
WYBRANE PROBLEMY INŻYNIERSKIE

NUMER 2

INSTYTUT AUTOMATYZACJI PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH
I ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW WYTWARZANIA

Weronika HUSS*

Instytut Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Politechnika Wrocławska, Wrocław
*weronika.huss@pwr.wroc.pl

CYFROWY REJESTRATOR DANYCH JAKO ELEMENT SIECI POMIAROWEJ DO MONITORINGU DYNAMIKI KONSTRUKCJI MASZYN GÓRNICICTWA ODKRYWKOWEGO

Streszczenie: Artykuł prezentuje budowę i funkcje rejestratora danych zaprojektowanego i skonstruowanego w Zakładzie Inżynierii Niezawodności i Diagnostyki Politechniki Wrocławskiej. Nosi on nazwę *cyfrowy rejestrator danych* i działa w układzie sieciowym wraz innymi rejestratorami tego typu oraz (opcjonalnie) z komputerem. Taki sposób akwizycji danych pomiarowych został zaprojektowany z myślą o monitorowaniu kilku rodzajów wielkości informujących o stanie eksploatacyjnym maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego, w szczególności koparek kołowych. Takie warunki pracy charakteryzują się dużym rozrzuceniem przestrzennym punktów pomiarowych, a najczęściej mierzone sygnały pochodzą z przetworników tensometrycznych. Mimo to system ten nadaje się również do współpracy z innymi czujnikami i w odmiennych warunkach pracy.

1. Wstęp

Ustroje nośne maszyn podstawowych górnictwa odkrywkowego z racji swych gabarytów i charakteru pracy stanowią interesujące wyzwanie nie tylko z punktu widzenia ich konstruowania i eksploatacji, ale również w zakresie techniki pomiarowej. Pomiarowi podlegają wielkości pochodzące z kilku punktów diagnostycznych, rozmieszczonych w znacznej odległości i niejednokrotnie przemieszczających się względem siebie. W tej sytuacji standardowe połączenia kablowe bywają trudne do zainstalowania, co skutkuje komplikowaniem torów pomiarowych. Taka sytuacja utrudnia konserwację układu pomiarowego, a co za tym idzie, sprzyja awariom. Wzrastają również zakłócenia pomiarowe.

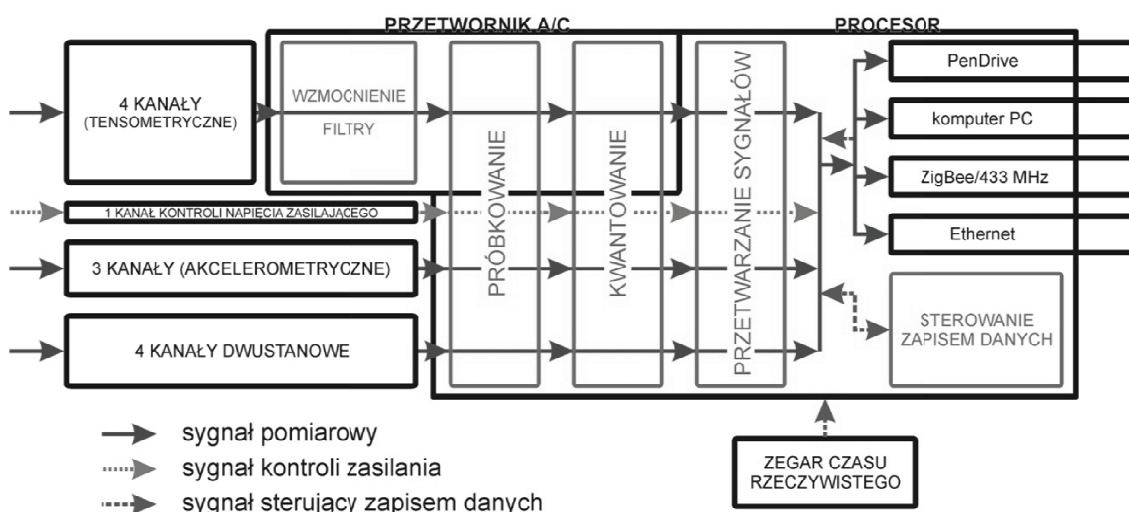
Wymaga się, by układ pomiarowy pracujący na konstrukcjach koparek dokonywał ciągłej rejestracji danych przez okres od tygodnia do kilku miesięcy. Wiąże się to z dodatkowymi warunkami dotyczącymi urządzeń rejestrujących. Powinny mieć niewielkie rozmiary i nie muszą być stale połączone z komputerem.

Brak w ofercie rynkowej rejestratora spełniającego powyższe wymagania, dodatkowo przy możliwie najniższym koszcie, było bodźcem do zaprojektowania układu pomiarowego, który pozwalałby na prowadzenie monitoringu konstrukcji w dowolnym jej miejscu, a jednocześnie charakteryzowałby się łatwością obsługi, wysoką jakością rejestrowanego sygnału i niskim

kosztem wykonania i użytkowania. Zaproponowano więc układ diagnostyczny w postaci sieci dowolnej liczby lokalnych rejestratorów – cyfrowych rejestratorów danych. Poszczególne rejestratory mogą skupiać jedynie najbliższe znajdujące się czujniki, dzięki czemu pozostają tylko przewody doprowadzające sygnał z czujników do rejestratora. Dostępna obecnie technologia umożliwi przesłanie sygnału z czujników bezpośrednio do jednego, centralnego rejestratora poprzez łącze radiowe. Jednakże w przypadku omawianego systemu pozostawienie tych połączeń przewodowych jest celowe ze względu na konieczność zasilania przetworników tensometrycznych. W takiej sytuacji połączenia te można wykorzystać również do przesyłania sygnału pomiarowego. Upraszcza to budowę całego systemu i zmniejsza jego energochłonność.

2. Budowa i funkcje rejestratora

Podstawowym elementem opisanego systemu pomiarowego jest wspomniany cyfrowy rejestrator danych. Ma on swoje początki w latach siedemdziesiątych ubiegłego stulecia [1] i w miarę zwiększania się dostępności nowych technologii rozwijany jest nadal. Jego podzespoły i ich funkcje w obecnym kształcie ilustruje schemat na rys. 1.



Rys.1. Podzespoły, ich funkcje oraz przepływ sygnałów w CRD
Fig.1. Parts, their functions and flow of signals in CRD

Cyfrowy rejestrator danych wyposażono w dwanaście wejść:

- cztery wejścia analogowe różnicowe (rys. 1, pierwsze 4 kanały), połączone są bezpośrednio z przetwornikami A/C zapewniającymi 250-krotne wzmocnienie i 24-bitową rozdzielczość oraz częstotliwość próbkowania do 400 Hz. Następnie sygnały trafiają do procesora, gdzie otrzymują etykietę (czas rozpoczęcia zapisu i opis jego parametrów), następuje ich ewentualna obróbka matematyczna (np. widmo częstotliwościowe), przekazanie do zapisu na wybrany przez użytkownika sposób, mogą również zostać wykorzystane do sterowania zapisem (rys. 1, linia przerywana). Oryginalnie wejścia przeznaczone do współpracy z mostkami tensometrycznymi;

- pojedynczy 10-bitowy kanał, do którego doprowadzone jest napięcie ze źródła zewnętrznego zasilającego Rejestrator służy do kontroli stanu zasilania. Procesor porównuje wartość podaną przez wejście z określoną wartością dopuszczalną i w razie konieczności w kontrolowany sposób wyłącza urządzenie (rys. 1, pojedynczy kanał, linia kropkowana);
- następne trzy wejścia analogowe (bez możliwości regulacji wzmocnienia) sterowane są multiplekserem. Mają one rozdzielczość dziesięciu bitów i zakres pomiarowy od 0 do 3 V. Sygnał z nich pochodzący zostaje przetworzony na cyfrowy przez procesor. Podobnie jak w poprzednich przypadkach procesor dokonuje również etykietowania, obróbki matematycznej i przekazania sygnałów do zapisu. Są to wejścia ogólnego przeznaczenia, np. czujniki przyspieszeń, potencjometry drogi, kąta obrotu itp.;
- kolejne cztery wejścia zostały zaprojektowane jako wejścia dwustanowe. Wejścia te są optycznie separowane, co zabezpiecza urządzenie przed przepięciami do 1,5 kV.

Zegar czasu rzeczywistego pobiera aktualną datę i godzinę po uzyskaniu połączenia z komputerem. Funkcja zegara w CRD polega na synchronizacji w czasie sygnałów pochodzących z kilku rejestratorów i umożliwia umieszczenie pomiaru w przestrzeni czasowej (przydatne np. podczas monitorowania zmian w dynamice maszyny lub w analizie jej zachowania w odniesieniu do konkretnych zjawisk).

Wówczas gdy rejestrator ma pozostać samodzielnie na stanowisku pomiarowym, wybiera się zapis danych na pamięć pendrive'a. Istnieje również możliwość posługiwania się nią do programowania rejestratora, choć standardowo stosowane jest połączenie z komputerem poprzez złącze USB. Rejestracja sygnałów pomiarowych oraz sterowanie pracą rejestratorów może się również odbywać poprzez zainstalowane złącze ethernetowe. Podłączenie do Internetu umożliwia przesył danych na dowolne odległości, jednakże w tym celu konieczne jest istnienie stałego połączenia. Do zmiany nastaw rejestracji i odbioru niewielkiej ilości danych (np. możliwe są do odbioru informacje głosowe, jednak nie w przypadku szybko próbkowanych sygnałów z kilku kanałów) stosować można również łącze radiowe w technologii ZigBee. Wykorzystywany przez nie protokół IEEE 802.15.4 charakteryzuje się wysoką niezawodnością. Umożliwia on również zmianę częstotliwości przesyłu (dla uniknięcia interferencji) i daje możliwość wyboru poziomu bezpieczeństwa.

Zasilanie CRD realizowane jest w dwojaki sposób – przez zasilacz z gniazda sieciowego lub z zewnętrznego akumulatora. Akumulator ten, zależnie od dobranego napięcia, może służyć do zasilania pracy rejestratora przez ograniczony czas lub jako zabezpieczenie w razie chwilowych spadków napięcia w sieci. Oba źródła zasilania zapewniają napięcie w zakresie 3,5 – 15 V. Do utrzymania stałego napięcia 5 V służy zainstalowana w rejestratorze przetwornica, nadzorowana przez procesor za pomocą kanału kontroli zasilania (rys. 1, linia kropkowana). Istotną oszczędność energii (w zależności od częstotliwości próbkowania sygnału – do 60%) można osiągnąć przez impulsowe zasilanie mostków tensometrycznych. Jest ono załączane tylko na czas pomiaru. Proces ten kontrolowany jest przez procesor, który steruje przetwornikiem w taki sposób, aby przekazywał on napięcie na mostki tylko na czas pobierania próbki.

3. Funkcje CRD

Do obsługi CRD napisano specjalistyczny program, do którego dostęp można uzyskać poprzez bezpośrednie połączenie z komputerem (USB), pamięć pendrive, złącze ethernetowe lub połączenie radiowe ZigBee.

Oprogramowanie umożliwia:

- regulację nastaw rejestracji i przetwarzania sygnałów,
- uaktywnianie dowolnych kanałów pomiarowych,
- jednoczesne zarządzanie pracą wielu rejestratorów (komunikacja radiowa i internetowa),
- przypisanie każdemu rejestratorowi indywidualnego identyfikatora (potrzebnego w przypadku zarządzania kilkoma rejestratorami),
- wybór sposobu wyzwolenia rejestratora (ręcznie, po określonym czasie lub po osiągnięciu przez sygnał określonej wartości),
- zaprogramowanie opóźnienia startu rejestracji,
- wybór miejsca zapisu próbek,
- podgląd stanu naładowania akumulatora,
- podgląd przebiegów zarówno on-line, jak i uprzednio zapisanych – w formie wykresu i wartości liczbowych,
- przeglądanie plików z próbkami w trybach małej i dużej rozdzielczości.

Możliwości regulacji zapisywanego sygnału obejmują:

- częstotliwość próbkowania,
- wzmocnienie toru pomiarowego,
- zerowanie (regulację położenia zera sygnału pomiarowego),
- dobór filtrowania sygnału w zależności od częstotliwości próbkowania

Nowością w zakresie funkcjonalności rejestratora jest wprowadzenie możliwości sterowania zapisem poprzez monitorowanie poziomu sygnałów w kanałach analogowych. Poprzez ustawienie konkretnej wartości można uruchomić rejestrację, np. w momencie przekroczenia maksymalnych wartości charakterystycznych dla spokojnej pracy maszyny. Wykorzystując kanał dwustanowy możliwe jest zaprogramowanie uruchamiania rejestracji np. wraz z rozpoczęciem ruchu koła czerpakowego lub przenośnika taśmowego. W ten sam sposób możliwe jest sterowanie momentem zatrzymania rejestracji. Takie zdefiniowanie wartości progowej może również zostać zastosowane do wyzwolenia sygnału alarmowego i przesłanie tej informacji do użytkownika.

Istnieje również szereg operacji wykonywanych automatycznie przez procesor. Należą do nich:

- przetwarzanie akcelerometrycznych i dwustanowych sygnałów analogowych na wartości cyfrowe,
- kontrola stanu zasilania urządzenia,
- kontrola wypełnienia pamięci pendrive,
- przesyłanie danych w postaci zbiorów do pamięci pendrive lub do komputera (złącze USB, ethernetowe, ZigBee),

- sterowanie zapisem danych – z wykorzystaniem warunków nałożonych na sygnały:
 - w wyniku zmiany wartości wejścia dwustanowego,
 - po zaprogramowaniu określonych wartości progowych – dla kanałów tensometrycznych i akcelerometrycznych.
- dzielenie danych na zbiory o zadanej długości (czasie trwania),
- etykietowanie każdego zbioru (informacja o częstotliwości próbkowania, data i godzina pomiaru).

Szybkość pracy użytego procesora pozwala również na wykonywanie wstępnych, prostych obliczeń w trybie on-line na danych pochodzących z wybranych kanałów. Powoduje to utratę surowych danych, ale umożliwia zapoznanie się ze wstępnymi wynikami już w trakcie pomiarów, co może być przydatne przy krótkotrwałych pomiarach kontrolnych lub podczas pomiaru wstępnego, poprzedzającego długoterminowe.

4. Badanie poprawności pracy rejestratora

Jako wzorca przy weryfikacji poprawności działania CRD użyto rejestratora Spider8-30 oraz panelowego wzmacniacza pomiarowego MVD2510 firmy Hottinger (wraz z oprogramowaniem catman®). Sygnał emitowany był z generatora wzorcowego. Przeprowadzone testy dotyczyły stabilności pomiaru, dokładności mierzonych wielkości oraz prawidłowości filtrowania cyfrowego.

Do testu stabilności temperaturowej (wpływ temperatury otoczenia i wzrostu temperatury wewnętrznej podczas pracy) użyto kalibratora złożonego z mostków tensometrycznych w obudowie termicznej. Rejestrator umieszczano w komorze grzejnej (temperatura do 50 °C) oraz w zamrażarce (temperatura do -24 °C). Użyto częstotliwości próbkowania 10 Hz dla każdego kanału. Wybór taki podyktowany był wolno zmieniającymi się sygnałami emitowanymi przez układy wejściowe wymuszone zmianami temperatury i czasem pomiaru.

Test dokładności pomiaru polegał na wprowadzaniu zmian rezystancji na jednej z gałęzi mostka tensometrycznego i każdorazowym pomiarze wynikowego napięcia przy pomocy zarówno rejestratora, jak i wzmacniacza MVD2510. Różnica wskazań Rejestratora względem wzorcowego wzmacniacza nie przekraczała 0,1%.

W ostatnim kroku sprawdzono poprawność funkcjonowania filtra cyfrowego ograniczającego pasmo pomiarowe. Zastosowane częstotliwości próbkowania ustalono arbitralnie na poziomie dziesięciokrotnie wyższym od maksymalnej częstotliwości podawanego (z generatora wzorcowego) sygnału sinusoidalnego. Sprawdzając na zarejestrowanych przebiegach częstotliwość, przy której następuje spadek amplitudy o 3 dB określono rzeczywiste pasmo sygnału rejestrowanego przez CRD.

Czas pracy rejestratora – do zapełnienia pamięci pendrive o pojemności 8 GB – przy pomiarach ciągłych, przy założeniu, że w użyciu znajdują się cztery kanały tensometryczne o częstotliwości próbkowania 400 Hz, będzie wynosił ok. miesiąca.

5. Podsumowanie

Podsumowując warto podkreślić, że zastosowanie cyfrowych rejestratorów danych w postaci systemu rozproszonego, umożliwiających monitorowanie zachowania maszyn, wspomaga zarówno prowadzenie prac naukowych z nimi związanych, jak i nadzorowanie ich eksploatacji. Pod względem bezpośrednich korzyści, w szczególności dla użytkowników

maszyn, możliwość określania stanów przedawaryjnych, za pomocą rozproszonego systemu opartego na CRD, pozwala zapobiegać uszkodzeniom, a nawet katastrofom. Wspomaga również optymalizowanie ich pracy i obniża koszty eksploatacji. Rozproszenie konstrukcji systemu diagnostycznego usprawnia jego eksploatację i konserwację. Dzięki zastosowaniu pamięci pendrive, złącz USB i sieci bezprzewodowej mniejszy jest również koszt bezpośrednio związany z instalacją całego systemu pomiarowego, przy jednoczesnym usprawnieniu procesu akwizycji. Wraz z możliwością wyboru między podłączeniem do laptopów w warunkach polowych a przesyłem danych drogą internetową wpływa to również na uelastycznienie systemu pod kątem użytkowania.

Literatura

1. Dudek D., Kwaśniak M., Prus L.: Automatyczny wielokanałowy system akwizycji i analizy widm obciążeń eksploatacyjnych, W: Bezpieczeństwo oraz degradacja maszyn. W: Trzecie Konwersatorium BDM. Wrocław, Szklarska Poręba, 6-8 listopada 1997, Ofic. Wyd. Pol. Wrocł., 1998, s. 69-78.

DIGITAL DATA LOGGER AS AN ELEMENT OF MEASUREMENT NET FOR MONITORING OF DYNAMICS OF OPEN-CAST MINING MACHINES CONSTRUCTIONS

Summary: This article presents a structure and functions of a data logger that was developed in Reliability Engineering and Diagnostics Division in Wrocław University of Technology. The device was named Digital Data Logger and cooperates with similar loggers (or PC computer) in one diagnostic net. This particular way of acquisition was designed to gather several kinds of quantities and provide information about operational state of open-cast mining machines. This specific circumstances are characterized by widely spread measurement points, which mostly are strain gauges. Discussed measurement system can also be applied to working with other kinds of sensors and in different working conditions.