

Bogdan BROEL-PLATER, Wieńczysław DACA

Politechnika Szczecińska

STEROWNIKI PROGRAMOWALNE DO PRZETWÓRSTWA TWORZYW SZTUCZNYCH

Streszczenie. Uniwersalne sterowniki programowalne (PC) są obecnie podstawowym urządzeniem automatyki przemysłowej. Ich oprogramowanie nie uwzględnia jednak specyficznych właściwości wielu często spotykanych procesów technologicznych. Do sterowania takimi procesami celowe jest więc zbudowanie specjalistycznych sterowników. W referacie przedstawiono dwa sterowniki programowalne przeznaczone do sterowania wytłaczaniem i wtryskiwaniem, czyli dwoma podstawowymi technologiami przetwórstwa tworzyw sztucznych. Opisane sterowniki opracowano w ramach projektu celowego KBN, a ich produkcję rozpoczął Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Metrologii Elektrycznej METROL w Zielonej Górze.

PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS FOR USING IN PLASTIC PROCESSING

Summary. Programmable logic controllers (PLCs) have been used in the industrial control systems as one of the main devices for over ten years. In the most cases PLCs are developed as general purpose devices, i.e. for possible wide area of applications. As a result their system software can be hard adapted for some technological processes. In this paper there are presented two dedicated PLC. They meant to be used in extrusion and in injection; so in two main processes in plastic processing. The PLCs are developed as a result of a KBN grant and they are produced by the company METROL in Zielona Góra.

1. Wprowadzenie

Rynek uniwersalnych sterowników programowalnych zdominowany jest przez takie firmy, jak np. SIEMENS, OMRON, GE FANUC, Allen-Bradley, Mitsubishi, Modicon AEG czy też Telemecanique. Polscy producenci na rynku tym są praktycznie nieobecni. Szansą dla

nich może być jednak wytwarzanie sterowników dedykowanych, czyli opracowanych z myślą o wybranych procesach technologicznych. Powinny to być nie tylko procesy często spotykane, ale także wymagające specyficznych algorytmów sterowania. Procesy takie spotkać można np. w przemyśle przetwórstwa tworzyw sztucznych.

Do masowej produkcji wyrobów z tworzyw sztucznych stosowane są dwie technologie: wytłaczanie i wtryskiwanie. W każdej z nich wyrób formowany jest z tworzywa uplastycznionego wewnątrz wytłaczarki lub wtryskarki. Dzięki sterowaniu przebiegiem procesu uplastyczniania tworzywo uzyskuje właściwości fizykochemiczne pozwalające na uformowanie wyrobu o żądanej jakości. Pomimo iż podstawowe znaczenia dla jakości wyrobu mają wielkości ciągłe (temperatura, lepkość, ciśnienie i szybkość ruchu strumienia tworzywa wewnątrz maszyny), to do sterowania pracą wytłaczarek i wtryskarek najczęściej stosowane są uniwersalne sterowniki programowalne. Wymaga to jednak wyposażenia ich w przetworniki analogowo-cyfrowe. Pozwala to na zastąpienie wielu autonomicznych regulatorów wielkości ciągłych przez regulatory programowe zintegrowane w sterowniku oraz ułatwia koordynowanie ich działania z przebiegiem wielu wielkości dyskretnych.

Jednak oprogramowanie typowych uniwersalnych sterowników programowalnych nie jest dostosowane do specyfiki procesów ciągłych związanych z przetwórstwem tworzyw sztucznych. Szczególnie dotyczy to procedur samonastrajania regulatorów temperatury stref grzejno-chłodzących wytłaczarek i wtryskarek, algorytmów sterowania temperaturami form wtryskowych z tzw. grzаныmi kanałami czy też bieżącej diagnostyki stanu takich form.

Biorąc zatem pod uwagę liczbę wytłaczarek i wtryskarek eksploatowanych w Polsce, ograniczenia dostępnych uniwersalnych sterowników programowalnych oraz zapotrzebowanie polskich producentów urządzeń automatyki na wyrób, który może znaleźć wielu nabywców, opracowano dwa sterowniki przeznaczone do sterowania wytłaczaniem i wtryskiwaniem tworzyw sztucznych. Z uwagi zaś na różnorodność zarówno konstrukcji samych wytłaczarek i wtryskarek, jak i konfiguracji linii technologicznych, w jakich one pracują, uznano, że powinny to być sterowniki programowalne. Pozwoli to bowiem ich użytkownikowi na szybkie i proste dostosowanie sterownika do konkretnego zastosowania.

2. Założenia konstrukcyjne sterownika programowalnego

Przystępując do opracowania przedstawianego sterownika programowalnego przyjęto, że powinno powstać urządzenie stosunkowo tanie, lecz równocześnie na tyle

nowoczesne, by jego wytwarzanie było technicznie i ekonomicznie uzasadnione jeszcze przez kilka lat. Będzie to możliwe, jeśli zastosowane zostaną nie tylko nowoczesne rozwiązania sprzętowe, ale także oprogramowanie stałe sterownika będzie napisane w języku wyższego rzędu. Pozwoli to producentowi sterownika na łatwe dostosowywanie się do potrzeb jego użytkowników.

Konstrukcja sprzętowa sterownika zależy głównie od najważniejszego jego elementu, tzn. procesora. Analiza właściwości dostępnych mikroprocesorów oraz mikrokontrolerów pozwala zaś stwierdzić, że:

- zastosowanie mikrokontrolerów jest bardziej celowe z ekonomicznego punktu widzenia ze względu na fakt zintegrowania w samej strukturze układu scalonego wielu urządzeń peryferyjnych niezbędnych w konstrukcji sprzętowej cyfrowego systemu sterowania,
- z oferowanych na rynku mikrokontrolerów 8-, 16- i 32-bitowych najbardziej celowe jest zastosowanie mikrokontrolerów 16-bitowych. Mikrokontrolery 8-bitowe mimo niskiej ceny mają bowiem istotne wady. Ich moc obliczeniowa uniemożliwia zbudowanie dużych i wydajnych sterowników, a ponadto niewielka przestrzeń adresowa wyklucza np. zastosowanie systemu operacyjnego czasu rzeczywistego. Mikrokontrolery 32-bitowe nie tylko w sposób znaczący podwyższają cenę sterownika. Są one najczęściej przeznaczone do zastosowań w systemach sieciowych i telekomunikacyjnych i dlatego rzadko posiadają one wewnętrzne układy peryferyjne ukierunkowane na potrzeby systemów sterowania.

Po uwzględnieniu powyższych uwag konstrukcję opisywanych sterowników oparto na 16-bitowym mikrokontrolerze rodziny 80C166 firmy Infineon (dawnej Siemens). Podstawowe zalety tej rodziny mikrokontrolerów to:

- architektura RISC o mocy obliczeniowej do 20 MIPS,
- bardzo wydajny system przerwań obsługiwany za pomocą tzw. kanałów PEC,
- wiele układów peryferyjnych ukierunkowanych na zastosowania w systemach sterowania zintegrowanych bezpośrednio w strukturze układu.

Bardzo istotnym czynnikiem przemawiającym za użyciem mikrokontrolerów rodziny 80C166 w układach sterowania jest także dostępność wysokiej jakości środowisk programistycznych. Są to pakiety programów firmy Tasking oraz Keil. Obydwa pakiety umożliwiają programowanie w języku C/C++ na bazie firmowego lub zewnętrznego systemu operacyjnego czasu rzeczywistego.

W przedstawianych sterownikach zastosowano mikrokontroler SAB80C166, zaś oprogramowanie systemowe zostało stworzone w języku C przy użyciu pakietu firmy Keil.

Dla użytkownika sterownika programowalnego ważne jest, za pomocą jakiego języka będą tworzone programy użytkowe. Po analizie spośród języków zdefiniowanych w normie PN-IEC 61131 wybrano język typu lista instrukcji (IL), stawia on bowiem minimalne wymagania komputerom wykorzystywanym do pisania programów użytkowych.

Lista rozkazów sterownika obejmuje obecnie 103 rozkazy podzielone na grupy pokazane w tab. 1.

Tabela 1

Grupy rozkazów sterownika SA100

Nazwa grupy rozkazów	Charakterystyka grupy rozkazów	Przykładowe mnemoniki	Liczba rozkazów
Wymiana danych	Przesłania bajtów i słów pomiędzy zasobami sterownika, nadawanie zasobom wartości liczbowych	MOVW LKB ZERW	8
Operacje bitowe	Obliczenia na pojedynczych bitach	LP, AP, ON, S, R, OUT	19
Operacje wielobitowe	Obliczenia logiczne na bajtach i słowach	ORW NAB	14
Operacje arytmetyczne	Działania arytmetyczne oraz zmniejszanie i zwiększanie wartości bajtów i słów	ADDW DECB	12
Przesunięcia i obroty	Przesunięcia i obroty bajtów i słów, zamiana bajtów w słowach	SLW SWAPB	10
Porównania	Porównanie wartości liczbowych bajtów i słów	CPEW CPGEB	12
Konwersje kodów	Zamiana pomiędzy kodem binarnym a ASCII	WCA5 A3CB	6
Rozkazy organizacyjne	Rozkazy sterujące wykonywaniem programu	JU PEZ	22

Razem ze sterownikiem opracowana została konsolka operatorska pozwalająca na dostęp do wszystkich zmiennych sterownika za pośrednictwem systemu hierarchicznego menu. Struktura tego menu, sposób dostępu do poszczególnych zmiennych i przypisane do nich komentarze mogą być zaprojektowane zgodnie z wymaganiami użytkownika. Do sterownika można także dołączyć komputer osobisty z prostym programem wizualizacyjnym umożliwiającym także archiwizację danych dokumentujących przebieg pracy układu.

3. Sterownik SA100 dedykowany do sterowania wytłaczaniem tworzyw sztucznych

Wytłaczanie jest technologią wytwarzania wyrobów "ciągłych", takich jak: np. pręty, rury, folie, przewody elektryczne w izolacji itp. Dlatego też w skład linii wytłaczarkowych wchodzi także urządzenia odbierające produkt, a ich działanie musi być skoordynowane z pracą wytłaczarki.

W samej wytłaczarce sterowaniu podlegają powolne procesy cieplne. Ponieważ jednak głównym źródłem ciepła jest tarcie wewnątrz przetłaczanego tworzywa, są to procesy poddane oddziaływaniu silnych zakłóceń o niezerowych wartościach średnich. Skuteczne sterowanie takimi procesami wymaga zastosowania regulatora o odpowiedniej strukturze.

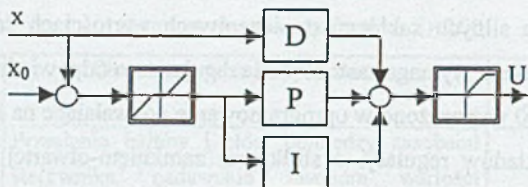
Sterownik SA100 wyposażono w oprogramowanie pozwalające na łatwe konfigurowanie hierarchicznych układów regulacji o strukturze zamknięto-otwartej, wykorzystujących standardowe czujniki pomiarowe oraz urządzenia wykonawcze stosowane w przemyśle przetwórstwa tworzyw sztucznych. Użytkownik może w układzie sterowania wykorzystać następujące tzw. zasoby sterownika:

- zasoby fizyczne: I - dziesięć wejść dwustanowych, Q - szesnaście wyjść dwustanowych, IA - osiem 10-bitowych szybkich uniwersalnych wejść analogowych, IT - dwadzieścia cztery 12-bitowe izolowane i zlinearyzowane powolne wejścia "temperaturowe", QA - cztery 12-bitowe szybkie wyjścia analogowe,
- zasoby logiczne: F - 2048 znaczników bitowych, D - 256 bajtowych rejestrów pomocniczych, RO i RW - zmienne systemowe sterujące pracą sterownika,
- zasoby funkcyjne: COM - łącze komunikacyjne standardu RS485, HC - dwa szybkie liczniki sprzętowe (do 1 MHz), TIM - szesnaście tajmerów licznikowych typu TON, STEP - dwa sterowniki silników nawrotnych, PWM - dwadzieścia cztery generatory fali prostokątnej o zadanym wypełnieniu i okresie, PID - szesnaście samonastrajających się regulatorów PID, FLK - trzydzieści dwie funkcje linearyzacyjno-korekcyjne.

Binarne wejścia i wyjścia sterownika są obsługiwane w sposób typowy dla sterowników programowalnych, tzn. przed i po każdorazowym wykonaniu programu użytkowego. Wejścia i wyjścia analogowe są natomiast obsługiwane przez system operacyjny sterownika „w tle” programu użytkownika. Zasoby funkcyjne sterownika obsługiwane są przez jego system przerwań, a programowanie sposobu ich działania polega na nadawaniu w programie użytkowym odpowiednich wartości zmiennym przyporządkowanym tym zasobom.

Samonastrajające się regulatory PID sterownika SA100 umożliwiają równoczesną regulację przebiegu 16 wielkości ciągłych przy użyciu jednego z dwu zaimplementowanych algorytmów różniących się metodą samonastrajania oraz funkcjami dodatkowymi.

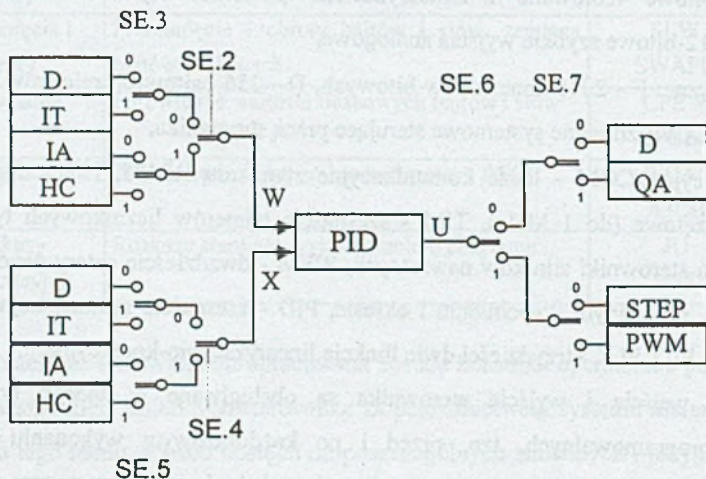
Algorytm pierwszego typu do samonastrajania regulatora wykorzystuje proces przejściowy, powstający po dostatecznie dużej skokowej zmianie sygnału sterującego obiektem – tzw. metoda odpowiedzi skokowej. Algorytm ten przeznaczony jest do sterowania pracą urządzeń pomocniczych linii wyłazarkowej. Struktura pojedynczego algorytmu regulatora PID strojonego metodą odpowiedzi skokowej jest pokazana na rys.1.



Rys. 1. Struktura algorytmu regulatora PID strojonego metodą odpowiedzi skokowej

Fig. 1. Block diagram of a PID controller tuned by step response method

Dla każdego kanału regulatora PID można zdefiniować sposób działania (praca ręczna / automatyczna / normalna / rewersyjna / śledząca) oraz lokalizację w pamięci sterownika przypisaną mu wartości zadanej, wielkości regulowanej i wielkości sterującej (rys. 2).



Rys. 2. Komunikacja algorytmu PID z zasobami sterownika SA100

Fig. 2. PID controll algorithm communicated with SA100 controller variables

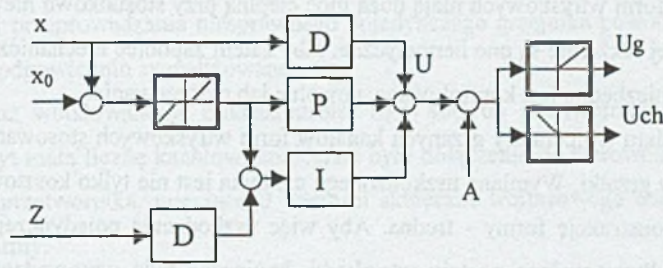
Opisany algorytm PID nie uwzględnia takich cech strefy cieplnej wylączarki tworzywa sztucznego, jak np.: różne właściwości rozdzielonych torów grzania i chłodzenia oraz wydzielające się w tworzywie ciepło, które – z punktu widzenia sterowania temperaturą strefy – traktować należy jako mierzalne pośrednio zakłócenie o niezerowej wartości średniej.

Do regulacji temperatury stref wylączarki odpowiednim rozwiązaniem jest zatem zastosowanie regulatora mogącego pracować:

- w układzie z kompensacją zakłóceń;
- z wyjściami grzania i chłodzenia rozdzielonymi w sposób, który pozwala nie tylko na uwzględnienie różnych właściwości obu tych torów, ale także na jego proste strojenie.

Użycie regulatora o strukturze zamknięto-otwartej wymaga określenia właściwości kompensatora. Doświadczenia praktyczne pokazują, że znaczącą poprawę jakości regulacji temperatury stref wylączarki można uzyskać stosując prosty kompensator statyczny.

W sterowniku SA100 zaimplementowany został także algorytm drugiego typu o opisanych powyżej właściwościach. Jego strukturę pokazano na rys.3.



Rys. 3. Struktura algorytmu regulacji drugiego typu

Fig. 3. Structer of a 2nd type control algorithm

Dla obiektów silnie nieliniowych – jakimi są strefy wylączarki –strojenie regulatora musi być wykonywane wokół wartości zadanej. W opisywanym algorytmie zastosowano znaną metodę cyklu granicznego, która charakteryzuje się znaczną odpornością na zakłócenia.

4. Sterownik programowalny dedykowany dla procesu wtryskiwania tworzywa

Drugi z przedstawianych sterowników został zaprojektowany do sterowania procesem wtryskiwania tworzyw sztucznych.

Wtryskiwanie to technologia wielkoseryjnego wytwarzania z tworzyw sztucznych elementów o różnorodnych kształtach i zróżnicowanych rozmiarach.

Podstawowym czynnikiem, od którego zależy jakość wypraski, jest temperatura tworzywa podczas wypełniania formy. Jednak aby zminimalizować tzw. degradację termiczną, tworzywo powinno być podgrzewane szybko i dopiero w momencie wtryskiwania do formy.

W konstrukcjach nowoczesnych form wtryskowych tworzywo ogrzewane jest w grzanych kanałach doprowadzających je do gniazd formy. Do ogrzewania kanałów stosowane są rozgrzewające się bardzo szybko grzałki oporowe o dużej mocy, sterowanie którymi wymaga użycia regulatorów o krótkim okresie powtarzania. Aby to uzyskać, w przedstawianym sterowniku zrezygnowano z programowego konfigurowania "otoczenia" każdego kanału sterowania. Dzięki temu okres powtarzania uaktywnionych algorytmów PID skrócono do 200 ms.

Z uwagi na właściwości regulacyjne grzanych kanałów w sterowniku zaimplementowano jedynie algorytm PID pierwszego typu. Wymagał on jednak przystosowania do sterowania grzałkami form wtryskowych.

Grzałki form wtryskowych mają dużą moc cieplną przy stosunkowo niewielkiej objętości. Najczęściej także nie są one hermetyczne. Aby zatem zapobiec mechanicznym uszkodzeniom grzałek niezbędne jest kontrolowane, powolne ich rozgrzewanie.

Do pomiaru temperatury grzanych kanałów form wtryskowych stosowane są termopary wbudowane w grzałki. Wymiana uszkodzonego czujnika jest nie tylko kosztowna, ale także - z uwagi na konstrukcję formy - trudna. Aby więc uszkodzenie pojedynczego czujnika nie powodowało długotrwałego postoju wtryskarki, konieczne było wprowadzenie specjalnego algorytmu sterowania ręcznego.

Sterownik został skonfigurowany i zaprogramowany w taki sposób, że umożliwia:

- pomiar temperatury z dokładnością $0,1^{\circ}\text{C}$ i okresem powtarzania pomiaru w każdym kanale wynoszącym 0.2 s; oprócz temperatury grzanych kanałów mierzone są temperatury radiatorów, na których zamontowano półprzewodnikowe przekładniki wykonawcze,
- wykonywanie algorytmu sterowania temperaturą każdego z dwudziestu kanałów z okresem będącym wielokrotnością 0.2 s,
- fazowe, adaptacyjne sterowanie ilością mocy elektrycznej doprowadzonej do grzałek,
- pomiar prądów pobieranych przez grzałki z okresem 1 ms i dokładnością 0.1%,
- pomiar wartości napięć sieci trójfazowej zasilającej układ.

Prawidłowe i bezpieczne prowadzenie procesu wtryskiwania wymaga wyposażenia układu sterującego w odpowiednie procedury diagnostyczne, które powinny wykrywać ty-

powe uszkodzenia form z grzanymi kanałami. Procedury diagnostyczne zaimplementowane w sterowniku kontrolują:

- temperatury radiatorów półprzewodnikowych przekazyńców mocy,
- wartości prądów pobieranych przez grzałki oraz prądy upływu grzałek,
- wartości napięć zasilających układ,
- poprawność przebiegu procesu samonastrajania się regulatorów temperatury.

Procedury diagnostyczne wykonywane są w dwu trybach: grupowym lub indywidualnym.

Diagnostyka grupowa wykonywana jest samoczynnie i bez przerywania pracy systemu sterowania. W wyniku jej przeprowadzenia oceniany jest stan całych grup grzałek zasilanych przez poszczególne fazy napięcia zasilającego układ.

Do dokładnego zlokalizowania uszkodzeń służy procedura diagnostyki indywidualnej. Ponieważ jednak zakłóca ona na kilka sekund przebieg procesu regulacji temperatur wszystkich kanałów układu, to uruchamiana jest ona jedynie na wyraźne żądanie operatora. Wykrycie podczas jej przeprowadzania niesprawnego pojedynczego grzejnika powoduje jego odłączenie, co jest odpowiednio sygnalizowane.

Ponieważ wbudowane w mikrokontroler SAB 80C166 przetworniki analogowo-cyfrowe mają zbyt małą liczbę kanałów, konieczne było dołączenie do sterownika temperatury zewnętrznego przetwornika, mierzącego wartości skuteczne trójfazowego napięcia zasilającego grzałki formy.

5. Podsumowanie

W referacie przedstawione zostały dwa sterowniki programowalne ukierunkowane na sterowanie procesami przetwórstwa tworzyw sztucznych. Zostały one opracowane w wyniku wieloletniej współpracy pomiędzy Instytutem Automatyki Przemysłowej Politechniki Szczecińskiej a Ośrodkiem Badawczo-Rozwojowym METROL w Zielonej Górze. W opinii autorów wyspecjalizowane sterowniki ukierunkowane na konkretne procesy technologiczne nie tylko ułatwiają budowę wielu układów sterowania, ale także mogą być szansą dla polskich producentów urządzeń automatyki przemysłowej.

LITERATURA

1. Broel-Plater B.: Sterowniki programowalne, właściwości i zasady stosowania, Seria Tempus, Wydział Elektryczny Politechniki Szczecińskiej, Wyd. Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2000.
2. Daca W.: Mikrokontrolery – od układów 8-bitowych do 32-bitowych, Mikom, Warszawa 2000.
3. Daca W., Broel-Plater B., Sozański K., Szumski J.: Sterownik programowalny na bazie mikrokontrolera SAB 80C166. Konferencja Automatyzacja – Nowości i Perspektywy, AUTOMATION'97, Warszawa.
4. Daca W., Broel-Plater B., Sozański K., Szumski J.: Sterownik programowalny SA100. III Sympozjum Pomiary i sterowanie w procesach przemysłowych, Zielona Góra 1997.
5. Daca W., Broel-Plater B., Małecki B., Szumski J.: System sterowania procesem przetwórstwa tworzyw sztucznych z wykorzystaniem sterownika programowalnego SA100. IV Sympozjum Pomiary i sterowanie w procesach przemysłowych, Zielona Góra 1999.

Recenzent: Dr inż. Ryszard Jakuszewski

Abstract

In the paper there are presented two dedicated programmable logic controllers. They have been developed as a result of a long-term cooperation between the Institute for Industrial Control at The Technical University Szczecin and the METROL company in Zielona Góra. The goal of the paper was to show, that an effective control of some industrial processes required using of dedicated control algorithms. The examples are specific structure of the PID algorithm which should be used for control of extrusion processes or the necessity of supervision many additional values during control of injection processes. A realization of those facilities using typical programmable logic controllers is hardly possible. In author's opinion the dedicated programmable logic controllers are a chance for Polish manufacturers of equipment for industrial control systems.