

Adrian HALINKA, Michał SZEWCZYK
Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów
Politechnika Śląska, Gliwice

ZAPEWNIENIE MOŻLIWOŚCI PRAWIDŁOWEJ PRACY UKŁADÓW POMIAROWO-ZABEZPIECZENIOWYCH ZŁOŻONYCH OBIEKTÓW ELEKTROENERGETYCZNYCH (1)

INTELLIGENTNY UKŁAD IDENTYFIKACJI AKTUALNEGO TRYBU PRACY

Streszczenie. Niniejszy artykuł jest pierwszym z serii czterech artykułów, będących próbą podsumowania kilkuletnich badań nad możliwościami zapewnienia prawidłowego działania układów cyfrowej automatyki zabezpieczeniowej dla obiektów elektroenergetycznych charakteryzujących się dużą złożonością strukturalną i funkcjonalną. Jako złożoność strukturalną obiektu zabezpieczanego rozumiano tutaj ilość i różnorodność urządzeń podstawowych wchodzących w skład wspomnianego obiektu natomiast jego złożoność funkcjonalna zdeterminowana była ilością możliwych do wyodrębnienia jego trybów pracy. Tak więc prawidłowa praca – w sensie zapewnienia właściwej ochrony przed skutkami zakłóceń – urządzeń cyfrowej automatyki zabezpieczeniowej dla tego typu obiektów wymaga zarówno zastosowania w ww. urządzeniach odpowiednich algorytmów pomiarowych i zabezpieczeniowych dostosowanych do warunków, w jakich może pracować dany obiekt (np. zmieniająca się w szerokich granicach częstotliwość sygnałów pomiarowych), jak i opracowania – ze względu na specyfikę funkcji zabezpieczeniowych koniecznych do uruchomienia w danym trybie pracy – układu odpowiedzialnego za identyfikację aktualnego trybu pracy. Układ ten powinien być podstawową bazą informacyjną umożliwiającą adaptację parametrów i/lub samych funkcji pomiarowych i zabezpieczeniowych do zmieniających się warunków pracy, a także może być wykorzystywany przez układy odpowiedzialne za działania prewencyjno-restytucyjne.

ENSURING POSSIBILITY OF PROPER FUNCTIONING OF THE MEASURING-PROTECTION UNITS FOR THE COMPLEX POWER SYSTEM OBJECTS (1)

INTELLIGENT CURRENT WORKING MODE IDENTIFICATION SYSTEM

Summary. This is first of four articles series which are an attempt to sum up a few years work on abilities of ensuring of the digital power system protection automation proper functioning for complex power system objects. These objects are characterized by both functional and structural complexity. There was assumed, that the structural complexity is the number and variety of units consisting the protected object while the functional complexity is the number of possible working modes. Thus the proper functioning of the digital power system protection automation impose the necessity of

using correct measuring and protection algorithms which are adequate to the current operating conditions (i.e. changeable in the wide range frequency of measuring signals). Next, because of specificity of protection functions which have to be activated in the given working mode, the intelligent working mode identification system have to be worked out. This system should be the basic database allowing adaptation of measuring and protection algorithms and theirs parameters to the changing working conditions. Also the preventive-restoration operations can be done on the basis of information obtained from the identification system to ensure keeping protected object at work during faulty conditions.

1. WSTĘP

Do podstawowych warunków skutecznego działania układów zabezpieczeniowych zalicza się poprawność generowanych decyzji klasyfikujących aktualny stan pracy zabezpieczanego obiektu do jednej z dwóch klas zdarzeń (stan pracy normalnej / stan zakłócenia). O poprawności wypracowanej decyzji decyduje szereg wymogów, spośród których jako podstawowe należy wymienić: możliwość pozyskania i akwizycji dużej liczby informacji o zabezpieczanym obiekcie, **prawidłową identyfikację aktualnego trybu pracy chronionego obiektu**, szybkość przetwarzania danych i podejmowania decyzji, zdolności adaptowania swoich właściwości do aktualnego stanu pracy obiektu czy niewrażliwość na ogólnie pojęte „zakłócenia”.

Wykorzystanie możliwości techniki cyfrowej pozwala na nowe podejście do zagadnień identyfikacji stanów pracy chronionego obiektu oraz poprawnej adaptacji funkcji zabezpieczeniowych. Zastosowanie w cyfrowych zespołach zabezpieczeniowych dodatkowych kryteriów pomiarowych i/lub logicznych czy też zastosowanie w układach decyzyjnych elementów tzw. „sztucznej inteligencji” np. w postaci struktur sztucznych sieci neuronowych pozwala m.in. zwiększyć stopień pewności prawidłowej identyfikacji stanów pracy obiektu chronionego.

Układ identyfikujący aktualny stan pracy stanowi podstawowe źródło informacji, niezbędne do zapewnienia prawidłowego, automatycznego dostosowania realizowanych przez system zabezpieczeniowo - sterujący funkcji pomiarowych, zabezpieczeniowych i sterujących do zmieniających się warunków pracy chronionego obiektu. Zmiana warunków pracy rozumiana jest zarówno w sensie zmiany powiązań poszczególnych elementów obiektu (zmiana topologii), jak i w sensie zmian parametrów charakteryzujących wejściowe wielkości pomiarowe, np. częstotliwości. Jako przykład obiektu o złożonej strukturze została przyjęta elektrownia pracująca w tzw. „układzie kombinowanym”, tzn. wyposażona w generator napędzany turbiną parową oraz generatory z turbinami gazowymi (rys. 1). Dla tych ostatnich jako metodę rozruchu przewidziano rozruch częstotliwościowy.

2. CYFROWY UKŁAD IDENTYFIKACJI AKTUALNEGO TRYBU PRACY ZABEZPIECZANEGO OBIEKTU

W celu zapewnienia prawidłowej pracy systemu zabezpieczeniowo - sterującego istotnym warunkiem jest prawidłowa identyfikacja trybów pracy zabezpieczanego obiektu na podstawie dostarczanych do systemu informacji. Generalnie przewiduje się trzy podstawowe grupy pozyskiwania informacji dla celów identyfikacyjnych [1]:

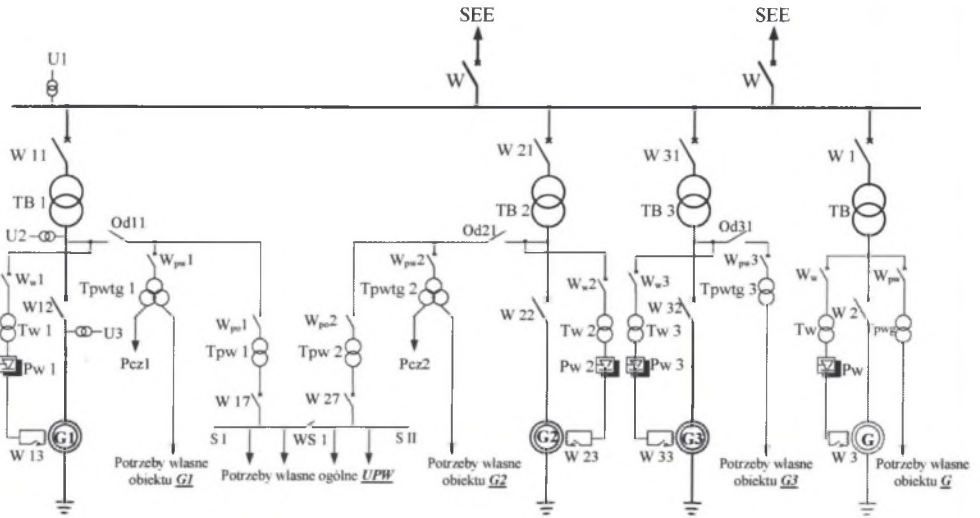
- za pomocą wejść logicznych odwzorowujących położenie wyłączników, odłączników i rozłączników w obrębie chronionego obiektu w ilości pozwalającej na jednoznaczne określenie aktualnej konfiguracji zabezpieczanego układu,

- wykorzystując wyniki pracy algorytmów pomiarowych, np. pomiaru napięcia, prądu, pomiaru aktualnej częstotliwości (w charakterystycznych punktach obiektu),
- poprzez wymianę informacji logicznych pomiędzy modułami rozproszonego układu identyfikacji aktualnego trybu pracy wchodzących w skład systemu zabezpieczeniowo-sterującego.

W zależności od stopnia złożoności zabezpieczanego obiektu powinien on zostać podzielony na „*obiekty podstawowe*”. Przez pojęcie „*obiekt podstawowy*” rozumie się jednostki główne obiektu mogące pracować autonomicznie, np. układ bloku energetycznego z generatorem z turbiną gazową. Natomiast „*obiekt podstawowy*” zawiera w sobie tzw. „*układy elementarne*”, w skład których wchodzi jedno lub grupa urządzeń (np. układ maszyny synchronicznej, transformator blokowy, układ rozruchu częstotliwościowego, układ potrzeb własnych bloku, itp.). Dla tak przyjętej struktury układu identyfikacji każdy jego moduł identyfikuje poprzez logiczne lub logiczno-pomiarowe informacje o stanach położenia łączników aktualną konfigurację najbliższego mu „*układu elementarnego*” obiektu chronionego. W celu identyfikacji aktualnego trybu pracy „*obektu podstawowego*” następuje w miarę potrzeb wymiana wstępnie przetworzonych informacji pomiędzy poszczególnymi modułami przypisanymi „*układom elementarnym*”. Podział złożonych obiektów elektroenergetycznych - dla celów automatyki zabezpieczeniowo-sterującej - na „*obiekty podstawowe*” a następnie „*układy elementarne*” determinuje strukturę rozproszoną układu identyfikacji, w której podstawowymi elementami są moduły funkcyjne „*układów elementarnych*”.

3. UKŁAD IDENTYFIKACJI TRYBU PRACY BAZUJĄCY NA STRUKTURACH SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH

Zaproponowany układ identyfikacji trybu pracy zabezpieczanego obiektu posiada strukturę rozproszoną i w całości zbudowany jest na sztucznych sieciach neuronowych. Dla przyjętego obiektu zabezpieczanego [2] rozruch generatorów z turbinami gazowymi jest rozruchem częstotliwościowym z wykorzystaniem jednego z dwóch układów półprzewodnikowych przetwornic częstotliwości. Taka struktura obiektu pozwala uzyskać wysoki stopień redundancji poszczególnych układów elementarnych, krótki czas oraz dużą elastyczność w przejmowaniu funkcji wytwórczych czy regulacyjnych przez poszczególne bloki wytwórcze. Obiekt zabezpieczany w ujęciu całościowym został podzielony na „*obiekty podstawowe*”, którymi są poszczególne bloki wytwórcze oraz układ potrzeb ogólnych węzła. Dla „*obiektów podstawowych*” w postaci bloków wytwórczych z turbinami gazowymi ze względu na ich złożoność konfiguracyjną (determinującą dużą liczbę i różnorodność niezbędnych do identyfikacji danych bazowych) przyjęto strukturę „*kierunkową*” układu identyfikacji aktualnego trybu pracy, przedstawioną na rys. 2.

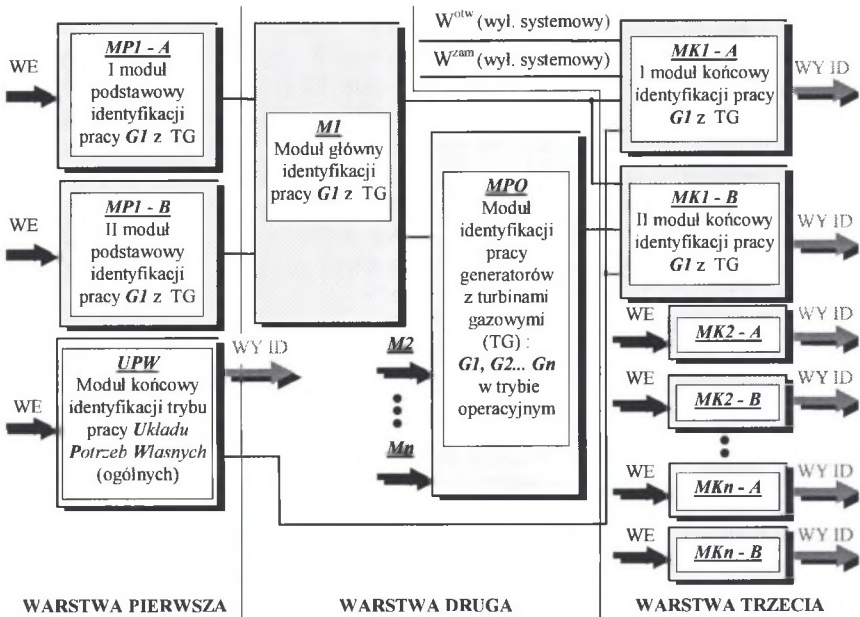


Rys. 1. Schemat ideowy wybranego złożonego obiektu wytwórczego
 Fig. 1. Schematic diagram of chosen complex generating node

Brak jest typowego podziału obiektu na „układy elementarne” i przyporządkowania im modułów identyfikacji wstępnej. Cała struktura układu identyfikacji trybu pracy została podzielona na trzy warstwy przetwarzania o wzrastającej liczbie i zróżnicowaniu wykorzystywanych informacji. Warstwa pierwsza złożona z modułów *MPI-A* i *MPI-B* identyfikuje na zasadzie wstępnej analizy aktualny tryb pracy generatora *G1* z układem wzbudzenia, układu rozruchowego *G1* oraz transformatora blokowego *TB1*. Przetworzone w pierwszej warstwie dane zostają w warstwie drugiej w module głównym *M1* następnie poddane weryfikacji zgodności identyfikacji (otrzymanej w modułach *MPI-A* i *MPI-B*) a następnie skojarzone w celu wyznaczenia jednej wspólnej decyzji identyfikacyjnej. Decyzja ta zostaje następnie skonfrontowana z informacjami otrzymanymi w innych modułach głównych *M...* Jest to szczególnie ważne np. w przypadku wykorzystania układu rozruchowego *G1* przez generator *G2* - wówczas na wyjściu modułu *M1* pojawia się informacja o wykorzystaniu układu rozruchowego przez inny generator, zaś na wyjściu modułu *M2* generatora *G2* pojawia się informacja o rozruchu częstotliwościowym generatora przez rezerwowy układ rozruchowy. W module *MPO* następuje końcowa identyfikacja trybu pracy wszystkich generatorów objętych układem identyfikacji bez uwzględnienia aktualnej konfiguracji układu potrzeb własnych ogólnych węzła *UPWO*. Zadanie powiązania informacji o aktualnym trybie pracy generatorów z aktualną strukturą *UPWO* realizuje trzecia warstwa (moduły *MKn-A* i *MKn-B*), wypracowująca końcową identyfikację trybu pracy danego generatora z uwzględnieniem wszystkich powiązań z innymi „obiektami podstawowymi”.

Konieczność wyposażenia układu identyfikującego w oddzielne moduły, zawierające własne, szybkie procesory oraz bufor pamięci jest podyktowana przede wszystkim dużą złożonością i powtarzalnością procesu identyfikacji.

Wszystkie moduły układu identyfikacji trybu pracy węzła wytwórczego pracującego w „układzie kombinowanym” (przedstawionego na rys. 2) zbudowane są na sztucznych sieciach neuronowych (*SSN*). Jest to struktura jednokierunkowych sieci typu *MLP* wielowarstwowego perceptronu (o trzech warstwach).



Rys. 2. Schemat blokowy układu identyfikacji stanów pracy „obiekta podstawowego” generator $G1$ z turbiną gazową

Fig. 2. Blocking scheme of the identification unit dedicated to steam turbine-driven generator $G1$

Nowością w porównaniu z układami opartymi na tradycyjnej logice binarnej czy też logice binarnej wspomaganą przez system ekspertowy jest brak podziału każdego modułu sieci neuronowych na bloki: wejściowy, powiązań i wyjściowy. Stanowi to podstawową zaletę tego rozwiązania - nie ma potrzeby definiowania wprost wzajemnych relacji pomiędzy poszczególnymi informacjami (sygnalami). Sieć w trakcie uczenia optymalizuje swoją strukturę poprzez dobór odpowiednich wag i biasów tak, aby móc poprawnie identyfikować i klasyfikować stany, którymi była uczona i stany, które stanowią pewne ich uogólnienia, tj. różnią się pewnymi sygnałami wejściowymi nie wpływającymi jednak na przyporządkowanie ich do innej klasy zdarzeń (innego trybu pracy). Szczególną zaletą tak przyjętej struktury jest możliwość eliminacji sytuacji takich jak niekomplementarność sygnałów binarnych czy sygnały brakujące, które w układach bazujących głównie na logice dwuwartościowej stanowiły podstawowe źródło generowania przez układ identyfikacji sygnału „wystąpił błąd”. Dużego znaczenia w tak określonej strukturze układu identyfikacji nabiera problem odpowiedniego zdefiniowania bazy uczącej, pozwalający na uczenie sieci jak największą liczbą przypadków przynależnych do wszystkich możliwych klas zdarzeń, odpowiadających wszystkim możliwym trybom pracy zabezpieczanego obiektu.

4. UCZENIE I TESTOWANIE UKŁADU IDENTYFIKACJI TRYBU PRACY WĘZŁA WYTWÓRCZEGO BAZUJĄCEGO NA STRUKTURZE SSN

W przeprowadzonych symulacjach zastosowano metodę uczenia z nauczycielem [3]. Jako funkcję aktywacji pierwszej i drugiej warstwy wykorzystano tangens hiperboliczny; dla trzeciej warstwy funkcją aktywacji jest funkcja liniowa.

W procesie uczenia sieci neuronowej istotna jest kolejność prezentacji wzorców uczących. Należy unikać sytuacji, kiedy prezentowane są wszystkie wzorce jednej klasy, później następnego itd., ponieważ sieć „zapomina” wzorce wcześniej zapamiętane.

Niebezpieczna jest również sytuacja, w której ilość wzorców należących do jednej klasy zdarzeń znacznie różni się od ilości wzorców należących do pozostałych klas. Sytuacja taka powoduje „ukierunkowanie” sieci na rozpoznawanie klasy zawierającej największą ilość wzorców. Prowadzi to w efekcie do zatracenia przez sieć zdolności generalizacji (czyli zdolności do rozpoznawania wzorców nie podawanych w trakcie uczenia, ale należących do jednej z założonych klas zdarzeń). Może dojść również do sytuacji, w której „przeuczenie” sieci jedną klasą spowoduje, że inne wzorce (nawet te, którymi sieć była uczona) nie zostaną przez nią prawidłowo rozpoznane. W przypadku stwierdzenia podczas przeprowadzania testów, iż sieć nie jest w stanie odpowiedzieć poprawnie na pewne wzorce, którymi nie była uczona, należy wzorce te dodać do zbioru uczącego.

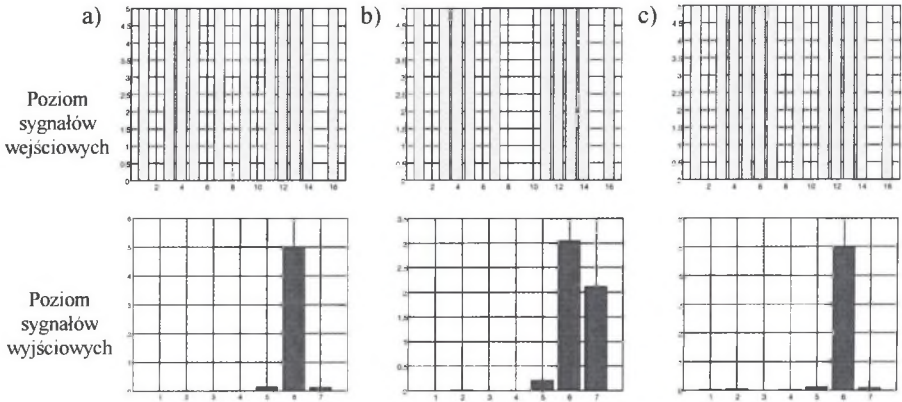
Baza ucząca została wygenerowana na podstawie analizy możliwych stanów pracy chronionego obiektu. Analiza ta miała na celu określenie sygnałów będących wynikiem pracy algorytmów pomiarowych jak i sygnałów dwustanowych (będących odzwierciedleniem stanu położenia łączników), niezbędnych do prawidłowej identyfikacji stanu pracy obiektu.

Rozpoznawane klasy zdarzeń zostały określone na podstawie analizy następujących stanów pracy obiektu:

- stanów pracy „normalnej” (dwa etapy rozruchu częstotliwościowego z własnym lub rezerwowym układem rozruchowym, praca generatorowa, kompensator synchroniczny),
- pracy w układzie „redundancji”, np. pracy generatorowej przy jednoczesnym wykorzystaniu układu rozruchowego przez „obcy” generator,
- stanów „awaryjnych” (np. odstawienie „obiektu podstawowego” lub jego elementu, uszkodzenie styków pomocniczych łączników wykorzystywanych do odwzorowania struktury powiązań urządzeń wchodzących w skład danego obiektu).

Na rysunku 3 zaprezentowano przykładowe wyniki testów identyfikacji realizowanej przez moduł *MPI - A* przy pracy generatorowej „obiektu podstawowego *GI*”. Przedstawiono trzy przypadki :

- na rysunku 3a przedstawiono poziomy wejść i wyjść podsieci modułu *MPI - A* przy niezakłóconych sygnałach wejściowych,
- na rysunku 3b przedstawiono wejścia i wyjścia podsieci *MPI - A* przy sygnałach wejściowych zawierających niekomplementarną informację o położeniu wyłącznika wzbudzenia generatora *GI*; mimo błędnej informacji identyfikacja aktualnego trybu pracy jest prawidłowa (najsilniejszy sygnał na wyjściu 6 - *praca generatorowa*),
- na rysunku 3c przedstawiono poziomy sygnałów wejściowych i wyjściowych modułu *MPI - A* przy sygnałach wejściowych zawierających niekomplementarną informację o położeniu wyłącznika transformatora zasilającego układ wzbudzenia. Mimo błędnej informacji identyfikacja aktualnego trybu pracy jest prawidłowa (najsilniejszy sygnał na wyjściu 6).



Rys. 3. Poziomy sygnałów wejściowych i wyjściowych modułu *MPI - A* dla stanu pracy generatorowej przy : a) poprawnej oraz b) i c) błędnej sekwencji sygnałów wejściowych

Fig. 3. Levels of input and output signals of *MPI-A* module when correct (a) and erroneous (b, c) sequence of input signals occurs

5. WNIOSKI

Badania symulacyjne przedstawionych struktur układów identyfikacji trybu pracy złożonych obiektów wytwórczych pozwoliły na sformułowanie następujących uwag :

- Realizacja modułów układu identyfikacji na bazie *SSN* upraszcza ich struktur w porównaniu z układami identyfikacji z systemem ekspertowym. Nie ma potrzeby podziału każdego modułu na bloki : wejściowy, powiązań i wyjściowy, nie ma również potrzeby definiowania - w modułach wykorzystujących *SSN* - wprost wzajemnych relacji pomiędzy poszczególnymi informacjami (sygnałami).
- Układ identyfikacji bazujący na *SSN*, wykorzystując właściwości sieci neuronowych do uogólniania zdarzeń, umożliwia eliminację sytuacji takich jak : niekomplementarność wejściowych sygnałów binarnych czy brak sygnałów wejściowych (tzw. sygnały brakujące), które w układach tradycyjnych stanowią podstawowe źródło błędnej identyfikacji.
- Dużego znaczenia w strukturze układu identyfikacji opartej na *SSN* nabiera problem odpowiedniego zdefiniowania bazy uczącej, pozwalający na uczenie sieci jak największą liczbą przypadków przynależnych do wszystkich możliwych klas zdarzeń - wszystkich możliwych trybów pracy zabezpieczanego obiektu.

Zastosowanie inteligentnych układów identyfikacji w cyfrowych systemach zabezpieczeniowo - sterujących złożonych obiektów elektroenergetycznych może stanowić podstawową bazę informacyjną, wykorzystywaną do automatycznego dostosowywania realizowanych przez system funkcji pomiarowych, zabezpieczeniowych i sterujących do zmieniających się warunków pracy chronionego obiektu. W kolejnym artykule zaproponowane zostaną adaptacyjne częstotliwościowo algorytmy pomiarowe i zabezpieczeniowe, umożliwiające prawidłową estymację wielkości elektrycznych we wszystkich identyfikowanych trybach pracy przyjętego obiektu wytwórczego.

LITERATURA

1. Sowa P., Halinka A., Witek B., Szewczyk M.: Identification methods of complex power system units operation mode. French-Polish Seminar 98, Villeurbanne, France, 27 - 29 April 1998, pp. 21- 26.
2. Buck D.: Das elektrische System von ABB - Kombikraftwerken, ABB Technik 2/1995, pp. 15 - 23.
3. Osowski S.: Sieci neuronowe. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1994.

Wpłynęło do Redakcji dnia 4 maja 2004 r. Recenzent: Dr hab. inż. Józef Lorenc, Prof. Pol.
Poznańskiej