

Krzysztof Oprzędkiewicz*

Implementacja algorytmów sterowania systemami o niepewnych parametrach na platformach PLC

1. Uwagi wstępne

W pracy planuje się przedstawienie zagadnień implementacji algorytmów sterowania systemami o niepewnych parametrach na platformach sprzętowo-programowych PLC na przykładzie systemu SIEMENS. Przedstawione zostaną następujące zagadnienia:

- Elementy organizacyjne oprogramowania sterowników PLC SIEMENS.
- Uwagi o użyciu języków programowania.
- Uwagi o realizacji algorytmu sterowania procesem o niepewnych parametrach na platformie PLC SIEMENS.
- Przykład – realizacja układu kompensatora dynamicznego dla systemu o niepewnych parametrach na platformie SIEMENS.
- Uwagi końcowe.

2. Elementy organizacyjne oprogramowania sterowników PLC SIEMENS

W systemie PLC SIEMENS użytkownik ma do dyspozycji typowe, opisane w normie IEC 1131 (zob. [3]) elementy organizacyjne oprogramowania: funkcje (FC) i bloki funkcyjne (FB), przy czym dostępne są zarówno elementy standardowe, a ponadto użytkownik może w zależności od potrzeb samodzielnie definiować te elementy.

Przypomnijmy, że funkcja jest elementem statycznym wielu wejściach i jednym wyjściu (w systemie SIEMENS funkcja może mieć też dodatkowe wyjścia), zwracającym po wykonaniu wynik określonego typu. Typowe funkcje standardowe realizują np. operacje arytmetyczne i matematyczne lub konwersję typu zmiennej. Typ funkcji to typ zwracanego przez nią wyniku. Jest także możliwe zdefiniowanie funkcji typu VOID, która nie zwraca

* Katedra Automatyki, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

żadnego wyniku na wyjściu. Podczas budowy funkcji należy pamiętać, że jej zmienne wewnętrzne nie powinny być dostępne na zewnątrz. Funkcja wywołana z tymi samymi parametrami wejściowymi zawsze zwraca ten sam wynik na wyjściu. Wynika to z faktu, że funkcja nie posiada stanu wewnętrznego, czyli zmiennych, których wartość jest pamiętana pomiędzy wywołaniami.

Z kolei blok funkcyjny jest elementem dynamicznym o wielu wejściach i wielu wyjściach, który nie ma zdefiniowanego typu. W przypadku bloku funkcyjnego ważne jest rozróżnienie jego definicji (jest to zapis zmiennych wejściowych, wyjściowych i wewnętrznych FB wraz operującym na tych zmiennych algorytmem) oraz ukonkretnienia lub instancji (*Instance*). Ukonkretnienie jest lokalną „kopią” bloku, pracującą na konkretnym, innym niż pozostałe instancje zestawie danych roboczych. Dla bloku funkcyjnego zdefiniowanego jeden raz można zdefiniować wiele instancji w programie, przy czym każda z nich będzie posiadała tę samą strukturę danych i realizowała ten sam algorytm, natomiast działa w pełni niezależnie od innych. Instancja bloku funkcyjnego wywołana kilkakrotnie z tymi samymi danymi wejściowymi nie musi dać tego samego wyniku na wyjściu, gdyż wynik wykonania bloku funkcyjnego zależy nie tylko od wejścia, lecz także od stanu wewnętrznego. Tylko instancja FB jest jego wersją wykonywalną i blok funkcyjny aby był wykonywany, musi mieć zdefiniowaną co o najmniej jedną instancję. Typowe przykłady bloków funkcyjnych to liczniki i bloki regulatorów PID, jako bloki funkcyjne muszą być także realizowane wszystkie elementy dynamiczne, np. obserwatory lub elementy modelujące podstawowe obiekty dynamiczne, niezbędne podczas realizacji algorytmów specjalnych.

Dodatkowo, w systemie SIEMENS SIMATIC S7 są stosowane elementy nietypowe, charakterystyczne wyłącznie dla tego systemu PLC i nie opisane w normie. Są to między innymi: bloki organizacyjne (OB) i bloki danych (DB).

Blok organizacyjny stanowi rodzaj „pomostu” pomiędzy systemem operacyjnym i programem użytkownika. Z poziomu systemu operacyjnego są uaktywniane wyłącznie bloki organizacyjne (żaden inny element nie). Z tego względu każda funkcja lub instancja bloku funkcyjnego, która ma być wykonana w programie, musi być wywołana z poziomu bloku jakiegoś organizacyjnego.

W systemie SIEMENS jest dostępnych kilka kategorii bloków organizacyjnych, które mogą być aktywowane w różny sposób:

- Pierwszą grupą są bloki organizacyjne wywoływane cyklicznie przez system operacyjny w każdym cyklu programowym, przykładem jest blok OB1, który może być interpretowany jako blok programu głównego.
- Kolejną grupą są bloki organizacyjne aktywowane wystąpieniem określonego zdarzenia w systemie: np. restartem (bloki OB100, OB101, OB102), przerwaniem zegarowym (np. OB35) przerwaniem kalendarzowym (np. OB20) lub awarią określonego elementu systemu.
- Ostatnią kategorią są bloki wywoływane z użyciem instrukcji wywołania, które mogą być interpretowane jako podprogramy.

Blok danych (DB) w przeciwieństwie do innych elementów nie zawiera żadnych wykonywalnych instrukcji, służy tylko do przechowywania danych. Od strony funkcjonalnej blok danych jest strukturą i dostęp do jego elementów jest taki jak do elementów struktury. Obszar pamięci do przechowywania bloku danych jest przydzielany automatycznie podczas załadowywania programu do pamięci sterownika.

3. Uwagi o użyciu języków programowania

Programowanie sterowników PLC może się odbywać z użyciem czterech opisanych w normie IEC 1131-3 języków programowania oraz dodatkowo z wykorzystaniem grafu sekwencji. Znormalizowane języki programowania PLC to języki graficzne: drabinkowy (LD) i język schematów funkcyjnych (FBD) oraz tekstowe: lista instrukcji (IL, STL w systemie SIEMENS) oraz testowy wysokiego poziomu (ST, STEP 7 SCL w systemie SIEMENS).

Każdy z wyżej wymienionych języków ma zalety i wady i jest dedykowany do określonych obszarów zastosowań (zob. np. [3]). Z tego względu podczas realizacji algorytmu sterowania procesem o niepewnych parametrach najbardziej zalecany podejściem jest stosowanie różnych języków do realizacji różnych części programu.

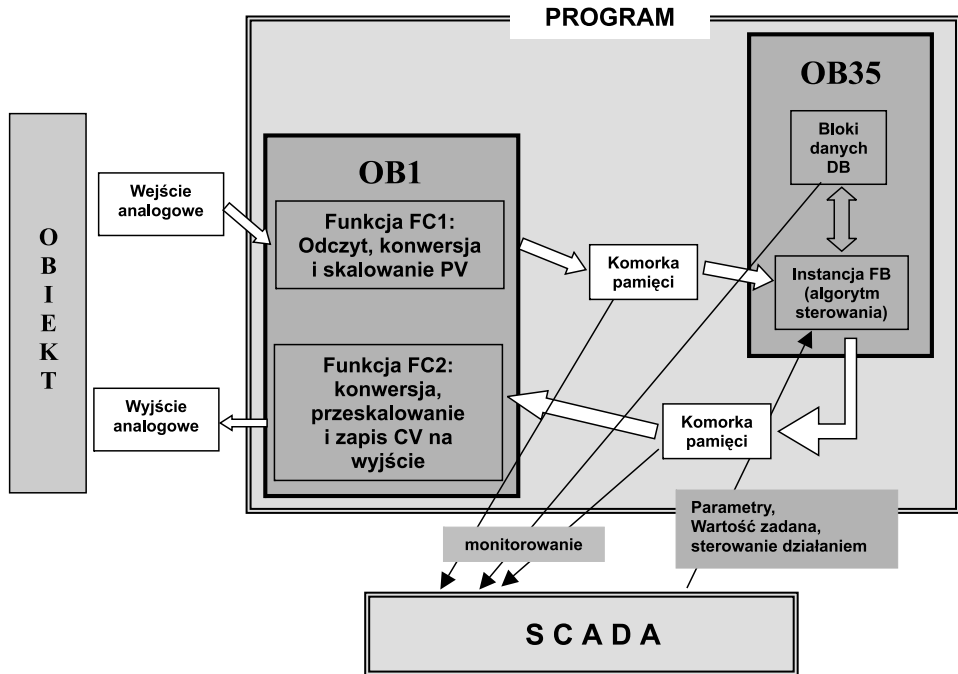
Do budowy części programu realizujących złożone operacje matematyczne najlepiej jest wykorzystać język strukturalny wysokiego poziomu, gdyż pozwala on na łatwy zapis złożonych wyrażeń i posiada bardzo dobre własności *real time* (zob. [7]). Użycie języka listy instrukcji jest uzasadnione w sytuacji, gdy zachodzi konieczność wywołania funkcji dostępnej wyłącznie z poziomu tego języka (np. obsługa adresacji pośredniej). Ponadto język ten posiada bardzo dobre własności czasu rzeczywistego i z tego względu zalecane jest jego użycie w sytuacji, gdy wymagania *real time* są wysokie, a dane środowisko konfiguracyjne PLC nie zapewnia możliwości użycia tekstu strukturalnego.

Z kolei język drabinkowy dobrze nadaje się do połączenia w całość poszczególnych elementów programu, zrealizowanych jako funkcje i bloki funkcyjne, gdyż posiada jasną i jednoznaczną interpretację oraz pozwala na łatwe warunkowe sterowanie wykonaniem poszczególnych części programu.

4. Uwagi o realizacji algorytmu sterowania procesem o niepewnych parametrach na platformie PLC SIEMENS

Ogólny schemat realizacji algorytmu sterowania procesem o niepewnych parametrach na platformie PLC SIEMENS oraz zadania realizowane podczas wyznaczania sygnału sterującego pokazane są na rysunku 1.

W schemacie przedstawionym na rysunku 1 PV oznacza wielkość regulowaną odczytowaną z obiektu (czyli wyjście obiektu), a CV oznacza sterowanie podawane na obiekt (czyli wejście obiektu).



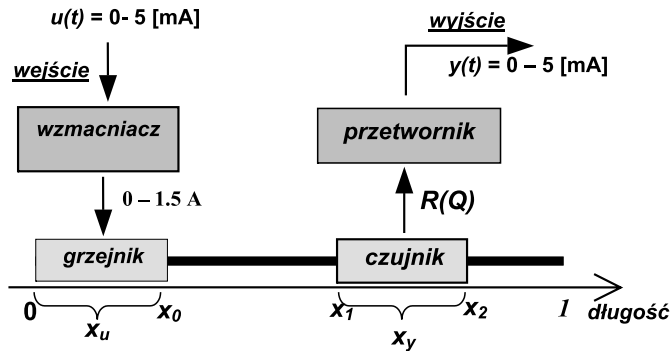
Rys. 1. Ogólny schemat realizacji algorytmu sterowania procesem o niepewnych parametrach na platformie PLC SIEMENS

Podczas implementacji algorytmu sterowania procesem o niepewnych parametrach na PLC regułą jest także budowa aplikacji SCADA współpracującej z aplikacją sterującą. Zasady budowy i zadania systemu SCADA w systemie sterowania procesem o niepewnych parametrach zostały dokładnie omówione w pracach: [9] i [11].

W przypadku sterowania procesem o niepewnych parametrach system SCADA, oprócz swych typowych funkcji, takich jak monitorowanie i nadzór procesu, archiwizacja danych, sterowanie ręczne itp., realizuje też funkcje dodatkowe, związane z niepewnością sterowanego procesu i algorytmem sterowania realizowanym na poziomie PLC. Spośród tych funkcji najważniejsze jest dostrojenie regulatora do procesu, które jest w tym przypadku ogólnym procesem o dużej złożoności obliczeniowej. Z tego względu parametry regulatora powinny być wyznaczone na poziomie SCADA, a następnie zapisane do pamięci sterownika.

5. Przykład

Do badań testowych jako obiekt regulacji wykorzystano laboratoryjny obiekt typu cieplnego, omawiany w wielu wcześniejszych pracach autora, np. [6, 8, 9], którego uproszczony schemat pokazany jest na rysunku 2.



Rys. 2. Uproszczony schemat obiektu regulacji

Sygnaly: wejściowy i wyjściowy z obiektu są znormalizowanymi sygnałami prądowymi 0–5 mA. Rozważany obiekt może być opisany zarówno modelem dokładnym w postaci równania przewodnictwa cieplnego, jak i modelem przybliżonym w postaci transmitancji zastępczej. W rozważanym przypadku współczynniki wymiany ciepła w obiekcie są znane jedynie w przybliżeniu, natomiast dokładnie znana jest lokalizacja czujnika pomiarowego i elementu grzejnego.

Podstawowym modelem matematycznym obiektu jest równanie przewodnictwa cieplnego w ośrodku jednowymiarowym, które może być zapisane w postaci równoważnego, abstrakcyjnego, nieskończenie wymiarowego równania stanu w przestrzeni Hilberta (zob. [6, 8, 9]). Dla celów syntezy kompensatora dyskretnego równanie to może być przekształcone do postaci skończenie wymiarowego, dyskretnego równania stanu o postaci następującej:

$$\begin{cases} Q^+(i+1) = A^+Q^+(i) + B^+u^+(i) \\ y^+(i) = C^+Q^+(i) \end{cases} \quad (1)$$

gdzie: $Q^+(i)$ oznacza temperaturę w i -tej chwili czasu oraz znanym, stałym punkcie zamocowania czujnika, A^+ jest macierzą stanu systemu, B^+ jest macierzą sterowań oraz C^+ jest macierzą wyjść systemu, $u^+(i)$ oznacza sterowanie podawane na obiekt, $y^+(i)$ oznacza wyjście z obiektu, odczytywane za pośrednictwem czujnika, indeks „+” oznacza sygnały i macierze systemu dyskretnego.

W rozważanym wypadku macierz stanu systemu A^+ jest macierzą diagonalną o niepewnych parametrach. Wynika to z faktu, że w przypadku rozważanego obiektu wartości współczynników wymiany ciepła w obiekcie są znane jedynie w przybliżeniu. Macierz sterowań B^+ jest także macierzą o niepewnych parametrach, przy czym jej niepewność wynika z dyskretyzacji modelu (dla przypadku ciągłego jest to macierz o znanych współczynnikach), natomiast macierz wyjść C^+ jest macierzą o znanych parametrach, gdyż jej postać nie ulega zmianie podczas dyskretyzacji systemu (zob. [8]).

Dyskretny, odporny kompensator skończenie wymiarowy jest budowany w oparciu o parametry równania stanu (1), opisującego system, po jego dekompozycji na skończenie wymiarową część wykładniczo niestabilną (słabo tłumioną) i nieskończenie wymiarową wykładniczo stabilną. Zadaniem kompensatora odpornego jest utrzymanie zadanej wartości współczynnika tłumienia układu zamkniętego dla wartości niepewnych parametrów obiektu zawartych w zadanym przedziale. Zagadnienie syntezy takiego kompensatora zostało dokładnie omówione w pracach [4] i [9].

W przypadku, gdy parametry systemu są niepewne, wyznaczanie parametrów kompensatora jest dość złożone obliczeniowo (zob. [4, 9]) i powinno być wykonane poza sterownikiem PLC (np. na poziomie systemu SCADA lub w środowisku MATLAB). Na poziomie CPU sterownika jest realizowany algorytm kompensatora, opisany następująco:

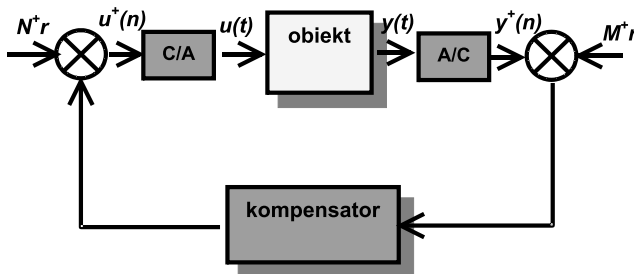
$$\begin{bmatrix} w_1^+(i+1) \\ w_2^+(i+1) \end{bmatrix} = A_k^+ \cdot \begin{bmatrix} w_1^+(i) \\ w_2^+(i) \end{bmatrix} + B_k^+ [y^+(i) + M^+ r] \quad (2)$$

$$u^+(i) = K_1^+ w_1^+(i) + N^+ r$$

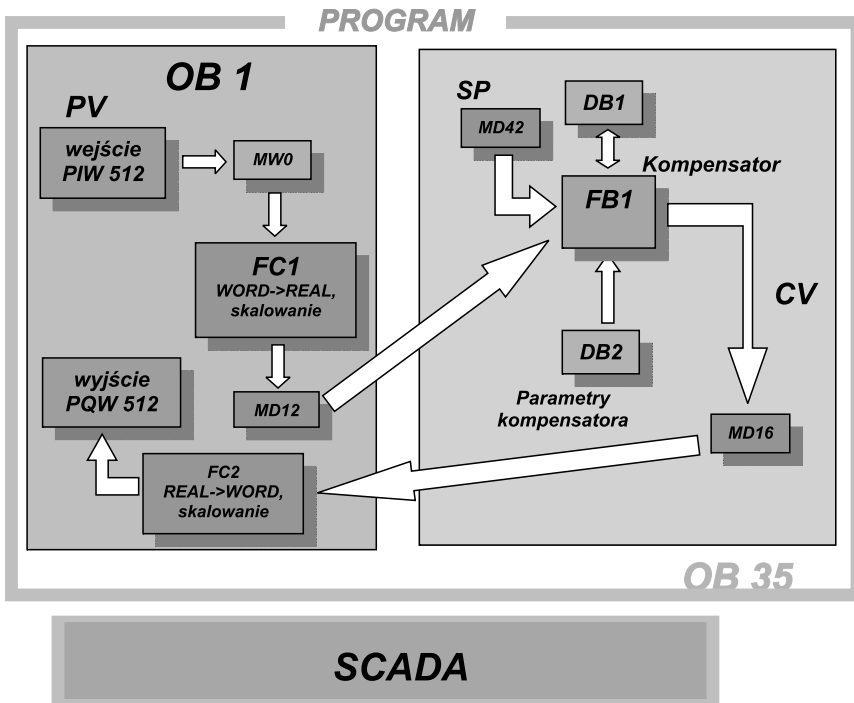
gdzie:

$$A_k^+ = \begin{bmatrix} A_1^+ - G_1^+ C_1^+ + B_1^+ K_1^+ & -G_1^+ C_2^+ \\ B_2^+ K_1^+ & A_2^+ \end{bmatrix}, \quad B_k^+ = \begin{bmatrix} G_1^+ \\ 0 \end{bmatrix}.$$

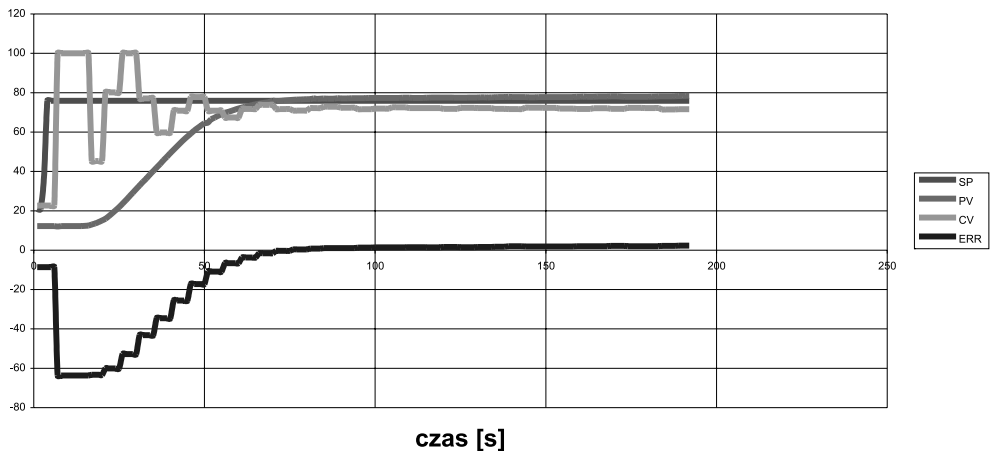
Schemat blokowy kompensatora (2) pokazany jest na rysunku 3, a jego implementacja na PLC SIEMENS – na rysunku 4. Synteza kompensatora (2) jest dokładnie omówiona w pracach [4] i [9].



Rys. 3. Schemat blokowy dyskretnego kompensatora dynamicznego



Rys. 4. Realizacja kompensatora na sterowniku PLC SIEMENS



Rys. 5. Trendy wielkości regulowanej, sygnału sterującego, uchybu regulacji oraz wartości zadanej w układzie z kompensatorem opisanym przez (2)

Dla zbudowanej aplikacji sterującej z kompensatorem opisanym przez (2) wykonano badania testowe. Przykładowy wynik testów pokazany jest na rysunku 5. Rysunek ten

przedstawia przebiegi trendów wielkości regulowanej (PV), sygnału sterującego (CV), uchybu regulacji (ERR) przy skokowej zmianie wartości zadanej SP z 20% zakresu na 80% zakresu, przy czym wartość 100% zakresu odpowiada znormalizowanemu sygnałowi prądowemu 5 mA. Trendy zostały wyznaczone z użyciem systemu SCADA współpracującego z aplikacją sterującą i zbudowanego zgodnie z założeniami omówionymi pracy [9].

6. Uwagi końcowe

Uwagi końcowe do pracy można sformułować następująco:

- algorytmy sterowania odpornego dla procesów o niepewnych parametrach mogą być bez problemu implementowane na platformach sprzętowo – programowych PLC;
- w przypadku konieczności dostrojenia algorytmu do sterowanego procesu o niepewnych parametrach niezbędne do tego celu obliczenia powinny być w ogólnym przypadku wykonywane poza sterownikiem PLC, np. na poziomie aplikacji SCADA, ze względu na ich dość znaczną złożoność obliczeniową.

Literatura

- [1] Berger H., *Automating with STEP7 in STL and SCL*. MCD Corporate Publishing 2001.
- [2] Grega W., *Metody i algorytmy sterowania cyfrowego w układach scentralizowanych i rozproszonych*. UWND AGH, 2004.
- [3] Lewis R.W., *Programming industrial control systems using IEC1131-3. Revised Edition*. IEE 1998.
- [4] Mitkowski W., Oprzędkiewicz K., *Odporny dyskretny kompensator dynamiczny dla systemu parabolicznego o niepewnych parametrach*. Automatyka, t. 11, z. 1–2, 2007, 203–215.
- [5] Mueller J., *Controlling with SIMATIC*. SIEMENS 2005.
- [6] Oprzędkiewicz K., *Przykład identyfikacji obiektu parabolicznego*. Zesz. Nauk. AGH „Elektrotechnika”, t. 16, z. 2, 1997, 100–106.
- [7] Oprzędkiewicz K., *Porównanie języków programowania sterowników PLC pod kątem spełnienia wymagań czasu rzeczywistego*. PAR. Pomiar Automatyka Robotyka, r. 10, nr 12, 2006, 5–9.
- [8] Oprzędkiewicz K., *Dyskretny system paraboliczny o niepewnych parametrach*. Przegląd Elektrotechniczny, nr 9, 2008, 179–187.
- [9] Oprzędkiewicz K., *Praktyczne sterowanie systemami dynamicznymi z widmem punktowym i parametrami przedziałowymi*. UWND AGH 2008.
- [10] Oprzędkiewicz K., *Odporny regulator PID dla systemu dynamicznego o niepewnych parametrach*. Przegląd Elektrotechniczny, nr 3, 2009, 22–27.
- [11] Oprzędkiewicz K., *System SCADA we współpracy ze specjalnym algorytmem sterowania*. Pomiar Automatyka, Robotyka (PAR), czerwiec 2009 (w przygotowaniu).