



Instrukcja do ćwiczenia 6B
Charakterystyki dynamiczne cyfrowego regulatora PID

Ćwiczenie nr	6B
Temat :	Programowanie cyfrowe Charakterystyki regulatora PID
Stanowisko laboratoryjne	Sterownik Siemens S7 – 1200, WEB Server
Opracował :	A. Mielewczyk

Instrukcja nr. 6B

1. Temat ćwiczenia:

Badanie charakterystyk dynamicznych cyfrowego regulatora typu PID.
Programowania sterownika Siemens SIMATIC S-1200 - regulator PID compact.

2. Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z charakterystykami dynamicznymi regulatorów PID w wersji cyfrowej jako podstawowe elementy do regulacji procesów na przykładzie sterownika Siemens SIMATIC **S7-1200** i wykonanie programu do rejestracji sygnału za pomocą programu **TIA Portal v15.1**. Wyniki przedstawić na ekranie komputera – panel operatorski, panel wirtualny, strona internetowa.

3. Zakres wymaganych wiadomości:

- Schemat blokowy regulatorów PID,
- Charakterystyki skokowe regulatorów PID,
- Sterownik S7-1200 i regulator PID compact,
- Równanie i nastawy regulatora PID,
- Programowanie w TIA Portal,

4. Przebieg ćwiczenia:

- skonfigurować sterownik S-1200 oraz panel HMI lub Web-Server,
- wprowadzić blok regulatora PID compact,
- kreślenie charakterystyk dla wybranych nastaw regulatora PID,
- drukowanie odpowiedzi regulatora dla wybranych parametrów,

5. Stanowisko laboratoryjne:

Sterownik Siemens S7-1200, program TIA Portal v15.1, przeglądarka internetowa np. Chrome.

6. Sprawozdanie z ćwiczenia:

Część wstępna, opis elementów, program LAD, konfiguracja regulatora PID i jego nastawy, charakterystyki skokowe – linia trendu, opracowanie parametrów – wzmocnienie, akcja całkująca i różniczkująca.

Wprowadzenie

Transmitancja regulatora PID w wersji podstawowej wynosi:

$$G_R(s) = \frac{Y(s)}{E(s)}$$
$$G_R(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad 1.1.$$

Postać transmitancji (1.1) jest uproszczona, gdyż działanie członu różniczkującego idealnego o transmitancji $T_d s$ nie daje się w praktyce zrealizować. Dlatego częściej akcja różniczkująca opisywana jest wyrazem $\frac{T_d s}{T_s + 1}$, a transmitancja regulatora PID rzeczywistego jest wówczas następująca:

$$G_R(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{T_s + 1} \right) \quad 1.2.$$

Oprócz działania PID, poszczególne wykonania regulatora mogą spełniać prostsze funkcje, będące szczególnymi przypadkami (1.1) lub (1.2). Najczęściej spotykanymi rodzajami regulatorów są: proporcjonalny - P, proporcjonalno-całkujący - PI, proporcjonalno-różniczkujący - PD (idealny lub rzeczywisty).

Stałe K_p , T_i oraz T_d występujące w podanych transmitancjach noszą nazwy:

K_p – wzmacnienie proporcjonalne,

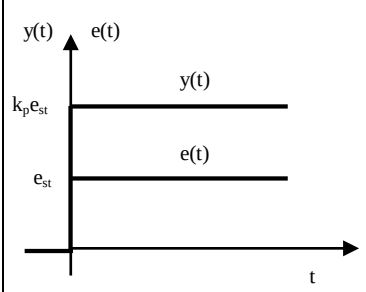
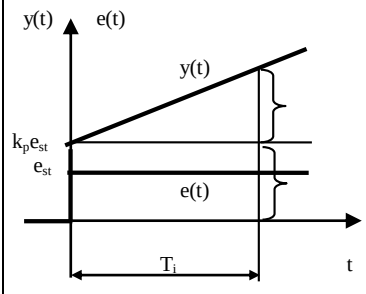
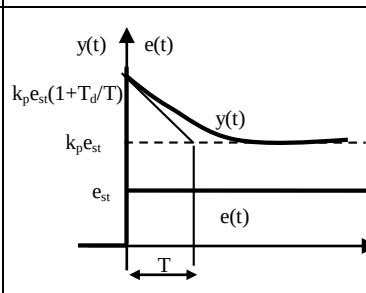
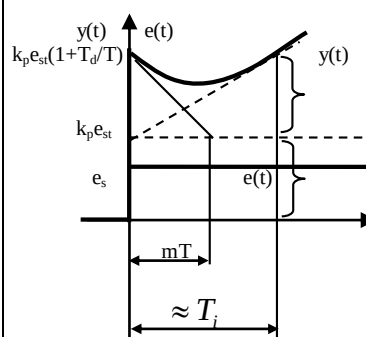
T_i – czas zdwojenia, (stała czasowa akcji całkującej),

T_d – czas wyprzedzenia, (stała czasowa akcji różniczkującej).

Stała czasowa T występująca we wzorze 1.2. jest związana ze stałą T_d za pomocą wzmacnienia dynamicznego K_d :

$$K_d = \frac{T_d}{T} \quad 1.4.$$

Tabela 1 Charakterystyki skokowe regulatorów PID o działaniu ciągłym. Wykresy sporządzone dla wymuszenia $e(t)=1(t)e_{st}$, $K_p>1$.

Rodzaj regulatora	Transmitancja i równanie charakterystyki skokowej	Charakterystyka skokowa
P	$G(s) = k_p$ $y(t) = k_p e_{st} 1(t)$	
PI	$G(s) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s}\right)$ $y(t) = k_p e_{st} \left(1 + \frac{1}{T_i} t\right)$	
PD rzeczywisty	$G(s) = k_p \left(1 + \frac{T_d s}{T s + 1}\right)$ $y(t) = k_p e_{st} \left(1 + \frac{T_d}{T} e^{-\frac{t}{T}}\right)$	
PID rzeczywisty	$G(s) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{T s + 1}\right)$ $y(t) = k_p e_{st} \left(1 + \frac{1}{T_i} t + \frac{T_d}{T} e^{-\frac{t}{T}}\right)$	 $m = \frac{T_i T_d}{T_i T_d - T^2}$

Sterowanie cyfrowe posługuje się tym samym równaniem analogowym (wzór 1.1 lub 1.2) z różnym stopniem modyfikacji. Będzie to równanie zdyskretyzowane z czasem próbkowania T_p i często ze zmodyfikowanymi parametrami i parametrami dodatkowymi. Zasadniczo nie zmienia to własności dynamicznych regulatora, tylko wprowadza efekty dodatkowe, które mają poprawić jakość regulacji.

Zestaw sterownika Siemens SIMATIC S7-1200 przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1 Zestaw sterownika Siemens SIMATIC S7-1200

Środowisko STEP 7 umożliwia wykorzystanie instrukcji sterujących procesem na sterowniku S7-1200, które pozwalają na prostą konfigurację i zastosowanie regulatora PID. W sterowniku dostępne są dwie instrukcje realizujące regulatory PID:

- instrukcja PID_Compact – wykorzystywana w celu sterowania procesami technicznymi o ciągłych wartościach na wejściu i wyjściu,
- instrukcja PID_3Step wykorzystywana do sterowania urządzeniami sterującymi za pośrednictwem silników, takimi jak zawory, które potrzebują sygnałów dyskretnych '+' i '-' w celu otwierania i zamykania.

Obydwie wyżej wymienione instrukcje mogą obliczać parametry składników P, I oraz D za pośrednictwem wstępnego strojenia (Pretuning). W celu dostrojenia "optymalnych" parametrów należy wykorzystać funkcję dostrajania (Fine tuning). Użytkownik nie musi w sposób ręczny wykonywać dostrajania parametrów.

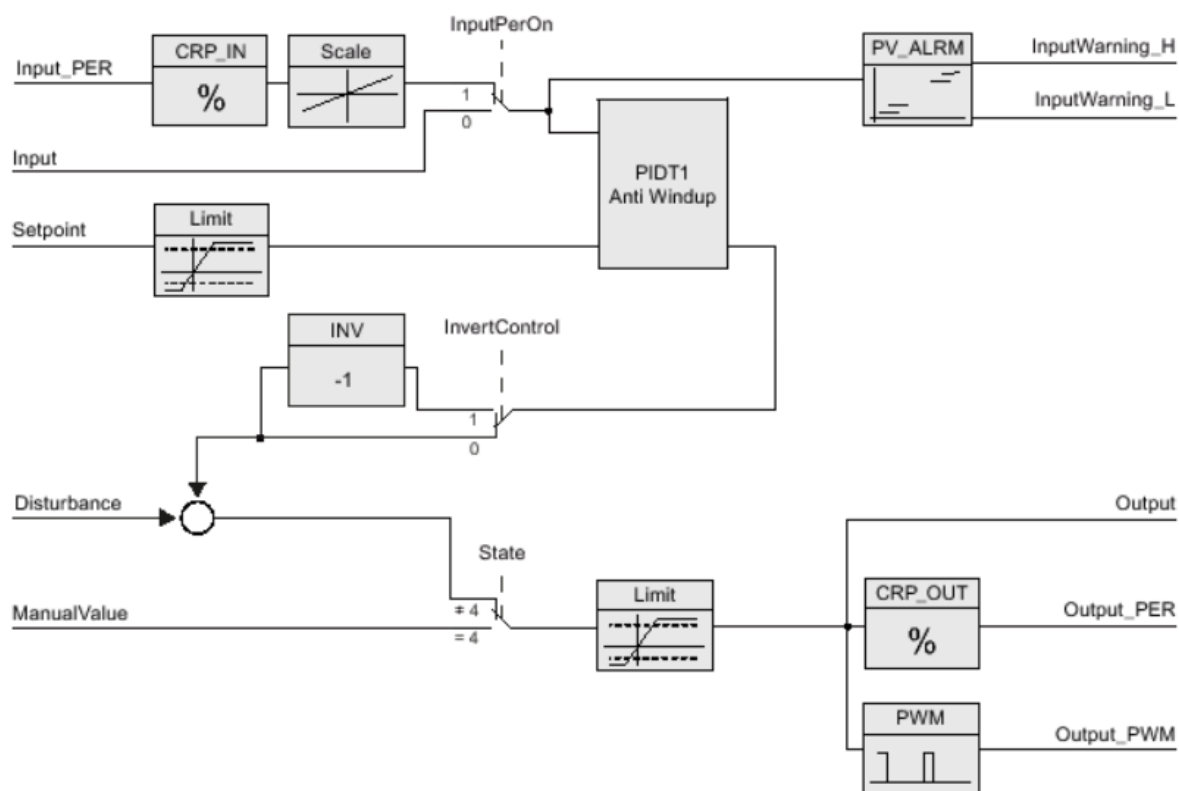
W programowaniu sterowników S7-1200 wersja regulatora PID-compact realizuje następujące równanie:

$$Y(s) = K_p \left[(b \cdot W - X) + \frac{1}{T_i s} (W - X) + \frac{T_d s}{a \cdot T_d s + 1} (c \cdot W - X) \right]$$

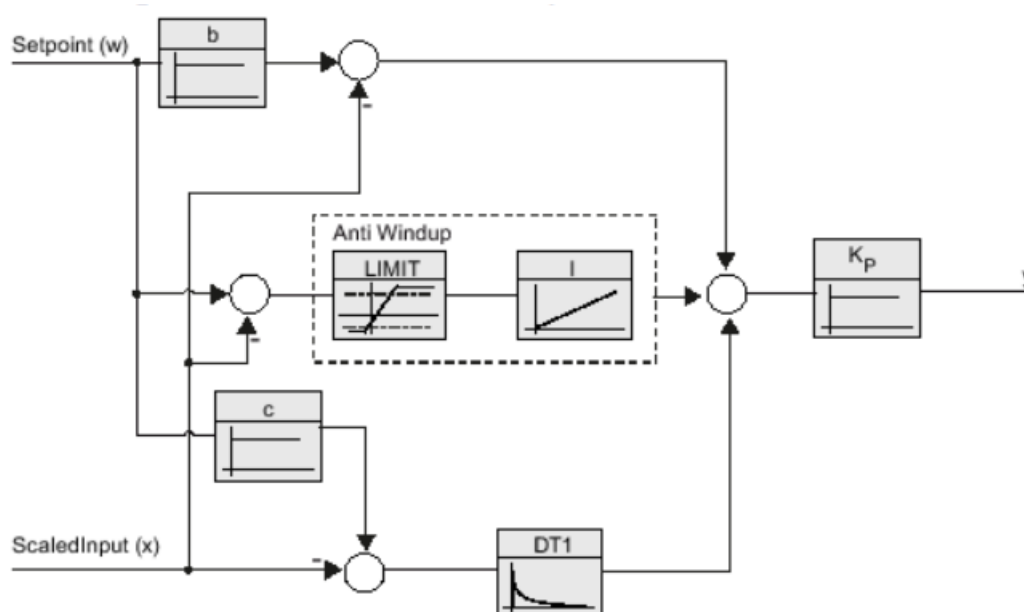
gdzie:

- K_p – wzmacnienie regulatora,
- T_i – akcja całkująca regulatora,
- T_d – akcja różniczkująca regulatora,
- X – sygnał wejścia,
- Y – sygnał wyjścia,
- W – wartość zadana,
- a – współczynnik inercji członu różniczkującego,
- b – współczynnik wagowy członu proporcjonalnego,
- c – współczynnik wagowy członu różniczkującego

Schemat blokowy regulatora PID_Compact pokazano na rys. 2, a blok anti-windup na rys. 3.



Rys.2 Schemat blokowy regulatora PID-compact na sterowniku S7-1200



Rys.3 Schemat bloku anti-windup regulatora PID-compact

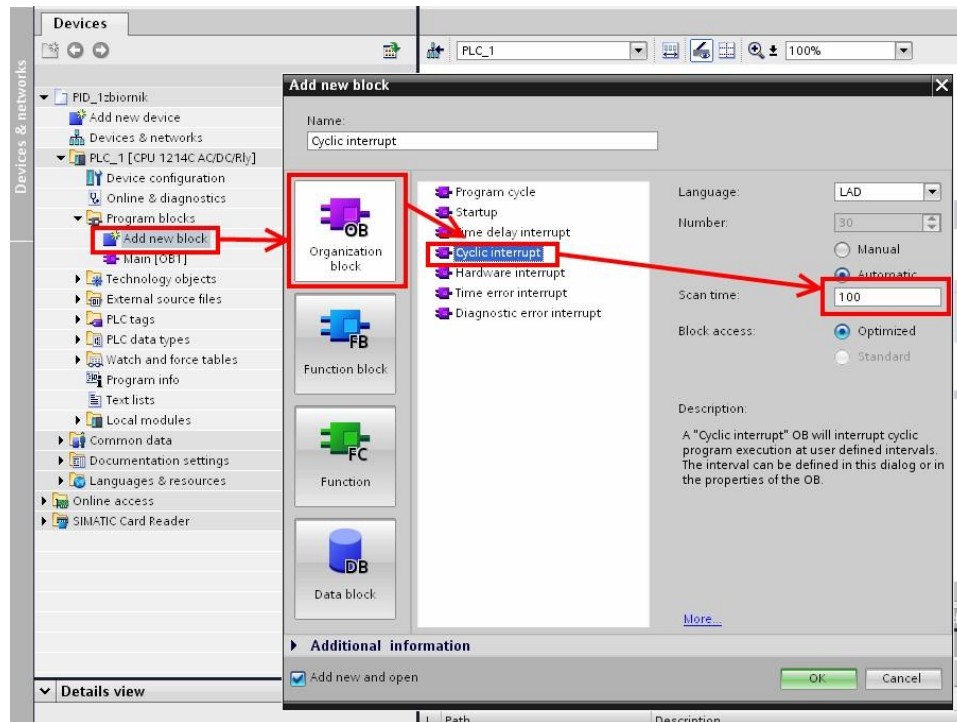
Programy cyfrowe nie pracują w czasie rzeczywistym, zawsze mają swój okres próbkowania. Pozwala to dostosować sterowanie cyfrowe do sygnałów analogowych, które zawsze są generowane w czasie rzeczywistym. Regulator PID z natury jest układem analogowym ciągłym i wymaga adaptacji cyfrowej do warunków rzeczywistych. Procedura regulatora PID cyfrowego pracuje ze stałym okresem próbkowania i z takim okresem musi być wywoływana. W większości sterowniki wykonują swój algorytm ze stałym okresem próbkowania. Sterowniki firmy Siemens nie stosują tej zasady. W swoich zasadach programowania mają wydzielone bloki do pracy ze stałym okresem wywołania.

Instrukcje PID należy wykonywać w stałych przedziałach czasowych czasu próbkowania. Zaleca się do tego celu wykorzystać blok programu "Cyclic interrupt" dostępny w blokach organizacyjnych (Organization block). Nie należy wstawiać instrukcji PID do głównego bloku programu Main [OB1] jak i bloku głównego cyklu programu OB.

Poniżej przedstawiono przykładowe kroki prowadzące do konfiguracji sterownika oraz regulatora PID:

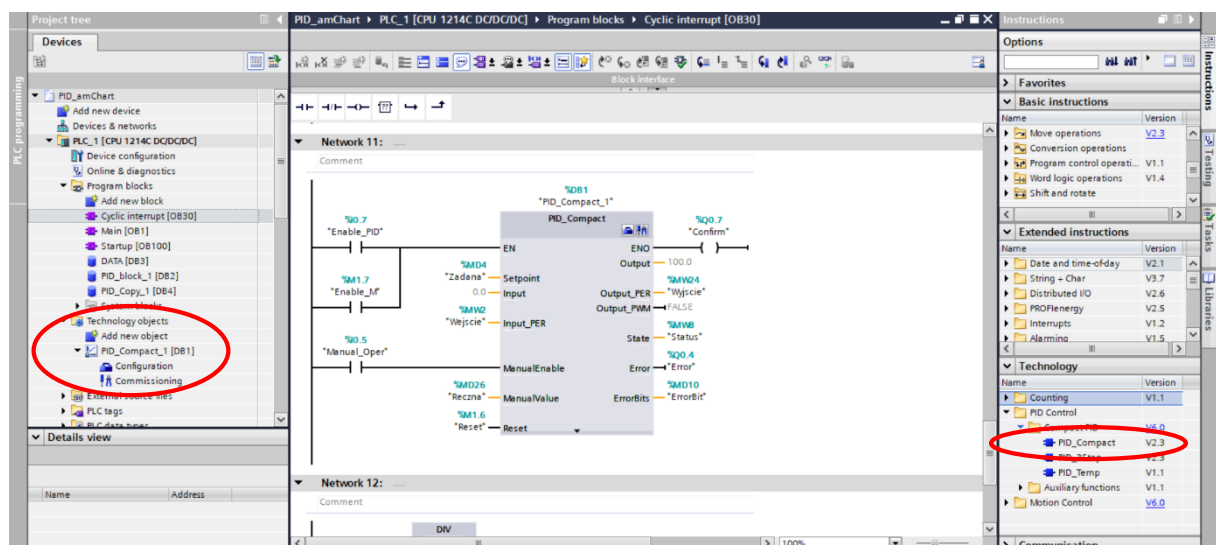
1. Utworzenie nowego projektu.
2. Konfiguracja sterownika (sterownikom został przypisany adres IP zgodny z numerem stanowiska).
3. Dodanie bloku "**Cyclic interrupt**", rys. 4, oraz wybór czasu skanowania "**Scan time**". Parametr ten podajemy w [ms]. Parametr "**Scan time**" można również zmienić po utworzeniu bloku we właściwościach bloku w opcji **Cyclic interrupt** → **Cyclic**

time(ms).



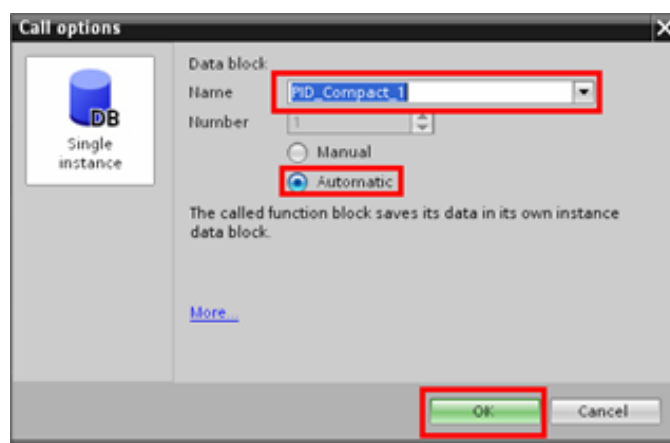
Rys. 4 Blok 'Cyclic interrupt'

4. Wstawiamy do bloku "Cyclic interrupt" instrukcje "PID_Compact". Instrukcję tą znajdziemy w zakładce **Instructions** (prawa strona okna aplikacji TIA) → **Technology** → **PID Control** → **Compact PID** → **PID_Compact**, Rys.5.



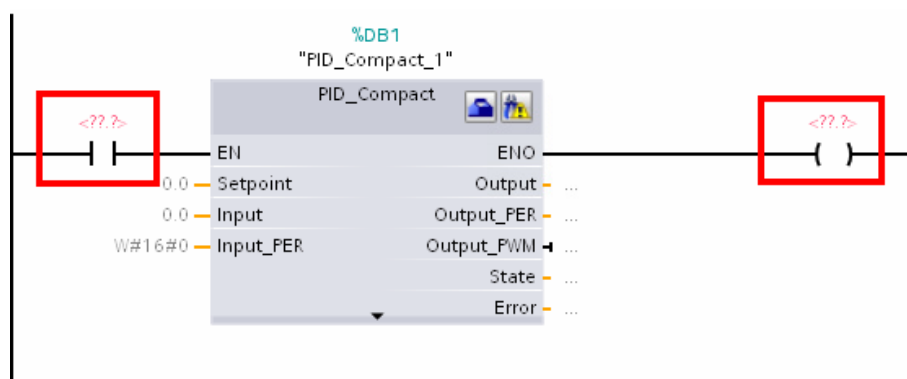
Rys. 5 Blok 'PID_Compact'

- Po wstawieniu instrukcji **PID_Compact** aplikacja zgłosi monit o utworzenie nowego **obiektu technologicznego**. Obiekt ten zawiera wszystkie ustawienia dla pętli regulacji. Wybieramy stosowną nazwę obiektu lub zostawiamy domyślną oraz zaznaczamy **automatyczne** przydzielenie **numeru obiektu**. Należy potwierdzić utworzenie obiektu technologicznego przyciskiem **OK**, rys. 6. Obiekty technologiczne występujące w projekcie znaleźć można w grupie **Technology objects** w drzewie projektu (Project tree).



Rys. 6 Parametry obiektu technologicznego regulatora PID

- Tworzymy styk odpowiedzialny za włączanie/wyłączanie regulatora PID oraz cewkę informującą o stanie regulatora, rys. 7.



Rys. 7 Styk włączający regulator PID oraz cewka stanu

- Definiujemy zmienne wejściowe i wyjściowe powiązane z regulatorem PID. Zmienne definiujemy w **tablicy tagów (Tag table)**. Można je zdefiniować w **domyślnej tabeli tagów (Default Tag table)**. Przykładowe nazwy zmiennych, przykładowe adresy i odpowiednie typy zmiennych podano w Tabela 2. Należy przestrzegać aby typy zmiennych były zgodne z typami wykorzystywanymi przez wejścia / wyjścia regulatora PID. Szczegóły dotyczące dozwolonych typów zmiennych można znaleźć

w dokumentacji technicznej sterownika Siemens S7-1200 lub w pomocy dotyczącej instrukcji PID.

Tabela 2 Przykładowe nazwy, przykładowe adresy i odpowiednie typy zmiennych regulatora PID

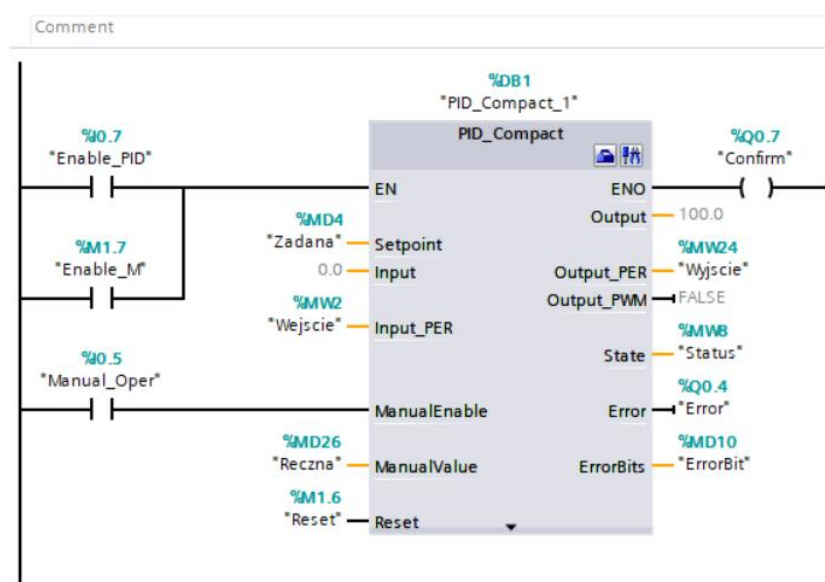
Lp.	Nazwa	Typ	Adres	Opis
1	Włącz_PID	Bool	%I0.1	Styk włączający regulator
2	PID_włączony	Bool	%Q0.0	Cewka informująca o stanie regulatora
3	Wartość_zadana	Real	%MD0	Wartość zadana (SP)
4	Wejście_analogowe	Word	%IW66	Rejestr kanału wejścia analogowego
5	Wyjście_analogowe	Word	%QW80	Rejestr kanału wyjścia analogowego
6	Stan_PID	Int	%MW4	Bieżący tryb pracy regulatora PID Możliwe stany: 0 – Inactive, 1 – Pretuning, 2 – Finetuning, 3 – Automatic, 4 – Manual
7	Kod_błędu	DWord	%MD8	Powiadomienie o błędzie. Kod błędu.

Przy adresowaniu zmiennych należy zwrócić szczególną uwagę na liczbę rejestrów zajmowanych przez typ zmiennej. Nie można dopuścić aby adresy zmiennych nakładały się na siebie. W Tabeli 3 zamieszczono podstawowe typy zmiennych oraz liczbę bitów i rejestrów zajmowanych przez odpowiedni typ zmiennej.

Tabela 3 Podstawowe typy zmiennych i ilość zajmowanej pamięci

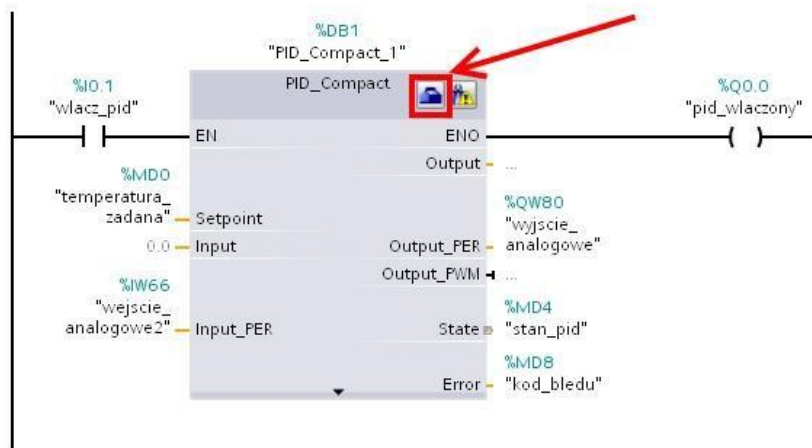
Lp.	Typ zmiennej	Liczba bitów	Ilość zajmowanych rejestrów
1	Real	32	4
2	DWord	32	4
3	Word	16	2
4	Int	16	2
5	Bool	1	Jeden bit rejestru

8. Przypisujemy zmienne w odpowiednie miejsca regulatora, rys. 8.

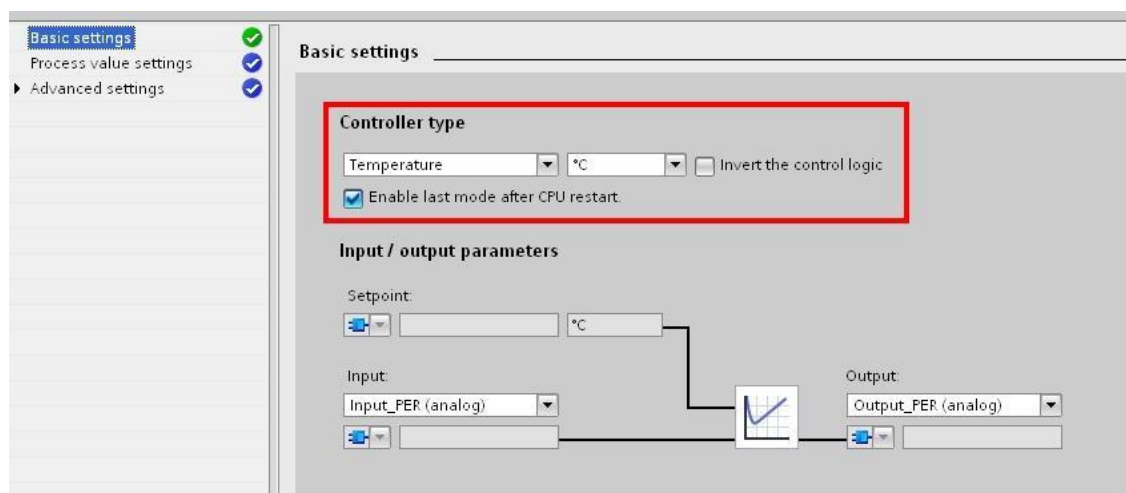


Rys. 8 Regulator PID z przypisanymi zmiennymi

9. Tworzymy nową tablicę np. **Watch table** i wypełniamy ją zdefiniowanymi wcześniej zmiennymi regulatora.
10. Konfigurujemy regulator PID wybierając ikonę , rys.9. Konfiguracja regulatora została przedstawiona na: rys. 10, rys. 11, rys. 12, rys. 13. Elementy wskazane strzałką należy ustawić zgodnie z przeznaczeniem regulatora.

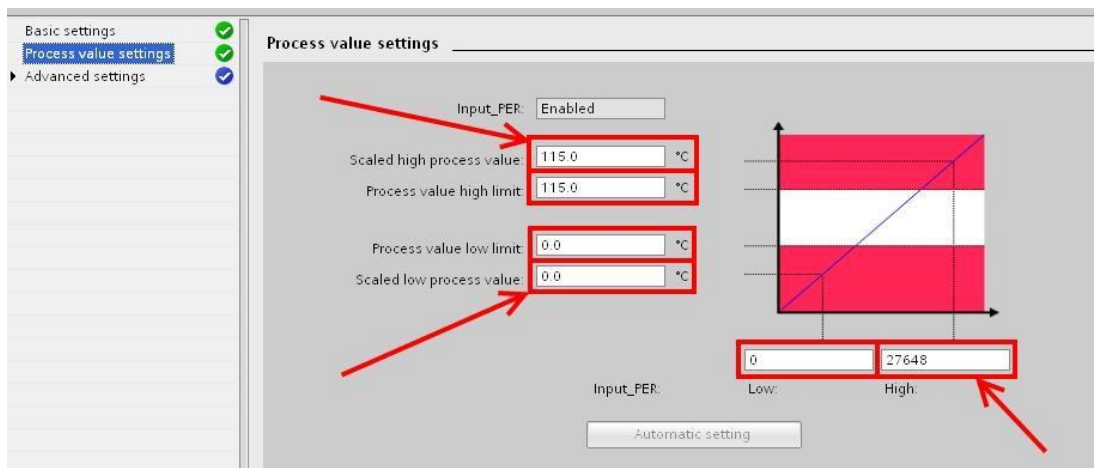


Rys. 9 Dostęp do konfiguracji regulatora PID

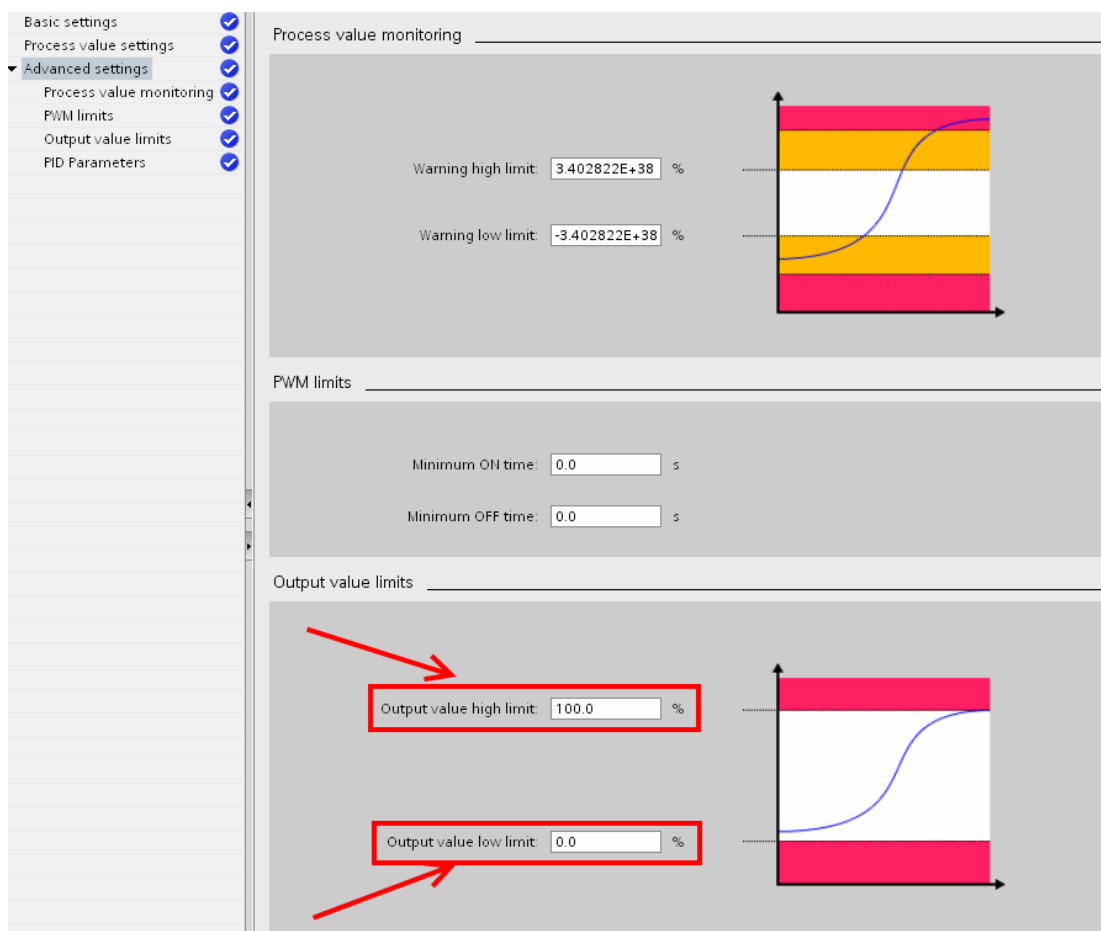


Rys. 10 Konfiguracja regulatora PID – podstawowe ustawienia

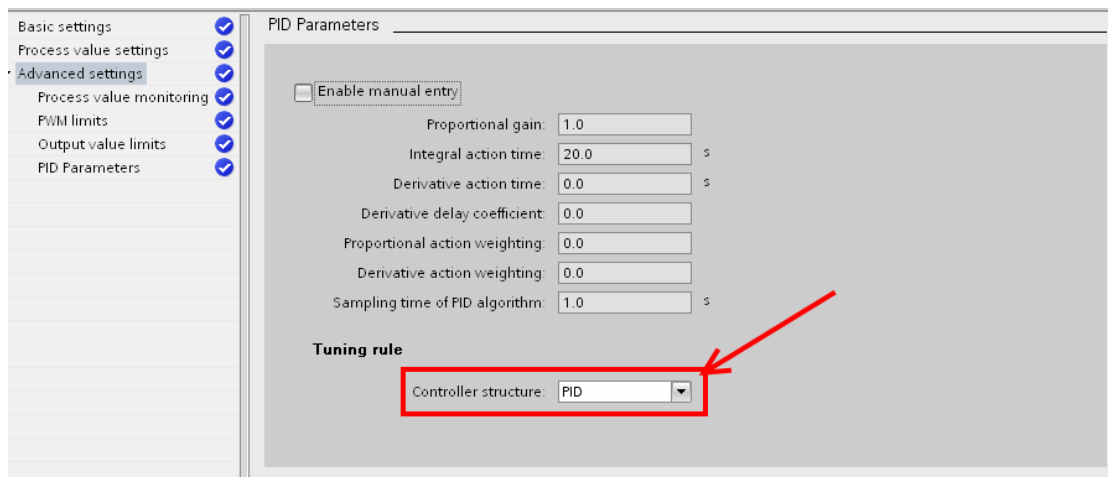
Podane ustawienia są ważne w przypadku regulacji procesem. Do zarejestrowania charakterystyk skokowych ograniczamy się do trzech sygnałów tj.: Set_Point, Input i Output jako sygnały zapisane w pamięci sterownika i przekazywane na wykres.



Rys. 11 Konfiguracja regulatora PID – ustawienia skalowania PV

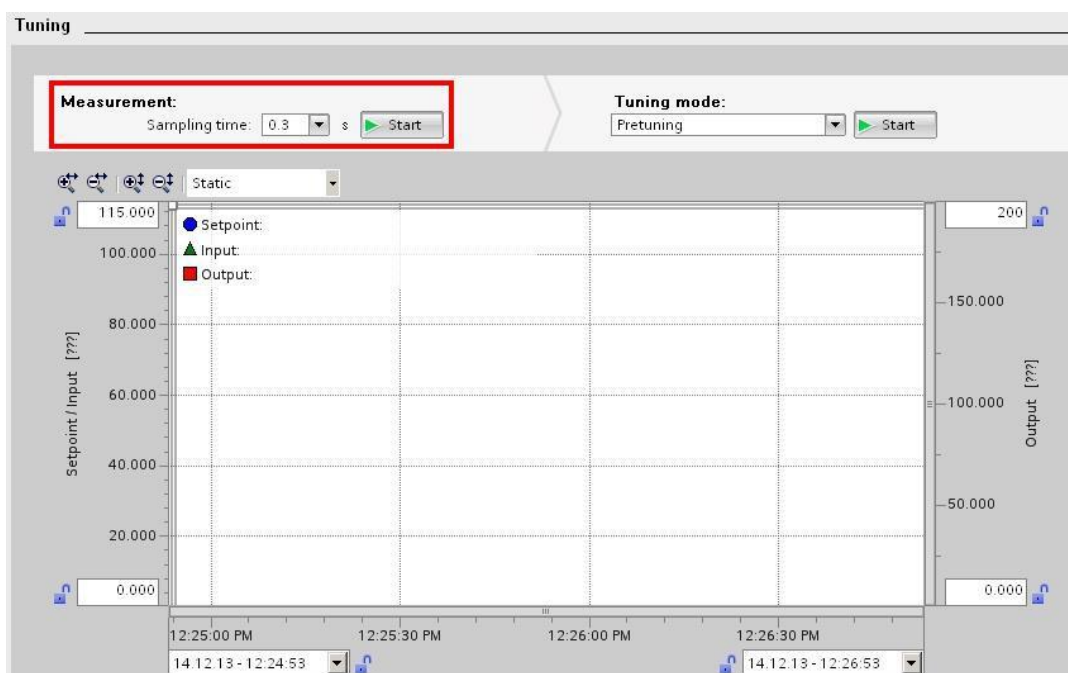


Rys. 12 Konfiguracja regulatora PID – ustawienia zaawansowane cz.1



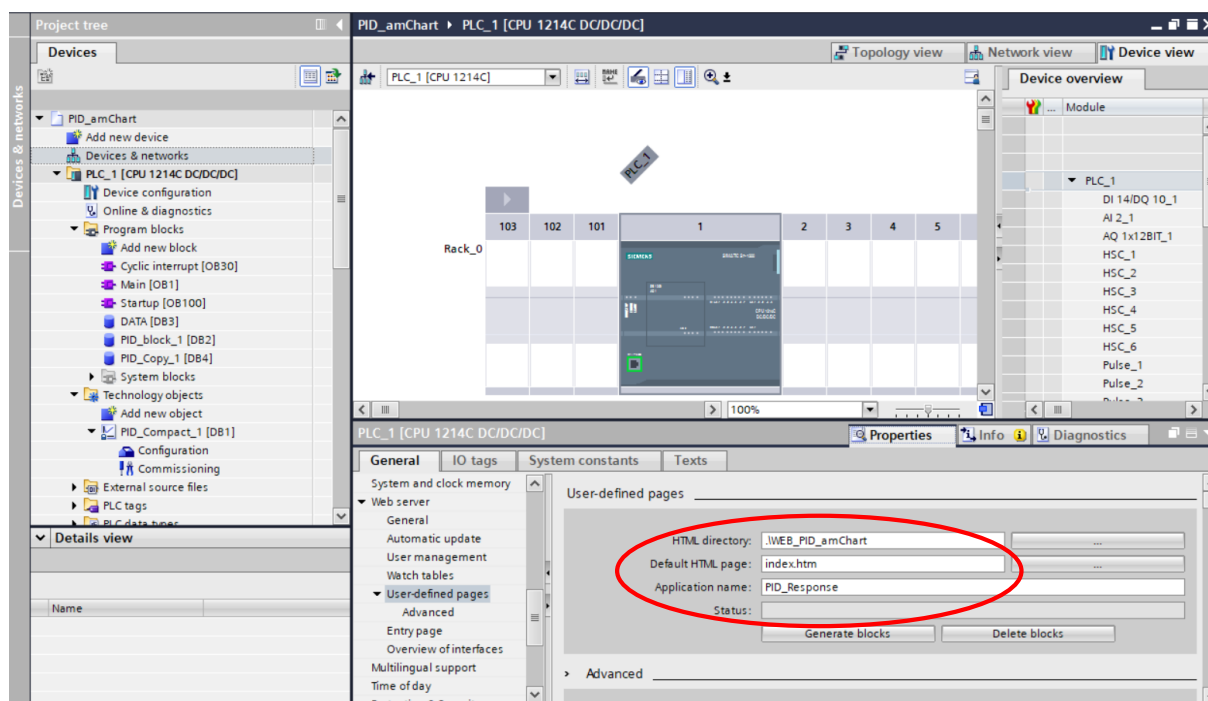
Rys. 13 Konfiguracja regulatora PID – ustawienia zaawansowane cz.2

11. Wgrywamy program i konfigurację na sterownik. Ustawiamy sterownik w tryb **RUN**.
12. Do wykonania charakterystyk skokowych regulatora PID konieczny jest interface graficzny do wprowadzania nastaw regulatora i rejestracji odpowiedzi regulatora. Prostim rozwiązaniem jest zaprojektowanie panelu graficznego HMI. W tym wypadku niedostępny jest wydruk odpowiedzi.
13. Proces strojenia regulatora PID **commissioning**  pomijamy. Ten punkt realizujemy przy doborze nastaw regulatora do obiektu sterowania.

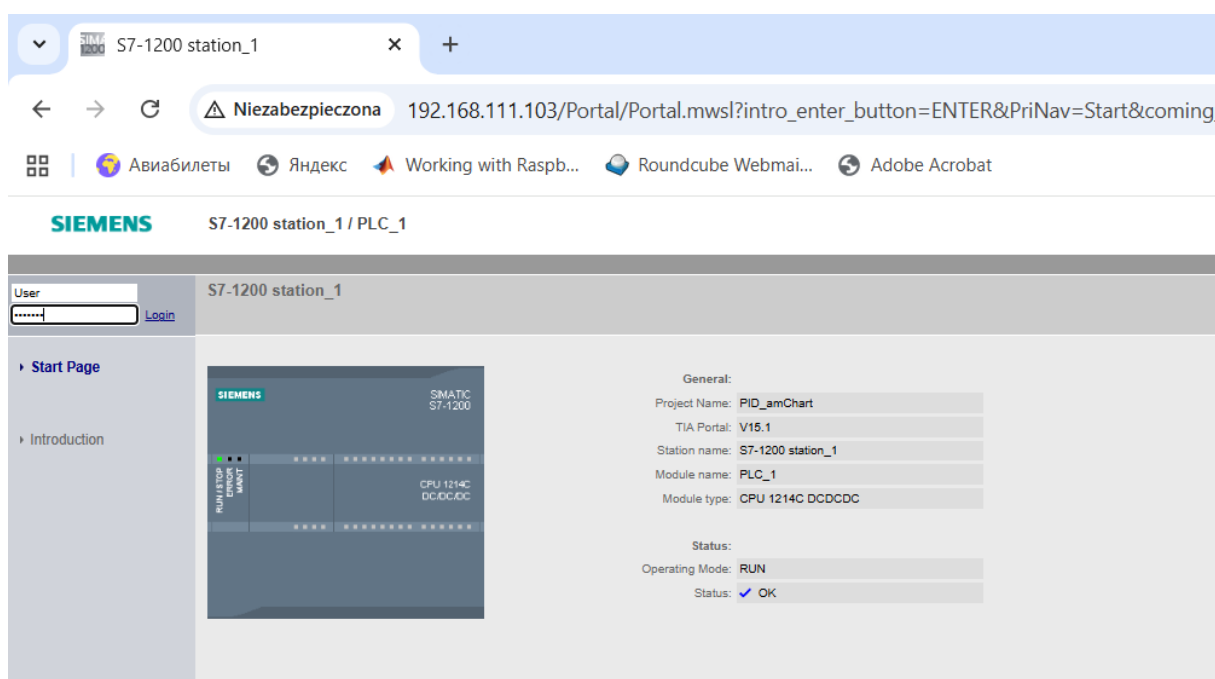


Rys. 14 Okno strojenia regulatora PID

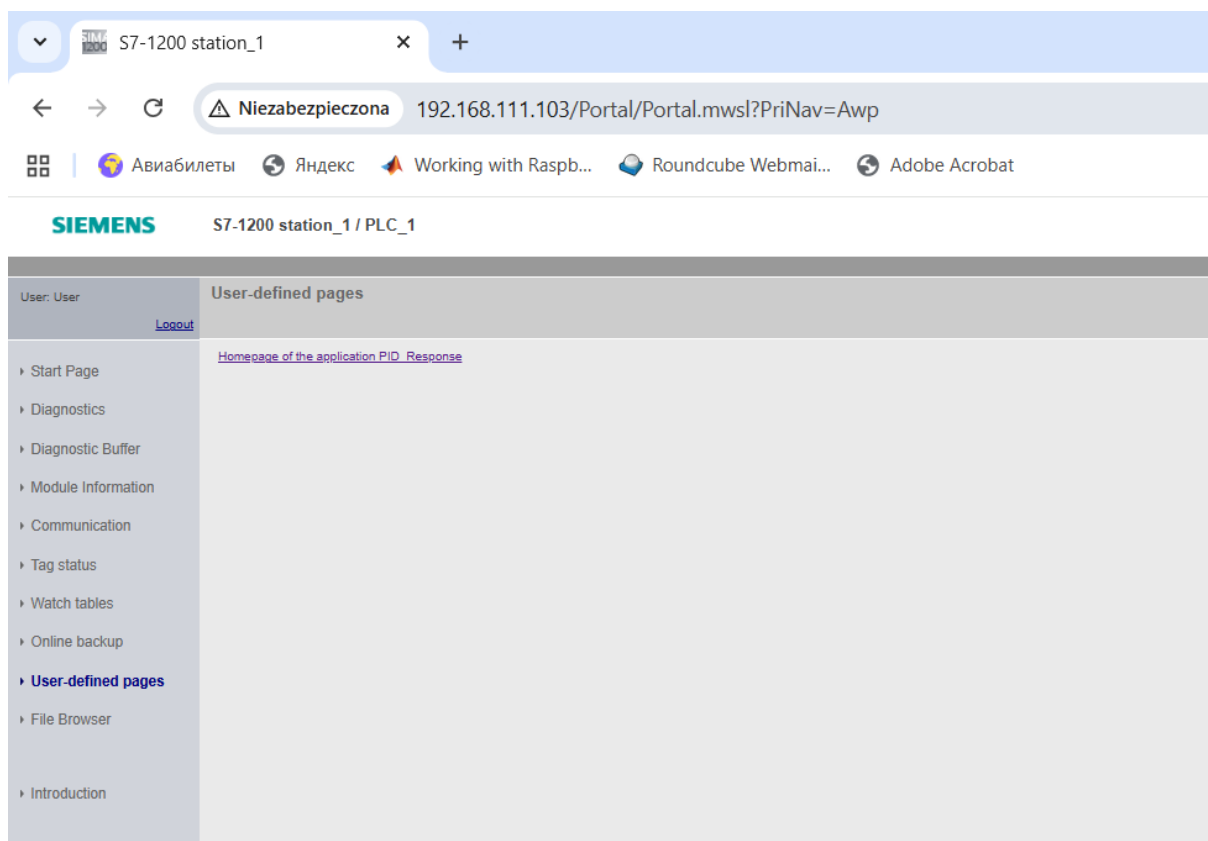
14. W danym ćwiczeniu programujemy stronę internetową i Web Server do obsługi regulatora PID. Pisanie stron internetowych jest szeroką umiejętnością opisaną w kolejnych instrukcjach np. inst_no10. Teraz posługujemy się przygotowanym plikiem HTML do sterowania i rejestracji charakterystyk regulatora PID.



Rys. 15 Miejsce do wprowadzenia ustawień internetowych regulatora PID

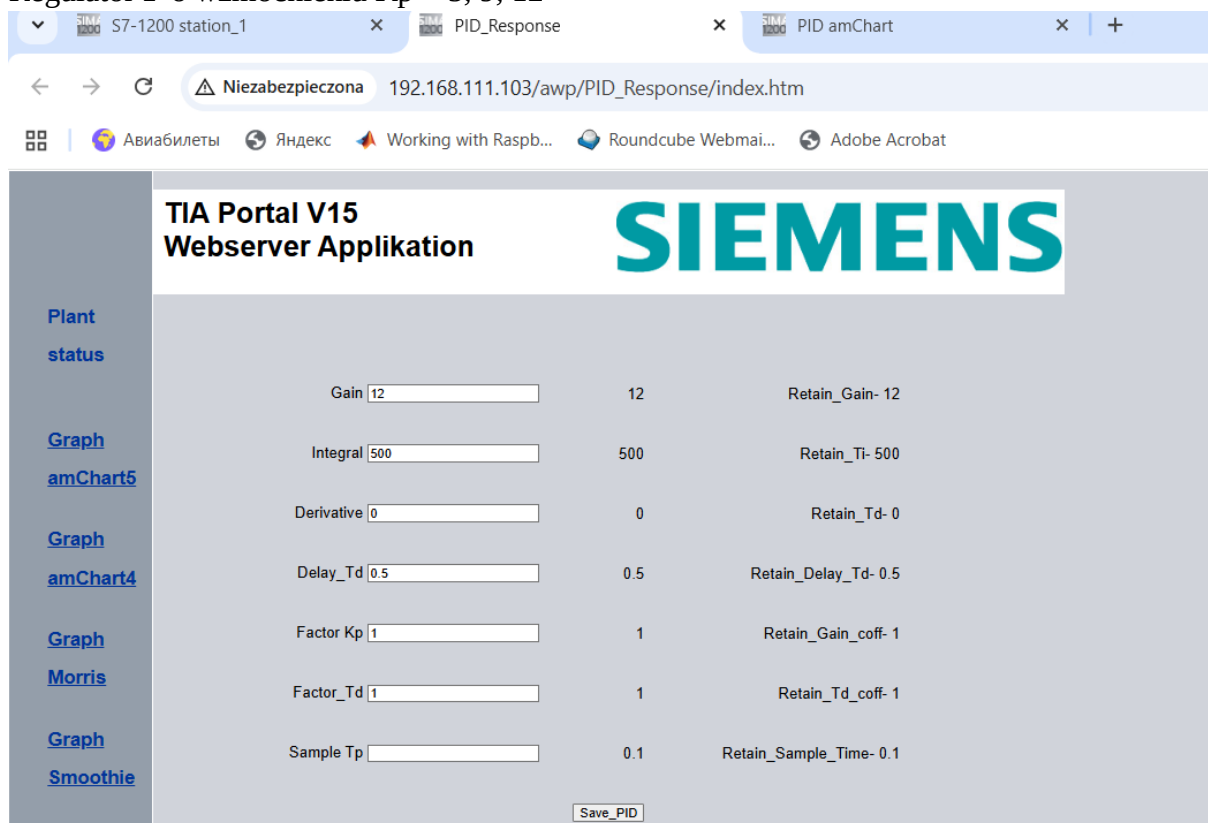


Rys. 16 Strona internetowa z logowaniem sterownika Siemens S7-1200
Użytkownik: 'User'; password: 'student'.



Rys. 17 Strona internetowa użytkownika na sterowniku Siemens S7-1200

Regulator P o wzmacnieniu $K_p = 5, 9, 12$

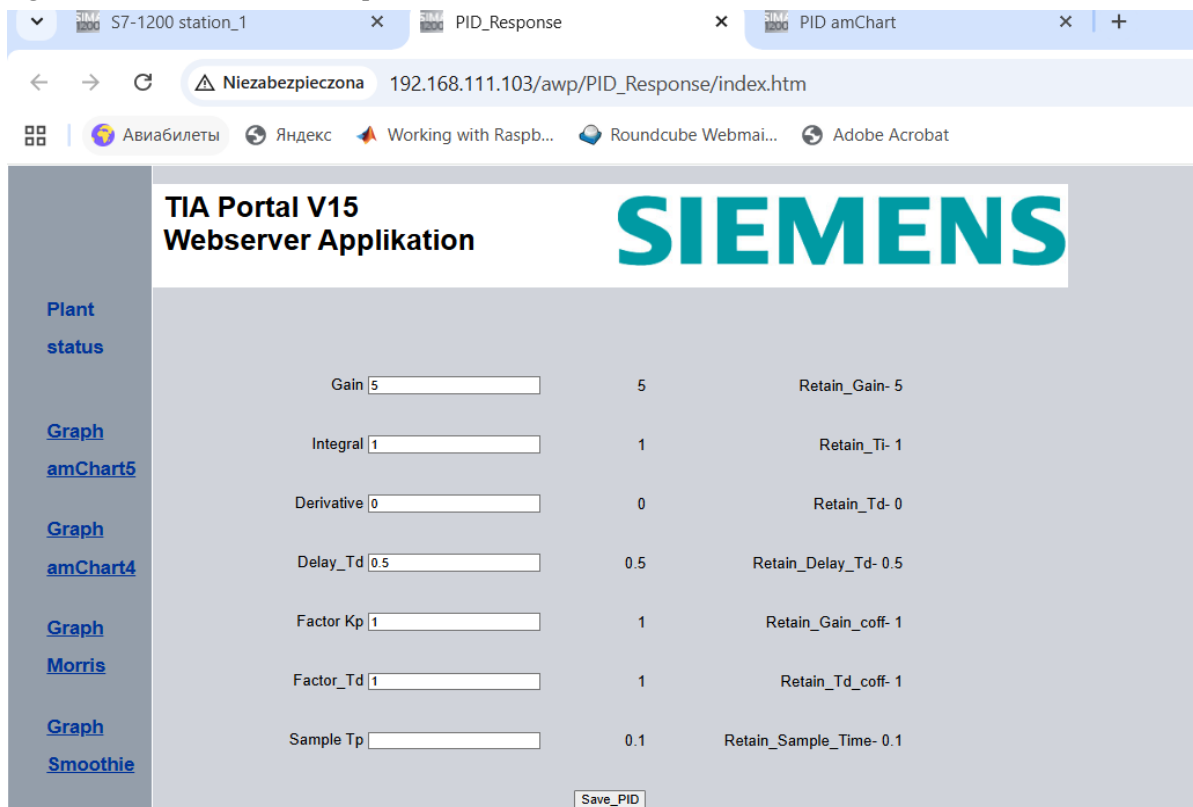


Rys. 18 Strona internetowa parametrów regulatora P na sterowniku Siemens S7-1200



Rys. 19 Strona internetowa odpowiedzi regulatora P na sterowniku Siemens S7-1200

Regulator **PI** o wzmacnieniu $K_p = 5$ i całkowaniu $T_i = 25, 15, 5, 1[s]$



**TIA Portal V15
Webserver Application**

SIEMENS

Plant status

Graph amChart5

Graph amChart4

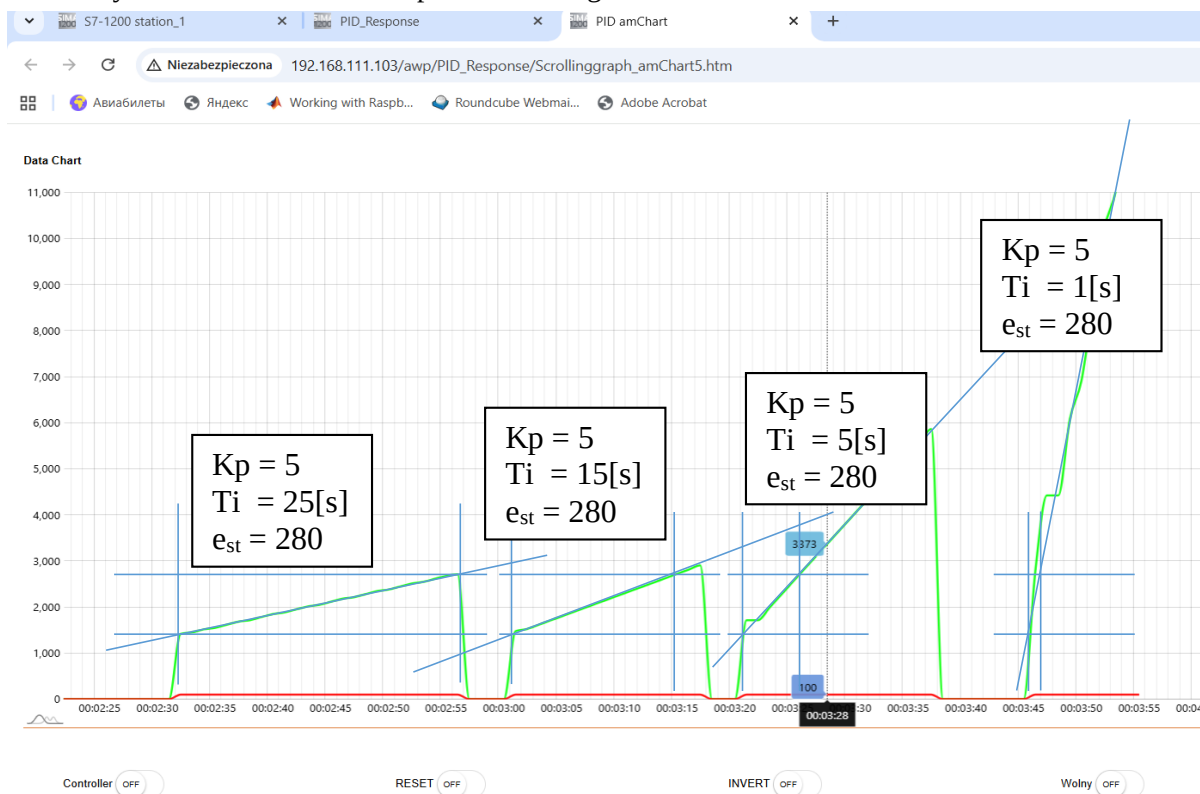
Graph Morris

Graph Smoothie

Gain	5	5	Retain_Gain- 5
Integral	1	1	Retain_Ti- 1
Derivative	0	0	Retain_Td- 0
Delay_Td	0.5	0.5	Retain_Delay_Td- 0.5
Factor Kp	1	1	Retain_Gain_coff- 1
Factor_Td	1	1	Retain_Td_coff- 1
Sample Tp		0.1	Retain_Sample_Time- 0.1

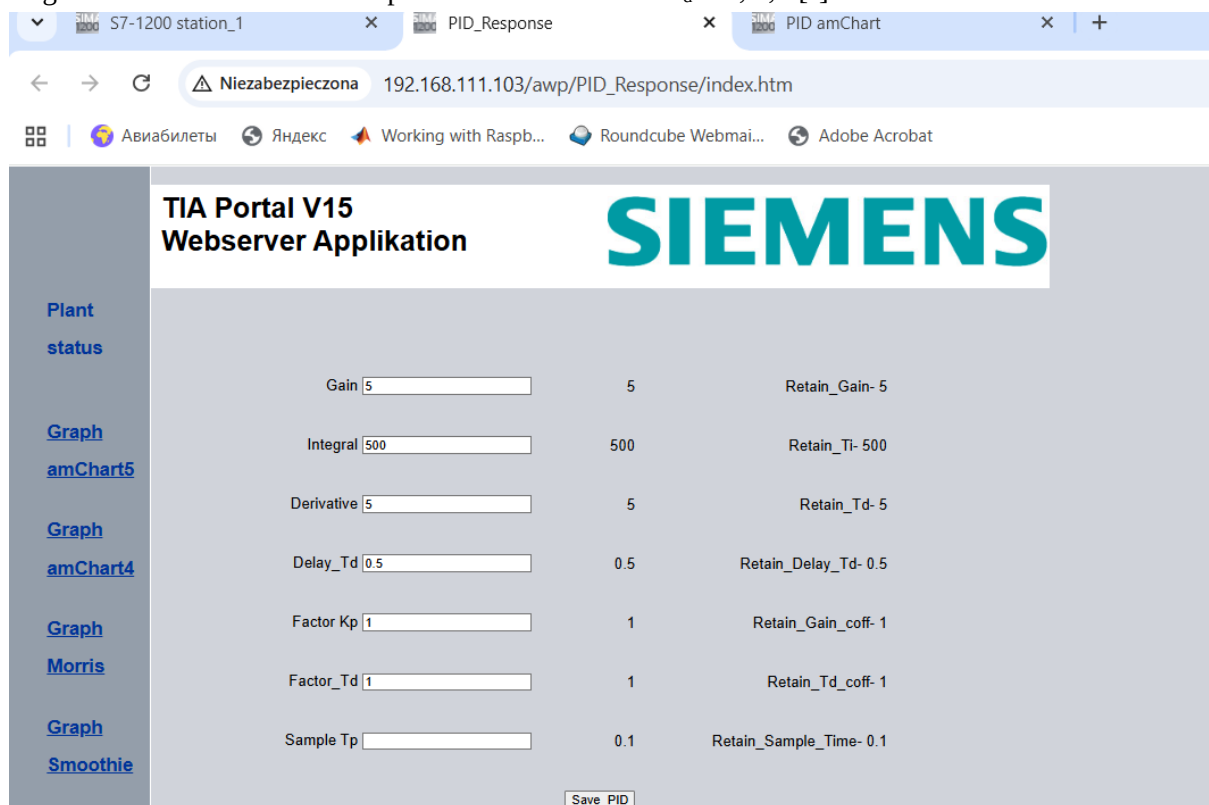
Save_PID

Rys. 20 Strona internetowa parametrów regulatora PI na sterowniku Siemens S7-1200



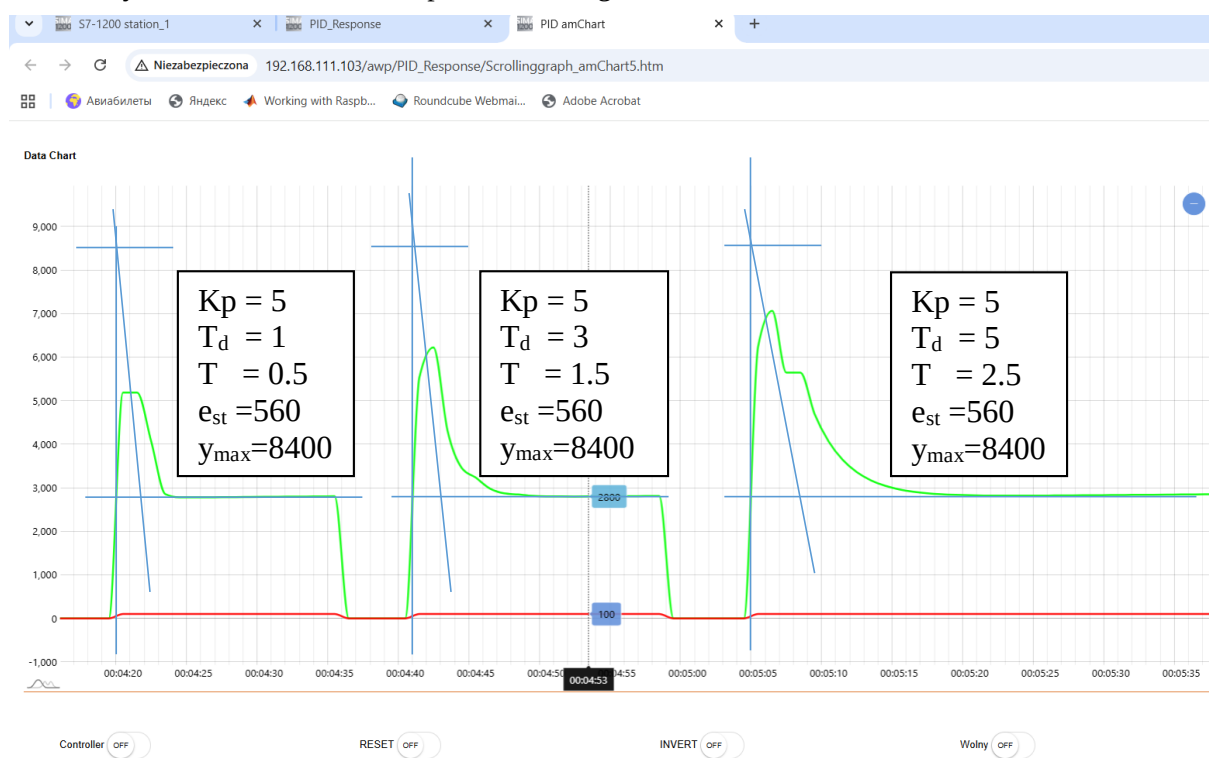
Rys. 21 Strona internetowa odpowiedzi regulatora PI na sterowniku Siemens S7-1200

Regulator **PD** o wzmacnieniu $K_p = 5$ i różniczkowaniu $T_d = 1, 3, 5[s]$



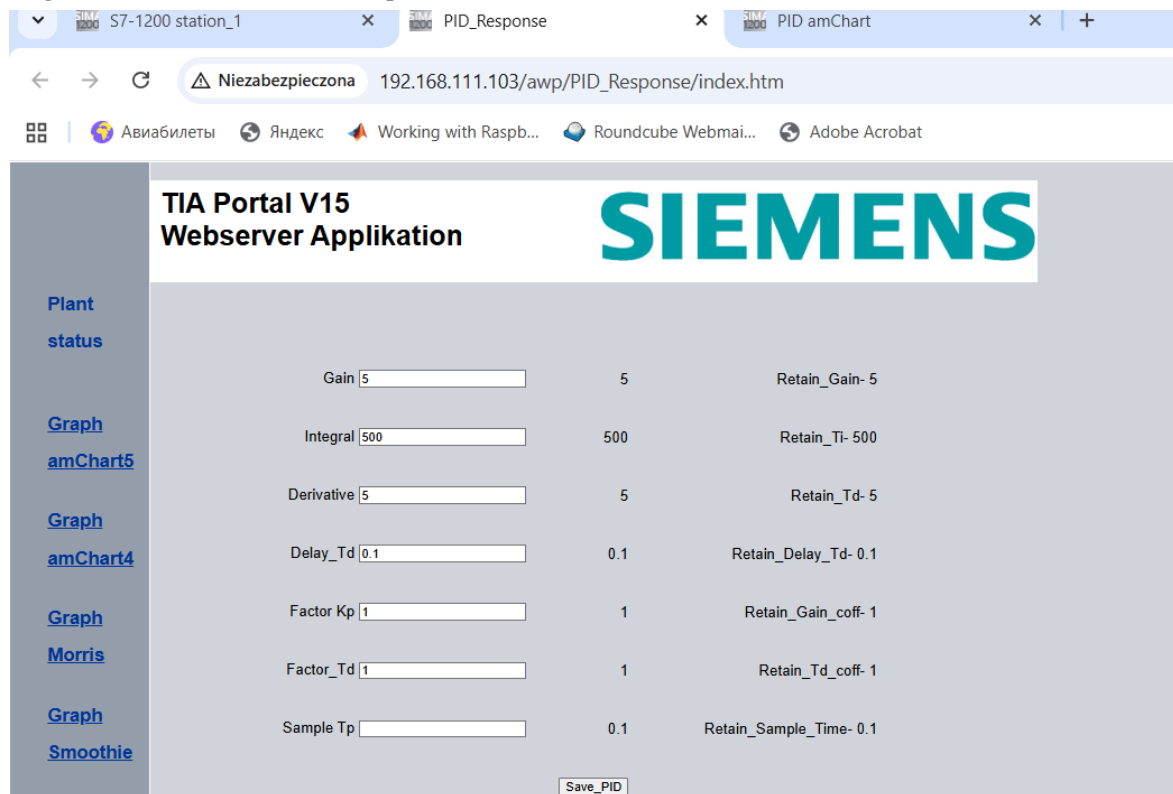
Parameter	Value	Retain Value
Gain	5	Retain_Gain- 5
Integral	500	Retain_Ti- 500
Derivative	5	Retain_Td- 5
Delay_Td	0.5	Retain_Delay_Td- 0.5
Factor_Kp	1	Retain_Gain_coff- 1
Factor_Td	1	Retain_Td_coff- 1
Sample_Tp	0.1	Retain_Sample_Time- 0.1

Rys. 22 Strona internetowa parametrów regulatora PD na sterowniku Siemens S7-1200



Rys. 23 Strona internetowa odpowiedzi regulatora PD na sterowniku Siemens S7-1200

Regulator **PD** o wzmacnieniu $K_p = 5$ i różniczkowaniu $T_d = 5[s]$ z filtrowaniem 1.2, 0.8, 0.4, 0.1



TIA Portal V15
Webserver Applikation

SIEMENS

Plant status

Graph amChart5

Graph amChart4

Graph Morris

Graph Smoothie

Gain 5 5 Retain_Gain- 5

Integral 500 500 Retain_Ti- 500

Derivative 5 5 Retain_Td- 5

Delay_Td 0.1 0.1 Retain_Delay_Td- 0.1

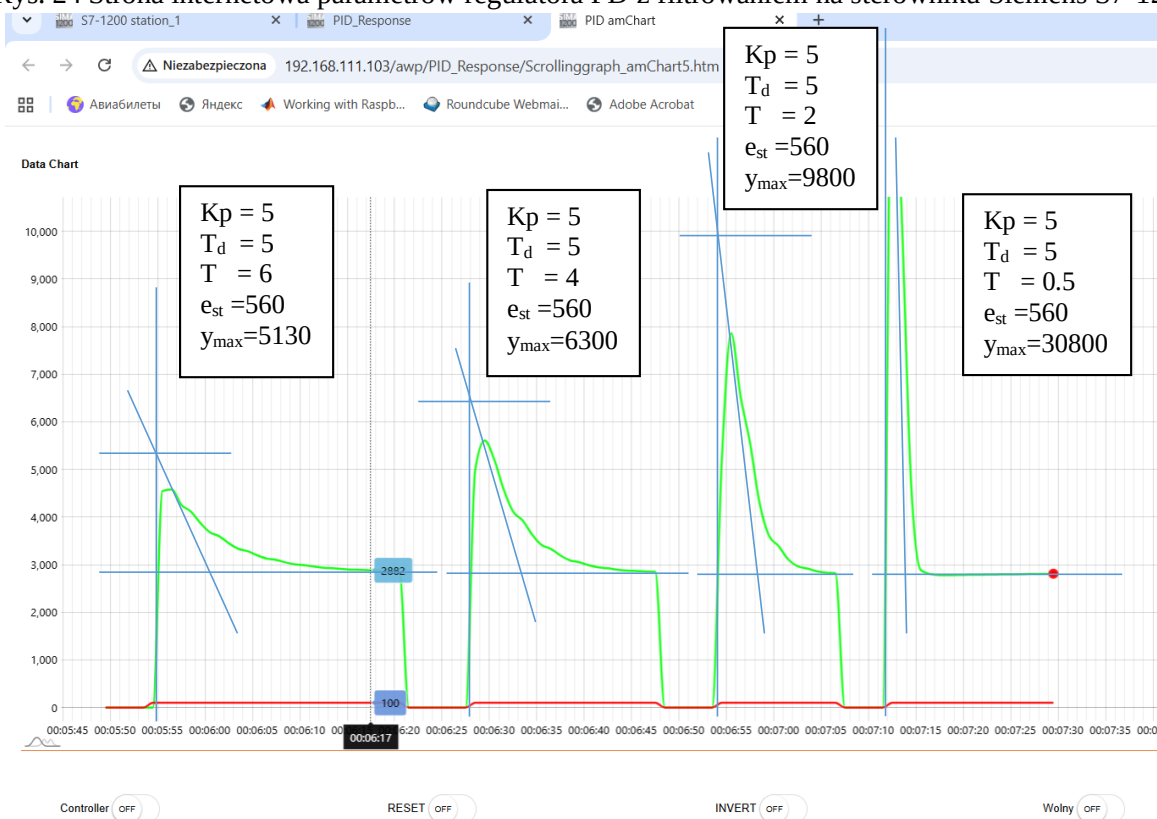
Factor_Kp 1 1 Retain_Gain_coff- 1

Factor_Td 1 1 Retain_Td_coff- 1

Sample_Tp 0.1 Retain_Sample_Time- 0.1

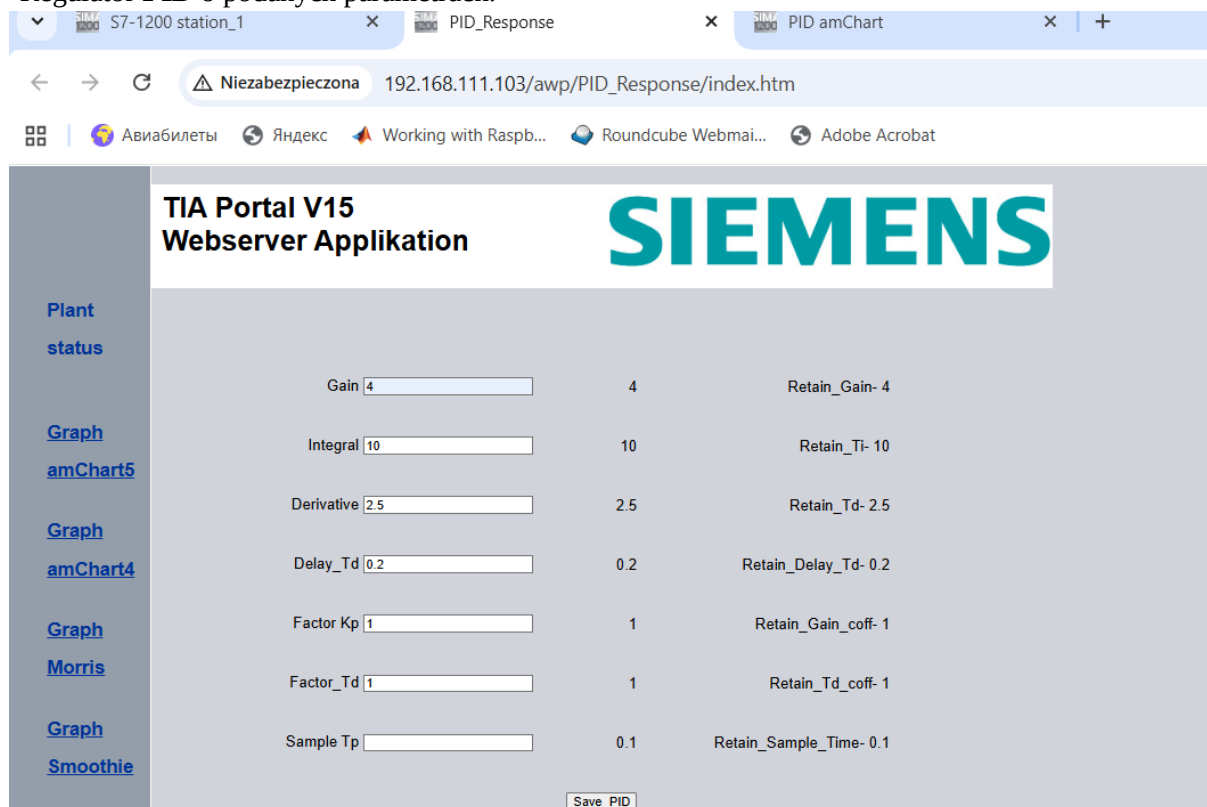
Save_PID

Rys. 24 Strona internetowa parametrów regulatora PD z filtrowaniem na sterowniku Siemens S7-1200

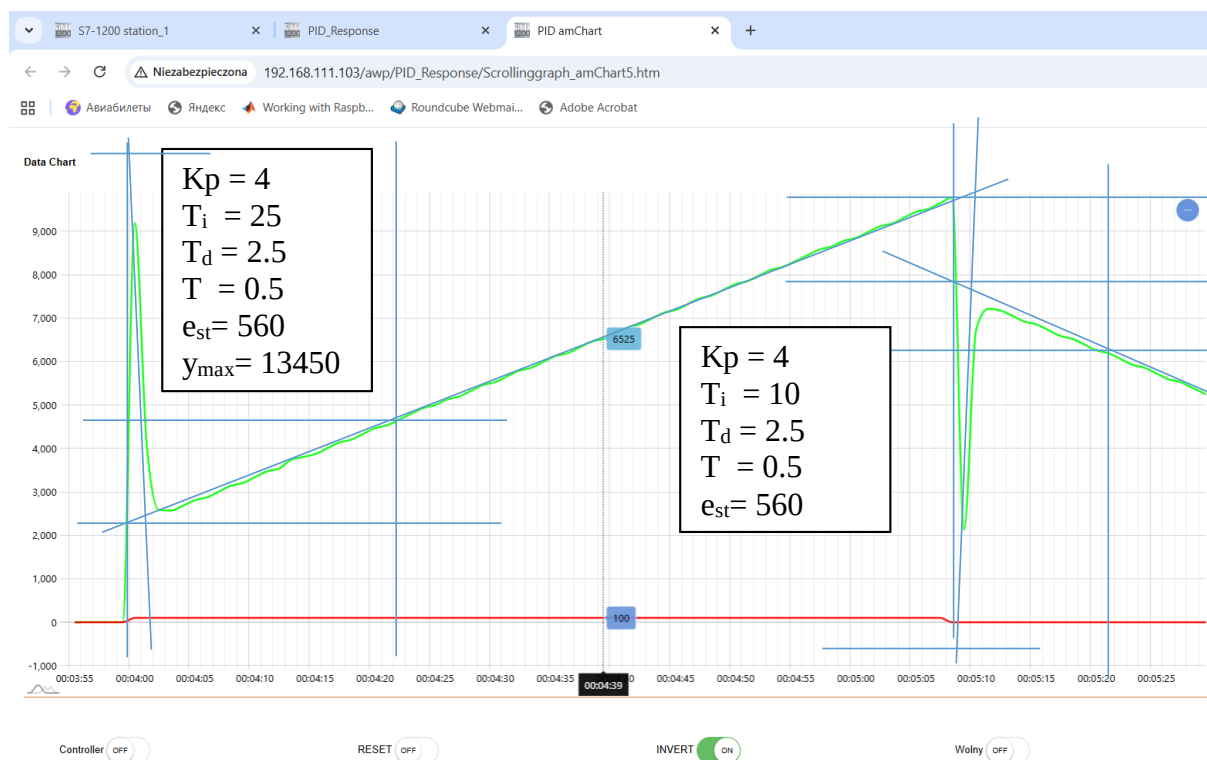


Rys. 25 Strona internetowa odpowiedzi regulatora PD z filtrowaniem na sterowniku Siemens S7-1200

Regulator **PID** o podanych parametrach.

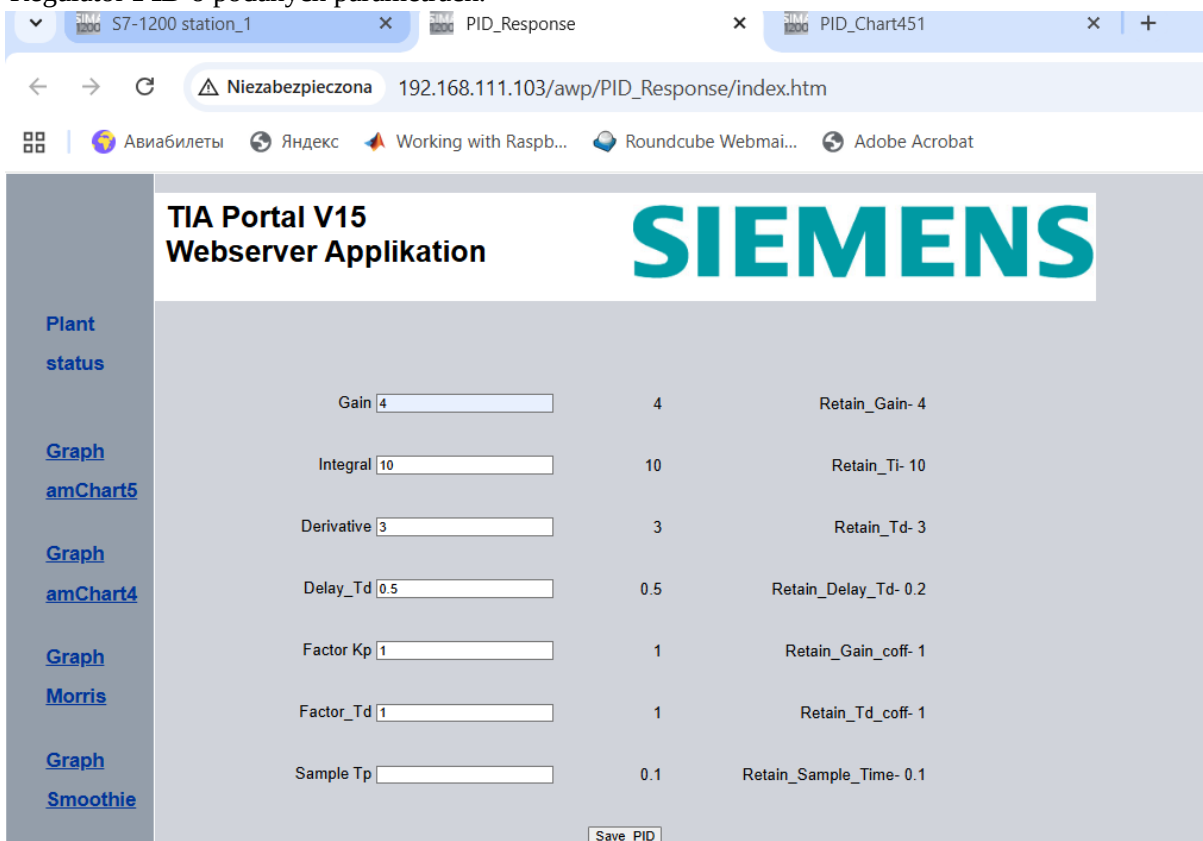


Rys. 26 Strona internetowa parametrów regulatora PID na sterowniku Siemens S7-1200



Rys. 27 Strona internetowa odpowiedzi regulatora PID na sterowniku Siemens S7-1200

Regulator **PID** o podanych parametrach.



**TIA Portal V15
Webserver Applikation**

SIEMENS

Plant status

Graph
amChart5

Graph
amChart4

Graph
Morris

Graph
Smoothie

Gain	4	4	Retain_Gain- 4
Integral	10	10	Retain_Ti- 10
Derivative	3	3	Retain_Td- 3
Delay_Td	0.5	0.5	Retain_Delay_Td- 0.2
Factor Kp	1	1	Retain_Gain_coff- 1
Factor_Td	1	1	Retain_Td_coff- 1
Sample Tp		0.1	Retain_Sample_Time- 0.1

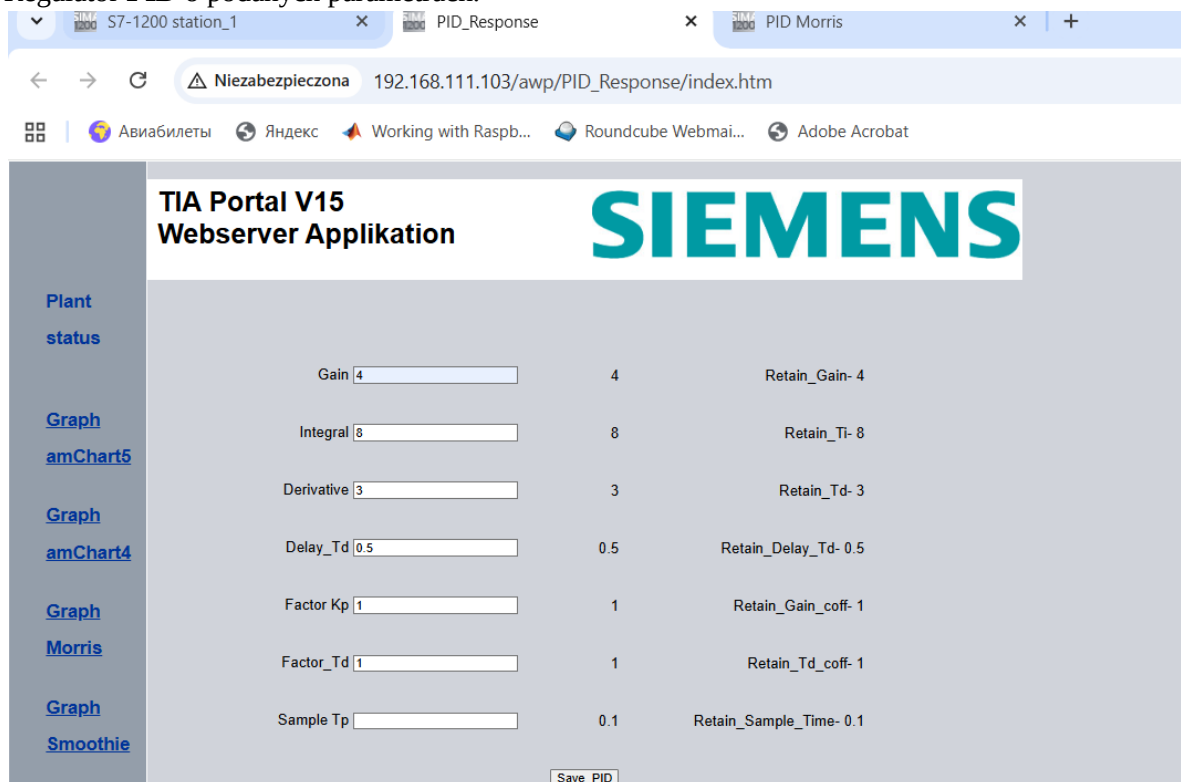
Save_PID

Rys. 28 Strona internetowa parametrów regulatora PID na sterowniku Siemens S7-1200



Rys. 29 Strona internetowa odpowiedzi regulatora PID na sterowniku Siemens S7-1200

Regulator **PID** o podanych parametrach.



**TIA Portal V15
Webserver Applikation**

SIEMENS

Plant status

Graph
amChart5

Graph
amChart4

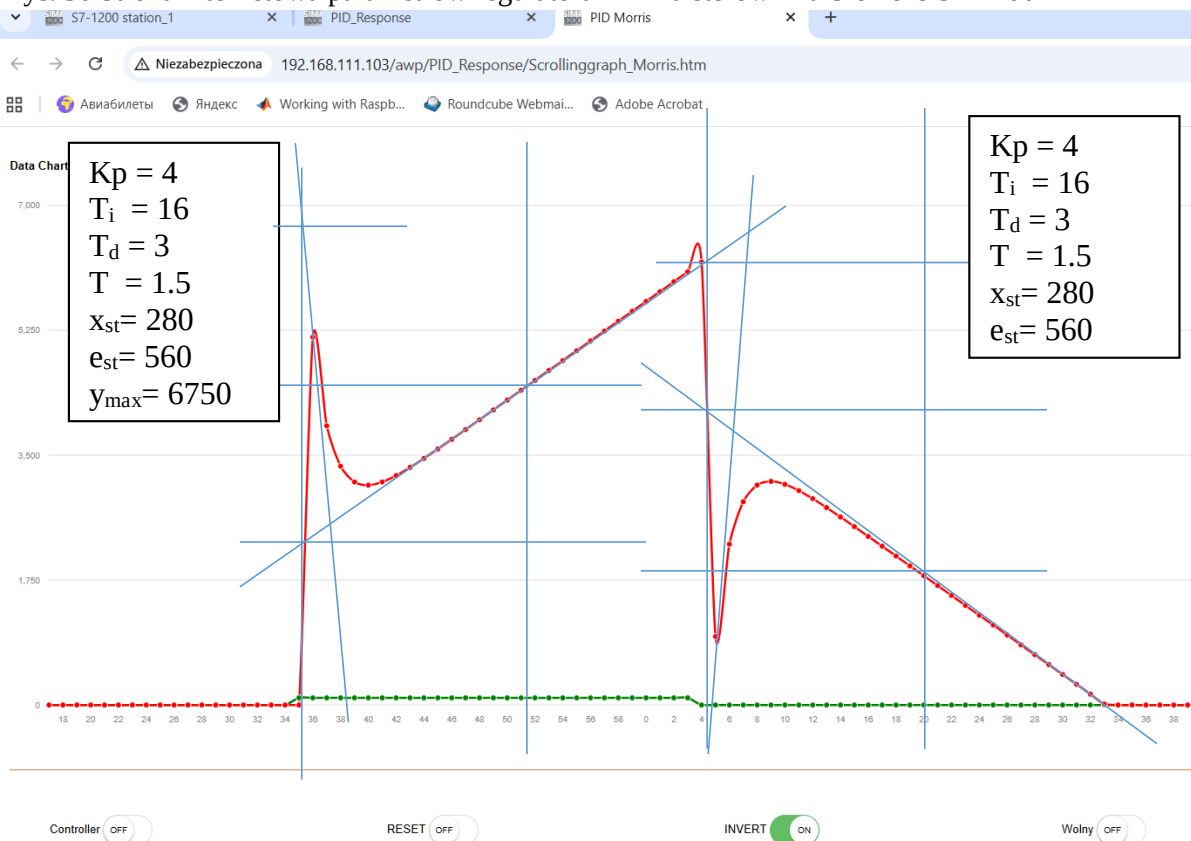
Graph
Morris

Graph
Smoothie

Gain	4	4	Retain_Gain- 4
Integral	8	8	Retain_Ti- 8
Derivative	3	3	Retain_Td- 3
Delay_Td	0.5	0.5	Retain_Delay_Td- 0.5
Factor Kp	1	1	Retain_Gain_coff- 1
Factor_Td	1	1	Retain_Td_coff- 1
Sample Tp		0.1	Retain_Sample_Time- 0.1

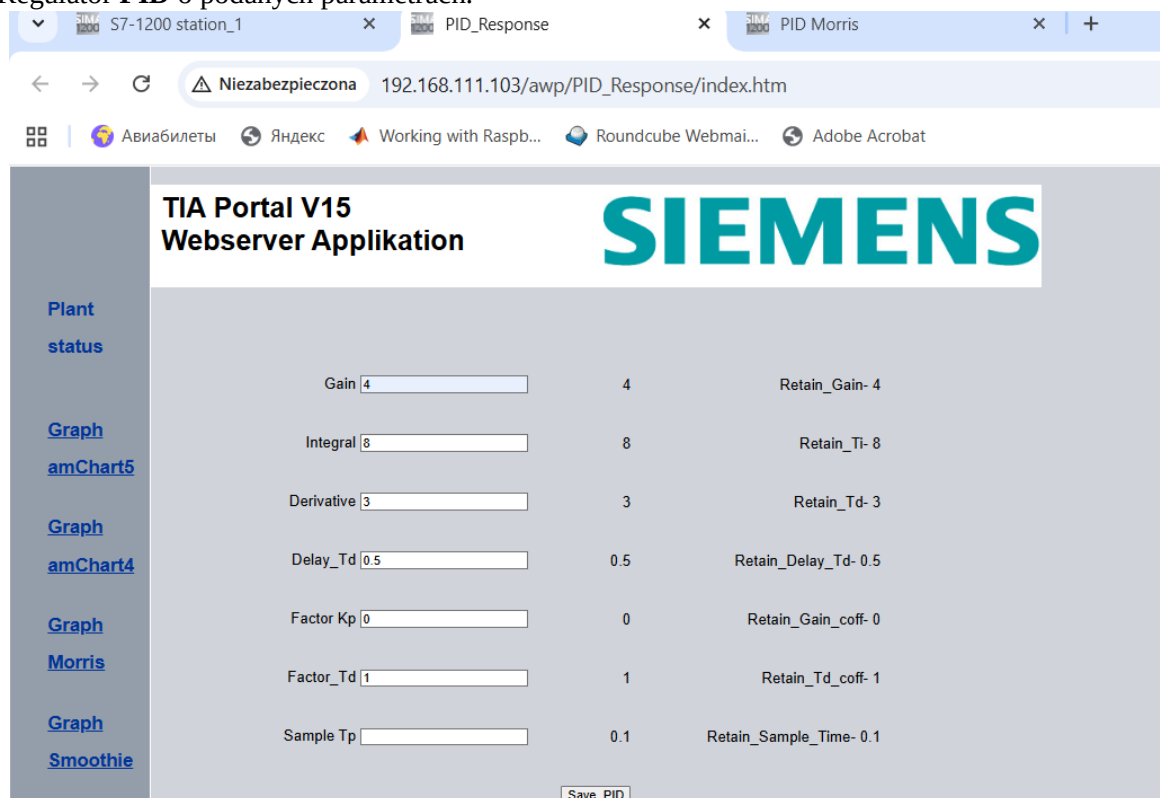
Save_PID

Rys. 30 Strona internetowa parametrów regulatora PID na sterowniku Siemens S7-1200



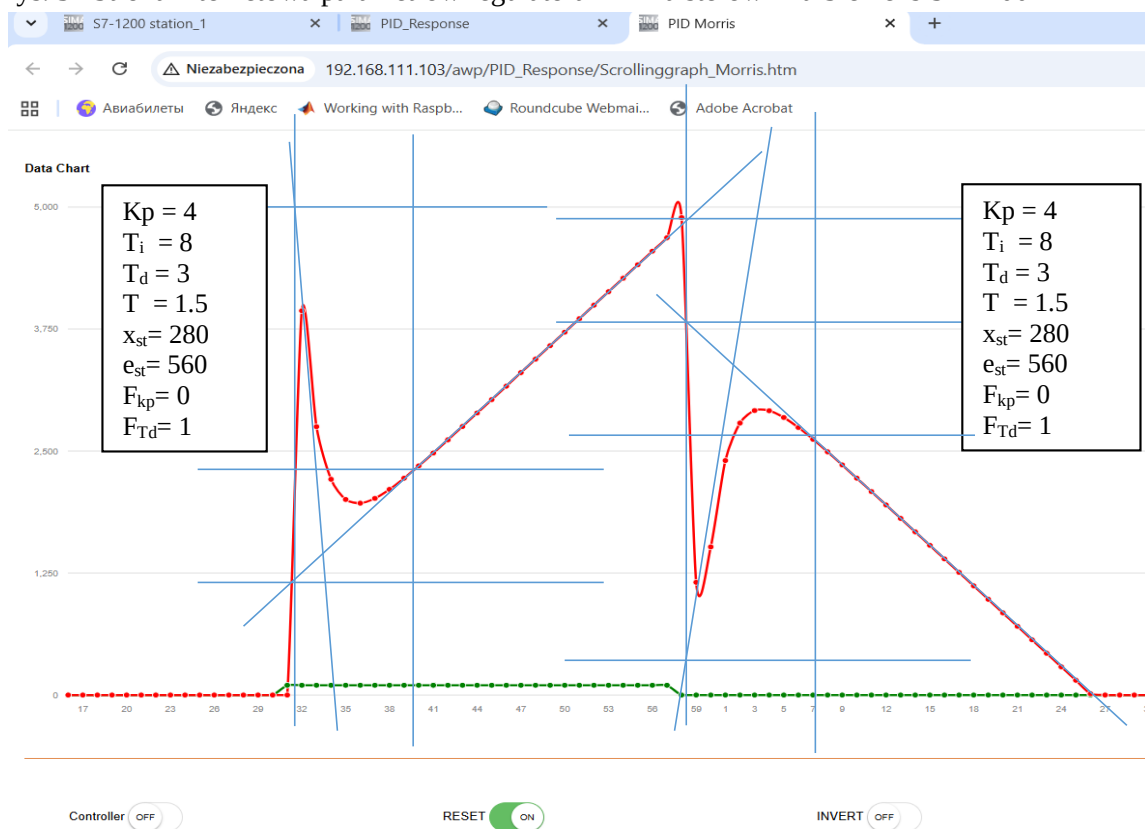
Rys. 31 Strona internetowa odpowiedzi regulatora PID na sterowniku Siemens S7-1200

Regulator **PID** o podanych parametrach.



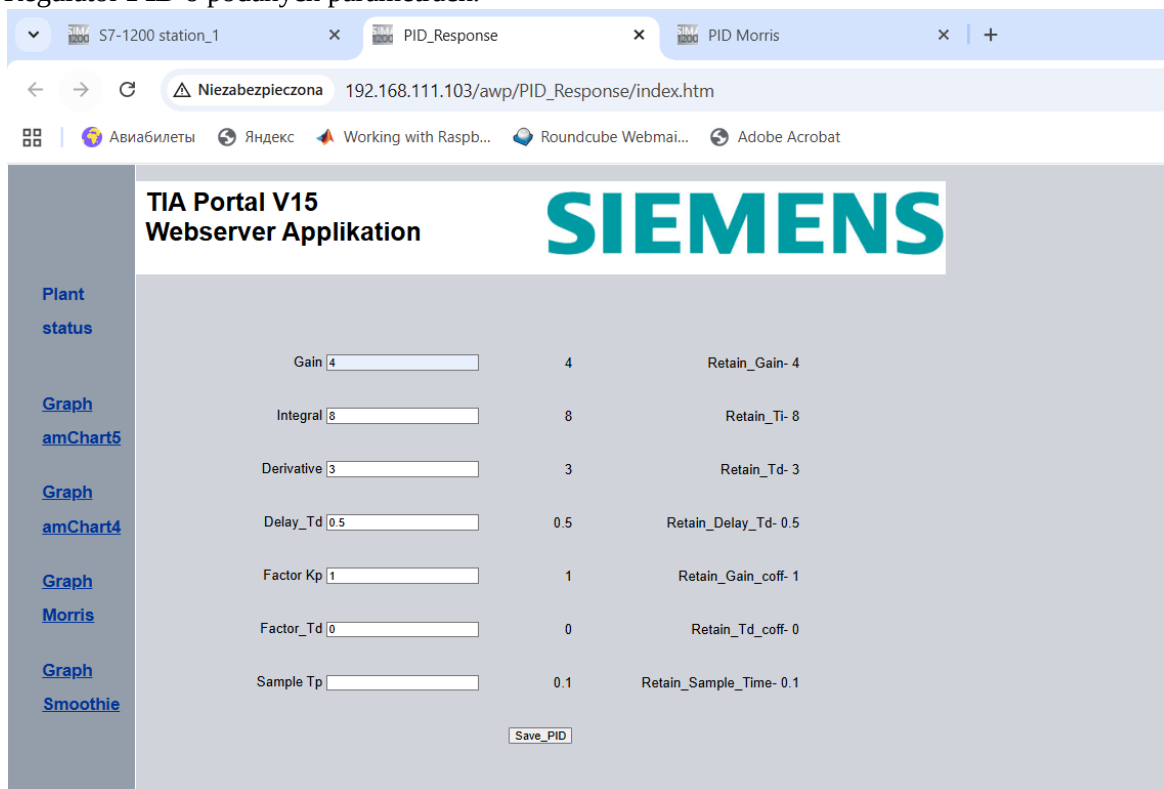
Parameter	Value	Retain
Gain	4	Retain_Gain- 4
Integral	8	Retain_Ti- 8
Derivative	3	Retain_Td- 3
Delay_Td	0.5	Retain_Delay_Td- 0.5
Factor Kp	0	Retain_Gain_coff- 0
Factor_Td	1	Retain_Td_coff- 1
Sample Tp	0.1	Retain_Sample_Time- 0.1

Rys. 32 Strona internetowa parametrów regulatora PID na sterowniku Siemens S7-1200



Rys. 33 Strona internetowa odpowiedzi regulatora PID na sterowniku Siemens S7-1200

Regulator **PID** o podanych parametrach.



TIA Portal V15 Webserver Application

SIEMENS

Plant status

Graph amChart5

Graph amChart4

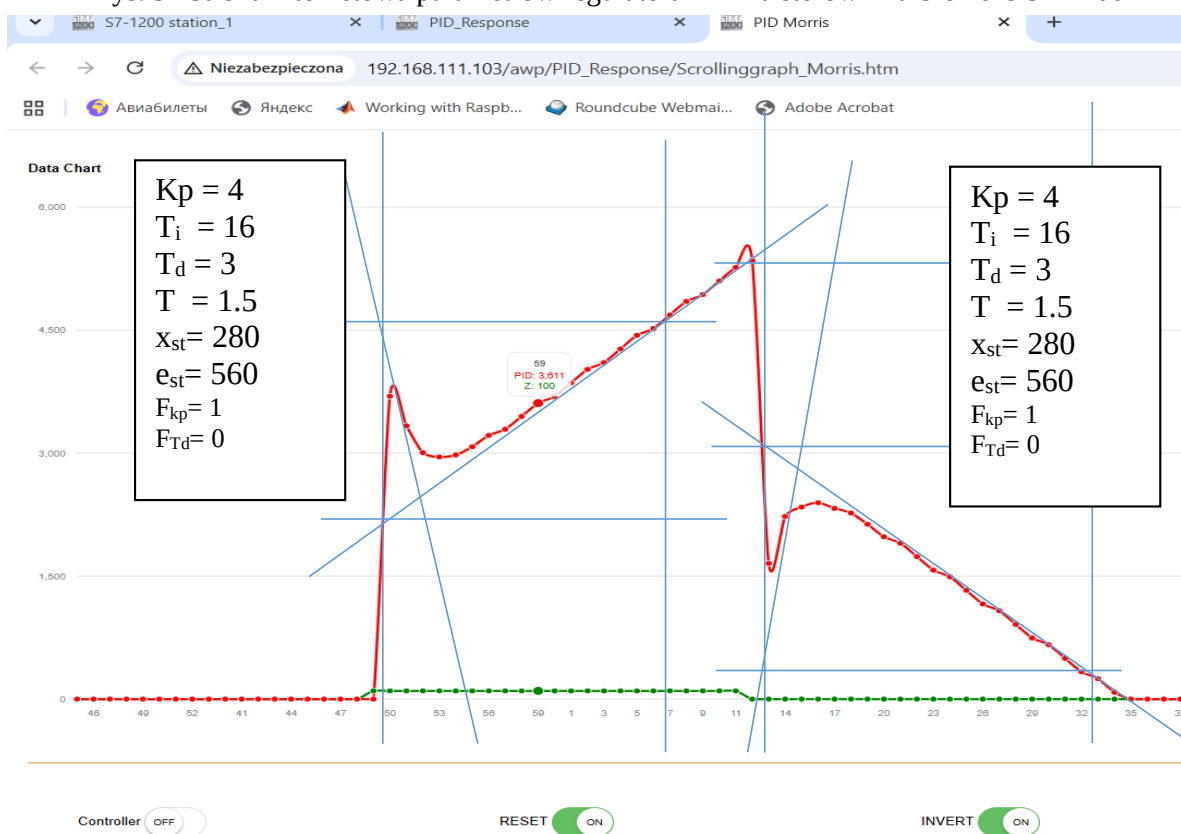
Graph Morris

Graph Smoothie

Gain	4	4	Retain_Gain- 4
Integral	8	8	Retain_Ti- 8
Derivative	3	3	Retain_Td- 3
Delay_Td	0.5	0.5	Retain_Delay_Td- 0.5
Factor Kp	1	1	Retain_Gain_coff- 1
Factor_Td	0	0	Retain_Td_coff- 0
Sample Tp		0.1	Retain_Sample_Time- 0.1

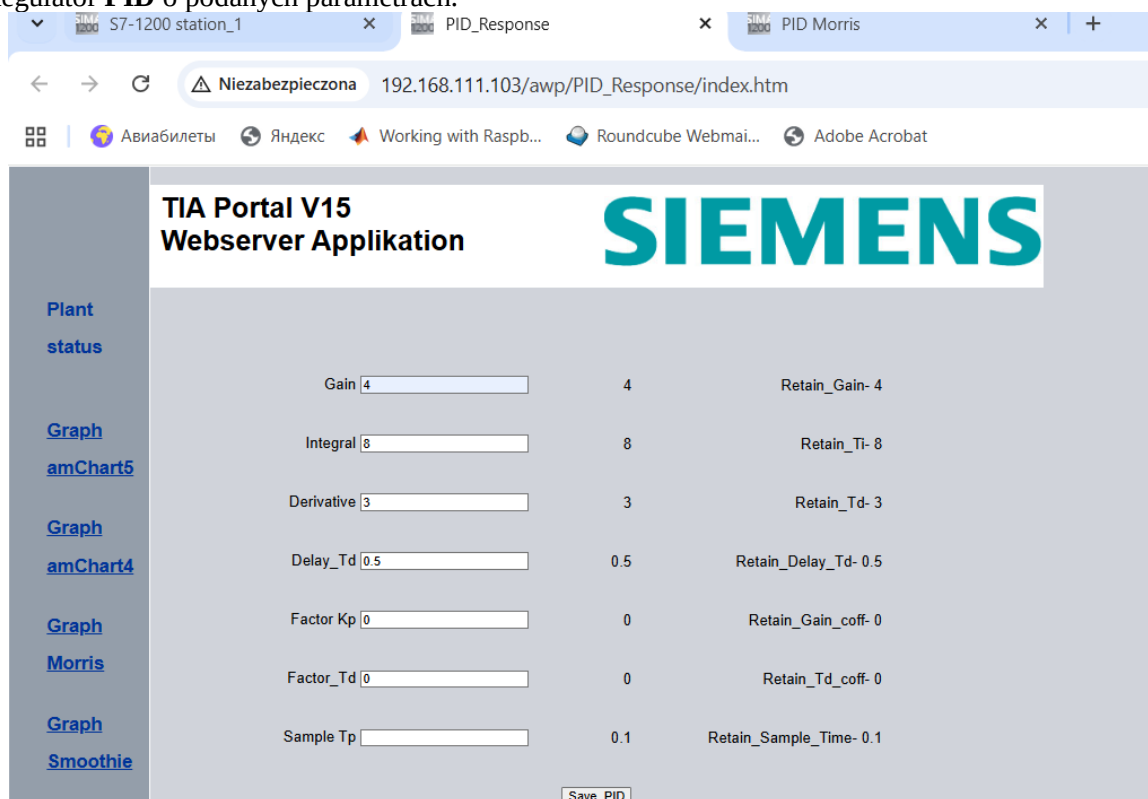
Save_PID

Rys. 34 Strona internetowa parametrów regulatora PID na sterowniku Siemens S7-1200



Rys. 35 Strona internetowa odpowiedzi regulatora PID na sterowniku Siemens S7-1200

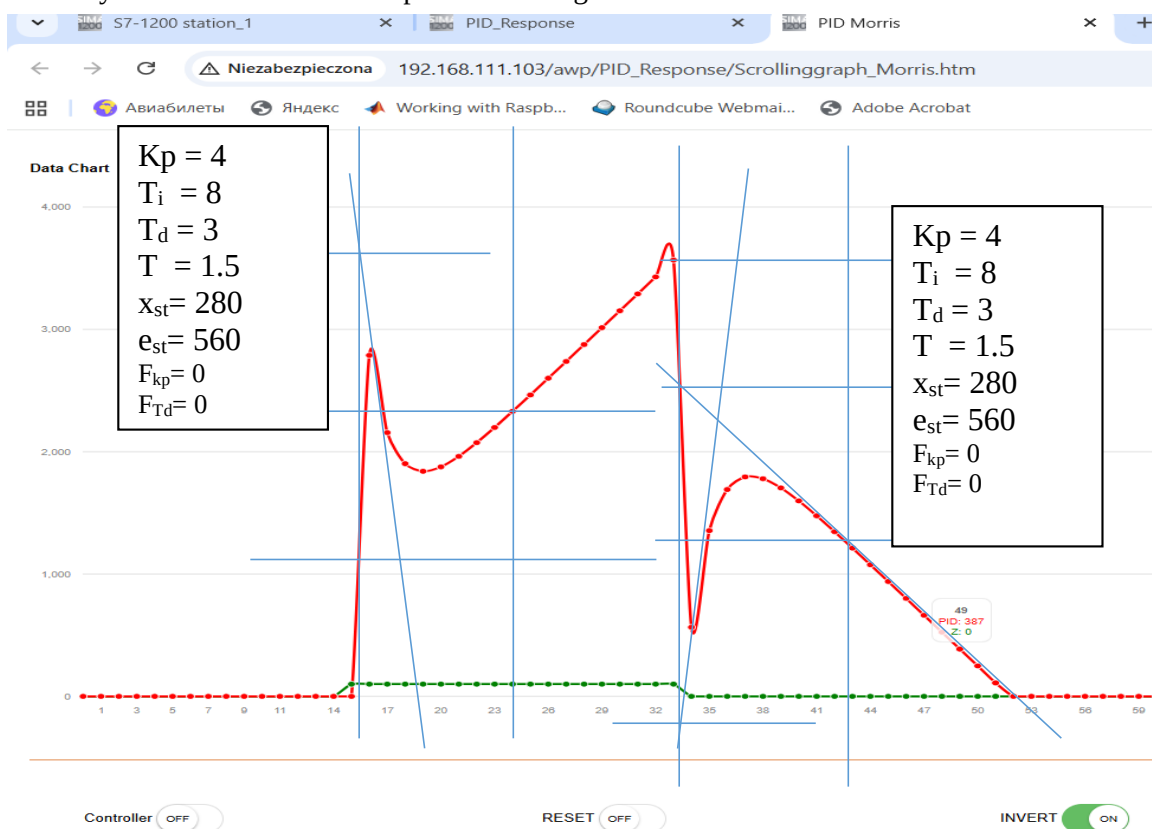
Regulator **PID** o podanych parametrach.



Parameter	Value	Retain
Gain	4	Retain_Gain- 4
Integral	8	Retain_TI- 8
Derivative	3	Retain_Td- 3
Delay_Td	0.5	Retain_Delay_Td- 0.5
Factor Kp	0	Retain_Gain_coff- 0
Factor_Td	0	Retain_Td_coff- 0
Sample Tp	0.1	Retain_Sample_Time- 0.1

Buttons: Save_PID

Rys. 36 Strona internetowa parametrów regulatora PID na sterowniku Siemens S7-1200



Rys. 37 Strona internetowa odpowiedzi regulatora PID na sterowniku Siemens S7-1200



Pytania kontrolne

- Rodzaje i parametry regulatora.
- Charakterystyki skokowe regulatorów PID
- Adresowanie portów analogowych sterownika.
- Zmienne i typy danych w sterownikach.
- Strona internetowa urządzenia.
- Wstawianie i programowanie bloków funkcyjnych.
- Kreślenie odpowiedzi regulatora PID na podstawie jego parametrów.

Literatura

1. Data sheet Controller SIMATIC S7-1200 6ES7214-1AG40-0XB0.
2. Data sheet panel KPT700 Basic o numerze 6AV2 123-2GB03-0AX0.
3. Przewodnik programowania dla S7-1200/S7-1500.
4. Podręcznik programowania dla S7-1200/S7-1500.
5. Podręcznik pierwsze kroki z SIMATIC S7-1200.
6. Programowalny sterownik SIMATIC S7-1200.