

Układ sterowania CNC bazujący na komputerze PC z magistralą EtherCAT

Andrzej Wawrzak, Krystian Erwiński, Kazimierz Karwowski, Marcin Paprocki

Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Instytut Fizyki, ul. Grudziądzka 5, 87-100 Toruń

Marek Kłowskiak

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP w Warszawie, Oddział Badawczo-Rozwojowy Urządzeń Sterowania Napędów w Toruniu, ul. Stefana Batorego 107, 87-100 Toruń

Streszczenie: W artykule przedstawiono układ sterowania numerycznego maszyn zbudowany na bazie komputera PC, komunikujący się z serwonapędami i układami wejścia/wyjścia sterującymi wyposażeniem maszyny poprzez magistralę komunikacyjną EtherCAT. W komputerze zaimplementowano system operacyjny czasu rzeczywistego Linux RTAI wraz ze zmodyfikowanym oprogramowaniem sterującym LinuxCNC. Opracowano programowy moduł komunikacyjny magistrali EtherCAT i zintegrowano go z oprogramowaniem LinuxCNC. Opracowany moduł EtherCAT umożliwia komunikację z serwonapędami zgodnie ze standardem CiA 402 oraz modułami wejść/wyjść zgodnie ze standardem CiA 401. Opracowany układ sterowania cechuje się prostą budową i łatwym montażem. Pozwala na bardzo szybką dwukierunkową komunikację z napędami i układami wejścia/wyjścia. Jest układem elastycznym, który można łatwo zaimplementować do sterowania maszynami wieloosiowymi o różnej konfiguracji.

Słowa kluczowe: układ sterowania CNC, otwarty układ sterowania, system operacyjny czasu rzeczywistego, Linux RTAI, LinuxCNC, EtherCAT

1. Wprowadzenie

Układy sterowania maszyn CNC można podzielić na zamknięte – uniemożliwiające wprowadzanie modyfikacji przez użytkownika oraz otwarte – najczęściej bazujące na komputerach przemysłowych IPC (ang. Industrial Personal Computer) z zaimplementowanym oprogramowaniem CNC, które można swobodnie modyfikować. Układy zamknięte [1, 2] produkowane są przez wielu znanych producentów układów sterowania, między innymi Siemens, Heidenhain, Fanuc, Cincinnati itd. Wiele firm jest jednocześnie producentem maszyn i dedykowanych do nich układów sterowania. W układach sterowania otwartego istnieje możliwość zaadaptowania ich do sterowania maszynami o różnych konfiguracjach [5]. Mają one bardzo różne struktury. Jednym z rozwiązań jest budowa układów sterowania wykorzystującego komputery PC tzw. PC BA (ang. PC Based Automation). Układy te są coraz bardziej popularne i są stosowane do sterowania wieloma maszynami. W układach tych, w zależności od producenta, stosowane są różne magistrale komunikacyjne. Często stosowane są jednokierunkowe magi-

strale komunikacyjne, np. do sterowania napędami skokowymi, wysyłające sygnały CLK, DIR, ENABLE.

Bardzo zaawansowane układy sterowania numerycznego maszyn bazujące na komputerach IPC produkuje firma Beckhoff Automation GmbH. Układy te sterowane są z wbudowanego sterownika PC z zintegrowanymi wejściami i wyjściami (ang. *Embedded PCs*) lub przemysłowego wielordzeniowego komputera PC.

Jako program sterujący stosowany jest TwinCAT CNC (do 32 osi sterowanych numerycznie). Komunikacja między komputerem IPC stanowiącym sterownik CNC a serwonapędami i układami wejścia/wyjścia, zarówno dyskretnymi jak i analogowymi, realizowana jest przez magistralę EtherCAT [3]. Firma Beckhoff jest twórcą tej magistrali. Magistralę tę definiuje norma IEC 61158 [8]. Warstwa fizyczna i liniowa jest zgodna ze standardem typowej ramki Ethernet IEEE 802.3 [9]. Umożliwia to podłączenie serwonapędów i układów wejścia/wyjścia za pośrednictwem typowych przewodów ethernetowych do portu komputera PC. W warstwie aplikacyjnej stosu tej magistrali zastosowano protokół komunikacyjny CANopen. Na rynku dostępnych jest wiele serwonapędów wyposażonych w porty ethernetowe z protokołem CANopen. Magistrala EtherCAT doskonale nadaje się do komunikacji w czasie rzeczywistym komputera z napędami. Obsługa wszystkich serwonapędów, tj. wysyłanie danych i odczyt danych z serwonapędów i układów wejścia/wyjścia, może odbywać się cyklicznie w jednej przesyłanej ramce ethernetowej.

Jednym z rozwiązań układów sterowania numerycznego maszyn są układy sterowania budowane na komputerach IPC z oprogramowaniem LinuxCNC [6], pracującym w środowisku

Autor korespondujący:

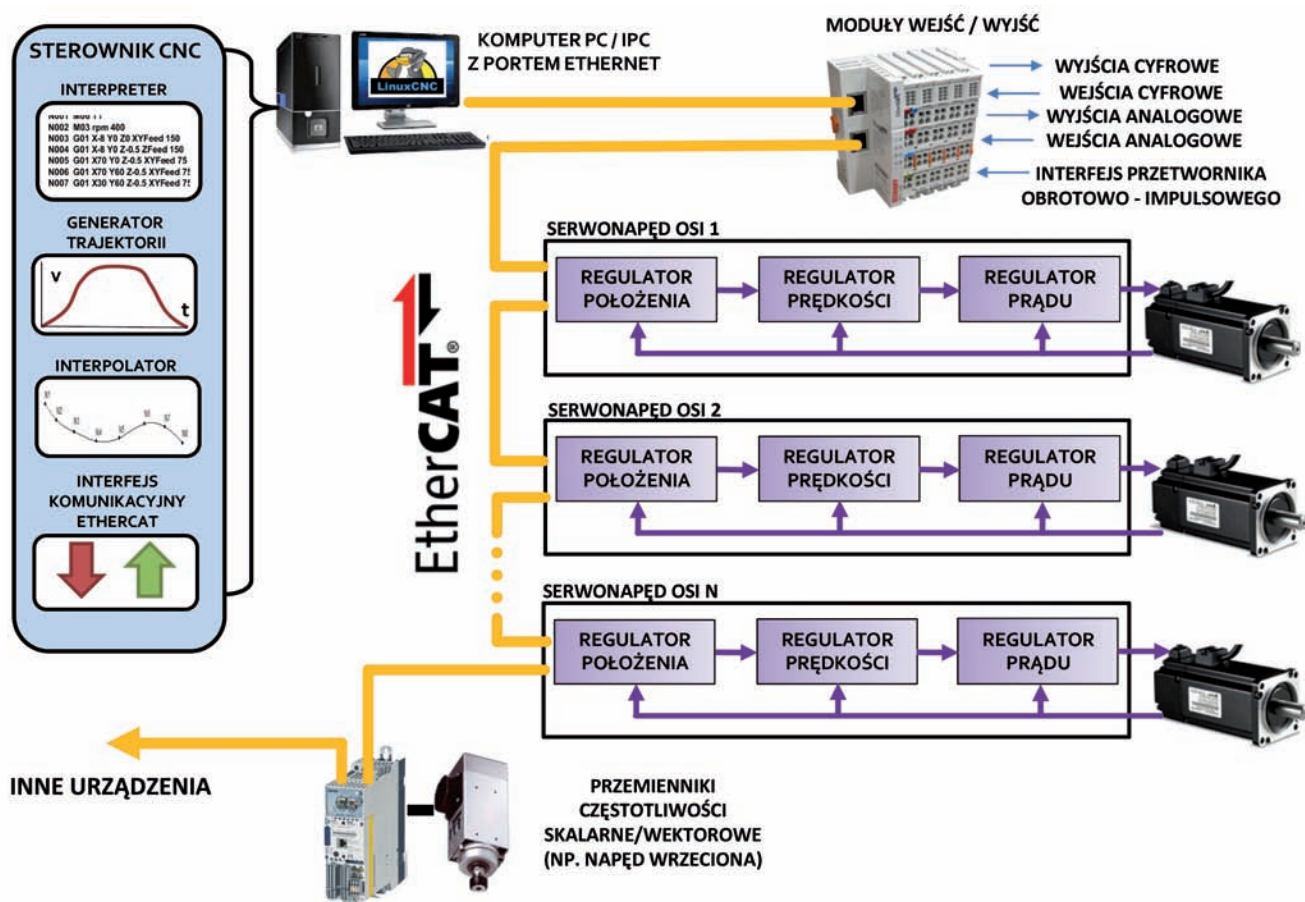
Marcin Paprocki, marcin.paprocki@fizyka.umk.pl

Artykuł recenzowany

nadesłany 15.04.2016 r., przyjęty do druku 20.05.2016 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0



Rys. 1. Budowa układu sterowania
Fig. 1. Control system structure

Linuxa czasu rzeczywistego i magistrala komunikacyjna EtherCAT. Jest to rozwiązanie tanie o dużych możliwościach adaptacji do sterowania maszynami o różnej konfiguracji. Budowa układów sterowania opartych na komputerach IPC oraz magistrali EtherCAT, z uwagi na niski koszt układów sterowania oraz duże możliwości w zakresie oprogramowania, jest dobrą alternatywą dla układów zamkniętych.

2. Architektura układu sterowania

Przedstawiony układ sterowania (rys. 1) złożony jest z komputera PC z systemem operacyjnym Linux RTAI (ang. *Real Time Application Interface*) [7] i programem sterującym LinuxCNC, z zaimplementowanym stosem komunikacyjnym EtherCAT, układów wejść/wyjść dyskretnych i analogowych sterujących wyposażeniem maszyny oraz serwonapędów i innych napędów, np. przemienniki częstotliwości skalarne i wektorowe. Wszystkie podzespoły układu sterowania komunikują się poprzez magistralę EtherCAT z warstwą aplikacyjną CANopen.

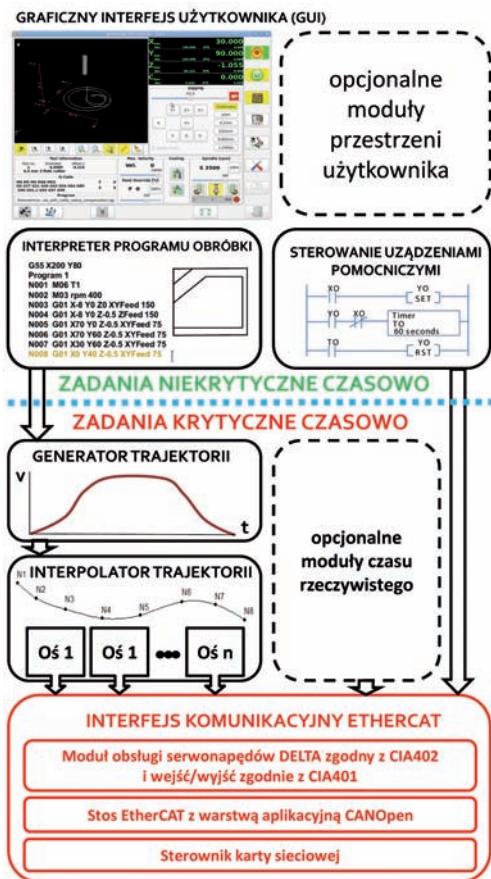
Rolę komputera sterującego może pełnić standardowy PC z portem Ethernet (procesor min. 2-rdzeniowy) lub IPC o zbliżonych parametrach. Oprogramowanie umożliwia sterowanie 9 osiami interpolowanymi (6 liniowych i 3 obrotowe). Przy zastosowaniu transformacji kinematycznej liczba obsługiwanych serwonapędów może być większa niż liczba osi programowych. Liczba wejść i wyjść może być dużą (kilkaset). W jednej ramce EtherCAT przesyłanych jest do 1500 bajtów informacji, które służą do obsługi serwonapędów, układów wejścia/wyjścia i innych napędów. Serwonapędy osi mogą pochodzić od różnych producentów. Jedynym wymogiem jest posiadanie portu EtherCAT z protokołem komunikacyjnym CANopen.

Jako moduły układów wejścia/wyjścia dyskretnego i analogowego, jak również moduły do obsługi linii pomiarowych (przetworników obrotowo-impulsowych) stosowane są moduły firmy Beckhoff. Ramki komunikacji EtherCAT przesyłane są w czasie rzeczywistym cyklicznie co 1 ms.

3. Program sterujący CNC

Oprogramowanie sterujące LinuxCNC zaimplementowano na komputerze PC pełniącym rolę nadrzędnego sterownika CNC. Program ten pracuje w środowisku Linux RTAI. Umożliwia realizację zadań czasowo krytycznych w czasie rzeczywistym. Linux RTAI zawiera standardowe jądro systemu operacyjnego Linux oraz mikrojądro czasu rzeczywistego. Mikrojądro czasu rzeczywistego realizuje niewielką liczbę zadań deterministycznych programu CNC i ma bezpośredni dostęp do przerwań sprzętowych i zegarowych. Jądro Linux realizuje pozostałe zadania niekrytyczne czasowo, gdy żadne z zadań czasu rzeczywistego nie ubiega się o dostęp do procesora. Zadania czasu rzeczywistego mają najwyższy priorytet realizacji. Na rys. 2 przedstawiono strukturę programu LinuxCNC. Wyróżniono tu moduły programu LinuxCNC, których realizacja nie jest krytyczna czasowo oraz deterministyczne – realizowane cyklicznie w ściśle określonych odcinkach czasu.

Program LinuxCNC składa się z komponentów pracujących w przestrzeni użytkownika oraz komponentów pracujących w przestrzeni jądra w reżimie czasu rzeczywistego HAL (ang. *Hardware Abstraction Layer*). Część aplikacyjna obejmuje nadrzędny program ładujący moduły składowe programu CNC wraz z plikami konfiguracyjnymi, graficzny interfejs użytkownika GUI (ang. *Graphical User Interface*), interpreter G-kodów programu



Rys. 2. Struktura programu LinuxCNC
Fig. 2. Structure of the LinuxCNC software

użytkownika i moduł sterowania wejściami i wyjściami pomocniczymi maszyny. Istnieje możliwość implementacji własnych opcjonalnych modułów sterujących elementami maszyny.

Użytkownik może tworzyć własne interfejsy użytkownika GUI lub wybrać z kilku dostępnych w ramach programu LinuxCNC. W ramach interfejsu użytkownika GUI istnieje możliwość wyświetlania wybranych wyników pomiarów lub skorzystania z wirtualnego oscyloskopu. Część aplikacyjna programu nie jest krytyczna czasowo.

Warstwa sprzętowa HAL jest krytyczna czasowo i jest ściśle związana z mikrojądrem czasu rzeczywistego Linux RTAI. Warstwa ta zawiera standardowe moduły LinuxCNC oraz moduły opracowane przez autorów w LinuxCNC (kolor czerwony na rys. 2). Standardowe moduły warstwy HAL obejmują moduły generatora trajektorii ruchu, interpolatora oraz transformacji kinematycznej wyznaczającej zadane położenia osi dla wybranego układu współrzędnych maszyny.

Oprogramowanie LinuxCNC nie zawiera żadnego stosu komunikacyjnego obsługującego przemysłowy standard transmisji szeregowej. Ogranicza to istotnie możliwość sterowania

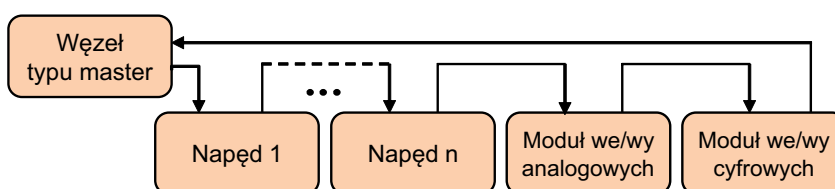
komercyjnymi napędami i urządzeniami automatyki. W warstwie HAL mogą być implementowane własne opcjonalne moduły czasu rzeczywistego. Autorzy zintegrowali z programem LinuxCNC stos magistrali EtherCAT z warstwą aplikacyjną CANOpen. Opracowano i zintegrowano z programem moduły sterowania serwonapędami firmy Delta oraz wejściami i wyjściami cyfrowymi, zgodnie z profilami sprzętowymi CANopen CiA 402 i CiA 401 [10].

Program LinuxCNC realizuje bardzo rozbudowany zestaw G-kodów służących do programowania wieloosiowych maszyn CNC. Generator trajektorii ruchu zaimplementowany w programie realizuje trapezoidalne profilowanie prędkości. Oprogramowanie umożliwia również realizację funkcji Look Ahead wygładzającą trajektorię złożoną z wielu segmentów liniowych (kod G64). Skutkuje to poprawą jakości obróbki.

4. Magistrala EtherCAT, profile komunikacyjne, CANopen

Standardowy protokół komunikacyjny Ethernet TCP/IP wykorzystuje protokół wielodostępu CSMA/CD (ang. *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) [11]. Transmisja z wykorzystaniem Ethernet TCP/IP uniemożliwia uzyskanie wystarczającego determinizmu, pozwalającego na synchroniczne sterowanie serwonapędami w maszynach wieloosiowych CNC. Magistrala EtherCAT w przeciwieństwie do magistrali Ethernet TCP/IP zapewnia transmisję izochroniczną – niezbędną w aplikacjach sterowania ruchem. Warstwa fizyczna, tj. warstwa pierwsza modelu OSI (ang. *Open Systems Interconnection*) [12] protokołu EtherCAT, jest identyczna z tą samą warstwą protokołu Ethernet TCP/IP. Umożliwia to stosowanie standardowych interfejsów kart sieciowych dostępnych w komputerach PC. Warstwa łącza danych, tj. warstwa druga modelu OSI, jest częściowo zgodna z Ethernet TCP/IP. Warstwa ta została rozszerzona o mechanizm obsługi zadań w trybie czasu rzeczywistego. Ostatnią warstwą protokołu EtherCAT jest warstwa aplikacyjna, tj. warstwa siódma modelu OSI. Warstwy 3–6 modelu OSI w stosie EtherCAT nie są wykorzystywane.

W standardowej sieci EtherCAT znajduje się jedno urządzenie nadzorcze oraz wiele urządzeń podrzędnych (maksymalnie 65 535 adresów). Sieć ma budowę logicznego pierścienia. W układzie sterowania CNC ramka EtherCAT wysyłana jest przez urządzenie nadrzędne, tj. komputer PC, i zawiera dane przeznaczone dla każdego z urządzeń podrzędnych w sieci. Ramka przekazywana jest kolejno przez każdy następny węzeł sieci, po czym wraca do komputera PC. Po odebraniu ramki urządzenie podrzędne odczytuje dane dla niego przeznaczone, zapisuje dane zwrotne, a następnie przekazuje ramkę do następnego urządzenia w sieci. Opóźnienia propagacji ramki są minimalne (od 230 ns do 1 μs dla każdego węzła sieci) [4], ponieważ przetwarzanie danych realizowane jest sprzętowo. Odpowiada za to w każdej jednostce podrzędnej układ FMMU (ang. *Fieldbus Memory Management Unit*). Przykładowy schemat przepływu informacji w magistrali EtherCAT przedstawiono na rys. 3. W węźle sieci dokonywane jest sprawdzenie, czy



Rys. 3. Schemat przepływu informacji w magistrali EtherCAT
Fig. 3. Dataflow in the EtherCAT bus

w aktualnej ramce znajdują się dane przeznaczone dla tego węzła. Odczyt, modyfikacja czy zapis danych do ramki w węzle powoduje zmianę sumy kontrolnej (CRC) ramki. Umożliwia ona ocenę przez urządzenie nadzorcze czy operacja transmisji ramki jest poprawna. Ostatni węzeł w sieci przesyła ramkę do urządzenia nadrzędnego.

Format ramki EtherCAT określa standard IEEE.802.3. Budowę ramki EtherCAT przedstawiono na rys. 4. Ramka protokołu EtherCAT jest enkapsulowana w ramce Ethernet. Podstawowym nośnikiem informacji w ramce EtherCAT jest telegram, zbudowany z datagramów PDU (ang. *Protocol Data Unit*). Liczba datagramów odpowiada liczbie węzłów podrzędnych. Każdy PDU zawiera informacje przeznaczone dla węzłów podrzędnych i może zawierać od 64 do 1500 bajtów.

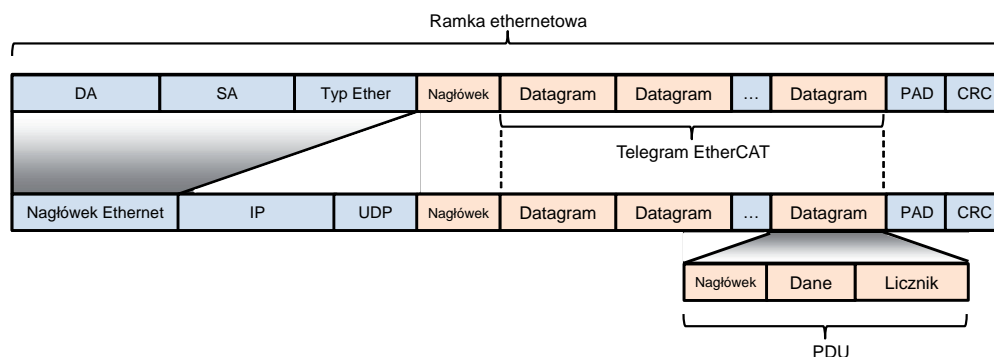
Warstwa aplikacji stosu EtherCAT bazuje na protokole komunikacyjnym CANopen, który zawiera bibliotekę obiektów OBD (CiA 301) (ang. *Object Dictionary*). W strukturze biblioteki obiektów OBD zawarte są dane o wszystkich parametrach, odnoszących się do stosu komunikacyjnego EtherCAT (np. liczba węzłów), a także zmienne procesowe przesyłane z urządzenia nadzorczego do urządzeń podrzędnych. Każda zmienna (obiekt) ma w bibliotece OBD swój własny szesnastkowy identyfikator (indeks).

Obiekty wysyłane i odbierane w fazie izochronicznej są przyporządkowane (mapowane) do struktury PDO (ang. *Process Data Object*), natomiast obiekty przesyłane w fazie asynchronicznej do struktury SDO (ang. *Service Data Object*). Obiekty mapowane do PDO dotyczą danych procesowych (krytycznych czasowo), obiekty mapowane do SDO są przeznaczone z danymi konfiguracyjnymi węzłów. Standard EtherCAT alternatywnie umożliwia wysyłanie obiektów mapowanych w SDO za pomocą protokołu TCP/IP z pominięciem stosu EtherCAT. Każde urządzenie w sieci EtherCAT ma własną bibliotekę OBD z odpowiednio mapowanymi obiektami w PDO i SDO.

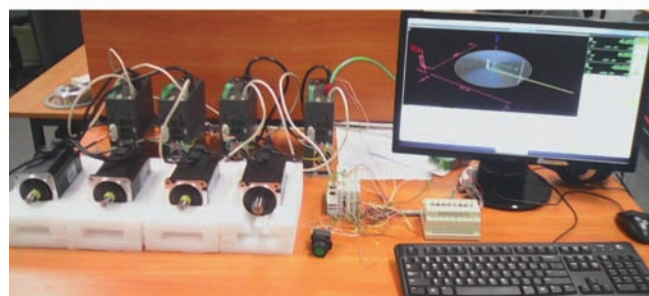
Oprócz standardowych obiektów, zdefiniowanych przez standard EtherCAT, istnieje przestrzeń indeksów (sekcja) w OBD, w której możliwe jest definiowanie własnych obiektów użytkownika. Sekcje te są zdefiniowane w odrębnych normach, w zależności od typu węzła podrzędnego. Standardy te znane są jako profile komunikacyjne urządzeń (ang. *device profiles*). Określają one zestaw obiektów zawierających konfigurację zmiennych procesu, typowych dla danego typu węzła. Profil komunikacyjny układów wejść i wyjść jest zdefiniowany w standardzie CiA 401, zaś serwonapędów w standardzie CiA 402. Każdy serwonapęd obsługujący protokół EtherCAT, musi mieć zaimplementowaną bibliotekę OBD w standardzie CiA 402. Obiektami zdefiniowanymi przez CiA 402 mogą być dane dotyczące pozycji zadanej, pozycji rzeczywistej, wartości prędkości, wartości prądu, stanu logicznego cyfrowych wejść/wyjść, wartości współczynników wzmocnienia regulatorów typu PID, Feedforward, konfiguracji trybu pracy serwonapędu (praca w trybie momentowym, zadanej prędkości lub położenia) i wiele innych. Opracowany sterownik CNC w pełni wspiera standard CiA402, struktura zdefiniowana w CiA 402 jest w pełni obsługiwana. Wszystkie parametry komunikacyjne, konfiguracyjne i procesowe urządzeń pracujących w sieci EtherCAT są zdefiniowane w OBD. Każdy obiekt (parametr) jest jednoznacznie identyfikowany przez indeks i subindeks.

4. Podstawowe parametry układu sterowania

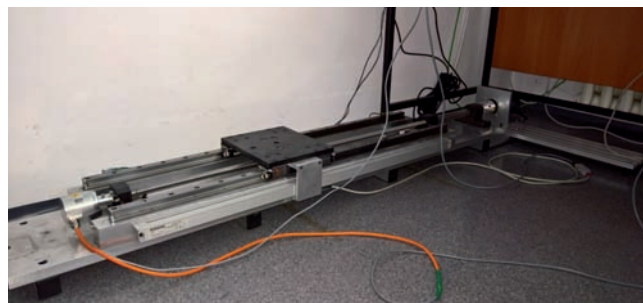
Badany układ sterowania (rys. 5) złożony był z komputera PC z procesorem Intel Core i3, karty sieciowej z portem Ethernet typu Realtek 8111/8168B, czterech osi numerycznych z serwonapędami ASDA-A2-0721-E firmy Delta o mocy 750 W i momencie 2,4 Nm, modułu sprzęgającego wejścia i wyjścia z portem Ethernet EK1828, układów wejść dyskretnych EL1008, wyjść dyskretnych EL2008 i modułu umożli-



Rys. 4. Budowa ramki EtherCAT
Fig. 4. EtherCAT frame structure



Rys. 5. Stanowisko badawcze – widok układu sterowania
Fig. 5. Test setup – control system



Rys. 6. Stanowisko badawcze – jednostka ruchu liniowego
Fig. 6. Test setup – linear motion unit

Tabela 1. Układ sterowania CNC z napędami ASDA-A2-0721-E

Table 1. CNC control system with ASDA-A2-0721-E servo drives

Lp.	Opis badania	Parametry	Uwagi
1.	Fluktuacje odczytanego położenia z przetwornika pomiarowego Hiperface silnika dla układu niewykonywającego ruchu. Odczyt położenia z przetwornika obrotowo-impulsowego o rozdzielczości 144 000 imp./obr. umieszczonego na śrubie tocznej nie zmieniał się.	$\pm 2 \cdot 2\pi/1\ 280\ 000$ rad	Rzeczywiste położenie równe zadanemu położeniu wału silnika – suport nie wykonywał przemieszczenia.
2.	Realizowany minimalny ruch obrotowy śruby tocznej (zadane położenie $1 \cdot 2\pi/144\ 000$ rad, tj. 1 inkrement przetwornika obrotowo-impulsowego).	Wykonano zadane przemieszczenie $1 \cdot 2\pi/144\ 000$ rad	Ruch był powtarzalny w obu kierunkach. Odpowiada przemieszczeniu 0,03472 μm
3.	Realizowany minimalny ruch obrotowy śruby tocznej (zadane położenie $1 \cdot 2\pi/144\ 000$ rad, tj. 1 inkrement przetwornika obrotowo-impulsowego). Wał silnika obciążony momentem 1,8 Nm.	Wykonano zadane przemieszczenie $1 \cdot 2\pi/144\ 000$ rad	Ruch był zadawany w obu kierunkach. Odpowiada przemieszczeniu suportu 0,03472 μm
4.	Chwilowy maksymalny uchyb pozycji przy skokowej zmianie momentu obciążenia silnika (zadane położenie nie zmieniło się). Moment obciążenia na wale silnika 1,8 Nm	$103 \cdot 2\pi/144\ 000$ rad	Przed obciążeniem rzeczywiste położenie było równe zadanemu położeniu wału silnika.

wiąjącego podłączenie przetwornika obrotowo-impulsowego przyrostowego EL5101-0010 firmy Beckhoff.

Badania przeprowadzono na jednostce ruchu liniowego (rys. 6), wyposażonej w linią pomiarową o rozdzielczości 0,1 μm i przetwornik obrotowo-impulsowy przyrostowy o rozdzielczości 144 000 inkrementów/obr. (firmy Kubler) umieszczony na przekładni śrubowej tocznej. Skok przekładni śrubowej tocznej wynosił 5 mm/obr. Dla maksymalnej prędkości silnika wynoszącej 3000 obr./min przekłada się to na maksymalną prędkość liniową suportu 15 m/min. Układ pomiarowy napędu ASDA-A2-0721-E (przetwornik pomiarowy umieszczony w silniku) miał rozdzielczość 1 280 000 inkr./obr. wału silnika. Osiągnięte podstawowe parametry przedstawiono w tabeli 1.

Uzyskane wyniki świadczą o dużej dokładności pozycjonowania, możliwości realizacji przemieszczeń stanowiących ułamek mikrometra, zarówno z obciążeniem jak i bez obciążenia. Układ sterowania charakteryzuje się dużą sztywnością – niewielkie chwilowe zmiany pozycji rzeczywistej przy skokowej zmianie obciążenia.

6. Podsumowanie

Układ sterowania cechuje się prostą budową, elementy składowe do budowy układu są tanie i łatwo dostępne. Oprogramowanie układu umożliwia pisanie wyrafinowanych programów użytkowych w G-kodach, jak również opisywać trajektorie ruchu w postaci krzywych NURBS. Układ sterowania jest łatwy do adaptacji do sterowania maszynami o różnej konfiguracji. Komunikacja przez magistrale EtherCAT jest deterministyczna z małymi rozrzutami w cyklicznym przesyłaniu i odczytywaniu danych z serwonapędów i układów wejścia i wyjścia. Jedna przesyłana ramka obsługuje wszystkie serwonapędy, opóźnienie ramki przy przesyłaniu przez serwonapędy jest bardzo małe i kompensowane w serwonapędach. Układ sterowania z zastosowanymi napędami cechował się bardzo dużą rozdzielczością, uzyskiwano realizacje przemieszczeń poniżej 1 μm . Opracowany układ sterowania jest dobrą alternatywą w stosunku do istnieją-

cych na rynku rozwiązań układów sterowania CNC maszyn, a zwłaszcza drogich układów sterowania zamkniętego.

Bibliografia

1. Broel-Plater B., Dworak P., Mikołajczak M., *Mobile HMI system for the micromachine tool*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, Vol. 16, Nr 12, 2012, 70–75.
2. Kobyłkiewicz A., Pajdzik R., Waszczuk P., *Fractional order PID controller in velocity control loop of CNC machine feed-drive module with permanent magnet synchronous motor*, „Pomiary Automatyka Robotyka”, Vol. 16, Nr 12, 2012, 144–150.
3. Knapp E.D., Langill J.T., *Industrial Network Security: Securing critical infrastructure networks for smart grid, SCADA, and other Industrial Control Systems.*, Syngress 2014.
4. Chen, X., Li, D., Wan, J., Zhou, N., *A clock synchronization method for EtherCAT master*, Microprocessors and Microsystems 2016.
5. Grigoriev S.N., Martinov G.M., *The Control Platform for Decomposition and Synthesis of Specialized CNC Systems*, „Procedia CIRP”, Vol. 41, 2016, 858–863, DOI: 10.1016/j.procir.2015.08.031.
6. The LinuxCNC Team: „LinuxCNC User Manual”, http://linuxcnc.org/docs/2.6/pdf/LinuxCNC_User_Manual.pdf.
7. RTAI – Real Time Application Interface Official Website, <https://www.rtai.org/>.
8. IEC 61158 Standard.
9. IEEE 802.3 Standard, <http://standards.ieee.org/about/get/#get802>.
10. CANopen Product Guide, <http://www.cia-productguides.org/canopen/profiles>.
11. IEEE 802.3 Standard, *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications*.
12. ISO/IEC 7498-1:1994, *Information technology—Open Systems Interconnection—Basic Reference Model: The Basic Model*.

PC based CNC control system with EtherCAT fieldbus

Abstract: This article presents a PC-based numerical machine control system communicating via EtherCAT with servo drives and input/output devices controlling machine equipment. Linux RTAI real time operating system and LinuxCNC machine control software modified by the authors was implemented on the PC computer. A software EtherCAT communication module was developed and integrated with LinuxCNC. The developed module enabled communication with servo drives according to the CiA 402 standard and with input/output modules according to the CiA 401 standard. The developed control system has simple construction. It allows for very fast full duplex communication with servo drives and input-output modules. The control system is flexible and easily implemented to controlling machines of different configurations.

Keywords: CNC control system, open control system, realtime operating system, Linux RTAI, LinuxCNC, EtherCAT

mgr inż. Andrzej Wawrzak

awawrzak@fizyka.umk.pl

W 1986 r. ukończył studia na kierunku elektronika na AGH w Krakowie uzyskując tytuł magistra inżyniera. Jego obszar zainteresowań badawczych obejmuje automatyzację procesów technologicznych, układy sterowania napędami i układy sterowania numerycznego maszyn.



dr inż. Krystian Erwiński

krystian.erwinski@fizyka.umk.pl

Otrzymał tytuł magistra inżyniera na kierunku fizyka techniczna na Wydziale Fizyki UMK w Toruniu w 2008 r. W 2014 uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie automatyka i robotyka na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej. Jego zainteresowania badawcze obejmują układy sterowania CNC maszyn, w szczególności algorytmy generacji optymalnej trajektorii ruchu dla maszyn wieloosiowych.



dr inż. Marcin Paprocki

marcin.paprocki@fizyka.umk.pl

Otrzymał tytuł magistra inżyniera na kierunku fizyka techniczna na Wydziale Fizyki UMK w Toruniu w 2006 r. W 2016 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie automatyka i robotyka na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej. Jego zainteresowania obejmują układy sterowania CNC maszyn w szczególności algorytmy minimalizacji błędów odtwarzania trajektorii ruchu wykorzystujące metody sztucznej inteligencji.



dr inż. Kazimierz Karwowski

kkarwowski@fizyka.umk.pl

Kazimierz Karwowski uzyskał tytuł inżyniera na kierunku mechanika na Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy w 1970 r. W 1975 r. uzyskał tytuł magistra na kierunku fizyka na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. W 1982 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych na Politechnice Warszawskiej. Jego zainteresowania badawcze obejmują układy sterowania CNC maszyn, automatyzację procesów technologicznych, układy sterowania napędami.



mgr inż. Marek Kłosowiak

m.klosowiak@obrusn.pl

Ukończył studia na Wydziale Elektroniki Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej w 1981 r. Aktualne zainteresowania badawcze obejmują układy sterowania CNC maszyn, systemy CAD/CAM oraz automatyzację procesów technologicznych. Obecnie zatrudniony jest w Oddziale Badawczo-Rozwojowym Układów Sterowania Napędów PIAP w Toruniu.

