



Instrukcja do ćwiczenia

Ćwiczenie nr	25.1.
Temat :	Programowanie cyfrowe Konfiguracja sterownika
Stanowisko laboratoryjne	Sterownik GE-Fanuc 90-30
Opracował :	A. Mielewczyk

Instrukcja nr. 25.1.

1. Temat ćwiczenia:

Konstrukcja, konfiguracja i programowanie sterownika modułowego GE-Fanuc 90-30.

2. Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawowymi elementami w konstrukcji i programowaniu drabinkowym sterownika modułowego **GE-Fanuc serii 90-30**, a następnie wykonanie symulacji załączania wyjść sterownika za pomocą programu Proficy Machine Edition v9.

3. Zakres wymaganych wiadomości:

- struktura kompaktowa i modułowa sterownika,
- sygnały dwustanowe i ich adresowanie,
- sygnały analogowe i ich adresowanie,
- elementy logiczne,

4. Przebieg ćwiczenia:

Skonfigurować sterownik według podanych modułów, zapisać program załączania wyjść cyfrowych według wskazanych przykładów – ‘Zbiór zadań dla sterowników GE-Fanuc serii 90-30/VersaMax/Micro wraz z przykładami rozwiązań’.

5. Stanowisko laboratoryjne:

Sterownik modułowy **GE-Fanuc serii 90-30**, program Proficy Machine Edition v9.

6. Sprawozdanie z ćwiczenia:

Część wstępna, program testowany na sterowniku.

WPROWADZENIE

Sterownik modułowy GE-Fanuc 90-30 przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1 Sterownik modułowy GE-Fanuc 90-30

Sterownik modułowy jest układem do sterowania wybranym procesem w całości. Konfiguruje się go według zapotrzebowania. Jest ważnym elementem w procesie zarządzania produkcją. Pozycja sterownika na grafie (rys. 2) to ‘poziom sterownia’.

Komunikacja przemysłowa

- Poziom zarządzania

PROFINet, ethernet

- Poziom sterowania

PROFIBUS, MODBUS

- Poziom czujników

AS-Interface



Rys. 2 Pozycja sterownika w procesie zarządzania

Tabela 1 Lista wybranych producentów sterowników

Producent	Inteligentne przekaźniki	Małe	Średnie	Duże
Siemens	Logo	SIMATIC S7-200	SIMATIC S7-300,400	SIMATIC S7-1200
Schneider Electric	Zelio	Nano, Micro, Twido	Premium, Compact, Momentum	Quantum
GE Fanuc	VersaMax-Nano	VersaMax-Micro	90-30, VersaMax, PACSystems RX3i	90-70, PACSystems RX7i
Mitsubishi Electric	ALPHA	MELSEC FX1, FX2	MELSEC QnAS	MELSEC QnA, MELSEC System Q
Omron		CPM1, CPM2, CQM1H	C200H-alpha, CJ1, CS1	CVM1
Rockwell Automation (Allen-Bradley)	Pico	MicroLogix	SLC500, FlexLogix, ControlLogix	PLC-5

Elementy sterownika modułowego:

- Płyta łączeniowa (ang. baseplate), zwana także kasetą (ang. rack), posiada gniazda (ang. slots) do podłączenia wybranych modułów,
- Moduły podstawowe: zasilacz (PS, ang. Power Supply) oraz moduł jednostki centralnej (CPU, ang. Central Processing Unit).
- Moduły wejść i wyjść cyfrowych (ang. Digital Input, Digital Output),
- Moduły wejść i wyjść analogowych (ang. Analog Input, Analog Output),
- Moduły komunikacyjne, do podłączenia sterownika do sieci lokalnej w określonym standardzie, np. Modbus, Profibus, ControlNet, Genius itp. lub do sieci Ethernet,

Inne moduły sterownika (moduły inteligentne i dodatkowe):

- Moduły szybkich liczników (HSC, ang. High-Speed Counter),
- Moduły pozycjonowania osi (APM, ang. Axis Positioning Module),
- Moduły wejściowe dla czujników temperatury,
- Moduły regulatora PID lub regulatory rozmyte,
- Moduły akwizycji kodu paskowego itd.

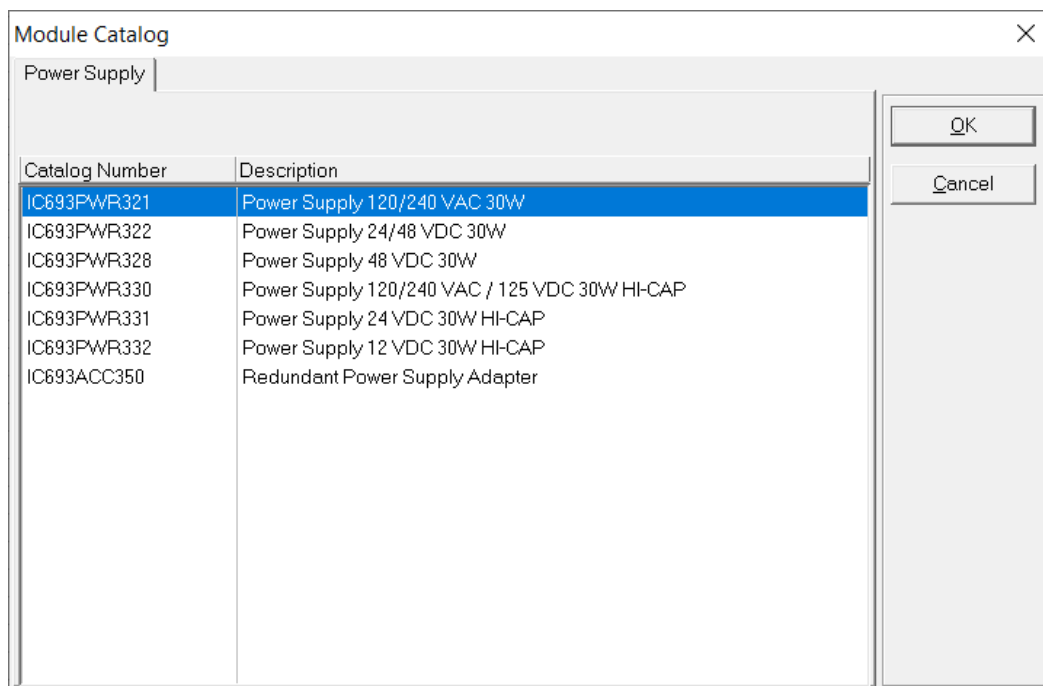
Zasilacz do sterownika GE-Fanuc 90-30

Sterowniki są produkowane w dwóch zasadniczych wersjach – z zasilaniem sieciowym 110V AC albo 230V AC lub z zasilaniem 24V DC. Przy zasilaniu sieciowym koniecznym elementem jest zasilacz (PS, ang. *Power Supply*), który jest

wbudowany w sterownikach o budowie kompaktowej, lub stanowi odrębny podzespół w sterownikach o budowie modułowej. Zasilacze modułowe (dedykowane) są specyficzne dla poszczególnych typów i rodzajów sterowników. Są wyposażone w nietypowe złącza i trudno jest zastępować je innymi – standardowymi urządzeniami. Czasami zasilacz stanowi integralną część sterownika, połączoną w taki sposób, że funkcjonowanie zestawu bez dedykowanego zasilacza nie jest możliwe.

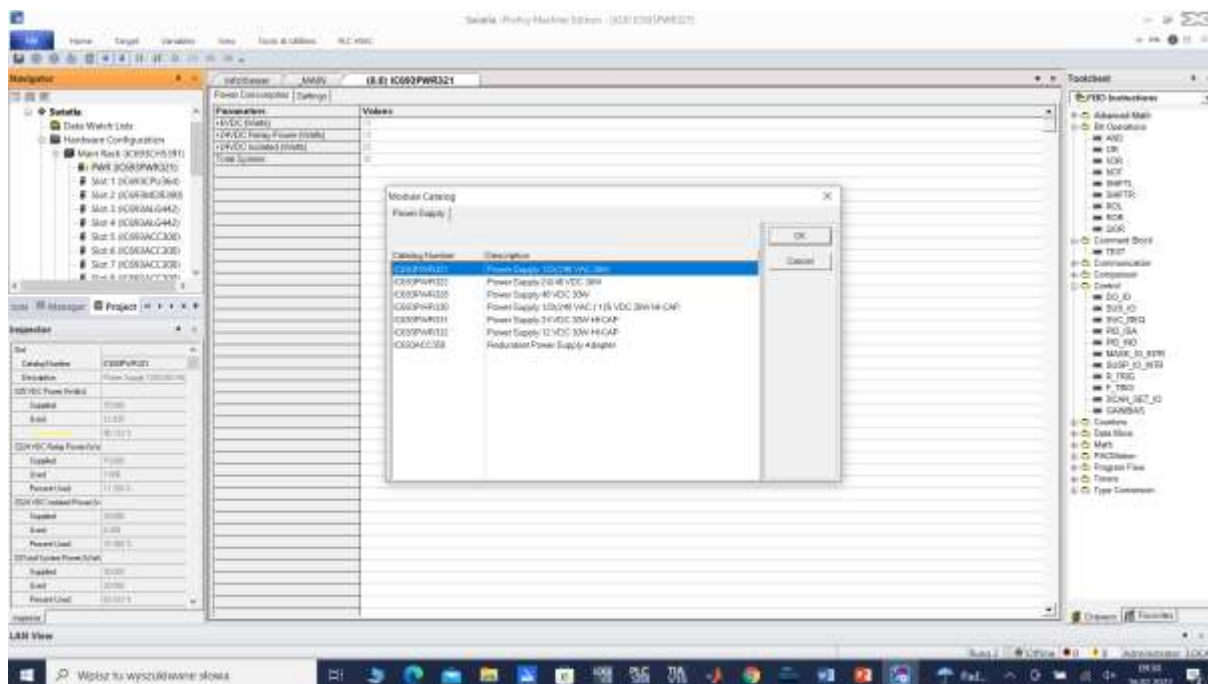
Stosowane zasilacze charakteryzują się niewielkimi mocami i służą do zasilania jednostek centralnych oraz poszczególnych modułów sterownika. Nie jest zalecane wykorzystywanie zasilacza sterownika do zasilania innych podzespołów układu sterowania (czujniki, przetworniki, kontrolki itp.).

Katalog dostępnych zasilaczy sterownika GE-Fanuc przedstawia rys. 3. Zasilacz zawsze montuje się porcie 'slot 0' płyty głównej 'Main Rack'. Dodawanie i konfigurowanie zasilacza pokazano na rys. 4.



Catalog Number	Description
IC693PWR321	Power Supply 120/240 VAC 30W
IC693PWR322	Power Supply 24/48 VDC 30W
IC693PWR328	Power Supply 48 VDC 30W
IC693PWR330	Power Supply 120/240 VAC / 125 VDC 30W HI-CAP
IC693PWR331	Power Supply 24 VDC 30W HI-CAP
IC693PWR332	Power Supply 12 VDC 30W HI-CAP
IC693ACC350	Redundant Power Supply Adapter

Rys. 3 Dostępne zasilacze sterownika GE-Fanuc



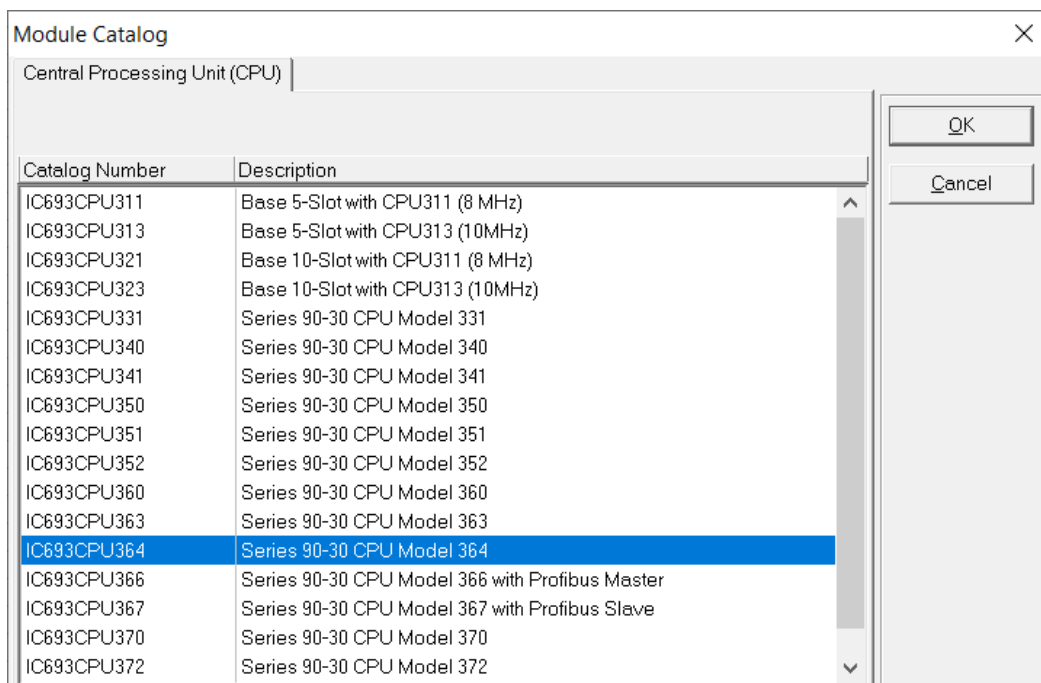
Rys. 4 Dodawanie zasilacza i konfiguracja sterownika GE-Fanuc

Jednostka centralna do sterownika GE-Fanuc 90-30

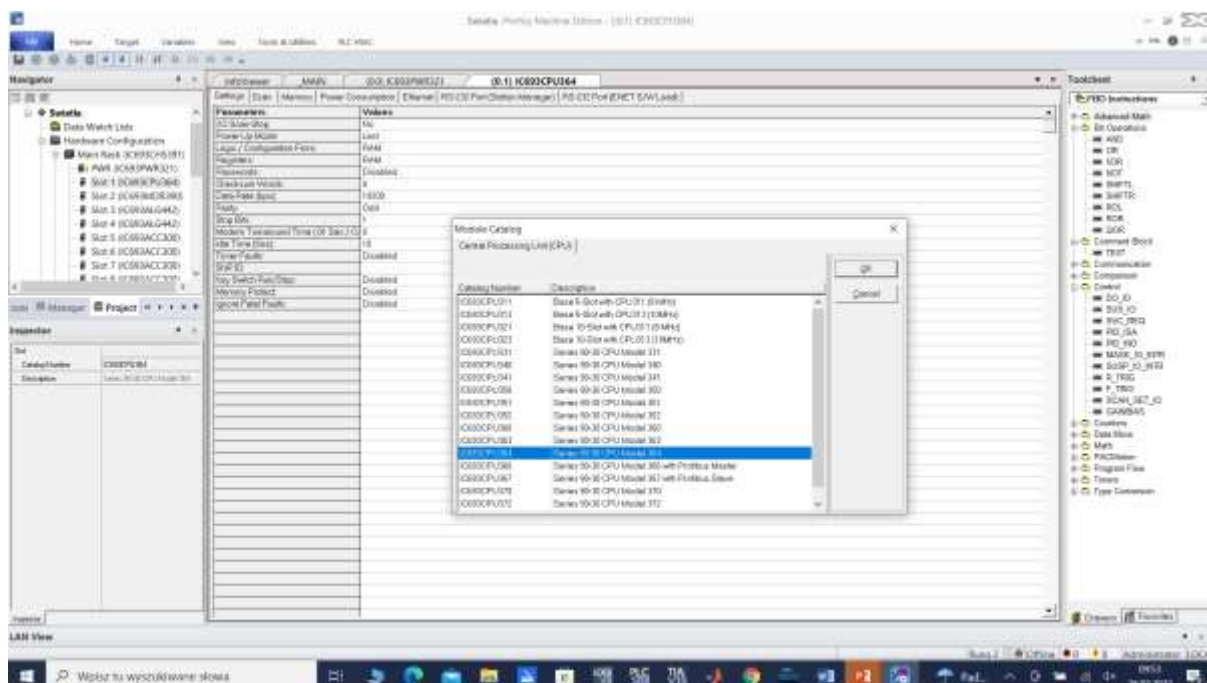
Jednostka centralna ([CPU](#), ang. *Central Processing Unit*.) – jest to element, gdzie program jest ładowany, przechowywany i wykonywany, inna nazwa to: Główna Jednostka Przetwarzania (MPU – *Main Processing Unit*). Inne terminy na określenie tego elementu, to: jednostka główna lub procesor.

Parametry jednostki centralnej można scharakteryzować poprzez: wielkość pamięci, szybkość działania, napięcie zasilania, możliwość pracy w systemie *Master – Slave*, rodzaj oprogramowania, liczba dostępnych procedur i bloków funkcyjnych w oprogramowaniu, możliwość pracy w sieci i zaimplementowane protokoły komunikacyjne – porty wymiany danych, liczba dozwolonych modułów rozszerzających, możliwość rozszerzania pamięci.

Katalog dostępnych procesorów sterownika GE-Fanuc 90-30 przedstawia rys. 5. Jednostkę centralną zawsze montuje się porcie 'slot 1' płyty głównej 'Main Rack'. Dodawanie i konfigurowanie jednostki CPU pokazano na rys. 6. Pracę ze sterownikiem zaczyna się zawsze od wgrania programu poprzez port szeregowy RS-232. Możliwe jest przejście na port Ethernet po wcześniejszym wprowadzeniu adresu IP.



Rys. 5 Dostępne jednostki CPU sterownika GE-Fanuc 90-30



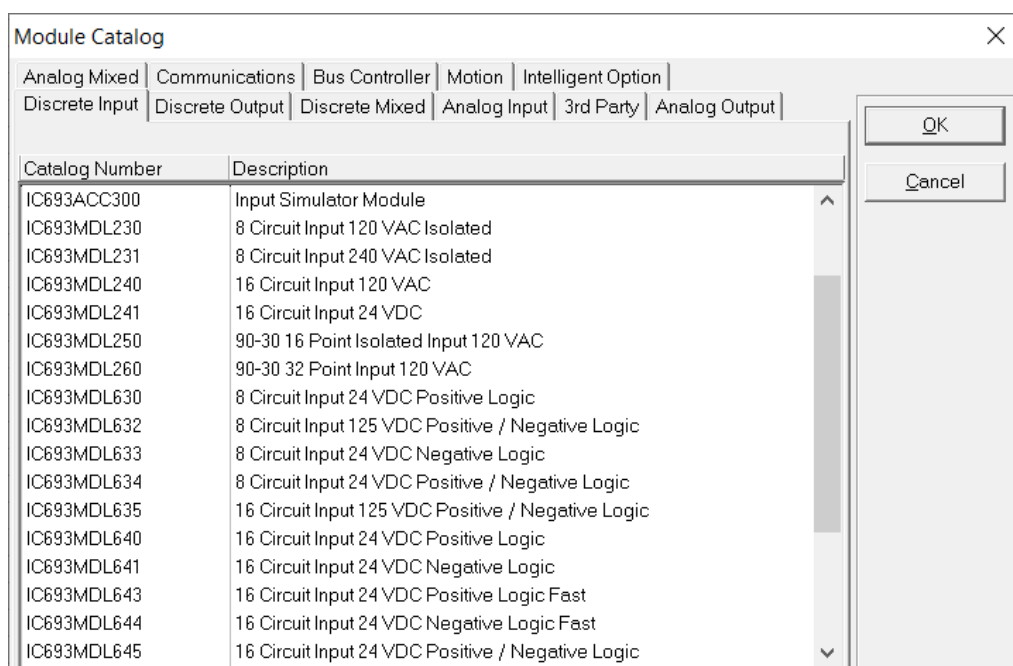
Rys. 6 Dodawanie jednostki CPU i konfiguracja sterownika GE-Fanuc 90-30

Moduł wejść cyfrowych

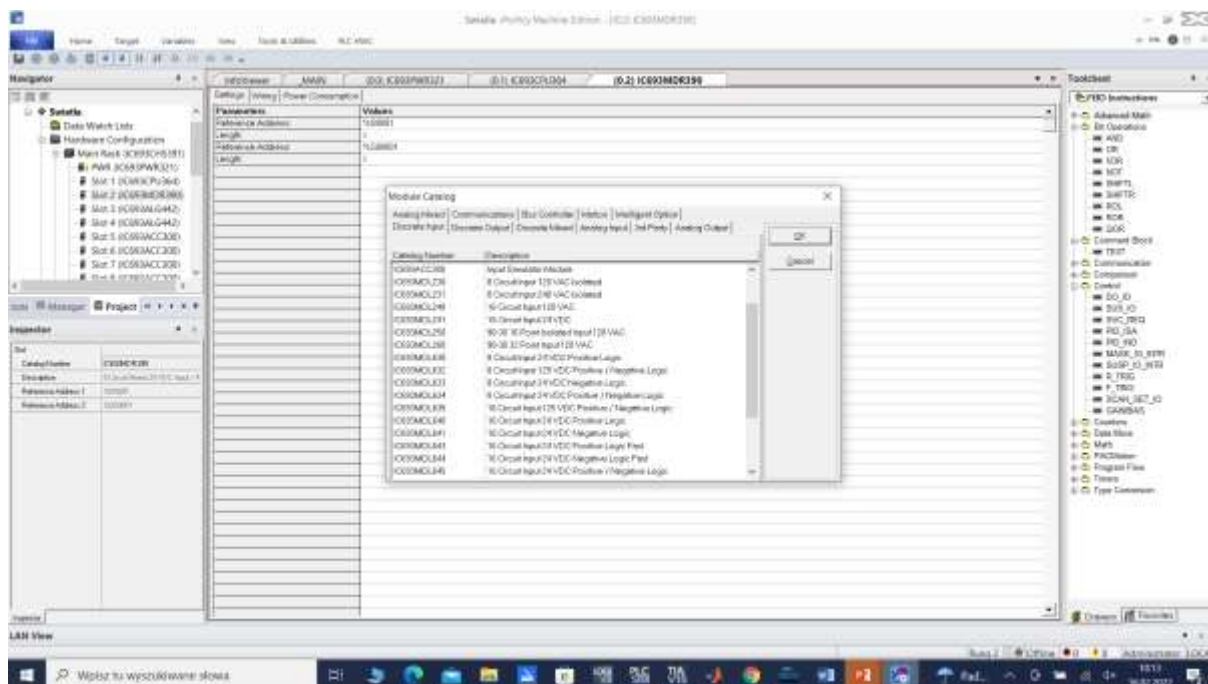
Blok wejść cyfrowych (ang. *Digital Input*) to elementy umożliwiające wprowadzanie sygnałów wejściowych dwustanowych 0 lub 1 bez określenia wartości. Poszczególne wejścia mają określone oznaczenia, zarówno naniesione na obudowie, jak też są jednoznacznie przyporządkowane, tak że w programie możliwe jest ich precyzyjne adresowanie.

Katalog dostępnych modułów wejść cyfrowych GE-Fanuc 90-30 przedstawia rys. 7. Dowolne moduły mogą być montowane w porcie od 'slot 2' i wyżej płyty głównej 'Main Rack' i kolejnych płyt do 'Rack 7'. W taki sposób uzyskuje się szerokie możliwości sterownika. Producent udostępnia szeroką listę modułów cyfrowych, analogowych, mieszanych itp.

Dodawanie i konfigurowanie modułów pokazano na rys. 8. Istotne w konfiguracji jest poznanie adresów wejść/wyjść danego modułu.



Rys. 7 Dostępne moduły wejść cyfrowych sterownika GE-Fanuc 90-30



Rys. 8 Dodawanie modułów i konfiguracja wejść/wyjść sterownika GE-Fanuc 90-30

Moduł wejść analogowych

Blok wejść analogowych (ang. *Analog Input*) to elementy umożliwiające wprowadzanie sygnałów wejściowych o charakterze ciągłym i odczytanie wartości np. temperatury, ciśnienia, przepływu, itp. Do jednostki centralnej wszystkie sygnały muszą dochodzić jako cyfrowe. Wobec tego sygnały analogowe muszą zostać zamienione na postać cyfrową w przetwornikach A/C, zmienne typu integer.

Sygnałami wejściowymi dla wejścia analogowego są najczęściej:

- napięcie 0 do 10V DC, -10 do 10V DC oraz napięcie pochodzące z czujników termoelektrycznych np.: Ni-Cr;
- prąd: 0 do 20 mA lub 4 do 20 mA DC z czujników rezystancyjnych np. Pt100 itp.

Moduły wejść analogowych zawierają w sobie przetworniki, które dostosowują dostarczany na wejście sygnał do parametrów sterownika według długości słowa cyfrowego. Funkcjonowanie wejść analogowych jest możliwe dzięki zastosowaniu w sterownikach przetworników A/C (analogowo-cyfrowy) o odpowiedniej rozdzielczości:

Przetwornik 8-bitowy, zakres 0-255

dla sygnału 0-10V oznacza to dokładność 39mV

dla sygnału 4-20mA oznacza to dokładność 62.5μA

Przetwornik 12-bitowy, zakres 0-4095

dla sygnału 0-10V oznacza to dokładność 2.44mV

dla sygnału 4-20mA oznacza to dokładność 3.9μA

Przetwornik 16 bitowy – jeden bit znakowy plus 15 bitów, zakres 0-32767

dla sygnału 0-10V oznacza to dokładność 0.3mV

dla sygnału 4-20mA oznacza to dokładność 0.488μA

Moduł komunikacyjny

Blok elementów komunikacyjnych służy do podłączenia sterownika do innych urządzeń to jest programatora lub urządzeń (Device) sieci lokalnej w określonym standardzie, np. Modbus, Profibus, ControlNet, Genius itp. lub do sieci Ethernet. Sterowniki mają w oprogramowaniu wewnętrznym (systemowym) zaimplementowane określone procedury komunikacyjne oraz charakter działania (tryb Multimaster lub Master–Slave). Zewnętrznym elementem modułu są złącza komunikacyjne, najczęściej standardu RS 232, RS 485, RJ 45.

Wyjścia cyfrowe (ang. *Digital Output*)

Wyjścia przekaźnikowe - zapewniają pełną separację galwaniczną wewnętrznych układów sterownika i obwodów wyjściowych. Przekazniki charakteryzują się stosunkowo niewielką częstotliwością włączeń oraz ograniczoną żywotnością wynoszącą około 1 mln cykli łączeniowych.

Wyjścia tranzystorowe - także zapewniają separację galwaniczną wewnętrznych układów sterownika i obwodów wyjściowych. Można je stosować jedynie przy zasilaniu obwodów wyjściowych prądem stałym. Zazwyczaj stosuje się napięcie 24 V. Obciążalność wyjść tranzystorowych jest niewielka – około 0,5 A Wyjścia tranzystorowe charakteryzują się wysoką częstotliwością włączeń oraz dużą żywotnością. Często sterowniki mają kilka rodzajów wyjść tranzystorowych różniących się dopuszczalną częstotliwością np. do 1 kHz oraz do 20 kHz. Tego rodzaju wyjścia przeznaczone są do układów sterowania charakteryzujących się ciągłą pracą przy dużej liczbie przełączeń, np. sterowanie silnikami krokowymi.

Wyjścia analogowe (ang. *Analog Output*)

Moduły wyjść analogowych są niezbędne w układach regulacji oraz do sterowania pracą analogowych elementów i urządzeń wykonawczych (np. sterowanie położeniem przepustnicy, sterowanie położeniem zaworu, sterowanie mocą grzałki itp.).

Moduły wyjść analogowych są zazwyczaj dostosowane do określonego zakresu sygnałów (np. prądowy 0-20 mA lub 4-20 mA, czy napięciowy 0-10 V, lub +/- 10 V). Spotyka się także wyjścia dedykowane do konkretnych urządzeń wykonawczych. Obciążalność wyjść analogowych jest niewielka.

Moduły wyjść analogowych AO (ang. *analog output*) dostarczają sygnał wyjściowy w postaci sygnału analogowego. Następuje to dzięki zastosowaniu przetwornika cyfrowo-analogowego DC/AC (*DAC- Digital-to-analog - converter*) w układzie modułu wyjściowego sterownika.

Sterownik GE-Fanuc 90-30 na stanowisku laboratoryjnym składa się z następujących componentów na płycie głównej:

- 'slot 0' zasilacz o numerze producenta IC693PWR321
- 'slot 1' jednostka CPU o numerze producenta IC693CPU364
- 'slot 2' moduł wejść/wyjść cyfrowych mieszny o numerze producenta IC693MDR390
- 'slot 3' moduł wejść/wyjść analogowych mieszny o numerze producenta IC693ALG442
- 'slot 4' moduł wejść/wyjść analogowych mieszny o numerze producenta IC693ALG442

- 'slot 5' symulator wejść cyfrowych o numerze producenta IC693ACC300
- 'slot 6' symulator wejść cyfrowych o numerze producenta IC693ACC300
- 'slot 7' symulator wejść cyfrowych o numerze producenta IC693ACC300
- 'slot 8' symulator wejść cyfrowych o numerze producenta IC693ACC300
- 'slot 9' pusty
- 'slot 10' pusty

Obsługa wejść i wyjść wymaga właściwej interpretacji w programowaniu sterownika. Występują dwa typy zmiennych

- Dyskretne (1 bit), przeznaczone do opisu styków i przekaźników,
- Rejestrowe (słowo 16 bitowe), przeznaczone jako parametry bloków funkcyjnych i sygnałów analogowych.

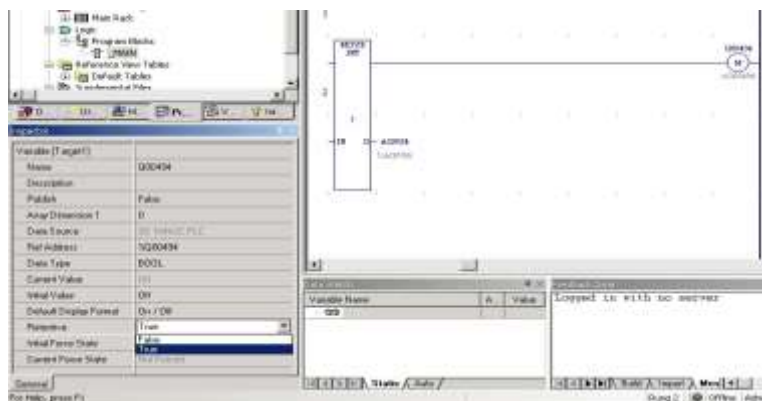
Tabela 2 Oznaczenia wejść, wyjść i zmiennych w programie

Typ	Opis
%I	Wejście dyskretne, zawartość obszaru pamięci pokazywany w tabeli stanu wejść.
%Q	Wyjście dyskretne, zawartość obszaru pamięci pokazywany w tabeli stanu wyjść, adresy typu %Q mogą posiadać pamięć stanu lub nie, w zależności od charakteru ich wykorzystywania w programie.
%AI	Wejście analogowe, oznacza rejestr wejścia analogowego, po symbolu podawany jest adres rejestru np. %AI0016, zmienna przechowuje wartość wejścia analogowego
%AQ	Wyjście analogowe, oznacza rejestr wyjścia analogowego, po symbolu podawany jest adres rejestru np. %AI0026, zmienna przechowuje wartość wyjścia analogowego
%R	Zmienna 16-bitowa oznaczająca rejestr sterownika, w którym można przechowywać dane programu i wyniki obliczeń, po symbolu podawany jest adres rejestru np. %R0246
%M	Zmienna wewnętrzna (pomocnicza) programu sterującego, po symbolu podawany jest adres pamięci np. %M0124, adresy typu %M mogą posiadać pamięć stanu lub nie, w zależności od charakteru ich wykorzystywania w programie.
%T	Zmienna tymczasowa (tracąca swój stan po zaniku zasilania lub zatrzymaniu-uruchomieniu sterownika) do zapisu danych, po symbolu podawany jest adres pamięci np. %T0024, zmienne typu %T nie mogą być wykorzystywane w przekaźnikach z pamięcią.
%S	Zmienne systemowe posiadające ściśle określone znaczenie, tylko do odczytu, adresy typu %S mogą być wykorzystane jako parametry wejściowe funkcji lub bloków funkcyjnych.
%G	Zmienne globalne, obszar pamięci wykorzystywany przez dane globalne, wartość danych przechowywanych w pamięci %G jest pamiętana po wyłączeniu zasilania, adresy typu %G mogą być wykorzystywane z stykami i przekaźnikami z pamięcią, ale nie mogą być wykorzystywane w przypadku przekaźników bez pamięci.

Zmienne posiadają pamięć stanu, jej wartość jest przechowywana po wyłączeniu sterownika. Sterowniki serii 90 przechowują:

- część logiczną programu sterującego,
- tabele błędów działania i diagnostyczne,
- zablokowane wartości zmiennych,
- wartości zmiennych rejestrowych (typu %R, %AI, %AQ),
- wartości zmiennych dyskretnych (typu %I, %S, %G, bity - znaczniki błędów działania)
- wartości zmiennych dyskretnych typu %M i %Q w przypadku, gdy są one przypisane przekąźnikom z pamięcią, wartości zmiennych %T nie są zapamiętywane.

Zmienne %Q i %M domyślnie nie występują z pamięcią (są NONRETENTIVE). Opcja ta musi zostać zmieniona na RETENTIVE w oknie INSPEKTORA, rys. 9.



Rys. 9 Opcja RETENTIVE dla zmiennych %Q i %M dla sterownika GE-Fanuc 90-30

Tabela 3 Typy danych sterownika

Typ	Nazwa	Opis
BOOL	Boolean	Dana zajmująca najmniejszą komórkę pamięci, przyjmuje wartość 0 lub 1
BYTE	Bajt	Dana zawierająca 8 bitów, wartość całkowita w zakresie 0-255
INT	Liczba całkowita ze znakiem	Liczba całkowita ze znakiem zajmująca 16 bitów w zakresie od -32768 do +32767, dwa bajty, 16 bit znakowy
DINT	Liczba całkowita podwójnej precyzji ze znakiem	Liczba całkowita podwójnej precyzji ze znakiem zajmująca 32 bity w zakresie od -2 147 483 648 do +2 147 483 647, cztery bajty, 32 bit znakowy
WORD	Słowo	Słowo złożone z 16 bitów, dwa bajty bez znaku
BCD	Format BCD (Four-Digit binary Coded Decimal)	Czterocyfrowa liczba dziesiętna zakodowana w formacie BCD zajmująca 16 bitów pamięci, dwa bajty, każda z czterech cyfr danej liczby jest zakodowana w czterech bitach i może reprezentować cyfrę z zakresu od 0 do 9, zakres wartości od 0 do 9999 z przeznaczeniem do prezentacji na wyświetlaczu
REAL	Liczba rzeczywista, zmiennoprzecinkowa,	Liczba rzeczywista ze znakiem zajmująca 32 bity w zakresie od $\pm 1.401298E-45$ do $\pm 3.402823e+38$, cztery

	mantysa – cecha (wykładnik)	baity, 32 bit znakowy
TIME	Czas	Zmienna czasu w formacie d-dni, h-godziny, m-minuty, s-sekundy, ms-milisekundy

Tabela 4 Wybrane zmienne systemowe

Zmienna	Nazwa	Definicja
%S0001	FST_SCN	Jeżeli bieżący cykl jest pierwszym cyklem pracy sterownika, ustawiana jest wartość 1.
%S0002	LST_SCN	Jeżeli bieżący cykl jest ostatnim cyklem pracy sterownika, ustawiana jest wartość 0.
%S0003	T_10MS	Podstawa czasu generatora sygnału prostokątnego: 0.01 s.
%S0004	T_100MS	Podstawa czasu generatora sygnału prostokątnego: 0.1 s.
%S0005	T_SEC	Podstawa czasu generatora sygnału prostokątnego: 1.0 s.
%S0006	T_MIN	Podstawa czasu generatora sygnału prostokątnego: 1.0 minuta.
%S0007	ALW_ON	Styk zawsze zamknięty.
%S0008	ALW_OFF	Styk zawsze otwarty.
%S0009	SY_FULL	Jeżeli tabela błędów działania sterownika jest wypełniona całkowicie, ustawiana jest wartość 1. Wartość zmiennej jest ustawiana na 0, gdy z tabeli błędów zostanie usunięta pozycja lub cała zawartość tabeli zostanie wymazana.
%S0010	IO_FULL	Jeżeli tabela błędów działania układów wejść/wyjść jest wypełniona całkowicie, ustawiana jest wartość 1. Wartość zmiennej jest ustawiana ponownie na 0, gdy z tabeli zostanie usunięta część informacji lub cała zawartość tabeli zostanie wymazana.
%S0014	PLC_BAT	Wartość 1 informuje o uszkodzeniu baterii w jednostce centralnej. Zmienna ta uaktualniana jest jeden raz w ciągu cyklu. Zmienna ta jest obsługiwana wyłącznie przez 23- i 28-punktowe sterowniki Micro.
%S0022	USR_SW	Wartość tej zmiennej informuje o stanie przełącznika trybu jednostki centralnej Run/Stop: 1 = Run/On 0 = Stop/Off

%SC0015	SFT_FLT	Wartość ustawiana na 1 w momencie pojawienia się błędu programowego. Ustawiana na 0, gdy obie tabele błędów działania nie zawierają komunikatów o błędach.
---------	---------	--

7. Pytania kontrolne

1. Budowa sterownika typu compact i typu modułowego.
2. Konfiguracja płyty głównej
3. Adresowanie portów wejścia i wyjścia oraz pamięci sterownika.
4. Zmienne i typy danych w sterownikach.

Literatura

1. Zbiór zadań dla sterowników GE-Fanuc serii 90-30/VersaMax/Micro wraz z przykładami rozwiązań.
2. Data sheet modul CPU364



Instrukcja do ćwiczenia

Ćwiczenie nr	25.2.
Temat :	Programowanie cyfrowe Regulatory PID
Stanowisko laboratoryjne	Sterownik GE-Fanuc 90-30
Opracował :	A. Mielewczyk

Instrukcja nr. 25.2

1. Temat ćwiczenia:

Programowania sterownika GE-Fanuc 90-30 – Regulator PID.

2. Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z podstawowymi elementami do regulacji procesów sterownika GE-Fanuc 90-30 i wykonanie podstawowego programu załączania regulacji ze sprzężeniem zwrotnym na sterowniku za pomocą programu Proficy Machine Edition v9.

3. Zakres wymaganych wiadomości:

- sygnały analogowe
- regulator PID
- programowanie w Proficy Machine Edition v9,
- sterownik GE-Fanuc 90-30,

4. Przebieg ćwiczenia:

- skonfigurować GE-Fanuc 90-30,
- wprowadzić blok regulatora PID,
- dobrać nastawy,
- wykreślić przebieg regulacji,
- efekty sterowania pokazać w DATA Monitor

5. Stanowisko laboratoryjne:

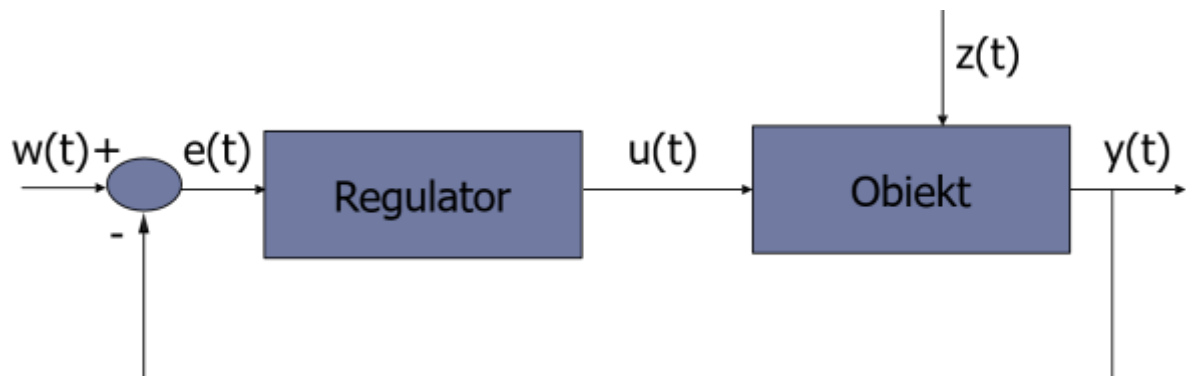
Stanowiskiem badawczym jest sterownik GE-Fanuc 90-30 wyposażony w moduły wejścia i wyjścia analogowe oraz symulator wejść cyfrowych. Pozwala to przetestować napisany program wgrany do sterownika

6. Sprawozdanie z ćwiczenia:

Część wstępna, opis elementów użytych do programowania, program LAD, konfiguracja regulatora PID i jego nastawy, przebieg regulacji oraz diagram programu.

Wprowadzenie

Klasyczny układ regulacji przedstawiono na rys. 1.

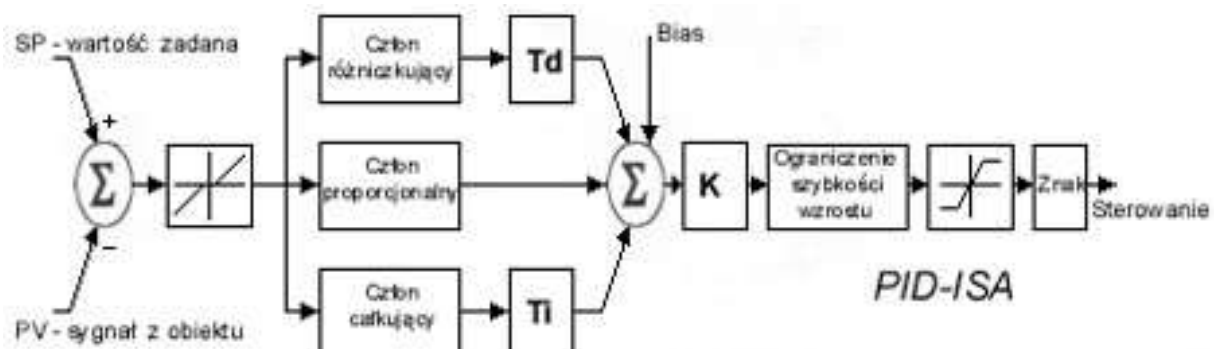


Rys.1 Prosty układ regulacji, $y(t)$ – wielkość wyjściowa (regulowana), $u(t)$ – sygnał sterujący, $w(t)$ – wartość zadana, $e(t)$ – uchyb sterowania, $z(t)$ - zakłócenie

W programowaniu sterowników GE-Fanuc dostępne są dwie wersje regulatorów PID:

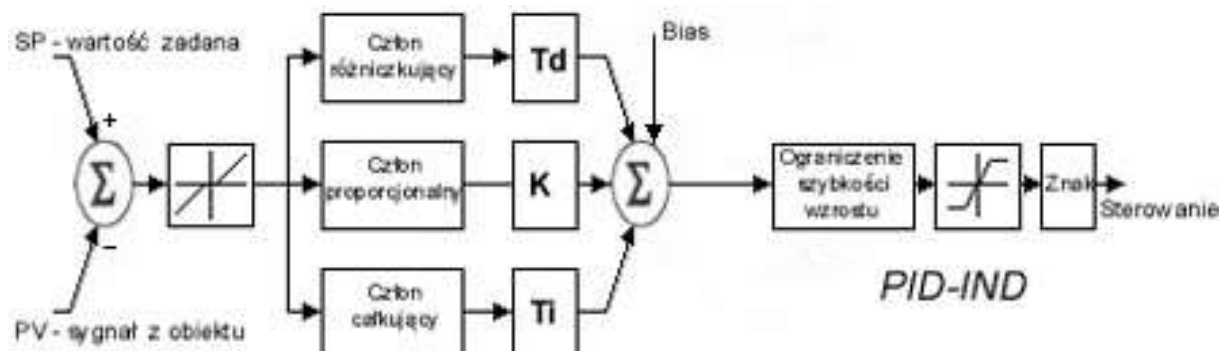
- regulator PID_ISA o równaniu standardowym

$$y(t) = k_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right)$$



- regulator PID_IND o funkcjach rozdzielonych

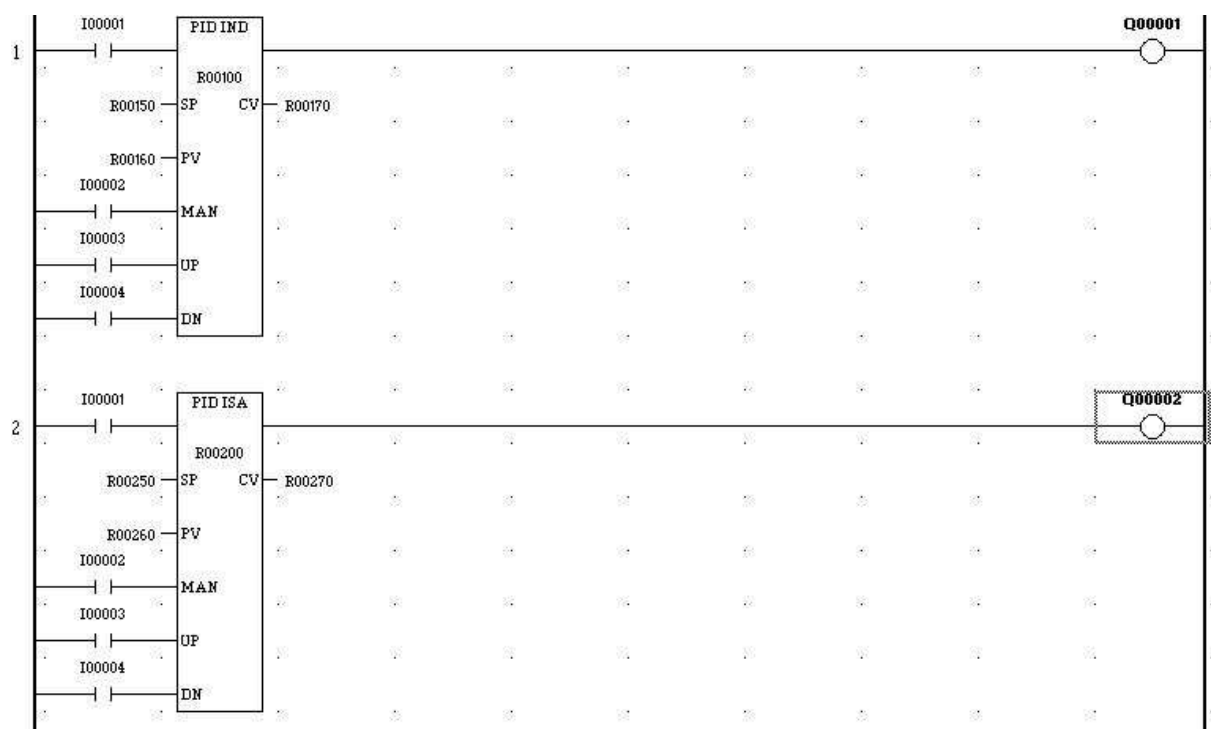
$$y(t) = k_p e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt}$$



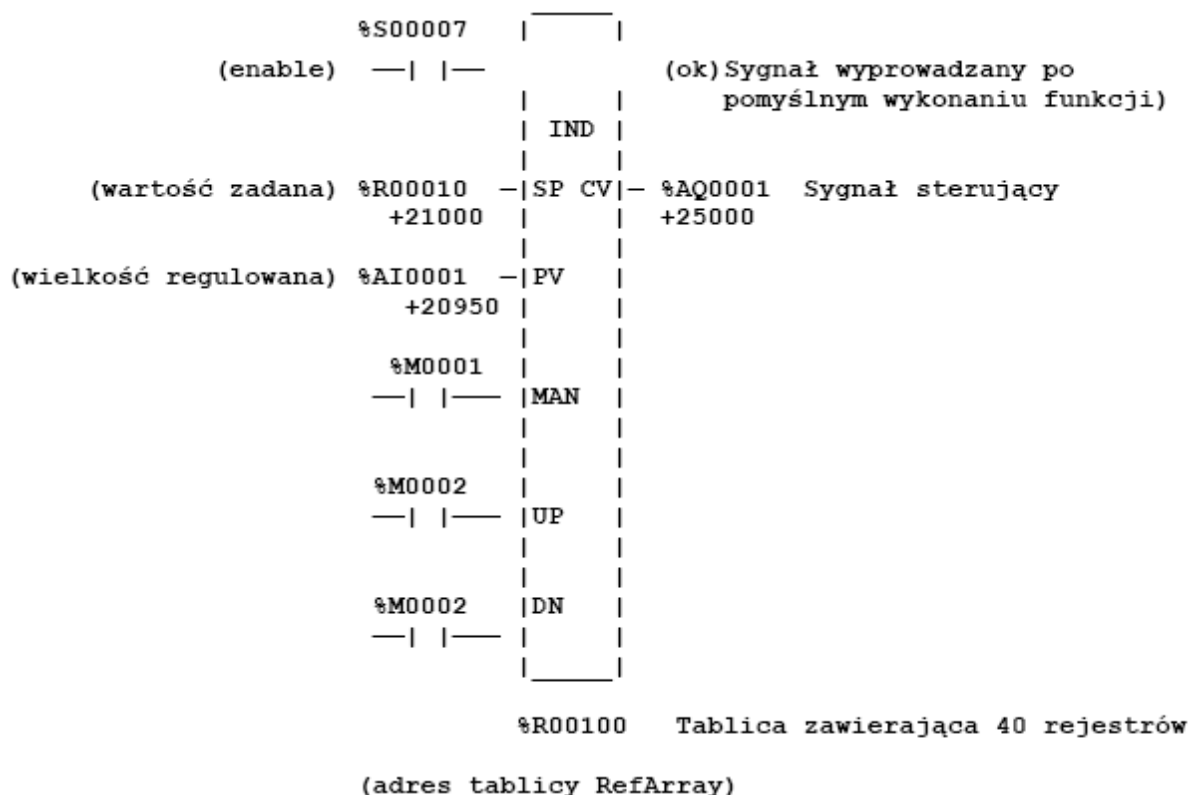
gdzie:

- K_p – wzmacnienie regulatora
- T_i – akcja całkująca regulatora
- T_d – akcja różniczkująca regulatora

Bloki regulatorów w edytorze przedstawia rys. 2.



Rys. 2 Regulator PID na sterowniku GE-Fanuc 90-30 – program LAD



Rys. 3 Blok regulator PID na sterowniku GE-Fanuc 90-30 z opisem sygnałów

Blok ten (rys. 3) na podstawie dwóch wartości: wartości zadanej i bieżącej wartości wielkości regulowanej oraz korzystając parametry bloku, oblicza taką wartość sygnału sterującego, która spowoduje zmniejszenie uchybu, czyli minimalizuje odchylenia wielkości regulowanej od wartości zadanej (punktu pracy).

Blok funkcyjny PID wykorzystuje **40 rejestrów** w pamięci sterownika do zapamiętywania zbioru parametrów regulatora. Wszystkie parametry są 16 bitowymi liczbami całkowitymi (w celu zapewnienia kompatybilności z 16 bitowymi analogowymi wielkościami regulowanymi). Pozwala to na zastosowanie dla wielkości regulowanych pamięci adresowanej przez %AI oraz pamięci adresowanej przez %AQ dla sygnału sterującego.

Tabela 1 Parametry regulatora PID

Parametr	Opis
Enable	Sygnał wejściowy zezwolenia. Gdy do bloku funkcyjnego dopływa sygnał, wykonywany jest algorytm PID standardowy lub o niezależnych wyrazach
SP	Wartość zadana wielkości regulowanej (punkt pracy regulatora). Po porównaniu parametrów wielkości regulowanej PV z wielkością zadaną SP blok PID dobiera tak sygnał sterujący CV, aby parametry PV i SP miały taką samą wartość (uchyb zerowy).
PV	Wielkość regulowana, której wartość odczytywana jest ze sterowanego procesu, często jako zmienna typu %AI.
MAN	Parametr MAN o wartości 1 powoduje przełączenie regulatora w ręczny tryb pracy (MANUAL). Wartość tego parametru równa 0 powoduje przełączenie regulatora w automatyczny tryb pracy.
UP	Parametr mający znaczenie tylko w ręcznym trybie pracy. Wartość tego parametru równa 1 powoduje zwiększenie wartości sygnału wyjściowego, wartość 0 nie powoduje żadnego działania.
DN	Parametr mający znaczenie tylko w ręcznym trybie pracy. Wartość tego parametru równa 1 powoduje zmniejszenie wartości sygnału wyjściowego, wartość 0 nie powoduje żadnego działania.
Adres tablicy RefArray	Adres pierwszego z rejestrów, w których przechowywane są wewnętrzne parametry regulatora (parametry użytkownika i parametry wewnętrzne). Obszar ten zajmuje 40 rejestrów typu %R, które nie mogą być wykorzystywane w innym celu.
ok	Sygnał wyjściowy, wysyłany po poprawnym wykonaniu funkcji.
CV	Sygnał sterujący (wyjściowy) procesu, często jest zmienna typu %AQ.

Tabela 2 Rejestr regulatora PID – 40 słów w sterowniku GE-Fanuc 90-30

Rejestr	Parametr	Jednostki programowania	Zakres wartości
%Ref+0000	Loop numer – numer układu regulacji	Liczba całkowita bez znaku	0 do 255 – wyłącznie na potrzeby informowania użytkownika
%Ref+0001	Algorithm – rodzaj algorytmu	Wartość ustawiana przez sterownik tylko do odczytu	Nie konfigurowalny
%Ref+0002	Sample Period – okres próbkowania	10 milisekund	0 (każdy cykl) do 65535 (10.9 min). Dla sterowników 90-30 należy wprowadzić co najmniej 1 – szczegółowy opis parametrów bloku funkcyjnego PID
%Ref+0003	Dead Band – górna granica strefy nieczułości	Jednostki bezwymiarowe PV	0 do 32000, wartości ujemne niedozwolone
%Ref+0004	Dead Band – dolna granica strefy nieczułości	Jednostki bezwymiarowe PV	-32000 do 0 wartości dodatnie niedozwolone
%Ref+0005	Proportional Gain Kp – współczynnik wzmocnienia proporcjonalnego	0.01 CV%/PV%	0 do 327.67%/%

%Ref+0006	Derivative Gain Kd – współczynnik wzmocnienia różniczkowego	0.01 sekundy	0 do 327.67 sekundy
%Ref+0007	Integral Rate Ki – współczynnik wzmocnienia całkowego	powtórzeń/1000 sek.	0 do 32.767 powtórzeń/sek.
%Ref+0008	CV Bias/Output Offset – przesunięcie punktu pracy	Jednostki bezwymiarowe parametru CV	-32000 do +32000 wartość dodawana do wyjścia bloku całkującego
%Ref+0009	Upper Clamp – górna granica wartości sygnału wyjściowego	Jednostki bezwymiarowe parametru CV	-32000 do +32000 (>%Ref+10) wartość graniczne sygnału wyjściowego
%Ref+0010	Lower Clamp – dolna granica wartości sygnału wyjściowego	Jednostki bezwymiarowe parametru CV	-32000 do +32000 (<%Ref+9) wartość graniczne sygnału wyjściowego
%Ref+0011	Minimum Slew Time – minimalny czas narastania sygnału wyjściowego	sekundy/pełne przemieszczenie	0 (brak) do 32000sek. do przesunięcia o 32000 CV
%Ref+0012	Config Word - parametr konfiguracyjny	Wykorzystywanych jest 5 bitów	Bit 0 do 2 informują o sposobie obliczania uchybu, polaryzacji sygnału wyjściowego CV i sposobie różniczkowania
%Ref+0013	Manual Command – sygnał sterujący w trybie ręcznym	Jednostki bezwymiarowe parametru CV	Nadaża za parametrem CV w trybie automatycznym lub określa wartość CV w trybie ręcznym
%Ref+0014	Control Word – słowo sterujące	Zapisywany przez sterownik, o ile bit 1 jest <>1	Jeżeli wartość bitu 1 wynosi 0, wartość ta zapisywana jest przez sterownik – szczegółowy opis parametrów bloku funkcyjnego PID
%Ref+0015	Internal SP – punkt pracy regulatora SP	Wartość ustawiana przez sterownik, tylko do odczytu	Nie konfigurowalny
%Ref+0016	Internal CV – sygnał ustawiający CV	Wartość ustawiana przez sterownik, tylko do odczytu	Nie konfigurowalny
%Ref+0017	Internal PV – wartość wielkości regulowanej PV	Wartość ustawiana przez sterownik, tylko do odczytu	Nie konfigurowalny
%Ref+0018	Output – polaryzacja sygnału ustawiający CV	Wartość ustawiana przez sterownik, tylko do odczytu	Nie konfigurowalny
%Ref+0019	Diff Term Storage – dane robocze dotyczące bloku różniczkującego	Wartość ustawiana przez sterownik, tylko do odczytu	Nie konfigurowalny

%Ref+0020 i %Ref+0021	Int Term Storage – dane robocze dotyczące bloku całkującego	Wartość ustawiana przez sterownik, tylko do odczytu	Nie konfigurowalny
%Ref+0022	Slew Term Storage – dane robocze dotyczące prędkości narastania sygnału wyjściowego	Wartość ustawiana przez sterownik, tylko do odczytu	Nie konfigurowalny
%Ref+0023 %Ref+0024 %Ref+0025	Clock – zegar wewnętrzny, czas który upłynął od momentu ostatniego wykonania algorytmu	Wartość ustawiana przez sterownik, tylko do odczytu	Nie konfigurowalny
%Ref+0026	Y remainder Storage – rejestr do przechowywania wartości Y, wewnętrzna zmienna sterownika	Wartość ustawiana przez sterownik, tylko do odczytu	Nie konfigurowalny
%Ref+0027	Lower Range for SP i PV – dolna granica zakresu wartości parametrów SP i PV	Jednostki bezwymiarowe PV	-32000 do +32000 (>%Ref+28) do wyświetlania
%Ref+0028	Upper Range for SP i PV – górna granica zakresu wartości parametrów SP i PV	Jednostki bezwymiarowe PV	-32000 do +32000 (<%Ref+27) do wyświetlania
%Ref+0029 %Ref+0034	Zarezerwowane do użytku wewnętrznego	Tylko do odczytu	Nie konfigurowalny
%Ref+0035 %Ref+0039	Zarezerwowane do użytku wewnętrznego	Tylko do odczytu	Nie konfigurowalny

Współczynnik wzmocnienia proporcjonalnego Kp (05) - wartość całkowita, oznaczana symbolem Kc (w wersji ISA), określająca zmianę sygnału wyjściowego CV odpowiadającą zmianie uchybu o 100 jednostek bezwymiarowych PV. Parametr ten wyświetlany jest jako 0.00 %/%, zdomyślnie przyjmowanymi dwoma miejscami dziesiętnymi.

Przykładowo parametr Kp równy 450 będzie wyświetlany jako 4.50, a powodowane przez niego zmiana sygnału nastawiającego będzie wynosić $Kp \cdot Uchyb / 100$ lub $450 \cdot Uchyb / 100$.

Współczynnik wzmocnienia członu całkującego Ki (07) - wartość całkowita ze znakiem określająca częstotliwość całkowania, jeżeli Uchyb ma stałą wartość równą 1 jednostce bezwymiarowej PV. Parametr ten wyświetlany jest w formacie 0.000 powtórzeń/ sek.

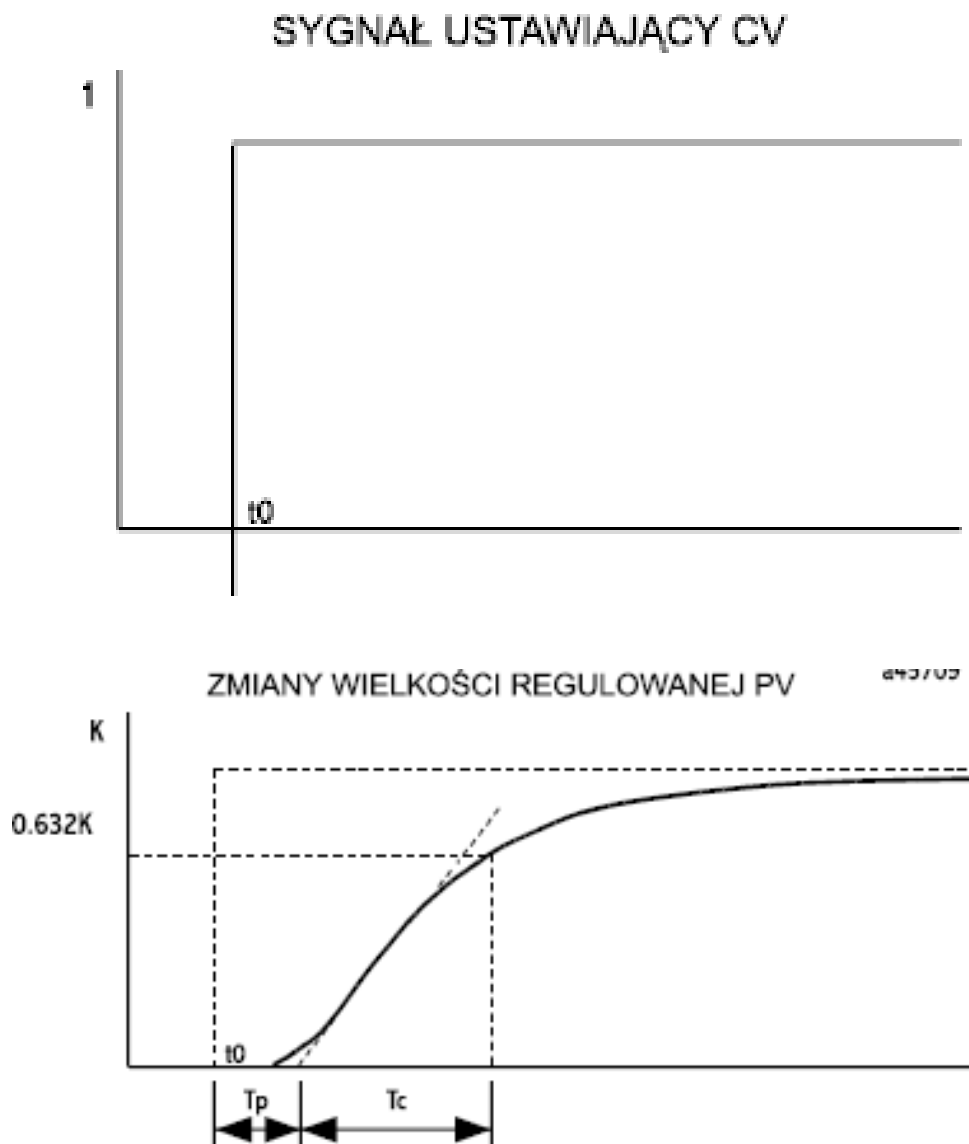
Przykładowo, jeżeli parametr Ki ma wartość 1400, wyświetlany będzie jako 1.400 powtórzeń/ sek., a powodowana przez niego zmiana sygnału wyjściowego bloku PID wynosi $Ki \cdot Uchyb \cdot dt$, czyli $1.400 \cdot 20 \cdot 50 / 1000$, dla uchybu o wartości 20 jednostek bezwymiarowych wartości regulowanej PV i czasu trwania cyklu sterownika 50 milisekund (Okres próbkowania równy 0).

Czas różniczkowania K_d (06) - wartość całkowita określająca czas różniczkowania w setnych częściach sekundy. Wprowadzana w jednostkach 10 milisekund, a wyświetlana w formacie 0.00 sekund. Przykładowo, jeżeli parametr K_d ma wartość 120, będzie on wyświetlany jako 1.20 sek., a powodowana przez niego zmiana sygnału wyjściowego bloku PID będzie wynosić $K_d \cdot \text{przyrost uchybu} / \text{przyrost czasu}$, czyli $120 \cdot 4/3$, jeżeli uchyb zmieni się o 4 jednostki bezwymiarowe PV w ciągu 30 milisekund. Parametr K_d może zostać wykorzystany do przyspieszenia wolnej odpowiedzi regulatora, ale jest bardzo wrażliwy na zakłócenia wielkości regulowanej PV.

Strojenie regulatora- heurystyki

1. Ustawić wartość wszystkich parametrów regulatora na 0, a następnie górną i dolną wartość sygnału sterującego na odpowiednio maksymalną i minimalną oczekiwaną wartość. Ustawić okres próbkowania na wartość szacowanej globalnej stałej czasowej procesu podzielonej przez liczbę z przedziału od 0 do 100.
2. Wykonać blok w trybie ręcznym a następnie wprowadzić do parametru Sygnał sterujący w trybie ręcznym (%Ref +13) różne wartości w celu sprawdzenia, czy wartość wyjściowa CV dochodzi do górnej i dolnej wartości granicznej. Zanotować wartości wielkości regulowanej PV dla wybranych wartości wielkości sterującej CV, a następnie przypisać je do wartości zadanej SP.
3. Ustawić małe wzmocnienie K_p , przykładowo $100 \cdot \text{Maksymalna wartość CV} / \text{Maksymalna wartość PV}$, po czym przejść do trybu ręcznego. Zmienić skokowo wartość SP o 2 do 10% wartości maksymalnej wielkości regulowanej PV i obserwować odpowiedź wielkości regulowanej PV. Zwiększyć współczynnik wzmocnienia K_p , jeżeli odpowiedź wielkości regulowanej PV jest zbyt wolna lub też zmniejszyć ją, jeżeli zmiany wartości regulowanej PV są zbyt duże (występują silne oscylacje), bez dochodzenia do stanu stabilności.
4. Po znalezieniu odpowiedniego współczynnika wzmocnienia K_p , zwiększyć wartość K_i w celu znalezienia przeregulowania tłumionego do wartości ustalonej w ciągu 2 do 3 cykli oscylacji. Może to wymagać zmniejszenia współczynnika K_p . Spróbować również zmniejszyć skokową wielkość zmian oraz wprowadzić inne wartości sygnału sterującego CV.
5. Po znalezieniu odpowiednich współczynników K_p i K_i , spróbować zwiększyć współczynnik K_d w celu szybszego uzyskiwania odpowiedzi na parametry wejściowe, jednak bez powstawania oscylacji. Współczynnik K_d jest bardzo niepotrzebny oraz nie powinien być wykorzystywany w przypadku zakłóconego sygnału wielkości regulowanej PV.
6. Sprawdzić współczynnik wzmocnienia dla różnych wartości zadanych SP, oraz jeżeli jest to potrzebne, określić strefę nieczułości i minimalny czas narastania sygnału wyjściowego. W przypadku niektórych procesów konieczne może być ustawienie bitów słowa konfiguracyjnego w celu zmiany znaku uchybu lub polaryzacji.

Określenie parametrów obiektu regulacji



Rys. 4 Odczyt parametrów odpowiedzi obiektu – charakterystyka skokowa

Na podstawie krzywej zmiany wielkości regulowanej PV można wyznaczyć następujące parametry procesu:

Tabela 3 Parametry dynamiczne charakterystyki skokowej obiektu regulacji

K	Wzmocnienie w otwartym układzie sterowania procesem = końcowa zmiana wielkości regulowanej PV / do zmiany sygnału sterującego CV w chwili t_0 , zwrócić uwagę na brak indeksu przy współczynniku K.
T_p	Czas opóźnienia procesu lub po t_0 , po upływie którego wartość PV zacznie się zmieniać.
T_c	Stała czasowa procesu pierwszego rzędu, czas wymagany aby po czasie T_p wielkość regulowana PV uzyskała 63.3% swojej wartości końcowej.

Strojenie według metody Zieglera, Nicholasa

Po wyznaczeniu trzech parametrów modelu procesu K , T_p i T_c można wstępnie oszacować wartość współczynników wzmocnienia dla zamkniętego układu regulacji PID. Przedstawiona poniżej metoda, opracowana w 1942 roku przez Zieglera i Nicholasa, ma za zadanie zapewnienie dobrej reakcji systemu przy wzmocnieniach dających stosunek amplitud na wyjściu 1/4. Stosunek amplitud jest to stosunek drugiej wartości szczytowej do pierwszej wartości szczytowej odpowiedzi zamkniętego układu regulacji.

1. Obliczyć szybkość reakcji regulatora:

$$R = K/T_c$$

2. Jeżeli regulator pracuje jedynie jako regulator proporcjonalny, policzyć współczynnik wzmocnienia wyrazu proporcjonalnego

$$K_p = \frac{1}{R \cdot T_p} = \frac{T_c}{R \cdot T_p}$$

3. Jeżeli regulator pracuje jako proporcjonalny i całkujący, nastawy wyznacza się z równania:

$$K_p = \frac{0.9}{R \cdot T_p} = \frac{0.9 \cdot T_c}{R \cdot T_p}$$

$$K_i = 0.3 \frac{K_p}{T_p}$$

4. Jeżeli regulator pracuje jako proporcjonalny, całkujący i różniczkujący, nastawy wyznacza się z równania:

$$K_p = \frac{G}{R \cdot T_p}$$

gdzie G ma wartość z zakresu od 1.2 do 2.0

$$K_i = 0.5 \frac{K_p}{T_p}$$

$$K_d = 0.5 \cdot K_p \cdot T_p$$

5. Sprawdź, czy okres próbkowania ma wartość z zakresu $(T_p + T_c)/10$ do $(T_p + T_c)/1000$.

Inna metoda ‘Idealnego strojenia’ ma za zadanie zapewnić najlepszą odpowiedź na zmiany wartości zadanej SP, opóźnionej wyłącznie przez opóźnienie procesu T_p lub czas martwy:

$$K_p = \frac{2 \cdot T_c}{3 \cdot K \cdot T_p}$$

$$K_i = \frac{T_c}{T_p}$$

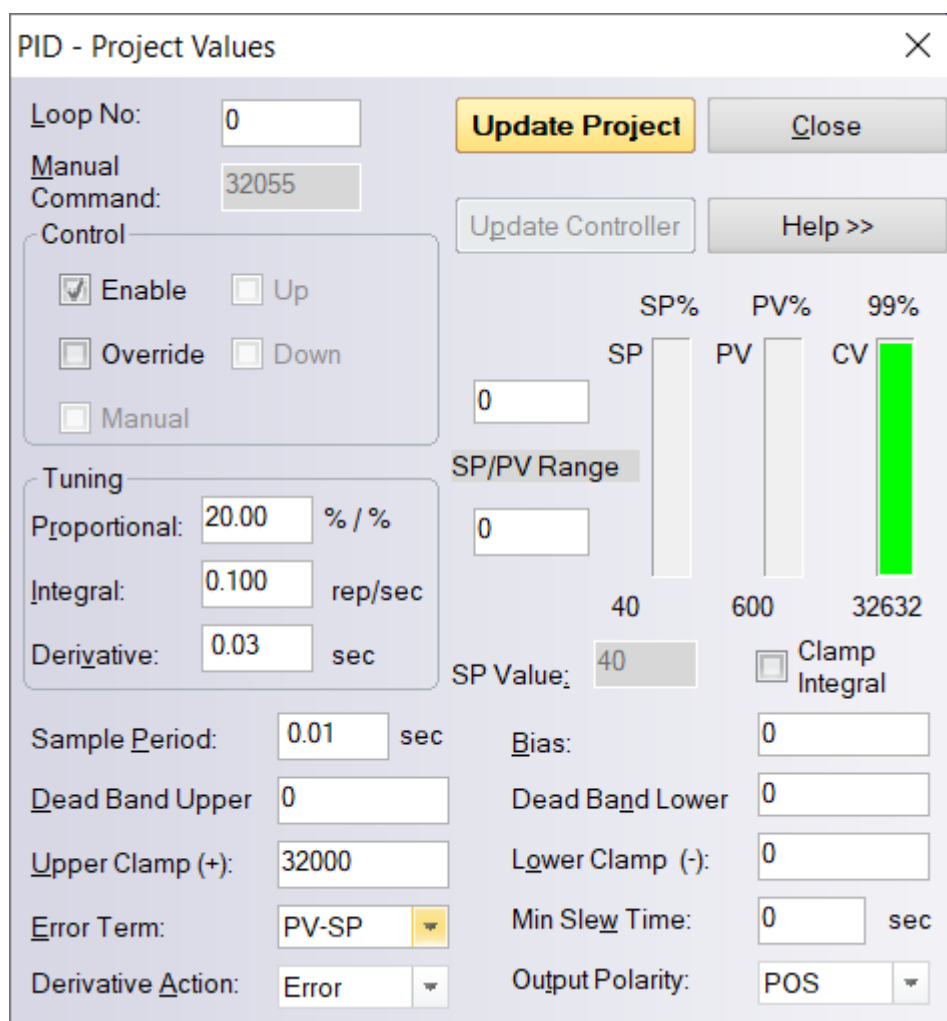
$$K_d = \frac{T_c}{4}$$

jeżeli wykorzystywany jest składnik różniczkujący.

Po wyznaczeniu początkowych wartości współczynników wzmocnienia, można je przekonwertować na parametry użytkownika, będące liczbami całkowitymi. W celu uniknięcia problemów ze skalowaniem, wzmocnienie procesu K powinno być obliczane jako zmiana w

jednostkach bezwymiarowych wielkości regulowanej PV podzielonej przez skokową zmianę wielkości wyjściowej CV w jednostkach bezwymiarowych CV, a nie w jednostkach inżynierskich parametrów PV czy CV. Również czas powinien być podawany w sekundach. Po wyznaczeniu współczynników K_p , K_i , i K_d , współczynniki K_p i K_d można pomnożyć przez 100 i wprowadzić je jako wartości całkowite, a współczynnik K_i należy pomnożyć przed wprowadzeniem do tabeli parametrów użytkownika %RefArray przez 1000.

Okno PID Tuning regulatora GE-Fanuc 90-30 przedstawia rys. 4.



Rys. 4 Okno doboru parametrów regulatora PID w sterowniku GE-Fanuc

Znaczenie parametrów:

Enable - włączyć

Śledzi wejście enable do instrukcji i jest używane do określenia, czy instrukcja jest aktywna, czy nie.

Override - nadpisanie

Umożliwia zdalne sterowanie instrukcją PID. Gdy bit override jest włączony, instrukcja jest wykonywana na podstawie bieżących wartości manual, up i down, czyli kolejnych

trzech pól. Gdy obejście jest wyłączone, wartości manual, up i down są ustawiane na wartości zdefiniowane przez wejścia dyskretne instrukcji.

Bias - wprowadza przesunięcie wyjścia o stałą wartość.

Dead Band Upper/Lower

Wartości całkowite określające górną i dolną granicę strefy nieczułości. Jeśli nie jest wymagana strefa nieczułości, ustaw te dwie wartości na 0. Jeśli ustawiasz granice strefy nieczułości to:

- jeśli błąd PID (SP - PV) lub (PV - SP) mieści się w granicach strefy nieczułości, obliczenia wyjścia regulatora PID będą obliczane z błędem zerowym.
- jeśli ustawisz limity strefy nieczułości, górna strefa nieczułości musi być większa niż 0, a dolna strefa nieczułości musi być mniejsza niż 0; w przeciwnym razie instrukcja PID nie będzie realizowana.
- należy pozostawić limity strefy nieczułości ustawione na 0, dopóki nie zostaną ustawione lub dostrojone wzmocnienia pętli PID, po dostrojeniu może być pożądane dodanie strefy nieczułości, aby uniknąć niewielkich zmian wyjściowych CV z powodu niewielkich zmian błędu, w celu zmniejszenia zużycia mechanicznego elementu wyjściowego.

Upper Clamp and Lower Clamp

Liczby całkowite określające górną i dolną wartość wyjścia CV. Parametry są używane do definiowania limitów na podstawie fizycznych limitów wyjścia CV. Górny limit musi mieć bardziej dodatnią wartość niż Dolny limit; w przeciwnym razie pętla PID nie może działać. Instrukcja PID ma zabezpieczenie przed zerowaniem, aby zmodyfikować wartość całkowania po osiągnięciu maksimum CV. Górny limit jest zwykle ustawiony na +32 767, aby wyjście CV mogło przyjąć pełny zakres wartości.

Error Term – wybiera sposób obliczania błędu

Uchyb = (SP - PV) lub (PV-SP) pozwala wybrać pracę regulatora o kierunku rosnącym lub odwrotnym.

Min Slew Time - minimalny czas narastania

minimalna liczba sekund, przez którą wyjście CV przechodzi od 0 do pełnego skoku 100% lub 32 767 zliczeń CV. Jest to odwrotny limit szybkości określający, jak szybko można zmienić wyjście CV. Jeśli wartość jest dodatnia, CV nie może zmienić się więcej niż 32 767 CV Counts Delta Time (sekundy) podzielone przez minimalny czas narastania. Na przykład, jeśli okres próbkowania wynosi 2,5 sekundy, a minimalny czas narastania wynosi 500 sekund, CV nie może zmienić więcej niż $32\,767 \cdot 2,5 / 500$ lub wartość 163 skoku CV na jeden cykl PID. Podobnie jak w przypadku wyjścia CV, istnieje funkcja zapobiegająca zwijaniu się, która reguluje wartość całkowania w przypadku przekroczenia limitu szybkości CV. Jeśli Minimalny czas narastania wynosi 0, nie ma limitu szybkości zmian CV. Minimalny czas narastania należy ustawić na 0 podczas dostrajania lub regulacji wzmocnienia pętli regulatora PID.

Output Polarity – znak wyjścia regulatora PID



7. Pytania kontrolne

- Adresowanie portów analogowych sterownika.
- Zmienne i typy danych w sterownikach.
- Wstawianie i programowanie bloków funkcyjnych
- Rodzaje i parametry regulatora
- Dobór nastaw regulatora
- Odpowiedź układu regulacji

Literatura

1. Zbiór zadań dla sterowników GE-Fanuc serii 90-30/VersaMax/Micro wraz z przykładami rozwiązań.
2. Data sheet modul CPU364