ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2007
Seria: GÓRNICTWO z. 280 Nr kol. 1765

Zygmunt SZYMAŃSKI
Politechnika Śląska, Gliwice

NOWOCZESNE UKŁADY STEROWANIA I DIAGNOSTYKI GÓRNICZYCH MASZYN PRZEPŁYWOWYCH

Streszczenie. W artykule przedstawiono modele matematyczne górniczych stacji wentylatorowych, złożone z wentylatorów promieniowych, układów napędowych zawierających: silnik synchroniczny lub silnik indukcyjny, elementów sterujących przepływem powietrza (zespół klap regulacyjnych, czujniki i przetworniki pomiarowe). Dla wybranej konstrukcji stacji wentylatorowej opracowano modele symulacyjne w programie MATLAB – Simulink. W układach sterowania i diagnostyki stacji zastosowano komputer przemysłowy. W artykule przedstawiono przykładowe algorytmy sterujące, zapewniające bieżącą kontrolę parametrów stacji, diagnostykę wybranych elementów stacji oraz sygnalizację stanów awaryjnych. Wyniki obliczeń symulacyjnych były zweryfikowane w warunkach rzeczywistych KWK.

MODERN CONTROL AND DIAGNOSTIC SYSTEMS OF MINING FLOWING MACHINES

Summary. In the paper present's a mathematical models of fun mine stations, composed with radial fun and drives systems containing: induction or synchronous motors, air flow control elements (group of regulating traps, sensors and measurements converters). For selected construction of the fan stations realized a simulations models in **MATLAB** –Simulink program. In diagnostic and control systems applied an industrial computer. The paper present's a selected control algorithms, assured on line monitoring of stations parameters, diagnostics of selected stations elements, and signalling of damage stations states. Results of computer calculations were verified in industrial conditions.

1. Wprowadzenie

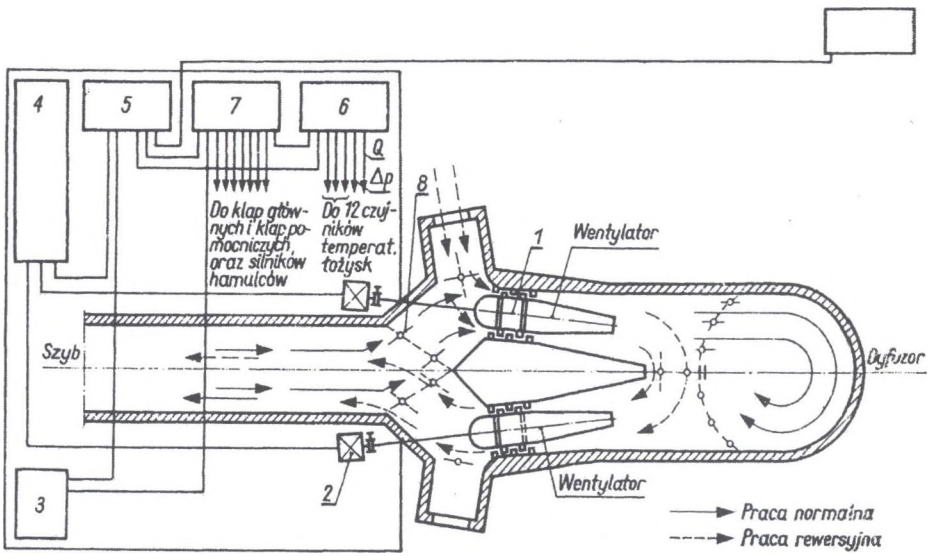
Jednym z elementów restrukturyzacji polskiego górnictwa jest likwidacja lub łączenie kopalń. Wiąże się to ze zmianami struktury sieci wentylacyjnej oraz ze zmianami parametrów przewietrzania (wydajność i spiętrzenie). Parametry przewietrzania można regulować przez: zmianę prędkości obrotowej wentylatora, zmianę ustawienia aparatu kierowniczego oraz dła-

wienie na zasuwach w kanałach wentylacyjnych. W napędach wentylatorów głównego przewietrzania stosowane są silniki synchroniczne oraz silniki indukcyjne [2]. Napędy wentylatorów głównych należą do podstawowych napędów w kopalniach węgla kamiennego. W stacjach wentylatorowych stosowane są napędy rezerwowe, gwarantujące ciągłość procesu przewietrzania kopalni (szczególnie w kopalniach metanowych) [2]. Większość eksploatowanych obecnie stacji posiada wyposażenie elektryczne sprzed około 20 lat. Dlatego podjęto prace badawcze, których celem jest opracowanie zmodernizowanych układów sterowania oraz diagnostyki pracy maszyn przepływowych (w szczególności stacji wentylatorowych), przy wykorzystaniu techniki mikroprocesorowej. Nowoczesne układy sterowania wyeliminują większość elementów stykowych z układów regulacji, upraszczając układy sterowania stacji wentylatorowej, zwiększą równocześnie jej funkcjonalność i niezawodność, zapewnią także automatyczny rozruch wentylatora rezerwowego podczas awarii wentylatora podstawowego. Zastosowanie układów podtrzymania sieci UPS umożliwi pewne i niezależne sterowanie każdego z wentylatorów. W artykule przedstawiono modele matematyczne górniczych stacji wentylatorowych, złożone z wentylatorów promieniowych, układów napędowych zawierających: silnik synchroniczny lub silnik indukcyjny, elementów sterujących przepływem powietrza (zespół klap regulacyjnych, czujniki i przetworniki pomiarowe), oraz algorytmy sterujące zapewniające bieżącą kontrolę parametrów stacji, diagnostykę wybranych elementów stacji oraz sygnalizację stanów awaryjnych. Wyniki obliczeń symulacyjnych zweryfikowano w warunkach przemysłowych.

2. Kopalniane stacje wentylatorowe

Stacja wentylatorowa musi zapewniać przewietrzanie kopalni w sposób ciągły, pomimo zatrzymania wydobycia lub wystąpienia stanów awaryjnych. Dlatego powinna być wyposażona w dwa niezależnie wentylatory, z których jeden jest główny, a drugi rezerwowy [1, 2]. Układ sterowania stacji powinien być tak zaprojektowany, aby gwarantował bezzwłoczne załączenie urządzeń rezerwowych. Schemat poglądowy stacji wentylatorowej przedstawiono na rys.1. Stacja wentylatorowa jest wyposażona w aparaturę kontrolno-pomiarową, która umożliwia przeprowadzanie pomiarów w czasie rzeczywistym oraz ich rejestrację, archiwizację i transmisję do jednostki centralnej. W stacji wentylatorowej przeprowadza się następujące pomiary wentylacyjne: wydajność wentylatora, depresja lub kompresja powietrza, temperatura powietrza w dyfuzorze, pomiary fizyczne: temperatura łożysk wentylatora, ciśnienie oleju

w obiegu smarowniczym, oraz pomiary elektryczne: napięcie zasilania, prądy stojana, prądy wzbudzenia, prędkość obrotowa silnika [2, 4, 5]. W zależności od wskazań urządzeń kontrolno-pomiarowych przeprowadza się regulację odpowiednich parametrów wentylatora oraz prognozuje potencjalne stany awaryjne.



Rys. 1. Schemat stacji wentylatorów głównego przewietrzania kopalni
Fig. 1. Scheme of fan stadion of the main ventillations of the mine

Stacja wentylatorowa umożliwia także przeprowadzanie rewersji przepływu powietrza w kanale wentylacyjnym. Zasuwy są wykorzystywane do zamknięcia kanału wlotowego podczas rozruchu wentylatora. Są one napędzane silnikami elektrycznymi sterowanymi ręcznie lub automatycznie. Stacja wentylatorowa powinna mieć stałą obsługę. Wszelkie informacje o pracy wentylatora oraz stany awaryjne przesyłane są do dyspozytora.

3. Model symulacyjny kopalnianej stacji wentylatorowej

Wentylatory głównego przewietrzania kopalni są napędzane silnikami indukcyjnymi (klatkowymi lub pierścieniowymi) lub synchronicznymi. W stacjach wentylatorowych z regulacją wydajności przez zmianę prędkości obrotowej stosowane są głównie silniki indukcyjne pierścieniowe w układzie kaskady podsynchronicznej [1] lub silniki klatkowe zasilane z pośredniego przemiennika częstotliwości [5]. Analiza stanów dynamicznych stacji wentylatorowych powinna zawierać aerologiczne stany dynamiczne zachodzące w sieci wentylacyjnej

kopalni oraz elektromagnetyczne i elektromechaniczne stany dynamiczne zachodzące w układzie napędowym: wentylator – silnik napędowy. W artykule ograniczono się do analizy stanów dynamicznych układu napędowego wentylatora, zakładając stan quasi-ustalony w sieci wentylacyjnej. Dynamikę synchronicznego silnika napędowego wentylatora opisuje następujący układ równań różniczkowych:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} i_d &= \frac{1}{L}\left(u_d - R\, i_d + p_b \Omega_m L i_q\right) \\ \frac{d}{dt} i_q &= \frac{1}{L}\left(u_q - R\, i_q - p_b \Omega_m \left(L i_d + \Psi_f\right)\right) \\ \frac{d}{dt} \Omega_m &= \frac{1}{J}\left(\frac{p_b}{2} \Psi_f i_q - T_L\right) \end{aligned} \tag{1}$$

Dynamikę indukcyjnego silnika napędowego opisuje układ równań różniczkowych w postaci:

$$\begin{aligned} u_s &= R_s i_s + \left(L_{\delta s} + L_s\right)\frac{di_s}{dt} + M_{s,w}\frac{di_w}{dt} \\ u_w &= R_w i_w + \left(L_{\delta w} + L_w\right)\frac{di_w}{dt} + M_{s,w}\frac{di_s}{dt} \\ M &= \sum_{k=1}^{n}\left(i_{sk} M_{s,w,k} \frac{\partial}{\partial t} i_{w,k}\right) \\ M - M_{obc} &= J_z \frac{d\omega_M}{dt} \end{aligned} \tag{2}$$

gdzie: i_s, i_w, u_s, u_w – odpowiednio prądy i napięcia fazowe uzwojeń stojana i wirnika,

R_s, R_w, L_s, L_w – odpowiednio rezystancje i indukcyjności własne uzwojeń stojana i wirnika,

$L_{\delta s}$, $L_{\delta w}$ – indukcyjności rozproszenia uzwojeń stojana i wirnika,

$M_{s,w}$ – indukcyjność wzajemna uzwojeń stojana i wirnika,

Rzeczywisty układ uzwojeń silnika indukcyjnego w naturalnym układzie współrzędnych zastąpiono układem ortogonalnym α, β. Układ równań silnika (2) po transformacji: $\alpha\beta$ przyjmuje postać:

$$\begin{aligned} \frac{d\psi_{s\alpha}}{dt} &= -\alpha\psi_{s\alpha} + \alpha K_r \psi_r{}^{(s)}{}_\alpha + u_{s\alpha} \\ \frac{d\psi_{s\beta}}{dt} &= -\alpha\psi_{s\beta} + \alpha K_r \psi_{r\beta}{}^{(s)} + u_{s\beta} \\ \frac{d\psi_r{}^{(s)}{}_\beta}{dt} &= \beta K_s \psi_{s\beta} - \beta\psi_r{}^{(s)}{}_\beta + \Omega\psi_{r\alpha}{}^{(s)} + u_{r,\beta}{}^{(s)} \\ \frac{d\psi_r{}^{(s)}{}_\alpha}{dt} &= \beta K_s \psi_{s\alpha} - \beta\psi_r{}^{(s)}{}_\alpha + \Omega\psi_{r,\beta}{}^{(s)} + u_{r,\alpha}{}^{(s)} \\ \frac{d\Omega}{dt} &= \frac{3p^2 K_r}{2\sigma L_s J}\left[\psi_{s\beta}\psi_r{}^{(s)}{}_\alpha - \psi_{s\alpha}\psi_r{}^{(s)}{}_\beta\right] - \frac{p}{J} M_m \end{aligned} \tag{3}$$

gdzie:

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_s L_r}, \quad K_s = \frac{L_m}{L_s}, \quad K_r = \frac{L_m}{L_r}, \quad \alpha = \frac{R_s}{\sigma L_s}, \quad \beta = \frac{R_r}{\sigma L_r},$$

σ – wypadkowy współczynnik rozproszenia uzwojeń silnika,

K_s, K_r – współczynniki sprzężenia uzwojeń stojana i wirnika.

Moment elektromagnetyczny silnika oblicza się z relacji:

$$M_M = \frac{3pL_m}{2(L_s L_w - L_m^2)}\left[\Psi_{s\beta}\Psi_{w,\alpha}^{(s)} - \Psi_{s\alpha}\Psi_{w,\beta}^{(s)}\right] \tag{4}$$

Dynamikę ruchu powietrza w lutni wentylatora promieniowego opisuje równanie Bernoulliego [1, 2]):

$$p + hg\rho + 0{,}5\rho v^2 = const \tag{5}$$

gdzie: p – depresja lub kompresja wentylatora,

v – prędkość wirowania turbiny,

ρ – gęstość powietrza w danej temperaturze.

Dla wentylatorów kopalnianych operuje się pojęciem depresji (kompresji): całkowitej H_c i statycznej H_{st}. Wielkości te zależą od parametrów: lutni, dyfuzora oraz od prędkości wirowania turbiny wentylatora. Zależność depresji całkowitej od parametrów konstrukcyjnych wentylatora opisuje w sposób uproszczony wyrażenie:

$$H_c = H_{st} + \frac{\chi_p \omega_w^2 R_w}{2g} \tag{6}$$

Wydajność wentylatora określa się z relacji:

$$Q_w = S_{zast}\omega_w R_w \tag{7}$$

Wypadkowy moment obciążenia sprowadzony na wał silnika napędzającego wentylator przez przekładnię o przełożeniu i_p oblicza się z relacji:

$$M_w = S_{zast} i_p \eta_p \left(\frac{H_{st} R_w}{\eta_w} + \frac{\chi_p R_w^3 \omega_w^2}{\eta_w 2g\, i_p^2}\right) \tag{8}$$

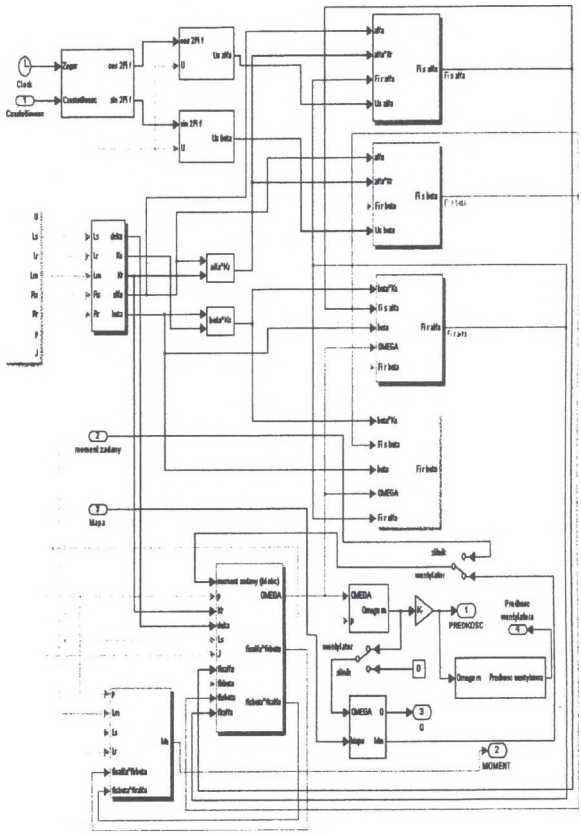
Równania (1)-(8) umożliwiają opracowanie modelu symulacyjnego wentylatora kopalnianego. Do budowy schematu blokowego wykorzystano procedury programu MATLAB - Simulink 6,5 [3]. Przykładowy schemat blokowy układu napędowego: silnik synchroniczny + wentylator przedstawiono na rys.2. Model symulacyjny umożliwia zmianę parametrów zasilania silnika napędowego (napięcie zasilania stojana, częstotliwość zasilania) oraz parametrów wentylatora (przekrój powierzchni lutni oraz dyfuzora). Analizę procesów symulacyj-

nych przeprowadzono przy pominięciu dynamiki sieci wentylacyjnej, wprowadzono natomiast wypadkową charakterystykę otworu zastępczego wentylatora [3, 5]. To założenie upraszczające może częściowo zniekształcać uzyskane wyniki obliczeń komputerowych.

4. Nowoczesny układ sterowania kopalnianej stacji wentylatorowej

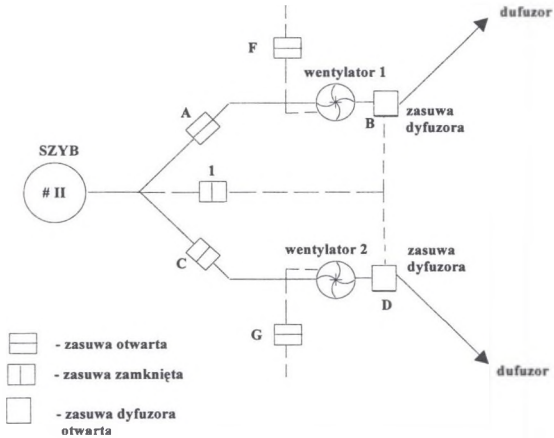
Analizę przeprowadzono dla układu wentylacyjnego stacji złożonego z silnika indukcyjnego napędzającego wentylator promieniowy WPK 3.9, z regulacją wydajności za pomocą aparatu kierowniczego. Sterowanie oraz regulacja położenia łopatek aparatu kierowniczego odbywa się w sposób automatyczny. Kanały wentylacyjne posiadają układ zasuw, których zamykanie bądź otwieranie zadawane jest przez sterownik PLC według wcześniej zaprogramowanej sekwencji. Podczas rozruchu zasuwa znajdująca się na wlocie wentylatora jest zamykana w celu zmniejszenia momentu obciążenia. Sygnalizacja położenia klap widoczna na panelu operatorskim jest sterowana bezpośrednio z przekaźników powielających styki wyłączników krańcowych. Czas zmiany położenia zasuw z jednego skrajnego położenia w drugie jest kontrolowany przez sterownik. Schemat układu stacji przedstawiono na rys.3, a schemat algorytmu sterowania na rys.5. Jeżeli w założonym czasie nie zadziała wyłącznik krańcowy sygnalizujący przestawienie klapy, sterownik sygnalizuje awarię i włącza układ rezerwowego wentylatora. Program sterowania stacją wentylatorową napisany jest w języku Step 7 w formacie LAD i STL z wykorzystaniem bloków funkcyjnych FBI. Program główny składa się z bloków programowych podzielonych pod względem wykonywanych funkcji; bloki te zawierają moduły zaprogramowane przez producenta, tabele deklaracji zmiennych oraz poszczególne podprogramy. Strukturę organizacyjną programu przedstawiono na rys.4. System nadzoru pracy wentylatorów głównego przewietrzania zaprojektowano w ten sposób, aby operator posiadał pełny zestaw informacji o stanie rzeczywistym wszystkich urządzeń stacji wentylatorowej. Jako terminal graficzny zastosowano monitor z komputerem PC podłączonym przez sieć przemysłową PROFIBUS ze sterownikiem PLC. Zastosowanie sieci przemysłowej pozwala na zamontowanie panelu operatorskiego w oddalonej od stacji wentylatorów dyspozytorni. Do wizualizacji wykorzystano program WIN CC v 6.0 firmy SIEMENS, który umożliwia sterowanie, nadzór oraz monitorowanie cyklu pracy urządzeń stacji głównego przewietrzania. Wizualizacja w tym programie polega na prezentacji przebiegu i stanu

procesu za pomocą struktury plansz (stron), przedstawiających różne obszary technologiczne jako grafika bitmapowa.



Rys. 2. Schemat blokowy stacji wentylatorowej w programie MATLAB - Simulink
Fig. 2. Block scheme of fan station in MATLAB - Simulink program

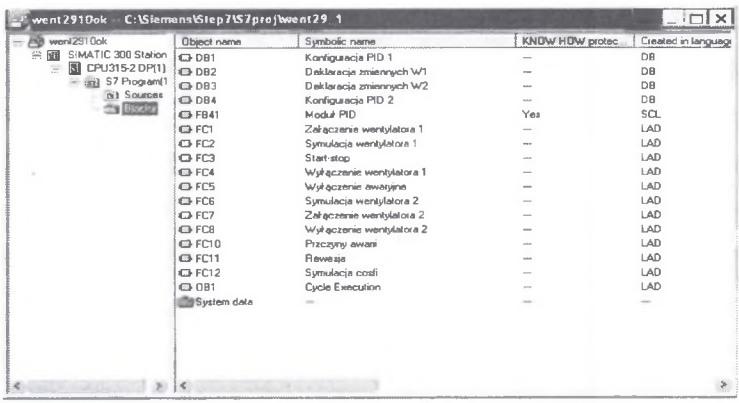
Pojedyncza strona to ekran z naniesionymi obiektami animowanymi na podstawie wartości mierzonej lub zdefiniowanej w algorytmie sterowania. Każda plansza przedstawiona na ekranie modułu graficznego uzupełniona jest o stałe pola, na których wyświetlany jest czas, data, nazwa planszy oraz komunikat słowny o zaistniałej awarii, jeżeli taka nastąpi. Do wizualizacji prezentowanego na terminalu stanu pracy stacji głównego przewietrzania zaprojektowano zestaw plansz. Przykład wizualizacji pracy stacji wentylatorowej przedstawiono na rys.6.



Rys. 3. Schemat układu wentylacyjnego stacji
Fig. 3. Scheme of ventilation station system

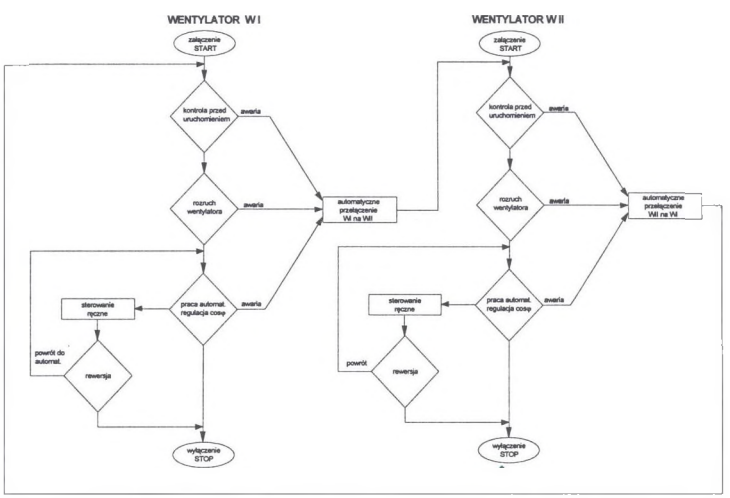
4. Diagnostyka układu napędowego stacji wentylatorowej

Niezawodność pracy górniczych maszyn przepływowych napędzanych silnikami indukcyjnymi zależy w znacznym stopniu od prawidłowej oceny stanu technicznego ich obwodów: elektrycznych, elektromechanicznych oraz mechanicznych. Ocenę można zrealizować w sposób globalny – wykorzystując centralne stanowisko diagnostyczne, lub w ograniczonym zakresie – wykorzystując elementy diagnostyczne zainstalowane w maszynie. Diagnostykę globalną powinno się przeprowadzać w sposób okresowy lub w terminach wynikających z eksploatacji, a uzgodnionych między użytkownikiem i wytwórcą, albo po awarii spowodowanej wadą konstrukcyjną maszyny czy względami eksploatacyjnymi [1, 2].



Rys. 4. Struktura organizacyjna programu sterowania i diagnostyki stacji wentylatorowej
Fig. 4. Organization structure of control and diagnostic program of fan station

Ocena lokalna powinna być realizowana przed każdym uruchomieniem maszyny. W ramach diagnostyki lokalnej sprawdza się stan techniczny: silnika napędowego, układu zasilania, obwodów sterowania i zabezpieczeń, parametry i stan techniczny elementów mechanicznych: bębny napędowe, sprzęgło, łożyska, łopatki turbiny, mechanizmy napędowe klap dyfuzora, ocenia się również skuteczność pracy układu hamulcowego. Dla uzyskania możliwie pełnej automatyzacji badań diagnostycznych maszyny muszą być wprowadzone odpowiednie zmiany w wyposażeniu i w budowie zespołu napędowego: wydzielenie obwodów pomiarowych z obwodów zasilania, obwodów sterowniczych oraz zabezpieczeń; wyprowadzenie obwodów kontrolno-pomiarowych do złącza diagnostycznego, separacja optoelektroniczna obwodów pomiarowych, zastosowanie odpowiednich interfejsów do komunikacji z komputerem nadrzędnym, zastosowanie magistrali przesyłowej umożliwiającej transmisję danych [4, 5].



Rys. 5. Schemat blokowy algorytmu sterowania wentylatora
Fig. 5. Block scheme of the control algorithms a fan

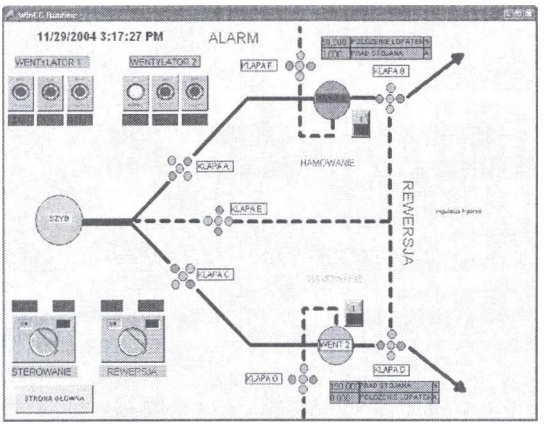
W układzie pomiarowym muszą być umieszczone czujniki i przetworniki pomiarowe zapewniające kontrolę i pomiary parametrów: elektrycznych, elektromechanicznych oraz wentylacyjnych w czasie rzeczywistym. Centralne stanowisko diagnostyczne sterowane z mikrokomputera jest wyposażone w urządzenia umożliwiające realizację badań technicznych: układu elektromechanicznego, układu mechanicznego oraz układu hamulcowego. Wszystkie wyniki pomiarów są przechowywane w pamięci mikrokomputera nadrzędnego. Specjalny program symulacyjny Diagwent (opracowany przez autora) oraz odpowiednie czujniki i przetworniki pomiarowe umożliwiają realizację pomiarów w sposób automatyczny lub ręczny. Wyniki obliczeń numerycznych i symulacyjnych uzyskanych na podstawie modeli matema-

tycznych silników napędowych, zasilacza przekształtnikowego oraz wentylatora są prezentowane w sposób tabelaryczny i graficzny na ekranie monitora oraz drukowane w postaci protokołu badań diagnostycznych.

Przykładowy schemat blokowy algorytmu sterowania i diagnostyki przedstawiono na rys.5. Ocenę stanu technicznego silnika napędowego można przeprowadzić przy wykorzystaniu: wyników analizy harmonicznych prądu stojana przy zasilaniu trójfazowym i dwufazowym, analizę sygnału napięciowego indukowanego w dodatkowym uzwojeniu umieszczonym w żłobkach stojana lub stosując metody wibromechaniczne. Metody te gwarantują dokładną diagnostykę silnika, ale ich zastosowanie wymaga jednak złożonych układów pomiarowych, dlatego stosowane są przede wszystkim przy diagnostyce globalnej. Przy bieżącej kontroli stanu technicznego silnika napędowego można ograniczyć zakres pomiarów do pomiarów: rezystancji uzwojeń stojana, rezystancji uzwojenia wzbudzenia, rezystancji izolacji uzwojenia stojana, kontroli stanu technicznego klatki rozruchowej oraz łożysk silnika. Ocenę stanu technicznego układu zasilania (zasilacz przekształtnikowy) przeprowadza się, sprawdzając: elementy wykonawcze, zabezpieczenia zwarciowe oraz realizując programy testujące umieszczone w pamięci sterownika mikroprocesorowego (nastawy zabezpieczeń przeciążeniowych, zwarciowych, kontrola ciągłości napięć zasilających oraz obwodów sprzężeń zwrotnych). Do diagnostyki układu mechanicznego i wentylacyjnego stacji wentylatorowej wykorzystuje się sygnały z czujników umieszczonych na bębnach napędowych oraz w dyfuzorze i w kanałach wentylacyjnych. Są to przede wszystkim czujniki temperatury łożysk, inteligentne czujniki uszkodzeń przekładni oraz czujniki do pomiaru wydajności i ciśnienia statycznego i dynamicznego. Sygnały z czujników są przesyłane do komputera nadrzędnego, gdzie są wykorzystywane zarówno do optymalnego sterowania pracą wentylatora, jak i dla celów diagnostycznych.

Do realizacji badań diagnostycznych maszyny przepływowej wykorzystano sterowniki mikroprocesorowe: Simatic S7-400 oraz Simadyn-400. Sterowniki te realizują różne funkcje: diagnostyczne, sterujące, komunikacyjne i dokumentacyjne. Sterowniki Simatic S7-400 oraz Simadyn-400 mogą współpracować z analogowymi i cyfrowymi urządzeniami pomiarowymi. Język programowania sterowników umożliwia automatyczne przesyłanie sygnałów z przetworników pomiarowych do odpowiednich modułów wejściowych i wyjściowych sterownika, natomiast realizacja złożonych algorytmów funkcyjnych, przechowywanie i obróbkę matematyczną wyników pomiarów, wizualizację graficzną realizowanych operacji - na ekranie monitora lub w postaci komentarza na wyświetlaczu panelu operacyjnego oraz na tablicy synoptycznej [4, 5]. Panel operacyjny może być umieszczony w sposób trwały na pulpicie operatora

lub instalowany tylko na czas pomiarów. Zawiera on zestaw przycisków kontrolnych oraz wyświetlacz ciekłokrystaliczny. Panel kontrolny umożliwia przeprowadzenie kontroli nastaw zabezpieczeń zwarciowych i przeciążeniowych modułów wykonawczych oraz ocenę stanu technicznego: silnika napędowego, zasilacza tranzystorowego obwodu siłowego oraz obwodu sterowania [4].



Rys. 6. Schemat wizualizacyjny panelu sterowania stacji wentylatorowej
Fig. 6. Visualization scheme of control panel a fan station

Bieżąca kontrola stanu technicznego maszyny jest zrealizowana na diodach elektroluminescencyjnych typu LED: czerwona - sygnalizuje stan awaryjny, żółta - sygnalizuje przeciążenie oraz zielona - sygnalizuje stan normalny. Sterowanie maszyny odbywa się w sposób lokalny - z pulpitu sterowniczego lub w sposób automatyczny przez program operacyjny umieszczony w mikrokontrolerze. Przykładowy schemat panelu wizualizacyjnego przedstawiono na rys.6. Badania kontrolne przeprowadzono na rzeczywistym obiekcie stacji wentylatorowej w KWK. Wstępne wyniki badań przemysłowych potwierdziły przydatność proponowanej metody badań diagnostycznych.

5. Zakończenie

Zastosowanie komputerów przemysłowych w układach sterowania maszyn przepływowych zapewnia realizację złożonych algorytmów sterujących i sterowanie automatyczne stacji wentylatorowych. Do sterowania systemami wentylacyjnymi w sposób ciągły i niezawodny niezbędne są nowoczesne czujniki pomiarowe, sterowniki mikroprocesorowe do przetwarzania wielkości pomiarowych. Dla zwiększenia niezawodności oraz trwałości pracy wentylato-

rów muszą być przeprowadzane pomiary diagnostyczne, które zapewniają właściwą kontrolę poszczególnych zespołów stacji wentylatorowej oraz zapobiegają w znacznym stopniu awariom. Wprowadzenie nowoczesnych metod diagnostycznych wiąże się ze znacznymi kosztami inwestycyjnymi, ale rachunek ekonomiczny powinien skłonić kopalnie do modernizacji układów sterowania i wprowadzenie procedur diagnostycznych do systemów sterujących.

LITERATURA

1. Kocurek J.: Kaskady tyrystorowe z ograniczonym zakresem regulacji prędkości w napędach pomp, sprężarek i wentylatorów. Zeszyty BOBRME „Maszyny elektryczne" nr 50, Katowice 1995.
2. Krasucki F.: Elektryfikacja podziemi kopalń. Wydawnictwo Śląsk, Katowice 1997.
3. Osowski T.: Modelowanie cyfrowe z wykorzystaniem programu Matlab-Simulink. WNT, Warszawa 2000.
4. Szymański Z.: Nowoczesne metody sterowania i automatyzacji pracy kopalnianych stacji wentylatorowych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa nr 12, Katowice 2004.
5. Szymański Z.: Nowoczesne metody diagnostyki górniczych maszyn przepływowych. Mechanizacja i Automatyzacja Górnictwa nr 6, Katowice, 2007.

Recenzent: Dr hab. inż. Kazimierz Jaracz, prof. Akademii Pedagogicznej w Krakowie