



## Dozorowanie stanu w przemysłowym systemie sterowania

MARCIN BEDNAREK<sup>1</sup>, TADEUSZ DĄBROWSKI, MICHAŁ WIŚNIOŚ

<sup>1</sup>Politechnika Rzeszowska, Rzeszów, Wydział Elektrotechniki i Informatyki,  
35-959 Rzeszów, ul. W. Pola 2, bednarek@prz.rzeszow.pl  
Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki,  
00-908 Warszawa, ul. gen. S. Kaliskiego 2, tdabrowski@wat.edu.pl, mwisnios@wat.edu.pl

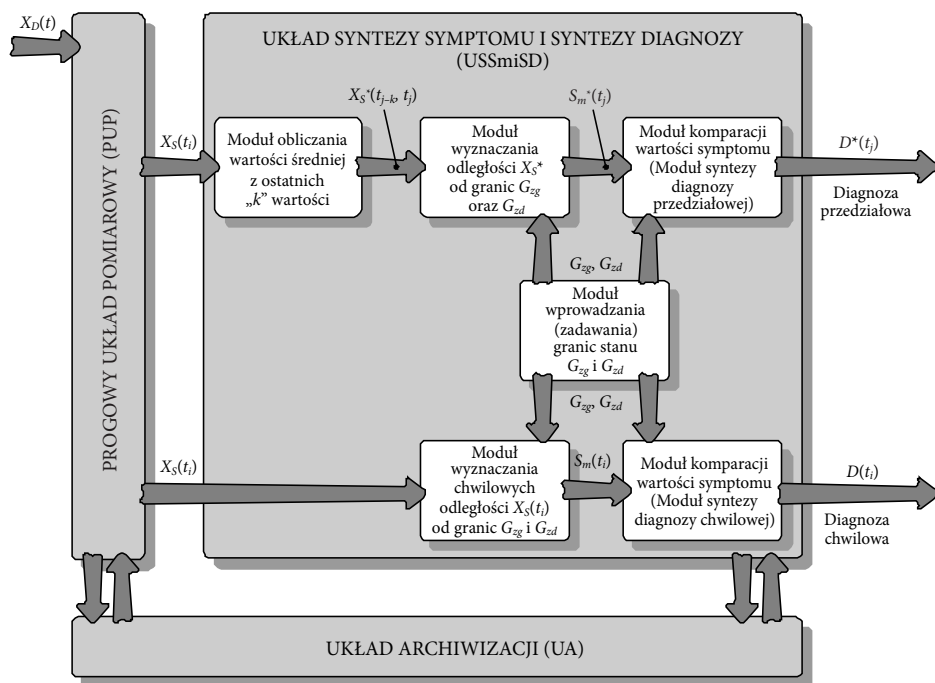
**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wybrane aspekty implementacji modułu syntezy diagnozy chwilowej i przedziałowej w przypadku progowego układu diagnostycznego w przemysłowym systemie sterowania. System informowania (alarmowania) o osiągnięciu przez funkcję symptomową wartości wskazującej na stan zdatności warunkowej lub stan niezdatności wykonano w języku bloków funkcyjnych FBD. Przeprowadzono testy zachowania się układu. Podano wyniki przeprowadzonych eksperymentów funkcjonowania przemysłowego, progowego systemu diagnostycznego z zaimplementowanym modułem syntezy diagnozy.

**Słowa kluczowe:** przemysłowy system sterowania, diagnozowanie, dozorowanie stanu

### 1. Wprowadzenie

W pracy opisano rozszerzenie implementacji progowej metody pomiaru zakłóconego sygnału diagnostycznego [3, 11] o dodatkowe moduły pozwalające na wprowadzanie wartości granicznych stanu zdatności oraz na generowanie diagnozy dotyczącej: zbliżania się wartości funkcji symptomowej do granicy stanu zdatności lub jej przekroczenia. Metoda progowa pomiaru zakłóconego sygnału diagnostycznego  $X_D(t)$  oraz algorytm wyznaczania wartości funkcji symptomowej  $X_S(t_j)$  opiera się na rejestrowaniu liczby przekroczeń przez analizowany sygnał diagnostyczny określonych wartości progowych w module komparatorów progowego układu pomiarowego [10, 11]. W celu dostosowania progowych wartości do amplitudy i dynamiki zmian sygnału diagnostycznego (w tym także do charakteru składowej

zakłócającej), algorytm wyznaczania funkcji  $X_S(t_j)$  realizuje m.in. procedurę zmiany wartości progów pomiarowych i przełączających, procedurę zmiany długości okna dozoru sygnału diagnostycznego, procedurę zmiany częstości próbkowania sygnału diagnostycznego [4, 5]. Procedury te poszerzają i uelastyczniają właściwości pomiarowe progowego układu i pozytywnie wpływają na wartość błędu odwzorowania funkcji opisującej stan diagnozowanego obiektu przez wyznaczaną funkcję symptomową [5]. Wyróżniająca właściwość zastosowanej metody polega na tym, że istniejąca składowa zakłócająca sygnału diagnostycznego nie stanowi istotnej przeszkody w uzyskaniu dostatecznie wiarygodnych symptomów stanu. Wykazano to szeregiem wyników badań statystycznych opisanych w [7-10].



Rys. 1. Poglądowy schemat funkcjonalny układu syntezy symptomu i syntezy diagnozy

**Oznaczenia:**  $X_D(t)$  — sygnał diagnostyczny;  $X_S(t_i)$  — wartość funkcji symptomowej w chwili  $t_i$ ;  $D(t_i)$  — diagnoza dla chwili  $t_i$ ;  $D^*(t_j)$  — diagnoza dla przedziału  $[t_{j-k}, t_j]$ ;  $X_S^*(t_{j-k}, t_j)$  — wartość średnia funkcji symptomowej w przedziale  $[t_{j-k}, t_j]$ ;  $S_m^*(t_j)$  — symptom stanu (wartość symptomu) dla przedziału  $[t_{j-k}, t_j]$ ;  $S_m(t_i)$  — symptom stanu (wartość symptomu) dla chwili  $t_i$ ;  $G_{zg}$  — granica górna przedziału wartości symptomu dla stanu zdatności;  $G_{zd}$  — granica dolna przedziału wartości symptomu dla stanu zdatności

Wyznaczone w progowym układzie pomiarowym, działającym wg zasady opisanej w [3, 11], wartości funkcji symptomowej przetwarzane są w „układzie syntezy symptomu i syntezy diagnozy” na symptomy, a w konsekwencji na syndrom stanu

(rys. 1). Efektem końcowym działania tego układu jest diagnoza chwilowa  $D(t_j)$  oraz przedziałowa  $D^*(t_j)$ . Uzyskuje się w ten sposób informację dotyczącą m.in. relacji „wartość funkcji symptomowej — granice stanu zdatności”. Informacja ta, uzupełniona o stemple czasowe, pozwala na dokonanie oszacowania przez operatora czasu prognozowanego przejścia wartości funkcji symptomowej w obszar świadczący o zbliżaniu się do granicy stanu zdatności lub o jej przekroczeniu (rys. 2), stosując nieskomplikowane, inżynierskie metody ekstrapolacji (np. najmniejszych kwadratów).

Wartość praktyczna opracowanej metody diagnozowania została zweryfikowana szeregiem badań przeprowadzonych w przemysłowym systemie diagnostyczno-informatycznym na bazie sterownika AC800F [1, 12]. Opis realizacji układu szerzej opisano m.in. w pracach [2, 3, 6]. Przedstawiony tu układ wyznaczania prognozy dotyczącej czasu zdatności został wykonany w języku FBD [13, 14].

Należy wyraźnie podkreślić, iż podstawową ideą uzyskania wartości funkcji symptomowej wg opisywanej, implementowanej metody, jest istnienie zakłóceń sygnału diagnostycznego, a nie ich eliminacja. Umożliwia to zastosowanie opisywanych rozwiązań np. w obecności silnych zakłóceń elektromagnetycznych w środowiskach przemysłowych [15].

## 2. Relacje symptom–diagnoza chwilowa i diagnoza przedziałowa

Na rysunku 1 przedstawiono fragment systemu diagnostyczno-informatycznego, realizującego progową metodę diagnostyczną, odpowiedzialnego za generowanie diagnoz przedziałowych i chwilowych. Procedura wyznaczania prognozy, dotyczącej czasu zdatności, opiera się na informacji o odległościach wartości funkcji symptomowej od zadanych granic określonego stanu. W zależności od rodzaju wymaganej diagnozy, do szacowania brane są pod uwagę wartości chwilowe odległości lub wartości uśrednione. Diagnoza formułowana jest w oparciu o przyjęte strefy (rys. 2):

- strefa zielona (stan zdatności bezwarunkowej),
- strefa żółta (stan zdatności warunkowej — strefa „dolna” i „górna”),
- strefa czerwona (stan niezdatności — strefa „górna” i „dolna”).

Szerokość przedziału wartości funkcji symptomowej dla stanu zdatności można określić wg (1):

$$\Delta G = G_{Zg} - G_{Zd}. \quad (1)$$

Odległość (dystans) wartości uśrednionej (w określonym przedziale) funkcji symptomowej od wartości górnej granicy przedziału zdatności (2):

$$\Delta g_{Zg} = G_{Zg} - X_S^*. \quad (2)$$

Analogicznie może być określony dystans chwilowej wartości funkcji symptomowej, a także dystans do granicy dolnej.

Wartość symptomu określa (3):

$$S_m = \Delta g_{Zg}. \quad (3)$$

W tabeli 1 przedstawiono relacje symptom–diagnoza, na podstawie których formułowana jest prognoza czasu zdatności. Położenie wartości funkcji symptomowej w obszarach żółtych sygnalizowane jest odpowiednim komunikatem (por. dalej). Na tej podstawie oraz na podstawie stempla czasowego komunikatu operator może wnioskować o prognozowanym czasie zdatności diagnozowanego obiektu. Przejście wartości funkcji symptomowej do którejkolwiek ze „stref czerwonych” generuje odpowiedni alarm o stanie niezdatności.

TABELA 1

Relacje symptom–diagnoza

Lp.	Warunek	Diagnoza
1	jeśli $S_m \leq 0$	$\rightarrow D_1 \rightarrow S^{Ng}$
2	jeśli $S_m \geq \Delta G$	$\rightarrow D_2 \rightarrow S^{Nd}$
3	jeśli $0 < S_m < \Delta G$	$\rightarrow D_3 \rightarrow S^Z$
4	jeśli $0 < S_m < k\Delta G$	$\rightarrow D_3 \rightarrow S^{Zwg}$
5	jeśli $k\Delta G \leq S_m < (1 - k)\Delta G$	$\rightarrow D_4 \rightarrow S^{Zb}$
6	jeśli $(1 - k)\Delta G \leq S_m < \Delta G$	$\rightarrow D_5 \rightarrow S^{Zwd}$
<p><u>Oznaczenia:</u>  <math>D = \{D_1, D_2, D_3, D_4, D_5\}</math> — zbiór diagnoz  <math>S^Z</math> — stan zdatności  <math>S^{Zb}</math> — stan zdatności bezwarunkowy  <math>S^{Zwg}</math> — stan zdatności warunkowy (strefa „górna”)  <math>S^{Zwd}</math> — stan zdatności warunkowy (strefa „dolna”)  <math>S^{Ng}</math> — stan niezdatności (strefa „górna”)  <math>S^{Nd}</math> — stan niezdatności (strefa „dolna”)</p>		

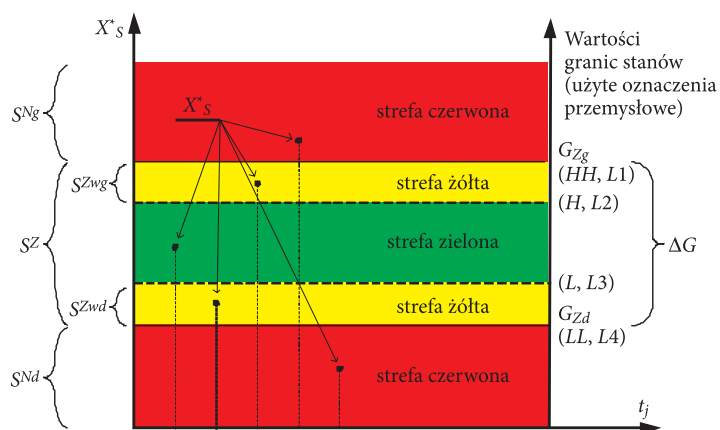
### 3. Realizacja prognozowania stanu niezdatności w systemie przemysłowym

Realizacja procedury prognozowania stanu niezdatności przez progowy system diagnostyczny w sterowniku przemysłowym wymagała:

- wykonania intuicyjnego interfejsu operatora do wprowadzania wartości granicznych stref zdatności (rys. 2),

- implementacji modułów bloku układu syntezy symptomów i syntezy diagnozy (rys. 1) w języku FBD,
- opracowania systemu alarmowania o przekroczeniach granic poszczególnych stref, informującego o czasie, rodzaju zdarzenia oraz o rodzaju diagnozy (chwilowej lub przedziałowej).

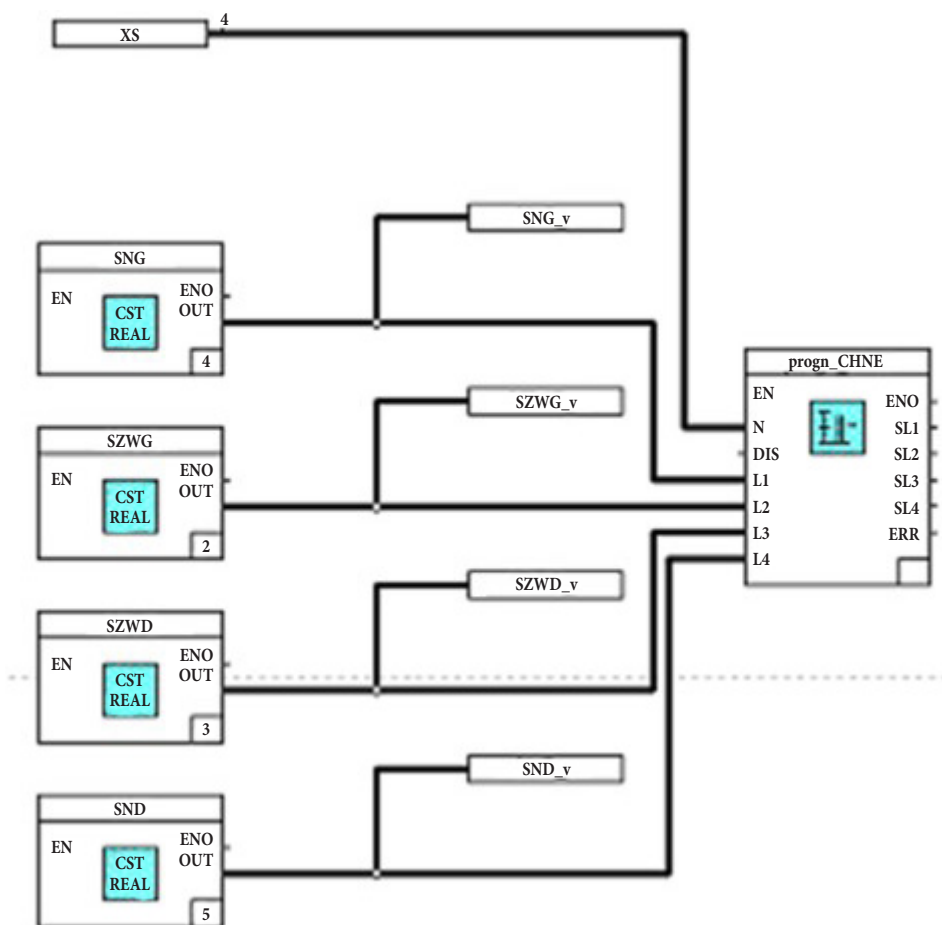
W celu umożliwienia operatorowi wprowadzania wartości stref zdatności na schemacie FBD (rys. 3, bloki nr 2-5) dodano bloki stałych typu rzeczywistego (*CST\_REAL*). Są one standardowo wyposażone w stacyjki operatorskie [1], za pomocą których operator może wygodnie wprowadzić zadane przedziały stref (por. rys. 4). Stacyjki operatorskie są elementami wyświetlanymi na obrazach grupowych stacji operatorskiej realizujących wizualizację i oddziaływanie operatorskie. Są elementami graficznymi zbliżonymi wyglądem do stacyjek operatorskich rzeczywistych urządzeń automatyki.



Rys. 2. Ilustracja symptomów na tle przedziałów stanów z uwzględnieniem oznaczeń wykorzystywanych w systemie przemysłowym (w nawiasach). Oznaczenia są analogiczne do stosowanych w tabeli 1

Wartość funkcji symptomowej jest porównywana z wartościami przesyłanymi z bloków stałych rzeczywistych (blok nr 1 monitorowania wartości analogowej „*progn\_chwil*”, rys. 3). W przypadku generowania diagnoz przedziałowych wykorzystuje się dodatkowo blok uśredniania wartości w określonym przedziale czasu, który wykonuje zadania modułu uśredniania (por. rys. 1). W trakcie wykonania jednego cyklu programu następuje obliczenie jednej wartości funkcji symptomowej [4]. Przedział czasu uśredniania określony tu jest jako liczba kolejnych cykli pracy programu, z których do średniej brane są pod uwagę wartości podawane w każdym cyklu na wejście *IN*.

Generowanie przez system komunikatów o położeniu aktualnej (lub uśrednionej) wartości funkcji symptomowej w określonej strefie możliwe jest dzięki



Rys. 3. Fragment realizacji algorytmu „diagnozy chwilowej”

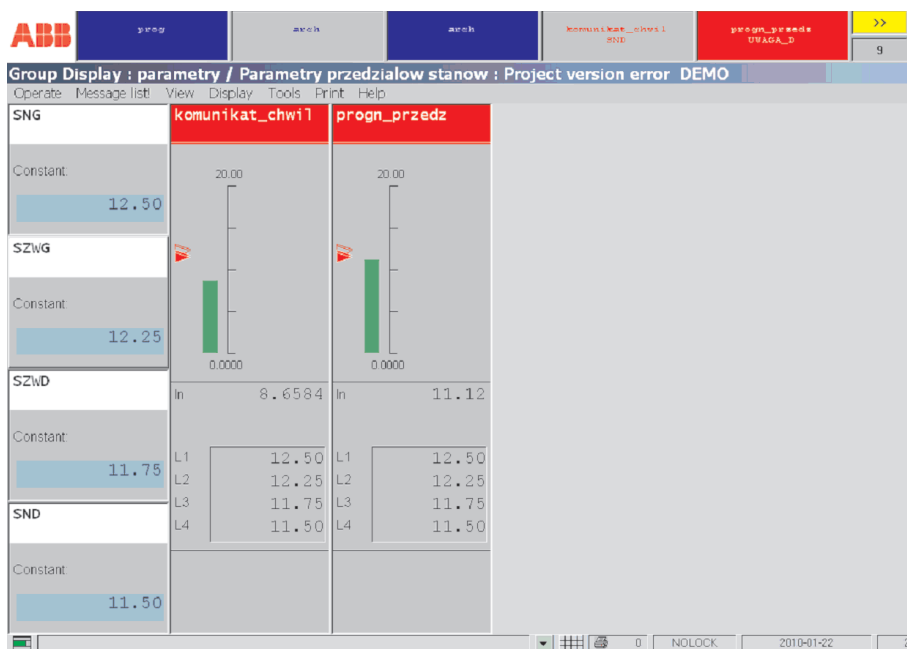
wprowadzeniu odpowiednich tekstów komunikatów w blokach monitorowania wartości analogowej:

- komunikat „SNG” (stan niezdadności górny) dla „górnego” stanu niezdatności,
- komunikat „UWAGA\_G” dla warunkowego „górnego” stanu zdadności,
- komunikat „UWAGA\_D” dla warunkowego „dolnego” stanu zdadności,
- komunikat „SND” (stan niezdadności dolny) dla „dolnego” stanu niezdatności.

#### 4. Testy funkcjonowania systemu syntezy diagnozy (systemu alarmowania)

Do testów, których wyniki zostały przedstawione na rysunku 4, posłużył symulator generatora sygnału losowego o rozkładzie równomiernym nałożonego na funkcję opisującą. Dla ułatwienia, jako funkcję opisującą przyjęto stały sygnał na poziomie 12 jednostek umownych. Za pomocą stacyjek bloków stałych rzeczywistych (pierwsza kolumna na rysunku 4) wprowadzono parametry granic stref zdatności. Odpowiednio:

- stacyjka bloku SNG — wartość graniczna pomiędzy strefą „czerwoną górną” i „żółtą górną” (12,5 j.u.),
- stacyjka bloku SZWG — wartość graniczna pomiędzy strefą „żółtą górną” i „zieloną” (12,25 j.u.),
- stacyjka bloku SZWD — wartość graniczna pomiędzy strefą „zieloną” i „żółtą dolną” (11,75 j.u.),
- stacyjka bloku SND — wartość graniczna pomiędzy strefą „żółtą dolną” i „czerwoną dolną” (11,5 j.u.).



Rys. 4. Obraz grupowy — wprowadzanie granic stref zdatności oraz alarmowanie

Dodano także możliwość obserwacji na obrazie grupowym (rys. 4):

- wartości chwilowej funkcji symptomowej (stacyjka „*komunikat\_chwil*”),
- wartości uśrednionej funkcji symptomowej (stacyjka „*progn\_przed*”).

Prognozy czasu zdatności pojawiają się w postaci komunikatów systemowych w górnym pasku wspomnianego obrazu grupowego (rys. 4). Są one także dostępne z poziomu osobnego ekranu synoptycznego dotyczącego listy komunikatów. Z kolejnych kolumn listy można odczytać:

- dokładny czas pojawienia się informacji (z dokładnością do tysięcznych części sekundy),
- nazwę modułu/bloku generującego komunikat; dla prognozy chwilowej jest to blok „*komunikat\_chwil*”, natomiast dla przedziałowej (wartości uśrednionej) — „*progn\_przed*”,
- treść komunikatu,
- wartość funkcji symptomowej powodującą aktywację alarmu.

## Podsumowanie

Na przedstawione w opracowaniu wybrane zagadnienia dotyczące implementacji systemu informowania (alarmowania) o osiągnięciu przez funkcję symptomową wartości wskazującej na stan zdatności warunkowej lub stan niezdatności, w przemysłowym systemie sterowania, można spojrzeć z szerszej perspektywy:

1. Elementy przedstawionego układu syntezy symptomu i syntezy diagnozy wykorzystują także inne wartości zmiennych, pochodzące z pozostałych podprogramów systemu przemysłowego. Stanowią one tylko niewielką część całego progowego układu pomiarowego, opisanego m.in. w [2-6].
2. W celu uszczegółowienia prognoz dotyczących stanu zdatności obiektu, opisywanego analizowanym przebiegiem funkcji symptomowej, można posłużyć się prędkością zmian sygnału (tutaj: funkcji symptomowej). Analizę prędkości zmian sygnału można zrealizować poprzez rozbudowę systemu o dodatkowe schematy FBD ekstrapolujące przebieg wyznaczonej funkcji symptomowej. Rozwiązanie to jest obecnie w fazie testów.
3. Układ o analogicznych możliwościach zastosowano także w powstałym demonstratorze metody pomiarów progowych szerzej opisanym w [16].

## LITERATURA

- [1] M. BEDNAREK, *Wizualizacja procesów*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, 2004.
- [2] M. BEDNAREK, T. DĄBROWSKI, *Koncepcja implementacji metody pomiarów progowych w sterowniku przemysłowym*, Materiały IX Szkoły-konferencji „Metrologia wspomaganą komputerowo”, Waplewo, 24-27 maja 2011.



- [3] M. BEDNAREK, T. DĄBROWSKI, *Implementacja metody pomiarów progowych w sterowniku przemysłowym*, Przegląd Elektrotechniczny, 9a, 2011, 155-159.
- [4] M. BEDNAREK, T. DĄBROWSKI, *Adaptacyjność progowych procesów diagnozowania*, Materiały XL Zimowej Szkoły Niezawodności, Szczyrk, 8-14.01.2012.
- [5] T. DĄBROWSKI, M. BEDNAREK, *Niezawodność progowo-komparacyjnych procesów diagnozowania*, Materiały XL Zimowej Szkoły Niezawodności, Szczyrk, 8-14.01.2012.
- [6] M. BEDNAREK, T. DĄBROWSKI, *Właściwości progowo-komparacyjnej metody diagnozowania w zastosowaniu przemysłowym*, XXVI Międzynarodowa Konferencja EKOMILITARIS 2012, Zakopane, 3-6.09.2012, 61.
- [7] L. BĘDKOWSKI, T. DĄBROWSKI, *Wpływ komparacyjnego diagnozowania efektu na niezawodność systemu*, XXXIV Zimowa Szkoła Niezawodności „Niekonwencjonalne metody badania niezawodności”, Szczyrk, 9-14.01.2006, 41.
- [8] L. BĘDKOWSKI, T. DĄBROWSKI, *Diagnozowanie na podstawie niepewnych syndromów stanu obiektu*, Diagnostyka, Warszawa-Olsztyn, 37, 2006, 55.
- [9] L. BĘDKOWSKI, *Diagnozowanie z dwupoziomą komparacją niepewnych symptomów i syndromu stanu obiektu*, Diagnostyka, Warszawa-Olsztyn, 38, 2006, 109.
- [10] T. DĄBROWSKI, M. BEDNAREK, *Reliability of Comparative-Threshold Diagnostic Processes*, Scientific Problems of Machines Operation and Maintenance, 46, 2(166), 2011, 17-35.
- [11] T. DĄBROWSKI, M. BEDNAREK, K. FOKOW, M. WIŚNIOS, *Progowo-komparacyjna metoda diagnozowania w warunkach silnych zakłóceń*, XXVI Międzynarodowa Konferencja EKOMILITARIS 2012, Zakopane, 3-6.09.2012, 116.
- [12] *Freelance800F AC 800F Data Sheet*, ABB, November 2008.
- [13] J. KASPRZYK, *Programowanie sterowników przemysłowych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2006.
- [14] PN-EN 61131-3 *Sterowniki programowalne, część 3: Języki programowania*.
- [15] A. SOWA, J. WIATER, T. BARTUCHOWSKI, *Zakłócenia w lokalnej sieci komputerowej dużego zakładu przemysłowego*, Zeszyty Naukowe: Elektryka, Politechnika Łódzka, 103, 2005, 197.
- [16] M. WIŚNIOS, T. DĄBROWSKI, K. FOKOW, M. BEDNAREK, *Struktura i właściwości metrologiczne progowego układu pomiarowego sygnałów zakłóconych*, XXVI Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna EKOMILITARIS 2012 nt. „Inżynieria bezpieczeństwa — ochrona przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń”, Zakopane, 3-6.09.2012, 702.

M. BEDNAREK<sup>1</sup>, T. DĄBROWSKI, M. WIŚNIOS

### Supervision of the state in the industrial control system

**Abstract.** The paper presents selected aspects of implementation of the synthesis diagnosis (functional and interval) module in case of threshold diagnostic system in the industrial control system. Information system (alarming) of reaching by the symptom function a value indicating the unstable fitness state or the state of unfitness made using FBD language. Tests of the behaviour of the system were performed. The final results of the experiments on operation of the industrial threshold diagnostic system with the implemented module of synthesis diagnosis are presented.

**Keywords:** industrial control system, diagnosing, supervision of the state

