

Krystian KALINOWSKI, Adam HEYDUK, Roman KAULA, Joachim PIELOT
Politechnika Śląska, Gliwice

CYFROWY ROZPROSZONY UKŁAD STEROWANIA MASZyny WYTRZYMAŁOŚCIOWEJ UFP-400

Streszczenie. W artykule przedstawiono koncepcję i realizację rozproszonego cyfrowego układu sterowania maszyny wytrzymałościowej UFP-400, wykorzystującego sieć CAN do wewnętrznej transmisji danych oraz komputer PC jako terminal operatorski. Układ umożliwia prowadzenie badań statycznych oraz zmęczeniowych próbek wraz z rejestracją wyników w bazie danych.

DIGITAL DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM FOR THE UFP-400 MATERIALS TESTING MACHINE

Summary. The paper presents design and implementation of a distributed digital control system for the UFP-400 materials-testing machine. This system uses CAN-Bus network for internal data transmission and PC computer as an operator terminal and recording device. System can provide static and low-cycle fatigue specimen testing with data recording in a database.

1. Wstęp

Badania wytrzymałościowe i zmęczeniowe mają bardzo istotne znaczenie w materiałoznawstwie i przy opracowywaniu nowych elementów konstrukcyjnych, pracujących w warunkach zmiennego obciążenia. Zgodnie z normą [6, 7] podstawową aparaturą stosowaną do badań zmęczeniowych jest maszyna wytrzymałościowa. W wielu polskich ośrodkach badawczych zainstalowane są jeszcze maszyny wytrzymałościowe typu UFP-400. Maszyny te wyprodukowane zostały w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku w byłej Niemieckiej Republice Demokratycznej. Stwarza to obecnie znaczne utrudnienia w zakresie prac serwisowych (konserwacyjno-naprawczych), wynikające ze zmiany

technologii. Wszystkie układy elektroniczne (pomiarowe, sterowania, transmisyjne, wykonawcze) były wykonane w technice analogowej. W znaczny sposób ograniczało to zakres generowania założonego przebiegu obciążeń i rejestracji pomiarów, a także możliwość rozszerzenia funkcji sterowania maszyny. Nie ma tych ograniczeń realizacja cyfrowa układu sterowania, w której większość modyfikacji jest dokonywana za pomocą zmian programowych, a nie jak w przypadku techniki analogowej w sposób sprzętowy. W artykule przedstawiono koncepcję i realizację nowego cyfrowego układu sterowania maszyn wytrzymałościowych UFP-400. Współczesna maszyna wytrzymałościowa jest systemem mechatronicznym [1] o złożonej strukturze, obejmującym następujące elementy:

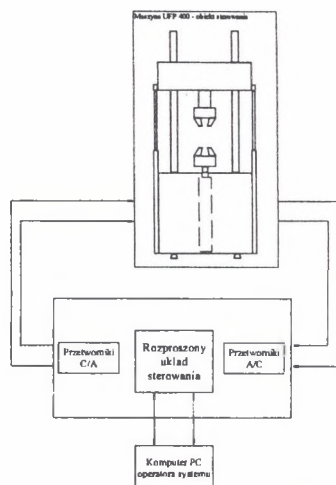
- część mechaniczną:
 - zasilanie hydrauliczne,
 - elementy wykonawcze,
- część elektroniczną:
 - czujniki,
 - podsystem transmisji danych,
 - regulatory cyfrowe,
 - precyzyjne układy analogowe dopasowujące poziomy sygnałów wejściowych i wyjściowych,
 - podsystem cyfrowej rejestracji i wizualizacji badań wraz z interfejsem użytkownika.

Elementy te przedstawiono schematycznie na rys. 1. W układzie takim szczególną rolę odgrywa wyspecjalizowane oprogramowanie. Musi się ono charakteryzować odpowiednią wydajnością, niezawodnością oraz odpornością na pojawiające się w systemie zakłócenia. Pożądana jest także łatwość modyfikacji i dopasowania do nowych i specyficznych wymagań użytkownika.

2. Struktura cyfrowego układu sterowania maszyny UFP-400

Ze względu na duże rozmiary maszyny, istotną rolę odgrywa transmisja sygnałów między poszczególnymi elementami układu sterowania. Zastosowano tu sieć CAN-Bus, szeroko rozpowszechnioną w technice samochodowej, charakteryzującą się dużą szybkością (do 1 Mb/s) oraz niezawodnością przesyłu danych (związaną z zabezpieczeniem integralności przesyłanych danych za pomocą weryfikacji 16-bitowej sumy CRC oraz wbudowanym mechanizmem automatycznej ponownej retransmisji zakłóconych komunikatów).

W konstrukcji sieci wykorzystano sterowniki Microchip MCP2510 [3] oraz scalone transceivery różnicowe Philips 82C250 [4].



Rys. 1. Schemat blokowy maszyny UFP-400 wraz z jej nowym rozproszonym cyfrowym układem sterowania

Fig. 1. Block diagram of the UFP-400 materials-testing machine with the new digital distributed control system

Układ sterowania maszyny UFP-400 składa się z pięciu sterowników – systemów mikroprocesorowych, pełniących różne funkcje i połączonych między sobą siecią komputerową CAN. Poniżej scharakteryzowana jest budowa i główne funkcje realizowane przez poszczególne sterowniki.

a) Sterownik klawiatury. Układ sterownika klawiatury zmontowany jest na dwóch płytach drukowanych umieszczonych w odrębnej obudowie. Pierwsza z nich zawiera właściwy sterownik, druga natomiast zawiera klawiaturę złożoną z zestawu niestabilnych przycisków oraz zestaw diod sygnalizacyjnych LED. Zadaniem sterownika klawiatury jest odczyt stanu przycisków, tłumienie drgań zestyków, sygnalizacja poleceń zadawanych przyciskami oraz realizacja zależności czasowych dla sterowania przekaźnikami (zwłoka 10 sekund niezbędna przy sterowaniu położeniem poprzecznicy maszyny). Ponadto sterownik odczytuje wartość sygnału zadawanego do regulacji drogi; odczyt ten polega na pomiarze napięcia uzyskiwanego z potencjometru wielobrotowego. Ponieważ sterownik klawiatury jest jednym z dwóch odcinków kończących sieć CAN, dlatego sieć ta w sterowniku zakończona jest terminatorem.

b) Układ sterowania przekaźników. Układ zawiera sterownik, przekaźniki do sterowania rozdzielaczami hydraulicznymi oraz układy sprzęgające układ mikroprocesorowy

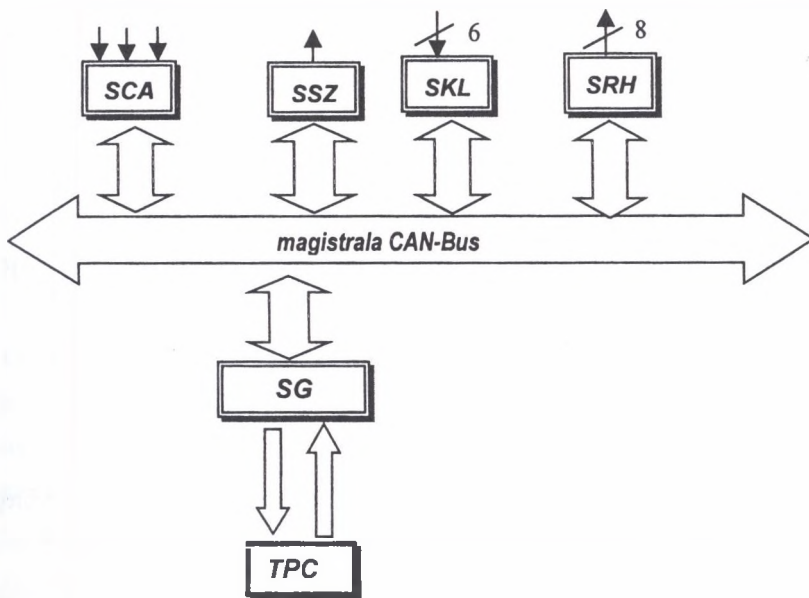
z 8 przełącznikami. Zadaniem układu jest mocowanie i wymontowanie badanej próbki. Sterowane z tego układu rozdzielacze hydrauliczne służą do:

- zaciskania i luzowania szczęki górnej,
- zaciskania i luzowania szczęki dolnej,
- sterowania kryzą obejściową,
- podnoszenia i opuszczania poprzecznic.

Aktualny stan każdego z przełączników sygnalizuje odpowiednia dioda LED. Zastosowanie odrębnego sterownika rozdzielaczy umożliwiło niezależnienie się od układu oryginalnego, charakteryzującego się dużą zawodnością, uproszczenie wewnętrznej struktury i sposobu podłączenia sterownika do maszyny oraz zastosowanie bezpośredniej transmisji cyfrowej między sterownikiem klawiatury i sterownikiem rozdzielaczy. W istotny sposób poprawiło to niezawodność i szybkość pracy układu.

c) Układ sterowania serwowaworem. Układ ten jest wyposażony w precyzyjny przetwornik cyfrowo-analogowy MAX 531; do wejścia przetwornika podawany jest sygnał cyfrowy ze sterownika, natomiast sygnał napięciowy uzyskiwany na wyjściu przetwornika, poprzez zespół precyzyjnych wzmacniaczy operacyjnych, podawany jest na serwowawór, służący do sterowania wysokością położenia tłoka. Przetwornik MAX 531 zapewnia dużą szybkość, dokładność i stabilność działania oraz 12-bitową rozdzielczość (4096 poziomów napięcia).

d) Układ pomiarów analogowych. Układ ten wykorzystuje sygnały z czujników analogowych, zapewniając pomiary wartości siły w próbce oraz wysokości położenia tłoka. Pomiary te dokonywane są 10-bitowymi przetwornikami analogowo-cyfrowymi (wbudowanymi w strukturę procesora PIC16F877 [5]). Opcjonalnie możliwe jest (z wykorzystaniem odpowiedniego ekstensometru) wykonanie pomiarów wydłużenia próbki. Układy kondycjonowania wejść poszczególnych analogowych kanałów pomiarowych zapewniają uzyskanie odpowiednich zakresów pomiarowych. Na wejściach zastosowano proste filtry RC zmniejszające wpływ zakłóceń wysokoczęstotliwościowych przenikających z sieci zasilającej. Do pomiarów wysokości położenia tłoka wejście analogowe jest unipolarne, natomiast do pomiarów siły jest bipolarne. Układ standardowo wyposażony jest także w trzeci kanał pomiarowy umożliwiający ewentualne podłączenie ekstensometru.



Rys. 2. Schemat blokowy układu sterowania maszyny wytrzymałościowej UFP-400.
Oznaczenia: SG - sterownik główny, SCA - sterownik czujników analogowych,
SSZ - sterownik serwowozoworu, SRH - sterownik przekazników, SKL - sterownik
klawiatury, TPC - terminal sterowniczy operatora (PC)

Fig. 2. Block diagram of the control system for the UP-400 materials-testing machine.
Annotations: SG - main controller (PID, reference signal memory, PC interface),
SCA - transducer controller, SSZ - servo-valve controller, SRH - 2-state relay
controller, SKL - keyboard controller, TPC - operator's control terminal (PC)

e) **Sterownik główny.** Sterownik główny pełni funkcję regulatora oraz układu sprzęgającego sieć sterowników z komputerem PC. Sprzężenie to dokonywane jest przy pomocy interfejsu (portu) szeregowego RS-232 o szybkości transmisji 38400 bądów. Opcjonalnie możliwe jest zastosowanie interfejsu RS-485 o wyższej szybkości transmisji, co się wiąże jednak z koniecznością zainstalowania dodatkowych konwerterów.

Oprogramowanie tego sterownika wyposażone jest w 3 regulatory:

- regulator położenia (P) – wykorzystywany przy mocowaniu próbki,
- regulator siły (P) – wykorzystywany przy badaniach statycznych (sterowanie składową stałą, sterowanie sygnałem typu rampa),
- regulator siły (PID) – wykorzystywany przy badaniach zmęczeniowych (sterowanie składową zmienną).

Zrealizowany z wykorzystaniem procesora PIC16F877A (pracującego z zegarem 20MHz) regulator wyposażony jest w pamięć wewnętrzną EEPROM o pojemności 256 bajtów, pozwalającą na zapamiętanie osiemdziesięciu 16-bitowych próbek sygnału zadanego,

parametrów częstotliwościowych (okres powtarzania przebiegu) oraz parametrów transmisji (liczba próbek przesyłanych do komputera PC). Parametry te są zapamiętane nawet po zaniku napięcia zasilania. Programowanie tych parametrów, jak również przesyłanie poleceń sterujących odbywa się z nadrzędnego komputera PC przy pomocy interfejsu sterującego RS-232. Do sterownika tego doprowadzane są również sygnały z czujników krańcowych; sygnały te przekazywane są za pomocą dwóch transoptorów, zapewniających dopasowanie poziomów napięć.

3. Sygnalizacja stanu pracy układu

Bieżący stan pracy układu (związany z realizacją poleceń użytkownika oraz przebiegiem badań) wizualizowany jest na ekranie komputera PC pełniącego funkcję panelu sterowania. Dodatkowo na płycie sterownika głównego zastosowano zespół diod LED sygnalizujących aktualny tryb pracy sterownika oraz przebieg transmisji szeregowej za pomocą interfejsu RS-232. Stan rozdzielaczy elektrohydraulicznych sygnalizowany jest bezpośrednio na karcie sterownika przekaźników, a kierunek siły (rozciąganie lub ściskanie) na karcie sterownika czujników analogowych. Klawiatura wyposażona jest w zielone diody LED, sygnalizujące potwierdzenie przyjęcia poleceń sterowniczych oraz czerwoną diodę LED, lokalnie sygnalizującą gotowość układu do rozsunięcia szczęk mocujących próbkę (brak siły rozciągającej). Zastosowane rozwiązanie w istotny sposób ułatwia kontrolę poprawności pracy układu i przyspiesza diagnostykę ewentualnych niesprawności, zwiększając w ten sposób bezpieczeństwo obsługi.

4. Zasilanie cyfrowego układu sterowania

Każdy z wymienionych wyżej sterowników wyposażony jest we własne stabilizatory i diody LED sygnalizujące stan napięć zasilających. Umożliwia to zmniejszenie wpływu wahań napięcia zasilającego, związanych ze zmianami poboru prądu przez poszczególne moduły oraz w istotny sposób ułatwia diagnostykę układu. Integralną częścią układu jest również wyspecjalizowany zasilacz sieciowy, dostarczający następujące napięcia niestabilizowane:

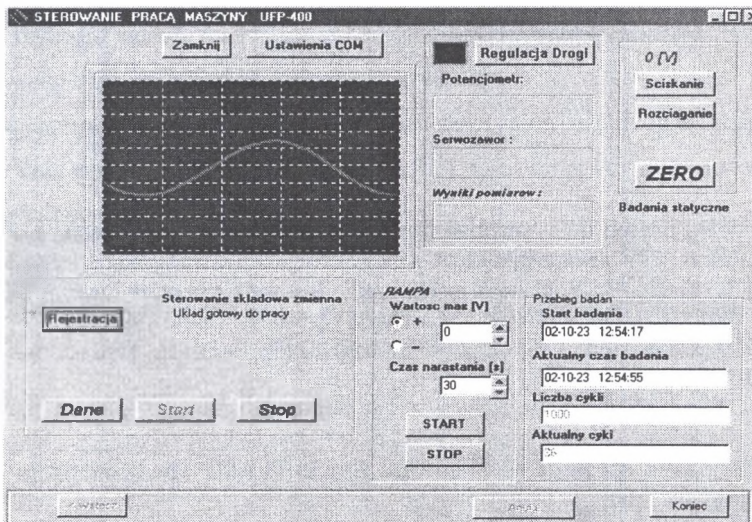
- $\pm 25V$ do stabilizatorów napięć $\pm 15V$ w układach zasilania wzmacniaczy pomiarowych i stopnia wyjściowego sterującego serwozaworem,
- +12V do zasilania przekaźników sterujących rozdzielaczami,
- +11V do stabilizatorów napięć +5V zasilających poszczególne sterowniki w sieci CAN.

5. Oprogramowanie sterujące i rejestracyjne

Oprogramowanie sterujące i rejestracyjne (pracujące na komputerze PC) napisane zostało w języku Borland C++ Builder™. Realizuje ono trzy zasadnicze funkcje, niezbędne dla poprawnej pracy maszyny:

- generowanie zadanego przebiegu czasowego sygnału obciążenia,
- bezpośrednie wydawanie poleceń dla układu sterowania maszyny za pomocą łącza szeregowego RS-232,
- rejestrację przebiegu badań, odczyt i graficzną prezentację wyników zarejestrowanych w bazie danych. Wykorzystano przy tym moduł obsługi baz danych BDE (Borland Data Engine™).

Przykład ekranu obejmującego główny terminal sterowniczy przedstawiono na rys. 3.



Rys. 3. Główny panel sterowniczy (zrzut ekranu)

Fig. 3. Main control panel (screenshot)

6. Wnioski

Opisywany układ zrealizowany został stosunkowo niskim kosztem, przy wykorzystaniu łatwo dostępnych elementów. Dzięki temu modyfikacja maszyny UFP-400, zapewniająca zwiększenie niezawodności pracy i poprawę własności funkcjonalnych, możliwa jest przy niewielkich nakładach finansowych. Podłączenie układu jest bardzo proste, wymaga jedynie przełączenia trzech złącz wielowtykowych i podłączenia zasilania sieciowego. Ponieważ zastosowane w układzie procesory PIC16F877A charakteryzują się możliwością programowania szeregowego ISP (In System Programming), możliwa jest modyfikacja oprogramowania bez demontażu układu. W istotny sposób skraca to czas niezbędny na dokonanie ewentualnych modyfikacji dopasowujących układ sterowania do konkretnego egzemplarza maszyny. Modułowa struktura układu (niewielka liczba połączeń wewnętrznych, uzyskana dzięki zastosowaniu transmisji szeregowej wykorzystującej sieć CAN) umożliwia jego łatwą rozbudowę (np. podłączenie ekstensometru), zwiększenie możliwości obliczeniowych i sterowniczych (zastosowanie procesorów RISC o większej mocy obliczeniowej) oraz ewentualną zmianę sposobu transmisji danych do komputera PC (np. zastosowanie optoizolowanej pętli prądowej lub transmisji różnicowej w standardzie RS-485) w celu zwiększenia odporności na zakłócenia, zależnie od warunków lokalnych. Przewidywana jest rozbudowa układu do postaci umożliwiającej prowadzenie badań przy wieloosiowym zmęczeniu losowym [2].

LITERATURA

1. Clarke W.D., Hinton C.J.: Adaptive Control of Materials-testing Machines. Automatica, Vol.33, No. 6, 1997, s. 1119-1131.
2. Łagoda T., Macha E.: Wieloosiowe zmęczenie losowe elementów maszyn i konstrukcji. Cz. III. SiM z 104, Oficyna Wyd. Politechniki Opolskiej, Opole 1998.
3. MCP2510 Stand-Alone CAN Controller with SPI™ Interface. Microchip Technology Inc, 2001.
4. PCA82C250 CAN Controller Interface. Product Specification. Philips Semiconductors, 2000.
5. PIC16F87x Data Sheet. 28/40 –Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers. Microchip Technology Inc, 2001.
6. PN-76/H-04325 Badania metali na zmęczenie. Pojęcia podstawowe i ogólne wytyczne przygotowania próbek oraz przeprowadzenia prób.
7. PN-84/H-04334 Badania niskocyklowego zmęczenia metali.

Abstract

Search for better materials and quality control in manufacturing needs appropriate and consistent procedures for material testing. This is usually achieved by the use of servohydraulic testing machines. These machines are typical mechatronic systems, consisting of mechanics (hydraulic supply), transducer technology (load, extension and position sensors), digital electronics (control and recording systems), servocontrol (actuators) and communication software technology. There is an important role of the data transmission across the whole system (because of sometimes big overall dimensions of the machine), noise immunity and interfacing to the PC. Therefore it is a good example of the distributed control system. The paper presents a proposal of such a system designed for the UFP-400 materials testing machine. Internal data transmission is based on the widely accepted in automotive technology CAN-Bus network with high speed, reliability and noise immunity. Serial interfacing to the PC is done with the RS-232 interface (38400 bps) for the easiest compatibility with the most popular computer hardware. The whole distributed modular digital control system consists of the following modules (interconnected with the 125kb/s CAN-bus network):

- sensor module (for three measuring channels: position, extension and load)
- actuator module with the high speed and precision D/A converter and the power amplifier
- small keyboard module for easier position control and specimen fastening
- relay module for control of two-state electric valves
- central control module with a closed loop feedback controller (PID type), reference
- signal data memory (EEPROM), diagnostic LEDs and serial RS-232 interface to the PC with a software-emulated control panel
- power supply module with $\pm 15V$, $+12V$, $+5V$ output voltages

The laboratory test results are a good basis for the future development of the more advanced and flexible system, equipped with a more powerful RISC processor, optoisolated data transmission system and more measurement channels (particularly an extensometer). This will make possible calculation and control of the strain energy parameter transients as well as graphical presentation of the consecutive strain-extension hysteresis loops.