

Mirosław KWIESIELEWICZ

POLITECHNIKA GDAŃSKA, WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I AUTOMATYKI

Synteza parametryczna regulatora turbiny kondensacyjnej z wykorzystaniem algorytmów genetycznych

Dr inż. Mirosław KWIESIELEWICZ

W 1981 r. ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Gdańskiej ze stopniem mgr inż. Elektryka o specjalności Automatyka i Metrologia przemysłowa, gdzie w 1990 uzyskał stopień doktora nauk technicznych z dziedziny Elektrotechnika. Jego badania naukowe związane są przede wszystkim z dyscypliną Badania Operacyjne, a w szczególności, podejmowaniem decyzji, optymalizacją oraz inteligentnym sterowaniem obiektami technicznymi.



e-mail: m.kwiesielewicz@ely.pg.gda.pl

Streszczenie

W pracy przedstawia się metodę doboru parametrów regulatora turbiny kondensacyjnej z wykorzystaniem algorytmów genetycznych w oparciu o obliczenia symulacyjne. Zamieszcza się uwagi dotyczące realizacji zaproponowanej metody w środowisku programowym Matlab/Simulink. Przedstawia się wyniki obliczeń. Proponuje się zakres dalszych zastosowań zaproponowanej metodyki. Praca stanowi kontynuację badań z lat poprzednich dotyczących syntezy parametrycznej układów regulacji oraz identyfikacji parametrycznej z wykorzystaniem algorytmów genetycznych i środowiska programowego Matlab/Simulink [1, 4, 5, 6, 7].

Słowa kluczowe: turbina kondensacyjna, regulacja automatyczna, badania symulacyjne, algorytmy genetyczne.

Parametric synthesis of condensing turbine control system using genetic algorithms

Abstract

The paper concerns a method of evaluating parameters of condensing turbine control system with a use of genetic algorithms and simulation calculations. Remarks concerning a realization of the method proposed in the Matlab/Simulink environment as well as exemplary results of numerical calculations are included. Finally directions of further studies are suggested. The work is a continuation of the previous studies on parametric synthesis of control systems and their parametric identification using genetic algorithms and Matlab/Simulink environment [1, 4, 5, 6, 7].

Keywords: condensing turbine, control system, simulation investigations, genetic algorithms.

1. Wprowadzenie

W procesie projektowania układów sterowania bardzo istotna jest ich analiza i synteza. W szczególności w trakcie procesu projektowania układów regulacji należy określić zarówno strukturę, jak i parametry regulatora. W pracy przedstawia się metodykę doboru parametrów regulatora turbiny kondensacyjnej o ustalonej strukturze w oparciu o algorytmy genetyczne.

W ciągu ostatnich kilku lat do analizy i syntezy układów sterowania zaczęto stosować tzw. techniki 'miękkie', do których można zaliczyć logikę rozmytą, sztuczne sieci neuronowe i algorytmy genetyczne. Te ostatnie stały się bardzo atrakcyjne ze względu na szybki wzrost mocy obliczeniowych komputerów w ostatnim okresie.

Z praktycznego punktu widzenia, przy złożonych układach sterowania i regulacji dobór parametrów regulatora, minimalizujący wybrane kryterium jakości sterowania może okazać się bardzo trudny. Z drugiej strony często obliczenia analityczne są praktycznie niewykonalne.

Z powyższych powodów do syntezy parametrycznej układu sterowania turbiną kondensacyjną proponuje się wykorzystanie modelu układu regulacji w środowisku programowym Matlab/Simulink z odpowiednio zamodelowanym kryterium

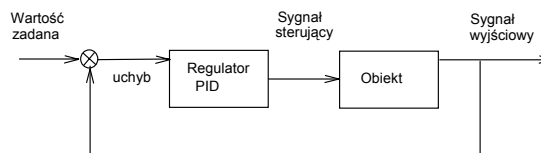
jakości regulacji, które ma stanowić funkcję kryterialną dla zastosowanego algorytmu genetycznego.

Algorytmy genetyczne są procedurami opartymi na mechanizmach doboru naturalnego i dziedziczności [3, 8]. Zostały one rozwinięte głównie przez Hollanda z Uniwersytetu Michigan [3], w celu dokonania pewnego sformalizowanego matematycznie opisu procesów adaptacyjnych, występujących w świecie przyrody. Ponieważ procesy ewolucyjne opierają się o zasadę przeżycia najlepiej przystosowanych osobników, zaczęto je z powodzeniem stosować do rozwiązywania szeregu zagadnień optymalizacyjnych, a szczególnie tam, gdzie tradycyjne techniki optymalizacyjne mogą być mało efektywne. Z tego też powodu proponuje się zastosowanie algorytmów genetycznych do rozwiązania zagadnienia syntezy regulatora turbiny.

Przedstawiona w niniejszej pracy problematyka badawcza stanowi kontynuację badań z lat poprzednich prowadzonych przez autora i dotyczących syntezy parametrycznej układów regulacji oraz identyfikacji parametrycznej z wykorzystaniem algorytmów genetycznych i środowiska programowego Matlab/Simulink [1, 4, 5, 6, 7].

2. Sformułowanie problemu

Rozważany układ regulacji jest obiektem typu SISO z regulatorem PID (rys. 1).



Rys. 1. Struktura układu sterowania [6]

Fig. 1. Control system structure [6]

Zaproponowano regulator o strukturze PID, a nie PI, jak to powinno być dla turbiny kondensacyjnej, aby pokazać, że w wyniku badań symulacyjnych z wykorzystaniem algorytmów genetycznych działanie różniczkujące regulatora jest zbędne. Fakt ten potwierdza zaletę zastosowania algorytmów genetycznych, ponieważ w tym przypadku wyliczane są nie tylko wartości parametrów regulatora, ale określana jest również jego struktura. Model rozważanego układu wykonano w oparciu o dane zaczerpnięte z literatury [2]. Jego realizacja w środowisku Simulink, z uwzględnieniem występujących zakłóceń przedstawiono na rys. 2.

Jako kryterium doboru parametrów regulatora PID przyjmuje się często minimum całki kwadratu uchybu:

$$J(\mathbf{w}) = \int_0^{t_k} (\varepsilon(t))^2 dt, \quad (1)$$

przy ograniczeniu :

$$\mathbf{w} \in W \subseteq R^m, \quad (2)$$

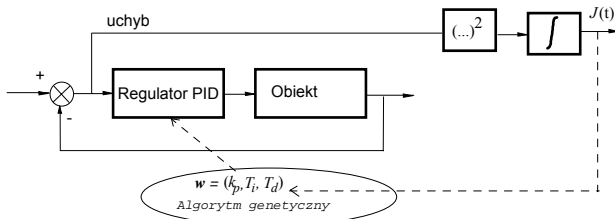
gdzie w rozważanym przypadku $\mathbf{w} = (k_p, T_i, T_d)$ (rys. 2).

Na podstawie wcześniejszych doświadczeń autora, związanych z synteza i identyfikacją parametryczną [1, 4, 5, 6, 7] dla rozważanego przypadku przyjęto następujące całkowite kryterium jakości regulacji.

$$J(w) = \int_0^{tk} |e(t)| dt, \quad (3)$$

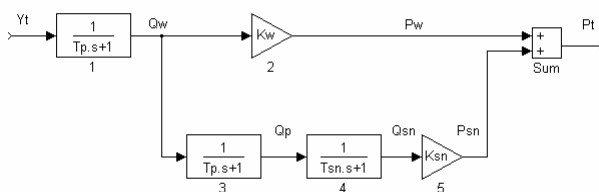
przy ograniczeniu:

$$w \in W \subseteq R^m, \quad (4)$$

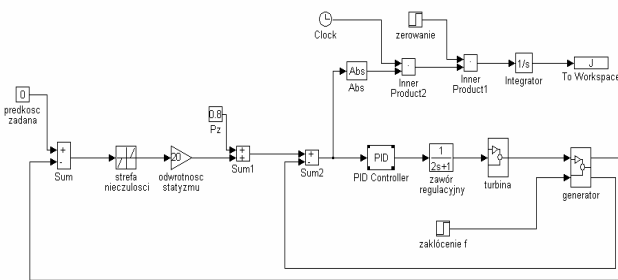


Rys. 2. Schemat blokowy strojenia parametrów
Fig. 2. Block diagram of parameter tuning

Model rozważanego układu regulacji zrealizowano w środowisku Simulink w oparciu o dostępną literaturę [2] (rys. 3, 4).



Rys. 3. Schemat blokowy modelu dynamiki turbiny 13K215 [2]
Fig. 3. Block diagram of the turbine [2]



Rys. 4. Realizacja modelu układu regulacji w środowisku programowym Matlab/Simulink
Fig. 4. Control system model diagram in Matlab/Simulink environment

3. Realizacja obliczeń w środowisku Matlab/Simulink

Środowisko programowe Matlab/Simulink stało się w ostatnim okresie bardzo popularne, głównie ze względu na dostępność wielu specjalizowanych przyborników. Pojawienie się na rynku przybornika algorytmów genetycznych pozwoliło na wykorzystanie go do rozwiązywania zagadnień optymalizacyjnych, które w przeszłości były trudne do rozwiązania. Istnienie z kolei przybornika Simulink pozwala na łatwe zamodelowanie obiektu nieliniowego.

W przyborniku algorytmów genetycznych istnieją gotowe skrypty (M-pliki) do obliczeń optymalizacyjnych, w których użytkownik powinien zdefiniować podstawowe parametry związane z realizacją obliczeń. Należą do nich między innymi: liczba zmiennych decyzyjnych; w naszym przypadku wymiar wektora w , zakresy zmian zmiennych decyzyjnych; w rozważanym przypadku

iloczyn kartezjański W , parametry związane z liczebnością populacji, stopniem mutacji, selekcją i krzyżowaniem, nazwy funkcji celu oraz funkcji selekcji, rekombinacji i mutacji oraz maksymalna liczba generacji.

W zależności od specyfiki rozważanego zagadnienia użytkownik powinien wybrać jeden z dostępnych w przyborniku skryptów oraz zdefiniować jego parametry. Istotne znaczenie ma zdefiniowanie funkcji celu, której obliczenia dla wybranej populacji realizowane są wykorzystując funkcję Matlab'a 'feval'. Argumentami tej funkcji są nazwa funkcji celu oraz macierz, której wiersze stanowią wektory zmiennych decyzyjnych. Liczba wierszy (wierszy macierzy) odpowiada liczebności populacji. Liczba kolumn tej macierzy odpowiada natomiast wymiarowi wektora zmiennych decyzyjnych (w naszym przypadku m).

Zakładając, że obliczenia wykonywane są w oparciu o symulację w środowisku Simulinka (S-plik) należy utworzyć odpowiednią funkcję (M-plik), która dla macierzy zmiennych decyzyjnych zwróci wektor funkcji celu związany z daną populacją. Funkcja ta powinna wykonać symulację w Simulinku (wywoływać odpowiednią S-plik) tyle razy ile wynosi liczebność populacji (rys. 5).

Reasumując w celu realizacji obliczeń optymalizacyjnych należy: wybrać i zmodyfikować odpowiedni skrypt do obliczeń optymalizacyjnych, wykorzystując środowisko Matlab'a napisać funkcję zwracającą wektor wartości funkcji celu dla danej populacji, wykorzystując środowisko Simulinka zdefiniować blok realizujący symulację modelu układu sterowania dla danego wektora w , zdefiniowanego zgodnie z (2); zbiór rozwiązań dopuszczalnych W .

Ponieważ zdefiniowanie odpowiednich parametrów algorytmu genetycznego nie stanowi dla użytkownika pakietu Matlab większego problemu, uwaga skoncentrowana zostanie głównie na funkcji zwracającej wartość wskaźnika J dla macierzy populacji oraz na bloku wykonującym symulację w środowisku Simulink.

3.1. Uwagi dotyczące realizacji modelu w środowisku Simulinka

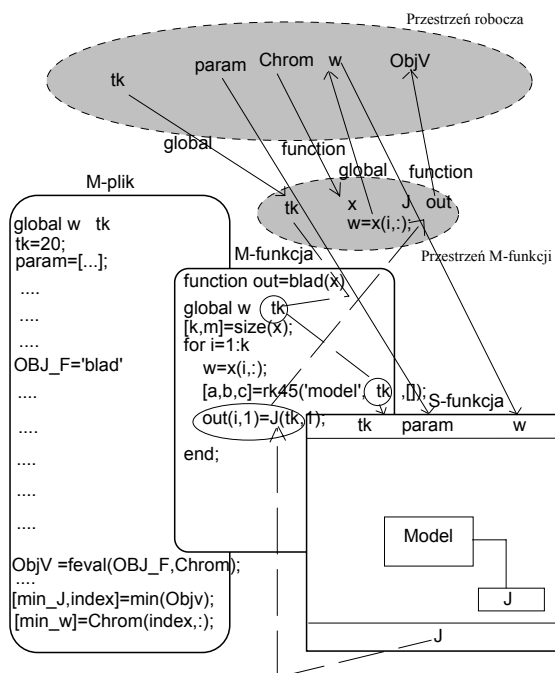
W celu realizacji modelu w środowisku Simulinka należy wykorzystać odpowiednie bloki liniowe i nieliniowe dostępne w tym przyborniku, biorąc pod uwagę fakt, że dany blok przetwarza w przypadku ogólnym wektor sygnałów, a nie jeden sygnał. Warto podkreślić, że w przypadku konieczności użycia nietypowego członu nieliniowego można zdefiniować go odrębnie jako funkcję środowiska Matlab i przypisać ją blokowi funkcji.

Odpowiedź układu, wskaźnik jakości regulacji J , zdefiniowany przez wyrażenia (3)-(4) przekazywany jest do przestrzeni roboczej - blok 'to workspace'. Oczywiście niezbędne jest tutaj zdefiniowanie odpowiednich parametrów.

W przypadku ogólnym odpowiedni blok zdefiniowany w środowisku Simulink będzie posiadał następujące parametry wejściowe: przebieg wymuszenia w czasie; parametry dyskretyzacji, odpowiedzi modelu, wektor zmiennych decyzyjnych w . Wielkościami wyjściowymi będą natomiast: przebieg odpowiedzi modelu w czasie oraz wektor czasu, zdyskretyzowane zgodnie z wcześniej wprowadzonymi parametrami.

3.2. Uwagi dotyczące realizacji funkcji celu w środowisku Matlab

Funkcja zwracająca wartość wskaźnika $J(1)$ dla danej populacji (macierzy, której wierszami są wektory w zmiennych decyzyjnych) powinna wykonywać tyle razy symulację rozważanego bloku w Simulinku ile wynosi liczebność populacji (rys. 5). Symulację w Simulinku można zrealizować poprzez wykonanie odpowiedniej komendy środowiska Matlab'a. Nazwa komendy związana jest z rodzajem wykorzystywanej metody całkowania. Natomiast jej składnia umożliwia zdefiniowanie parametrów symulacji, zatem nie jest konieczne ich definiowanie w bloku Simulinka.



Rys. 5. Diagram przesyłania danych
Fig. 5. Diagram of m-files and variable exchange

Ponieważ parametrem rozważanej funkcji może być wyłącznie macierz populacji zatem wszystkie pozostałe parametry niezbędne do symulacji muszą być przekazane przy wykorzystaniu dyrektywy 'global'. W tym miejscu należy podzielić się doświadczeniami autorów w zakresie stosowania zmiennych globalnych i lokalnych w pakiecie Matlab w aspekcie wykonywania symulacji wewnątrz M-funkcji zdefiniowanej przez użytkownika: jeśli pewne parametry symulacji S-funkcji przekazywane są jako parametry aktualne M-funkcji zdefiniowanej w Matlabie, muszą one być dodatkowo zdefiniowane jako globalne, ponieważ S-funkcja pobiera parametry z przestrzeni roboczej, wyniki symulacji S-funkcji, są lokalne dla M-funkcji, z której wykonuje się symulację. Wynika z tego że jako globalne muszą być zdefiniowane następujące parametry: parametry symulacji, macierz populacji. Warto podkreślić, że macierz populacji musi być również parametrem formalnym rozważanej M-funkcji.

4. Obliczenia numeryczne i analiza wyników

Zgodnie z przyjętym w poprzedniej sekcji założeniem do badań przyjęto regulator o strukturze PID. Odpowiednie skrypty i funkcje, opisane w niniejszej pracy, zrealizowano w środowisku programowym Matlab/Simulink. Następnie wykonano badania, na podstawie których dokonano analizy i oceny działania zaproponowanego algorytmu dla rozważnego układu sterowania*. Przykładowe wyniki badań symulacyjnych zestawiono w tabeli 1 i 2.

Tab. 1. Wartości nastaw regulatora i wskaźnika jakości dla zakłócenia 50mHz
Tab. 1. Controller parameter values and quality index for disturbance 50mHz

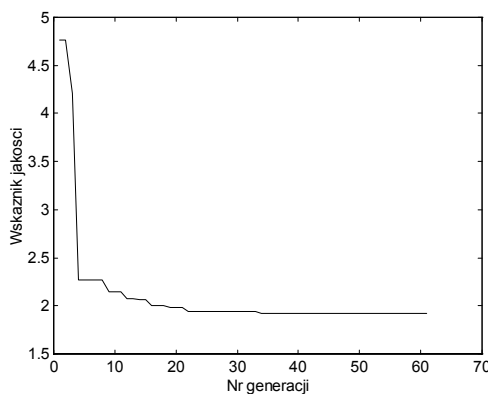
Lp.	K	TI	TD	J
1	7.225	5.711	0	1.894
2	7.765	6.061	0	1.934
3	6.976	3.153	0	1.937
4	11.90	6.007	0.07	2.052
5	7.144	5.840	0	1.931
6	11.310	14.333	0	1.940

* Analizy i oceny uzyskanych wyników dokonano na podstawie obliczeń wykonanych przez Jakuba Milewskiego (przyj. Autora)

Tab. 2. Wartości nastaw regulatora i wskaźnika jakości dla zakłócenia 100mHz
Tab. 2. Controller parameter values and quality index for disturbance 100mHz

Lp.	K	TI	TD	J
1	12.287	12.507	0	4.037
2	12.451	18.115	0	4.088
3	8.843	9.828	0.010	3.987
4	11.154	15.756	0	3.964
5	9.355	11.160	0	3.998
6	10.963	13.273	0	3.950

Zgodnie z oczekiwaniami stwierdzono, że do sterowania turbiną może być stosowany z powodzeniem regulator PI, a działanie różniczkujące nie jest konieczne. Występują pewne różnice w wartościach parametrów dla poszczególnych eksperymentów. Ze zjawiskiem takim autor spotkał się również podczas doboru parametrów regulatora sterowania na kursie kontenerowcem [5]. Wynika z tego, że rozwiązanie problemu nie jest jedyne. Na rysunku 6 pokazano proces zbieżności procesu iteracyjnego.



Rys. 6. Proces zbieżności strojenia regulatora PID (zakłócenie 50 mHz)
Fig. 6. Convergence of controller tuning process (disturbance 50 mHz)

Ze względów praktycznych oraz fakt nieunikalności rozwiązania ograniczono zakres zmian parametrów i po raz kolejny wykonano badania symulacyjne. W Tym przypadku uzyskano bardzo zbliżone wyniki (tabela 3). Przykładowe odpowiedzi czasowe układu przedstawiono na rys. 7.

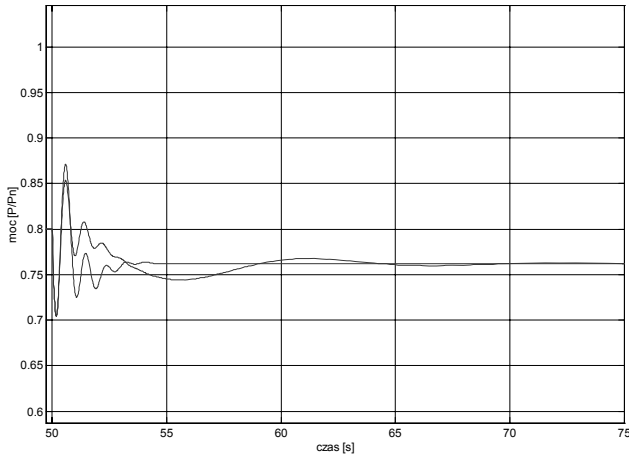
Tab. 3. Wartości nastaw regulatora i wskaźnika jakości dla zakłócenia 100mHz
Tab. 3. Controller parameter values and quality index for disturbance 100mHz

Lp.	K	TI	J
1	0.983	2.314	9.551
2	0.998	2.319	9.521
3	1.000	2.791	9.531
4	1.000	2.272	9.569
5	0.999	2.791	9.516
6	0.999	2.795	9.523

5. Uwagi

W pracy przedstawiono sposób realizacji doboru parametrów regulatora z wykorzystaniem algorytmów genetycznych na przykładzie doboru parametrów regulatora PI turbiny kondensacyjnej. Zamieszczono uwagi dotyczące implementacji zaproponowanego algorytmu w środowisku programowym Matlab/Simulink.

W celu uproszczenia programowania w środowisku Matlab zaproponowano zastosowanie przybownika Simulink do budowy modelu układu regulacji.



Rys. 7. Przykładowe wykresy mocy w funkcji czasu.
Fig. 7. Exemplary time responses

Zaproponowana metoda opiera się na obliczeniach symulacyjnych i może być łatwo rozszerzona na dowolny model symulacyjny układu regulacji, który może być zrealizowany w środowisku Matlab/Simulink. W szczególności może to być model układu z regulatorem rozmytym [5], czy też neuronowym, w celu zapewnienia adaptacji układu regulacji. Metodę można również stosować do identyfikacji parametrów modelu obiektu [1, 4].

W dalszym etapie prac przewiduje się wykorzystanie zaproponowanego podejścia do syntezy regulatora rozmytego turbiny.

6. Literatura

- [1] R. Arendt, M. Kwiesielewicz, Identyfikacja w środowisku MATLAB/SIMULINK z wykorzystaniem algorytmów genetycznych, Materiały II Ogólnopolskiej konferencji, Automatyka w rolnictwie i przetwórstwie spożywczym Mielno, 1998.
- [2] M. Arutunow, Model dynamiki turbiny 13K215 i regulatora UNIMAT w Elektrowni Kozienice i w Elektrowni Jaworzno III, ZTGD824303, ALSTOM Power sp. z.o.o.
- [3] D. E. Goldberg : Algorytmy genetyczne i ich zastosowania, Warszawa, WNT, 2003
- [4] M. Kwiesielewicz, M. Tomera, Ship inverse model identification using recurrent neural network and genetic algorithms. Proceedings of the Fourth International Symposium on Methods and Models in Automation and Robotics, 26-29 August, 1997, Międzyzdroje, Poland, 2, 529-532.
- [5] M. Kwiesielewicz, M. Tomera, Tuning fuzzy logic autopilot using genetic algorithms. Proceedings of the Fifth International Symposium on Methods and Models in Automation and Robotics, 25-28 August 1998, Międzyzdroje, Poland, 397-420.
- [6] M. Kwiesielewicz, W. Piotrowski, Algorytmy genetyczne w syntezy parametrycznej układów sterowania Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, 12 Gdańsk, 1998
- [7] M. Kwiesielewicz, W. Piotrowski, R. Sutton, Underwater vehicle adaptive PD autopilot design. In Advances in Intelligent Systems and Computer Science, 259-262, 1999. (3rd World Multiconference on Circuits Systems Communications and Computers, July 4-8, 1999, Athens, Greece).
- [8] Z. Michalewicz., Algorytmy genetyczne + struktury danych = programy ewolucyjne, Warszawa, WNT, 2003.

Artykuł recenzowany

INFORMACJE

Najnowsza książka Wydawnictwa PAK



Książka „Światłowodowe czujniki i przetworniki pomiarowe” jest pierwszą książką w języku polskim, która obejmuje całościowo zarówno współczesną problematykę światłowodowych czujników i przetworników pomiarowych, jak i systemów telemetrycznych. Autorem tej książki jest dr hab. inż. Zdzisław Kaczmarek – profesor Politechniki Świętokrzyskiej.

Treść książki zawiera zasady i opisy budowy czujników i przetworników pomiarowych różnych

wielkości fizycznych, ich modele matematyczne, metody detekcji sygnału pomiarowego z wyjściowego sygnału optycznego czujnika, metody zwielokrotniania kanału światłowodowego. W opracowaniu występują zagadnienia wspólne dla wszystkich rodzajów czujników: światłowodowy, źródła światła, modulatory optyczne i odbiorniki optyczne. Na końcu książki zestawiono w tabelach

dane techniczne światłowodowych czujników pomiarowych oferowanych przez firmę FISO-FIBEROPTIC.

Książka wydana przez Wydawnictwo PAK pod patronatem Polskiego Stowarzyszenia Pomiarów Automatyki i Robotyki „POLSPAR”, powinna znaleźć wielu odbiorców, ponieważ na rynku krajowym jest pierwszym wartościowym podręcznikiem omawiającym w sposób komplementarny technikę światłowodowych czujników i przetworników pomiarowych.

Zamówienia prosimy składać na adresy PAK:

Wydawnictwo PAK
00-050 Warszawa, ul. Świętokrzyska 14A,
tel./fax: 022 827 25 40

Redakcja PAK
44-100 Gliwice, ul. Akademicka 10, p. 30b,
tel./fax: 032 237 19 45
e-mail: wydawnictwo@pak.info.pl