

Jan Gruszecki  
Mieczysław Stępień  
Politechnika Rzeszowska

## SYSTEM POMIAROWO-KONTROLNY DLA OBSŁUGI PROCESÓW PRZEMYSŁOWYCH

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono system pomiarowo-kontrolny wspomagający obsługę prób zmęczeniowych konstrukcji lotniczych. System zbudowany na mikrokomputerze IBM PC zawiera część pomiarową oraz sterującą pozwalającą realizować program prób dla dowolnego odcinkowo-ciągłego obciążenia konstrukcji. Jego modułowa budowa oraz struktura oprogramowania daje się łatwo adaptować do sterowania różnych procesów przemysłowych.

### 1. Wstęp

Mała ilość systemów komputerowych wdrażanych w różnych gałęziach naszego przemysłu spowodowana jest między innymi brakiem odpowiedniego sprzętu komputerowego, z którego można konfigurować wymaganą ich strukturę. Stosowanie dużych jednostek komputerowych posiadających możliwości pomiaru i przetwarzania dowolnych sygnałów oraz generowania sygnałów sterujących o dowolnym przebiegu w czasie nie mogło być przyjęte ze względów ekonomicznych. Przypadki zastosowania w kraju takich rozwiązań - wyłączając specjalizowane systemy - nie stały się standardami w poszczególnych branżach.

Zapotrzebowanie na tego rodzaju sprzęt było inspiracją do zaprojektowania i uruchomienia w ostatnim dziesięcioleciu kilku typów systemów mikrokomputerowych do sterowania procesami, nie zachowujących jednak podstawowych cech zgodności. Z drugiej strony nasycenie ośrodków naukowo-badawczych i ich zakładów patronackich w mikrokomputery standardu IBM PC oraz urządzenia do pomiaru i transmisji danych według protokołu RS-232C lub IEC-625 przesunęło zainteresowanie potencjalnych kontrahentów w kierunku systemów z mikrokomputerami tego standardu, posiadających możliwości podłączenia urządzeń pomiarowych, wyposażonych we własne systemy mikroprocesorowe. Motywy te zainspirowały autorów do budowy kanału przemysłowego współpracującego z mikrokomputerem IBM PC XT/AT, który spełniałby następujące funkcje:

- rejestrowania stanów obiektu,
- kontroli stanów obiektu w sytuacjach awaryjnych,
- generowania sygnałów sterujących ciągłych i dyskretnych,

- przetwarzania danych i dokumentowania,
- wnioskowania stanów obiektu.

Jako przykład zastosowania systemu przyjęto reprezentatywny proces przemysłowego badania zmęczeniowego konstrukcji lotniczej. Prowadzenie tej próby polega na zadawaniu obciążenia na konstrukcję samolotu zamocowanego w klatce wytrzymałościowej o znacznie większej niż samolot sztywności i obserwacji zachowania się konstrukcji po kolejnych obciążeniach symulujących rzeczywiste obciążenia pewnego statystycznego lotu. Jako parametr stanu konstrukcji w danym punkcie samolotu przyjmuje się naprężenie mierzone wydłużeniem elementu tensometrycznego przyklejonego na powierzchni konstrukcji. Obsługa próby zmęczeniowej konstrukcji w zależności od jej rodzaju wymaga wykonania następujących czynności:

- rejestrowania stanów obciążenia konstrukcji zgodnie z przepisami próby,
- ciągłej kontroli stanu konstrukcji i obciążeń dla uniknięcia jej przypadkowego zniszczenia,
- generowania obciążeń na konstrukcję wraz z ich korekcją przy niesymetrycznym odkształceniu konstrukcji,
- przetwarzania danych z próby i ich dokumentowania zgodnie z przepisami próby,
- wnioskowania konstruktora o stanie konstrukcji w czasie eksploatacji próbnej.

W niniejszym materiale autorzy pragną przedstawić strukturę sprzętową i programową systemu spełniającego wymienione wymagania, wykonanego w ramach CPBR nr 86, cel 39.

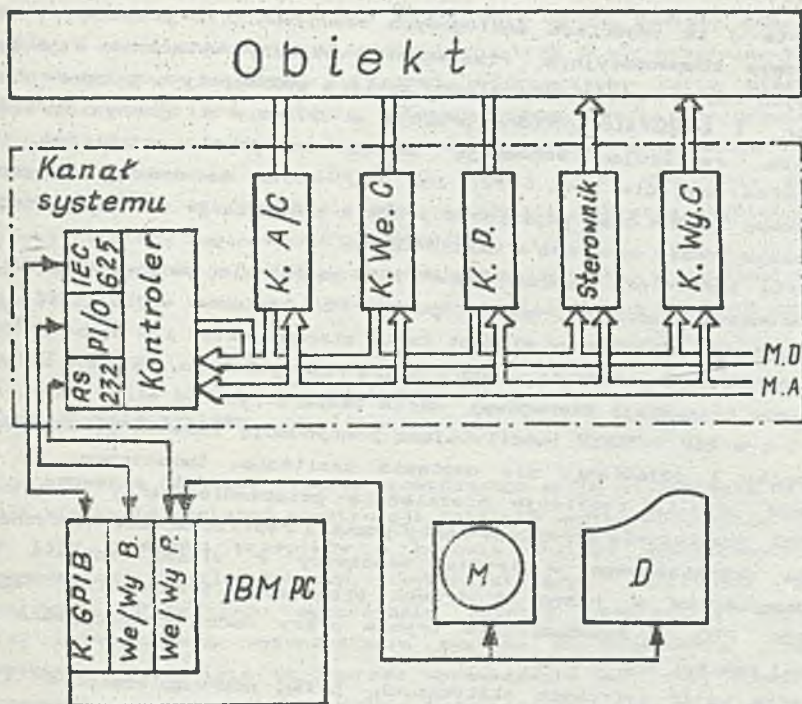
## 2. Konfiguracja sprzętowa systemu

Zaprojektowany i wykonany system wspomagania prób zmęczeniowych konstrukcji lotniczych [1] w części sprzętowej składa się z następujących urządzeń (rys. 1):

- mikrokomputera IBM PC/XT z HD 20MB, stacją dysków elastycznych i kartą kontrolera magistrali IEC-825,
- drukarki NX 15,
- kanału przemysłowego.

Kanał przemysłowy systemu może być łączony z mikrokomputerem według jednego z trzech protokołów transmisji: PIO, RS-232C lub IEC-825, którego wybór polega na odpowiadającym sobie połączeniu kontrolera umieszczonego w szczelinie kasety kanału przemysłowego z kartami mikrokomputera. Magistrala kanału przemysłowego jest magistralą równoległą, wyposażoną w zestaw sygnałów dla mikroprocesora TMP284C015, z wyjątkiem sygnału SELECT, umożliwiającą podłączenie do niej kart modułów.





Rys. 1. Schemat systemu sterowania  
Fig. 1. Computer control system diagram

Kanał przemysłowy wykonany jako oddzielna kasetka z niezależnym układem zasilania posiada 15 szczelin umożliwiających dowolne zestawienie konfiguracji sprzętowej kanału z modułów wykonanych w formie kart o wymiarach 140 x 150 mm. Karty sprzęga się z magistralą kanału przemysłowego poprzez złącze Eltra 831084. Łączna ilość wejść/wyjść adresowych wynosi 128.

Układ kontrolera z magistralą kanału przemysłowego umożliwia automatyczną identyfikację konfiguracji sprzętowej kanału oraz adresów poszczególnych wejść/wyjść modułów aktualnie dołączonych do systemu. Konfiguracja systemu zawiera karty o niżej podanych charakterystykach :

- karta o 16 wejściach analogowych różnicowych z przetwornikiem A/C 10-bitowym kompensacyjnym. Przetwornik wykonany wyłącznie z elementów krajowych lub z importu centralnego zawiera podzespoły: przetwornik C/A, rejestr i komparator, które pracują w układzie z ujemnym sprzężeniem zwrotnym, realizując konwersję metodą kolejnych przybliżeń. Układ przetwarza napięcie (-5, +5V) lub (0, +10V) ze źródła o oporności wejściowej  $>100k\Omega$  oraz wejściowym prądzie polaryzacji  $<0.3mA$  na sygnał w naturalnym kodzie binarnym w czasie  $25\mu s$ ,

- karta kontrolera tworzy wewnętrzną magistralę kasety i pozwala na dwukierunkową łączność mikrokomputera z kartami wejść/wyjść kanału przemysłowego. Podstawowy element karty stanowi układ LSI typu TMP284C015 pełniący funkcje procesora, zegara czasu rzeczywistego, układów buforowych i układów transmisji szeregowej. Karta zawiera również bloki pamięci RAM, ROM, w tym RAM O/POWER umożliwiającą kontynuację zadania przez kontroler po zaniku i pojawieniu się napięcia zasilania. Umieszczony na karcie procesor  $\mu PD7210$  realizuje niezależnie połączenie karty w standardzie IEC-625. Rozwiązanie sprzętowe karty pozwala realizować autonomiczną pracę kanału przemysłowego w trybie współpracy z własną konsolą lub z mikrokomputerem w jednym z trzech protokołów transmisji: RS-232C, IEC-625, PIO. W autonomicznym trybie pracy dane przechowywane są we własnej pamięci RAM 0.5 MB,

- karta wejść cyfrowych statycznych. Układ poprzez kontroler łączy 8 sygnalizatorów z magistralą mikrokomputera. Wejścia wzajemnie izolowane, dwuprzewodowe mają rezystancję wejściową 600  $\Omega$  i nominalny prąd wejściowy 40 mA,

- karta wyjść cyfrowych statycznych. Układ strukturalnie odpowiada karcie wejść cyfrowych. Każde z wyjść jest trójprzewodowo polaryzowane napięciem nominalnym 24V przy maksymalnym prądzie wyjściowym 1A,

- karta wejść przerywających specjalizowanych zawiera 7 wejść bezpośrednich wyzwalanych rosnącym zboczem sygnału oraz 8 wejść pośrednich z regulowanym poziomem wyzwalania. Wejścia pośrednie służą do sygnalizacji w przypadku przekroczeń odpowiednich wielkości analogowych. Pojawienie się przerwania umożliwia systemowi jego obsługę przez uaktywnienie karty i odczytanie stanu przerwania przez magistralę danych,

- karta sterownika pozwala wyprowadzić sygnał analogowy na urządzenie wykonawcze układu obciążenia konstrukcji. Układ generuje przebiegi o dowolnym kształcie i programowanej podstawie czasu. Ma on po zaprogramowaniu autonomiczny charakter pracy, umożliwiający generowanie przebiegu obciążenia bez udziału mikrokomputera.

Udział mikrokomputera jest niezbędny dla przygotowania przebiegu obciążenia, który zapisany jest w pamięci RAM sterownika oraz dla koordynacji pracy podsystemu zadawania obciążeń przy włączeniu do pracy



większej ilości sterowników. Praca sterownika podzielona jest na dwa cykle. W cyklu pierwszym następuje zaopatrzenie danymi pamięci RAM, zaś w cyklu drugim moduł przechodzi w autonomiczny tryb pracy wysyłając kolejne wartości analogowe na szyny urządzeń wykonawczych. Karta sterownika posiada własny zasilacz napięcia referencyjnego, zasilający przetwornik C/A i dzielnik układu sumatora, umożliwiającą generowanie napięć wyjściowych w zakresie (0, 10V), (0, 5V) i (-5, +5V) przy prądzie wyjściowym max. 10 mA, rozdzielczości 9 bitów i zakresie częstotliwości wyjściowej impulsów zegarowych (0, 200kHz).

Modułowa konstrukcja kanału przemysłowego pozwala w dowolny sposób konfigurować zestaw kart, w zależności od zadań, jakie ma wypełnić omawiany system.

### 3. Oprogramowanie systemu

Oprogramowanie użytkowe systemu prowadzącego próbę długotrwałą, na którą składają się cykle obciążeń konstrukcji ustalone według obowiązujących dla danego typu samolotu przepisów o budowie statków powietrznych jest oprogramowaniem specjalizowanym, wykorzystującym możliwości kanału przemysłowego. Przy jego opracowaniu autorzy uwzględnili możliwość bardziej uniwersalnego wykorzystania systemu do sterowania procesami przemysłowymi. Osiągnięto to poprzez wprowadzenie modułowej konstrukcji oprogramowania oraz odpowiednią budowę podprogramów takich, jak: zbieranie danych, przetwarzanie, generacja obciążeń, cechowanie czujników, diagnostyka kanału itp.

Stosując system pomiarowo-sterujący do obsługi próby zmęczeniowej przyjęto, że jego podstawowym zadaniem jest generowanie sygnałów obciążających badaną konstrukcję i pomiar w czasie rzeczywistym wybranych wielkości analogowych fizycznie reprezentujących siły obciążające konstrukcję oraz deformacje konstrukcji płatowca. Pomiar sił i odkształceń wykonywane są z chwilą wystąpienia przerwania generowanego przez kartę sterownika w momencie wystąpienia lokalnego ekstremum obciążenia. Kontrola próby zmęczeniowej samolotu sprowadza się do cyklicznego sprawdzania odchyłek parametrów próby będących różnicą wartości zmiennych pomierzonych w ostatnim cyklu obciążeń od ich wartości nominalnych deklarowanych przez operatora systemu na etapie przygotowania próby. W przypadku przekroczenia dopuszczalnych odchyłek parametrów od swoich wartości nominalnych system informuje operatora procesu o zaistniałym przekroczeniu odpowiednimi komunikatami na konsoli systemu, podpowiadając jednocześnie sposób korekcji obciążenia konstrukcji.

Taki sposób prowadzenia próby zapewnia program realizujący cztery

podstawowe procedury:

- przygotowania próby,
- kontroli próby,
- obsługi przerw zewnętrznych,
- obciążenia konstrukcji.

Program przygotowania próby wykonuje zadania pomocnicze niezbędne na etapie przygotowania systemu do próby zmęczeniowej. Ze względu na brak ograniczeń czasowych napisany został w trybie konwersacyjnym w języku wyższego rzędu. Wywołanie tego programu zawiesz kontrolę próby zmęczeniowej maskując większość przerw. Do ważniejszych procedur realizowanych przez ten program należą:

- procedura kontroli poprawności skonfigurowania kanału przemysłowego i identyfikacji adresów wejścia/wyjścia modułów istniejących w kasecie,
- procedura diagnostyki części sprzętowej kanału,
- procedura deklarowania nazw kanału,
- procedura skalowania części pomiarowej systemu,
- procedura zakładania i modyfikacji pliku dyskowego z wartościami nominalnych poziomów i amplitud odkształceń.

Identyfikację konfiguracji sprzętowej umożliwia identyfikator, 8-bitowe słowo kodowe, w jaki wyposażona jest każda karta modułu. Cztery młodsze bity słowa kodowego identyfikują rodzaj modułu, natomiast cztery starsze - jego parametry metrologiczne. Procedury diagnostyki gotowości technicznej systemu angażują moduły wejść cyfrowych dwustanowych i pozwalają przeprowadzić kontrolę włączenia zasilania mostka tensometrycznego, istnienia napięć w wybranych punktach układu lub stanów kontrolowanych specjalizowanymi układami diagnostyki.

Program kontroli próby zmęczeniowej obsługuje następujące zadania:

- wstępne ustawienie licznika lotu,
- kontrola bieżąca parametrów próby połączona z sygnalizacją przekroczeń,
- wizualizacja bieżąca wybranych kanałów pomiarowych lub wybranych parametrów próby.

Procedury te przetwarzają dane pomiarowe i realizują zestawienia zgodne z wymaganiami przepisów dotyczących danej próby.

Program obsługi przerw zewnętrznych obejmuje głównie:

- uaktualnianie licznika lotów i cykli zliczających sygnały przerw generowane przez sterownik synchronicznie z początkiem cyklu obciążenia i w chwili wystąpienia lokalnego ekstremum obciążenia,
- pomiar 32 wielkości analogowych synchronicznie z wystąpieniem lokalnego ekstremum obciążenia,
- wykonanie obliczeń parametrów próby po zakończeniu każdego cyklu obciążeń,



- zapis danych po zakończeniu każdego 100 pełnych cykli obciążenia w formie wydruku lub do pamięci dyskowej.

Program obciążenia konstrukcji pozwala generować sygnały analogowe sterujące siłownikami hydraulicznymi obciążającymi konstrukcję płatowca, a także identyfikować stany awaryjne w części mechanicznej stoiska badań zmęczeniowych. Składają się na to dwie grupy procedur:

- deklarowania sygnałów sterujących wraz z programowaniem modułów specjalizowanych sterownika,
- obsługi stanów awaryjnych wraz z uaktualnianiem pamięci RAM na kartach sterownika.

Całość oprogramowania stanowi w miarę kompletny zbiór procedur pozwalający szybko uruchomić dowolne inne zadanie badawcze z zakresu badań wytrzymałościowych konstrukcji. Uzupełnione procedurami sterowania stanowić może narzędzie do sterowania procesami przemysłowymi.

#### 4. Uwagi eksploatacyjne

Przyjęta struktura systemu wspomagania próby zmęczeniowej wykazuje wiele cech uniwersalności. Funkcje pomiarowo - kontrolne i sterujące, jakie realizuje system, dają się swobodnie modyfikować w czasie prowadzenia próby ze względu na możliwość autonomicznej pracy kanału przemysłowego, w tym również samych sterowników. Wstępny prototyp systemu na mikrokomputerze 8-bitowym nie zapewniał żądanej dokładności generowania sygnałów sinusoidalnych i piłokształtnych obciążających konstrukcję. Zastosowanie 16-bitowego mikrokomputera pozwala osiągnąć wymagane dokładności oraz znacznie upraszcza generowanie sygnałów obciążających. W porównaniu do systemów wspomagających próby zmęczeniowe zbudowanych z modułów Camac, Robotron czy też specjalizowanych systemów, takich jak Prodera, Schenck, Hottinger, wykonany system nie odbiega od ich własności eksploatacyjnych.

#### LITERATURA

- [1] Komputerowy system wspomagania operatorów badań wytrzymałościowych konstrukcji lotniczych, Raport ZSS PRz. nr 49, Rzeszów 1989, red. J. Gruszecki.

Recenzent: Prof.dr inż.H.Kowalowski

Wpłynęło do Redakcji do 1990-04-30.

## A CONTROL AND MEASUREMENT SYSTEM FOR INDUSTRIAL PROCESSES

## S U M M A R Y

A control and measurement system aiding the aeroplane fatigue tests has been presented. The IBM PC-based system includes a measuring and controlling section enabling the implementation of a test program for any given construction load. Its module construction and the software structure are easily adaptable for the control of various industrial processes.

## КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

## Р е з ю м е

В работе представлена контрольно-измерительная система, облегчающая обслуживание усталостных авиационных конструкций. Система построена на основе микрокомпьютера ИБМ ПС, содержит измерительный и управляющий блоки, позволяющие осуществлять программу испытаний для произвольной кусочно-непрерывной нагрузки конструкции. Модульность конструкции и структура программного обеспечения даёт возможность приспособить к управлению различными промышленными процессами.