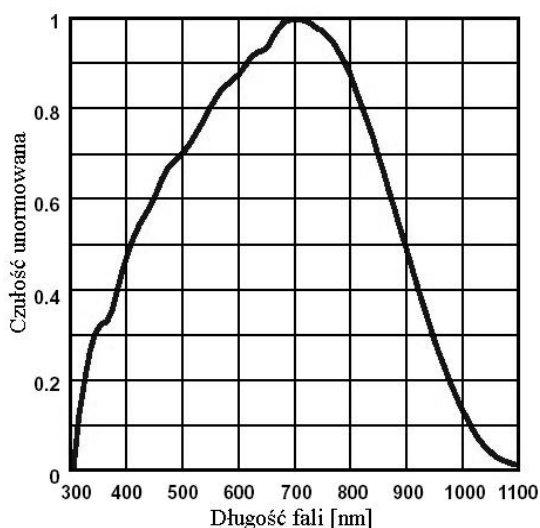
Rys. 2. Układ wyprowadzeń konwerterów TSL235R [5] oraz TSL238 [6]

W elementach z trzema końcówkami sygnałem wyjściowym jest symetryczna fala prostokątna o amplitudzie standardowego sygnału cyfrowego i częstotliwości proporcjonalnej do natężenia napromienienia na wejściu detektora. Stąd w odniesieniu do takich rozwiązań przyjęło się określenie konwerter światło-częstotliwość. Elementy w obudowach typu SOIC posiadają większą liczbę wyprowadzeń. Oprócz zasilania oraz sygnału wyjściowego występują w nich dodatkowe sygnały sterujące, zmieniające funkcję lub parametry pracy fotodetektora. W tym przypadku sygnał wyjściowy jest pakietem jedнопrowodowej transmisji cyfrowej. Tę klasę fotoelementów określa się pojęciem konwerter światło – sygnał cyfrowy.

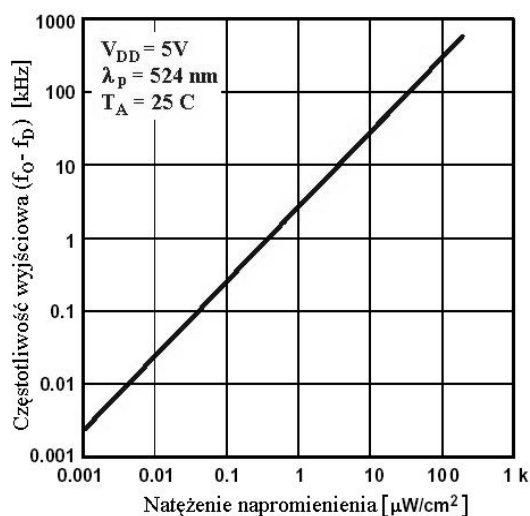
Scalone konwertery promieniowania optycznego do prawidłowej pracy nie wymagają żadnych dodatkowych elementów zewnętrznych, można je zasiląć napięciem unipolarnym z zakresu od 2,7 do 5,5 V. Standard sygnału wyjściowego pozwala na bezpośrednie sprzężenie z systemem cyfrowym lub mikroprocesorowym.

Zakres czułości widmowej aktualnie produkowanych konwerterów, pozabawionych dodatkowych widmowych filtrów korekcyjnych, zawiera się w przedziale od 300 nm do 1050 nm (rys. 3) długości fali promieniowania optycznego. Dostępne rozwiązania konstrukcyjne nie obejmują jeszcze pasma promieniowania nadfioletowego od 190 nm, jak to ma miejsce w przypadku dyskretnych fotodiod półprzewodnikowych. Typowa wartość czułości fotoelementu dla długości fali 524 nm wynosi około $2,3 \text{ kHz}/(\mu\text{W}/\text{cm}^2)$.

Zakres dynamiki konwertera zależy od konkretnej realizacji aplikacyjnej, zazwyczaj jest on 6 rzędowy (rys. 4). Błąd liniowości konwersji promieniowania na sygnał cyfrowy w układzie, w całym zakresie pracy jest mniejszy niż 1 %.

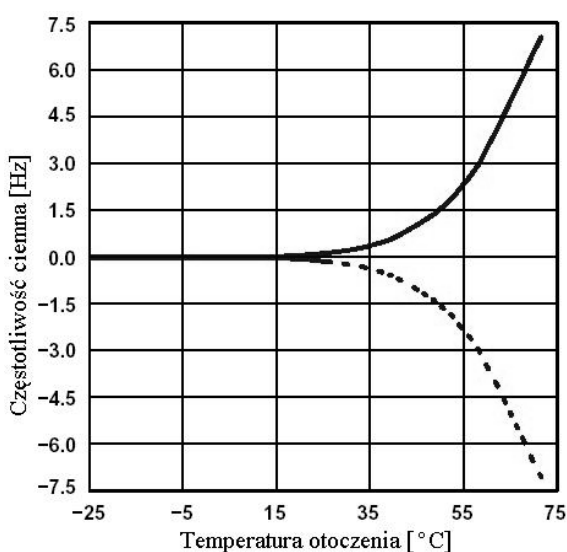


Rys. 3. Charakterystyka czułości widmowej konwertera TSL238

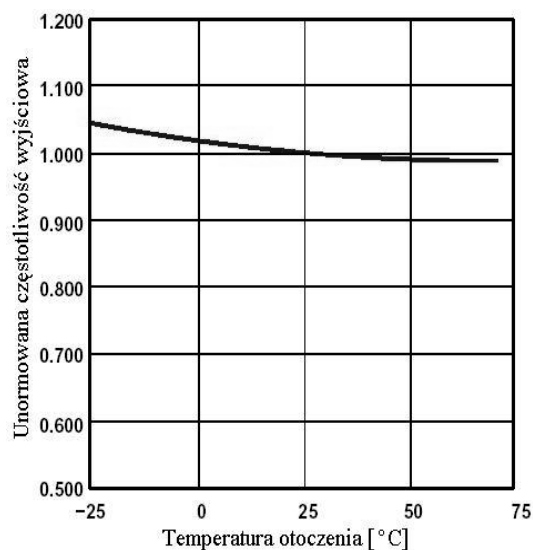


Rys. 4. Charakterystyka konwersji elementu TSL238

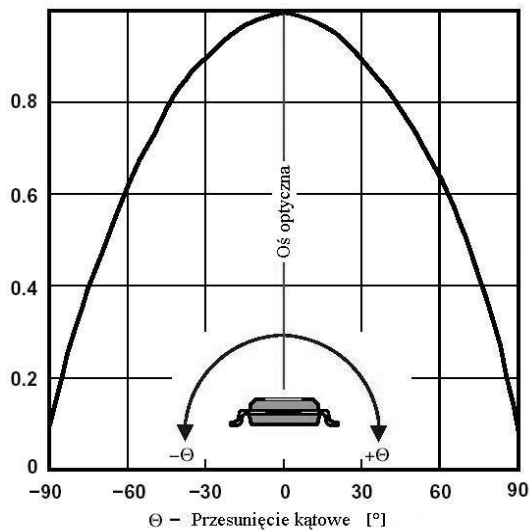
Częstotliwość ciemna f_D sygnału wyjściowego, będąca odpowiednikiem prądu ciemnego fotodiody, rośnie wraz ze wzrostem temperatury pracy (rys. 5), w temperaturze 25 °C jest ona na poziomie 2 Hz. Od temperatury pracy zależy również częstotliwość wyjściowa układu (rys. 6). Typowa wartość temperaturowego współczynnika częstotliwości wyjściowej jest niewielka i wynosi około 200 ppm/°C dla promieniowania o długości fali 700 nm oraz przy poziomie sygnału wejściowego odpowiadającego częstotliwości wyjściowej 50 Hz.



Rys. 5. Zależność częstotliwości ciemnej od temperatury pracy układu TSL238



Rys. 6. Zależność częstotliwości wyjściowej od temperatury układu TSL238



Charakterystyka czułości przestrzennej jest zbliżona do charakterystyk tradycyjnych fotodiod.

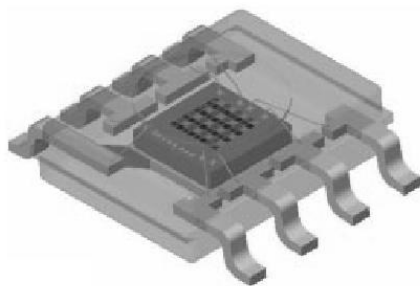
Przebieg tej charakterystyki w przypadku konwertera TSL238 na poniższym rysunku. W przypadku konwerterów zawierających filtry kąta akceptacji jest znacznie mniejszy.

Rys. 7. Charakterystyka czułości przestrzennej układu TSL238

Częstotliwość sygnału wyjściowego określona jest zależnością:

$$f_o = \pm f_D + \frac{S_\lambda}{E_e}$$

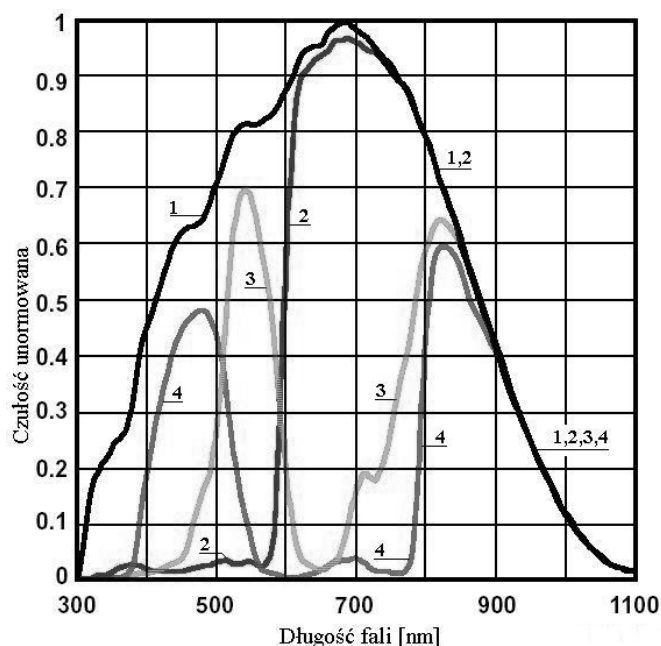
w której S_λ jest czułością widmową konwertera dla określonej długości fali promieniowania optycznego w $\text{kHz}/(\mu\text{W}/\text{cm}^2)$ zaś E_e natężeniem napromienienia dla danej długości fali w $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.



Rys. 8. Konstrukcja konwertera TCS230 [4]

Istnieją aplikacje konwerterów zawierające w strukturze monolitycznej zamiast pojedynczej fotodiody matrycę fotodiod, której poszczególne elementy sprzężone są z widmowymi filtrami korekcyjnymi (rys. 8). W matrycy jedna czwarta fotodiod nie zawiera filtrów zaś pozostałe ćwiartki wyposażone są w filtry RGB.

Cztery sygnały sterujące pozwalają na przełączanie sygnałów z poszczególnych części matrycy na wyjście układu oraz umożliwiają zmianę podzakresów czułości konwertera poprzez skalowanie częstotliwości wyjściowej. Wskutek zastosowania filtrów uległy zmianie przebiegi charakterystyk czułości widmowych (rys. 9) dla poszczególnych barw.



Rys. 9. Charakterystyki czułości widmowych konwertera TSC230:

1 – bez filtrów korekcyjnych, 2 – z filtrem czerwonym, 3 – z filtrem zielonym, 4 – z niebieskim

Podbicia charakterystyk czułości powyżej 650 nm dla fotodetektorów skorygowanych filtrami zielonymi i niebieskimi wyeliminowano w wersji układu z dodatkowym filtrem Hoya CM500. Maksymalna częstotliwość wyjściowa zintegrowanych konwerterów promieniowania optycznego nie przekracza 1 MHz. Natężenie napromienienia, przy którym układy wchodzą w stan nasycenia wynosi około 2 mW/cm^2 .

4. PODSUMOWANIE

Monolityczne konwertery promieniowania optycznego stanowią atrakcyjne z konstrukcyjnego punktu widzenia rozwiązanie toru pomiarowego w stosunku do tradycyjnych aplikacji z dyskretnymi fotoelementami półprzewodnikowymi. Aktualne rozwiązania tych układów nie obejmują jeszcze tak szerokiego widmowego pasma pomiarowego, zakresu liniowej pracy oraz dynamiki jak w przypadku fotodiod półprzewodnikowych. Przewagą tych elementów w stosunku do fotodiod jest możliwość miniaturyzacji głowicy pomiarowej oraz zwiększenie odporności na wpływ zewnętrznych sygnałów zakłócających. Postępujący rozwój technologiczny tych elementów pozwala przypuszczać, iż w przyszłości staną się one dominującym rozwiązaniem fotodetektorów w obszarze promieniowania widzialnego, bliskiej podczerwieni oraz w paśmie UV.

LITERATURA

1. Burr-Brown Corp.: Burr-Brown IC Data Book, USA, Tucson, 1998.
2. Burr-Brown Corp.: IVC102 Precision Switched Integrator, USA, Tucson, 1996.
3. Gilewski M.: Korekcja widmowa głowicy do pomiaru promieniowania nadfioletowego, rozprawa doktorska, 2004, Wydawnictwa PB.
4. TAOS: TCS230 Programmable Color Light-to-Frequency Converter, www.taosinc.com.
5. TAOS: TSL235R Light-to-Frequency Converter, www.taosinc.com.
6. TAOS: TSL238 High-Sensitivity Light-to-Frequency Converter, www.taosinc.com
7. Hamamatsu Photonics: S9705 Light to Frequency Converter, Euro News, Vol.2, 2005.

Rękopis dostarczono, dnia 31.08.2006 r.

A NEW CONCEPT OF INTEGRATED SEMICONDUCTOR PHOTODETECTORS

M. GILEWSKI, L. GRODZKI

ABSTRACT *Designs of measurement chains of optical radiation, used at present include photodetectors, semiconductor photodiodes, in the form of matrices of elements. The paper discusses parameters of the TSL235R and TSL238 light-to-frequency converters. Spectral sensitivity responses and dependence of output frequency on converter operation temperature are presented.*