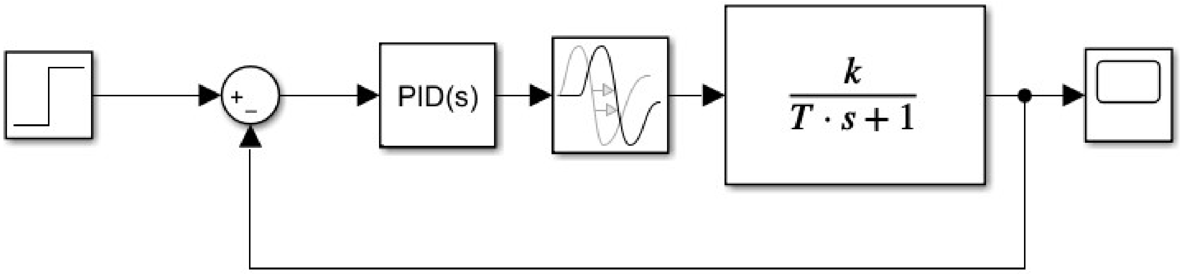
Dostrajanie regulatorów PID
Dobór nastaw regulatorów przemysłowych

Wojciech Dziuba
Grupa 1b środa 9:30
08.05.2019

1. Implementacja modelu

Układ regulacji został ułożony zgodnie ze schematem przedstawionym w skrypcie do laboratorium.



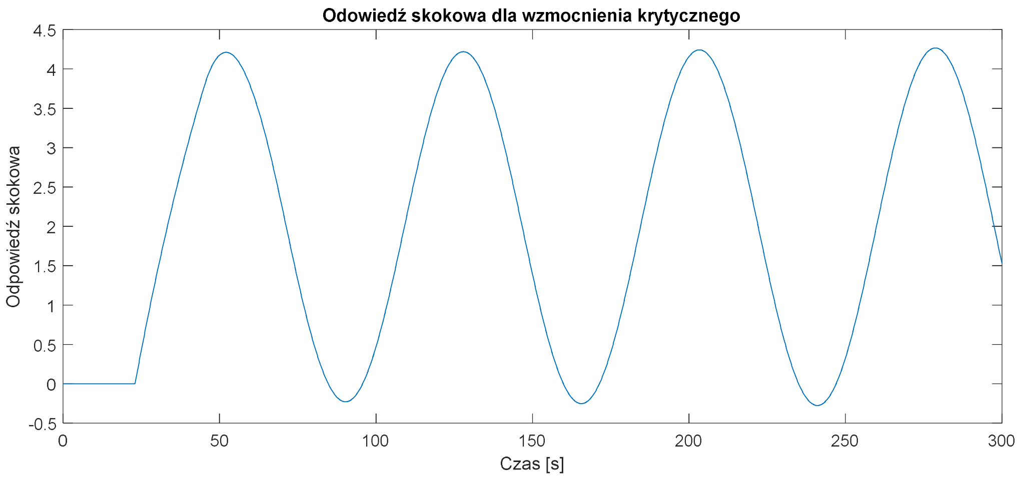
Rysunek 1. Schemat układu regulacji wykorzystanego w symulacji

Obiektem regulacji był obiekt inercyjny pierwszego rzędu z opóźnieniem o parametrach $k = 1, \tau = 22, T = 45$.

2. Wyznaczenie wzmocnienia krytycznego

W celu wyznaczenia wzmocnienia krytycznego ustawiono człon różniczkujący i człon całkujący regulatora na wartość 0 i stopniowo zwiększano wartość dla elementu proporcjonalnego regulatora.

Około wartości P = 3,3 oscylacje obiektu osiągnęły stałą amplitudę, a obiekt znalazł się na granicy stabilności. Uzyskaną wartość przyjęto za wartość wzmocnienia krytycznego k_{kr}.



Rysunek 2. Odpowiedź skokowa dla wzmocnienia $k_{kr} = 3,3$

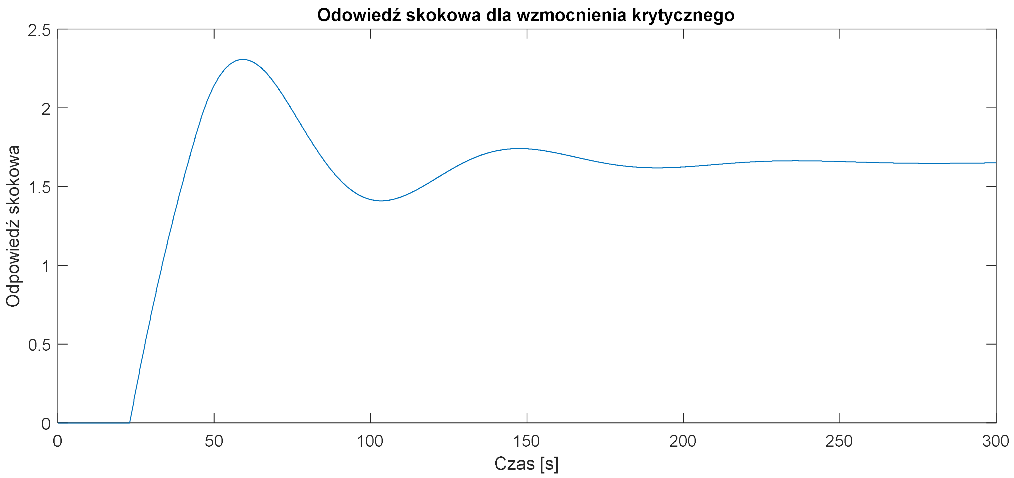
Analiza wykresu pozwala nam na ustalenie okresu oscylacji $T_{osc} = 75.7$

3. Metoda Zieglera-Nicholsa

3.1 Regulator P

Nastawy regulatora proporcjonalnego P według metody Zieglera-Nicholsa:

$$k = 0.5 \cdot k_{kr} = 0.5 \cdot 3.3 = 1.65$$



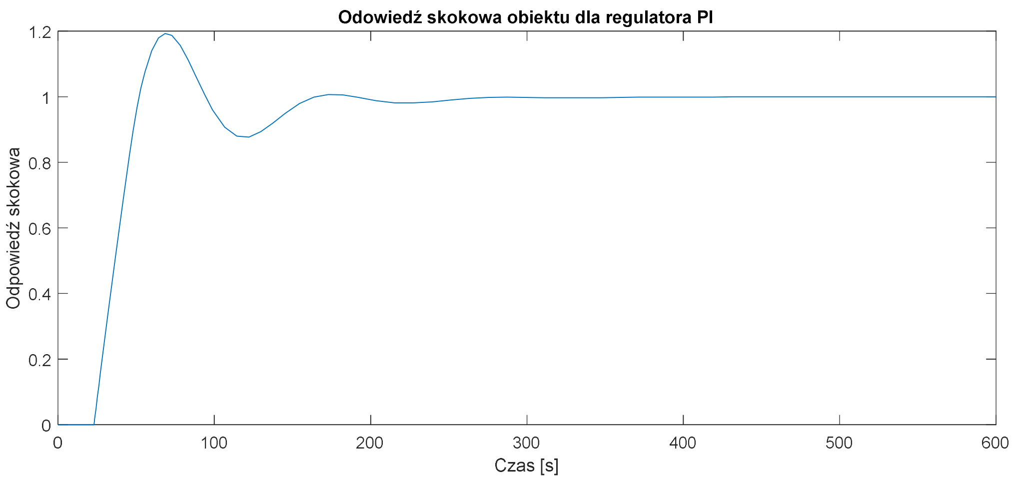
Rysunek 3. Odpowiedź skokowa dla wzmocnienia $k = 1.65$

W układzie występuje niewielkie przeregulowanie i krótki czas oscylacji. Uchyb ustalony wynosi około 40% wartości zadanej.

3.2 Regulator PI

Nastawy regulatora proporcjonalno całkującego PI według metody Zieglera-Nicholsa:

$$k = 0.45 \cdot k_{kr} = 0.45 \cdot 3.3 = 1.485$$
$$T_i = 0.85 \cdot T_{osc} = 0.85 \cdot 75.7 = 64{,}574$$



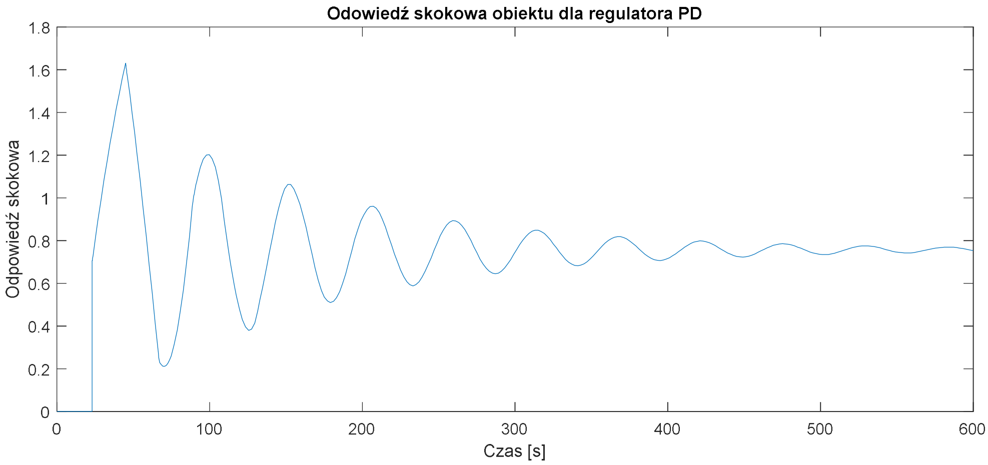
Rysunek 4. Odpowiedź skokowa dla wzmocnienia k

Uchyb ustalony bardzo szybko osiąga wartość zerową. Jedynie na początku odpowiedź układu odbiega od wartości zadanej i uchyb wynosi około 20% wartości zadanej.

3.3 Regulator PD

Nastawy regulatora proporcjonalno całkującego PI według metody Zieglera-Nicholsa:

$$k = 0.8 \cdot k_{kr} = 0.8 \cdot 3.3 = 2.64$$
$$T_d = 0.125 \cdot T_{osc} = 0.125 \cdot 75.7 = 9.46$$



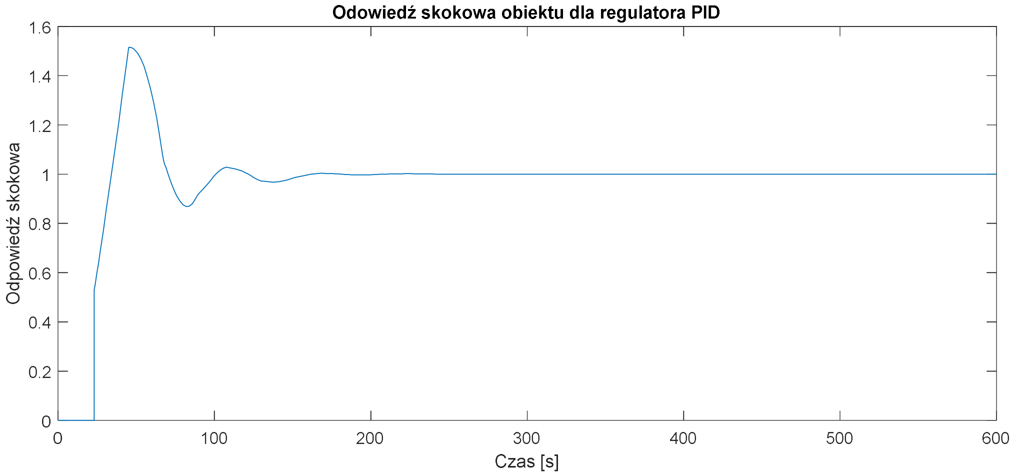
Rysunek 5. Odpowiedź skokowa dla $k = 2.64, T_d = 9.46$

W tym przypadku uchyb ustalony to około 20% wartości zadanej. Duże początkowe oscylacje są tłumione w znacznie dłuższym czasie niż w poprzednich przypadkach. Występują także duże przeregulowania. Nawet po 600 sekundach układ nie osiąga stanu ustalonego. Tak duże oscylacje mogą być spowodowane faktem, że wartość wzmocnienia wykorzystana w tym przypadku jest bliska wzmocnienia krytycznego.

3.4 Regulator PID

Nastawy regulatora proporcjonalno całkującego PI według metody Zieglera-Nicholsa:

$$k = 0.6 \cdot k_{kr} = 0.6 \cdot 3.3 = 1.98$$
$$T_i = 0.5 * T_{osc} = 0.5 \cdot 75.7 = 37.85$$
$$T_d = 0.12 \cdot T_{osc} = 0.12 \cdot 75.7 = 9.08$$



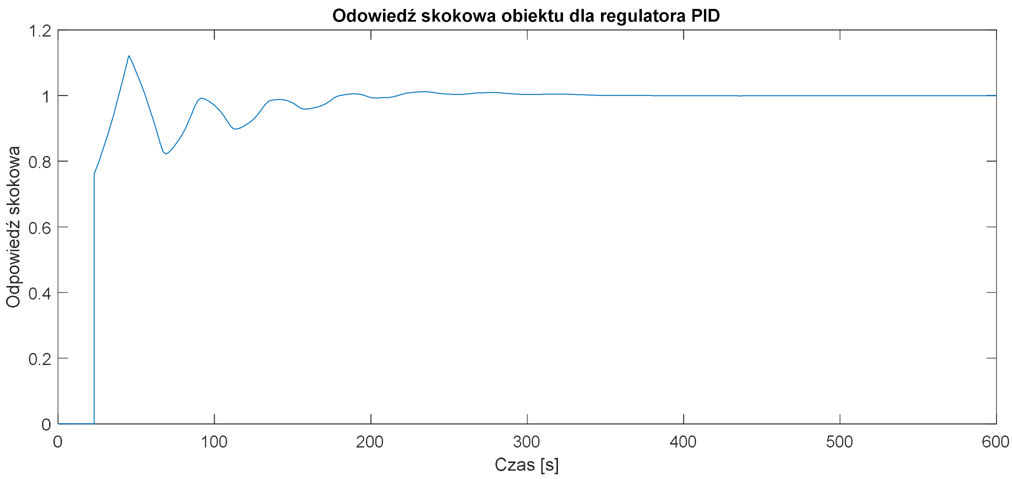
Rysunek 6. Odpowiedź skokowa dla $k = 1.98, T_i = 37.85, T_d = 9.08$

Regulator PID pozwala na szybką reakcję na skok jednostkowy i bardzo szybko sprowadza początkowe przeregulowanie do zera.

4. Modyfikacja Zieglera-Nicholsa
4.1 Małe przeregulowania

Nastawy regulatora PID:

$$k = 0.33 \cdot k_{kr} = 0.33 \cdot 3.3 = 1.09$$
$$T_i = 0.5 * T_{osc} = 0.5 \cdot 75.7 = 37.85$$
$$T_d = 0.33 \cdot T_{osc} = 0.33 \cdot 75.7 = 24.98$$



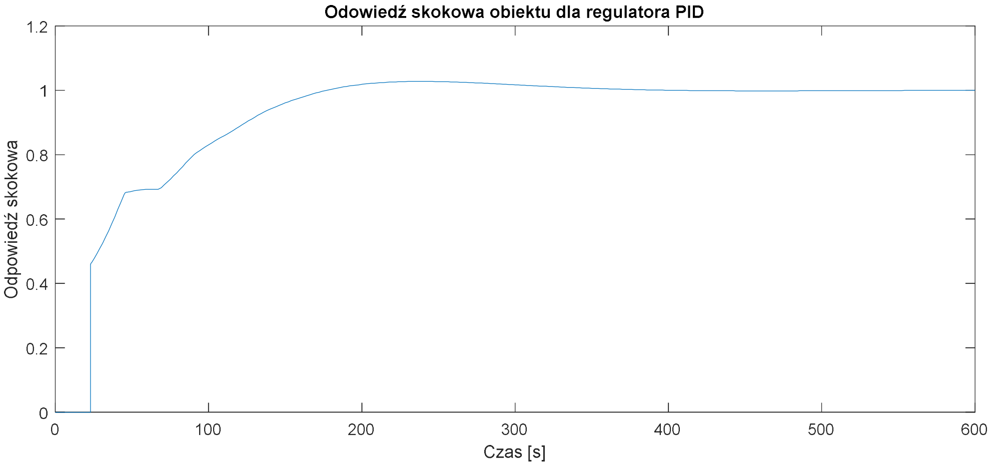
Rysunek 7. Odpowiedź skokowa dla $k = 1.09, T_i = 37.85, T_d = 24.98$

Pomimo nie dokładnego kształtu charakterystyki odzwierciedlającej odpowiedź obiektu możemy dostrzec znaczne zmniejszenie początkowego przeregulowania odpowiedzi obiektu.

4.2 Bez przeregulowań

Nastawy regulatora PID:

$$k = 0.2 \cdot k_{kr} = 0.2 \cdot 3.3 = 0.66$$
$$T_i = 0.5 * T_{osc} = 0.5 \cdot 75.7 = 37.85$$
$$T_d = 0.33 \cdot T_{osc} = 0.33 \cdot 75.7 = 24.98$$



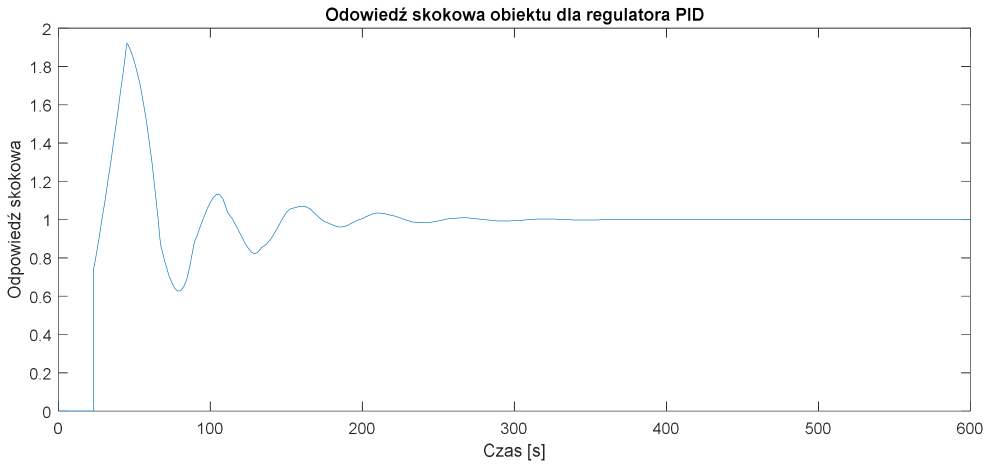
Rysunek 8. Odpowiedź skokowa dla $k = 0.66, T_i = 37.85, T_d = 24.98$

W tym przypadku początkowe przeregulowanie sięga zaledwie 3%, a więc jest znacznie mniejsze niż w poprzednim badanym przypadku, jednak zdecydowanie wydłużył się czas regulacji.

5. Passen Integral Rule

Nastawy regulatora PID:

$$k = 0.7 \cdot k_{kr} = 0.7 \cdot 3.3 = 2.31$$
$$T_i = 0.4 * T_{osc} = 0.4 \cdot 75.7 = 30.28$$
$$T_d = 0.15 \cdot T_{osc} = 0.15 \cdot 75.7 = 11.36$$



Rysunek 9. Odpowiedź skokowa dla $k = 2.31, T_i = 30.28, T_d = 11.36$

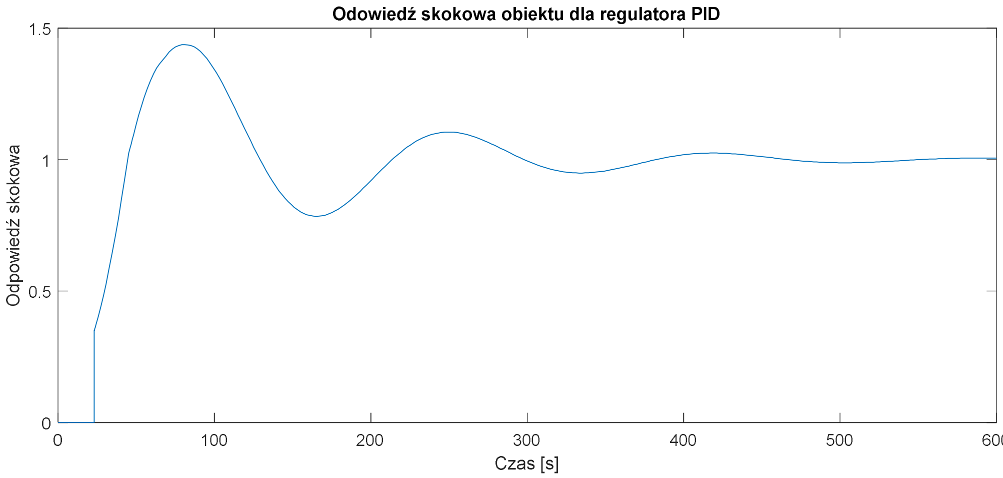
W tym przypadku początkowe przeregulowanie sięga niemal 100% wartości zadanej, jednak bardzo szybko maleje i układ szybko osiąga zerową wartość uchybu ustalonego.

6. Tyreus-Luyben

6.1 Regulator PID

Nastawy regulatora PID:

$$k = 0.3125 \cdot k_{kr} = 0.3125 \cdot 3.3 = 1.03$$
$$T_i = 0.22 * T_{osc} = 0.22 \cdot 75.7 = 16.65$$
$$T_d = 0.1587 \cdot T_{osc} = 0.1587 \cdot 75.7 = 12.02$$



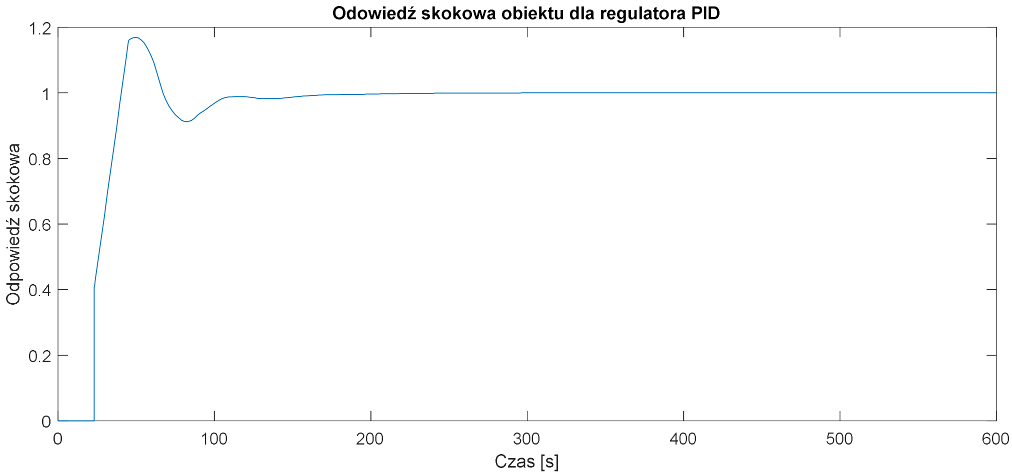
Rysunek 11. Odpowiedź skokowa dla $k = 1.03, T_i = 16.65, T_d = 12.02$

Początkowe przeregulowania są na poziomie około 45% wartości zadanej. Czas regulacji jest bardzo długi. Bardzo długie są również okresy samych oscylacji odpowiedzi układu zanim ten osiągnie stan w ustalony w którym uchyb wynosi 0.

7. Metody oparte o parametry odpowiedzi skokowej obiektu.

Znając parametry odpowiedzi skokowej obiektu i wiedząc, że jest to obiekt pierwszego rzędu z opóźnieniem możemy wyznaczyć parametry nastaw regulatora zakładając przeregulowanie na poziomie 20%.

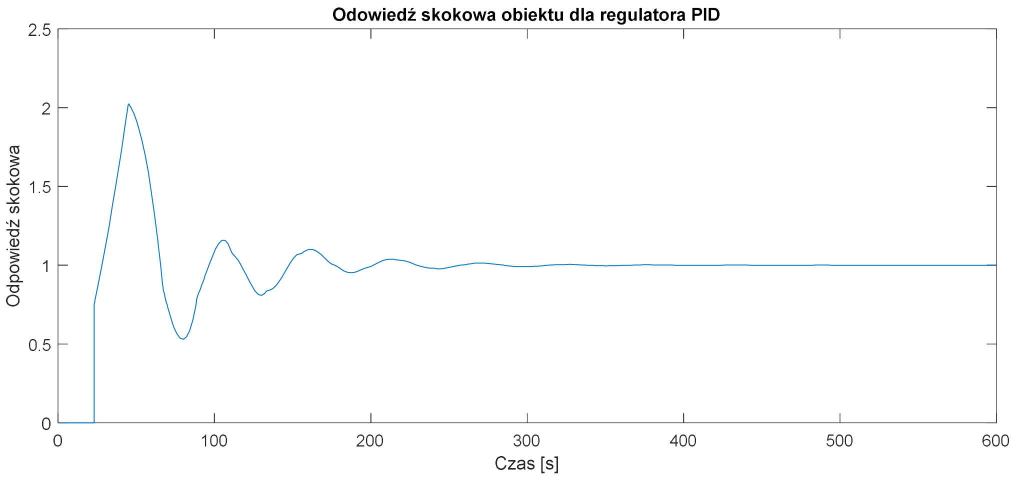
$$k = 1.18, \quad \tau = 22, \quad T = 45$$
$$k_r = \frac{0.94 \cdot T}{k \cdot \tau} = 1.63$$
$$T_i = 2.4 \cdot \tau = 52.8$$
$$T_d = 0.4 \cdot \tau = 8.8$$



Rysunek 12. Odpowiedź skokowa dla $k = 1.63, T_i = 52.8, T_d = 8.8$

Możemy również wykorzystać wzory na zestaw nastaw zakładający minimalizację całki z kwadratu uchybu regulacji.

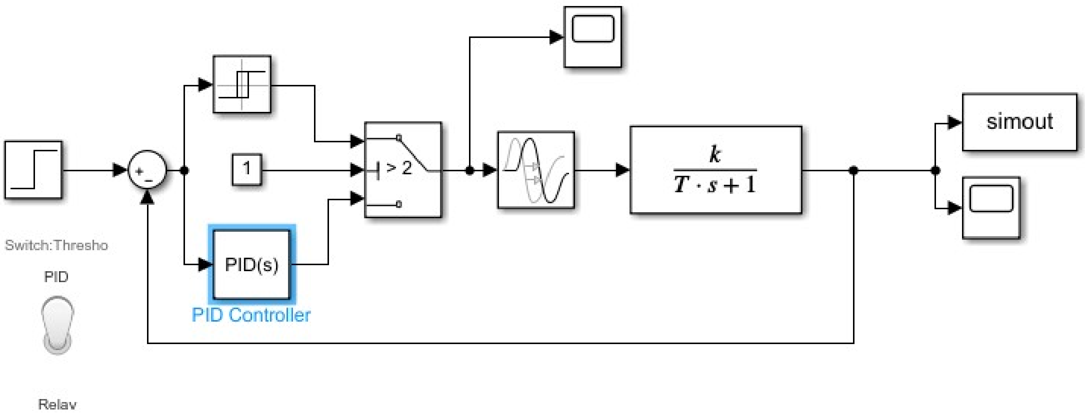
$$k = 1.18, \quad \tau = 22, \quad T = 45$$
$$k_r = \frac{1.4 \cdot T}{k \cdot \tau} = 2.43$$
$$T_i = 1.3 \cdot \tau = 28.6$$
$$T_d = 0.5 \cdot \tau = 11$$



Rysunek 13. Odpowiedź skokowa dla $k = 2.43, T_i = 28.6, T_d = 11$

8. Metoda Astroma-Hagglunda

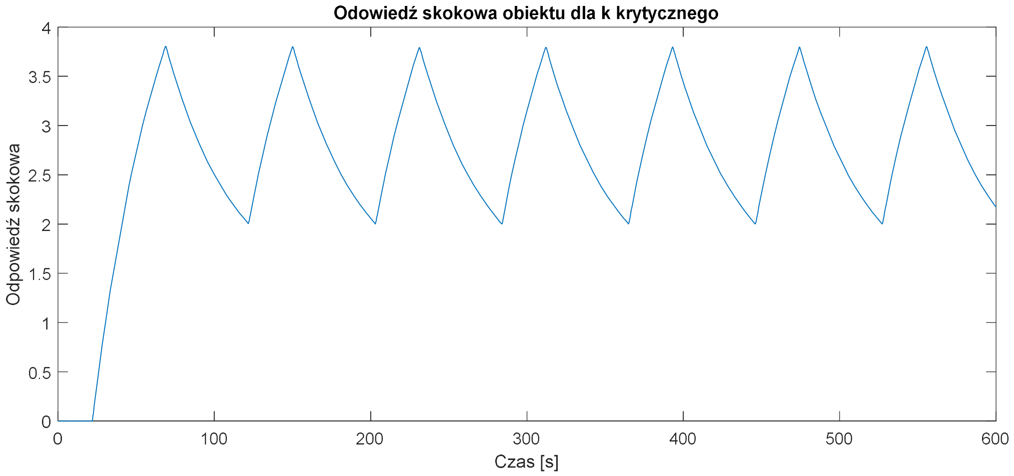
8.1 Wyznaczenie wzmocnienia krytycznego



Rysunek 14. Model w simulinku użyty w symulacji

Wzmocnienie krytyczne wyznaczone w symulacji wyniosło $k_{kr} = 2.8823$. Na podstawie charakterystyki otrzymanej dla tego wzmocnienia wyliczono amplitudę wielkości regulowanej na wyjściu $A = 1.767$ oraz czas oscylacji $T_{osc} = 81.25$. Wymuszenie wynosi r=2.5

$$k_{kr} = \frac{4 \cdot u}{\pi \cdot A} = \frac{4 \cdot 4}{3.14 \cdot 1.767} = 2.88$$

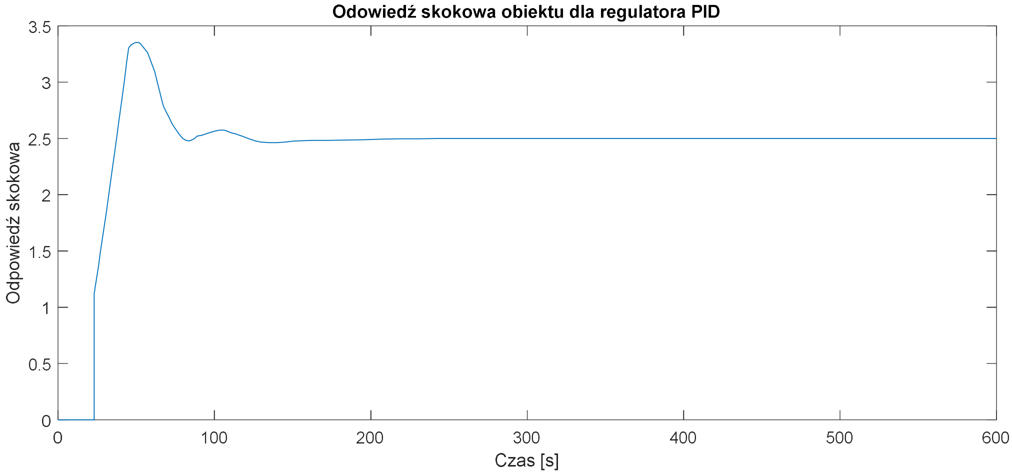


Rysunek 15. Odpowiedź skokowa dla $k_{kr} = 2.88$

8.2 Regulator PID

Na podstawie wartości otrzymanych w podpunkcie 8.1 wyznaczono nastawy Zieglera-Nicholsa dla regulatora PID.

$$k_r = 0.6 \cdot k_{kr} = 0.6 \cdot 2.88 = 1.72$$
$$T_i = 0.45 \cdot T_{osc} = 0.45 \cdot 81.25 = 36.56$$
$$T_d = 0.12 \cdot T_{osc} = 0.12 \cdot 81.25 = 9.75$$



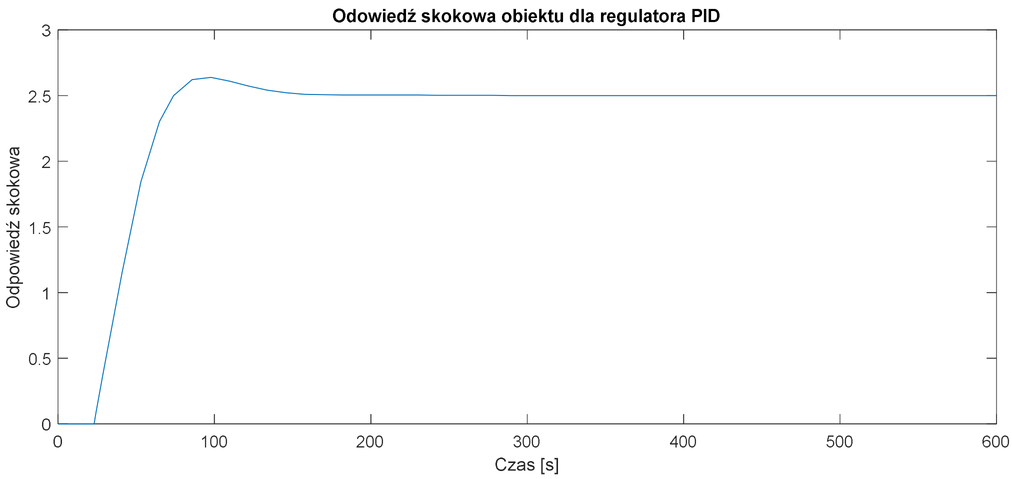
Rysunek 16. Odpowiedź skokowa dla $k_r = 1.72, T_i = 36.56, T_d = 9.75$

Jak widać na charakterystyce obiekt bardzo szybko osiąga wartość zadaną. W poczatkowej części wykresu możemy dostrzec gwałtowny skok uchybu regulacji osiągający poziom około 35% wartości zadanej. Ostatecznie uchyb regulacji osiąga wartość 0.

9. Wykorzystanie funkcji „Autotune" środowiska SIMULINK

Uruchamiając opcję „Tune" w oknie ustawień bloku PID w modelu w simulink'u otrzymano możliwość automatycznego dobrania parametrów regulatora. Otrzymane parametry (po zaokrągleniu do 4 miejsca po przecinku) to:

$$P = 0.9349 \quad I = 0.0212 \quad D = 1.5476$$



Rysunek 17. Odpowiedź skokowa dla $P = 0.9349,\ I = 0.0212,\ D = 1.5476$

Funkcja Tune pozwoliła na dobranie optymalnych parametrów dla tego obiektu. Początkowe przeregulowania nie przekraczają 5%, czas regulacji jest bardzo szybki i uchyb regulacji w stanie ustalonym osiąga wartość zerową.