

SPRAWOZDANIE 10

Modelowanie Systemów Dynamicznych

Temat ćwiczenia: Sterowanie zbiornika z grzaniem

Michał Midor, gr. 5, 14.01.2025 r. - Środa 13.15

Cel ćwiczenia:

Celem ćwiczenia jest zamodelowanie zbiornika z grzaniem. Wykorzystywany będzie zlinearyzowany model zbiornika, opracowany na laboratoriach dziewiątych. Użyty zostanie do tego SIMULINK, gdzie gotowe są potrzebne moduły regulatorów PID (i innych jak: PI, PD), które umożliwią odpowiednie sterowanie wpływem cieczy ze zbiornika oraz mocą grzałki w celu uzyskania i utrzymania zadanej objętości i temperatury. Należy mieć świadomość, że oba regulatory będą działać równocześnie, co oznacza, że będą wpływać na siebie nawzajem, a zatem na ogólną dynamikę modelowanego zbiornika.

Rozwiązanie zadań:

Modelowanie zbiornika należy zacząć od zdefiniowania zadanej objętości oraz temperatury - regulatory będą na podstawie obliczonego względem nich błędu sterowania dobierać odpowiednie sterowne odpływem i mocą grzałki.

Należy podać również warunki początkowe T_0 oraz V_0 .

Ostatnimi danymi do ustalenia są wektory zakłóceń przepływu wchodzącego do zbiornika oraz temperatury cieczy dopływowej. W rzeczywistości mogą one wynikać z nieidealnie stałego ciśnienia pompy oraz naturalnych wahań temperatury cieczy, która nie jest taka sama w każdym jej punkcie.

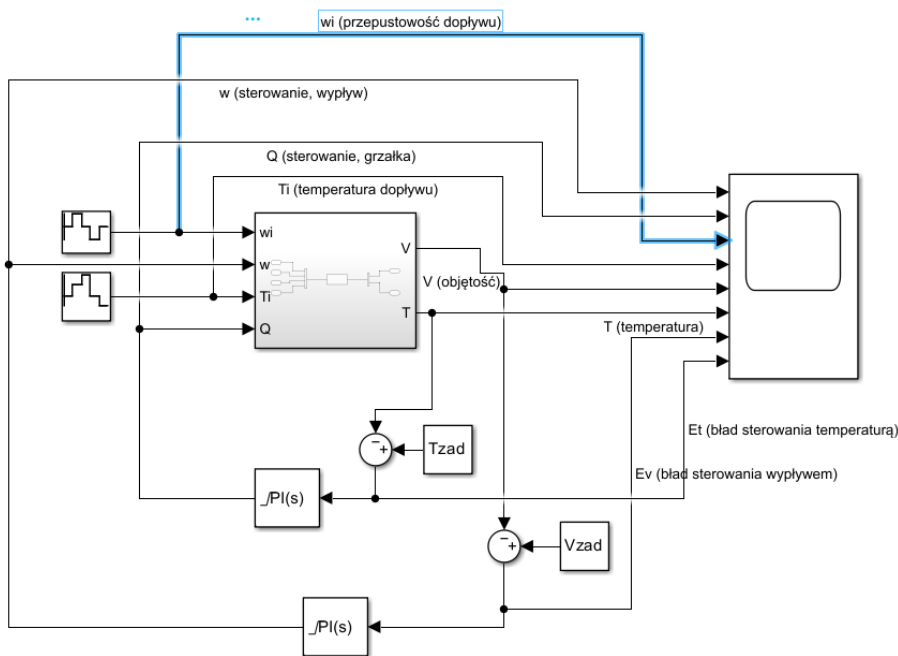
```
clear;

Vzad = 0.04;
Tzad = 303;

T0 = 293; %[K]
V0 = 0.04; %[m3]

% WEKTORY ZAKŁÓCEŃ
block_vec = ones(1,100);
wi_vec = [0.4 * block_vec, 0.5 * block_vec, 0.4*block_vec, 0.3*block_vec,
0.4*block_vec];
ti_vec = [294 * block_vec, 295 * block_vec, 296*block_vec, 294*block_vec,
293*block_vec];
```

Kolejnym krokiem jest stworzenie modelu w SIMULNIK. Punktem wyjścia jest model z zajęć dziewiątych posiadający 4 wejścia oraz 2 wyjścia - jest to centrum układu. Należy z niego stworzyć podsystem i poprowadzić odpowiednie połączenia między wyjściami i wejściami, co jest widoczne na rysunku poniżej:



Na wejścia przepustowości dopływu (w_i) oraz temperatury dopływu (T_i) podane są wcześniej zdefiniowane wektory zakłóceń ' w_i_vec ' oraz ' t_i_vec '.

Najbardziej skomplikowaną i interesującą częścią jest doprowadzenie odpowiednich wejści ' w ' oraz ' Q ', czyli odpowienie wypływu oraz mocy grzałki. Są one obliczane za pomocą regulatorów PI (proporcjonalno-całkujących).

Najpierw przyjrzyjmy się bliżej ustawieniom regulatora odpowiedzialnego za objętość cieczy w zbiorniku. Formę regulatora trzeba zmienić na 'ideal', a następnie wprowadzić współczynniki ' P ' oraz ' I '. Nie ma sensu szukać odpowiednich ustawień ręcznie, więc jako początkowe wartości można ustawić proste liczby np. 1. Trzeba natomiast pamiętać o logice działania każdego z regulatorów - w przypadku tego odpowiedzialnego za poziom wody wartość ' P ' musi być ujemna. W innym przypadku, gdyby wody w zbiorniku było za dużo, wypływ by się zamykał. Sterowanie musi być odwrotnie proporcjonalne do objętości cieczy, zatem stąd wartość ujemna.

Na poniższym rysunku widać interfejs ustawień regulatora, z dobranymi już automatycznie parametrami - co wyjaśnione jest dalej w sprawozdaniu.

Block Parameters: PID Controller

PID 1dof (mask) (link)

This block implements continuous- and discrete-time PID control algorithms and includes advanced features such as anti-windup, external reset, and signal tracking. You can tune the PID gains automatically using the 'Tune...' button (requires Simulink Control Design).

Controller: PI Form: Ideal

Time domain:

☒ Continuous-time

☐ Discrete-time

Discrete-time settings

Sample time (-1 for inherited): -1

Compensator formula

$$P \left(1 + I \frac{1}{s} \right)$$

Main Initialization Saturation Data Types State Attributes

Controller parameters

Source: internal

Proportional (P): -232.068046206556

Integral (I): 0.104045742707222 ☐ Use I*Ts (optimal for codegen)

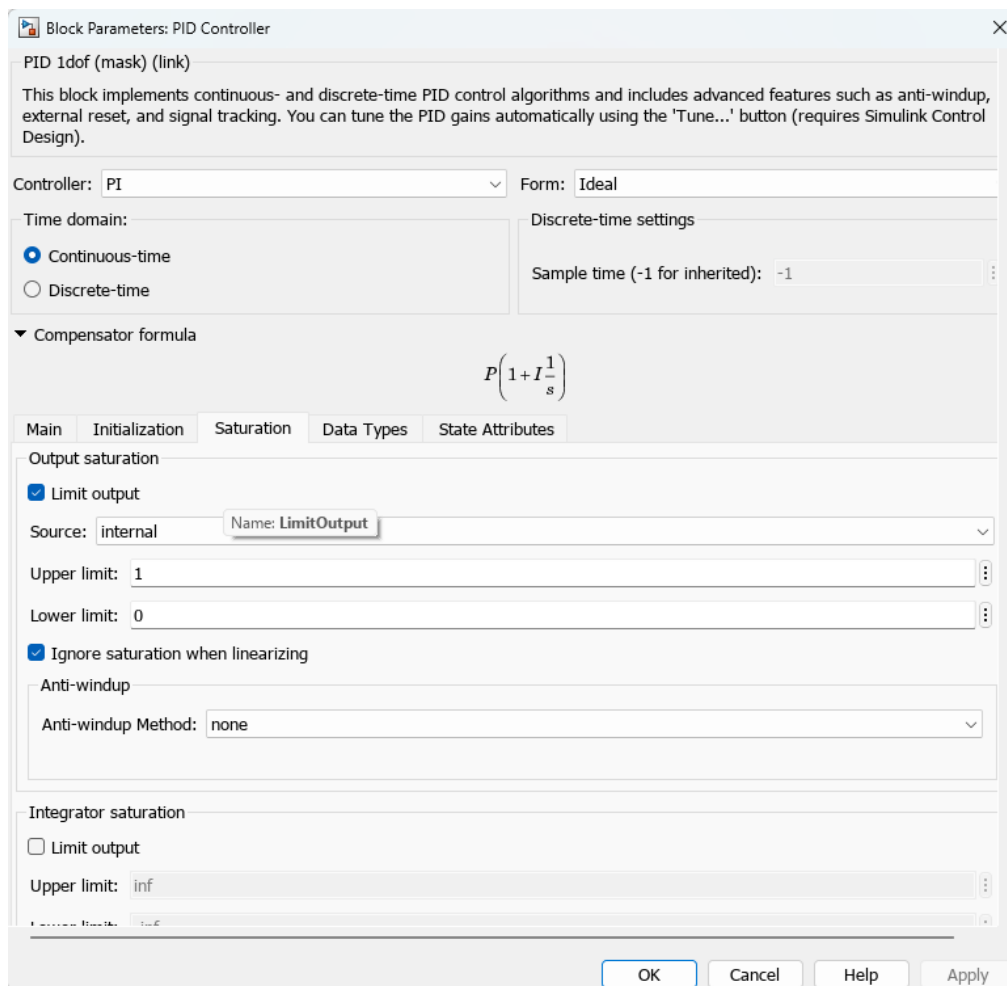
Automated tuning

Select tuning method: Transfer Function Based (PID Tuner App) Tune...

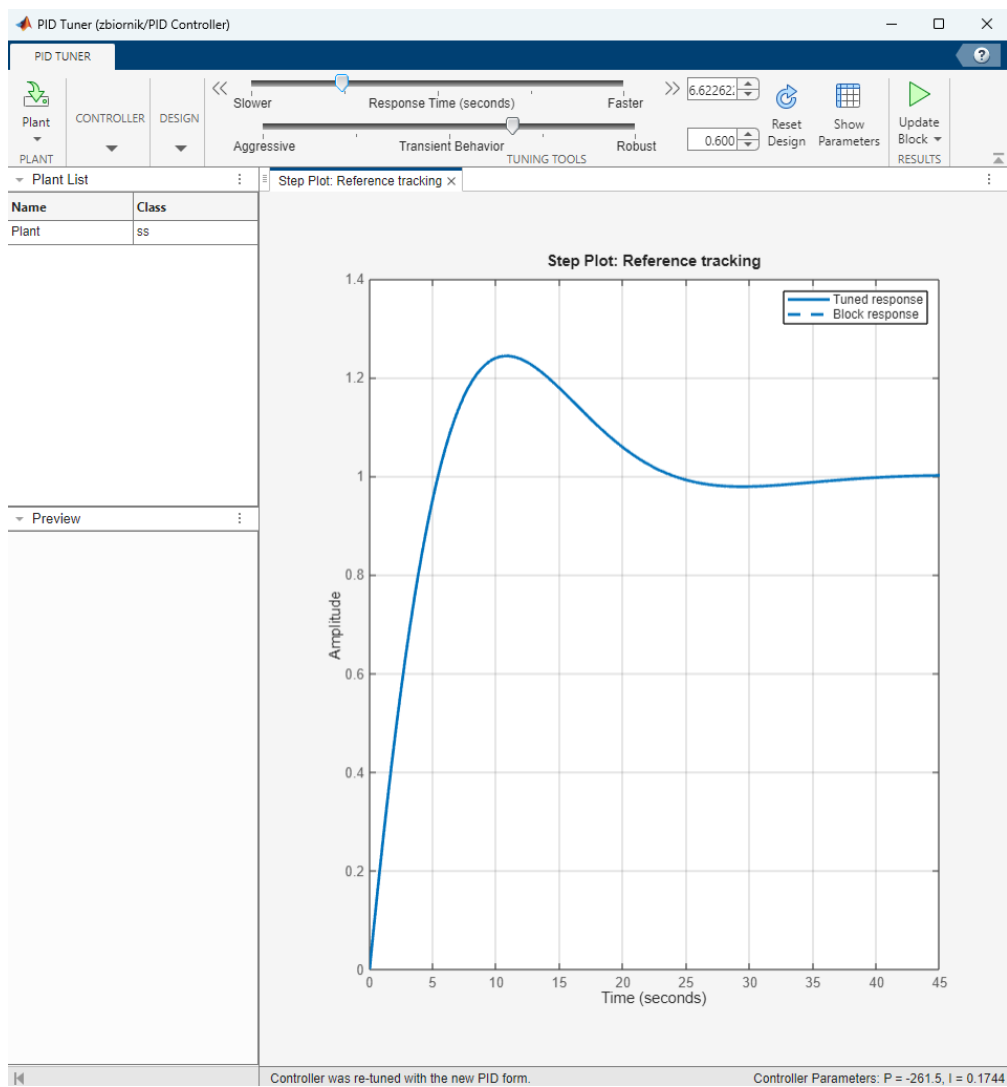
☒ Enable zero-crossing detection

OK Cancel Help Apply

Bardzo istotne jest również ustawienie górnego i dolnego limitu sterowanej wartości. W tym przypadku minimalny przepływ będzie wynosił 0 kg/s, a maksymalny 1 kg/s.



By automatycznie znaleźć optymalne wartości dla požądanej przez nas charakterystyki regulatora - czasu reakcji oraz stabilności - wybieramy opcję 'tune', ustawiamy suwaki czasu reakcji i zachowania do požądanej przez nas pozycji i uaktualniamy block za pomocą 'update block'. Simulink wizualnie przedstawia charakterystykę regulatora z dobranymi automatycznie parametrami, co widać na poniższym rysunku.



Następnie podobne kroki należy przeprowadzić dla drugiego regulatora PI, odpowiedzialnego za temperaturę. Tym razem nie odwracamy już proporcjonalności.

Block Parameters: PID Controller1

PID 1dof (mask) (link)

This block implements continuous- and discrete-time PID control algorithms and includes advanced features such as anti-windup, external reset, and signal tracking. You can tune the PID gains automatically using the 'Tune...' button (requires Simulink Control Design).

Controller: PI Form: Ideal

Time domain:

☒ Continuous-time

☐ Discrete-time

Discrete-time settings

Sample time (-1 for inherited): -1

Compensator formula

$$P \left(1 + I \frac{1}{s} \right)$$

Main Initialization Saturation Data Types State Attributes

Controller parameters

Source: internal

Proportional (P): 1184.70684807134

Integral (I): 0.0181118039671468 ☐ Use I*Ts (optimal for codegen)

Automated tuning

Select tuning method: Transfer Function Based (PID Tuner App) Tune...

☒ Enable zero-crossing detection

OK Cancel Help Apply

Różnią się natomiast wartości minimalne i maksymalne - tym razem sterowanie dzieje się na Watach, zatem pod uwagę należy brać ograniczenia technicznie grzałki. W tym wypadku maksymalna moc wynosi 20 kW, a minimalna to oczywiście 0 W.

Block Parameters: PID Controller1

PID 1dof (mask) (link)

This block implements continuous- and discrete-time PID control algorithms and includes advanced features such as anti-windup, external reset, and signal tracking. You can tune the PID gains automatically using the 'Tune...' button (requires Simulink Control Design).

Controller: PI Form: Ideal

Time domain:

☒ Continuous-time

☐ Discrete-time

Discrete-time settings

Sample time (-1 for inherited): -1

▼ Compensator formula

$$P \left(1 + I \frac{1}{s} \right)$$

Main Initialization Saturation Data Types State Attributes

Output saturation

☒ Limit output

Source: internal

Upper limit: 20000

Lower limit: 0

☒ Ignore saturation when linearizing

Anti-windup

Anti-windup Method: none

Integrator saturation

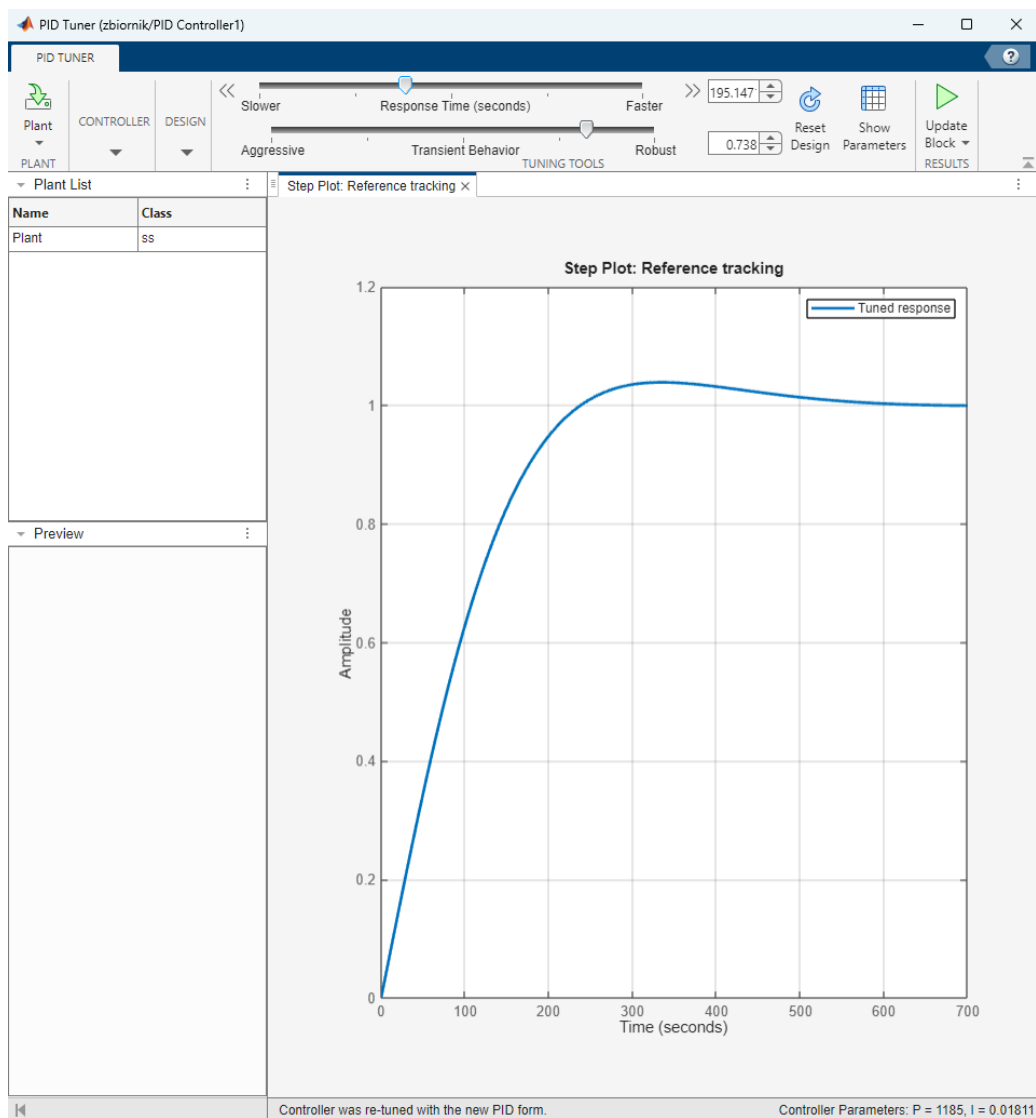
☐ Limit output

Upper limit: inf

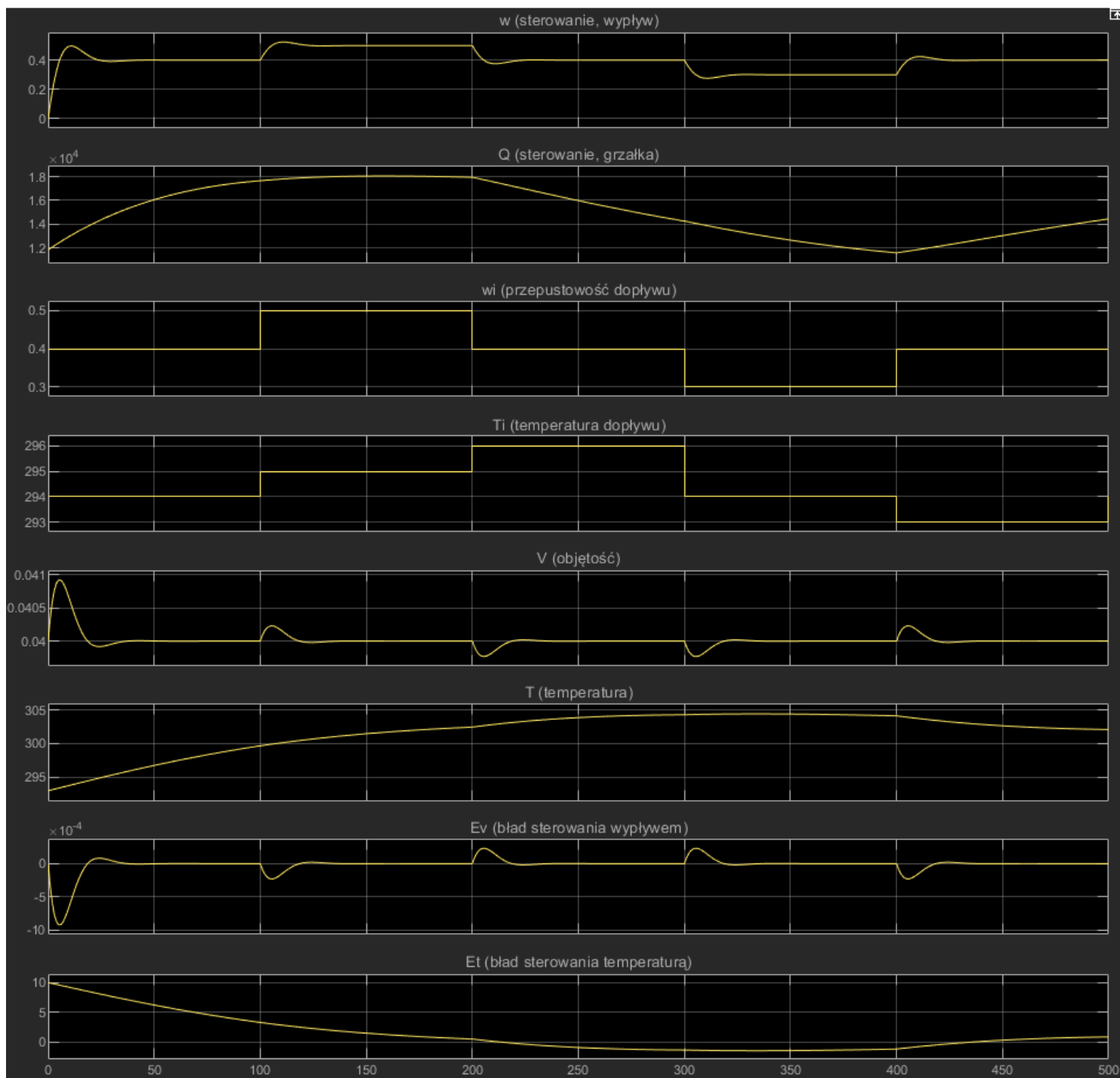
Lower limit: -inf

OK Cancel Help Apply

Czas reakcji i stabilność odpowiedzi ustawiamy podobnie jak poprzednio.

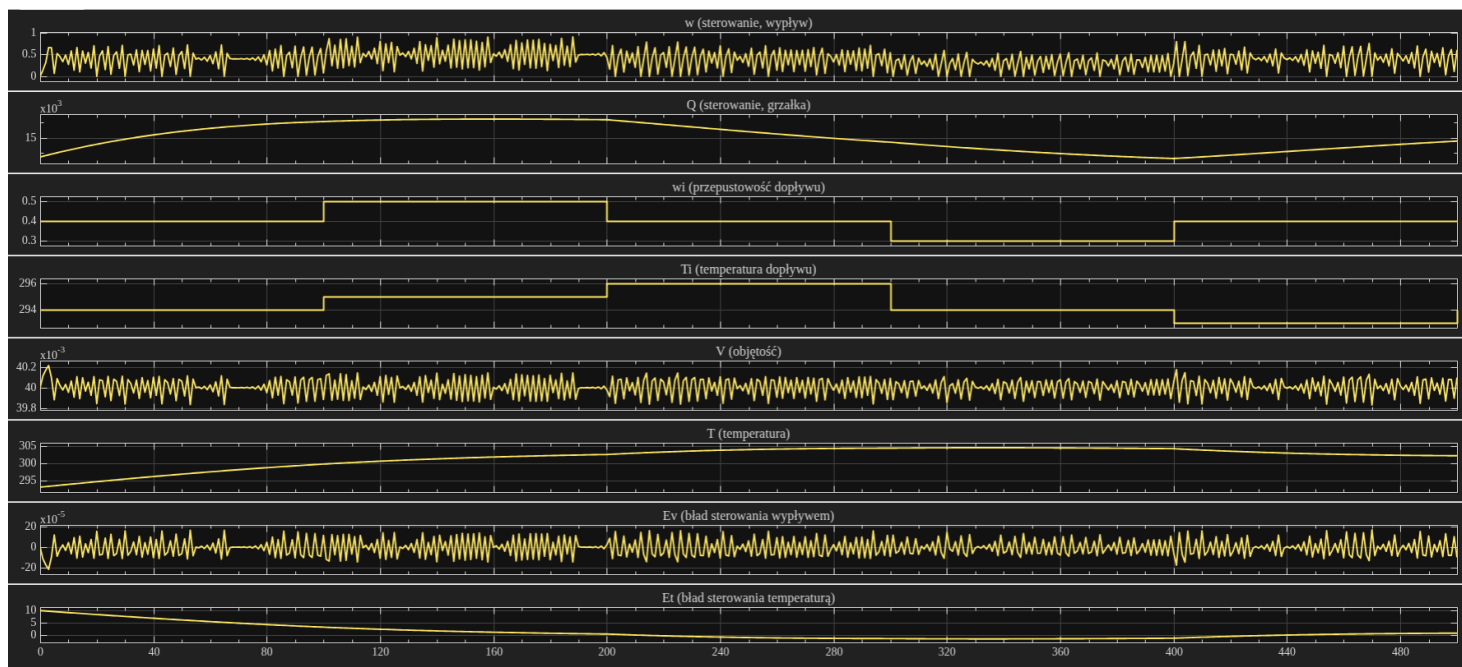


Teraz można przeprowadzić symulację dla 500 sekund. Wszystkie interesujące nas wartości wyświetlane są za pomocą oscyloskopu. Wyniki symulacji z uruchomionej z powyższymi parametrami widoczne są poniżej.



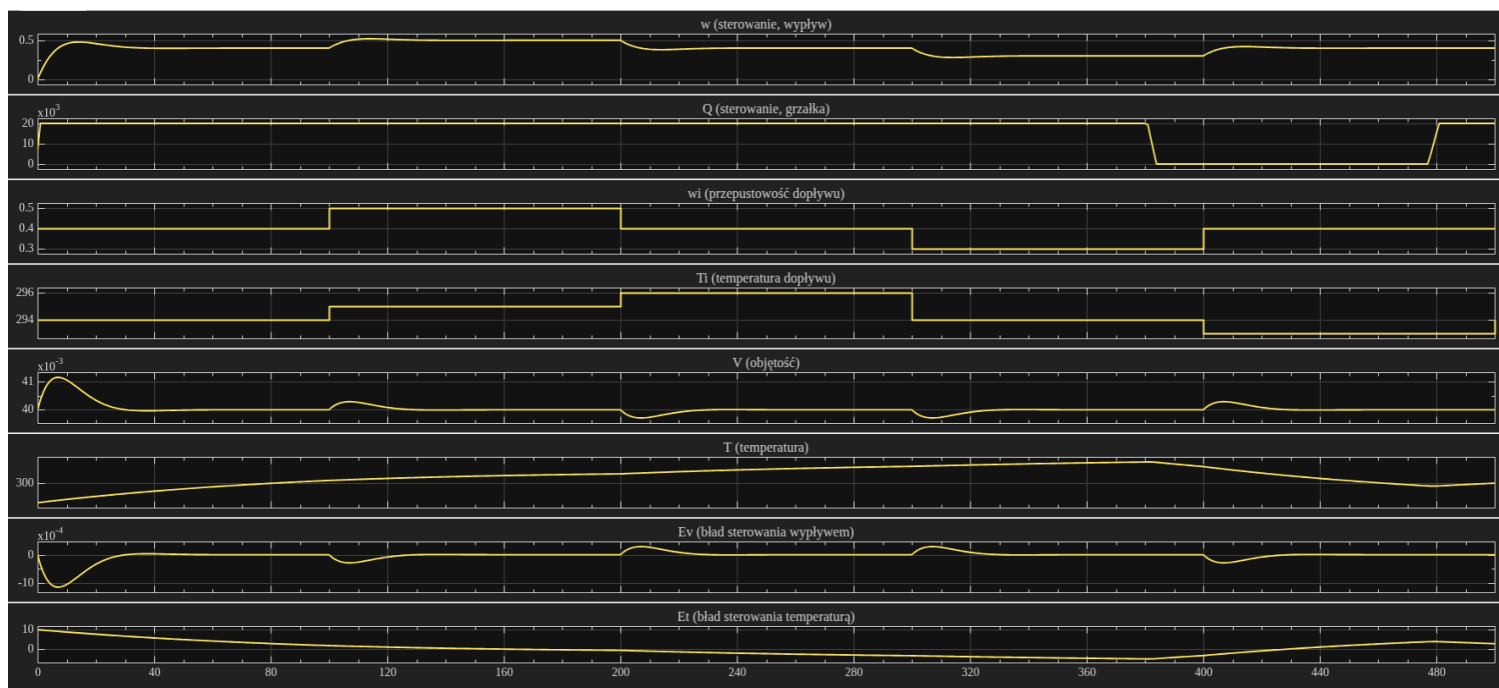
Następnie można przeprowadzić symulację dla innych parametrów regulatora i zaobserwować jak one w rzeczywistości wpływają na układ sterowania.

Tym razem pożądana charakterystyka będzie zawierać znacznie szybszą odpowiedź oraz taką samą stabilność. Uzyskane automatycznie parametry wynoszą: $P = -4260$, $I = 0,9757$.



Widać, że w praktyce taki układ jest bardzo czuły - sterowanie zmienia się bardzo szybko, co wpływa bezpośrednio na wynikową objętość cieczy oraz błąd. Co prawda błąd jest rzędu 10^{-5} , lecz takie sterowanie z punktu fizycznego może oznaczać bardzo szybkie zużycie się mechanizmu zaworu wypływowego. Tak szybkie sterowanie ciężkie byłoby nawet do uzyskania przez wzgląd na ograniczenia prędkości mechanizmu zaworu.

Teraz regulator objętości przywrócony został do poprzedniej charakterystyki, lecz zmieniona została stabilność odpowiedzi regulatora mocy grzałki na znacznie niższą (czyli bardziej agresywną) oraz zwiększony został oczekiwany czas reakcji. Parametry wyniosły: $P = 686$, $I = 1,96$.



Na przebiegu mocy grzałki można zaobserwować gwałtowny początek rozpoczęcia grzania, oraz znacznie bardziej strome zbocza deaktywacji oraz aktywacji. Otrzymana reakcja jest szybsza, natomiast podobnie jak z zaworem, może to mieć negatywny wpływ na żywotność urządzenia w rzeczywistości.