

## Piotr SZEWCZYK, Roman WYŻGOLIK

POLITECHNIKA ŚLĄSKA, INSTYTUT AUTOMATYKI, ZAKŁAD POMIARÓW I SYSTEMÓW STEROWANIA,  
ul. Akademicka 16, 44-100 Gliwice

# Interfejs IEEE 1451.4 dla czujnika drgań

Mgr inż. Piotr SZEWCZYK

Tegoroczny absolwent Wydziału Automatyki Elektronicznej i Informatyki, Instytutu Automatyki, specjalności Systemy Pomiarowe. Pracę dyplomową magisterską pt. "Interfejs IEEE 1451.4 dla czujnika drgań opartego o akcelerometr monolityczny" obronił z wyróżnieniem.



e-mail: piotr\_szewczyk1@o2.pl

Dr inż. Roman WYŻGOLIK

Pracę doktorską obronił w 2003 r. na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Obecnie zatrudniony jest na stanowisku adiunkta w Instytucie Automatyki. Jego zainteresowania koncentrują się wokół zagadnień związanych z inteligentnymi przetwornikami pomiarowymi, systemami pomiarowymi, przetwarzaniem danych pomiarowych, oprogramowaniem LabVIEW.



e-mail: roman.wyzgolik@polsl.pl

### Streszczenie

W referacie przedstawiono opracowanie i wykonanie interfejsu plug and play dla czujników drgań. Czujniki skonstruowane zostały w celu zastosowania w pomiarach biomedycznych, np. dla stabilografii, pomiarów drżenia dłoni oraz badań robota kardiochirurgicznego i oparte są o akcelerometry monolityczne (głównie serii ADXL firmy Analog Devices oraz termiczne firmy MEMSIC). Interfejs umożliwia podłączenie kilku czujników drgań jednocześnie, ich automatyczną konfigurację z poziomu oprogramowania komputera osobistego i logowanie danych pomiarowych do pliku.

**Słowa kluczowe:** czujniki, interfejsy pomiarowe, kalibracja.

## IEEE 1451.4 interface for vibration sensor

### Abstract

The design and realization of the plug-and-play interface for vibration transducers is presented in the paper. Transducers have been designed for biomedical applications, e.g. stabilography, limbs tremor examination and investigation of the cardio-surgery telemanipulator. Their performance has been optimized for both, low acceleration and low frequency measurements. The transducers are based on monolithic accelerometers of different manufacturers which have been soldered to printed circuit boards of similar size (approx. from 15'25 mm up to 18'35 mm depending on the monolithic accelerometer). A bonding of the monolithic accelerometers (and additional elements such as constant-voltage regulators, low-pass filters, sockets, etc.) with the circuit board as well as circuits that modify characteristics of the monolithic accelerometer are main reasons to perform the calibration of the transducers. Typically the transducer is connected directly to DAQ device or dedicated converter with RS232 interface to the PC, but the configuration of the transducer parameters must be carried out manually in the PC software. In this paper we propose the plug-and-play interface based on IEEE-1451.4 standard, which enables the automatic configuration thanks to the data stored in dedicated EEPROM – TEDS (Transducer Electronic DataSheet) or in a file as the Virtual TEDS.

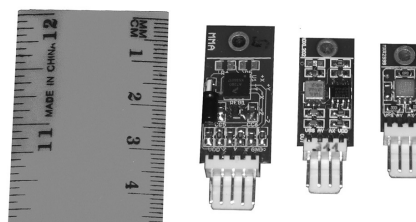
**Keywords:** sensors, interfaces, calibration.

## 1. Wstęp

W pracach [1] i [2] opisano wyniki badań porównawczych parametrów metrologicznych czujników drgań, wykorzystywanych w pomiarach biomedycznych, np. dla stabilografii, pomiarów drżenia dłoni oraz badań robota kardiochirurgicznego. Czujniki opracowano w Instytucie Elektroniki Politechniki Śląskiej. Oparte są o akcelerometry monolityczne, głównie serii ADXL firmy Analog Devices oraz termiczne firmy MEMSIC. Wygląd czujników drgań pokazano na rys.1. Na rys.2 pokazano schematy czujników z aktualnie wykorzystywanymi akcelerometrami monolitycznymi.

Konieczność kalibracji czujników drgań wynika z faktu montażu akcelerometrów monolitycznych na płytkach drukowanych i zastosowaniu dodatkowych układów kształtujących ich charakterystyki. Wyniki kalibracji wskazane byłoby utrwalić w taki sposób,

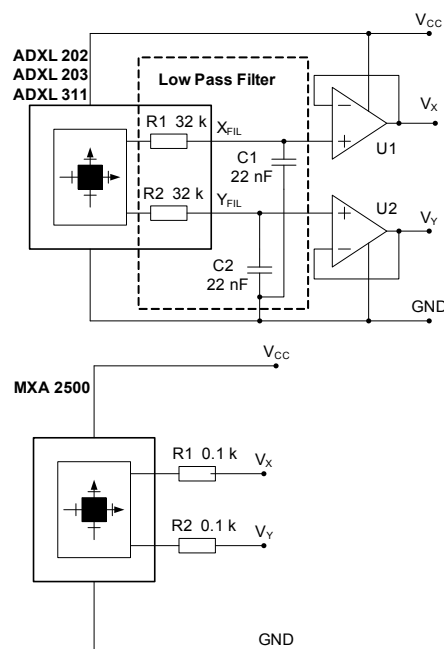
aby uprościć konfigurację czujnika po podłączeniu go do systemu pomiarowego.



Rys. 1. Widok czujników drgań. Od lewej z akcelerometrem: MMA 7260Q, ADXL 202, MXA 2500

Fig. 1. The view of vibration sensors. From the left, with accelerometers: MMA 7260Q, ADXL 202, MXA 2500

Do utrwalenia wyników kalibracji wybrano rozwiązanie proponowane w normie IEEE 1451.4 [3] – tzw. elektroniczną kartę katalogową TEDS (Transducer Electronic Data Sheet), w postaci pamięci EEPROM 1-Wire dołączoną do czujnika. Na chwilę obecną pamięć dołączona będzie do kabla łączącego czujnik drgań z interfejsem, stąd jej brak na schematach z rys. 2.



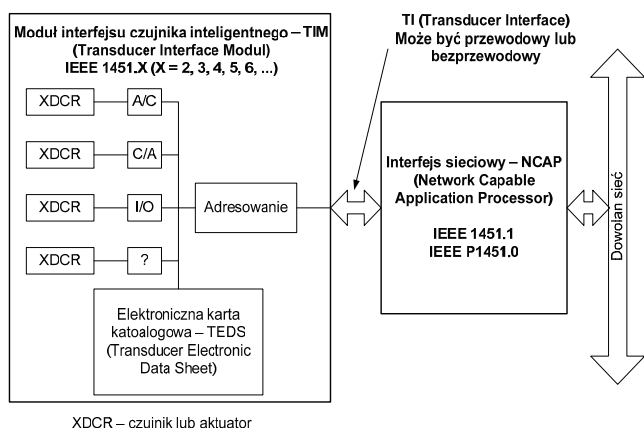
Rys. 2. Schematy czujników drgań opartych na akcelerometrach monolitycznych  
Fig. 2. Schematics for vibration sensor based on monolithic accelerometers

## 2. Interfejs czujnika według IEEE 1451.4

Norma IEEE 1451.4 jest jedną z szeregu norm dotyczących standardu interfejsu przetwornika inteligentnego [4]. Dodajmy, że twórcy standardu IEEE 1451, pod nazwą przetwornik (w oryginalnie Transducer) rozumieją czujnik, przetwornik jak i aktuator.

Struktura inteligentnego przetwornika zgodnego z standardem IEEE 1451 pokazana jest na rys.3. Ideą standardu było wprowadzenie technologii plug and play, ułatwiającej dołączanie przetwornika dowolnego producenta do dowolnej sieci kontrolno – pomiarowej tak, aby uniezależnić przetwornik od protokołu wykorzystywanego w danej sieci. Interfejsem sieciowym miał być specjalny procesor sieciowy, tzw. NCAP – Network Capable Application Processor. Koncepcja nie do końca się przyjęła. Z uwagi na brak procesora NCAP standard IEEE 1451 nie jest obecny w żadnym systemie kontrolno pomiarowym, pracującym w sieciach przemysłowych. Praktycznie na rynku obecne są rozwiązania oparte o normę IEEE 1451.4, dedykowane dla czujników pomiarowych. Popularność normy IEEE 1451.4 wynika z trzech faktów:

- 1) braku konieczności wykorzystania procesora NCAP,
- 2) technologia plug and play ułatwia konfigurację wielu czujników, np. w systemach testujących – co przekłada się na zminimalizowanie ryzyka błędnego skonfigurowania parametrów czujnika w systemie pomiarowym i wydatnie zmniejsza czas konfiguracji,
- 3) możliwość wykorzystania tzw. Virtual TEDS, czyli elektronicznej karty katalogowej czujnika zapisanej w bazie danych na dysku HDD, co pozwala na dodanie informacji TEDS do już posiadanych czujników (nie wyposażonych w pamięć EEPROM).



Rys. 3. Struktura przetwornika inteligentnego według [3]  
Fig. 3. Structure of the smart transducer, according to [3]

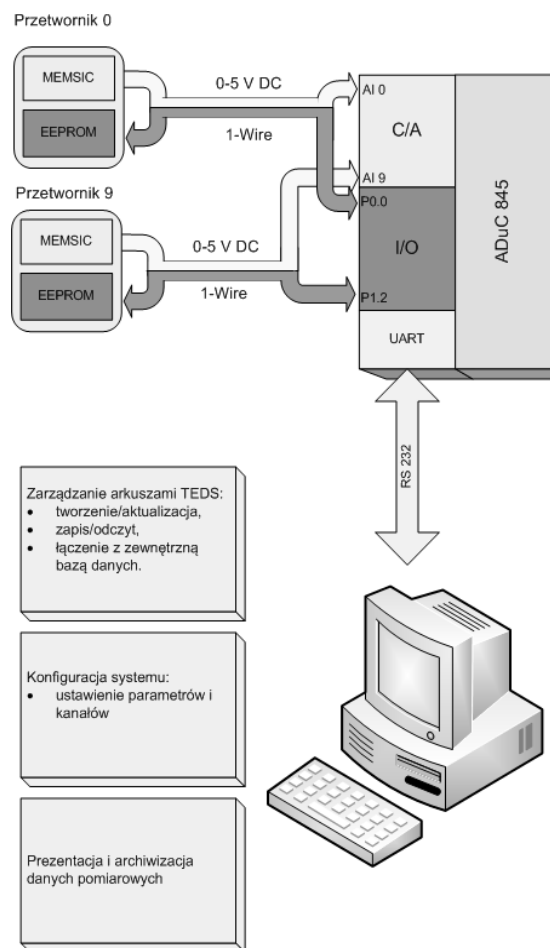
Do podłączenia czujnika z urządzeniem rejestrującym zaprojektowano tzw. interfejs mieszany MMI (Mixed Mode Interface) klasy 1 i 2. Interfejs klasy 1 opracowano głównie dla piezoelektrycznych akcelerometrów i mikrofonów, w których zasilanie wbudowanego w czujnik wzmacniacza dostarczane jest przewodem sygnałowym. Tam, gdzie nie jest możliwe współdzielenie przewodu sygnałowego dla danych cyfrowych TEDS i sygnału pomiarowego (analogowego), wykorzystuje się interfejs klasy 2. Część analogowa pozostaje niezmienną dla danego czujnika pomiarowego (np. dla rezystancyjnego czujnika temperatury można wykorzystać 2, 3 lub 4 przewody w zależności od wybranej metody pomiaru rezystancji).

## 3. Budowa i opis interfejsu

Interfejs stanowi część większego systemu, na który składa się dodatkowo komputer PC lub notebook oraz oprogramowanie. Schemat systemu przedstawiono na rys.4. Interfejs zbudowano w oparciu o mikrokontroler ADuC845 firmy Analog Devices.

Mikrokontroler zapewnia pomiar napięcia na wybranym kanale, zapis i odczyt zawartości pamięci EEPROM oraz komunikację z PC.

Do pomiaru sygnału napięciowego wykorzystywany jest wewnętrzny 24 bitowy przetwornik A/C typu Sigma-Delta. Źródłem napięcia odniesienia dla przetwornika A/C jest scalony stabilizator napięcia ZR78L05G. Z uwagi na niską częstotliwość graniczną badanych akcelerometrów, przetwornik A/C może działać z niską częstotliwością i z wykorzystaniem opcji kondycjonowania sygnału. Przetwornik A/C mikrokontrolera umożliwia uśrednianie 3 kolejnych wyników oraz filtrowanie cyfrowe [5].



Rys. 4. Schemat funkcjonalny systemu  
Fig. 4. Functional diagram of the system

Obsługa pamięci EEPROM odbywa się za pomocą portów dwustanowych mikrokontrolera przy wykorzystaniu protokołu 1-Wire. W obecnym rozwiązaniu sygnały analogowe i cyfrowe są prowadzone odrębnymi przewodami (zgodnie z mixed mode interface class 2 [3, 4])

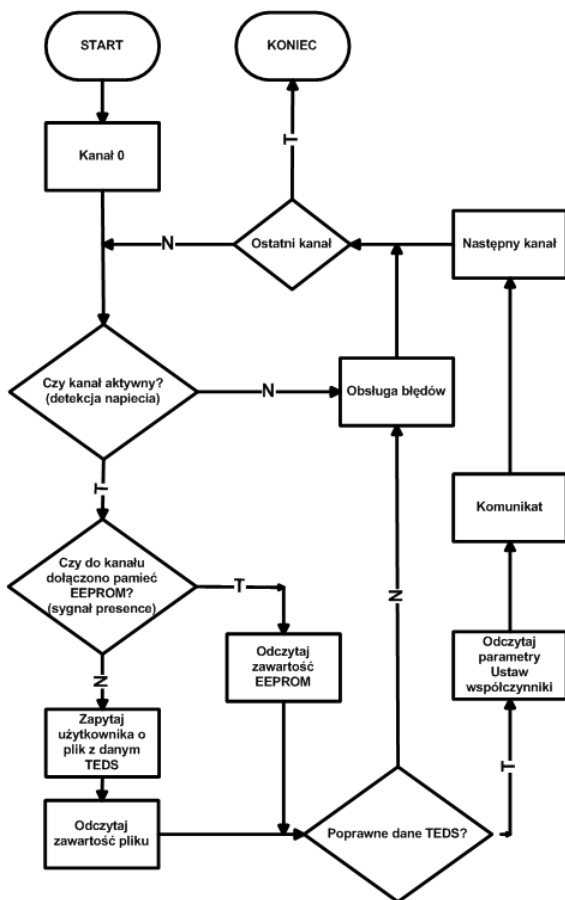
Komunikacja między kontrolerem a PC odbywa się przez łącze szeregowe z wykorzystaniem własnego protokołu. Funkcje protokołu zapewniają synchroniczne wyzwalanie pomiaru, podstawową detekcję błędów transmisji oraz konfigurację parametrów przetwornika (zakres pomiarowy, częstotliwość próbkowania).

Aplikacja PC, napisana w środowisku LabVIEW, powstała w oparciu o bibliotekę TEDS dostarczaną przez National Instruments oraz aplikację dostarczaną wraz z SC-2350 (komercyjnym czytnikiem TEDS) Rolą aplikacji jest zarządzanie arkuszami TEDS: aktualizacja, zapisywanie na dysku lub w pamięci EPROM; odczytywanie z dysku lub pamięci EPROM; wykonywanie pomiarów na zadanych kanałach; prezentacja i archiwizacja wyników pomiarów.

#### 4. Tworzenie i zapis arkusza TEDS

Użytkownik systemu ma możliwość stworzenia arkusza TEDS dla wykorzystywanego czujnika drgań w łatwy i intuicyjny sposób. Pola wyliczeniowe proponowane w normie [3] reprezentowane są przez odpowiednie kontrolki; dlatego tworzenie arkusza nie wymaga ich znajomości. Po kalibracji czujnika drgań wystarczy wpisać wyniki w odpowiednie pola oraz wybrać typ przetwornika. Przykładowe pola to: oś pomiarowa, czułość, jednostka sygnału wyjściowego, graniczna częstotliwość.

Gotowy arkusz TEDS można zapisać za pośrednictwem interfejsu do pamięci EEPROM podłączonej do wybranego kanału lub na dysku twardym komputera postaci tzw. Virtual TEDS. Pozwala to na przechowywanie wyników kalibracji bezpośrednio z przetwornikiem, co znacznie przyspiesza jego konfigurację w systemie. Tworzenie dyskowej bazy wyników kalibracji wykorzystywanych przetworników zapewnia dodatkowo wgląd w parametry danej serii i usprawnia proces decyzyjny przy wyborze czujnika do konkretnych zastosowań.



Rys. 5. Przebieg automatycznej konfiguracji interfejsu  
Fig. 5. Interface configuration route

#### 5. Konfiguracja interfejsu, prezentacja i archiwizacja danych pomiarowych

Po uruchomieniu systemu w aplikacji PC automatycznie wykonywana jest procedura konfiguracji czujnika drgań. Przebieg konfiguracji, w postaci schematu blokowego, pokazano na rys. 5, zaś na rys. 6 pokazano wygląd okna dialogowego prezentującego informacje o konfiguracji TEDS kanału pomiarowego.

Poprawny przebieg konfiguracji zapewnia pełną gotowość systemu do pracy. Nie są wymagane żadne dodatkowe czynności. Po ok. 30 sekundach od startu aplikacji dostępne są pierwsze wyniki pomiaru. Dla porównania w konwencjonalnym 10 kanałowym

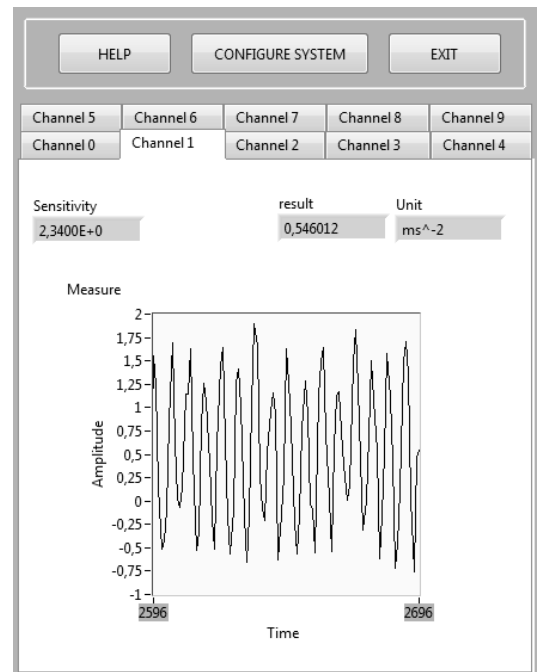
systemie pomiarowym konfiguracja taka trwałaby, co najmniej kilkanaście minut. Tyle potrzeba na skompletowanie i wprowadzenie danych o stosowanych czujnikach. Co ważniejsze arkusze TEDS minimalizują ryzyko pomyłki w trakcie ich wprowadzania. Dane o czujniku wprowadzane są bezpośrednio przez producenta bądź w laboratorium wzorującym. W obu przypadkach zapewnione jest mniejsze ryzyko powstania błędu. Równie istotna dla użytkownika jest łatwość zastąpienia przetwornika w przypadku awarii. Uszkodzony przetwornik można zastąpić, każdym innym o ile jego sygnał wyjściowy mieści się w zakresie pomiarowym. Wszystkie dane potrzebne do konfiguracji zostaną automatycznie odczytane z pamięci EEPROM.

W zbudowanym interfejsie każdorazowo odczytywana jest cała tablica TEDS. Możliwy jest wybór, które z pól tablicy będzie wykorzystywane w systemie pomiarowym. Aktualnie dopracowywany jest system wykorzystywany dla potrzeb badań własnych.

Aplikacja LabVIEW, pokazana na rys. 7, umożliwiła prezentację danych pomiarowych oraz ich pełną archiwizację. Ponownie dużą zaletą systemu jest automatyczne dołączanie informacji o stosowanym przetworniku w nagłówku pliku z danymi.



Rys. 6. Okno informacji o konfiguracji TEDS kanału pomiarowego  
Fig. 6. Dialog window with TEDS channel configuration



Rys. 7. Panel czołowy aplikacji PC  
Fig. 7. PC application front panel

## 6. Plany rozwojowe

Przewidywane jest opracowanie modułu przetwornika zintegrowanego z pamięcią EEPROM na jednym obwodzie drukowanym. Firma Dallas Semiconductor oferuje układy pamięci w miniaturowych obudowach, pozwalających na umieszczenie ich na jednej płycie z akcelerometrem. W założeniu moduł taki miałby być zgodny z mixed mode interface class I [3] dzięki czemu opracowane urządzenie posiadałoby pełną funkcjonalność proponowaną w normie.

Kolejnym krokiem będzie opracowanie arkusza dedykowanego dla akcelerometrów monolitycznych i zbadanie jego funkcjonalności.

## 7. Podsumowanie

Zbudowany interfejs może być ciekawą alternatywą dla drogiej rozwiązań komercyjnych. Zastosowanie mikrokontrolera pozwala na dalszą rozbudowę urządzenia i wyposażenie go w szereg dodatkowych funkcji w tym obsługę przetworników innego typu a nawet aktuatorów. Już w obecnej formie interfejs może znacząco przyspieszyć i ułatwić badania prowadzone w Zakładzie.

Standard 1451.4, nie cieszy się znaczącym uznaniem w przemyśle, autorzy sądzą jednak, że może znaleźć zwolenników wśród pracowników placówek naukowych. Stosunkowo łatwa implementacja, niski koszt oraz wymienione wcześniej zalety mogą sprawić, że stanie się popularny wszędzie tam gdzie systemy pomiarowe są budowane na potrzeby konkretnego doświad-

czenia. W zastosowaniach takich czas i koszt konfiguracji jest czynnikiem krytycznym. Taka sytuacja występuje głównie w placówkach badawczych i właśnie tam standard 1451.4 powinien spotkać się z rosnącą liczbą zwolenników.

## 8. Literatura

- [1] Buchczik D., Wyżgolik R., Pietraszek S.: Comparative study of acceleration transducers for biomedical applications. Proceedings of SPIE, Vol. 6348.
- [2] Buchczik D., Wyżgolik R., Pietraszek S.: Low frequency acceleration transducers for biomedical applications – the construction and the calibration. XXII Eurosensors, conference proceedings, Dresden 2008.
- [3] IEEE Std 1451.4-2004. IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators – Mixed-Mode Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats, IEEE Instrumentation and Measurement Society, TC-9, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, NY 2004.
- [4] Wyżgolik R.: IEEE 1451 – interfejs przetwornika inteligentnego, Kongres Metrologii 2007, Kraków 2007, opublikowane w: PAK vol. 53 nr 9/2007, 723 – 726.
- [5] ADuC845/ADuC847/ADuC848. MicroConverter® Multichannel 24-/16-Bit ADCs with Embedded 62 kB Flash and Single-Cycle MCU. Analog Devices, 2005.

otrzymano / received: 19.06.2010

przyjęto do druku / accepted: 02.08.2010

artykuł recenzowany

## INFORMACJE

### Informacje dla Autorów

Redakcja przyjmuje do publikacji tylko prace oryginalne, nie publikowane wcześniej w innych czasopismach. Redakcja nie zwraca materiałów nie zamówionych oraz zastrzega sobie prawo redagowania i skracania tekstów oraz streszczeń.

Artykuły naukowe publikowane w czasopiśmie PAK są formatowane jednolicie zgodnie z ustaloną formatką zamieszczoną na stronie redakcyjnej [www.pak.info.pl](http://www.pak.info.pl). Dlatego artykuły przekazywane redakcji należy przygotowywać w edytorze Microsoft Word 2003 (w formacie DOC) z zachowaniem:

- wielkości czcionek,
- odstępów między wierszami tekstu,
- odstępów przed i po rysunkach, wzorach i tabelach,
- oznaczeń we wzorach, tabelach i na rysunkach zgodnych z oznaczeniami w tekście,
- układu poszczególnych elementów na stronie.

Osobno należy przygotować w pliku w formacie DOC notki biograficzne autorów o objętości nie przekraczającej 450 znaków, zawierające podstawowe dane charakteryzujące działalność naukową, tytuły naukowe i zawodowe, miejsce pracy i zajmowane stanowiska, informacje o uprawianej dziedzinie, adres e-mail oraz aktualne zdjęcie autora o rozmiarze 3,8 x 2,7 cm zapisane w skali odcieni szarości lub dołączone w osobnym pliku (w formacie TIF).

Wszystkie materiały:

- artykuł (w formacie DOC),
- notki biograficzne autorów (w formacie DOC),
- zdjęcia i rysunki (w formacie TIF lub CDR),

prosimy przesyłać w formie plików oraz dodatkowo jako wydruki na białym papierze (lub w formacie PDF) na adres e-mail: [wydawnictwo@pak.info.pl](mailto:wydawnictwo@pak.info.pl) lub pocztą zwykłą, na adres: Redakcja Czasopisma Pomiary Automatyka Kontrola, Asystent Redaktora Naczelnego mgr Agnieszka Skórkowska, ul. Akademicka 10, p.21A, 44-100 Gliwice.

Wszystkie artykuły naukowe są dopuszczane do publikacji w czasopiśmie PAK po otrzymaniu pozytywnej recenzji. Autorzy materiałów nadesłanych do publikacji są odpowiedzialni za przestrzeganie prawa autorskiego. Zarówno treść pracy, jak i wykorzystane w niej ilustracje oraz tabele powinny stanowić dorobek własny Autora lub muszą być opisane zgodnie z zasadami cytowania, z powołaniem się na źródło cytatu.

Przedrukowywanie materiałów lub ich fragmentów wymaga pisemnej zgody redakcji. Redakcja ma prawo do korzystania z utworu, rozporządzania nim i udostępniania dowolną techniką, w tym też elektroniczną oraz ma prawo do rozpowszechniania go dowolnymi kanałami dystrybucyjnymi.