

WŁAŚCIWOŚCI FUNKCJONALNE I ALGORYTMY PRZEMYSŁOWEGO MIKROPROCESOROWEGO REGULATORA MRP-42C

Streszczenie: Referat zawiera omówienie własności funkcjonalnych, a także wybranych algorytmów pracy oraz zasad tworzenia struktur funkcjonalnych w mikroprocesorowym regulatorze MRP-42C przeznaczonym do realizacji układów automatyki wolnozmiennych procesów przemysłowych. Jest to dwukanałowy swobodnie programowalny regulator zawierający szereg oryginalnych rozwiązań układowych i sprzętowych, takich jak: pseudoseparacja sygnałów analogowych, programowalny zadajnik sygnałów analogowych i dyskretnych, automatycznie dobierane lub programowane charakterystyki linearyzacyjne, autostrojenie parametrów dynamicznych, specjalizowane algorytmy regulatorów nieliniowych. Specjalną uwagę poświęcono zagadnieniom komunikacji oraz zasygnalizowano kierunki nowych prac związanych z regulatorem.

Abstract: The author presents the functional properties, the rules of design of functional structures and discusses some algorithms of the microcomputer controller MRP-42C for slow industrial processes. It is a two-channel freely programmable controller employing several advanced design concepts in hardware as well as in software such as: pseudoseparation of analog signals, programmable analog and digital signal generator, automatic and programmable linearization, autotuning, new nonlinear progressive algorithms. Attention was paid to the issues of communication and future development efforts.

1. WSTĘP

Regulator MRP-42C jest mikroprocesorowym regulatorem PID, opracowanym w Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów, w ramach realizacji projektu celowego [1]. Od 1994 roku jest on produkowany w PIAP i sprzedawany do zastosowań przemysłowych. W trakcie produkcji aparat jest unowocześniany i wzbogacany o nowe właściwości funkcjonalne. Jest to regulator dwukanałowy o swobodnie programowanej strukturze funkcjonalnej, przeznaczony do realizacji układów automatycznej regulacji wolnozmiennych procesów technologicznych. Celem niniejszej pracy jest ogólne przedstawienie aparatu, a w szczególności zaprezentowanie jego właściwości funkcjonalnych i omówienie wybranych algorytmów pracy aparatu.

2. ROZWIĄZANIE UKŁADOWE

Układy elektroniczne regulatora MRP-42C zostały zrealizowane w technice mikroprocesorowej przy użyciu wysokiej klasy elementów elektronicznych. Wejścia analogowe posiadają oryginalnie rozwiązane układy pseudoseparacji galwanicznej [2], a pozostałe wejścia i wyjścia sygnałowe (w tym również interfejs komunikacyjny) posiadają separacje galwaniczną w stosunku do centralnej części urządzenia. Do przetwarzania analogowo cyfrowego zastosowano 12-to bitowe (plus bit znaku) przetworniki integracyjne, a wyjścia analogowe zostały zrealizowane w oparciu o zasadę modulacji szerokości impulsu, przy zachowaniu tej samej rozdzielczości co wejścia. Wszystkie wejścia analogowe posiadają układy pseudoseparacji galwanicznej umożliwiające prawidłowy pomiar przy obecności sygnału zakłócającego 25V, AC lub DC. Kody struktury funkcjonalnej, parametry bloków oraz ważniejsze sygnały wewnętrzne, chronione są w pamięci CMOS RAM, posiadającej wewnętrzne podtrzymanie bateryjne na wypadek braku zasilania i posiadają sprzętową blokadę wpisu sygnału przy pominięciu hasła programowego.

Układ elektroniczny regulatora MRP-42C został zrealizowany w oparciu o mikroprocesor 80C188EB firmy INTEL. Jest to nowoczesny mikroprocesor (wprowadzony do produkcji w 1990r.) o stosunkowo rozbudowanych urządzeniach peryferyjnych, wzbogaconym zestawie instrukcji i obniżonym poborze prądu w stosunku do tradycyjnych układów INTEL 80188. Pozostałe układy scalone są również prawie wyłącznie wykonane w technice CMOS.

3. PODSTAWOWE PARAMETRY

Podstawowe parametry regulatora zestawione są w tabeli 1.

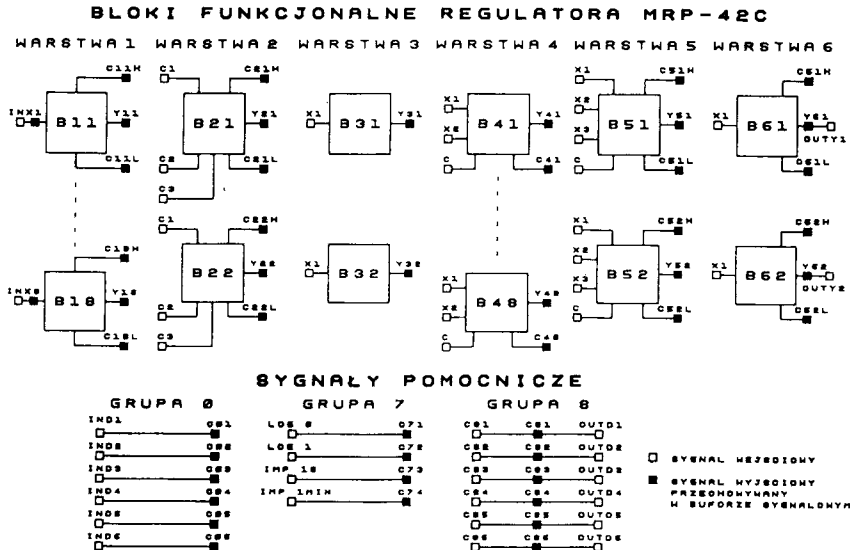
Tabela 1. Podstawowe parametry regulatora MRP-42C

Nr	Rodzaj parametru	Wartość / opis
1	Wejścia analogowe	8 wejść (0) 4 ... 20mA lub (0) 2 ... 10V z czego jedno może być parametryczne
2	Wejście parametryczne	Jedno wejście z czujnika termoelektrycznego 2,7mV ... 37,3mV lub Pt100, Ni100 lub potencjometru 1k Ω , 10 k Ω
3	Wyjścia analogowe	2 wyjścia 4 ... 20mA, R \leq 500 Ω
4	Wejścia dyskretne	6 wejść 0/24V lub zwarcie / rozwarcie zestyków
5	Wyjścia dyskretne	6 wyjść tranzystorowych typu otwarty kolektor plus 1 wyjście awarii sprzętowej
6	Wyjścia regulacyjne	2 wyjścia analogowe lub 2 wyjścia trójpołożeniowe przekaźnikowe albo tyrystorowe
7	Diagnostyka	Alarmy przekroczeń i autodiagnostyka
8	Interfejs komunikacyjny	RS 232C lub RS 485
9	Zasilanie	220V, - 15% ... +10%, 50Hz
10	Pobór mocy	\leq 15VA
11	Wymiary	72x144x225mm

4. STRUKTURA FUNKCJONALNA, ALGORYTMY PRACY

Oprogramowanie regulatora MRP-42C pozwala na zrealizowanie układu automatycznej regulacji o średnio złożonej strukturze, zawierającej dwa regulatory i szereg pomocniczych bloków funkcjonalnych typowych dla części centralnej układu regulacji. Struktura funkcjonalna regulatora (rys.1) przedstawia się dla użytkownika jako zbiór 24 bloków podzielonych na 6 grup nazwanych umownie warstwami. Oprócz tego wyróżnia się 3 grupy sygnałowe zawierające sygnały obiektowe i wewnętrzne pomocnicze. Poszczególnym blokom mogą być przyporządkowane algorytmy pracy podane w tabeli 2, zgodnie z podziałem na warstwy. Kodowanie struktury funkcjonalnej odbywa się drogą wprowadzania odpowiednich słów konfiguracyjnych według sformalizowanej procedury, za pośrednictwem pulpitu regulatora lub poprzez łącze transmisji szeregowej z urządzenia nadrzędnego. Kodowaniu podlegają zarówno funkcje i parametry bloków jak i połączenia strukturalne pomiędzy nimi.

Bloki warstwy 1 są na stałe połączone z analogowymi sygnałami wejściowymi i realizują proste algorytmy przetwarzania pojedynczego sygnału analogowego. Warstwa 2 zawiera dwa bloki programowanego zadajnika sygnałów analogowych, a warstwa 3 realizuje algorytm nastawianej przez użytkownika, wieloodcinkowej charakterystyki linearyzacyjnej. Bloki warstwy 4 przeznaczone są dla algorytmów przetwarzających dwa sygnały analogowe lub dyskretne. Warstwa 5 zawiera dwa bloki regulatorów, a warstwa posiada 6 dwa bloki przeznaczone do przeniesienia analogowego sygnału wewnętrznego na fizyczne wyjście regulatora.



Rys. 1 Struktura funkcjonalna regulatora MRP-42C.

Tabela 2. Algorytm pracy regulatora MRP-42C

Warstwa	Typ algorytmu	Dodatk. funkcje /parametry / uwagi
1	1.1 Przeniesienie $Y = X$ 1.2 Inwersja $Y = 1 - X$ 1.3 Pierwiastek $Y = \sqrt{X}$ 1.4 Kwadrat $Y = X^2$	Filtracja sygnału $T_f = 1 \dots 64$ s. Alarm przekroczenia nastawionych wartości: minimalnej i maksymalnej. Przeliczenie sygnału na jednostki fizyczne. Automatyczna linearyzacja wejść temperaturowych.
2	2.1 Zadajnik programowy - 50-cio odcinkowa charakterystyka przebiegu sygnału analogowego w czasie: (1s ... 100godz.)*50, - możliwość zakodowania w każdym kroku wartości dwu sygnałów dyskretnych.	Funkcja "Start-Stop" za pomocą sygnałów zewnętrznych lub z pulpitu. Funkcja "Reset" sprowadzająca blok do kroku początkowego. Programowalna liczba powtórzeń programu oraz możliwość realizacji wybranego zakresu pracy. Realizacja szybkiego przebiegu zadajnika dla celów serwisowych.
3	3.1 Programowana charakterystyka linearyzacyjna sygnałów liniowych: 22 odcinki liniowe programowalne w zakresie od -10% do +110% sygnału znamionowego.	
4	4.1 Sumator $Y = k_1 X_1 + X_2 + k_2$ 4.2 Blok odejmowania $Y = k_1 X_1 - X_2 + k_2$ 4.3 Blok mnożący $Y = k_1 X_1 X_2 + k_2$ 4.4 Blok dzielący $Y = k_1 X_1 / X_2 + k_2$ 4.5 Blok wyboru wartości maksymalnej $Y = \max(X_1, X_2)$ 4.5 Blok wyboru wartości minimalnej $Y = \min(X_1, X_2)$ 4.7 Klucz analogowy sterowany dyskretnie 4.8 Człon korekcyjny $Y(s) = X(s) \frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1}$ 4.9 Integrator z wyjściem impulsowym 4.11 Pierwiastek z sumatora 4.12 Pierwiastek z bloku odejmowania 4.13 Pierwiastek z bloku mnożącego 4.14 Pierwiastek z bloku dzielącego	$k_1 = 0 \dots 9,99$ $k_2 = -0,999 \dots 0,999$ $T_1, T_2 = 0 \dots 99,99 \text{min}$ Algorytmy jak dla bloków 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 plus funkcja pierwiastka z całego wyrażenia

Tabela 2. Algorytmy pracy regulatora MRP-42C (dalszy ciąg tabeli)

Warstwa	Typ algorytmu	Dodatk. funkcje /parametry / uwagi
4	4.21 Funkcja logiczna AND	$C = X_1 * X_2$
	4.22 Funkcja logiczna NAND	$C = \overline{X_1 * X_2}$
	4.23 Funkcja logiczna OR	$C = X_1 + X_2$
	4.24 Funkcja logiczna NOR	$C = \overline{X_1 + X_2}$
	4.25 Funkcja logiczna EXOR	$C = X_1 * \overline{X_2} + \overline{X_1} * X_2$
	4.26 Funkcja logiczna EXNOR	$C = X_1 * X_2 + \overline{X_1} * \overline{X_2}$
	4.27 Funkcja logiczna INHIBIT	$C = X_1 * \overline{X_2}$
	4.28 Funkcja logiczna IMPLICATION	$C = X_1 + \overline{X_2}$
	4.29 Przerzutnik typu S	X_1 - funkcja SET
	4.30 Przerzutnik typu D	X_1 - funkcja RESET
	4.31 Generator programowalny	$T_{imp} - 0 \dots 9999$
	4.32 Uniwibrator	$T_{prz} - 0 \dots 9999$ C - wejście taktujące (1s, 1min)
5	5.1 Regulator ciągły PID	Przeliczanie sygnału wejściowego na jednostki fizyczne.
	5.2 Regulator krokowy PID	Nastawa sygnalizacji alarmowej na odchyłce regulacji.
	5.3 Regulator trójpołożeniowy PID z pozycjonerem	Ograniczenie całkowania o nastawnych poziomach
	5.4 Regulator trójpołożeniowy PID bez pozycjonera (dwa regulatory dwupołożeniowe)	Nastawa wartości bezpiecznej wyjścia na wypadek awarii.
	5.6 Regulator ciągły progresywny PID typ I	Kodowany rodzaj pracy po powrocie zasilania.
	5.7 Regulator ciągły progresywny PID typ II	Bezzakłócenkowa zmiana rodzaju pracy i nastaw parametrów dynamicznych.
	5.11 Regulator ciągły PID z autostrojeniem	Parametry: k= 0 ... 99,99 $T_I = 0,01 \dots 60\text{min}$ (lub wyłącz.) $T_D = 0 \dots 60\text{min}$ N = 0,1 ... 10min $T_m = 0,5 \dots 10\text{min}$ $T_{imp} = 0,5 \dots 100\text{s}$ $T_{min} = 0,02 \dots 0,5\text{s}$
6	6.1 Przeniesienie sygnału na wyjście analogowe wprost $Y = X$	Nastawiane poziomy ograniczenia sygnału wyjściowego.
	6.2 Przeniesienie sygnału na wyjście analogowe z inwersją $Y = 1 - X$	Sygnalizacja alarmowa przekroczenia wyjścia.

Poniżej zostaną pokrótce omówione sposoby realizacji wybranych algorytmów funkcjonalnych.

Autostrojenie

Istniejąca procedura autostrojenia oparta jest na zmodyfikowanym eksperymencie Zieglera - Nicholisa. Na polecenie operatora następuje wywołanie procedury automatycznego doboru nastaw parametrów dynamicznych regulatora ciągłego PID. Proces strojenia sygnalizowany jest światłem migowym diody dla danego kanału regulacji. Użytkownik określa rodzaj kryterium jakości regulacji, według którego dobierane są nastawy. W PIAP prowadzone są aktualnie prace nad opracowaniem nowej metody autostrojenia zapewniającej quasi-ciągły automatyczny dobór nastaw parametrów regulatora zarówno do charakterystyki obiektu jak i zakłóceń na niego oddziałujących [3].

Regulacja progresywna suboptymalna

Realizacja algorytmów oparta jest na wykorzystaniu prac prowadzonych w tym zakresie na Wydziale Mechaniki Precyzyjnej PW [4]. W oparciu o analizę wartości sygnału odchyłki regulacji oraz jej pierwszej i drugiej pochodnej, do ciągłego algorytmu PID, zostaje dodane silne działanie forsujące w wypadku rozpoznania przez algorytm tendencji wzrostu odchyłki regulacji. Regulatory progresywne pozwalają na jednoczesną poprawę niemal wszystkich wskaźników jakości regulacji. Możliwe jest np. kilkukrotne zmniejszenie odchyłki regulacji przy jednoczesnym znacznym skróceniu czasu regulacji.

Automatyczna linearyzacja wejść temperaturowych

Sygnały wejściowe pochodzące z czujników termoelektrycznych lub rezystancyjnych mogą podlegać automatycznej programowej linearyzacji. Użytkownik podaje kod czujnika i zakres pomiarowy, a algorytm dobiera na tej podstawie najbardziej optymalną charakterystykę linearyzacyjną.

5. FUNKCJE OPERATORSKIE

Pulpit operatora może znajdować się w jednym z trzech podstawowych rodzajów pracy, to znaczy może on pełnić jedną z niżej wymienionych funkcji:

- funkcję stacyjki operatorskiej,
- funkcję urządzenia konfigurowania i zadawania parametrów,
- funkcje urządzenia serwisowego.

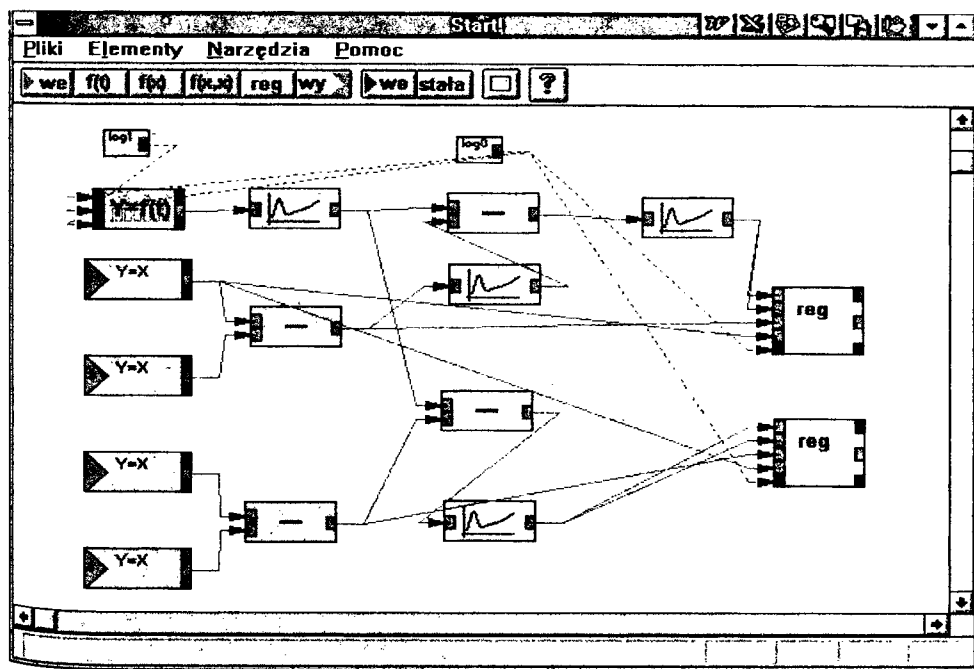
Podczas normalnej pracy na pulpicie operatorskim regulatora wyświetlane są na diodach LED informacje niezbędne dla nadzoru takie jak: tryb pracy, rodzaj wartości zadanej, sygnalizacja alarmowa w obydwu kanałach regulacyjnych. Ponadto na bargrafach wyświetlana jest wartość odchyłki regulacyjnej i wartość sygnału wyjściowego dla kanału wybranego przez operatora. Dwa czteropozycyjne wyświetlacze cyfrowe służą do wyświetlania wartości sygnałów wyjściowych lub przetworzonych. Oprócz typowych czynności operatorskich i konfiguracyjnych aparat umożliwia obejrzenie wartości dowolnego wewnętrznego sygnału analogowego lub dyskretnego, a także zawartości pamięci RAM i EPROM. Wystąpienie alarmów sygnalizowane jest światłem migowym diody alarmowej. Przy kwitowaniu alarmu wyświetlany jest symbol kodu alarmu.

Aparat posiada cztery mikroprzełączniki dostępne podczas pracy urządzenia: do zatrzymania realizacji funkcji obliczeniowych, do blokowania wpisu zmian struktury i parametrów, do wyboru rodzaju interfejsu transmisyjnego, do przełączania na tryb pracy "serwis."

6. INTERFEJS KOMUNIKACYJNY, PROGRAM STARTOWY

Szeregowy interfejs komunikacyjny służy do komunikacji z komputerem nadrzędnym (typu IBM PC). Umożliwia on zdalny dostęp do sygnałów wewnętrznych regulatora, wykorzystując protokół komunikacyjny MODBUS-RTU lub PROFIBUS. Wymiana informacji i/lub poleceń inicjowana jest z komputera (Master - Slave). Interfejs pozwala na zmianę struktury funkcjonalnej, nastaw, parametrów, trybu pracy oraz na kontrolę sygnałów wejściowych i wyjściowych regulatora z lokalnego albo oddalonego stanowiska dyspozytorskiego. Komputer nadrzędny ma dostęp do wszystkich sygnałów obiektowych i wewnętrznych z poszczególnych bloków funkcjonalnych regulatora. Oferowany jest jeden z dwu standardów interfejsu RS 232C lub RS 485. Regulatory z interfejsem RS 485 mogą pracować w sieci lokalnej z maksimum 32 szt. aparatów, przy zasięgu sieci do 1200m.

W celu ułatwienia użytkownikom wykonywania prac związanych z projektowaniem i uruchamianiem układów regulacji zrealizowanych przy użyciu regulatorów MRP-42C, został opracowany (przez firmę HELP z Wrocławia) program uruchomieniowy o nazwie START, który pozwala na przygotowanie do pracy regulatorów połączonych dwuprzewodową siecią z komputerem nadrzędnym. Na rysunku 2 pokazano przykład konfiguracji struktury funkcjonalnej regulatora za pomocą programu START.



Rys. 2 Konfiguracja struktury funkcjonalnej regulatora MRP-42C za pomocą programu START

Główne zadania programu START to:

- łatwe przygotowanie struktur funkcjonalnych regulatorów, które następnie mogą być w prosty sposób edytowane, kopiowane i wprowadzane do regulatorów za pomocą interfejsu komunikacyjnego,
- zdalne definiowanie algorytmów pracy bloków funkcjonalnych, zadawanie parametrów i rodzajów pracy,
- automatyczne wykrywanie zmian w strukturze i parametrach aparatu,
- wyświetlanie wartości sygnałów pomiarowych i regulacyjnych,
- archiwizacja struktur i parametrów regulacyjnych.

7. PRACE ROZWOJOWE

W Przemysłowym Instytucie Automatyki i Pomiarów są planowane i aktualnie prowadzone prace związane z dalszym rozwojem aparatu. Na uwagę zasługują:

- prace związane z opracowaniem oprogramowania nadrzędnej stacji operatorskiej umożliwiającej, oprócz tworzenia konfiguracji i zadawania parametrów regulatorów, także na realizację podstawowych czynności operatorskich oraz na wizualizację procesu technologicznego, w którym układy regulacji zostały zrealizowane przy użyciu regulatorów MRP-42C,
- opracowanie nowego algorytmu autostrojenia parametrów dynamicznych regulatorów z wyjściem ciągłym i trójpołożeniowym,
- rozszerzenie biblioteki algorytmicznej o nowe pozycje takie jak: specjalne algorytmy dla pracy kaskadowej, regulator o przełączanych nastawach i inne zgodnie z potrzebami zgłaszanymi przez użytkowników,
- wprowadzenie pewnych zmian konstrukcyjnych w zakresie rozwiązania obudowy i płyty tylnej aparatu oraz uzupełnienie aparatu o wykonanie, w którym jeden kanał regulacyjny przewidziany jest dla pracy ciągłej a drugi dla trójpołożeniowej.

LITERATURA

- [1] Pietrusiński Z.: *Regulator MRP-42C oraz współczesne regulatory mikroprocesorowe do automatyzacji procesów ciągłych*. Biuletyn PIAP, Nr 4-180/95 1995r, s. 2-21.
- [2] Pietrusiński Z., Korytkowski J., Goszczyński T.: *Układ pseudoseparacji galwanicznej elektronicznych sygnałów analogowych*. Opis patentowy Nr 150618. Urząd Patentowy RP. Opublikowano 1990.10.31.
- [3] Pietrusiński Z.: *Koncepcja realizacji algorytmu samostrojenia i adaptacji parametrów dynamicznych regulatorów mikroprocesorowych w oparciu o analizę charakterystyki częstotliwościowej sygnału odchyłki regulacji*. Biuletyn PIAP, Nr 5-169/93 1993r, s. 3-35.
- [4] Pietrusiński Z., Rączkowski J.: *Realizacja algorytmów nieliniowej progresywnej regulacji PID w uniwersalnym regulatorze przemysłowych wolnozmiennych procesów technologicznych EFTRONIK M*. Pomiar Automatyka Kontrola, Nr 12 1990r, s.254-256.