

1. Celem zadania drugiego jest przeprowadzenie badań symulacyjnych układu regulacji obiektu $G(s)$, z którym zapoznaliśmy się w zadaniu pierwszym, i regulatorem cyfrowym PID, którego parametry zostaną wyznaczone na podstawie parametrów obiektu wyznaczonych w poprzednim zadaniu.

1a) Dobór nastaw K_p , T_d , T_i cyfrowego regulatora PID.

Nastawy cyfrowego regulatora PID są w dużym stopniu uzależnione od doboru czasu próbkowania T_p , jaki został wyznaczony dla naszego obiektu. W zależności od jego wielkości mamy następujący podział:

- Jeżeli wartość T_p przyjmuje małe wartości, to dobór nastaw dla naszego regulatora następuje w taki sam sposób jak dla układu regulacji z zastosowaniem analogowego regulatora PID.
- W przeciwnym wypadku, kiedy T_p uzyskało wysoką wartość na początku i końcu regulatora dodajemy wartość $T_p/2$, po czym postępujemy identycznie w doborze nastaw jak dla zwykłego analogowego regulatora.

Dla naszego obiektu ciągłego:

$$G(s) = \frac{1}{27s^2 + 12s + 1} \circ e^{-4s}$$

uzyskaliśmy następujący obiekt dyskretny:

$$G(z) = \frac{0.0556 + 0.04136z^{-1}}{1 - 1.314z^{-1} + 0.4111z^{-2}} \circ z^{-3},$$

przy czasie próbkowania $T_p=2$.

Taka wartość czasu próbkowania T_p pozwala nam na dobór parametrów cyfrowego regulatora PID jak dla zwykłego analogowego regulatora.

Dobór nastaw obiektu można przeprowadzić na kilka bardzo prostych sposobów:

- Pierwsza z metod, to doprowadzenie obiektu w układzie regulacji z regulatorem proporcjonalnym (P) do oscylacji ustalonych. Wzmocnienie regulatora, przy którym nastąpiły oscylacje, jak i również ich okres posłużą nam do doboru nastaw naszego regulatora.

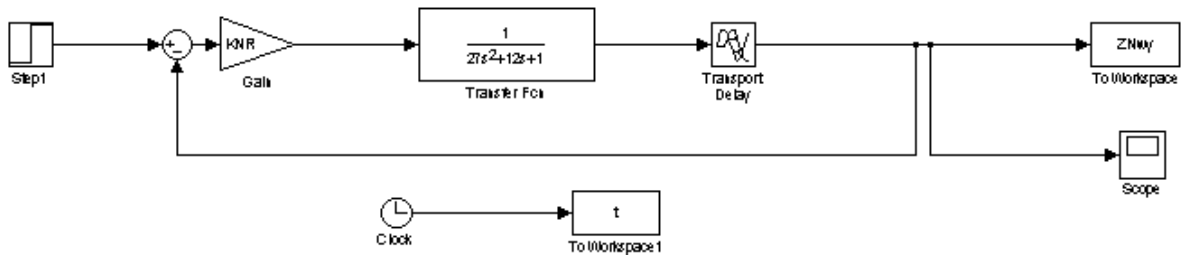
$$K_p = 0.3 \circ K_{NR} \quad (K_{NR} \text{ wartość wzmocnienia regulatora typu P})$$

$$T_i = 0.5 \circ T_{OSC} \quad (T_{OSC} \text{ okres oscylacji obiektu})$$

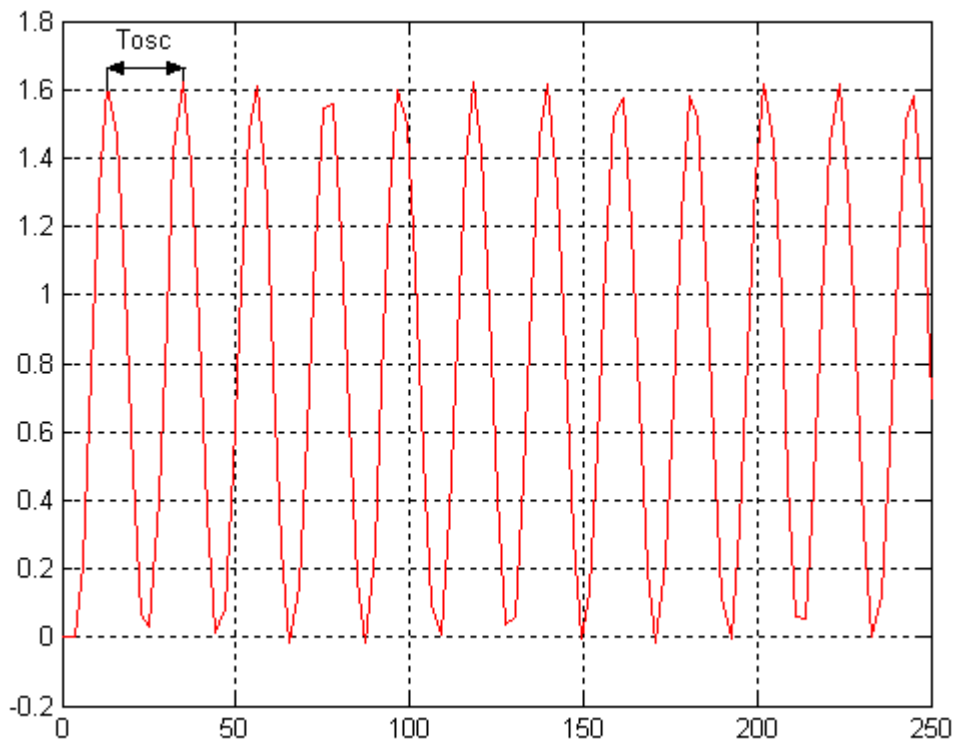
$$T_d = 0.12 \circ T_{OSC} \quad (T_{OSC} \text{ okres oscylacji obiektu})$$

Powyższa metoda nazywana jest metodą Zieglera – Nicholsa. Jej zaletami są: dobór właściwości obiektu w punkcie pracy oraz prostota wykonania i brak potrzeby wyznaczania modelu obiektu. Wadą natomiast tej metody jest długotrwałe wymuszenie oscylacji ustalonych obiektu, co może doprowadzić do przeciągłego czasu trwania eksperymentu lub braku możliwości przeprowadzenia go w warunkach przemysłowych.

Struktura układu doboru parametrów regulatora PID dla metody Z-N:



Podstawiając za wartość K_{NR} wielkość 4.03 uzyskaliśmy dla naszego obiektu oscylacje ustalone, które prezentują się następująco:



Czas oscylacji $T_{OSC} = 21.52$

Po podstawieniu do wcześniejszych wzorów uzyskanych parametrów, otrzymaliśmy następujące parametry nastaw dla naszego regulatora:

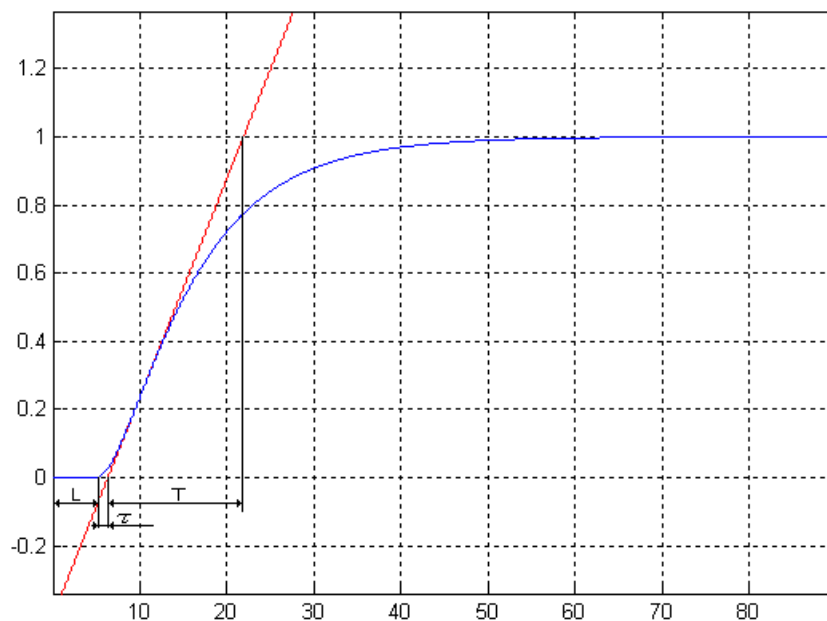
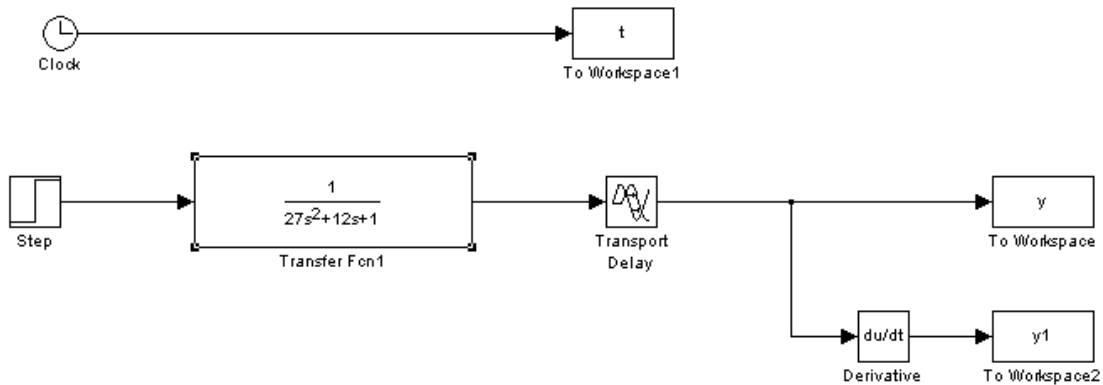
$$K_p = 0.3 \circ K_{NR} = 1.209$$

$$T_i = 0.5 \circ T_{OSC} = 10.76$$

$$T_d = 0.12 \circ T_{OSC} = 2.582$$

- Kolejne metody opierają się na odpowiedzi na wartość zadaną podaną na wejście obiektu $G(s)$. W odróżnieniu od poprzedniej metody, obiekt nie jest badany w układzie zamkniętym ze sprzężeniem zwrotnym, lecz pracuje on w symulacji jako układ otwarty, na który podaje się skok jednostkowy. Odpowiedź naszego układu pozwala nam wyznaczyć zastępczą stałą czasową obiektu T i zastępcze opóźnienie τ_c , dzięki którym możemy w prosty sposób wyznaczyć parametry nastaw regulatora PID.

Odpowiedź obiektu $G(s)$ na skok jednostkowy:



Dzięki poprowadzonej stycznej do odpowiedzi układu na skok jednostkowy możemy tak, jak to zostało przedstawione na wcześniejszym przebiegu czasowym wyznaczyć niezbędne nam parametry:

$$K_{OB} = 1$$

$$T = 15.576$$

$$\tau_c = 6,358$$

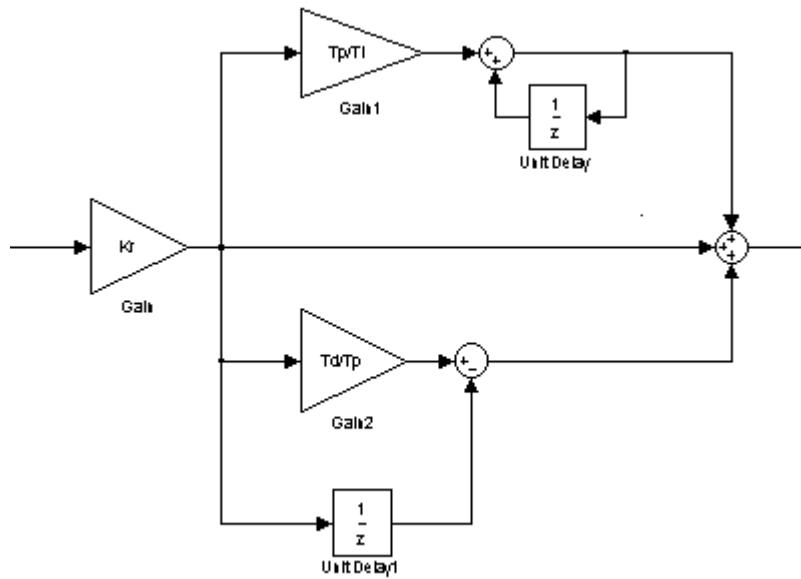
Mając już parametry zastępcze obiektu, możemy podstawiając do odpowiednich wzorów wyznaczyć nastawy regulatora PID. W zależności do postawionych przez nas wymagań układu regulacji, możemy zastosować następujące kryteria regulacji:

	0% przereg. i min $t_{narastania}$	20% przereg. i min $t_{narastania}$	$\min \int_0^{\infty} e^2(t)dt$	ŚREDNIE
$K_{OB} \circ K_R \circ \frac{\tau_c}{T}$	0.95	1.2	1.4	1
T_i/τ_c	2.4	2	1.3	2
T_d/τ_c	0.4	0.4	0.5	0.4

	0% przereg. i min $t_{narastania}$	20% przereg. i min $t_{narastania}$	$\min \int_0^{\infty} e^2(t)dt$	ŚREDNIE
K_R	2,327336	2,939792	3,429758	2,449827
T_i	15,2592	12,716	8,2654	12,716
T_d	2,5432	2,5432	3,179	2,5432

Tak samo, jak dla pierwszej przedstawionej przez nas metody, dobór nastaw regulatora na wartość zadaną również posiada swoje wady. Poznany przez nas obiekt jest nam znany z ograniczoną dokładnością, właściwości obiektu mogą ulec zmianie w czasie, a sygnał sterujący jest sygnałem ograniczonym.

Struktura naszego regulatora cyfrowego PID:



Z przeprowadzonych przez nas prób symulacyjnych na naszym obiekcie dyskretnym $G(z)$, najbardziej usatysfakcjonowani byliśmy z nastaw dobranych za pomocą metody Zieglera – Nicholasa.

$$K_R = 0.3 \circ K_{NR} = 1.209$$

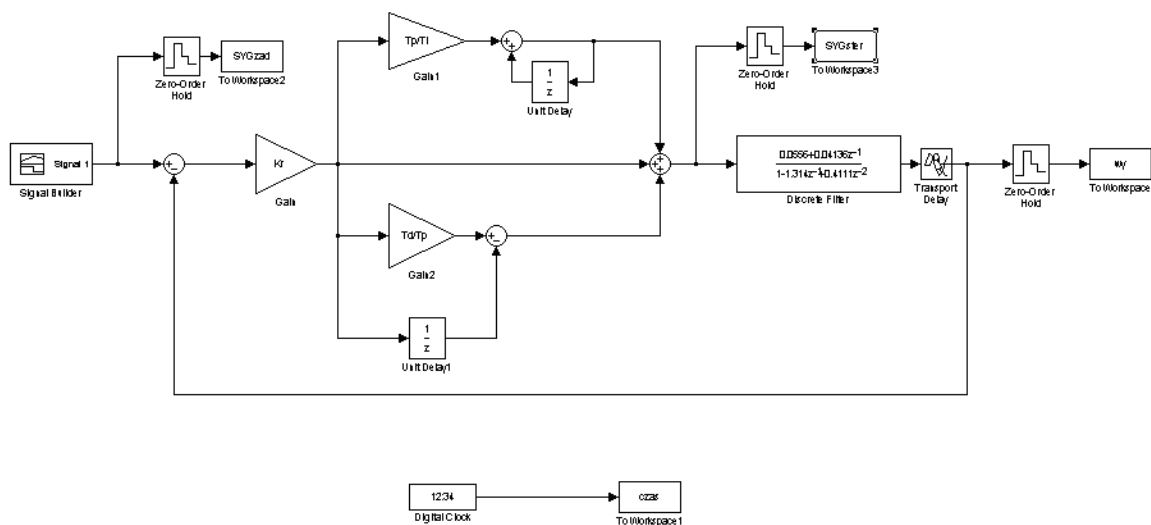
$$T_i = 0.5 \circ T_{OSC} = 10.76$$

$$T_d = 0.12 \circ T_{OSC} = 2.582$$

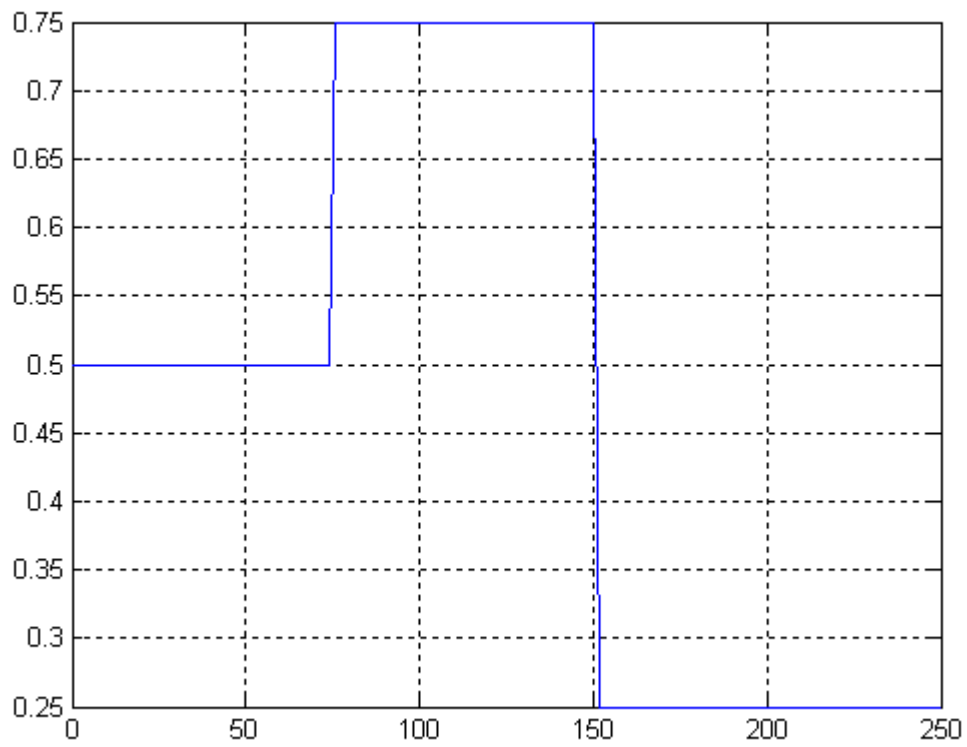
To właśnie dla tych nastaw uzyskaliśmy najlepsze parametry odpowiedzi układu regulacji na wartość sygnału zadanego.

1b) Wykreślić przebiegi czasowe w układzie regulacji.

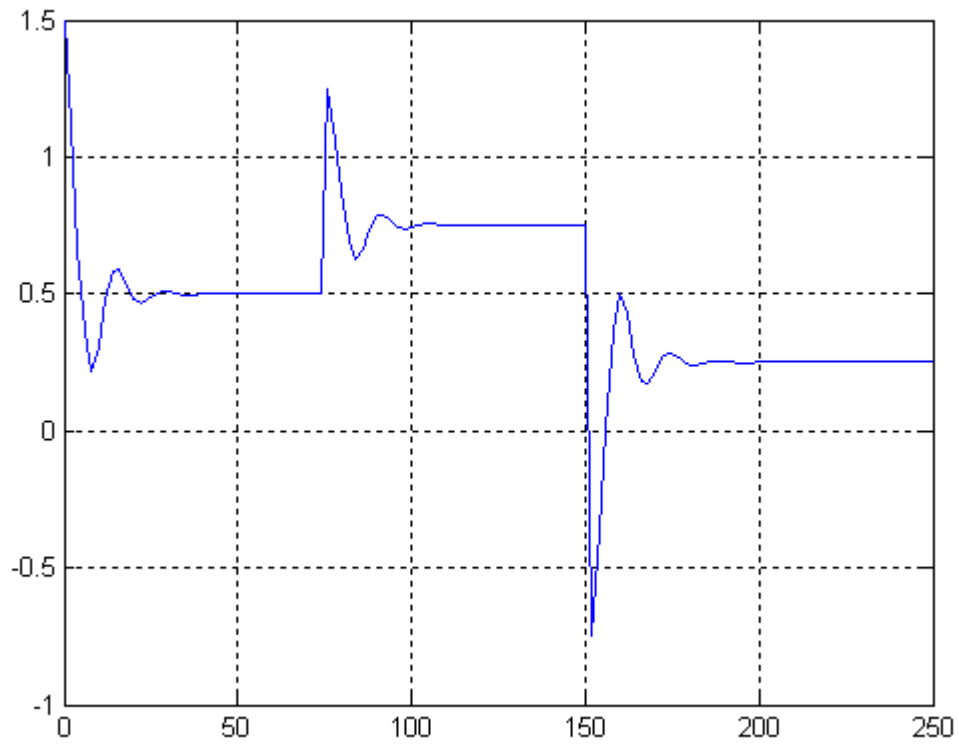
Schemat układu regulacji:



Sygnal wartości zadanej:



Sygnal sterujący:

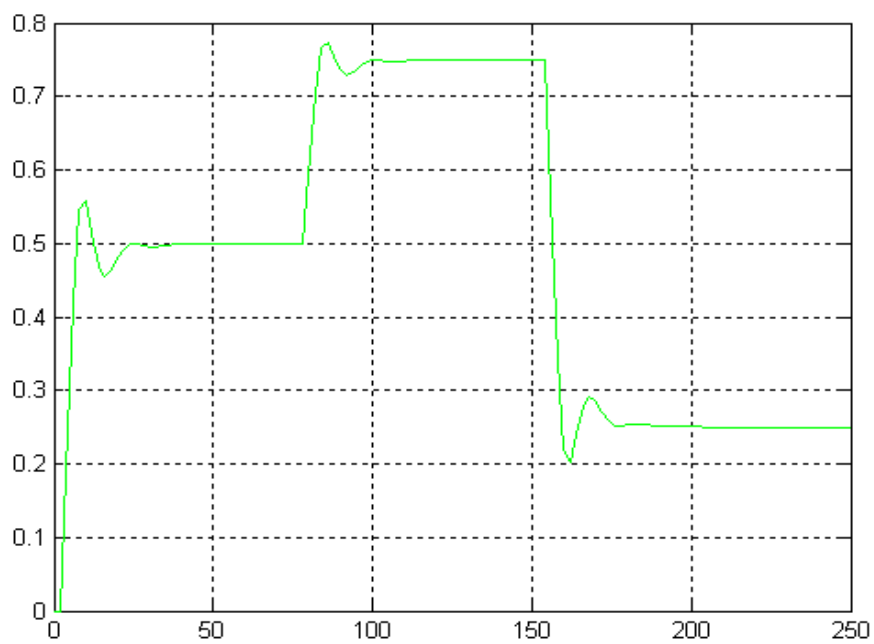


Wielkość regulowana:



Po kilku naszych próbach i testach układu regulacji doszliśmy do wniosku, że zmniejszając wartość wzmacnienia regulatora K_R na wartość równą jeden, uzyskamy w ten sposób dużo lepszą jakość regulacji, co przedstawiają poniższe wykresy.

Wielkość regulowana:

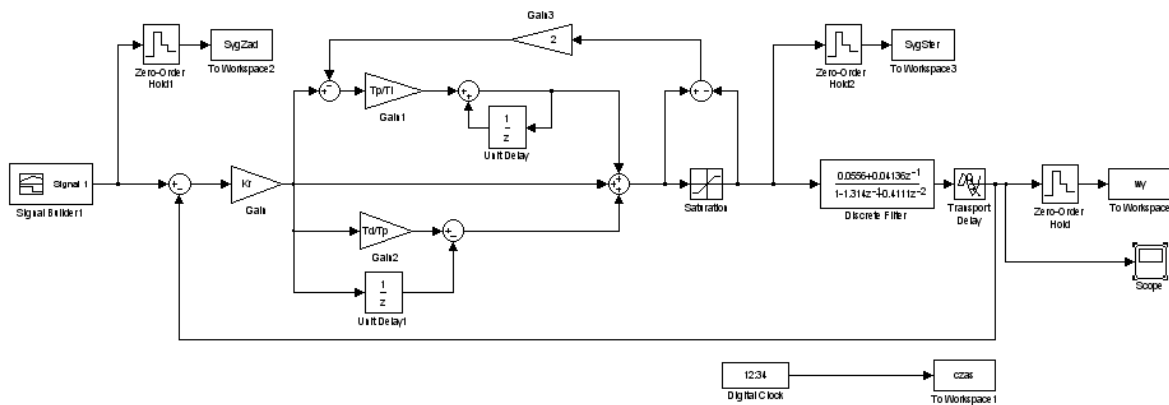


1c) Ocena jakości regulacji.

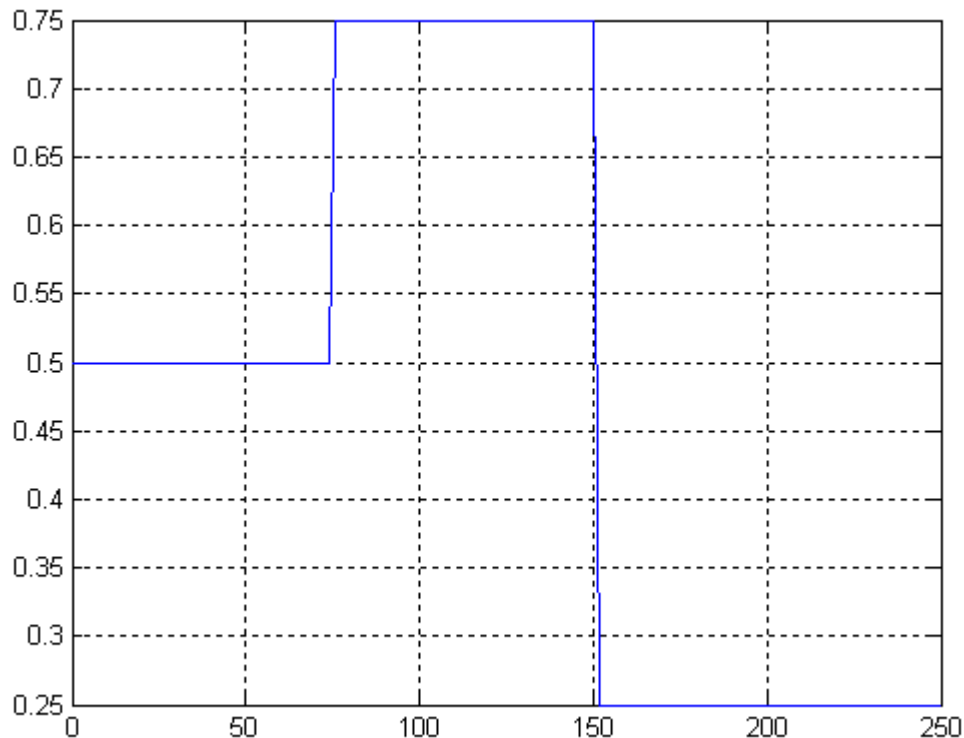
W naszym układzie regulacji, uzyskaliśmy 28% przeregulowanie. Czas narastania wynosi 7 sekund, a czas ustalenia się sygnału przy wartości zadanej $\pm 2\%$ jest równy 35 sekundom. Biorąc pod uwagę zmianę wzmocnienia regulatora, w uzyskanej przez nas odpowiedzi układu na wartość zadaną uzyskaliśmy przeregulowanie o wartości 12%, czas narastania nie uległ zmianie, ale za to czas ustalenia się sygnału skrócił się o 10 sekund i wynosi teraz 25 sekund.

2. Symulacja układu regulacji z ograniczeniem sygnału wyjściowego regulatora oraz modyfikacją członu całkującego.

Schemat układu regulacji:



Sygnal wartości zadanej:



Sygnal sterujący:



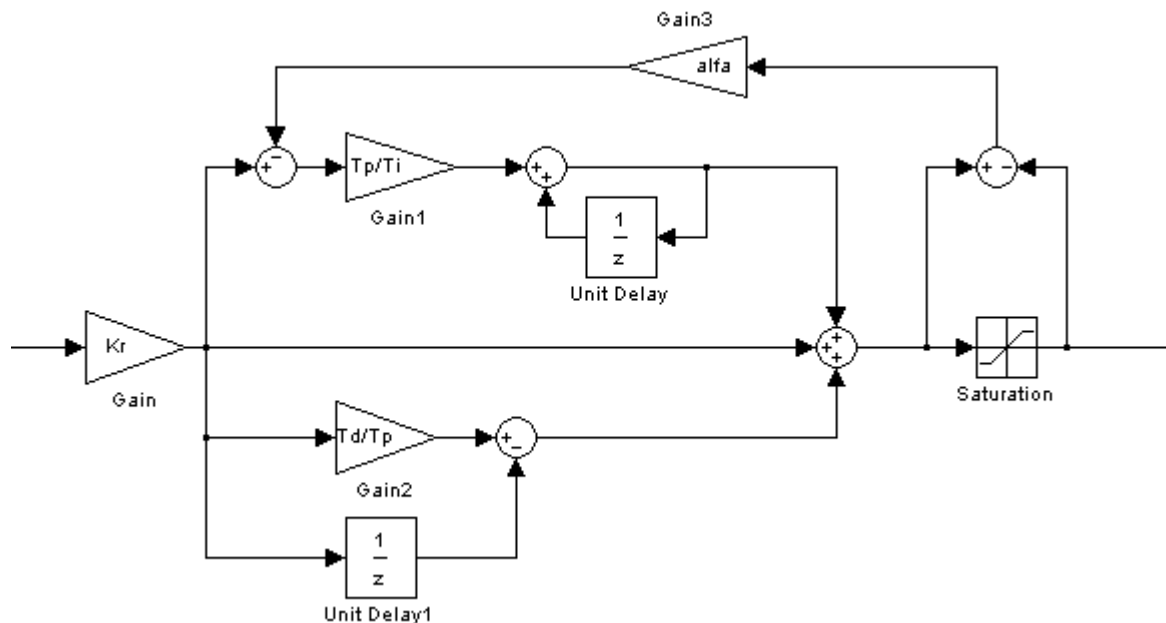
Wielkość regulowana:



2a) Opisać zastosowany układ anti-windup.

W naszym projekcie zastosowaliśmy układ ograniczający wyjście poprzez ograniczenie udziału toru całkującego.

Struktura regulatora PID z zastosowanym układem anti-windup:



Działanie tego układu ograniczającego udział akcji całkującej w naszym regulatorze cyfrowym PID jest bardzo proste. Porównywane są dwa sygnały: wchodzący i wychodzący z bloku SATURATION (nasycenie), będący ograniczeniem sygnału wyjściowego (w naszym regulatorze wynosi on 0 – 1). W kolejnym kroku zostaje sygnał wyjściowy na ten blok odjęty od sygnału wejściowego, a różnica biegnie do bloku wzmacnienia ze współczynnikiem ALFA (o wartości z przedziału 1 – 2, a w naszym przypadku wynosząca 2). Jeżeli sygnał wyjściowy nie został ograniczony przez blok SATURATION, to oba sygnały są sobie równe i różnica z nich wynosi zero, nie zmieniając wartości sygnału w torze całkującym. Jednakże w przeciwnym wypadku gdy sygnał wyjściowy jest sygnałem ograniczonym przez ten blok, to automatycznie różnica tych dwóch sygnałów biegnie do bloku wzmacniającego o współczynniku ALFA, a następnie tak wzmacniony sygnał zostaje odjęty od sygnału wchodzącego w tor całkujący naszego regulatora, przez co zostaje zmniejszony udział całkowania w naszym regulatorze PID. Układ taki jest bardzo prostym układem anti-windup, ponieważ nie ma w nim możliwości wyłączenia akcji toru całkującego. Postanowiliśmy go zastosować ze względu na jego skuteczność i prostotę działania, bo jak dało się zauważyć skutecznie poradził sobie ze zmniejszeniem przeregulowania z 28% do 10% i zmniejszeniem czasu ustalenia się procesu regulacji.

2b) Opisać wpływ ograniczeń sygnałów i blokowania części całkującej na jakość regulacji.

Porównanie sygnałów sterowanych obydwu regulatorów:



Zauważyliśmy, że układ regulacji z zastosowanym układem ograniczającym akcję toru całkującego i ograniczeniem sygnału wyjściowego znacznie polepsza własności regulacyjne naszego układu. W dużym stopniu zmniejszyliśmy przeregulowanie występujące we wcześniejszym układzie regulacji, ponieważ zmniejszyliśmy wartość przeregulowania z 28% do wartości 10% , co jest lepszym wynikiem niż zmniejszenie wartości wzmocnienia w naszym pierwszym układzie regulacji (mającym kluczowy wpływ na tor całkujący i różniczkujący w naszym regulatorze). Występowało wówczas przeregulowanie o wartości 12%. Czas ustalenia się pracy układu również został zmniejszony z wartości 35 do 25 sekund. Podsumowując, stosowanie układu anti-windup korzystnie wpływa na właściwości regulacyjne naszego cyfrowego regulatora PID.