

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

ZAPEWNIENIE MOŻLIWOŚCI PRAWIDŁOWEJ PRACY UKŁADÓW POMIAROWO-ZABEZPIECZENIOWYCH ZŁOŻONYCH OBIEKTÓW ELEKTROENERGETYCZNYCH (3)

*ADAPTACJA FUNKCJI POMIAROWYCH I ZABEZPIECZENIOWYCH
DO ZMIENIAJĄCYCH SIĘ WARUNKÓW PRACY OBIEKTU CHRONIONEGO*

Streszczenie. Identyfikacja aktualnego trybu pracy wybranego obiektu chronionego oraz zapewnienie prawidłowej estymacji wielkości elektrycznych napływających z zabezpieczanego obiektu w sytuacji, gdy należy spodziewać się silnie zakłóconych i zmiennych w szerokim zakresie częstotliwości sygnałów pomiarowych, daje możliwość opracowania koncepcji adaptacyjnego systemu zabezpieczeniowego dedykowanego złożonym obiektom elektroenergetycznym. Adaptacyjność takiego systemu należy rozumieć jako możliwość dostosowania parametrów algorytmów pomiarowych i zabezpieczeniowych, na bazie informacji z inteligentnego układu identyfikacji trybu pracy, do zmieniających się warunków pracy obiektu. System taki w istotny sposób zwiększa ochronę przed skutkami zakłóceń, umożliwiając uaktywnienie właściwych funkcji zabezpieczeniowych w sytuacjach, w których obecnie stosowane schematy zabezpieczeniowe wymuszają blokowanie – ze względu na niebezpieczeństwo nieprawidłowego zadziałania – większości funkcji zabezpieczeniowych.

ENSURING POSSIBILITY OF PROPER FUNCTIONING OF THE MEASURING-PROTECTION UNITS FOR THE COMPLEX POWER SYSTEM OBJECTS (3)

*ADAPTATION OF THE MEASUREMENT AND PROTECTION ALGORITHMS TO THE
CHANGEABLE OPERATING CONDITIONS OF THE PROTECTED OBJECT*

Summary. Identification of the current working mode and ensuring correct estimation of the electrical quantities during flowing from the object strong distorted and changeable in the wide range frequency measuring signals gives the possibility to working out the concept of the adaptive protection system dedicated to the complex power system objects. Adaptation of this system should be understudied as the possibility of adjusting parameters of measuring and protection algorithms, on the basis of information obtained from the intelligent current working mode identification system, to the changeable operating conditions. Thus significant protection improvement during faulty conditions can be achieved making possible using wide range of measuring and protection algorithms in cases when nowadays protecting schemes force blocking, for the sake of risk of wrong protection devices functioning, most of the important protection functions.

1. WSTĘP

Analizując strukturę wybranego obiektu chronionego (rys. 1) założono, że operacje adaptacji powinny dokonywać się na podstawie uzyskiwanych informacji – zarówno z zabezpieczanego układu wytwórczego i jego otoczenia (sygnały zewnętrzne, np. aktualny poziom mocy zwarciowej), jak i z wewnętrznych struktur systemu automatyki realizujących inne operacje (np. identyfikacja aktualnego stanu pracy całego układu wytwórczego lub jego elementów składowych) - analizy możliwości prawidłowej pracy aktualnie aktywnych algorytmów pomiarowych i zabezpieczeniowych [1]. W razie konieczności wynikiem realizacji tych operacji będzie generacja decyzji o zmianie parametrów pracy algorytmów, aktywujących w zależności od potrzeb nowe funkcje zabezpieczeniowe oraz blokujących te funkcje, których dalsza aktywność może zakłócić pracę chronionego obiektu. Realizacja tych operacji powoduje generację bazy informacyjnej, na podstawie której istnieje możliwość szybkiej adaptacji struktury zabezpieczeniowo - sterującej do zmieniających się warunków i stanów pracy całego chronionego układu wytwórczego lub jego fragmentów w postaci obiektów cząstkowych (generatora, transformatorów, układu rozruchowego, układów potrzeb własnych) [2, 3].

2. SYSTEM ADAPTACJI

Złożoność strukturalna i funkcjonalna *układu wytwórczego*, determinująca dużą liczbę możliwych stanów pracy złożonego obiektu, wywołuje potrzebę zmian parametrów niektórych aktywnych funkcji pomiarowych i zabezpieczeniowych lub wręcz konieczność rekonfiguracji całych zestawów zabezpieczeniowych. Konieczność taka jest podyktowana dwoma zasadniczymi przyczynami:

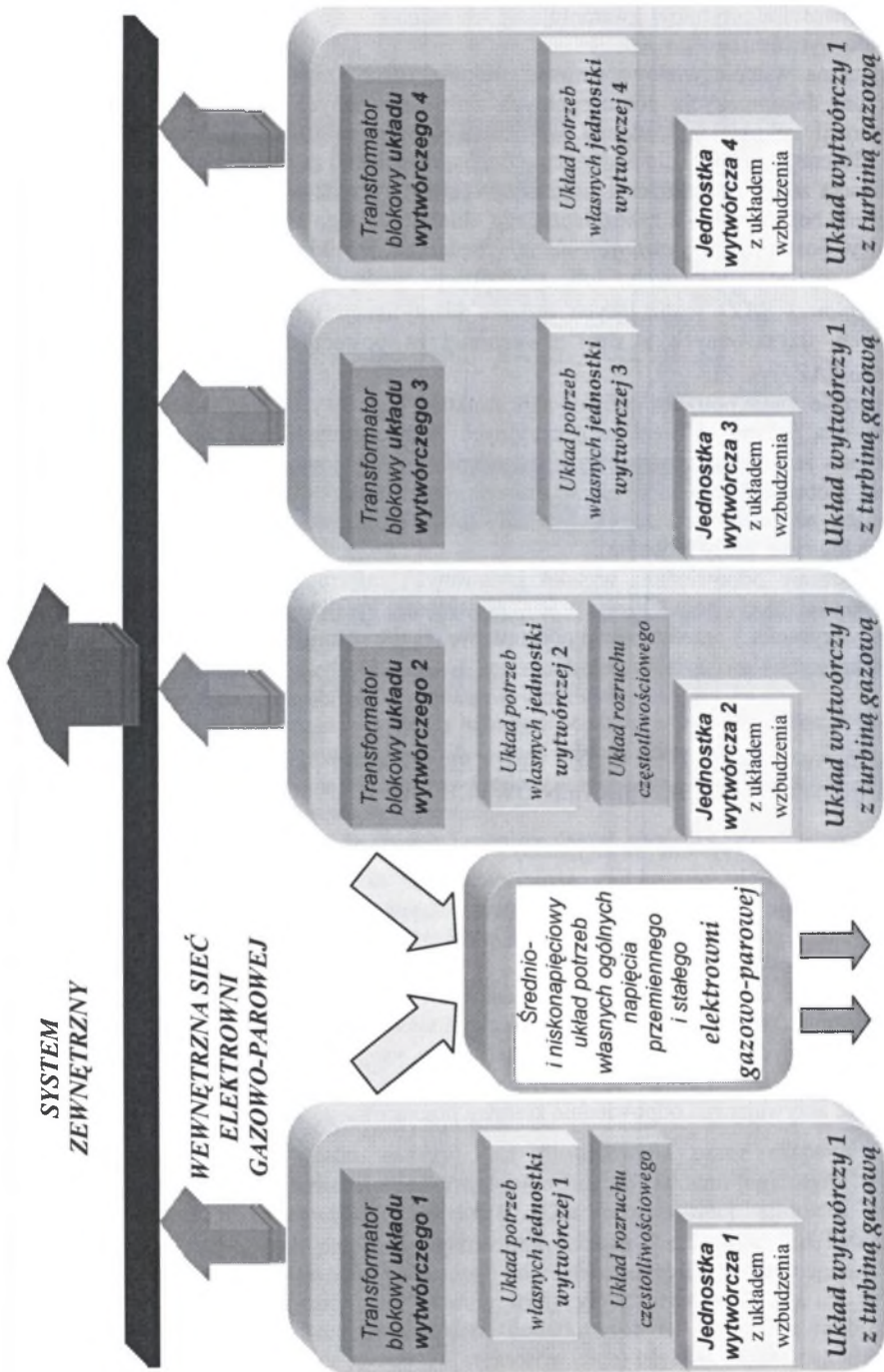
- zmianą powiązań elektrycznych pomiędzy urządzeniami lub układami wchodzącymi w skład danego układu wytwórczego lub jednostki wytwórczej,
- zmianą stanu pracy poszczególnych elementów składowych lub całego układu wytwórczego, czego konsekwencją może być między innymi zmiana częstotliwości (np. w zakresie [0=60] Hz) wejściowych sygnałów pomiarowych - głównie prądów i napięć.

Każda z wymienionych przyczyn wymaga innego podejścia do zagadnienia *adaptacji* funkcji pomiarowych i zabezpieczeniowych.

Zmiany konfiguracyjne w obrębie zarządzanego układu wymuszają zmianę wartości wielkości kryterialnych większości algorytmów zabezpieczeniowych dla zachowania ich odpowiedniej czułości i selektywności działania. Ta forma adaptacji jest określana mianem *adaptacji konfiguracyjnej* i nie wymaga wprowadzania zmian w realizacji algorytmów wyznaczających określone wielkości kryterialne. Zmiana dotyczy jedynie wartości samej wielkości kryterialnej. Realizacja praktyczna tej formy *adaptacji* jest prosta i wymaga jedynie przygotowania - adekwatnych do rozpoznawalnych stanów pracy układu lub jego elementów składowych - odpowiednich zestawów funkcji pomiarowych i zabezpieczeniowych, a następnie zapisania ich w przeznaczonych do tego celu obszarach pamięci modułów *CTZS (Cyfrowych Terminali Zabezpieczeniowo-Sterujących)* [4].

Druga forma adaptacji - tzw. *adaptacja częstotliwościowa* - jest bardziej złożona, wymaga przededefiniowywania – nadążnie do zmian częstotliwości – parametrów algorytmów realizujących poszczególne funkcje pomiarowe i zabezpieczeniowe.

W przypadku algorytmów zabezpieczeniowych wiąże się to zarówno ze zmianami wartości wielkości kryterialnych nie będących wprost funkcjami częstotliwości wejściowych sygnałów pomiarowych - kryteria prądowe, napięciowe - jak i ze zmianami charakterystyk rozruchowych i stref pomiarowych algorytmów złożonych lub wielokryterialnych, zależnych często od częstotliwości wejściowych sygnałów pomiarowych. Do tej grupy algorytmów należy zaliczyć przede wszystkim szeroko rozumiane rodziny algorytmów impedancyjnych, różnicowych i częstotliwościowych [5].



Rys. 1. Schemat ideowy elektrowni gazowo-parowej
Fig. 1. Schematic diagram of the gas-steam power plant

Zapewnienie prawidłowej pracy algorytmów zabezpieczeniowych i pomiarowych we wszystkich możliwych stanach pracy układu złożonego – w tym również jego obiektów elementarnych i cząstkowych - wymusza określenie w systemie automatyki zabezpieczeniowej odpowiedniej struktury – podsystemu funkcjonalnego – odpowiedzialnej za operację dopasowania właściwości algorytmów gwarantującej ich *adaptację* do zmieniających się warunków pracy układu wytwórczego.

Przyjęta na wstępie wielowarstwowa struktura rozproszona systemu automatyki oraz idąca za tym dekompozycja poszczególnych zadań związanych z realizacją wymaganego zbioru operacji na obiektach układu wytwórczego wymuszają niejako przyjęcie również struktury zdecentralizowanej dla podsystemu odpowiedzialnego za realizację *adaptacji* [6].

Realizacja zadań związanych z *adaptacją* wiąże się przede wszystkim z pozyskiwaniem informacji nie bezpośrednio z zabezpieczanego obiektu lub jego elementów składowych, lecz informacji w postaci *podejmowanych decyzji*, będących wynikiem przetworzenia danych w logicznych węzłach lokalnych lub globalnych podsystemów (*systemu automatyki zabezpieczeniowej SAZ*) realizujących zadania identyfikacji i pomiarowe oraz informacji zewnętrznych, uzyskiwanych z sieci *zewnętrznej* za pośrednictwem globalnego modułu decyzyjnego *SAZ* (rys. 2).

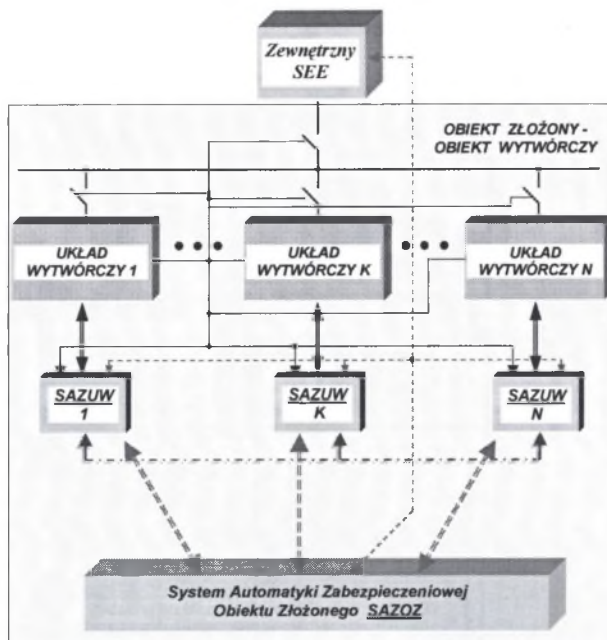
Nie istnieje zatem potrzeba definiowania struktury logicznej *lokalnej* takiego podsystemu, składa się ona jedynie z węzłów decyzyjnych dedykowanych poszczególnym układom wytwórczym - jednostkom wytwórczym i o charakterze ogólnym (układ potrzeb własnych) oraz węzła globalnego całego *węzła wytwórczego* pełniącego głównie rolę koordynującą i komunikującą na poziomie sieci *wewnętrzna* - zewnętrzne *systemy automatyki* (najczęściej poprzez ich logiczne węzły globalne).

Zgromadzenie odpowiednio wyselekcjonowanych informacji pozwala stworzyć bazę wiedzy zapewniającej prawidłową pracę podsystemu realizującego globalnie operację *adaptacji*. Na rysunku 3 przedstawiono podstawowe ciągi transmisji sygnałów w celu realizacji operacji *adaptacji układu wytwórczego K*.

3. FORMUŁOWANIE BAZY WIEDZY DLA CELÓW ADAPTACJI FUNKCJI POMIAROWYCH I ZABEZPIECZENIOWYCH SAZ

Zakłada się, że system funkcjonalny odpowiedzialny za operację *adaptacji* jest realizowany w oparciu o struktury sztucznych sieci neuronowych. Ze względu na swą specyfikę proponuje się strukturę typu wielowarstwowego perceptronu o nieliniowej funkcji aktywacji poszczególnych neuronów [7]. W strukturze sieci neuronowej można wyróżnić ogólnie dwie warstwy :

- *wejściową*, której sygnały są reprezentowane przede wszystkim za pomocą formuł logicznych stanowiących informacje o aktualnych stanach pracy urządzeń lub układów elementarnych nadzorowanego obiektu (układu wytwórczego),
- *wyjściową*, zawierającą wygenerowane sygnały wejściowe członów wykonawczych *CTSZ* aktywujących odpowiednie zestawy pomiarowo-zabezpieczeniowe.



SAZOW - System Automatyki Zabezpieczeniowej Obiektu Wytwórczego

- sieć przesyłu informacji dla celów rozpoznania stanów pracy układów wytwórczych – węzła wytwórczego
- - - - - wymiana informacji z bazą danych **systemu automatyki zabezpieczeniowej** węzła systemowego (najbliższym w otoczeniu węzła wytwórczego),
- ciągi informatyczne do wymiany informacji pomiędzy układami wytwórczymi a przypisanymi im **systemami automatyki zabezpieczeniowej**,
- - - - - ciągi informatyczne do przesyłu i wymiany danych pomiędzy SAZUW układów wytwórczych rozpatrywanego węzła wytwórczego.
- - - - - ciągi informatyczne do przesyłu i wymiany danych pomiędzy SAZUW układów wytwórczych a SAZOW –węzłem wytwórczym.

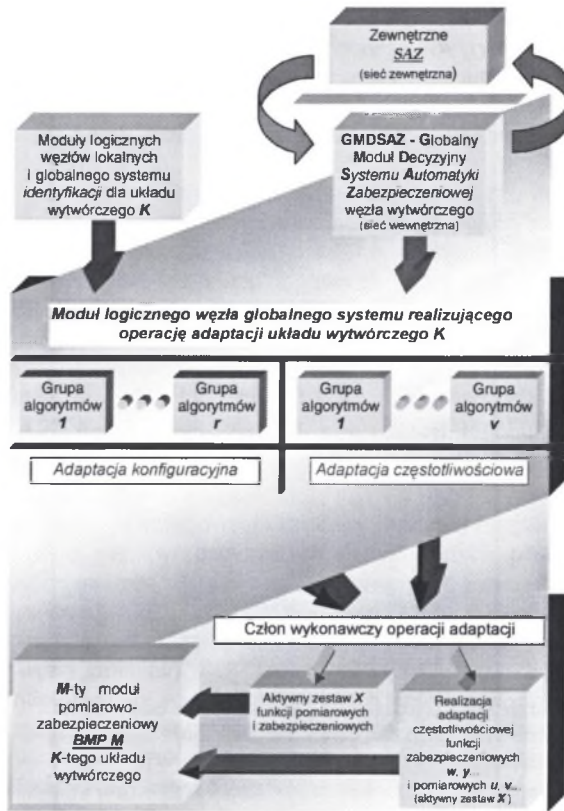
Rys. 2. Schemat poglądowy złożonego węzła wytwórczego składającego się z N -układów wytwórczych chronionych za pomocą SAZUW

Fig. 2. Scheme of complex generating node consisting of N -generating units protected by SAZUW

Podstawowym problemem przy realizacji systemu opartego na sztucznych sieciach neuronowych jest sformułowanie odpowiedniej *bazy wiedzy*, tzw. *bazy uczącej* i *testującej*, na podstawie których następuje identyfikacja parametrów podsystemu adaptacji w postaci wartości wag i biasów poszczególnych neuronów.

Reprezentacja wiedzy (baza wiedzy) jest formułowana przez eksperta i stanowi niekonwencjonalny opis zależności między wektorem cech X (faktami logicznymi) a numerem klas j dla zbioru rozpoznawanych „obiektów”. Dla formułowanej własności wejściowej dotyczącej cech rozpoznawanie polega na wyznaczeniu zbioru $D_j \subset I = \{1, 2, \dots, M\}$ na podstawie reprezentacji wiedzy oraz własności wejściowej zaobserwowanej dla konkretnego „obiektu”.

Reprezentacja wiedzy może mieć formę tradycyjnych relacji $R_i(X, j, w)$, $i=1, 2, \dots, n$ odniesionych do X, j oraz wektora wielkości dodatkowych w . Zatem dla zaobserwowanej własności wejściowej (podzbiór przestrzeni wektorów cech) uzyskać można najmniejszy zbiór D_j spełniający implikację $x \in D_x \rightarrow j \in D_j$.



Rys. 3. Przesył sygnałów sterujących w celu realizacji operacji adaptacji „konfiguracyjnej” oraz adaptacji „częstotliwościowej”

Fig. 3. Distribution of control signals for „configurational” and „frequency” adaptation purposes

Ogólnie logiczna reprezentacja wiedzy składa się z zestawów formułowanych przez eksperta faktów $F_i(w_{e_{log}}, w_{we}, \alpha_j)$, $i=1, 2, \dots, n$. Są to formuły logiczne utworzone z formuł elementarnych $w_{e_{log}}$, (ciąg elementarnych własności dotyczących X), z formuł elementarnych α_j ($j=1, 2, \dots, M$) oraz pozostałych formuł elementarnych, w których może wystąpić X, j oraz w .

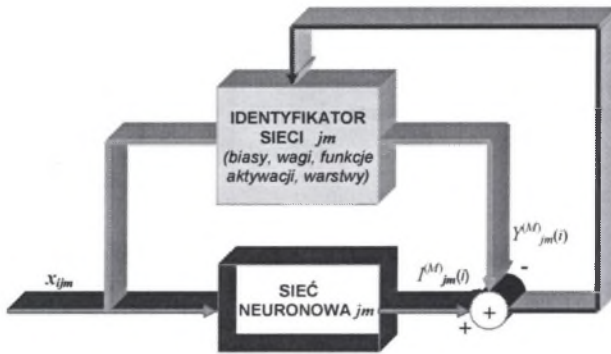
Własność wejściowa jest dana w postaci formuły logicznej $F_x(w_{e_{log}})$, tzn.

$$D_x = \{x : F_x(a_x = 1)\}. \quad (1)$$

Schemat blokowy identyfikacji parametrów zastępczych systemu funkcjonalnego realizującego operację adaptacji dla K -tego układu wytwórczego przedstawiono na rys. 4.

Jak już wspomniano, zadanie rozpoznawania koncentruje się na wyznaczeniu najlepszej formuły F_j . W przypadku realizacji zadania adaptacji za pomocą sztucznych sieci neuronowych konieczna staje się identyfikacja jej struktury. Zakłada się, że system realizujący operację adaptacji jest obiektem relacyjnym.

Identyfikacja obiektu relacyjnego oznacza wyznaczenie oszacowania a (wektor parametrów) w postaci zbioru (obszaru) D_a na podstawie wyników pomiarów X_n, Y_n z zastosowaniem odpowiedniego algorytmu identyfikacji.



Rys. 4. Identyfikacja parametrów j -tej sieci neuronowej systemu realizującego operacje adaptacji
 X_{jm} - wejściowy wektor cech obiektu podstawowego j wchodzący w skład układu wytwórczego m dla i -tego stanu pracy obiektu j

$f^{(A)}_{jm}(i)$ - przypisanie i -tego stanu zestawu j algorytmów automatyki zabezpieczeniowej do M -tej klasy.

$Y^{(A)}_{jm}(i)$ - prawdopodobieństwo, że i -ty stan zestawu j algorytmów zabezpieczeniowych jest przypisany do M -tej klasy

Fig. 4. Identification of j -th neural network parameters of system realizing adaptation tasks

W przypadku sztucznych sieci neuronowych oszacowanie wektora parametrów a (jako wartości wag i biasów poszczególnych neuronów) odbywa się w trakcie tzw. uczenia sieci za pomocą algorytmu identyfikacji zdefiniowanego nie wprost, wynikającego zaś ze specyficznych właściwości sieci neuronowych. Proces uczenia sieci bazuje na zestawach relacji $R_j(x, y, w)$ stanowiących reprezentację wiedzy o badanym obiekcie. Relacje te – jak już zaznaczono wcześniej - są podane przez eksperta w postaci faktów, czyli formuł logicznych dotyczących x , y oraz wielkości pomocniczych w . Wszystkie fakty sformułowane przez eksperta uważa się za prawdziwe.

4. ZAŁOŻENIA REALIZACJI OPERACJI ADAPTACJI

Zakłada się, że wypracowane w modułach funkcjonalnych – znajdujących się w logicznych węzłach globalnych systemu automatyki – wyniki realizacji operacji identyfikacji aktualnego stanu pracy układu wytwórczego oraz jego obiektów elementarnych stanowią zasadniczą bazę wiedzy wykorzystywaną do realizacji zadań adaptacji. W zależności od rozpatrywanego układu (węzła) wytwórczego można wyróżnić konieczność realizacji dwóch rodzajów adaptacji: konfiguracyjnej i częstotliwościowej (opisanych w poprzednim rozdziale), co pociąga za sobą znaczny wzrost stopnia skomplikowania układu realizującego ww. zadania. Wymagana szybkość i niezawodność realizacji operacji adaptacji w powiązaniu z możliwą dużą złożonością strukturalną układu wytwórczego – konieczność przetwarzania dużych zbiorów danych i informacji – stanowi kolejną przesłankę przemawiającą za zastosowaniem w realizacji systemu adaptacji struktur sztucznych sieci neuronowych (SSN).

Zasadniczym problemem w realizacji operacji adaptacji z wykorzystaniem SSN jest opracowanie odpowiednio bogatej bazy uczącej i testującej. Przyjmuje się, że dla każdego układu wytwórczego lub potrzeb własnych analizowanej elektrowni zostaje przyporządkowana struktura składająca się ze sztucznej sieci neuronowej (trójwarstwowej typu MLP o nieliniowych funkcjach aktywacji) jako modułu głównego, tzw. Moduł Logicznego Węzła Globalnego Systemu Adaptacji układu wytwórczego MLWGSA oraz w miarę potrzeb z tradycyjnych układów logicznych w postaci bramek logicznych AND lub OR, stanowiących formę wstępnych powiązań wejściowych formuł logicznych. Dekompozycja zadań związana z realizacją operacji adaptacji ze względu na charakter wykorzystywanych informacji nie

wymaga tworzenia struktury wielopoziomowej. Liczba i rodzaje stanów pracy *obiekту cząstkowego* wymagających zmian w aktywacji i parametryzacji algorytmów pomiarowych oraz zabezpieczeniowych jest ściśle powiązana ze stopniem złożoności danego obiektu. *Układy wytwórcze*, szczególnie wyposażone w generatory z turbinami gazowymi z punktu widzenia automatyki zabezpieczeniowej i pomiarowej można więc zakwalifikować do najbardziej złożonych.

5. PODSUMOWANIE

Przedstawione rozwiązanie systemu realizującego operacje adaptacji funkcji pomiarowych i zabezpieczeniowych stanowi część zintegrowanego *systemu automatyki zabezpieczeniowej* złożonych funkcjonalnie i strukturalnie układów wytwórczych. Przyjęta forma *systemu automatyki* jako wielowarstwowej i przestrzennie rozproszonej inteligentnej struktury informatyczno – decyzyjnej pozwala na realizację założonych zbiorów operacji w dopuszczalnych przedziałach czasowych. Realizacja zadań związanych z *adaptacją* pociąga za sobą konieczność przetwarzania w krótkich przedziałach czasowych wielu danych i informacji o zróżnicowanej formie, pochodzących z różnych układów funkcjonalnych wchodzących w skład *systemu automatyki* jak i z systemów zewnętrznych.

Zastosowanie sztucznych sieci neuronowych jako środka realizującego zadania *adaptacji* pozwala na wypracowanie decyzji końcowych – dotyczących konieczności lub nie przeparametryzowania algorytmów pomiarowych i zabezpieczeniowych – w jak najkrótszym czasie, przy jednocześnie uzyskanym znacznie większym stopniu poprawności generowanych decyzji oraz dużej niewrażliwości systemu na pojawiające się przekłamania w danych wejściowych lub w przypadku braku takich danych, np. na skutek uszkodzenia toru transmisyj. W celu redukcji liczby potrzebnych do realizacji decyzji adaptacyjnych wejść sterujących *CTZS* proponuje się kodowanie (w systemie binarnym) wyjść sieci neuronowych *systemu adaptacji*.

LITERATURA

1. Halinka A., Szewczyk M., Winkler W.: New Approach to Adaptive Protective Systems Problem in the Complex Power Generating Units. Proceedings of the American Power Conference, vol. 61 - II, 61st Annual Meeting 1999, Chicago, pp 542 - 547.
2. Winkler W., Wiszniewski A.: Adaptive protection - potential and limitations. CIGRE Colloquium 1995, Stockholm, June 11 - 17, Rep. SC 34 - 206.
3. Phadke A. G. : CIGRE technical brochure: Adaptive protections and control. Electra No. 163, December 1995, pp. 139 - 147.
4. Wimmer W., Fromm W., Müller P., Ilar F.: Fundamental considerations on user - configurable multifunctional numerical protection. CIGRE session 1996, Rep. WG 34 - 202.
5. Halinka A., Sowa P., Szewczyk M.: Estimation of the Measurement and Criterion Values for Power System Protection in Wide Range of Frequency Change. Proceedings of the IASTED International Conference Signal and Image Processing (SIP2000), November 20 - 23, 2000, Las Vegas, Nevada, pp. 555 - 560.
6. Brunner C., Ostermeier A.: Serial Communication between Process and Bay Level.- Standards and Practical Experience. 38th CIGRE Session, WG - 34 - 106, Paris 2000.
7. TF 38.06.06 - Report: Artificial Neural Network for Power Systems, Electra No. 159, April 1995, pp. 85 - 97.