

Krzysztof Oprzędkiewicz*

Realizacja predyktora Smitha na platformie sprzętowo-programowej „soft PLC” bazującej na komputerze klasy PC**

1. Uwagi wstępne

Systemy sterowania bazujące na koncepcji PLC są stosowane w praktyce przemysłowej od wielu lat. Powody ich szerokiego rozpowszechnienia są znane, znane są również ich wady, nie pozwalające na ich zastosowanie do sterowania wszystkich procesów. Podstawową wadą większości sterowników PLC są zbyt małe możliwości obliczeniowe i zbyt mała szybkość działania jednostki centralnej sterownika – generalnie PLCs są zbyt „powolne” do sterowania procesów krytycznych pod względem czasowym, a próby zwiększenia możliwości obliczeniowych (ilość pamięci, szybkość działania) powodują szybki wzrost ceny urządzenia.

Z tego względu niezwykle interesująca wydaje się koncepcja tzw. „soft PLC”. System „soft PLC” jest systemem sterowania bazującym na środowisku MS Windows i wykorzystującym interfejs procesowy z klasycznego sterownika PLC. W przypadku realizacji systemu „soft PLC” na komputerze klasy PC niezbędnym elementem konfiguracji komputera jest karta komunikacyjna umożliwiająca komunikację pomiędzy „wirtualną” CPU i modułami sygnałowymi z wykorzystaniem sieci przemysłowej lub Ethernetu.

Jednocześnie należy dodać, że obecnie znaczną większość nowo budowanych złożonych systemów sterowania cyfrowego stanowią systemy bazujące na wykorzystaniu komputera klasy PC jako jednostki centralnej systemu sterowania (*PC based control*). Wśród tych systemów sterowania koncepcja „soft PLC” stanowi połączenie sprawdzonej od lat koncepcji PLC (interfejsy procesowe, metody i techniki programowania, przyzwyczajenia użytkowników) z najnowszymi trendami rozwojowymi w technice sterowania cyfrowego.

Podstawową cechą oprogramowania realizującego funkcję CPU powinna być możliwość spełnienia wymagań czasu rzeczywistego zarówno w zakresie szybkości wyznaczania sygnału sterującego, jak i obsługi wejść i wyjść. W tym miejscu należy zaznaczyć, że

* Katedra Automatyki, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

** Praca została zrealizowana w ramach projektu nr 3T11A00730

wszystkie dotychczas opracowane wersje systemu Windows nie są systemami operacyjnymi czasu rzeczywistego. Z tego względu spełnienie wymagań *hard real time* w systemach sterowania pracujących pod nadzorem Windows wymaga stosowanie dodatkowych „nakładek” na system operacyjny, które będą zapewniać spełnienie tych wymagań poprzez np. zapewnienie bezpośredniego dostępu do zegara systemowego. Systemy sterowania bez takich „nakładek” są systemami sterowania typu *soft real time* lub *firm real time*. Nie zapewniają one spełnienia wymagań *hard real time*, natomiast są znacznie tańsze i dobrze się sprawdzają podczas realizacji zadań sterowania w przypadkach, gdy czas nie jest parametrem krytycznym.

Przedstawiona powyżej koncepcja układu „soft PLC” ma kilka zalet, do których należą:

- radykalne zwiększenie możliwości obliczeniowych sterownika w stosunku do systemu „hard PLC” („wirtualna CPU” ma pełny dostęp do wszystkich zasobów systemu) przy zachowaniu rozsądnych kosztów rozwiązania;
- integracja na jednej platformie sprzętowej programatora, CPU sterownika i systemu SCADA, co znacznie ułatwia np. wymianę danych pomiędzy tymi aplikacjami;
- możliwość wykorzystania w systemie tego samego interfejsu procesowego, co w przypadku systemów „hard PLC”, przebudowa systemu sterowania wymaga tylko zastąpienia CPU typu „hard” modułem komunikacyjnym oraz ewentualnej instalacji karty komunikacyjnej oprogramowania „soft PLC” na nadrzędnym komputerze;
- możliwość stosowania tego samego oprogramowania co w systemie „hard PLC”, po niewielkich adaptacjach obejmujących zmianę konfiguracji sprzętu oraz ewentualnie modyfikację adresów.

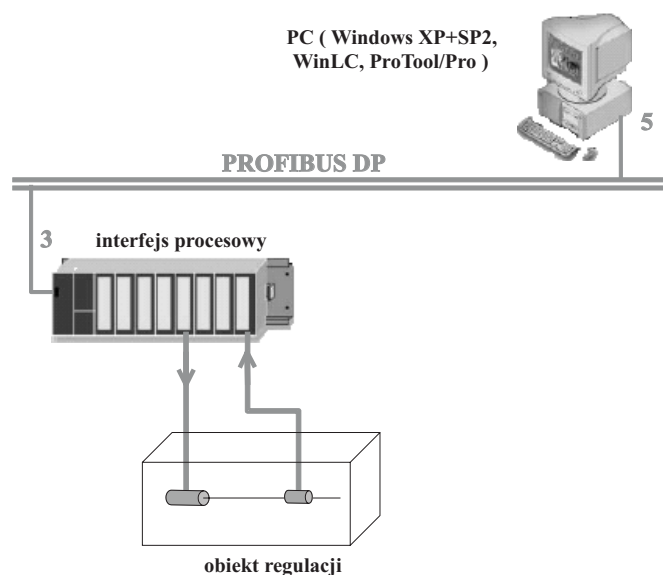
W pracy omówiono realizację predyktora Smitha służącego do sterowania obiektów z dużym opóźnieniem w środowisku „soft PLC”. Do realizacji systemu wykorzystano komponenty systemów sterowania formy Siemens. W szczególności omówiono następujące zagadnienia:

- platforma sprzętowa,
- platforma programowa,
- predyktor Smitha i jego realizacja na PLC,
- badania testowe,
- wnioski i uwagi końcowe.

2. Platforma sprzętowa

System sterowania „soft PLC”, zrealizowany na komputerze PC, pokazany jest na rysunku 1. Zasadnicza różnica w stosunku do systemów „hard PLC” jest taka, że jednostka centralna sterownika jest zrealizowana programowo na komputerze PC, natomiast moduły sygnałowe są te same, co w przypadku systemu „hard PLC”. W tej konfiguracji komputer musi być wyposażony w kartę komunikacyjną umożliwiającą komunikację z modułami sy-

gnałowymi. Takie rozwiązanie pozwala na radykalne zwiększenie możliwości obliczeniowych sterownika w stosunku do systemu „hard PLC”, gdyż „wirtualna CPU” ma pełny dostęp do wszystkich zasobów systemu. Łatwiejsza jest także budowa systemu SCADA, gdyż jest on zintegrowany z CPU na jednej platformie sprzętowej. W tym miejscu należy dodać, że sterownik „soft PLC” może być zrealizowany nie tylko w środowisku komputera PC, lecz także np. w środowisku wielofunkcyjnego panelu operatorskiego.

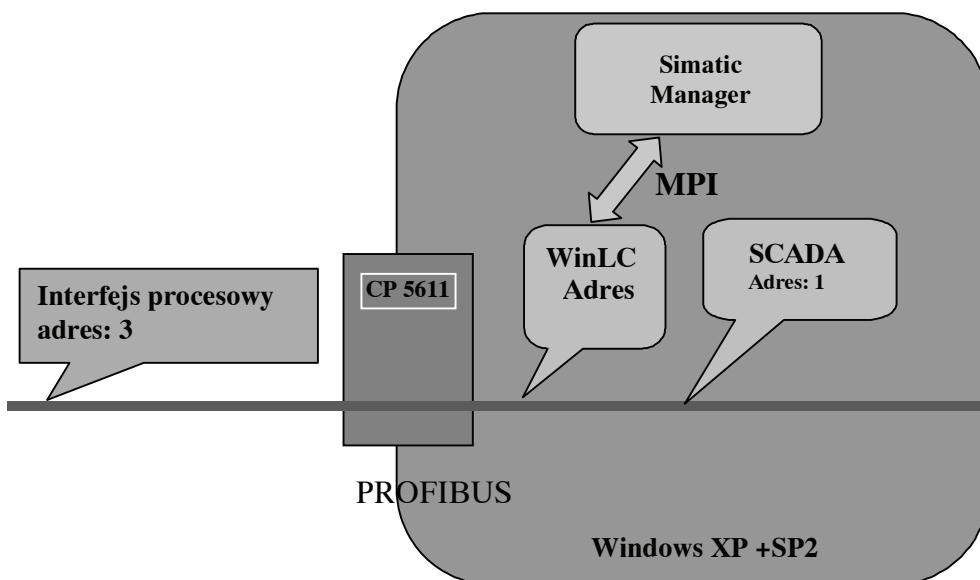


Rys. 1. Schemat sprzętowy układu sterowania „soft PLC” zrealizowanego na komputerze PC

Najbardziej istotną cechą wszystkich omówionych powyżej rozwiązań jest to, że do budowy aplikacji we wszystkich sytuacjach wykorzystuje się to samo środowisko programowe co w przypadku systemu „hard PLC” i przeniesienie aplikacji z systemu „hard PLC” do systemu „soft PLC” wymaga zwykle tylko przededefiniowania konfiguracji sprzętu i (ewentualnie) zmiany adresów zmiennych wejściowych i wyjściowych.

3. Platforma programowa

Schemat logiczny oprogramowania systemu „soft PLC” podany jest na rysunku 2. Najbardziej istotną cechą rozważanego układu jest mechanizm wymiany danych SOFT-BUS. Zasadnicza jego idea polega na tym, że poszczególne komponenty układu sterowania są połączone z sobą z wykorzystaniem sieci PROFIBUS, która jest częściowo rzeczywista a częściowo wirtualna. Wirtualna sieć łączy komponenty systemu sterowania zlokalizowane w obrębie platformy sprzętowej komputera PC i z punktu widzenia komunikacji nie ma rozróżnienia pomiędzy rzeczywistą i wirtualną częścią sieci.



Rys. 2. Schemat logiczny oprogramowania i komunikacji w obrębie zbudowanego systemu „soft PLC”

Do realizacji omawianego systemu „soft PLC” zastosowano oprogramowanie opisane w tabeli 1.

Tabela 1
Oprogramowanie użyte do realizacji systemu

Oprogramowanie	Funkcja
Step 7 ver 5.2 Professional	Oprogramowanie konfiguracyjne i diagnostyczne
ProTool/Pro ver 6.0	Oprogramowanie SCADA
WinLC ver 4.0	Jednostka centralna sterownika „soft PLC”
Simatic Net	Oprogramowanie konfiguracyjne dla sieci

Oprogramowanie to pracuje pod nadzorem systemu Windows XP Prof.+SP2. Komunikacja pomiędzy SIMATIC MANAGEREM i WinLC odbywa się za pomocą programowego (wewnętrznego) interfejsu MPI, komunikacja pomiędzy pozostałymi komponentami systemu odbywa się z wykorzystaniem sieci PROFIBUS, przy czym w obrębie komputera odbywa się z użyciem mechanizmu SOFTBUS. Podczas budowy systemu program dla sterownika jest zintegrowany w obrębie jednego projektu z systemem SCADA.

4. Predyktor Smitha i jego realizacja na PLC

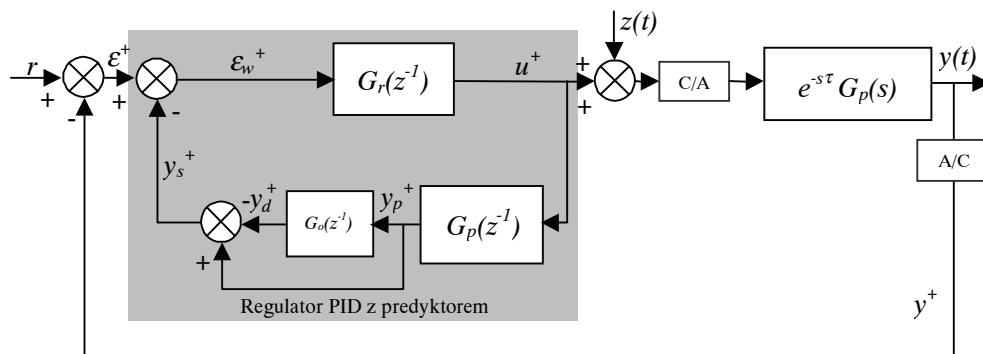
Podczas badań doświadczalnych, jako obiekt regulacji wykorzystano laboratoryjny obiekt cieplny, którego dokładne modele matematyczne są opisane m.in. w pracy [5]. Rozważany w pracy obiekt regulacji nie jest typowym obiektem z opóźnieniem, gdyż jest on systemem nieskończenie wymiarowym z opóźnieniem rozłożonym. Użycie do jego stabilizacji predyktora Smitha jest uzasadnione tym, że może on być także dobrze opisany modelem zastępczym w postaci transmitancji I rzędu z opóźnieniem o następującej postaci

$$G(s) = \frac{ke^{-s\tau}}{Ts+1} \quad (1)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} k &= 1,18, \\ \tau &= 21,98 \text{ s}, \\ T &= 41,61 \text{ s}. \end{aligned}$$

Budowa i działanie predyktora Smitha w wersji ciągłej i dyskretnej jest omówiona w wielu pracach, m.in.: Górecki [2], Astrom i Wittenmark [1], Trybus [12]. Schemat predyktora Smitha w wersji dyskretnej pokazany jest na rysunku 3.



Rys. 3. Dyskretny predyktor Smitha

Realizacja cyfrowa elementu opóźniającego jest prosta pod warunkiem, że czas opóźnienia jest wielokrotnością okresu próbkowania algorytmu, czyli $T_p = \tau/n$. Po przyjęciu tej wartości okresu próbkowania dyskretnie transmitancje bloków $G_o(s)$ oraz $G_p(s)$ będą mieć następującą postać:

$$G_o(z) = z^{-n} \quad (2)$$

$$G_p(z^{-1}) = \frac{k}{1 - z_1 z^{-1}} \quad (3)$$

gdzie

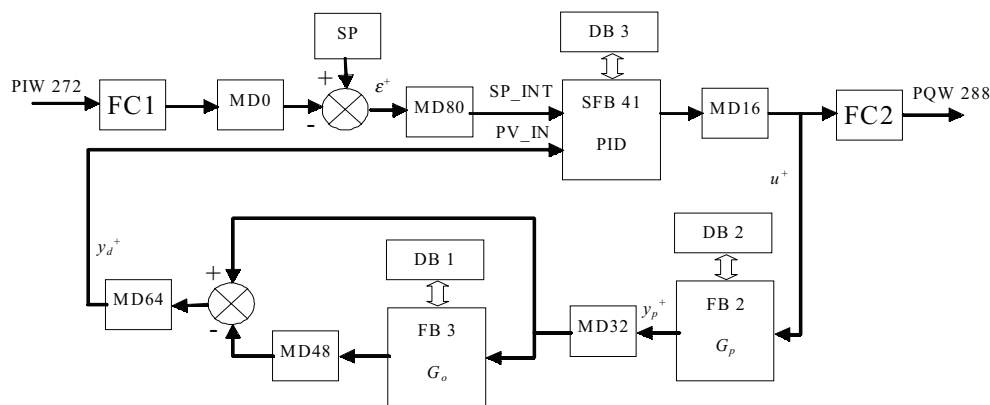
$$z_1 = e^{-\frac{T_p}{T}} \quad (4)$$

Liczbowe wartości parametrów transmitancji (2) są podane w tabeli 2.

Tabela 2
Liczbowe wartości parametrów transmitancji predyktora

Parametr	Wartość liczbowa
k	1,18
T_p	1 s
n	21

Przedstawiony algorytm został zrealizowany praktycznie na platformie sprzętowo-programowej „soft PLC” omówionej powyżej z uwzględnieniem uwag podanych w pracach [7] i [9]. Realizacja układu predyktora została omówiona dokładnie w pracy [6]. Ogólny schemat blokowy realizacji pokazany jest na rysunku 4.



Rys. 4. Schemat blokowy realizacji predyktora Smitha na sterowniku PLC

5. Badania doświadczalne

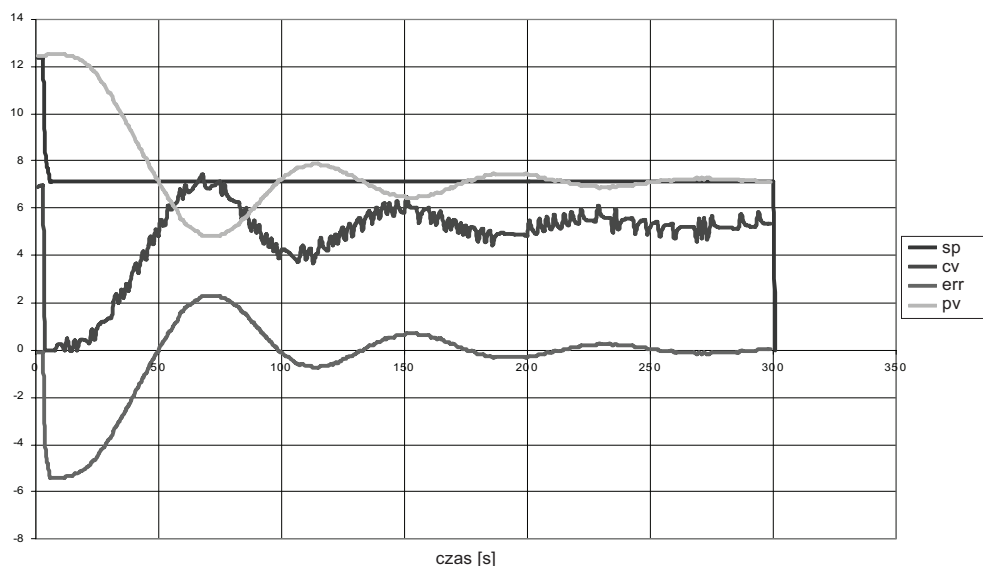
Nastawy regulatora PID zostały dobrane doświadczalnie z użyciem metody Astroma–Hagglunda dla układu z predyktorem. Dokładny opis tej metody można znaleźć np. w pracy [12]. Wartości nastaw są podane w tabeli 3.

Tabela 3
Nastawy regulatora PID użytego do badań

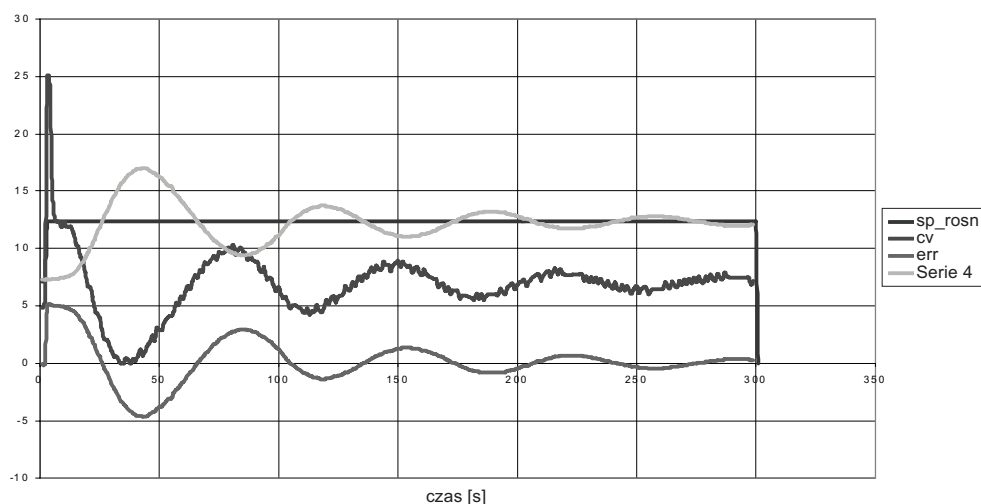
Nastawa	Wartość
Wzmocnienie k_r	1,20
Czas całkowania T_i [s]	38,00
Czas różniczkowania T_d [s]	9,25
Stała czasowa części różniczkującej T [s]	1,00

Przykładowe przebiegi wielkości regulowanej (PV), sterowania (CV) i uchybu regulacji (ERR) w układzie przy skokowej zmianie wartości zadanej (SP) na wejściu układu regulacji są podane na rysunkach 5 i 6.

Charakterystyczną cechą systemów „soft PLC” jest zależność wszystkich parametrów sterownika związanych z czasem rzeczywistym od dodatkowych czynników, które nie występowały w systemie „hard PLC”. Do czynników tych zaliczamy: podstawowe parametry komputera, na którym jest realizowany system sterowania, konfiguracja systemu operacyjnego, lub też priorytet przydzielony aplikacji realizującej sterowanie. Rozważany w pracy sterownik „soft PLC” ma możliwość definiowania tego priorytetu przez użytkownika w pełnym zakresie dostępnym w systemie Windows (od 1 do 30).



Rys. 5. Odpowiedź badanego układu regulacji na ujemny skok wartości zadanej na wejściu układu



Rys. 6. Odpowiedź badanego układu regulacji na dodatni skok wartości zadanej na wejściu układu

Testy czasów cyklu rozważanego systemu „soft PLC” przeprowadzono przy następujących założeniach:

- w systemie działały tylko dwie aplikacje: „soft PLC” oraz system SCADA do zbierania wyników;
- jako obiekt regulacji zastosowano obiekt cieplny z opóźnieniem, omówiony powyżej;
- okres próbkowania algorytmu przyjęto równy 1 s;
- wydajność systemu optymalizowana na aplikację;
- wartości czasu cyklu i czasu spoczynku sterownika (*sleep time*) sterownika przyjęto domyślne, zalecane przez producenta: minimalny czas cyklu: 0 ms, maksymalny czas cyklu: 6000 ms, czas spoczynku: 10 ms;
- pomiary przeprowadzono podczas normalnej pracy aplikacji w stanie ustalonym wielkość regulowanej (sterownik w trybie RUN-P);
- priorytety przerw zegarowych sterownika związanych z uaktywnieniem bloku OB 35 i obsługą wejść i wyjść ustawiono na wartości domyślne;
- do pomiarów wykorzystano wewnętrzny zegar czasu rzeczywistego sterownika;
- liczbę pomiarów przyjęto równą 1000.

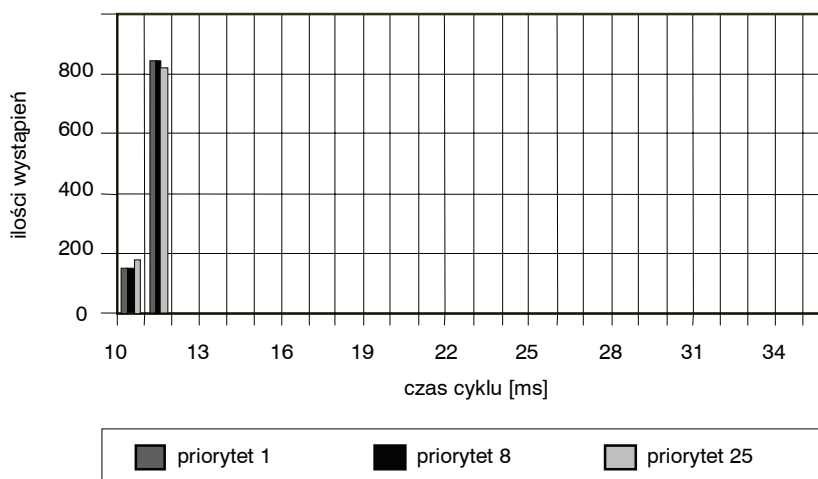
Podczas badań dokonano pomiarów wartości czasu cyklu sterownika podczas wykonywania bloku organizacyjnego OB35 zawierającego instancję regulatora PID oraz instancje bloków: opóźniającego oraz inercyjnego I rzędu służących do realizacji predyktora Smitha. Pomiary czasów cyklu zostały wykonane metodą programową, opisaną dokładnie w pracy [10]. Dokonano ich dla trzech różnych priorytetów wykonania zadania sterownika „soft PLC” w systemie Windows:

- 1) normalnego 8 (zalecanego przez producenta),
- 2) niskiego 1,
- 3) wysokiego 25.

Wyniki pomiarów są podane w tabeli 4 oraz na rysunku 7.

Tabela 4
Czasy cyklu sterownika przy różnych priorytetach i okresie próbkowania 1 s

Parametr	Priorytet 1	Priorytet 8	Priorytet 25
Min T_s [ms]	10	10	10
Maks. T_s [ms]	29	35	11
Najczęściej występujący T_s [ms]	11	11	11



Rys. 7. Częstości wystąpień poszczególnych wartości czasów cyklu

Na podstawie powyższych wyników można stwierdzić, że przy zadanych parametrach systemu maksymalny czas trwania cyklu w żadnym wypadku nie przekroczył 35 ms, pozwala na sformułowanie stwierdzenia, że pojedynczy regulator PID z predyktorem Smitha może być zrealizowany z zachowaniem wymagań czasu rzeczywistego dla procesów szybkich, o wymaganym okresie próbkowania rzędu 50 ms.

Należy tu także zwrócić uwagę, że rozbudowa typowego regulatora PID o predyktor Smitha nie wydłuża w istotny sposób wartości czasu cyklu sterownika „soft PLC” (badanie wartości czasów cyklu dla systemu „soft PLC” z regulatorem PID jest omówione w pracy [11]).

6. Uwagi końcowe

Do przedstawionej pracy można sformułować następujące uwagi końcowe:

- Badane środowisko programowe „soft PLC” w wersji podstawowej zapewnia utrzymanie czasu cyklu na poziomie poniżej 50 ms dla pojedynczej pętli regulacyjnej PID z predyktorem Smitha, niezależnie od priorytetu przydzielonego sterownikowi „soft PLC” w środowisku WINDOWS.
- Przydzielenie wysokiego priorytetu sterownikowi „soft PLC” pozwala na dalsze skrócenie czasu cyklu do wartości ok. 11 ms.
- Osiągnięcie stosunkowo krótkich czasów cyklu jest możliwe przy zastosowaniu podstawowej, najtańszej wersji oprogramowania „soft PLC”, co jest niewątpliwą zaletą testowanego rozwiązania.
- Jako przedmiot dalszych badań planuje się:
 - testy wielopętlowego układu regulacyjnego PID z predyktorem Smitha,
 - testy rozważanego układu regulacji na platformie sprzętowej panelu wielofunkcyjnego,
 - opracowanie metod samostrojenia układu.

Literatura

- [1] Astrom K., Wittenmark B.: *Computer controlled systems. Theory and design*. Prentice Hall Inc., 1997
- [2] Grega W.: *Sterowanie cyfrowe w czasie rzeczywistym*. Wyd. Wydziału EAIiE AGH, 1999
- [3] Grega W.: *Metody i algorytmy sterowania cyfrowego w układach scentralizowanych i rozproszonych*. Wyd. AGH, 2004
- [4] Kasprzyk J.: *Programowanie sterowników przemysłowych*. Warszawa, WNT 2006
- [5] Oprzędkiewicz K.: *Przykład identyfikacji obiektu parabolicznego*. ZN AGH: Elektrotechnika, t. 16, z. 2, 1997, 99–106
- [6] Oprzędkiewicz K.: *Praktyczna realizacja predyktora Smitha z wykorzystaniem sterownika PLC*. Automatyka, t. 5, z. 1/2, 2001, 457–464
- [7] Oprzędkiewicz K.: *Problemy realizacji cyfrowej predyktora Smitha w środowisku sterownika PLC*. Półrocznik AGH Automatyka, t. 6, z. 2, 2002, 139–150
- [8] Oprzędkiewicz K.: *Uwarunkowania czasowe realizacji specjalnych algorytmów sterowania w systemach PLC*. Pomiary Automatyka, Robotyka (PAR), nr 4/2003, 48–52
- [9] Oprzędkiewicz K.: *Spełnienie wymagań czasu rzeczywistego w środowisku sprzętowo – programowym „soft PLC” podczas realizacji predyktora Smitha*. Informatyka Teoretyczna i Stosowana r. 4, nr 7, 2004, 49–58
- [10] Oprzędkiewicz K.: *Monitorowanie jakości regulacji w specjalnych układach sterowania*. Pomiary, Automatyka, Robotyka (PAR), nr 4, 2002, 5–7
- [11] Oprzędkiewicz K.: *Spełnienie wymagań czasu rzeczywistego na platformie sprzętowo – programowej „soft PLC” zrealizowanej na komputerze klasy PC*. Referat zgłoszony na Konferencję AUTOMATION 2007, PIAP Warszawa marzec 2007
- [12] Trybus L.: *Regulatory wielofunkcyjne*. WNT 1992