

Edward POWIADA¹, Krzysztof CHMIELEWSKI¹, Jerzy PASIERBIŃSKI², Mariusz KASTEK¹

¹ WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA, INSTYTUT OPTOELEKTRONIKI, ZAKŁAD TECHNIKI PODCZERWIENI I TERMOWIZJI

² WOJSKOWA AKADEMIA TECHNICZNA, WYDZIAŁ ELEKTRONIKI, ZAKŁAD TECHNIKI CYFROWEJ

Układy wzmacniaczy do detektorów piroelektrycznych

Mgr inż. Edward POWIADA

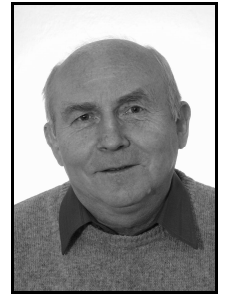
Absolwent Wydziału Elektroniki Politechniki Wrocławskiej (1967). Pracuje w WAT ponad 25 lat. Specjalista w dziedzinie oprogramowania i budowy systemów mikroprocesorowych, systemów cyfrowych w szczególności do zastosowań w urządzeniach optoelektrycznych. Autor wielu oryginalnych projektów układów elektronicznych, oprogramowania, wdrożeń urządzeń i patentów.



e-mail: epowiada@wat.edu.pl

Dr inż. Jerzy PASIERBIŃSKI

Adiunkt naukowo – dydaktyczny w Instytucie Telekomunikacji, Wydziału Elektroniki, Wojskowej Akademii Technicznej. Ukończył Wydział Elektroniki Politechniki Warszawskiej (1970). Tytuł doktora otrzymał w Wydziale Elektroniki WAT (1985). Jest autorem skryptów i współautorem publikacji książkowych dotyczących podstaw elektroniki i układów programowalnych.



e-mail: jpasierbinski@wel.wat.edu.pl

Dr inż. Krzysztof CHMIELEWSKI

Absolwent Wydziału Chemii i Fizyki Technicznej Wojskowej Akademii Technicznej. W 1991r. podjął pracę w Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy, a od 1992r. pracuje w Instytucie Optoelektroniki WAT. Stopień naukowy doktora nauk technicznych uzyskał w 2001r. Obecnie pracuje na stanowisku adiunkta. Zajmuje się głównie projektowaniem układów optoelektrycznych i systemów mikroprocesorowych do urządzeń termowizyjnych. Autor i współautor 20 publikacji naukowych.



e-mail: kchmielewski@wat.edu.pl

Dr inż. Mariusz KASTEK

Absolwent Wydziału Elektroniki Wojskowej Akademii Technicznej (1993). Od 1997 roku jest pracownikiem Wojskowej Akademii Technicznej. Tytuł doktora nauk technicznych uzyskał w roku 2002. Zajmuje się problematyką detekcji obiektów w systemach czujników podczerwieni stosowanych w systemach ochrony, a także analizą sygnałów oraz algorytmami detekcji implementowanymi w czujnikach podczerwieni. Pracuje na stanowisku adiunkta w Instytucie Optoelektroniki WAT.



e-mail: mkastek@wat.edu.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono rozwiązania elektronicznego toru detekcyjnego z detektorami piroelektrycznymi. Podano schematy ideowe wzmacniaczy proponowanych przez producentów detektorów i opisano ich wady. Zaprezentowano trzy nowe rozwiązania wzmacniaczy sygnałów z detektorów promieniowania podczerwonego. Wzmacniacze mogą być zastosowane do czujników podczerwieni, w szczególności do czujników stosowanych w systemach ochrony obiektów.

Słowa kluczowe: czujniki podczerwieni, detekcja promieniowania IR

Amplifier circuits for pyroelectric detectors

Abstract

The paper presents a set of solutions of electronic circuits designed to process electric signals from pyroelectric IR detectors. Circuit diagrams of dedicated amplifiers, suggested by detector's manufacturers are described and their disadvantages in certain applications are demonstrated. As a result, three brand new solutions of signal amplifiers are presented, which are designed to work with IR sensors, especially with sensors commonly used in security systems.

Keywords: IR sensors, IR detection

1. Wprowadzenie

Głównym zespołem wielu urządzeń detekcyjnych podczerwieni jest detektor piroelektryczny (możliwe jest stosowanie także innych typów detektorów). Zasada działania takiego detektora opiera się na wykorzystaniu zjawiska piroelektrycznego, które występuje w różnych związkach chemicznych (np. siarczan trójglicyny - TGS, tantalok litu - LiTaO₃, niobian barowo strontowy - SBN), ceramice (np. PbZrO₃, PbTiO₃) i polimerach (np. polifluorku winilidenu - PVDF). Pod wpływem promieniowania podczerwonego zmienia się temperatura materiału detektora, która powoduje zmianę jego polaryzacji. Następstwem tego jest występowanie ładunku elektrycznego na elektrodach detektora. Po zamknięciu obwodu zewnętrznego popłynie w nim prąd o wartości wprost proporcjonalnej do szybkości zmian temperatury. Tak więc, detektor piroelektryczny jest przyrządem wykrywającym zmiany natężenia promieniowania podczerwonego (a więc temperatury), a nie jego wartość [1, 2].

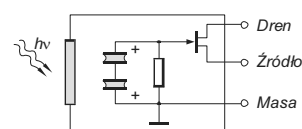
Detektory piroelektryczne umożliwiają wykrycie zmiany temperatury już rzędu 10⁻⁶K. Tak niewielkie wahania temperatury mogą być spowodowane np. zawirowaniami powietrza, zmianą wilgotności itp. Ponadto, detektory piroelektryczne są bardzo wrażliwe na drgania mechaniczne i sygnały akustyczne, które powodują powstanie sygnałów zakłócających. W celu ograniczenia wpływu warunków otoczenia na sygnał wyjściowy detektora piroelektrycznego stosuje się układy kompensacyjne. Najprostszym sposobem kompensacji sygnałów zakłócających polega na szeregowym, przeciwsobnym połączeniu dwóch elementów piroelektrycznych [3].

Od detektora podczerwieni z wejściowym stopniem wzmocnienia w decydującym stopniu zależą rozwiązania układów dalszego przetwarzania jego sygnału.

2. Wzmacniacze proponowane przez producentów detektorów

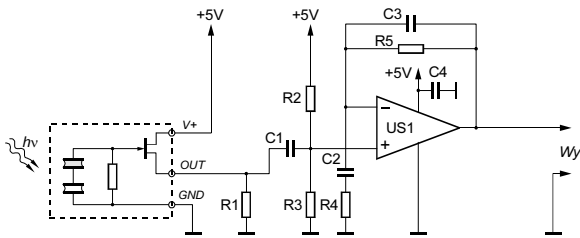
Zastosowanie pojedynczego detektora piroelektrycznego np. czujkach podczerwieni, nie umożliwia odróżnienia zdarzeń o charakterze alarmowym od tzw. fałszywych alarmów spowodowanych np. turbulencjami powietrza lub zmianami temperatury tła następującymi wskutek promieniowania słonecznego. Dlatego w wielu urządzeniach podczerwieni stosuje się detektory z dwoma elementami aktywnymi (dwa detektory) i analizuje się różnice (lub sumę) ich sygnałów wyjściowych.

Zazwyczaj detektory montowane są wraz z tranzystorem i rezystorem polaryzujący jego bramkę (rys. 1) w standardowych, hermetycznych obudowach. Wartość tego rezystora może wynosić nawet do 10¹¹Ω, w zależności od konfiguracji przedwzmacniacza. Najczęściej jako element wzmacniający stosowane są tranzystory JFET lub MOSFET zamontowane w pobliżu detektora.



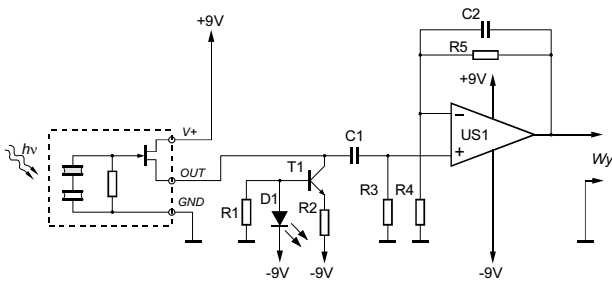
Rys. 1. Dwuelementowy detektor piroelektryczny z tranzystorem polowym
Fig. 1. Two-element pyroelectric detector with integrated FET transistor

Proponowane przez firmę Laser Components [4] stopnie wzmacniające przedstawiono na rys. 2 i rys. 3.



Rys. 2. Wzmacniacz zasilany z jednego źródła napięcia: pasmo przenoszenia od dołu ustalają pojemności C1 oraz C2, a od góry pojemność C3; dla sygnałów zmiennych wzmocnienie zależy od stosunku wartości rezystancji R5/R4

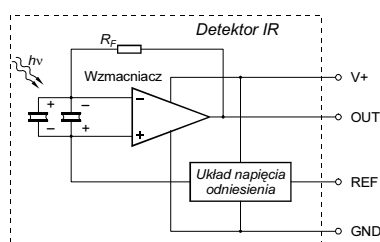
Fig. 2. Amplifier with single power supply



Rys. 3. Wzmacniacz o dużej dynamice sygnału wejściowego zasilany z dwóch źródeł zasilania - obwód składający się z elementów R1, R2, T1, D1 jest źródłem prądowym ustalającym prąd zmianach temperatury otoczenia

Fig. 3. Amplifier with dual power supply and broad dynamic range

Produkowane są także skompensowane, dwuelementowe detektory piroelektryczne zintegrowane ze wzmacniaczem i wewnętrznym układem napięcia odniesienia, które umożliwiają pracę detektora z pojedynczym źródłem zasilania. Ponadto napięcie to można wykorzystać jako napięcie odniesienia dla następnych stopni wzmacniających oraz układów komparacji lub przetwarzania analogowo-cyfrowego. Na rys. 4 przedstawiono schemat budowy dwuelementowego detektora piroelektrycznego ze wzmacniaczem prądowym (w istocie przetwornik prądu w napięcie).

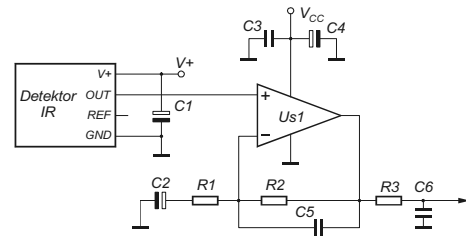


Rys. 4. Uproszczony schemat blokowy dwuelementowego detektora piroelektrycznego z przetwornikiem prądu w napięcie

Fig. 4. Simplified circuit diagram of two-element pyroelectric detector with current-to-voltage converter

Zalecany przez firmę Eltec [5] i najczęściej stosowany w praktyce jest wzmacniacz (rys. 5) w konfiguracji nieodwracającej. Umożliwia on uzyskanie liniowego wzmocnienia sygnału wejściowego przy niskich napięciach zasilających i małych szumach.

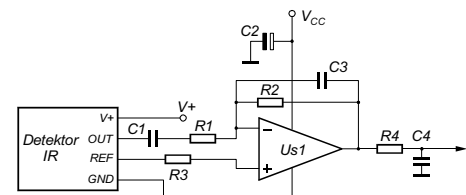
Górna częstotliwość graniczna wzmacniacza jest zależna od stałej czasowej R2C5, a dolna od stałej czasowej R1C2. Rezystor R3 z kondensatorem C6 pełni rolę obwodu całkującego (filtru dolnoprzepustowego) i opóźniającego impulsy. Przy współpracy z przetwornikiem A/C. Zapobiega on powstawaniu błędów dynamicznych wynikających ze zmiany wartości napięcia podczas jego przetwarzania przez przetwornik A/C. Wadą takiego rozwiązania jest długi czas „startu” układu, czyli czas zadziałania czujnika. Spowodowane jest to czasem ładowania pojemności C2 poprzez rezystory R1 i R2. W standardowych rozwiązaniach czas ten wynosi ok. 150s.



Rys. 5. Wzmacniacz do dwuelementowego detektora piroelektrycznego

Fig. 5. Signal amplifier for two-element pyroelectric detector

Na rys. 6 przedstawiono układ wzmacniacza, w którym sygnał wyjściowy z detektora podczerwieni podawany jest na wejście odwracające, a na wejście nieodwracające jest podawane napięcie odniesienia (REF). Napięcie odniesienia przesługu poziom napięcia wyjściowego wzmacniacza Us1, tak jak na wyjściu OUT w układzie o schemacie z rys. 4. Wadą tego rozwiązania są zmiany napięcia wyjściowego wynikające z niestabilności napięcia referencyjnego (niestabilność napięcia referencyjnego dla detektorów firmy Eltec model 442 wynosi $\pm 80\text{mV}$ [5]).

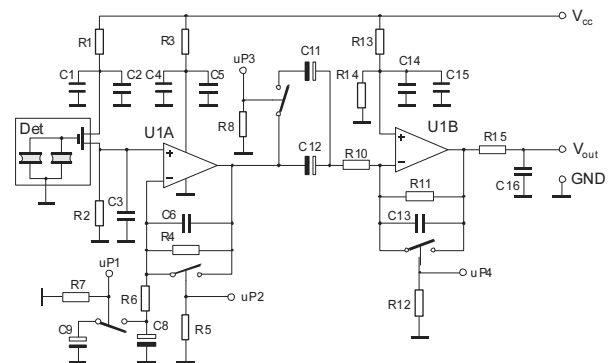


Rys. 6. Układ wzmacniacza detektora piroelektrycznego z wykorzystaniem napięcia referencyjnego

Fig. 6. Amplifier for pyroelectric detector with reference voltage input

3. Proponowane rozwiązania wzmacniaczy

W oparciu o niskoprądowe wzmacniacze operacyjne typu rail-to-rail został wykonany dwustopniowy przedwzmacniacz pasmowy (rys. 7) sygnału wyjściowego detektora piroelektrycznego ze zintegrowanym tranzystorem typu MOSFET.



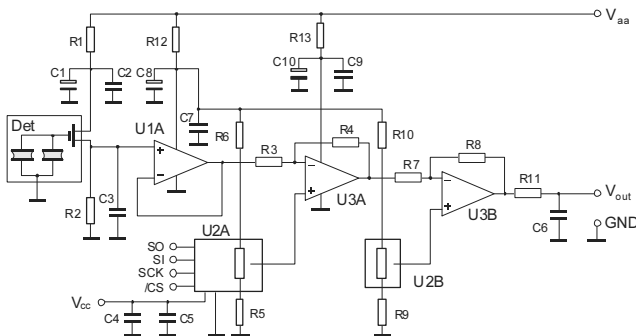
Rys. 7. Dwustopniowy wzmacniacz pasmowy

Fig. 7. Two-stage passband amplifier

Pierwszy stopień przedwzmacniacza pracuje jako stopień nieodwracający fazę o wzmocnieniu $K_1 = R_4/R_6 + 1$. Wzmacniany sygnał wejściowy podawany jest na wejście „+” wzmacniacza operacyjnego U1A. Na wejście „-” wzmacniacza dołączone jest sprzężenie zwrotne poprzez rezystor R4 z równoległe dołączoną pojemnością C6. Elementy te ustalają górną częstotliwość graniczną pasma przenoszenia pierwszego stopnia wzmacniającego. Dolna częstotliwość graniczna pasma przenoszenia tego stopnia ustalana jest przez rezystor R6 i pojemność C8. Równoległe do pojemności C8 dołączona jest poprzez klucz elektroniczny (przełączany sygnałem uP1 z portu wyjściowego mikroprocesora sterującego) dodatkowa pojemność C9. Zwarcie klucza umożliwia zmianę dolnej częstotliwości granicznej pasma przenoszenia – poszerzenie pasma w kierunku niższych częstotliwości. Jednak

zwarcie klucza elektronicznego wywołuje stan nieustalony stopnia wzmacniającego o stałej czasowej wynoszącej $(R4+R6)(C8+C9)$.

W celu minimalizacji czasu trwania stanu nieustalonego w sprzężeniu zwrotnym stopnia wzmacniającego dołączony jest drugi klucz elektroniczny, którego włączenie (podanie sygnału uP2) powoduje zwarcie rezystora R4 sprzężenia zwrotnego stopnia wzmacniającego, a tym samym skrócenie stanu nieustalonego, wywołanego załączeniem pierwszego klucza, do wartości ustalonej przez stałą czasową $R6(C8+C9)$. Klucz w sprzężeniu zwrotnym wykorzystywany jest także do skrócenia (w trakcie załączania napięcia zasilania wzmacniacza) stałej czasowej stanu nieustalonego z wartości $(R4+R6)C8$ do wartości $R6C8$. Wzmocniony sygnał elektryczny detektora przekazywany jest następnie do drugiego stopnia wzmacniającego, który pracuje jako wzmacniacz odwracający fazę o wzmocnieniu $K2 = -R11/R10$. Sprzężenie między stopniami zapewnia pojemność C12 odcinająca składową stałą wzmacnianego sygnału. Na wejście nieodwracające wzmacniacza (przez dzielnik R13, R14) jest podawane napięcie zasilania, które ustala poziom masy pozornej dla wzmacnianego sygnału. Jest ono filtrowane (R13, C14, C15) w celu minimalizacji zakłóceń. Podobnie jak dla pierwszego stopnia, pasmo przenoszenia tego wzmacniacza można zmieniać (poszerzać w kierunku niższych częstotliwości) za pomocą klucza elektronicznego (załączanego sygnałem uP3), który dołącza dodatkową pojemność C11. Zmiana ta, jak i załączanie zasilania układu, powoduje wydłużenie czasu trwania stanu nieustalonego. Jego skrócenie uzyskano stosując dodatkowy klucz elektroniczny (załączany sygnałem uP4) w sprzężeniu zwrotnym drugiego stopnia wzmacniacza, zwiernający rezystor sprzężenia R11 (skrócenie stałej czasowej stanu nieustalonego o składową związaną z R11). Wzmacniacze operacyjne zastosowane w układzie zasilane są napięciem filtrowanym przez rezystor R3 oraz pojemności C4 i C5.



Rys. 8. Schemat wzmacniacza stałoprądowego
Fig. 8. Circuit diagram of constant current amplifier

Układ wzmacniacza stałoprądowego (rys. 8) z regulacją (za pomocą cyfrowych potencjometrów elektronicznych) poziomu składowej stałej jest zbudowany z trzech wzmacniaczy operacyjnych. Pierwszy wzmacniacz U1A, ze względu na znaczną oporność wyjściową detektora piroelektrycznego, pracuje w układzie wtórnika, natomiast dwa kolejne w układach odwracających fazę sygnału. Pierwszy stopień wzmocnienia jest realizowany przez wzmacniacz operacyjny U3A. Charakteryzuje się on wzmocnieniem sygnału $K1 = -R4/R3$. Na jego wejście „+” podawane jest napięcie odniesienia uzyskane z dzielnika rezystorowego R5, R6, U2A (cyfrowy potencjometr), włączonego między napięcie zasilania i masę układu. Napięcie odniesienia (regulowane za pomocą cyfrowego potencjometru elektronicznego) służy do eliminacji składowej stałej sygnału uzyskiwanego z detektora. Składowa ta ulega znacznym zmianom wraz ze zmianami temperatury w otoczeniu detektora piroelektrycznego (ze względu na zmianę prądu wyjściowego tranzystora polowego zależną od temperatury). Następnie sygnał podawany jest na drugi stopień wzmacniający wykonany na wzmacniaczu operacyjnym U3B, którego wzmocnienie wynosi $K2 = -R8/R7$. Na jego wejście „+” podawane jest, podobnie jak w poprzednim stopniu wzmacniającym, napięcie odniesienia uzyskane tym razem z dzielnika rezystorowego R9,

R10, U2B (cyfrowy potencjometr). Napięcie to (regulowane za pomocą cyfrowego potencjometru elektronicznego) zapobiega wchodzeniu wzmacniacza w stan nasycenia. Sygnał wyjściowy dodatkowo poddawany jest filtracji przez filtr antyaliasingowy wykonany na elementach R11, C6. Potencjometry elektroniczne zastosowane w przedwzmacniaczu połączone są poprzez magistralę szeregową SPI z procesorem sterującym, który na podstawie wartości sygnału wyjściowego dokonuje na bieżąco odpowiednich regulacji (zmiana wartości rezystancji potencjometrów) wartości napięć odniesienia poszczególnych stopni wzmacniających. Znając nastawy N_A , N_B (nr ustawionego poziomu) poszczególnych potencjometrów cyfrowych, ich oporności całkowite R_A , R_B oraz wartości wzmocnienia poszczególnych stopni przedwzmacniacza K1, K2, możemy obliczyć wartość sygnału V_{OUT} na wyjściu wzmacniacza:

$$V_{OUT} = V_{IN} K1 K2 - U_{pA} K1 K2 - U_{pB} K2 \quad (1)$$

gdzie: V_{IN} – napięcie wejściowe pierwszego stopnia wzmacniającego, U_{pA} – napięcie odniesienia pierwszego stopnia wzmacniającego, U_{pB} – napięcie odniesienia drugiego stopnia wzmacniającego, V_{cc} – napięcie zasilania.

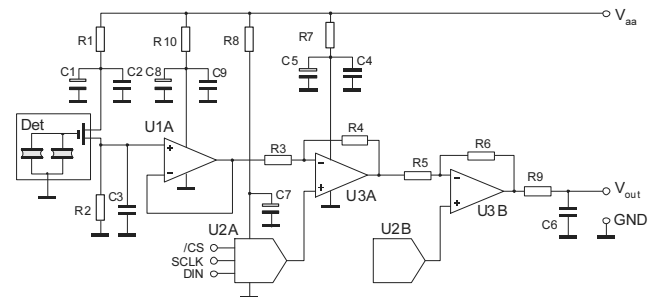
Wartości napięć odniesienia poszczególnych stopni wzmacniających można obliczyć z zależności (przy założeniu 8-bitowej rozdzielczości nastaw potencjometrów cyfrowych):

$$U_{pA} = \frac{V_{cc}}{R6 + R_A + R5} \left(R5 + \frac{N_A}{256} R_A \right) \quad (2)$$

$$U_{pB} = \frac{V_{cc}}{R10 + R_B + R9} \left(R9 + \frac{N_B}{256} R_B \right) \quad (3)$$

Wartości U_{pA} i U_{pB} są na bieżąco dobierane przez mikroprocesor zapewniając właściwą dynamikę wzmacniacza i zapobiegając nasyceniu się poszczególnych stopni wzmacniających. Jeżeli wyjściowe napięcie wzmacniacza będzie analizowane przez mikroprocesor, który w swoim algorytmie działania uwzględni przesuwanie poziomów (nastaw potencjometrów) na poszczególnych stopniach wzmocnienia, to można wykazać, że napięcie obliczone może być dużo większe niż napięcie zasilania. Jest to niewątpliwą zaletą wykonanego układu.

Stosowanie potencjometrów elektronicznych wymaga wstępnego ustalania ich zakresów pracy za pomocą zewnętrznych rezystorów. Poza tym 8-bitowa rozdzielczość nastaw potencjometrów okazuje się często niewystarczającą przy dużej dynamice sygnału wejściowego. Lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie w miejsce potencjometrów przetworników cyfrowo-analogowych. Schemat przedwzmacniacza, w którym zastosowano przetworniki C/A pokazany jest na rys. 9.



Rys. 9. Schemat wzmacniacza sterowanego przetwornikami C/A
Fig. 9. Circuit diagram of amplifier driven by C/A converters

Sygnał z detektora po przejściu przez układ wtórnika dopasowujący podawany jest na dwa stopnie wzmacniające o stałym wzmocnieniu i regulowanej składowej stałej za pomocą przetworników C/A. Podobnie jak w poprzednich układach, filtr antyaliasingowy zastosowany jest dopiero na wyjściu układu wzmacniacza.

4. Podsumowanie

Przedstawione układy wzmacniaczy zastosowano w wielokanałowych czujnikach podczerwieni stosowanych do systemów ochrony. Badania czujników wykazały, że wzmacniacze pracują prawidłowo i czujniki wykrywały sygnały pochodzące od osób poruszających się (w polu widzenia czujnika) z prędkościami od 0,2 do 7m/s. Zaletą zaprezentowanych układów wzmacniaczy jest szeroki zakres temperatury pracy oraz niewielki pobór mocy ze źródła zasilania.

5. Literatura

[1] Feng C., Xu P. The detection mechanism of LiTaO₃ type II pyroelectric detectors. I. The primary and secondary pyroelectric effects, *Infrared Physics & Technology* No 40, pp. 61-70, 1999.

- [2] Feng C., Xu, P.: The detection mechanism of LiTaO₃ type II pyroelectric detectors. III. The total pyroelectric effects, *Infrared Physics & Technology* No 40, pp. 79-82, 1999.
- [3] Amperex Electronic Corporation: Ceramic pyroelectric infrared sensors and their applications, Technical Note, *Journal of Optical Sensors*, vol. 2, No 1, pp. 45-62, 1987.
- [4] Laser Components GmbH: Katalog produktów firmy, Werner von Siemens pp. 15, Q-82140 Olching Niemcy, 1998.
- [5] Eltec Instruments Inc.: Katalog produktów firmy, P.O. Box 9610, Central Business Park, Daytona Beach, Florida 32120-9610, USA, 1996.

Artykuł recenzowany

INFORMACJE

Zapraszamy do PRENUMERATY czasopisma PAK w 2007 roku

Cena prenumeraty rocznej 180,00 zł/1 egz. i półrocznej 90,00 zł/1 egz.

prenumeratę i kolportaż prowadzą

AGENDA WYDAWNICZA POMIARY AUTOMATYKA KONTROLA

ul. Świętokrzyska 14A, pok. 535, 00-050 Warszawa, tel./fax: (0-22) 827 25 40, e-mail: pak@data.pl

Redakcja czasopisma POMIARY AUTOMATYKA KONTROLA

44-100 Gliwice, ul. Akademicka 10, pok. 21a, tel. (0-32) 237 25 17, fax (032) 237 20 34

KOLPORTER S.A., ul. Strycharska 6, 25-620 Kielce, tel. (0-41) 367 82 22

GARMOND PRESS S.A., ul. Nakielska 3, 01-106 Warszawa, tel. (0-22) 836 69 21

RUCH S.A., ul. Jana Kazimierza 31/33, 01-248 Warszawa, tel. (0-22) 53 28 832

Zapraszamy do publikacji reklam w PAK-u w roku 2006

CENNIK PUBLIKACJI PŁATNYCH na II półrocze 2006 roku

Reklama	Czarno-biała	Kolorowa
I okładka	-	3000 zł
II okładka	-	2700 zł
III okładka	-	2600 zł
IV okładka	-	2800 zł
1 strona (175x225 mm)	1000 zł	1500 zł
½ strony (175x125mm) - pozioma	600 zł	900 zł
½ strony (85x225 mm)- pionowa	600 zł	900 zł
¼ strony (85x125 mm)	300 zł	450 zł
1/8 strony (85/60 mm) - tylko według indywidualnych uzgodnień	200 zł	300 zł

**Artykuły techniczno-informacyjne oraz
wkładki firmowe wydrukowane przez zleceniodawcę
ceny według indywidualnych uzgodnień**

Do wszystkich cen doliczamy podatek VAT 22%