

Marcin BEDNAREK*

Tadeusz DĄBROWSKI**

* Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki

** Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Elektroniki

ADAPTACYJNOŚĆ PROGOWYCH PROCESÓW DIAGNOZOWANIA

Słowa kluczowe

Diagnozowanie progowe, progowe metody pomiarowe, adaptacyjność.

Streszczenie

Istnieje kilka aspektów adaptacyjności progowych układów pomiarowych aplikowanych w systemach diagnostycznych. Do podstawowych należy zaliczyć:

- właściwe dopasowanie poziomów progów pomiarowych do amplitudy i dynamiki zmian sygnału diagnostycznego $X_D(t)$;
- odpowiednie dostosowanie długości okna dozoru do dynamiki zmian sygnału $X_D(t)$;
- dobór racjonalnej częstości próbkowania sygnału $X_D(t)$.

W niniejszym opracowaniu wskazano kolejne możliwości adaptacji metody oraz układu pomiarów progowych, mające wpływ na niezawodność „progowego” procesu diagnozowania. Do ważniejszych zagadnień – w tym kontekście – należą:

- dobór właściwej „długości okna” szacowania charakteru rozkładu zmiennej losowej zakłócającej sygnał diagnostyczny;
- rola stabilizacyjnego współczynnika nieczułości układu przesuwania progów;

- zadania komparacyjno-decyzyjnego układu wyboru algorytmu obliczania funkcji symptomowej $X_S(t)$.

Wprowadzenie

Idea progowego procesu diagnozowania została scharakteryzowana m.in. w [1]. W przedstawionym, w tym opracowaniu, schemacie na rysunku 7 dwa komparatory pomiarowe: górny K_g i dolny K_d śledzą na bieżąco, w kolejnych chwilach próbkowania t_p , wartość zakłóconego sygnału diagnostycznego $X_D(t)$. Jeżeli wartość tego sygnału jest większa niż wartość progu komparacyjno-pomiarowego górnego X_{K_g} , to przekroczenie progu sygnalizowane jest wpisem do pamięci układu progowego logicznej jedynek. Podobnie działa komparator K_d z przyłączoną do niego pamięcią. Jedynek logicznych na wyjściu tego komparatora występuje w sytuacji, gdy sygnał $X_D(t)$ jest mniejszy od progu komparacyjno-pomiarowego dolnego X_{K_d} . Liczba wpisanych logicznych jedynek (w zdefiniowanym oknie dozoru, tj. w określonym przedziale czasu obserwacji) informuje o liczbie przekroczeń przez sygnał badany odpowiednio progu komparacyjno-pomiarowego górnego w górę i progu komparacyjno-pomiarowego dolnego w dół. Informacja ta umożliwia oszacowanie szerokości amplitudowej rozkładu zakłóceń oraz pozwala na wyznaczanie aktualnych wartości funkcji symptomowej $X_S(t)$ stanowiącej obraz funkcji opisującej stan diagnozowanego obiektu $X_O(t)$. Pozostałe dwa komparatory: górny przełączający K_{gp} i dolny przełączający K_{dp} są wykorzystywane do adaptacji wartości progów pomiarowych względem zakresu aktualnych wartości sygnału $X_D(t)$. Ilustrację odpowiadających komparatorom wartości progowych przedstawia rysunek 5.

W dotychczasowych publikacjach (m.in. [6, 8, 1]) rozpatrywano kilka aspektów adaptacyjności. Było to m.in.:

- właściwe dopasowanie poziomów progów pomiarowych do amplitudy i dynamiki zmian sygnału diagnostycznego $X_D(t)$;
- odpowiednie dostosowanie długości okna dozoru do dynamiki zmian sygnału $X_D(t)$;
- dobór racjonalnej częstości próbkowania sygnału $X_D(t)$.

W niniejszym opracowaniu wskazane są kolejne możliwości adaptacyjne metody i układu pomiarów progowych, mające wpływ na niezawodność „progowego” procesu diagnozowania. Na podkreślenie zasługują – w tym kontekście

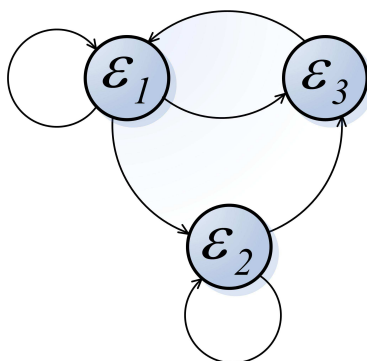
– następujące elementy:

- dobór właściwej długości okna szacowania charakteru rozkładu zmiennej losowej zakłócającej sygnał diagnostyczny (oraz chwili i krotności przeprowadzania procedury szacowania);
- efekt wprowadzenia współczynnika nieczułości układu przesuwania progów;
- zadania komparacyjno-decyzyjnego układu wyboru algorytmu obliczania funkcji symptomowej $X_S(t)$.

1. Adaptacja okna szacowania charakteru rozkładu zakłóceń

Diagnozowanie progowe może odbywać się w dwu wariantach, w zależności od decyzji operatora. W obydwu wariantach proces rozpoczyna się od szacowania rozkładu zakłóceń. Podobnie jak w procesie obliczania wartości funkcji symptomowej dobiera się odpowiednio długość okna szacowania charakteru rozkładu zakłóceń. Na podstawie otrzymanych danych z komparatorów pomiarowych, tj. na podstawie liczby przekroczeń progów pomiarowych, szacuje się szerokość amplitudową rozkładu zakłóceń ΔZ . Oszacowanie tej wartości jest niezbędne m.in. do właściwego ustawienia dystansu progowego.

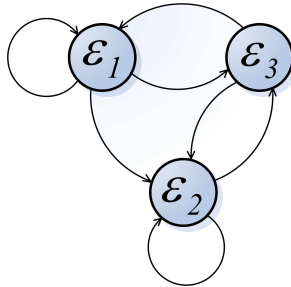
W **wariacie pierwszym** szacunki te przeprowadzane są każdorazowo po zmianie wartości progowych (w efekcie tzw. dryftu progów). Ilustruje to rysunek 1. Opis warunków przejść dla pierwszego wariantu eksploatacji pomiarowego układu progowo-komparacyjnego zamieszczono w tabeli 1. Można zauważyć, iż gdyby zaistniał najbardziej niekorzystny przypadek, polegający na wielokrotnej zmianie wartości progów układu, każdorazowe szacowanie rozkładu wypełniałoby większość czasu eksploatacji systemu. Jeśli przyjmie się ten czas jako czas obsługiwanego systemu, to przy dużej dynamice zmian sygnału mierzonego czas przeznaczony na użytkowanie systemu jest relatywnie krótki. Dlatego w **wariacie drugim** szacowanie rozkładu odbywa się tylko na początku pracy systemu diagnostycznego. Odpowiednio, rysunek 2 i tabela 2 przedstawiają graf funkcjonalno-operacyjny oraz warunki przejść dla wariantu 2. Sygnałem wywołującym przełączenie układu do pracy w wariacie drugim jest założony wskaźnik krotności nieoszacowania rozkładu k_R (np. po założonych k_R nieudanych próbach uzyskania pełnego okna szacowania rozkładu spowodowanych permanentną zmianą wartości progowych).



Rys. 1. Graf funkcjonalno-operacyjny progowego układu diagnozującego – wariant 1: ε_1 – szacowanie charakteru rozkładu zakłóceń; ε_2 – obliczanie wartości funkcji symptomowej $X_S(t)$; ε_3 – obliczanie nowych wartości progowych

Tabela 1.

Przejście	Warunek przejścia
$\mathcal{E}_1 \rightarrow \mathcal{E}_1$	Bieżąca długość okna szacowania rozkładu nie jest większa od założonej R
$\mathcal{E}_1 \rightarrow \mathcal{E}_2$	Bieżąca długość okna szacowania rozkładu jest większa od założonej R (flaga „oszacowanie ukończone”)
$\mathcal{E}_1 \rightarrow \mathcal{E}_3$	Zadziałanie progów przełączającego
$\mathcal{E}_2 \rightarrow \mathcal{E}_2$	Brak ustawionej flagi oznaczającej zadziałanie progów przełączającego (właściwa praca układu diagnozującego)
$\mathcal{E}_2 \rightarrow \mathcal{E}_3$	Zadziałanie progów przełączającego
$\mathcal{E}_3 \rightarrow \mathcal{E}_1$	Bezwarunkowo



Rys. 2. Graf funkcyjno-operacyjny progowego układu diagnozującego – wariant 2: \mathcal{E}_1 – szacowanie charakteru rozkładu zakłóceń; \mathcal{E}_2 – obliczanie wartości funkcji symptomowej $X_S(t)$; \mathcal{E}_3 – obliczanie nowych wartości progowych

Tabela 2.

Przejście	Warunek przejścia
$\mathcal{E}_1 \rightarrow \mathcal{E}_1$	Bieżąca długość okna szacowania rozkładu nie jest większa od założonej R
$\mathcal{E}_1 \rightarrow \mathcal{E}_2$	Bieżąca długość okna szacowania rozkładu jest większa od założonej R (flaga „oszacowanie ukończone”)
$\mathcal{E}_1 \rightarrow \mathcal{E}_3$	Zadziałanie progów przełączającego
$\mathcal{E}_2 \rightarrow \mathcal{E}_2$	Brak ustawionej flagi oznaczającej zadziałanie progów przełączającego (właściwa praca układu diagnozującego)
$\mathcal{E}_3 \rightarrow \mathcal{E}_1$	Brak ustawionej flagi „oszacowanie ukończone”
$\mathcal{E}_3 \rightarrow \mathcal{E}_2$	Flaga „oszacowanie ukończone”

W sytuacji braku możliwości uzyskania założonej liczby iteracji sprawdzeń przekroczeń progów, do oszacowania szerokości amplitudowej rozkładu zakłóceń (a może to nastąpić nawet w czasie pracy układu w wariantcie 2) może być brana największa uzyskana liczba wyników próbek z założonej liczby dopuszczalnych sprawdzeń.

2. Współczynnik gotowości

Współczynnik gotowości K_{g-duk} diagnozującego układu progowego można oszacować (w dostatecznie długim przedziale czasu dozoru ΔT) wg [10] następująco:

$$K_{g-duk} = \frac{T_a(\Delta T)}{T_a(\Delta T) + T_b(\Delta T)} \quad (1)$$

gdzie:

$T_a(\Delta T)$ – sumaryczny czas, w ciągu którego obiekt **jest** dostępny i może wystąpić zapotrzebowanie na jego użycie w przedziale ΔT . W danym przypadku zapotrzebowanie na użycie diagnozującego układu progowego, z uwagi na funkcję dozoru, występuje podczas całego przedziału czasu ΔT ;

$T_b(\Delta T)$ – sumaryczny czas, w ciągu którego obiekt **nie jest** dostępny i może wystąpić zapotrzebowanie na jego użycie w przedziale ΔT . Czas niedostępności należy tutaj rozumieć jako oczekiwanie na oszacowanie wartości szerokości amplitudowej rozkładu zakłóceń niezbędnej do przeprowadzenia obliczeń wartości funkcji symptomowej $X_S(t)$ oraz na czas tracony na obliczenia nowych wartości progowych.

Czas $T_a(\Delta T)$ można określić:

$$T_a(\Delta T) = T_L \quad (2)$$

gdzie:

T_L – przedziały czasowe, w których obiekt **jest** dostępny i może wystąpić zapotrzebowanie na jego użycie w przedziale ΔT – przedziały czasowe, w ciągu których obliczane są kolejne wartości funkcji symptomowej:

$$T_L = \sum_{i=1}^n T_{Li} \quad (3)$$

Natomiast czas $T_b(\Delta T)$ można określić następująco:

$$T_b(\Delta T) = T_R + T_p \quad (4)$$

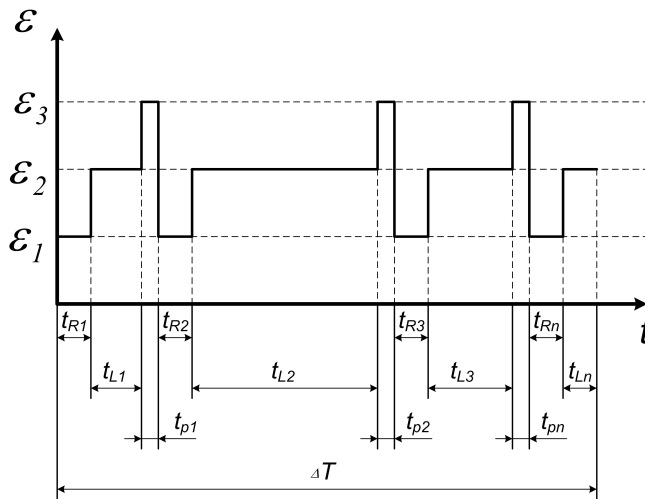
gdzie:

T_R – przedziały czasowe, w których obiekt nie jest dostępny i może wystąpić zapotrzebowanie na jego użycie w przedziale ΔT – przedziały czasowe, w ciągu których szacowany jest rozkład zakłóceń:

$$T_R = \sum_{i=1}^n T_{Ri} \quad (5)$$

T_p – przedziały czasowe, w których obiekt nie jest dostępny i może wystąpić zapotrzebowanie na jego użycie w przedziale ΔT – przedziały czasowe, w ciągu których obliczane są nowe wartości progowe:

$$T_p = \sum_{i=1}^n T_{pi} \quad (6)$$



Rys. 3. Grafik czasu przebywania diagnozującego układu progowego w poszczególnych stanach operacyjno-funkcjonalnych: ε_1 – szacowanie rozkładu zakłóceń; ε_2 – obliczanie wartości funkcji symptomowej $X_S(t)$; ε_3 – obliczanie nowych wartości progowych (korekta, przesuwanie, rozsuwanie) – wariant 1

W obydwu wariantach pracy diagnozującego układu progowego czas tracony na obliczanie nowych wartości progowych jest mało znaczący w stosunku do zwykle długiego czasu dozoru i może być tym samym pomijalny:

$$T_p \ll \Delta T \quad (7)$$

Dlatego uwzględniając (7), a także (2) do (6), współczynnik gotowości (1) K_{g-duk} można dla obydwu wariantów wyrazić jako:

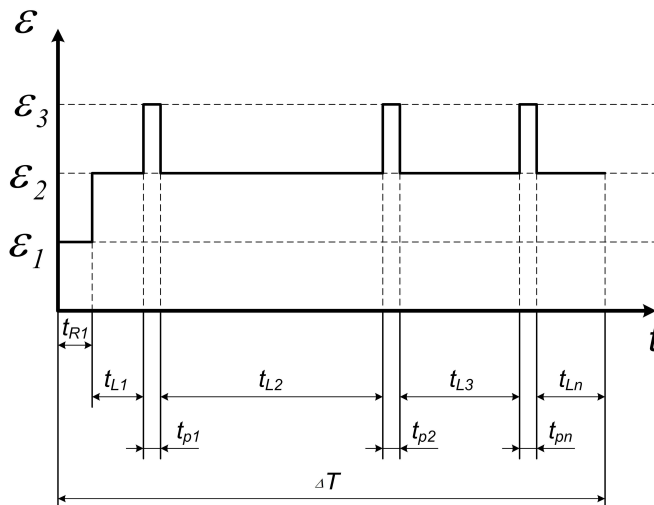
$$K_{g-duk} = \frac{T_L}{T_L + T_R + T_p} \cong \frac{T_L}{T_L + T_R} \quad (8)$$

Można zauważyć na podstawie (8), iż wartość współczynnika gotowości zależy od udziału czasu przeznaczanego na szacowanie charakteru rozkładu w rozpatrywanym przedziale czasu.

Im mniej dokonuje się zmian wartości progowych w wariantie pierwszym pracy układu, tym mniej razy szacowany jest rozkład zakłóceń. Zmniejsza się czas T_R , a jednocześnie wartość współczynnika gotowości K_{g-duk} wzrasta (rys. 3).

W wariantie drugim szacowanie rozkładu występuje na początku – tuż po uruchomieniu układu diagnozującego (rys. 4). Można więc uznać czas T_R za pomijalnie mały:

$$T_R \ll \Delta T \quad (9)$$



Rys. 4. Grafik czasu przebywania diagnozującego układu progowego w poszczególnych stanach operacyjno-funkcjonalnych: ε_1 – szacowanie rozkładu zakłóceń; ε_2 – obliczanie wartości funkcji symptomowej $X_S(t)$; ε_3 – obliczanie nowych wartości progowych (korekta, przesuwanie, rozsuwanie) – wariant 2

Wtedy równanie (8) przyjmuje postać:

$$K_{g-duk} = \frac{T_L}{T_L + T_R} \cong \frac{T_L}{T_L} = 1 \quad (10)$$

Można mówić w takim przypadku o pełnej gotowości (dostępności) progowego układu diagnozującego (kosztem dokładności odtworzenia funkcji opisującej).

3. Adaptacja progów

W algorytmie obliczeniowym wartości funkcji symptomowej, uzyskanej w wyniku przetwarzania wyników pomiarów progowych, zakłada się ustawianie dystansu pomiędzy wartościami progów przełączających jako odległości równej (lub bardzo bliskiej) szerokości rozkładu zakłóceń [3, 4, 5, 7]. W rzeczywistych układach oraz w eksperymentach i symulacjach, ze względu na nieidealnie stałą (przez cały okres eksploatacji progowego układu diagnozującego) szerokość rozkładu zakłóceń, korzystniejsze jest (ze względu na poprawę stabilności pracy układu progowego) ustawianie wartości progów przełączających z uwzględnieniem pewnego współczynnika „nieczułości” k_{pp} :

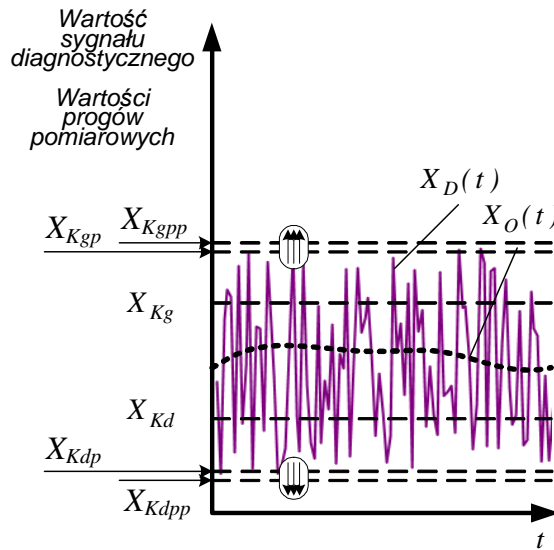
$$X_{K_{gpp}} = X_{K_{gp}} + k_{pp} (X_{K_{gp}} - X_{K_{dp}}) \quad (11)$$

$$X_{K_{dpp}} = X_{K_{dp}} + k_{pp} (X_{K_{gp}} - X_{K_{dp}}) \quad (12)$$

gdzie:

- X_{K_d}, X_{K_g} – wartości progów pomiarowych, odpowiednio: dolnego i górnego;
- $X_{K_{dp}}, X_{K_{gp}}$ – wartości progów przełączających, odpowiednio: dolnego i górnego;
- $X_{K_{dpp}}, X_{K_{gpp}}$ – wartości progów przełączających przesuniętych, odpowiednio: dolnego i górnego.

W dotychczas przeprowadzonych symulacjach w środowisku przemysłowym [9] określono wartość tego współczynnika w granicach (0,05÷0,1). Wprowadzenie takiej zmiany wartości progów przełączających istotnie poprawia stabilność układu pomiarowego poprzez znaczące zmniejszenie liczby przesunięć progów (nawet dwukrotne). Korekta taka wpływa zatem na zwiększenie współczynnika gotowości układu progowego pracującego według wariantu pierwszego.



Rys. 5. Ilustracja zmniejszenia czułości modułu przełączającego układu progowego.

Oznaczenia:

$X_O(t)$ – funkcja opisująca stan diagnozowanego obiektu (funkcja poszukiwana);

$X_D(t)$ – sygnał diagnostyczny – mierzony sygnał obciążony zakłóceniami:

$$X_D(t) = X_O(t) + X_Z(t)$$

$X_Z(t)$ – składowa zakłócająca sygnału diagnostycznego;

X_{Kd} , X_{Kg} – wartości progów pomiarowych, odpowiednio: dolnego i górnego;

X_{Kdpp} , X_{Kgpp} – wartości progów przełączających, odpowiednio: dolnego i górnego;

X_{Kdpp} , X_{Kgpp} – wartości progów przełączających przesuniętych, odpowiednio: dolnego i górnego

4. Dokładność odwzorowania funkcji opisującej

W celu dokładniejszego odwzorowania funkcji opisującej $X_O(t)$ można zastosować w układzie diagnozowania progowego moduł komparacyjno-decyzyjny pozwalający na:

- obliczanie wartości funkcji symptomowej na podstawie liczby przekroczeń tylko górnego progu pomiarowego (w przypadku kiedy liczba ta jest większa od liczby przekroczeń dolnego progu);
- obliczanie wartości funkcji symptomowej na podstawie liczby przekroczeń tylko dolnego progu pomiarowego (w przypadku kiedy liczba ta jest większa od liczby przekroczeń górnego progu);
- obliczanie wartości funkcji symptomowej $X_S(t)$ z użyciem liczby górnych ($X_{Sg}(t)$) i dolnych ($X_{Sd}(t)$) przekroczeń progów z uśrednianiem wartości (13):

$$X_S(t) = \frac{X_{Sg}(t) + X_{Sd}(t)}{2} \quad (13)$$

- odrzucanie wyników obliczeń dla i -tego odczytu testu w oknie dozorowania, jeśli różnica pomiędzy obliczonymi wartościami funkcji symptomowej na podstawie przekroczeń górnych i dolnych progów pomiarowych jest większa od a priori założonego tzw. dystansu odtworzeniowego (ε_{ODT}), tj. w przypadku spełnienia warunku (14):

$$\left| X_{Sg}(t) - X_{Sd}(t) \right| > \varepsilon_{ODT} \quad (14)$$

Podsumowanie

Analizując aspekty adaptacyjności w procesach diagnozowania progowego, poruszone w niniejszym opracowaniu, można wskazać dalsze wątki badań tego zagadnienia:

1. Dobór chwili rozpoczęcia oraz liczby powtórzeń procesu szacowania charakteru rozkładu zakłóceń – w aspekcie współczynnika gotowości progowego układu diagnozującego.
2. Dobór wartości współczynnika nieczułości w aspekcie stabilizacji zbędne-go dryftu wartości progowych wywoływanego np. nadmiernym zmniejszeniem dystansu między progami przełączającymi albo nieistotną zmianą w czasie charakteru rozkładu zakłóceń.
3. Zmniejszenie błędu odwzorowania funkcji opisującej $X_o(t)$ przez funkcję symptomową $X_s(t)$ na drodze odpowiednich, dynamicznych modyfikacji algorytmu obliczeniowego.

Opracowanie zawiera wyniki pracy naukowej finansowanej ze środków na naukę w latach 2010–2012 jako projekt badawczy nr 0684/B/T02/2010/38.

Bibliografia

1. Dąbrowski T., Bednarek M.: Niezawodność progowo-komparacyjnych procesów diagnozowania, XL Jubileuszowa Zimowa Szkoła Niezawodności, Szczyrk, styczeń 2012.
2. Będkowski L., Dąbrowski T.: Diagnozowanie na podstawie niepewnych syndromów stanu obiektu. Diagnostyka, Wyd. UWM Olsztyn, Vol. 37, 2006, s. 55–60.
3. Będkowski L., Dąbrowski T.: Aktywne utrzymywanie niezawodności efektu 2-progową metodą diagnostyczno-terapeutyczną, XXXVI Zimowa Szkoła Niezawodności „Metody utrzymania gotowości systemów”, Szczyrk, 7.01.2008–12.01.2008, s. 38–49.

4. Bednarek M., Będkowski L., Dąbrowski T.: Wybrane aspekty implementacji progowej metody aktywnego utrzymywania niezawodności efektu, XXXVI Zimowa Szkoła Niezawodności „Metody utrzymania gotowości systemów”, Szczyrk 7.01.2008–12.01.2008, s. 29–37.
5. Będkowski L., Dąbrowski T.: Dozorowanie stanu urządzeń technicznych oparte na progowych układach pomiarowych, XXXV Ogólnopolskie Sympozjum „Diagnostyka Maszyn”, Węgierska Górka 3.03.2008–8.03.2008 s. 39.
6. Fokow K.: Metoda pomiarów progowych z dyskretną adaptacją progów komparacyjnych, „Przegląd Elektrotechniczny”, Warszawa 2008, nr 5.
7. Fokow K., Będkowski L., Dąbrowski T., Kwiatos K.: Weryfikacja metody pomiarów progowych sygnału zakłóconego składową losową o rozkładzie równomiernym, „Przegląd Elektrotechniczny”, Warszawa 2009, vol. 11/2009, s. 79–82.
8. Dąbrowski T., Bednarek M., Fokow K.: Badanie i wnioskowanie diagnostyczne w przypadku niepewnych symptomów, „Przegląd Elektrotechniczny”, vol. 10/2011, s. 188–192.
9. Bednarek M., Dąbrowski T.: Implementacja metody pomiarów progowych w sterowniku przemysłowym, „Przegląd Elektrotechniczny”, vol. 9a/2011, s. 155–159.
10. Będkowski L., Dąbrowski T.: Podstawy eksploatacji. Część 2. Podstawy niezawodności eksploatacyjnej, Wydawnictwo WAT, Warszawa 2006.

Recenzent:
Wojciech BATKO

Threshold diagnostic process adaptability

Key words

Threshold diagnosing, threshold measurement methods, adaptability.

Summary

There are several aspects of the adaptation of the threshold measurement systems applied in diagnostic systems. The most common are as follows:

- The appropriate adjustment of measurement threshold levels for the amplitude and dynamics of the diagnostic signal $X_D(t)$;
- The adaptation of the length of supervision window to the dynamics of the signal $X_D(t)$; and,

- The selection of the efficient sampling frequency of the signal $X_D(t)$.

In this study, further adaptation possibilities of the measurement methods and thresholds that affect the reliability of the “threshold” of the diagnosis are pointed out. The most important issues in this context are as follows:

- The selection of appropriate window length for estimating the nature of the random variable signal disturbing diagnostic signal;
- The role of the stabilising coefficient of insensitivity of the threshold shift system; and,
- The tasks of the comparative-decision-making system for the selection of a calculating algorithm for the symptom function $X_S(t)$.