ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2003
Seria: GÓRNICTWO z. 257 Nr kol. 1599

Władysław GLUZA, Krystian KALINOWSKI
Politechnika Śląska

SYSTEM STEROWANIA MASZYN WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH SHM Z ZASTOSOWANIEM KART PRZETWORNIKÓW ANALOGOWO - CYFROWYCH I CYFROWO - ANALOGOWYCH

Streszczenie. W artykule omówiono podstawowe założenia systemu sterowania maszyn wytrzymałościowych SHM z zastosowaniem przetworników CA i AC. Omówiono wybrane elementy algorytmu sterowania i regulacji. Przedstawiono także wyniki przebiegów praktycznego zastosowania systemu.

CONTROL SYSTEM OF MATERIAL TESTING MACHINES SHM, USING AD AND DA CONVERTER CARDS

Summary. The paper presents basic assumptions for the control system of material testing machines SHM, using AD and DA converter cards. Selected parts of the control and regulation algorithm have been discussed. There have been also presented results of the practical application of the described system.

1. Wprowadzenie

System powstał z myślą o prowadzeniu badań zmęczeniowych z uwzględnieniem parametru energetycznego, ale także miał zastąpić dotychczasowe układy sterujące, których serwis jest bardzo drogi lub niemożliwy. Ponadto istniejące układy w ogóle nie mają możliwości takiej ich modyfikacji, by badania zmęczeniowe ze sterowaniem przebiegu parametru energetycznego były możliwe. Na obecnym etapie zrealizowany system korzysta jeszcze z istniejących układów, ale wzbogacony o funkcje bezpieczeństwa, mocowania próbki i inne będzie je mógł zastąpić.

2. Założenia zrealizowane w systemie badań zmęczeniowych

System spełnia następujące wymagania:

1. Pracuje w środowisku Windows 98 lub nowszym.
2. Umożliwia współpracę z kartami przetworników pomiarowych.
3. Umożliwia pracę w trybie symulacji.
4. Umożliwia przejrzyste przygotowanie programu do badania zmęczeniowego, w postaci kreatora badania, który krok po kroku pozwoli użytkownikowi ustawić wszystkie opcje.
5. Umożliwia zapisanie ustawień w celu ich późniejszego odtworzenia, tak aby przeprowadzenie wielu podobnych badań mogło się odbywać z jak najmniejszym obciążeniem uwagi i czasu użytkownika.
6. Umożliwia generowanie następujących przebiegów:
   a. funkcji skokowej,
   b. przebiegu sinusoidalnego,
   c. pseudolosowego realizowanego poprzez filtrację cyfrową białego szumu pseudolosowego,
   d. pseudolosowego realizowanego poprzez sumowanie przebiegów sinusoidalnych,
   e. dowolnej sekwencji zapisanej w pliku,
   f. poprzez odczytywanie danych z plików zewnętrznych,
   g. generowanie sygnałów dla celów identyfikacji procesu.
7. Realizacja przebiegu w oparciu o sterowanie dwupołożeniowe wartości ekstremalnych sygnału.
8. Funkcja pomiaru realizuje odczyty sygnałów w liczbie od jednej do dwóch w zależności od potrzeb.
9. Zapewnia możliwość cyfrowej filtracji sygnałów pomiarowych filtrami dolnoprzepustowymi.
10. Realizuje automatyczną regulację jedno- i dwuparametrową w układzie nadążnym z wykorzystaniem regulatorów konwencjonalnych PID, jak i regulatorów adaptacyjnych.
11. Realizuje sterowanie dwupołożeniowe.
12. Umożliwia realizację sterowania przebiegiem:
    a. naprężenia,
    b. odkształcenia,
    c. parametru energetycznego.

13. Realizuje funkcję bezpiecznego rozruchu i okresowej kalibracji układu pomiarowego w trakcie badania.
14. Posiada opcję automatycznego przerwania sterowania po odczytaniu pomiaru o wartościach ekstremalnych kolejno zadaną liczbę razy. W sytuacji zniszczenia próbki lub odłączenia układu pomiarowego powinno nastąpić automatyczne zatrzymanie badań, co stanowi pewną opcję bezpieczeństwa.
15. Zapisuje w sposób ciągły lub okresowy wybrane wielkości, w celu ich późniejszej analizy.
16. Daje możliwość przeglądania zapisanych parametrów początkowych kolejnych badań oraz wielkości mierzonych podczas tych badań (tabelarycznie i w postaci wykresów).
17. Posiada funkcję konwersji pomiarów do pliku tekstowego, w celu wykorzystania ich w innych programach.
18. Wyposażony jest w program do identyfikacji dynamicznych modelu realizowanego procesu sterowania.
19. Opracowano również podprogram do wyznaczania amplitud i częstotliwości przy kształtowaniu funkcji gęstości widmowych przebiegów pseudolosowych.
20. Realizuje cykliczną identyfikację parametrów obiektu celem analizy zmian jego własności w czasie, jak również optymalnego nastawienia regulatorów.

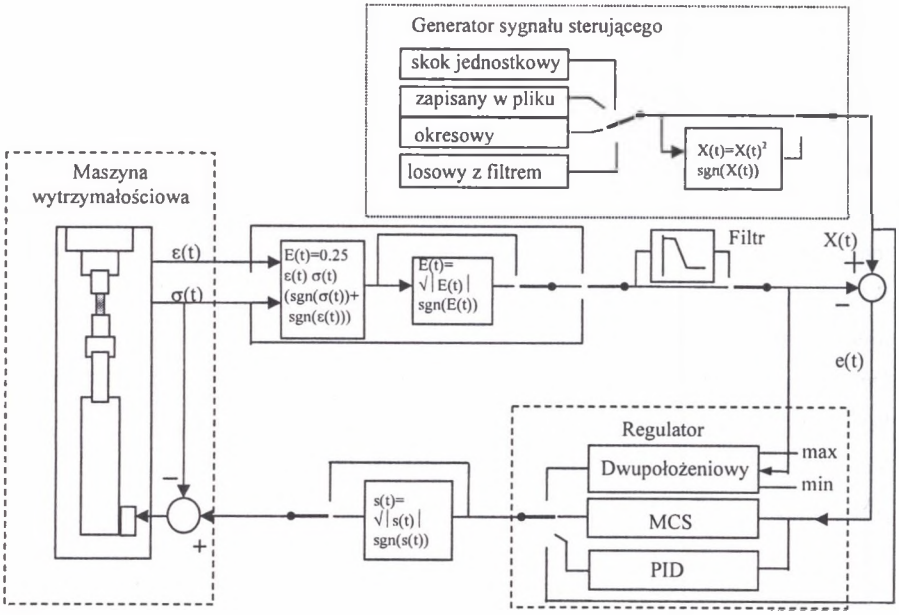
3. Schemat algorytmu programu

Podstawową częścią algorytmu sterowania są funkcje realizujące pomiar, wytworzenie sygnału sterującego, filtrację i regulację. Ogólny schemat blokowy algorytmu sterowania przedstawia rys.1.4. Pozwala on na wielowariantowe przeprowadzanie badań. Położenia poszczególnych przełączników są realizowane poprzez wybór odpowiednich opcji w kolejnych oknach. Warunkiem przerwania pętli realizującej pomiar, sterowanie i regulację może być zniszczenie próbki – przerwanie automatyczne wykonane przez program lub przerwanie nakazane przez użytkownika.

Opcje początkowe to wybór:

1. parametru regulowanego,
2. regulatora i jego parametrów,
3. częstotliwości próbkowania,
4. rodzaju i parametrów sygnału sterującego (zadanego),

5. wielkości zapisywanych do bazy,
6. cyklów zapisu, kalibracji i identyfikacji,
7. metody linearyzacji pętli regulacji,
8. warunków zatrzymania badania,
9. wielkości kreślonej na ekranie podczas badania.



Rys. 1. Ogólny schemat blokowy algorytmu sterowania
Fig. 1. General block diagram of the control algorithm

Zagadnienia programowe, na których opiera się działanie algorytmu, to:

- generacja przebiegu,
- zmiana priorytetu aplikacji, odczyt czasu, realizacja pomiaru, filtracja, realizacja sterowania, regulacja, warunki zatrzymania pracy, zapis danych.

4. Symulacja procesu sterowania

W celu określenia typu regulatora i wartości jego parametrów, aby nie zostały przekroczone zakresy zmian poszczególnych zmiennych, utworzony został blok symulacji. Przyjęto zbiór modeli matematycznych w postaci liniowych równań różniczkowych opisujących dynamikę maszyny. Mają one następujące postaci:

$$\frac{dy}{dt} + a_0 y(t) = b_0 x(t) \tag{1}$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y(t) = b_0 x(t) \tag{2}$$

$$\frac{d^3 y}{dt^3} + a_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y(t) = b_0 x(t) \tag{3}$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y(t) = b_0 x(t) + b_1 \frac{dx}{dt} \tag{4}$$

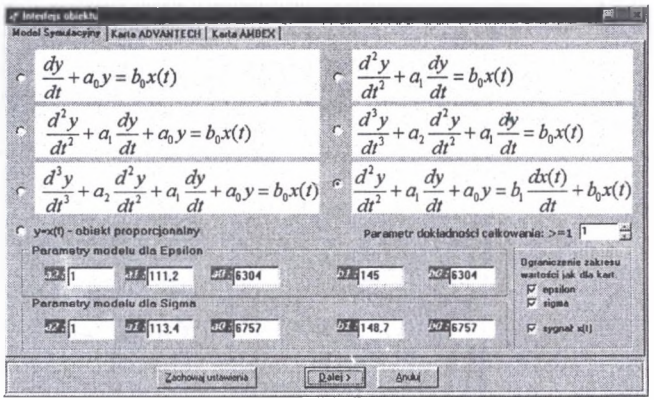
$$\frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} = b_0 x(t) \tag{5}$$

$$\frac{d^3 y}{dt^3} + a_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} = b_0 x(t) \tag{6}$$

Modele (1 – 4) odpowiadają obiektom statycznym, natomiast modele (5 – 6) odpowiadają obiektom astatycznym. Parametry tych modeli muszą być wyznaczone w bloku identyfikacji.

Na rysunku 2 widzimy okno programu pozwalające wybrać rodzaj modelu oraz wprowadzić jego parametry. Zakłada się, że przy sterowaniu naprężeniem oraz odkształceniem model jest taki sam, przy czym ich parametry mogą być różne. Ponadto w realizowanych modelach można zwiększyć dokładność przez dodatkowy współczynnik zmniejszający krok całkowania metodą Rungego - Kutty.

W fizycznym układzie występują ograniczenia zakresów tak sygnałów sterujących, jak i czytanych, co również można wprowadzić do modelu.

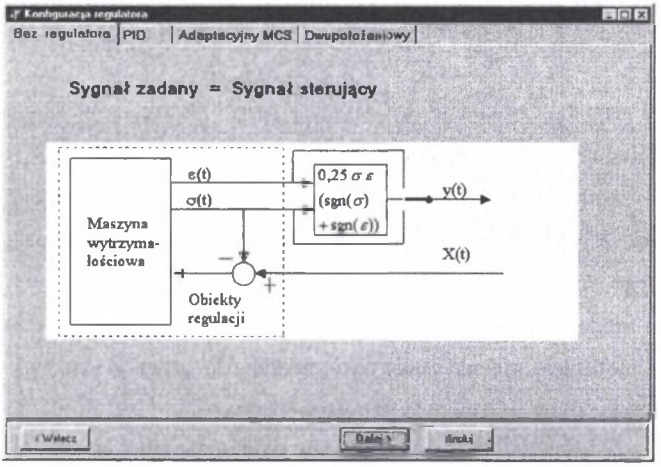


Rys. 2. Okno programu pozwalające wybrać rodzaj modelu oraz wprowadzić jego parametry
Fig. 2. Program window for model selection and parameter input

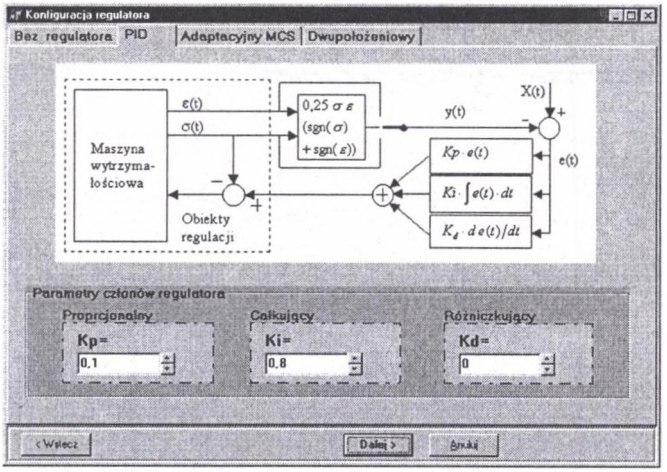
5. Funkcja sterowania

Układ umożliwia sterowanie w układzie otwartym i zamkniętym. Sterowanie w układzie otwartym realizować można dla wszystkich sygnałów jak w układzie zamkniętym. W układzie zamkniętym można wybrać następujące regulatory (algorytmy regulacji).

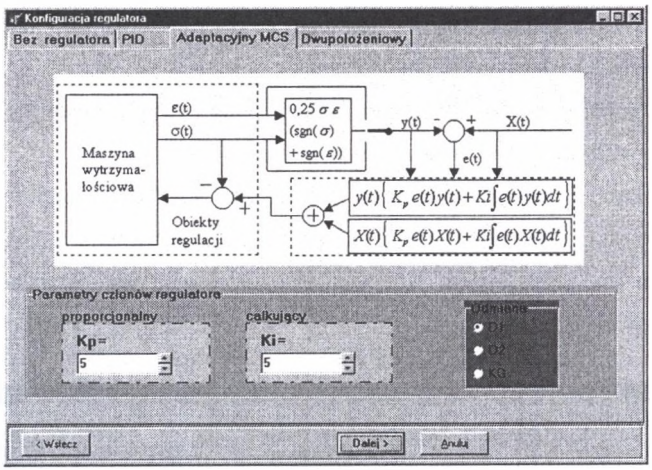
Rysunek 3 przestawia okna programu pozwalające wybrać i nastawić parametry dla wybranego regulatora.



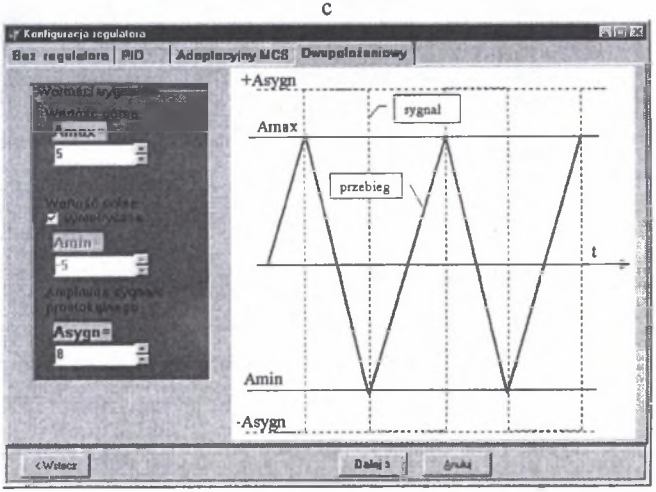
a



b



c



d

Rys. 3. Okna programu pozwalające wybrać i nastawić parametry dla wybranego regulatora: a - bez regulatora b - PID, c - MCS, d - dwupołożeniowego

Fig. 3. Program window for selecting and parameter for selected controller: a - without controller b - with PID controller c - with MCS controller d - with two-state controller

Układ umożliwia realizację sterowania:

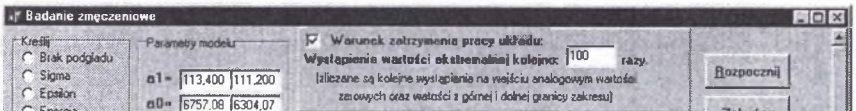
1. naprężeniem (dokładnie siłą),
2. odkształceniem,
3. parametrem energetycznym (gęstością energii odkształcenia).

Przy sterowaniu parametrem energetycznym w układzie pomiarowym następuje wymnożenie sygnału naprężenia z sygnałem odkształcenia, co powoduje (przez te operacje), że obiekt regulacji staje się elementem nieliniowym. Wtedy nawet w zamkniętym układzie regulacji

uzyskanie zadanych sygnałów staje się niemożliwe. W tym celu wprowadzono dodatkowe operacje kompensujące działanie nieliniowe obiektu regulacji.

Sterowanie parametrem energetycznym może się więc odbywać w układzie regulacji bez elementu linearyzującego, jak i z elementem linearyzującym.

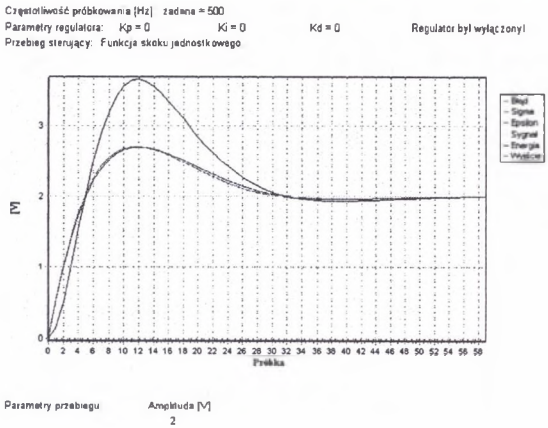
Wyboru sposobu linearyzacji obiektu ze względu na sposób obliczania parametru energetycznego dokonuje się w oknie programu pokazanym na rys.4. Użycie funkcji linearyzujących ma sens jedynie, gdy wielkością sterowana jest parametr energetyczny oznaczony umownie **Energia**.



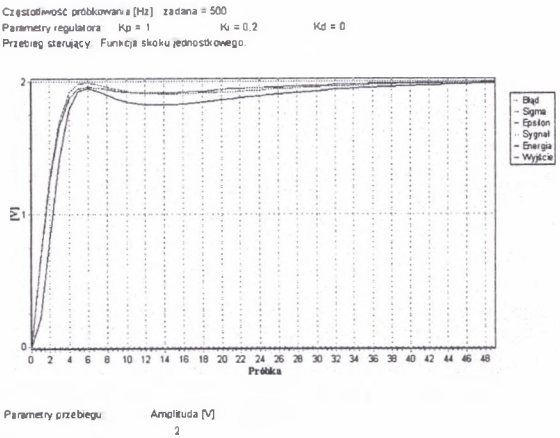
Rys. 4. Okno kontrolno-sterujące
Fig. 4. Control and monitoring window

6. Przykłady przebiegów i sterowania

Na rysunku 5.a,b przedstawiono odpowiedzi obiektu sterowania na skok jednostkowy w układzie otwartym (a) i w układzie zamkniętym (b) z regulatorem PID. Jak widać, dynamiczny uchyb regulacji jest znacznie mniejszy w układzie przy użyciu opracowanego oprogramowania systemu sterowania w układzie zamkniętym sterowania.



a

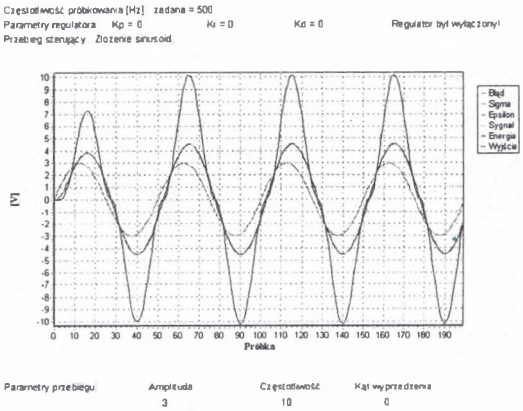


b

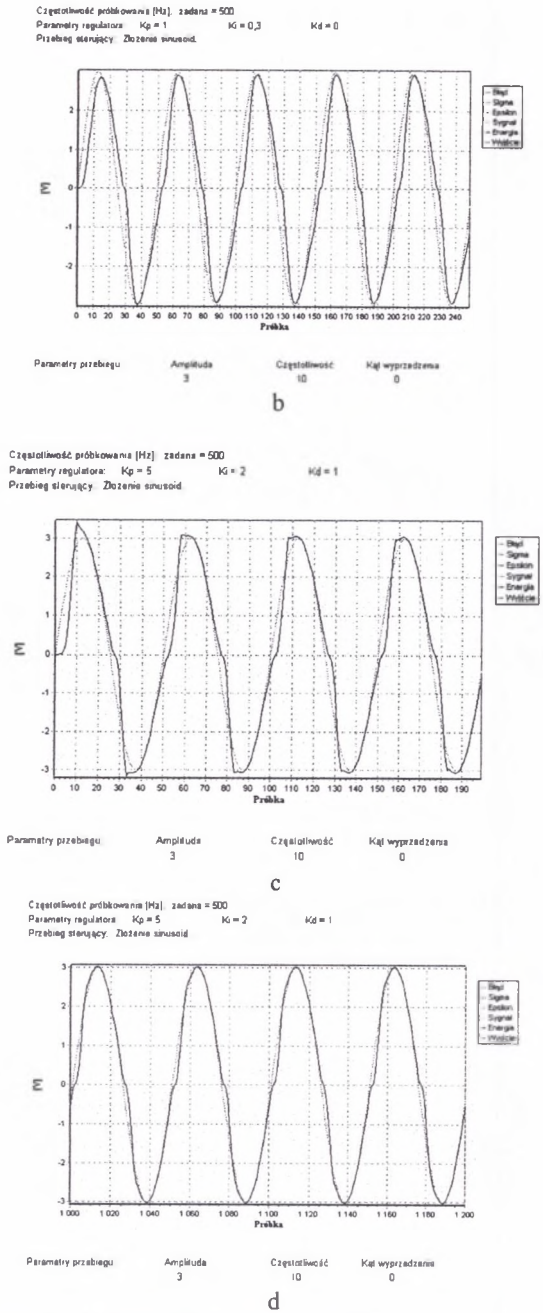
Rys. 5. a. Odpowiedzi na skok jednostkowy w układzie otwartym, b. Odpowiedzi na skok jednostkowy w układzie zamkniętym z regulatorem PID

Fig. 5. a) Responses for unit-step in open-loop system, b) Responses for unit-step in closed-loop system with PID controller

Na rysunku 6.a,b,c,d przedstawiono fragmenty przebiegów czasowych z programu sterowania, kiedy sygnałem sterującym jest sygnał sinusoidalny w układzie otwartym (a) i w układzie zamkniętym (b) z regulatorem PID oraz (c) i (d) z regulatorem MCS.



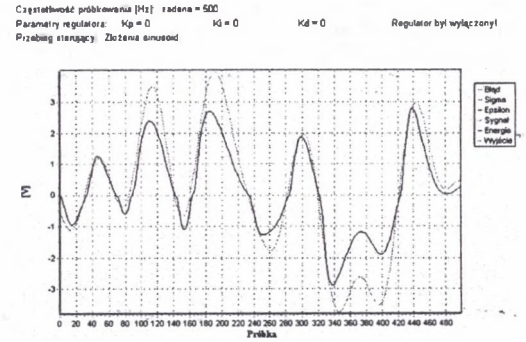
a



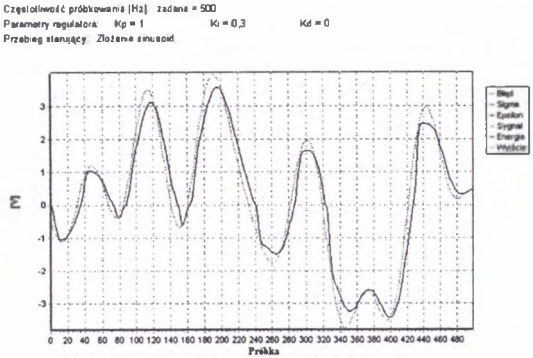
Rys. 6. a. Sygnał sinusoidalny w układzie otwartym, b. Sygnał sinusoidalny z regulatorem PID, c. Sygnał sinusoidalny z regulatorem MCS (w fazie początkowej), d. Sygnał sinusoidalny z regulatorem MCS (w stanie ustalonym)

Fig. 6. a. Sinusoidal signal in open-loop system, b. Sinusoidal signal with PID controller, c. Sinusoidal signal with MCS controller (initial phase), d. Sinusoidal signal with MCS controller (in steady-state)

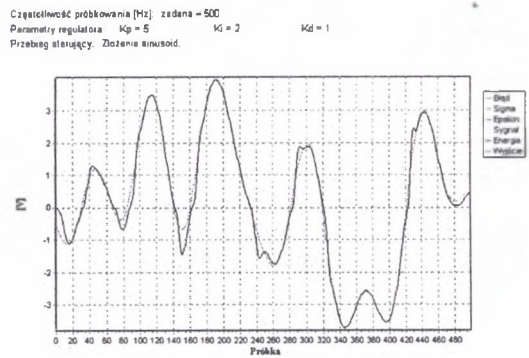
Na rysunku 7.a,b,c przedstawiono fragmenty raportów z programu sterowania, kiedy sygnałem sterującym jest przebieg pseudolosowy uzyskany poprzez złożenie sinusoid, w układzie otwartym (a) i w układzie zamkniętym (b) z regulatorem PID oraz (c) z regulatorem MCS.



a



b

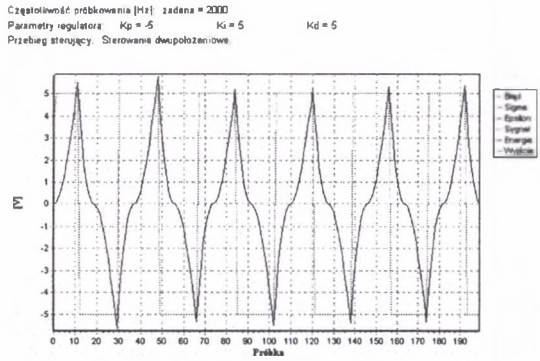


c

Rys. 7. a. Sygnał złożenia sinusoid bez regulatora, b. Sygnał złożenia sinusoid z regulatorem PID, c. Sygnał złożenia sinusoid z regulatorem MCS

Fig. 7. a. Sum of sinusoids without controller, b. sum of sinusoids with PID controller, c. sum of sinusoids with MCS controller

Na rysunku 8 przedstawiono przebieg sterowania parametrem energetycznym w regulatorze dwupołożeniowym. Jak widać, stosunkowo dobrze jest zachowana amplituda sygnału sterowanego.



Rys. 8. Sterowanie dwupołozeniowe
Fig. 8. Two-state control of energy parameter

LITERATURA

1. Anderson B.D.O., Moore J.B.: Filtracja optymalna. WNT, Warszawa 1984.
2. Identyfikacja procesów. Praca zb. (Red. Bielińska E.), Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, skrypt 2048, Gliwice 1997.
3. Łagoda T., Macha E., Achtelik H., Karolczuk A., Niesłony A., Pawliczek R.: Trwałość zmęczeniowa z uwzględnieniem gradientów naprężeń w ujęciu energetycznym. Wieloosiowe zmęczenie losowe elementów maszyn i konstrukcji - Część IV. Politechnika Opolska, Studia i Monografie, z. 139, Opole 2002.
4. Łagoda T., Macha E.: Trwałość zmęczeniowa przy dwuosiowych nieproporcjonalnych obciążeniach losowych według naprężenia, odkształcenia i energii właściwej odkształceń normalnych w płaszczyźnie krytycznej. Instytut Technologii Eksploatacji, Problemy Maszyn Roboczych, z. 15, Warszawa 2000.
5. Łagoda T., Macha E.: Trwałość zmęczeniowa przy kombinacji rozciągania ze skręcaniem. Politechnika Opolska, Zeszyty Naukowe, Mechanika, Nr 271, z. 69, Opole 2001.
6. Łagoda T., Macha E.: Wieloosiowe zmęczenie losowe elementów maszyn i konstrukcji, Część II. Wyższa Szkoła Inżynierska w Opolu, Studia i Monografie, z. 75, Opole 1995.
7. Łagoda T., Macha E.: Wieloosiowe zmęczenie losowe elementów maszyn i konstrukcji, Część III, Uogólnienie energetycznych kryteriów wieloosiowego zmęczenia cyklicznego na zakres obciążeń losowych. Politechnika Opolska, Studia i Monografie, z. 104, Opole 1998.
8. Łagoda T.: Energetyczne modele oceny trwałości zmęczeniowej materiałów konstrukcyjnych w warunkach jednoosiowych i wieloosiowych obciążeń losowych. Politechnika Opolska, Studia i Monografie, z. 121, Opole 2001.
9. Orłowski H.: Komputerowe układy automatyki. WNT, Warszawa 1987.

10. Wieczorkowski R., Zieliński. R.: Komputerowe generatory liczb losowych. WNT, Warszawa 1997.
11. Żelazny M.: Podstawy automatyki. WNT, Warszawa 1976.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Ewald Mache

Abstract

The paper presents basic assumptions for the control system of material testing machines SHM, using AD and DA converter cards. Selected parts of the control and regulation algorithm have been discussed. There have been also presented results of the practical application of the described system. The system has been invented for materials testing with energy parameter, but it should also operate instead of existing systems with very expensive or impossible maintenance. Existing systems have no capabilities for making possible fatigue testing with energy parameter shape control. Currently, the system uses some existing blocks, but after enhancement with safety function and specimen placement it will be used without them.