

Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik
Informacyjnych

Systemy DCS i SCADA

Projekt układu regulacji obiektu
grzejąco-chłodzącego

Zdający:

Krystian Guliński
Jakub Sikora
Konrad Winnicki

Prowadzący:

dr inż. Sebastian
Plamowski

Warszawa, 7 grudnia 2018

Spis treści

| | |
|------------------------------------------------|---|
| 1. Obiekt regulacji | 2 |
| 1.1. Opis obiektu termicznego | 2 |
| 1.2. Zebranie odpowiedzi skokowej | 2 |
| 1.3. Proces modelowania obiektu | 2 |
| 1.4. Proces modelowania zakłóceń | 3 |
| 2. Układ regulacji | 4 |
| 2.1. Algorytm PID | 4 |
| 2.2. Człon odsprzęgający | 5 |
| 3. Implementacja w systemie OVATION | 6 |
| 3.1. Control sheet | 6 |
| 3.2. Użyte algorytmy | 6 |
| 4. Testy układu regulacji | 7 |
| 4.1. Testy reakcji na zmianę wartości zadanej | 7 |
| 4.2. Testy reakcji na zmianę wartości zakłóceń | 8 |
| 4.3. Konkurs pomiędzy grupami laboratoryjnymi | 9 |

1. Obiekt regulacji

1.1. Opis obiektu termicznego

Obiektem regulacji jest laboratoryjne stanowisko chłodząco-grzejące. Jest to obiekt cieplny, w którym jako elementy grzewcze wykorzystano rezystory mocy, w specjalnych obudowach dobrze odprowadzających wytworzone ciepło. Do chłodzenia wykorzystano wysokoobrotowe wentylatory. Zastosowano czujniki temperatury z magistralą danych OneWire – oznaczenia. Dodatkowo wykorzystano płytę pomiarową służącą do odczytu wartości prądu oraz napięcia. Urządzenie może pracować w trzech trybach komunikacji: poprzez dedykowany protokół komunikacyjny przy użyciu standardu USB, protokół MODBUS RTU oraz standard napięciowy RS485 lub poprzez standard sygnałów analogowych 0-10V podłączając regulator przy użyciu złączy śrubowych. Użytkownik ponadto ma możliwość zmiany charakteru obiektu, w tym celu zamontowana została fizyczna przegroda. Wykorzystana jest ona do oddzielenia dwóch strumieni powietrza wentylatora lewego i prawego, dzięki czemu można zredukować zakłócenia wynikające z mieszania się strumieni. W ćwiczeniu, obiekt laboratoryjny został znacząco uproszczony do przypadku jednowymiarowego. Wartością regulowaną była wartość temperatury odczytana na czujniku temperatury T1. Sterowanie temperaturą odbywało się za pomocą grzałki G1. W ramach utrudnienia, na obiekt działało zakłócenie w postaci wentylatora W1.

1.2. Zebranie odpowiedzi skokowej

Pierwszym krokiem do zamodelowania obiektu było wyznaczenie jego odpowiedzi skokowych. Przebiegi otrzymanych odpowiedzi skokowych można zobaczyć na tle wyznaczonych na ich podstawie modeli w kolejnym podrozdziale. Głównym problemem było zapewnienie odpowiednich warunków pomiarów. Należało w tym celu zadbać o mały ruch ludzi wokół obiektu, a szczególnie pilnować otwierania i zamykania drzwi do laboratorium. Pozyskano dwa typy odpowiedzi skokowych - reakcję na skok sterowania grzałką oraz reakcję na skok sterowania wiatraka(zakłócenie). Pozwolą nam one na odpowiednie określenie parametrów obiektu w celu jego dalszej identyfikacji i regulacji.

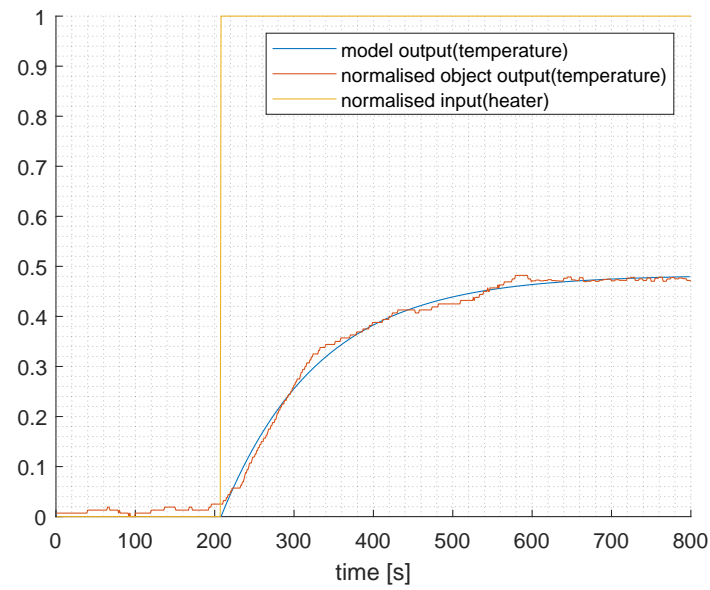
1.3. Proces modelowania obiektu

Przy pomocy zebranej odpowiedzi skokowej obiektu, za pomocą Matlaba dokonaliśmy identyfikacji modelu jednoinercyjnego. Pomimo że obiekt fizycznie jest co najmniej dwuinercyjny, zdecydowaliśmy się na przybliżenie go pojedynczą inercją w celu uproszczenia struktury regulacji.

Do przeprowadzania identyfikacji wykorzystaliśmy funkcję `tfest`, która na podstawie przebiegów czasowych wyznacza parametry zadanej transmitancji.

Otrzymany model obiektu:

$$model_obiektu(s) = \frac{0.00395}{s + 0.008166}$$



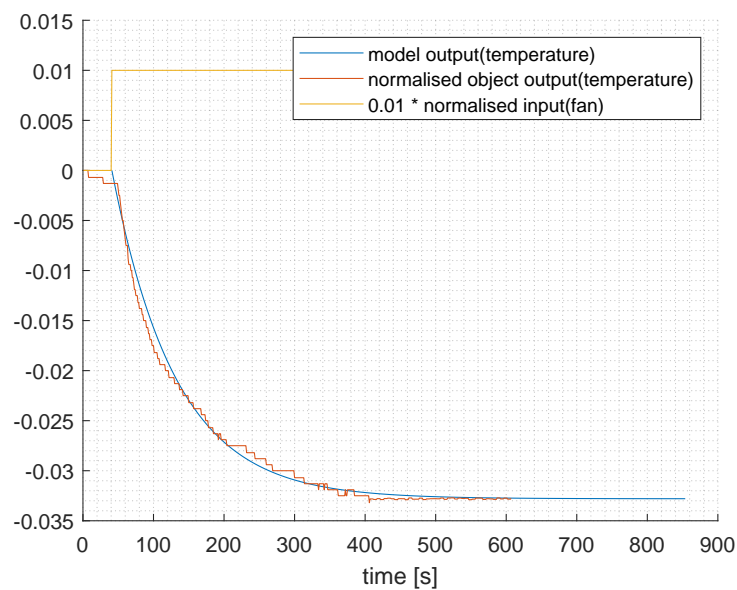
Rysunek 1.1. Porównanie wyjścia modelu z obiektem

1.4. Proces modelowania zakłóceń

Przy pomocy zebranej odpowiedzi skokowej obiektu w trakcie reakcji na zmianę zakłóceń byliśmy w stanie w analogiczny sposób wyznaczyć również model zakłóceń, który potem będzie przydatny przy odsprzęganiu zakłóceń.

Otrzymany model zakłóceń:

$$model_zaklocen(s) = \frac{-0.0003625}{s + 0.01105}$$



Rysunek 1.2. Porównanie wyjścia modelu z obiektem w sytuacji badania zakłóceń

2. Układ regulacji

Ze względu na możliwość pomiaru zakłóceń do regulacji obiektu został użyty schemat sterowania obiektu regulatorem PID (realizacja OVATION) z kompensowaniem zakłóceń (feedforward) w strukturze otwartej przedstawiony na wykładzie z przedmiotu DCS.

2.1. Algorytm PID

Parametry regulatora PID zostały dobrane na podstawie modelu wyznaczonego w poprzedniej części projektu. W tym celu został użyty PID Tuner dostępny w środowisku MATLAB.

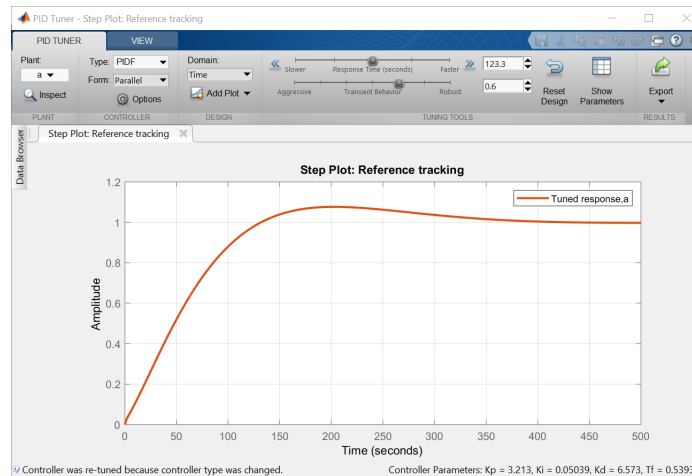
Równanie regulatora PIDF dostępnego w środowisku MATLAB:

$$PIDF_{MATLAB}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + \frac{K_d s}{T_f s + 1}$$

Równanie regulatora PID dostępnego w systemie Ovation:

$$PID_{ovation}(s) = K_p + \frac{1}{T_i s} + \frac{K_d s}{T_f s + 1}$$

Jak widać różnica jest znikoma, aby dostosować parametry otrzymane z PID Tuner należy obliczyć wartość parametru T_i według wzoru $T_i = \frac{1}{K_i}$



Rysunek 2.1. Widok procesu strojenia regulatora PID w PID Tunerze

Otrzymane parametry:

| Regulator | Kp | Ki/Ti | Td | Tf |
|-------------|--------|--------------|--------|---------|
| PIDF_MATLAB | 3.2078 | Ki = 0.0502 | 6.3794 | 0.54035 |
| PID_OVATION | 3.2079 | Ti = 19.8977 | 6.3794 | 0.54035 |

2.2. Człon odsprzęgający

Do obliczenia transmitancji odsprzęgania wykorzystamy wcześniej wyznaczone modele obiektu i zakłóceń, następnie zostanie ona przekształcona w celach implementacji w systemie OVATION. Transmitancja wykorzystywana do odsprzęgania wygląda następująco:

$$G_{odsp}(s) = \frac{-G_z(s)}{G_o(s)} = \frac{0.0003626s+2.969 \cdot 10^{-6}}{0.003956s+4.374 \cdot 10^{-5}}$$

$$G_{odsp}(s) = 0.0679 \cdot \frac{122.1315s+1}{90.4449s+1}$$

Taką transmitancję możemy zrealizować elementem LEADLAG dostępnym w systemie OVATION. Parametry tego elementu zostały wyciągnięte z przekształconej transmitancji i wpisane do tabelki w odpowiadające im miejsca.

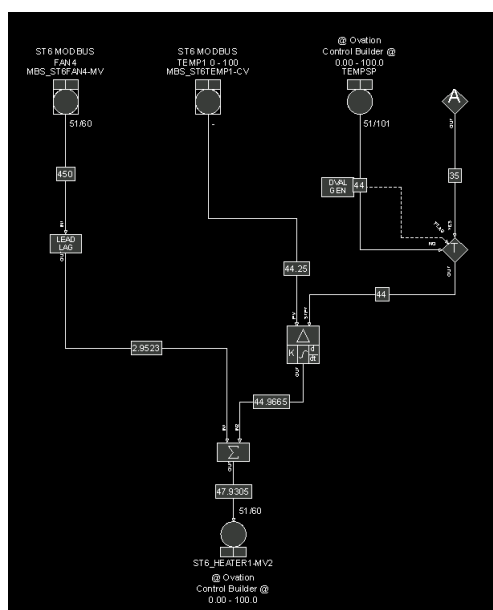
| Parametr LEADLAG | Wartość |
|------------------|----------|
| GAIN | 0.0679 |
| LEAD | 122.1315 |
| LAG | 90.4449 |

3. Implementacja w systemie OVATION

3.1. Control sheet

Korzystając z programu Control Builder i zawartych w nim bloków funkcyjnych takich jak PID, LEAD LAG, TRANSFER, SUM, IN i OUT zaimplementowano regulator PID z odsprzęganiem zakłóceń. Wartością regulowaną(PV) była temperatura T1, wartością sterowaną(MV) było wystawianie grzałki G1, a zakłóceniem(DV) był wydatek wentylatora W4.

Do wejść regulatora PID doprowadzono sygnał z termometru T1 oraz wartość zadaną temperatury. Wyjście regulatora poprzez sumator steruje grzałką G1. Do sumatora dołączono również sygnał odsprzęgający zakłócenie od wentylatora W4.



Rysunek 3.1. Widok control sheet'u w Signal Diagram Viewer

3.2. Użyte algorytmy

W implementacji zastosowano bloki funkcyjne:

- PID – regulator PID
- LEAD LAG – blok realizujący transmitancję o określonych parametrach
- SUM – blok sumujący wartości sygnałów na jego wejściach
- TRANSFER – blok realizujący przełączanie gałęzi układu regulacji, pozwolił na wybór źródła wartości zadanej temperatury
- DVALGEN – źródło sygnału binarnego, zastosowany do przełączania bloku
- IN – wejście sygnałów do control sheet
- OUT – wyjście sygnałów z control sheet

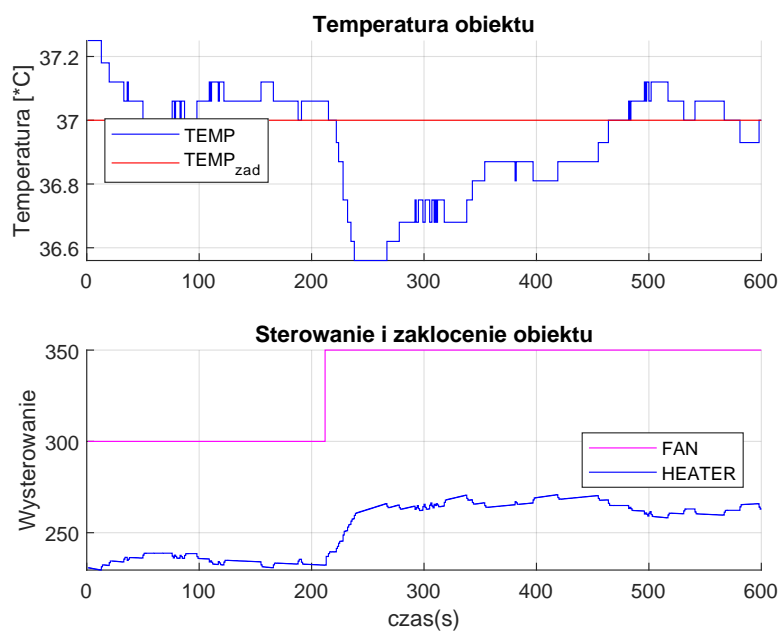
4. Testy układu regulacji

Po zaimplementowaniu regulatora PID rozpoczęto testy układu regulacji mające na celu określenie jakości regulacji w sytuacjach zmian wartości zadanej temperatury oraz zmian wartości zakłócenia.

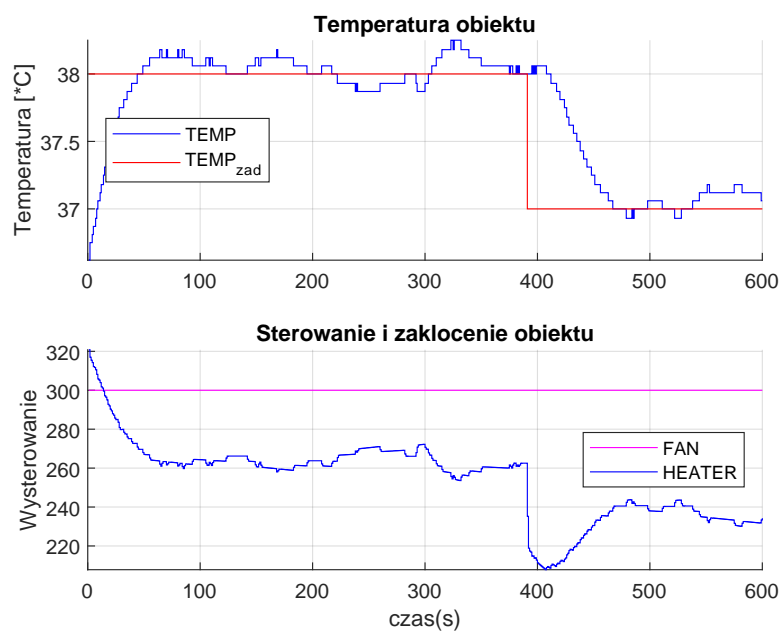
Wykonano serie skoków wartości zadanej temperatury i skoków wartości zakłócenia rejestrując zachowanie regulatora i obiektu regulacji.

Testy wykazały zadowalające osiągi układu regulacji, zaobserwowane reakcje regulatora na skoki wartości zadanej oraz skoki zakłócenia pozwalają stwierdzić, że dobrany regulator bardzo dobrze spełnia założenia projektu.

4.1. Testy reakcji na zmianę wartości zadanej

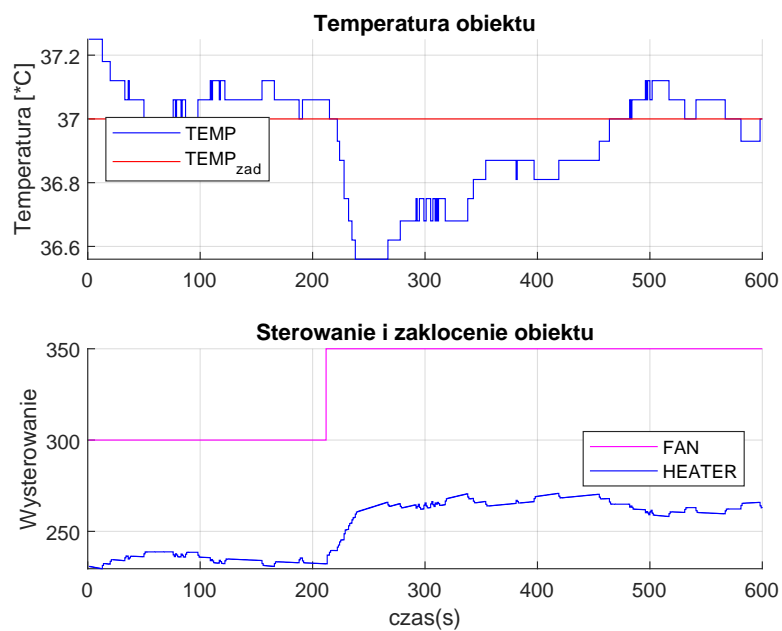


Rysunek 4.1. Skok wartości zadanej z 30 na 35 stopni

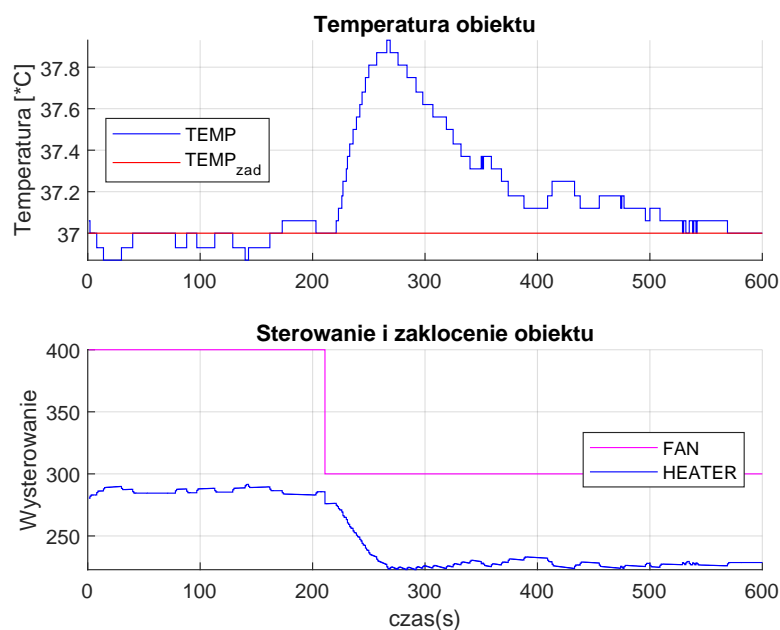


Rysunek 4.2. Skok wartości zadanej z 38 na 37 stopni

4.2. Testy reakcji na zmianę wartości zakłóceń



Rysunek 4.3. Skok wartości sterowania wiatraka (zakłócenie) z 30 na 35 procent



Rysunek 4.4. Skok wartości sterowania wiatraka (zakłócenie) z 40 na 30 procent

4.3. Konkurs pomiędzy grupami laboratoryjnymi

Finałem projektu był przeprowadzony przez prowadzącego konkurs mający na celu wyłonienie najlepszego regulatora zaimplementowanego przez studentów. Oceną jakości regulacji w trakcie trwania konkursu było zliczanie błędu średniokwadratowego uchybu w chwilach gdy uchyb był większy od założonej wartości półstopnia Celsjusza.

Konkurs zakładał przełączenie sterowania wszystkich stanowisk na ten sam sygnał wartości zadanej temperatury oraz ten sam sygnał zakłócenia. Po przełączeniu sterowań odczekano na stabilizację wszystkich obiektów, po czym wykonano skok wartości zadanej temperatury, odczekano na stabilizację i wykonano skok zakłócenia.

W tak przeprowadzonym konkursie regulator z powyższego sprawozdania osiągnął trzecie miejsce.