

### Ćwiczenie 3. Sterowanie układem lewitacji powietrznej.

#### Cel ćwiczenia i opis stanowiska

Celem ćwiczenia jest konfiguracja programowa i testy działania bazującego na PLC systemu sterowania układem lewitacji powietrznej. Stanowisko laboratoryjne (rys 3.1) składa się ze sterownika SIEMENS SIMATIC S7-1200 oraz przezroczystej rury, w której porusza się piłeczka ping-pong'owa. Na dolnym końcu rury umieszczony jest laserowy czujnik odległości a na górnym końcu wentylator napędzany silnikiem elektrycznym DC. Wentylator zasysa powietrze przez rurę (od dołu ku górze) powodując unoszenie piłeczki. Na rurze umieszczona jest skala metrowa pozwalająca na odczyt pozycji piłeczki. Rura prawie na całym obwodzie osłonięta jest czarnym papierem, aby zmniejszyć wpływ światła z otoczenia na wskazania laserowego czujnika odległości oraz zabezpieczyć osoby realizujące ćwiczenie przed ewentualnymi odbiciami wiązki laserowej. Na przodzie rury znajduje się szczelina pozwalająca na określenie pozycji piłeczki.



Rys. 3.1 Widok stanowiska laboratoryjnego

#### Etapy realizacji ćwiczenia:

1. Utworzenie nowego projektu w TIA PORTAL oraz odpowiednie skonfigurowanie sterownika SIEMENS SIMATIC S7-1200 obejmujące konfigurację sprzętową sterownika, a w szczególności:
  - wejścia analogowego
  - wejścia dyskretnego
  - wyjścia PWM
  - wejścia szybkiego licznika w układzie pomiaru częstotliwości
  - konfigurację panelu operatorskiego
2. Zapoznanie się z sposobem działania laserowego czujnika odległości
3. Realizacja sterowania prędkością obrotową silnika DC (wentylatora) za pomocą sygnału PWM
4. Pomiar prędkości obrotowej silnika
5. Budowa układu stabilizacji pozycji piłeczki z wykorzystaniem regulatora PID (z opcją sterowania ręcznego)
6. Budowa aplikacji SCADA na panelu operatorskim z wizualizacją: pozycji piłeczki, wartości sygnału PWM, prędkości obrotowej wentylatora, parametrów regulatora PID

oraz wartości sterowania ręcznego. Z poziomu panelu operatorskiego ma być możliwa zmiana wartości sterowania ręcznego oraz parametrów regulatora. Na panelu ma się znaleźć przełącznik trybów pracy układu (automatyczny/ręczny) oraz wyłącznik blokujący wysyłanie sygnału PWM do wentylatora.

7. Automatyczny dobór nastaw regulatora PID w oparciu o narzędzia wbudowane w TIA PORTAL.
8. Przygotowanie sprawozdania.

### Konfiguracja stanowiska

Na początku ćwiczenia należy przeprowadzić odpowiednią konfigurację stanowiska w TIA PORTAL. Można do tego wykorzystać projekt stworzony w ćwiczeniu nr 0 (wczytując go z nośnika pamięci USB i po niezbędnych modyfikacjach zapisując pod nową nazwą) lub otworzyć całkowicie nowy projekt w TIA PORTAL i całą konfigurację stworzyć od nowa (nie zalecane ze względu na potrzebny na to czas).

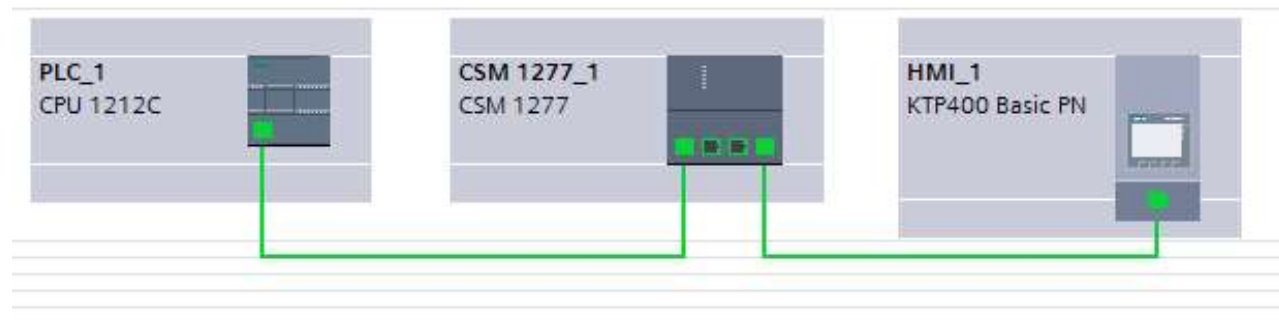


Rys. 3.2 Układ modułów w poszczególnych slotach

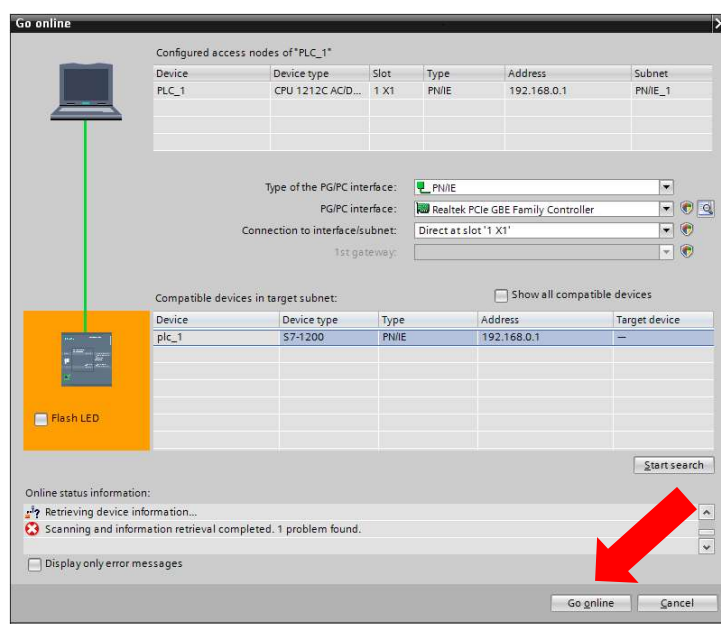
Tabela 3.1 Konfiguracja sprzętowa stanowiska

Slot nr.	Funkcja modułu	Oznaczenie	Numer katalogowy 6ES7 ...
1	Jednostka centralna	CPU 1212C AC/DC/RLY	212-1BE40-0XB0
	Moduł wyjść PWM (mocowany bezpośrednio w slotcie na CPU)	DC 200kHz DQ 4x24VDC	222-1BD30-0XB0
2	Wyjścia analogowe	SM 1232 AQ AQ2x14BIT	232-4HB32-0XB0
	Switch sieciowy	CSM 1277 SIMATIC NET	6GK7-277-1AA10-0AA0
	Panel Operatorski	KTP-400	6AV2 123-2DB03-0AX0

Analogicznie jak w ćwiczeniu 0 dokonać konfiguracji portów sieciowych (rys. 3.3-3.5):



Rys. 3.3 Topologia połączeń sieciowych

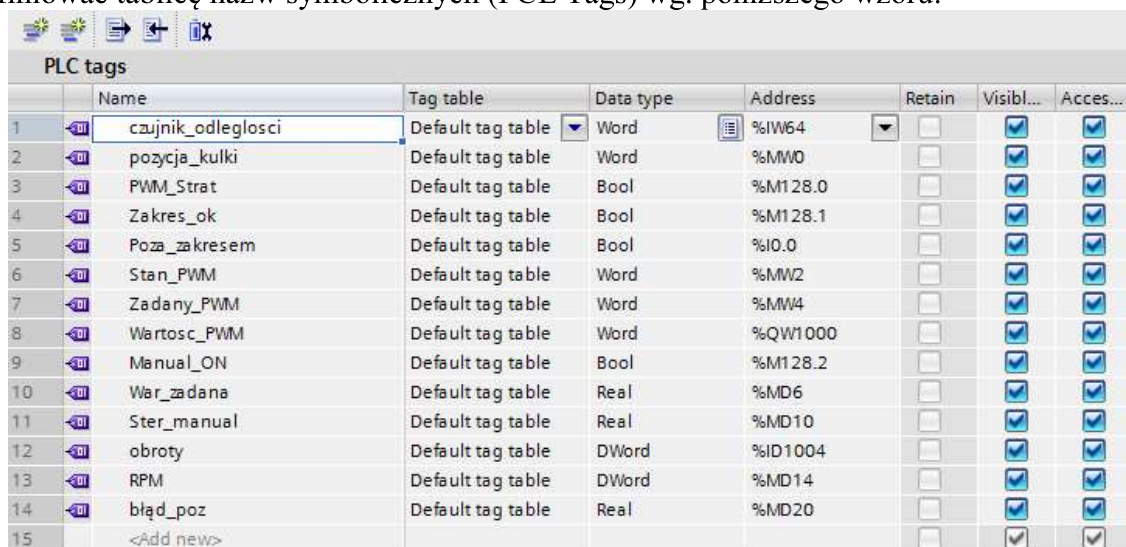


Rys. 3.4 Okno konfigurowania adresów sieciowych



Rys. 3.5 Zatwierdzenie nowego adresu

Zdefiniować tablicę nazw symbolicznych (PCL Tags) wg. poniższego wzoru:



	Name	Tag table	Data type	Address	Retain	Visibl...	Acces...
1	czujnik_odleglosci	Default tag table	Word	%IW64	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	pozycja_kulki	Default tag table	Word	%MW0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	PWM_Strat	Default tag table	Bool	%M128.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Zakres_ok	Default tag table	Bool	%M128.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Pozza_zakresem	Default tag table	Bool	%IO.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Stan_PWM	Default tag table	Word	%MW2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Zadany_PWM	Default tag table	Word	%MW4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Wartosc_PWM	Default tag table	Word	%QW1000	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Manual_ON	Default tag table	Bool	%M128.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	War_zadana	Default tag table	Real	%MD6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Ster_manual	Default tag table	Real	%MD10	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	obroty	Default tag table	DWord	%ID1004	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	RPM	Default tag table	DWord	%MD14	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	bład_poz	Default tag table	Real	%MD20	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	<Add new>				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Rys. 3.6 Tablica nazw symbolicznych

### Laserowy czujnik odległości OADK 25U748/S14C

Użyty w ćwiczeniu czujnik odległości działa w zakresie od 10 do 100 cm. Pomiaru odległości dokonuje w oparciu o pomiar kąta padania na czujnik wiązki laserowej odbitej od przedmiotu, do którego mierzona jest odległość. Dokładność pomiaru oraz jego niepewność w funkcji odległości podane są w nocie katalogowej tego czujnika. Sygnałem wyjściowym z czujnika jest napięcie w zakresie 0-10V. Sygnał ten jest podłączony do wejścia analogowego **AI.0** sterownika (adres **%IW64**). Czujnik posiada również wyjście dyskretne. Jest ono aktywowane (osiąga stan wysoki) jeśli odległość do mierzonego przedmiotu jest mniejsza niż 10cm lub większa niż 100cm. Wyście dyskretne czujnika podłączone jest do wejścia dyskretnego DI0.0 sterownika (adres **%I0.0**).

W oknie programu głównego Main [OB1] należy umieścić elementy języka drabinkowego pozwalające na odczyt obu wymienionych wyżej sygnałów (analogowego i dyskretnego), a następnie na panelu operatorskim umieścić wskaźniki pozycji kulki (pole cyfrowe i bargraf) oraz wskaźnik (np. lampkę sygnalizacyjną) pokazującą, że piłeczka znajduje się poza zakresem pomiarowym czujnika).

Jeśli powyższe czynności zostały wykonane, to należy zwrócić się do opiekuna o przekonfigurowanie stanowiska do opcji ręcznej zmiany położenia piłeczki (usunięcie głowicy z wentylatorem oraz umieszczenie w rurze piłeczki przymocowanej na lince. Następnie - trzymając w ręce linkę - należy ręcznie zmieniać pozycję piłeczki w całym zakresie ruchu z krokiem 5cm. Za pozycję piłeczki należy przyjąć pozycję jej dolnej krawędzi (najniższy punkt). W każdej z pozycji należy zanotować odczytaną i wyświetloną na panelu operatorskim pozycję piłeczki. Pomiaru należy wykonać dwukrotnie (raz przy ruchu od dołu do góry, drugi raz przy ruchu od góry ku dołowi). Na podstawie wykonanych pomiarów należy przygotować do sprawozdania odpowiednie wykresy a ich przebieg skomentować odnosząc się do parametrów czujnika umieszczonych w nocie katalogowej. W sprawozdaniu należy również umieścić zrzuty ekranu obrazujące stworzony panel operatorski oraz program w języku drabinkowym.

Po wykonaniu tej części należy poprosić opiekuna o ponowne przekonfigurowanie stanowiska do układu automatycznego sterowania pozycją piłeczki.

**Sterowanie prędkością obrotową wentylatora DC oraz pomiar jego prędkości obrotowej.**

Zagadnienia realizowane w tej części ćwiczenia są bardzo szczegółowo opisane w rozdziale 9 książki J.Kwaśniewskiego :”Sterowniki SIMATIC S7-1200 w praktyce inżynierskiej.”

Przypisanie fizycznych wyjść i wejść do poszczególnych generatorów PTO/PWM oraz liczników HSC jest stałe i nie można go zmieniać programowo.

Opis	Domyślne przypisanie wyjść	Impuls	Kierunek
PTO 1	Wyjścia CPU	Q0.0	Q0.1
	Wyjścia płytki sygnałowej	Q4.0	Q4.1
PWM 1	Wyjścia CPU	Q0.0	–
	Wyjścia płytki sygnałowej	Q4.0	–
PTO 2	Wyjścia CPU	Q0.2	Q0.3
	Wyjścia płytki sygnałowej	Q4.2	Q4.3
PWM 2	Wyjścia CPU	Q0.2	–
	Wyjścia płytki sygnałowej	Q4.2	–

**Rys. 3.7 Powiązanie wyjść fizycznych z poszczególnymi generatorami PTO/PWM (zaznaczono użyte w ćwiczeniu wyjście)**

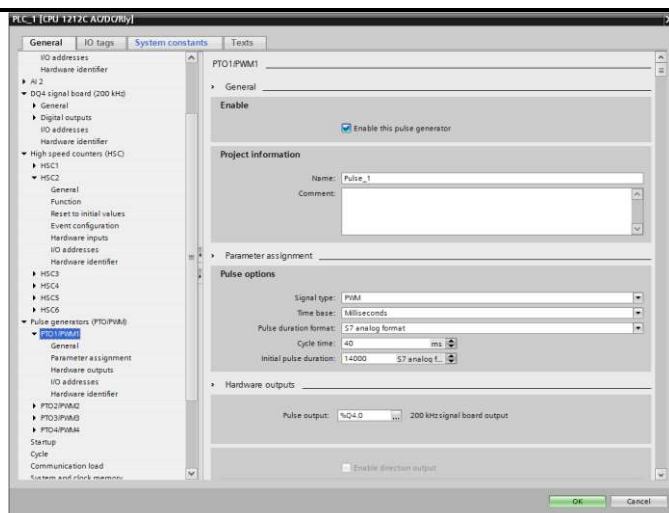
Ze względu na wykorzystanie wejścia dyskretnego DI0.0 do obsługi sygnału błędu pomiaru z czujnika laserowego pomiar prędkości obrotowej pomiar prędkości obrotowej wentylatora zrealizowano w oparciu o wejście dyskretne DI0.2 i szybki licznik HSC2.

HSC		Wejścia CPU (0.x)								Wejścia SB (4.x)			
		0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3
HSC 1	1-fazowe	C	[d]		[R]					C	[d]		[R]
	2-fazowe	CU	CD		[R]					CU	CD		[R]
	AB-kwadraturowe	A	B		[R]					A	B		[R]
HSC 2	1-fazowe		[R]	C	[d]						[R]	C	[d]
	2-fazowe		[R]	CU	CD						[R]	CU	CD
	AB-kwadraturowe		[R]	A							[R]	A	B
HSC 3	1-fazowe					C	[d]		[R]				
	2-fazowe					CU	CD		[R]				
	AB-kwadraturowe					A	B		[R]				
HSC 4	1-fazowe						[R]	C	[d]				
	2-fazowe						[R]	CU	CD				
	AB-kwadraturowe						[R]	A	B				
HSC 5	1-fazowe									C	[d]		[R]
	2-fazowe									CU	CD		[R]
	AB-kwadraturowe									A	B		[R]
HSC 6	1-fazowe										[R]	C	[d]
	2-fazowe										[R]	CU	CD
	AB-kwadraturowe										[R]	A	B

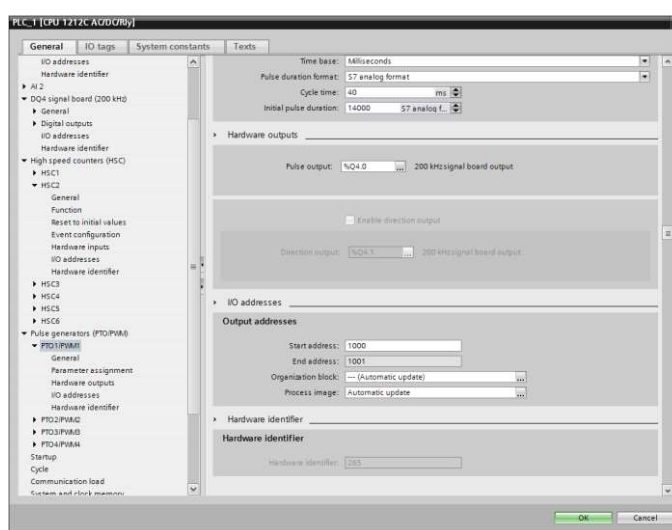
**Rys. 3.8 Powiązanie fizycznych wejść z szybkimi licznikami (zaznaczono użyte w ćwiczeniu wejście)**

Sterowanie wentylatora podłączone jest (poprzez stopień mocy) do wyjścia PTO1/PWM1 sterownika. Na samym początku należy to wyjście odpowiednio skonfigurować. W tym celu w oknie drzewa projektu należy kliknąć prawym klawiszem myszy na zakładkę jednostki centralnej (PLC[CPU]), kliknąć opcję **Properties** i w otwartym po lewej stronie oknie wybrać zakładkę **Pulse Generators (PTO/PWM)**. W tym miejscu należy skonfigurować PTO1/PWM1 w tryb wyjścia PWM z parametrami pokazanymi na rys. 3.9 i 3.10 (typ sygnału: **PWM**, podstawa czasu: **milisekundy**, format wartości pulsu: **S7 analog format**; okres cyklu **40ms**).



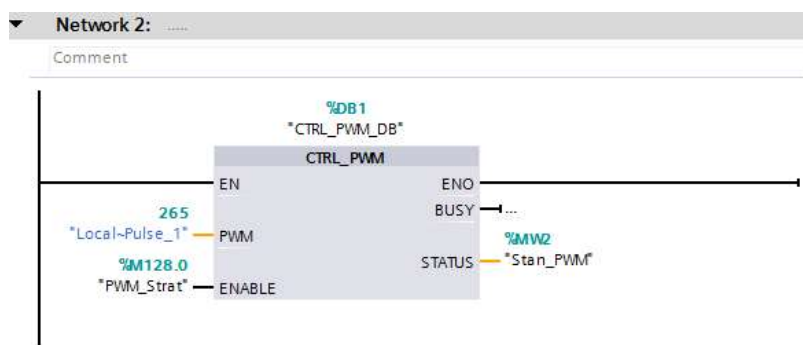


Rys. 3.9 Konfiguracja wyjścia PWM cz.1



Rys. 3.10 Konfiguracja wyjścia PWM cz.2

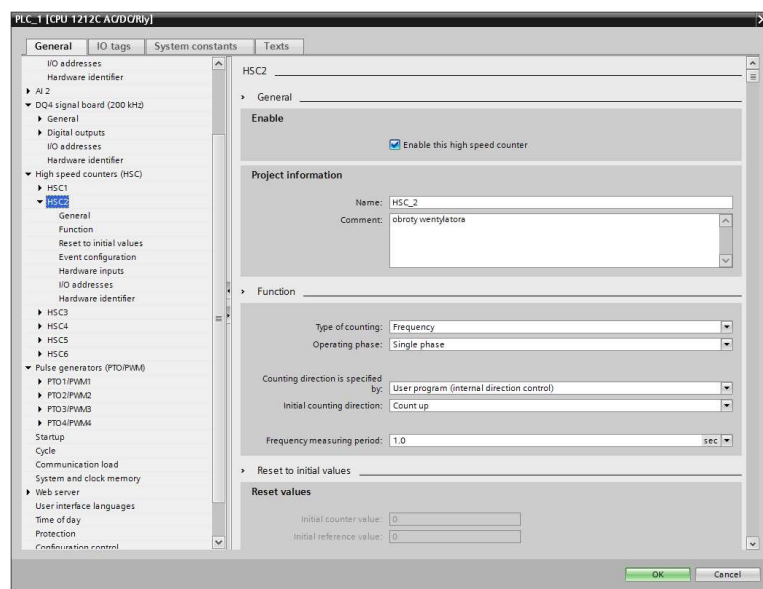
W programie głównym (OB1) należy umieścić blok kontroli wyjścia PWM.



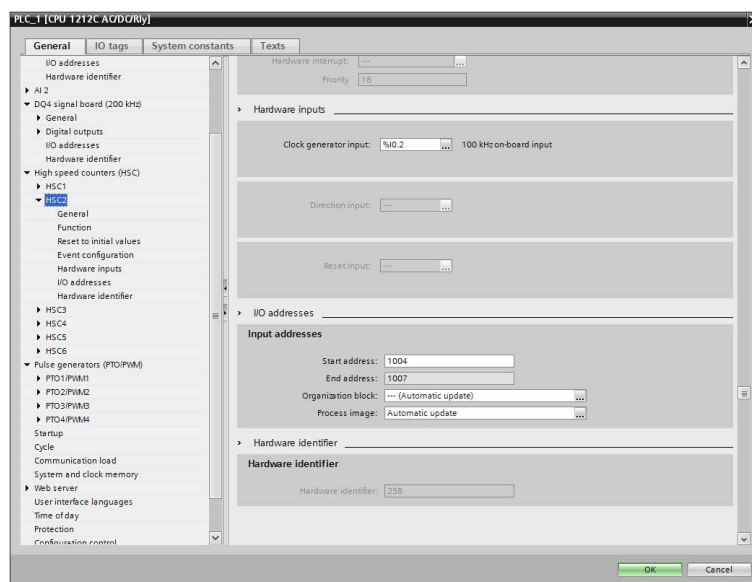
Rys. 3.11 Blok kontroli wyjścia PWM

Wejście „Enable” bloku „CTRL\_PWM\_DB” należy połączyć ze zmienną wewnętrzną „PWM\_Start”, której wartość powinna być ustalana przełącznikiem na panelu operatorskim. Pozwoli to na wyłączenie wentylatora w dowolnym momencie niezależnie od działania reszty programu.

Konfigurację szybkiego licznika HSC należy przeprowadzić analogicznie jak konfigurację generatora PWM. W tym celu w oknie drzewa projektu należy kliknąć prawym klawiszem myszy na zakładkę jednostki centralnej (PLC[CPU]), kliknąć opcję **Properties** i w otwartym po lewej stronie oknie wybrać zakładkę **High Speed Counters (HSC)**. Następnie należy wprowadzić parametry licznika HSC2: typ zliczania: **częstotliwość**, tryb pracy: **jedna faza**, kierunek zliczania: **wybierany programowo**, początkowy kierunek zliczania: **do góry**, okres zliczania: **1 sek.** (rys 3.12 i 3.13).



Rys. 3.12 Konfiguracja szybkiego licznika HSC2 cz.1



Rys. 3.13 Konfiguracja szybkiego licznika HSC2 cz.2

Do poprawnej współpracy szybkiego licznika HSC2 z sygnałem pochodzącym od wentylatora użytego w ćwiczeniu niezbędna jest zmiana domyślnej filtracji sygnału na wejściu dyskretnym DI0.2 z wartości 6.4 ms na 1.6 ms. Konfigurację przeprowadza się w drzewie projektu ((PLC[CPU])), kliknąć opcję **Properties** i w otwartym po lewej stronie oknie wybrać zakładkę **DI8/DQ6 Digital Inputs**, następnie **Channel2**, i zmienić wartość parametru **Input Filters** z 6.4 ms na 1.6 ms.

Po odpowiednim skonfigurowaniu obsługi sygnałów sterowania i pomiaru prędkości wentylatora należy sprawdzić poprawność ich działania. Aby to zrobić trzeba na panelu operatorskim umieścić pola cyfrowe do zadawania wartości sterowania PWM oraz odczytu prędkości obrotowej wentylatora. Początkowo można bezpośrednio odczytywać częstotliwość sygnału pojawiającego się na wejściu DI0.2 (wejście licznika HSC2) . Jednak po sprawdzeniu poprawności odczytów należy je przeliczyć (poprzez odpowiedni blok w programie głównym) na „obroty na minutę” (RPM). **Przy przeliczaniu trzeba uwzględnić fakt, że wentylator podaje dwa impulsy na jeden obrót wirnika!**

Mając możliwość zadawania sterowania PWM oraz odczytu prędkości obrotowej wentylatora (RPM) należy przebadać zachowanie się całego układu sterowania tj. odnaleźć prędkość obrotową wentylatora (i powiązane z nią sterowanie PWM). przy której piłeczka zaczyna podnosić się do góry, oraz prędkość przy której piłeczka zaczyna opadać. Badając układ należy zwrócić uwagę na następujące cechy układu sterowania:

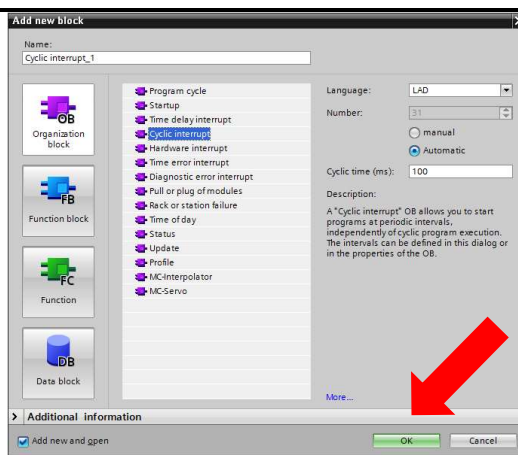
- minimalna wartość sterowania PWM, przy której zaczyna obracać się wentylator,
- maksymalna prędkość obrotowa wentylatora,
- histereza między wartościami sterowania (i prędkości obrotowej wentylatora) powodującymi unoszenie się i opadanie piłeczki.

Obserwacje i wnioski z tej części ćwiczenia należy umieścić w sprawozdaniu.

### **Zastosowanie regulatora PID.**

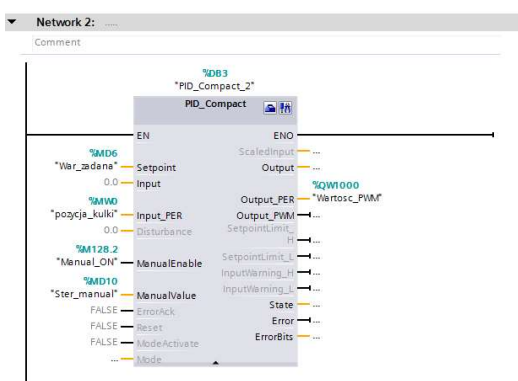
Kolejnym etapem ćwiczenia jest zastosowanie regulatora PID (z opcją sterowania ręcznego) do stabilizacji pozycji piłeczki. Regulator PID umieszczamy w bloku przerwań cyklicznych [OB30]. Aby utworzyć blok przerwań cyklicznych należy w drzewie projektu wybrać kolejno **PLC\_1[CPU1212C AC/DC/Rly]** -> **Program blocks** -> **Add new block** i w oknie, które się otworzy wybrać **Organization block** -> **Cyclic interrupt**. Dla tworzonego bloku należy pozostawić domyślny parametr okresu wyzwalania czyli **100 ms** (rys. 3.14).





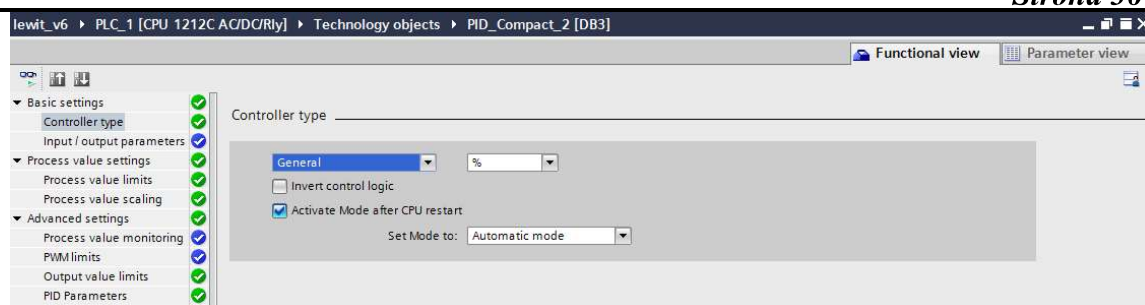
Rys. 3.14 Dodawanie i konfigurowanie bloku przerw cyklicznych

Po stworzeniu bloku przerw cyklicznych należy w nim umieścić regulator PID. Przypisanie nazw symbolicznych do poszczególnych wejść i wyjść regulatora pokazano na rys. 3.15.

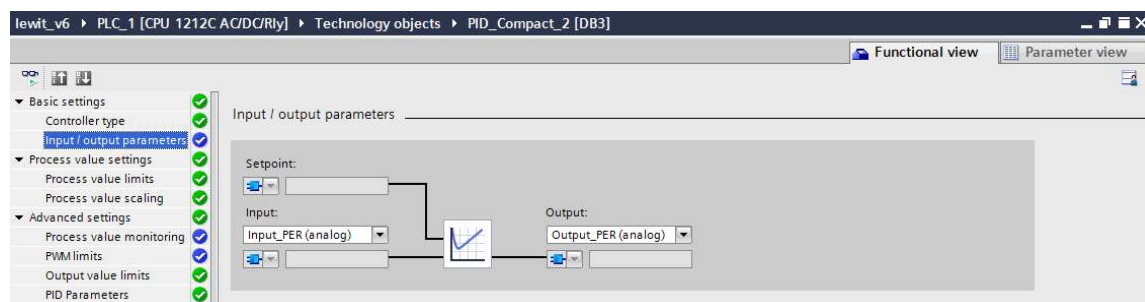


Rys. 3.15 Konfiguracja regulatora PID w bloku przerw cyklicznych OB30

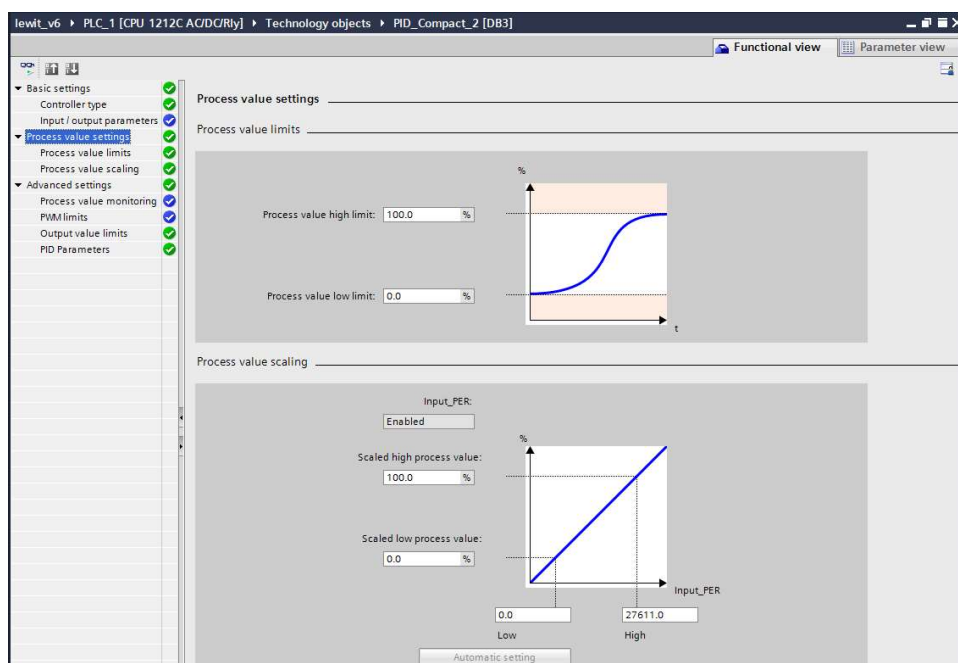
Należy również odpowiednio skonfigurować sam regulator PID (rys. 3.16). Wejście i wyjście z tego regulatora powinno być typu „PER” (rys. 3.17) z odpowiednim skalowaniem (rys. 3.18) oraz ograniczoną wartością wyjściową (rys. 3.19). Na rysunku 3.19 pokazano również wstępne wartości nastaw regulatora PID. Ograniczenie wartości wyjściowej wynikające z jednej strony z minimalnego sterowania PWM powodującego obrót wentylatora oraz z minimalnej prędkości obrotowej powodującej unoszenie się piłeczki a z drugiej strony z ograniczenia prędkości obrotowej aby (przy zbyt dużym sterowaniu) piłeczka zbyt szybko nie wyszła poza górny zakres pomiaru czujnika odległości. Eksperymentalnie ustalono, że górnym ograniczeniem sterowania powinna być jego wartość o ok. 20% przekraczająca sterowanie powodujące początek unoszenia się piłeczki do góry. Warto zaznaczyć, że w przypadku wejść typu „PER” regulator dokonuje wewnętrznego przeliczenia sygnału na skalę procentową (od 0 do 100%). **W takiej skali należy również zadawać regulatorowi wartość sterowania ręcznego.** Wyjście regulatora należy przypisać do zmiennej symbolicznej „Wartosc\_PWM” (adres %QW1000) będącej bezpośrednią wartością przekazywaną na wyjście PWM1. **Należy również usunąć z programu ręczne nadawanie wartości „Wartosc\_PWM” ponieważ może to skutkować nadpisywaniem wartości wyliczonej przez regulator PID.**



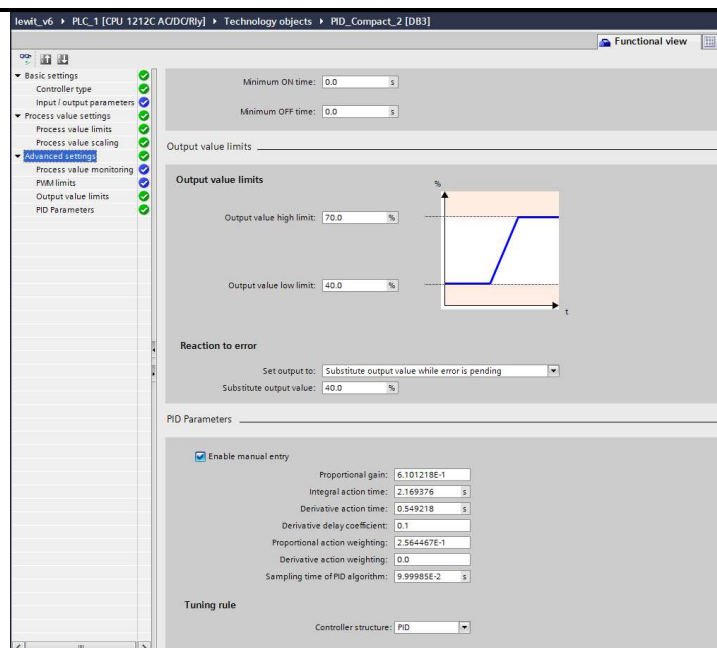
Rys. 3.16 Wybór typu regulatora PID



Rys. 3.17 Definiowanie rodzaju wejść i wyjść regulatora PID

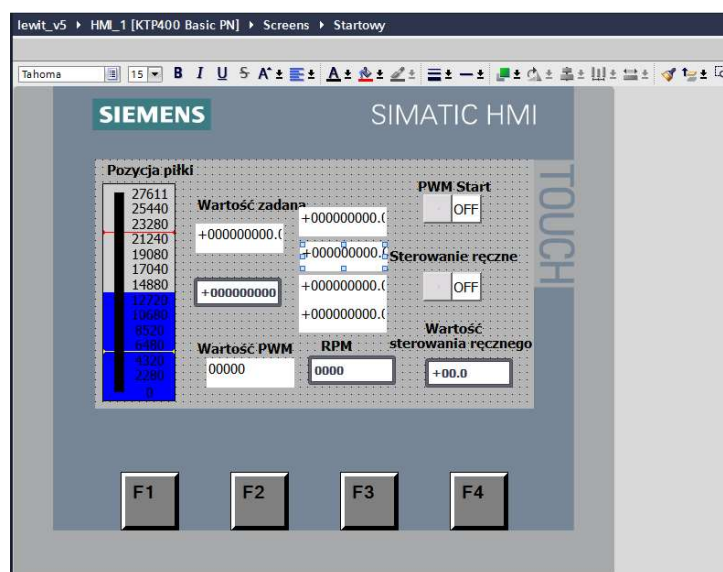


Rys. 3.18 Skalowanie wartości wejścia regulatora PID



Rys. 3.19 Ograniczenie zakresu wartości wyjściowej oraz wstępne nastawy regulatora PID

Na panelu operatorskim należy umieścić pola do ustawiania wartości zadanej, parametrów regulatora, wartości sterowania ręcznego oraz wizualizacji aktualnego położenia piłeczki, prędkości obrotowej wentylatora i uchybu sterowania (wymaga to zastosowania również odpowiedniego bloku w programie głównym). Widok przykładowego panelu operatorskiego pokazano na rys. 3.20.



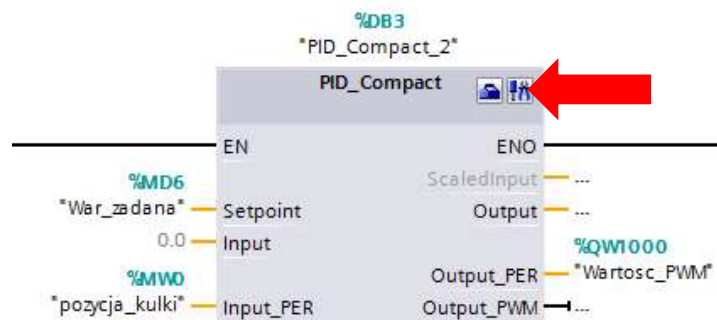
Rys. 3.20 Przykładowy panel operatorski SCADA dla układu sterowania lewitacją powietrzną

Na tym etapie należy przeprowadzić szereg testów funkcjonalnych zbudowanego układu regulacji. Zmiany parametrów należy dokonywać z panelu operatorskiego. Zmieniając skokowo wartość zadaną należy obserwować zmianę pozycji piłeczki oraz stabilność utrzymywania pozycji (wartość uchybu). Po przejściu na sterowanie ręczne należy powtórzyć procedurę

wyszukiwania wartości sterowania, przy którym piłeczka zaczyna się podnosić/zaczyna opadać/nie zmienia pozycji. Tym razem wartość sterowania będzie określona w skali od 0 do 100%. Wnioski z obserwacji należy umieścić w sprawozdaniu.

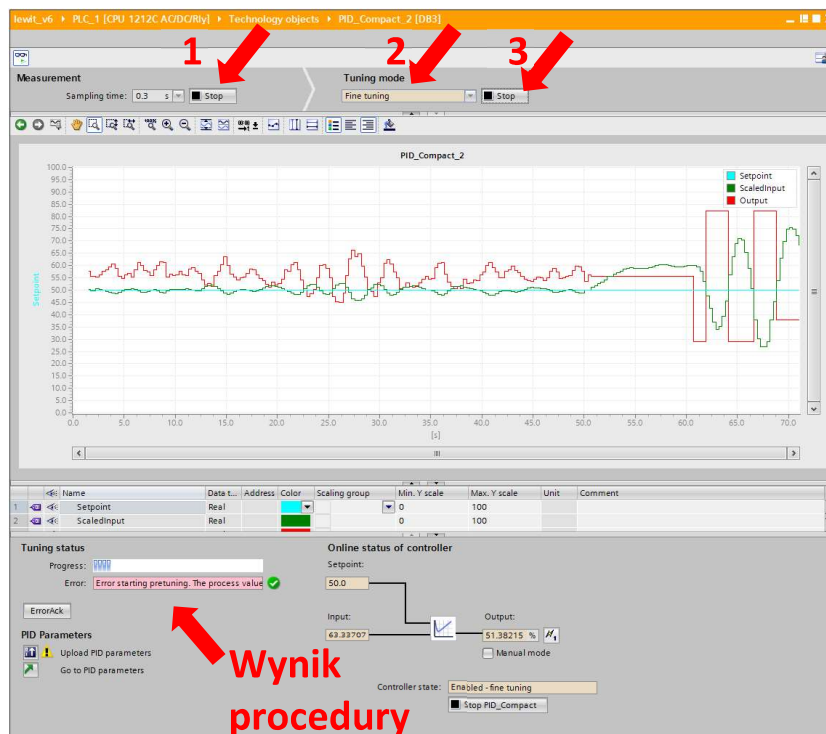
### Automatyczny dobór nastaw regulatora PID

Używany w ćwiczeniu sterownik PLC pozwala na stosowanie procedury automatycznego doboru nastaw regulatora PID. W tym celu na bloku „PID\_compact” należy kliknąć odpowiedni symbol (rys. 3.21).



Rys. 3.21 Uruchomienie procedury samostrojzenia regulatora PID

W wyniku tego działania otworzy się okno procedury samostrojzenia (rys. 3.22). Są do dyspozycji dwie procedury: wstępna (Pretuning) oraz dokładana (Fine tuning). **W dokumentacji sterownika należy sprawdzić kiedy, której z nich można użyć!** Kolejność działań jest następująca: włączamy monitorowanie parametrów procesu (1), wybieramy rodzaj procedury (2), uruchamiamy procedurę (3).



Rys. 3.22 Automatyczny dobór nastaw regulatora PID

Przebieg procedury automatycznego doboru nastaw regulatora PID należy udokumentować i umieścić w sprawozdaniu, a efekt działania nowych nastaw regulatora przetestować tak samo jak w przypadku nastaw wstępnych i opisać to w sprawozdaniu.

**Zakres wiadomości na kolokwium.**

Charakterystyka sterownika Siemens Simatic S7-1200 (w konfiguracji używanej w ćwiczeniu) od strony sygnałów wejściowych i wyjściowych. Podstawy programowania w języku drabinkowym, elementy oprogramowania PLC znormalizowane: funkcje (FC) i bloki funkcyjne (FB) oraz charakterystyczne dla systemu SIEMENS: bloki organizacyjne (OB), Bloki Danych (DB) i Typy Danych PLC. Zasada sterowania silnikami prądu stałego za pomocą sygnału PWM. Metoda pomiaru prędkości obrotowej (oraz kierunku obrotu) z wykorzystaniem wejść szybkich liczników. Zasada działania laserowego czujnika odległości OADK 25U748/S14C.

**Sprawozdanie.**

Sprawozdanie powinno zawierać opis funkcjonalny stanowiska ćwiczeniowego – użyte elementy i sposób ich połączenia, skomentowane programy w języku drabinkowym realizujące poszczególne etapy ćwiczenia, wykresy pomiarowe czujnika odległości i ich odniesienie do danych katalogowych tego czujnika, widoki panelu operatorskiego na poszczególnych etapach realizacji ćwiczenia. Należy też opisać własne wnioski wypracowane podczas ręcznego i automatycznego sterowania pozycją piłeczki oraz przebieg i efekty działania procedury automatycznego doboru nastaw regulatora PID.

**Literatura i dokumentacja techniczna.**

J.Kwaśniewski :”Sterowniki SIMATIC S7-1200 w praktyce inżynierskiej.”  
S7-1200 Easy Book Manual 04/2012