

dr inż. Mieczysław Zaczek
Katedra Automatyki
Akademia Górniczo-Hutnicza
al. Mickiewicza 30, Kraków
e-mail: mza@ia.agh.edu.pl

PROTOTYPOWANIE STEROWNIKA DLA ROBOTA APR-20 Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU dSPACE*

W pracy przedstawiono możliwości oraz uzyskane rezultaty wykorzystania systemu dSPACE do realizacji procesu szybkiego prototypowania i testowania w czasie rzeczywistym sterownika dla robota przemysłowego APR-20. Prototyp sterownika zrealizowano jako schemat blokowy w SIMULINK-u. Proces projektowania i testowania sterownika wykonano na bazie karty procesora sygnałowego (DS1003) oraz kart pomiarowych DS3001 i DS2103. Zaprojektowany sterownik realizuje następujące zadania: pomiary położenia z enkoderów, pozycjonowanie w przestrzeni współrzędnych konfiguracyjnych z wykorzystaniem różnych regulatorów w pętli regulacji położenia, bezwzględny i względny tryb pracy, możliwość synchronizacji prędkości ruchu wszystkich osi.

PROTOTYPING OF THE APR-20 ROBOT CONTROLLER WITH THE USE OF dSPACE SYSTEM

In this paper the process of controller prototyping for industrial robot APR-20 with the use of the dSPACE system is presented. The controller for this robot is realized as the block diagrams in SIMULINK. The process of prototyping and real-time testing of controller is made on the base of the processor board DS1003 and peripheral boards DS3001 and DS2103.

In the controller of the APR-20 robot the following tasks are implemented: measuring of axes position from encoder, various type of regulators (P, nonlinear P, PI), absolute and relative mode of work, positioning in the configuration space with the possibility of synchronization of axes velocity.

1. WPROWADZENIE

W artykule przedstawiono możliwości oraz rezultaty testów związanych z wykorzystaniem systemu dSPACE do szybkiego prototypowania oraz testowania w czasie rzeczywistym sterownika dla robota przemysłowego APR-20. Prototyp sterownika dla robota został zrealizowany jako schemat blokowy w SIMULINK-u. Proces testowania w czasie rzeczywistym zaprojektowanego sterownika zrealizowano na bazie karty DS1003 z procesorem sygnałowym oraz karty pomiarowej DS3001 do współpracy z enkoderami i karty wyjść analogowych DS2103. Do wygenerowania, z poziomu SIMULINK-a, kodu programu wykonywanego na karcie DS1003 wykorzystano pakiet RTI (Real-Time Interface), natomiast

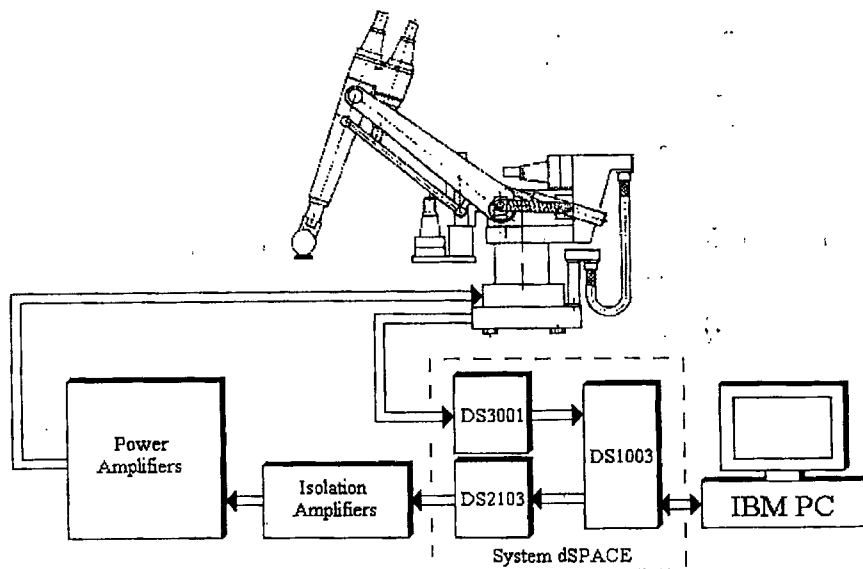
* Praca wykonana w ramach umowy Nr. 11.11.120.231

śledzenie przebiegów sygnałów oraz interaktywna zmiana parametrów sterownika realizowana jest przy pomocy programów TRACE i COCKPIT.

2. PROTOTYPOWANIE Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU dSPACE

Robot przemysłowy APR-20 jest układem o sześciu stopniach swobody (cztery połączenia obrotowe oraz dwa postępowe). Do realizacji ruchu wykorzystane są silniki prądu stałego, a pomiar położenia uzyskiwany jest z enkoderów (o rozdzielczości 1000 impulsów/obrót) umieszczonych przed przekładnią.

Układ sterowania dla robota APR-20 przedstawiono na Rys.1. Rolę sterownika robota pełni system dSPACE obejmujący kartę DS1003 zawierającą procesor sygnałowy oraz kartę DS3001 dla pomiaru położenia osi z enkoderów i DS2103 realizującą wysyłanie analogowych sygnałów sterujących na układy mocy robota. Sygnały sterujące podawane są poprzez dodatkowe układy wzmacniaczy izolujących.



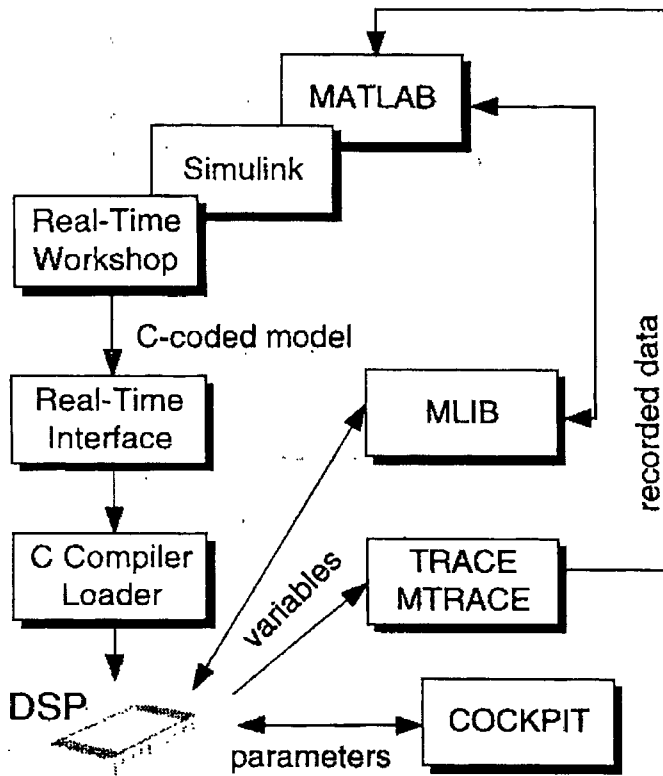
Rys.1 Układ sterowania robota APR-20

Wykorzystany system dSPACE jest układem modułowym, w którym karta DS1003 (zawierająca procesor sygnałowy Texas Instruments TMS320C40 pracujący z zegarem 50 MHz) stanowi jednostkę obliczeniową, a pozostałe karty pomiarowo-sterujące są z nią łączone poprzez szybką 32-bitową magistralę PHS. W układzie wykorzystano kartę DS3001 zawierającą interfejsy dla 5 wejść z przetworników pomiarowych enkoderowych oraz kartę DS2103 posiadającą 32 wyjścia analogowe w zakresie $\pm 5V$ lub $\pm 10V$.

Komputer typu IBM/Pentium stanowi platformę, dzięki której w środowisku SIMULINK-a przygotowywany jest projekt sterownika w postaci schematu blokowego, oraz możliwa jest komunikacja użytkownika z procesem realizowanym na kartach systemu dSPACE. Tworzony schemat zawiera bloki realizujące operacje pomiarowe i sterujące wykorzystywanych kart (dostarczane z systemem dSPACE w postaci dodatkowej biblioteki *rtilib*), dowolne z bloków zawartych w bibliotekach Simulink-a, jak również własne procedury użytkownika napisane w specyficznym dla tego środowiska formacie S-funkcji. Z utworzonego schematu

generowany jest automatycznie, poprzez wykorzystanie narzędzia programowego Real-Time Interface, program, który jest ładowany i wykonywany na karcie procesora sygnałowego. Dodatkowe programy COCKPIT i TRACE umożliwiają komunikację z procesem realizowanym w czasie rzeczywistym na karcie DS1003.

Opisany proces prototypowania i testowania sterowników przedstawiony został na Rys.2.



Rys.2 Schemat procesu prototypowania

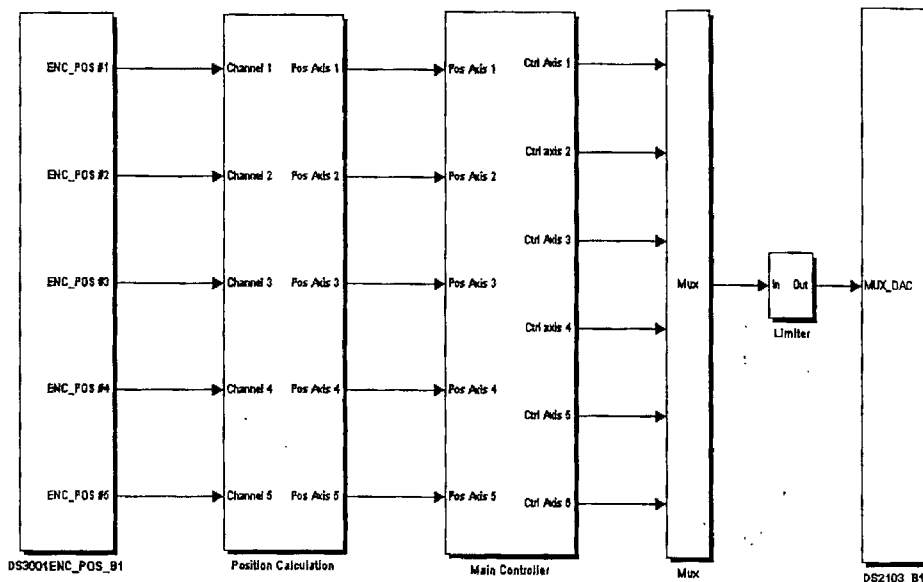
Moduł TRACE pozwala na śledzenie przebiegów czasowych dowolnych zmiennych występujących w realizowanej aplikacji. Moduł COCKPIT umożliwia zrealizowanie panelu operatorskiego oraz zmianę parametrów dowolnych bloków aplikacji. Zmiany te są natychmiast uwzględniane w realizowanym procesie bez potrzeby ponownej generacji kodu.

3. STEROWNIK ROBOTA APR-20

Sterownik robota APR-20, którego schemat blokowy w SIMULINK-u przedstawia Rys.3, pozwala na realizację następujących zadań:

- pomiary położenia osi z enkoderów oraz wysyłanie sygnałów sterujących,
- możliwość wyboru różnych regulatorów (P, nieliniowy P, PI itp.) i ich parametrów w pętli regulacji położenia dla poszczególnych osi,
- pozycjonowanie w przestrzeni współrzędnych konfiguracyjnych (realizacja zadań przestawiania i nadążania); praca w trybie względnym i bezwzględnym,

- możliwość synchronizacji prędkości ruchu wszystkich osi robota.

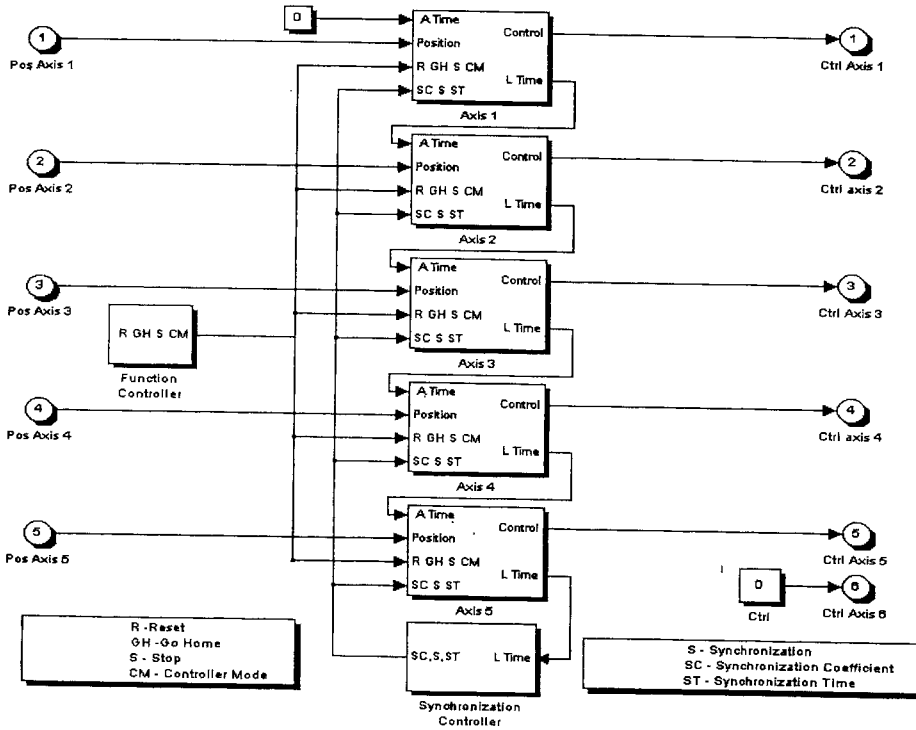


Rys.3 Schemat blokowy sterownika w SIMULINK-u

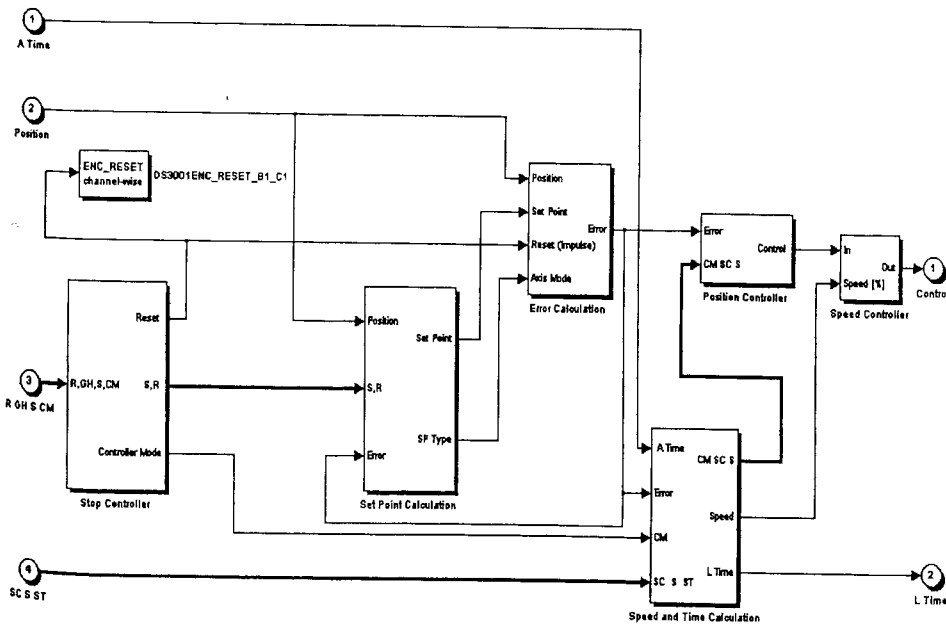
Bloki DS3001_POS_B1 oraz DS2103_B1 odpowiadają za realizację pomiarów położenia z wejść enkoderowych (poprzez kartę DS3001) i wysyłanie sterowania (karta DS2103). Pozostałe zawierają podsystemy realizujące wszystkie funkcje sterownika. Poniżej przedstawiono przykładowo blok *Main Controller* (Rys.4) oraz rozwinięcie wchodzących w jego skład bloków *Axis* (Rys.5) realizujących funkcje sterowania dla poszczególnych osi.

Zrealizowany sterownik robota APR 20 umożliwia wykonywanie poniższych operacji na poszczególnych osiach robota:

- resetowanie - zerowanie pozycji i wartości zadanej
- zatrzymanie robota w aktualnym położeniu
- zmienianie prędkości ruchu dla poszczególnych osi
- sterowanie w trybie bezwzględnym - oś ma pozycję zerową w miejscu jej ostatniego zresetowania
- sterowanie w trybie względnym - oś ma pozycję zerową w miejscu ukończenia poprzedniego ruchu
- sterowanie w trybie nadażnym - wartością zadaną jest sinusoida o ustawianej amplitudzie, częstotliwości i fazie
- powrót wszystkich osi do pozycji zerowych ustalonych w momencie ostatniego zresetowania robota (tylko w trybie bezwzględnym)
- sterowanie w trybie synchronicznym, to jest takim, w którym sterowania są tak dobierane, aby czas trwania ruchu każdej osi był jednakowy
- zmianę rodzaju regulatora w pętli regulacji położenia oraz jego parametrów.



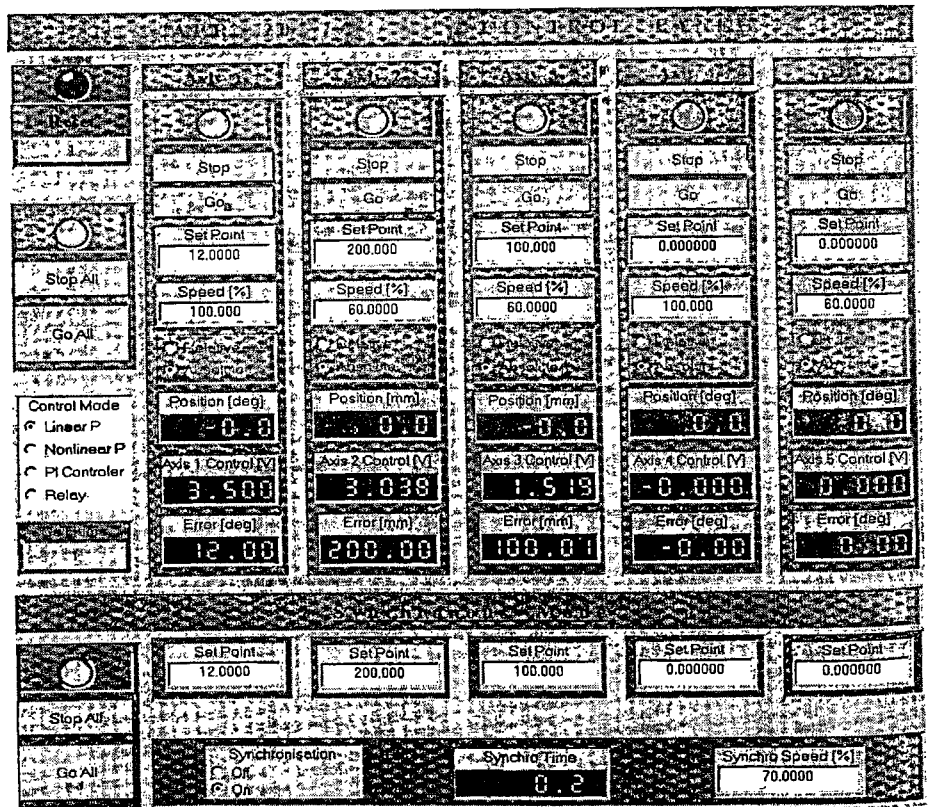
Rys.4 Schemat podsystemu *Main Controller*



Rys.5 Schemat podsystemu *Axis*

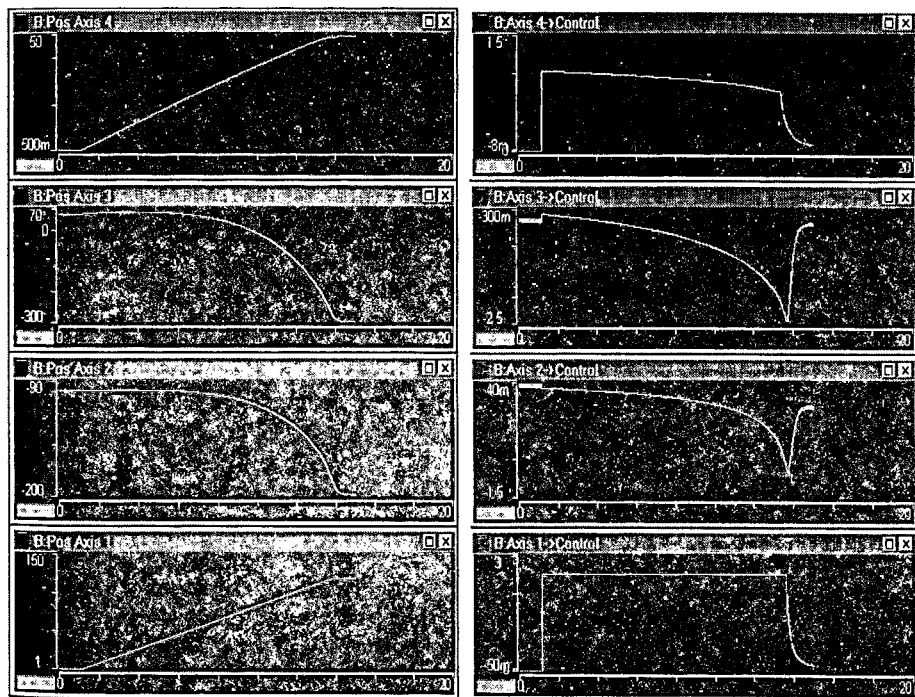
Wszystkie opisane powyżej funkcje sterownika realizowane są przez występujące na schemacie blokowym podsystemy: pomiar położenia osi uwzględniający wartość przekładni (*Position Calculation*), zatrzymywanie i resetowanie robota (*Stop Controller*), wybór rodzaju wartości zadanej i trybu pracy (*Set Point Calculation*), obliczanie błędu regulacji (*Error Calculation*), wybór rodzaju regulatora, jego parametrów oraz wyznaczanie sygnału sterującego (*Position Controller*), wyliczanie zadanej prędkości dla napędów w trybie pracy synchronicznej (*Speed and Time Calculation*), ustawianie prędkości roboczej dla poszczególnych osi, prędkości dla pracy synchronicznej oraz sprawdzanie ograniczeń (*Speed Controller*).

Wygenerowany ze schematu blokowego program jest automatycznie ładowany i wykonywany w czasie rzeczywistym, z zadeklarowanym przez użytkownika okresem próbkowania, na karcie DS1003 i za pomocą kart DS3001 oraz DS2103 komunikuje się z robotem sterując jego pracą. Program COCKPIT umożliwia stworzenie panelu operatorskiego ułatwiającego zmianę parametrów a TRACE śledzenie przebiegów wybranych zmiennych procesu. Na Rys.6 przedstawiono przykładowy panel operatorski, zrealizowany przy pomocy narzędzi oferowanych przez moduł COCKPIT, pozwalający na testowanie pracy zaprojektowanego sterownika dla różnych parametrów. Zmiany parametrów są natychmiast uwzględniane w realizowanej aplikacji, bez potrzeby generacji kodu. Ponowne generowanie kodu jest konieczne, gdy użytkownik dokonuje zmian w schemacie blokowym.



Rys.6 Panel operatorski dla robota APR-20

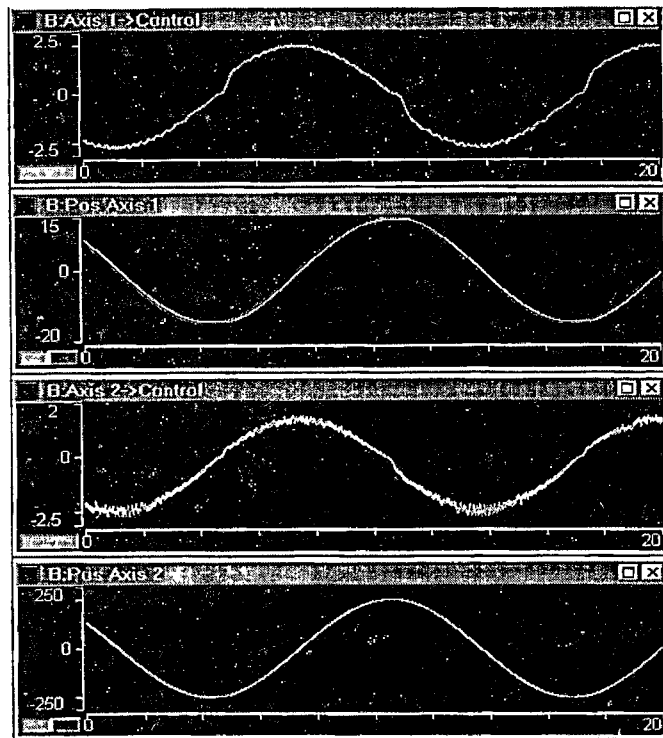
Przeprowadzone testy zaprojektowanego sterownika w czasie rzeczywistym (z okresem próbkowania 1 ms) wykazały poprawność jego działania. Na poniższych rysunkach przedstawiono niektóre z rezultatów, w postaci przebiegów czasowych zarejestrowanych przy pomocy programu TRACE (przebiegi te są zdejmowane w trybie on-line w czasie wykonywania aplikacji, dla dowolnych zmiennych występujących na schemacie blokowym). Na Rys.7 pokazano przebiegi zmian położenia i sterowania dla 4 osi robota realizującego zadanie przestawiania w trybie synchronicznym. W tym przypadku sterownik wylicza prędkość zadaną dla każdej osi uwzględniając zakres jej ruchu, prędkość maksymalną napędów oraz prędkość roboczą wprowadzoną przez użytkownika, tak by czas trwania ruchu był jednakowy dla każdej osi. W pętli regulacji położenia wykorzystano nieliniowy regulator P, z którego sygnał sterujący jest iloczynem współczynnika wzmocnienia i kwadratu błędu.



Rys.7 Przebieg zmian położenia i sterowania osi robota w trybie synchronicznym

Na kolejnym rysunku przedstawiono przebiegi zmian położenia i sterowania dla dwóch osi robota pracującego w trybie śledzenia sygnałów sinusoidalnych, podanych jako wartości zadane. Jak widać z tych przebiegów błąd nadążania za zmianami sygnału zadanego jest bardzo mały.

Podstawową zaletą takiej metody projektowania jest możliwość zrealizowania i przetestowania koncepcji układu sterowania (wybór algorytmu regulacji i jego parametrów) na rzeczywistym obiekcie w sposób bardzo prosty, bez potrzeby budowania sterownika i wykonywania jego oprogramowania.



Rys.8 Przebieg zmian położenia oraz sterowania w trybie śledzenia

4. PODSUMOWANIE

Przedstawione w pracy wyniki wykorzystania systemu dSPACE (karty i oprogramowanie) do projektowania i testowania sterowników, na przykładzie robota APR-20, w pełni potwierdzają przydatność tego rozwiązania w procesie prototypowania. Niewątpliwą zaletą takiego podejścia jest praca w jednym środowisku programowym zarówno na etapie projektu jak i testowania.

LITERATURA

- [1] *Simulink-Dynamic System Simulation ver.2*; The MathWorks Inc., USA, 1996.
- [2] *Real-Time Interface to Simulink-RTI1003-User's Guide*; dSPACE GmbH, Germany, 1997
- [3] *DS1003-User's Guide*; dSPACE GmbH, Germany, 1992.
- [4] *DS2103-Multi-Channel D/A Board-User's Guide*; dSPACE GmbH, Germany, 1995.
- [5] *DS3001-Incremental Encoder Board-User's Guide*; dSPACE GmbH, Germany, 1995.
- [6] M.Zaczyk: *Prototypowanie sterowników dla robotów IRp-6 i APR-20 z wykorzystaniem systemu dSPACE*; I Krajowe Warsztaty Technologii Szybkiego Prototypowania z Wykorzystaniem Procesorów Sygnałowych, Kraków, XI 1998, str.25-32.