

**Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska**

**Projektowanie układów sterowania
(projekt grupowy)**

Sprawozdanie z laboratorium nr 5

Sobolewski Konrad, Róžański Antoni, Giełdowski Daniel

Warszawa, 2017

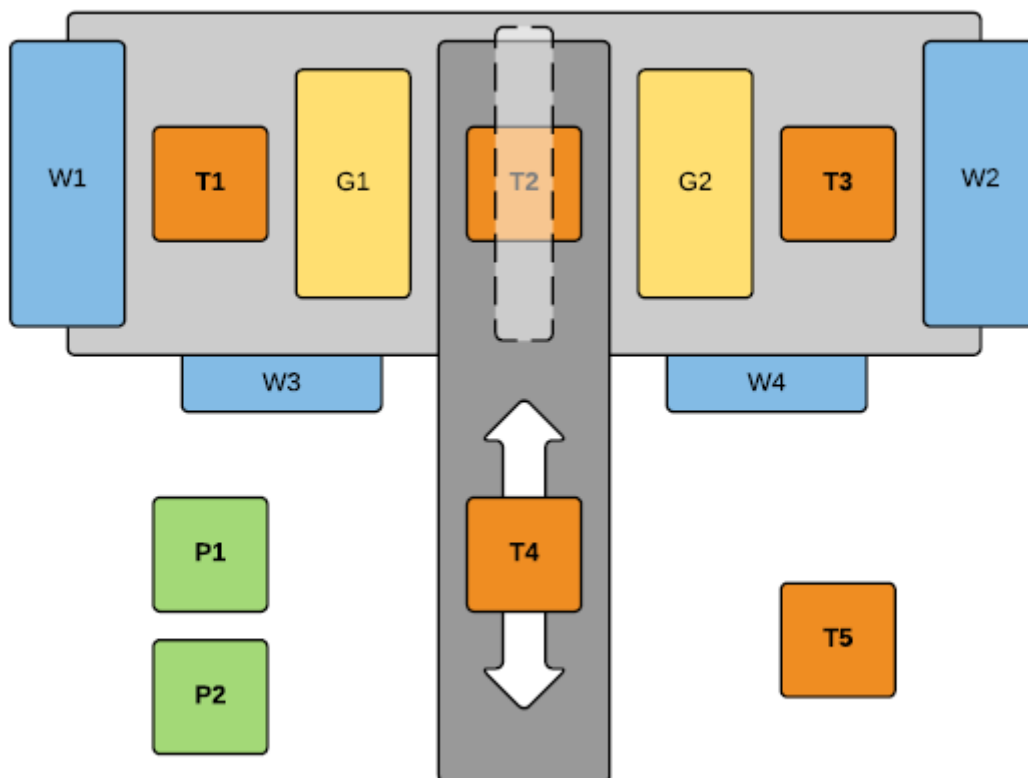
Spis treści

1. Opis obiektu	2
1.1. Stanowisko grzewcze	2
1.2. Obiekt inteco	3
2. Zadanie 1: Punkt pracy	4
3. Zadanie 2: Mechanizm zabezpieczający	5
4. Zadanie 3: PID	6
5. Zadanie 4: DMC	11
5.1. Odpowiedzi skokowe	11
5.2. DMC	13
6. Panel operatora	14
6.1. Prezentowane wartości	14
6.2. Sposób prezentacji danych	14
6.2.1. Wartości aktualne	14
6.2.2. Wartości przeszłe	15
7. Automat stanów	16
8. Konfiguracja sterownika	17
8.1. Wejścia regulatora	17
8.2. Wyjścia regulatora	17
9. Dostosowanie implementacji regulatora PID do obiektu Inteco	19
9.1. Strojenie regulatorów	19
10. Automat stanów: TRAS	20

1. Opis obiektu

1.1. Stanowisko grzewcze

Obiektem używanym podczas pierwszej części laboratorium było stanowisko grzejąco-chłodzące przedstawione schematycznie na poniższym rysunku 1.1. Stanowisko składa się z 4 wentylatorów (W), 2 grzałek (G), 5 czujników temperatury (T), pomiaru prądu (P1) oraz napięcia (P2). Nie korzystaliśmy jednak w tym ćwiczeniu ze wszystkich elementów stanowiska. Przez cały czas trwania ćwiczenia uruchomione były wentylatory W1,W2 które ustawione na stałe 50% mocy symulował stałe niemierzalne zakłócenie. Symulowany był obiekt o dwóch wejściach i dwóch wyjściach - sterowaniem naszego obiektu była grzałka G1,G2. Jako wyjście został przyjęte czujniki temperatury T1,T3. Nie odczytywaliśmy wartości z pozostałych czujników; nie były one istotne dla naszego eksperymentu. Ze względu na to, że mierzonym medium była temperatura, obiekt był narażony na różnego rodzaju szumy i zakłócenia. Jego położenie także nie sprzyjało dokładnym pomiarom (otwarte drzwi). Z tych powodów pomiary z niego otrzymane mogły zawierać odchylenia od rzeczywistych wartości.



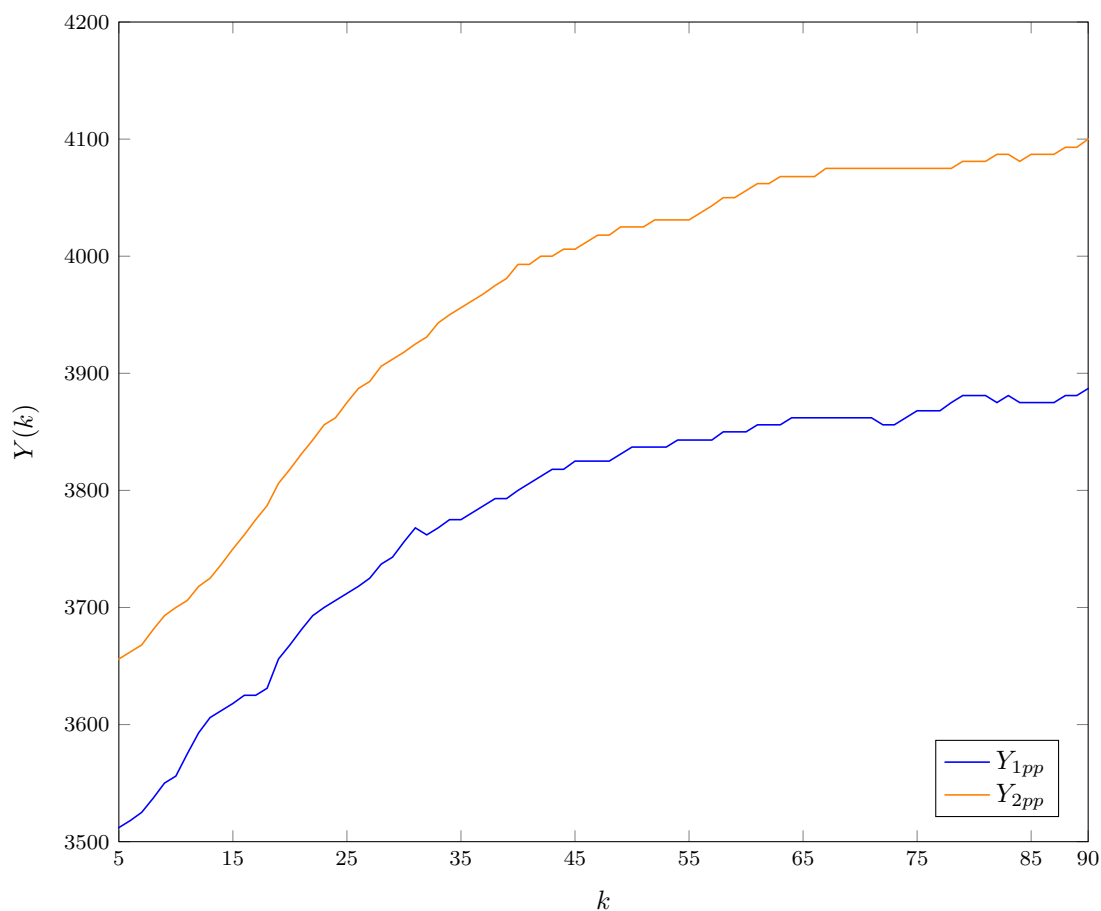
Rys. 1.1. Schemat stanowiska grzejąco-chłodzącego

1.2. Obiekt inteco

W drugiej części laboratorium mieliśmy za zadanie sterowanie układu dwóch wirników Inteco TRAS (Two Rotor Aero-dynamical System). Położenie obiektu, zarówno w osi X jak i osi Y można odczytywać z enkoderów na nim zainstalowanych. Można także sterować wirnikami za pomocą sygnału PWM, również w osi X oraz Y a także zatrzymywać go za pomocą sygnałów hamujących. Oprócz tego obiekt także posiada wejścia, za pomocą których można sterować kierunkami obrotu wirników.

2. Zadanie 1: Punkt pracy

Pierwszym poleceniem było określenie wartości wyjść obiektu Y_{pp} (pomiaru $T1$ oraz $T3$) w punkcie pracy $U_{pp1} = 36$ $U_{pp2} = 41$. Osiągnęliśmy ją ustawiając wartość sterowania (moc grzania grzałek $G1, G2$) na U_{pp1} U_{pp2} i odczekując znaczną ilość czasu (powyżej 6 minut). Jak widać na wykresie 2.1, wyjścia ustabilizowały się w okolicy $Y_{pp1} = 39$ oraz $Y_{pp2} = 41$ stopni Celcjusza.



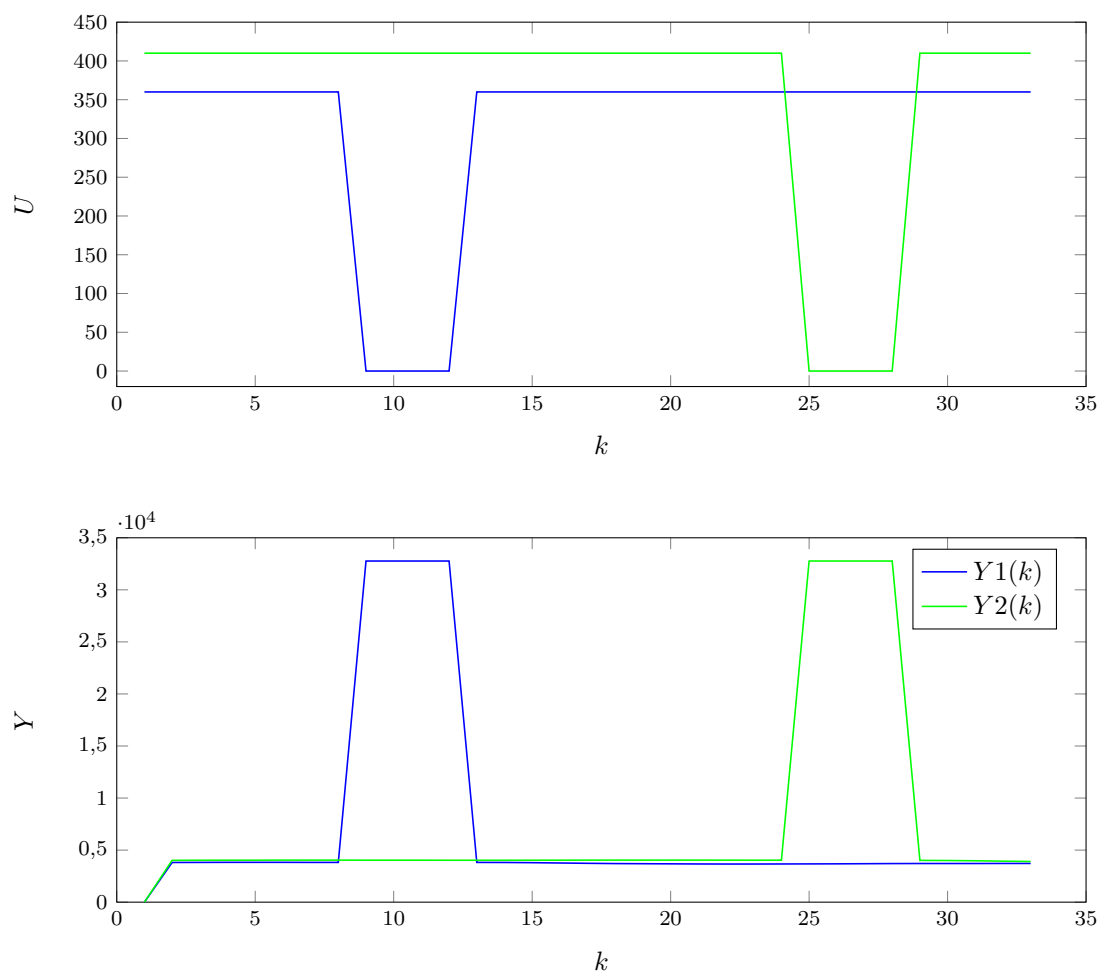
Rys. 2.1. Wykresy $Y(k)$ w punktach pracy U_{pp}

3. Zadanie 2: Mechanizm zabezpieczający

Następnym zadaniem do wykonania była implementacja mechanizmu zabezpieczającego przed uszkodzeniem grzałek. Polega to na implementacji mechanizmu symulującego przekroczenie temperatury 150 stopni celsjusza. Z powodu braku możliwości otworzenia wspomnianego pliku poza laboratorium, implementacja jest zawarta wyłącznie w pliku o następującej ścieżce:

stanowiskogrzewcze.gx3 > FIXEDSCAN > PID

Na rys . 3.1 znajdujące się wykresy zebrane przez środowisko *Matlab* przedstawiające poprawność implementacji naszego zabezpieczenia.



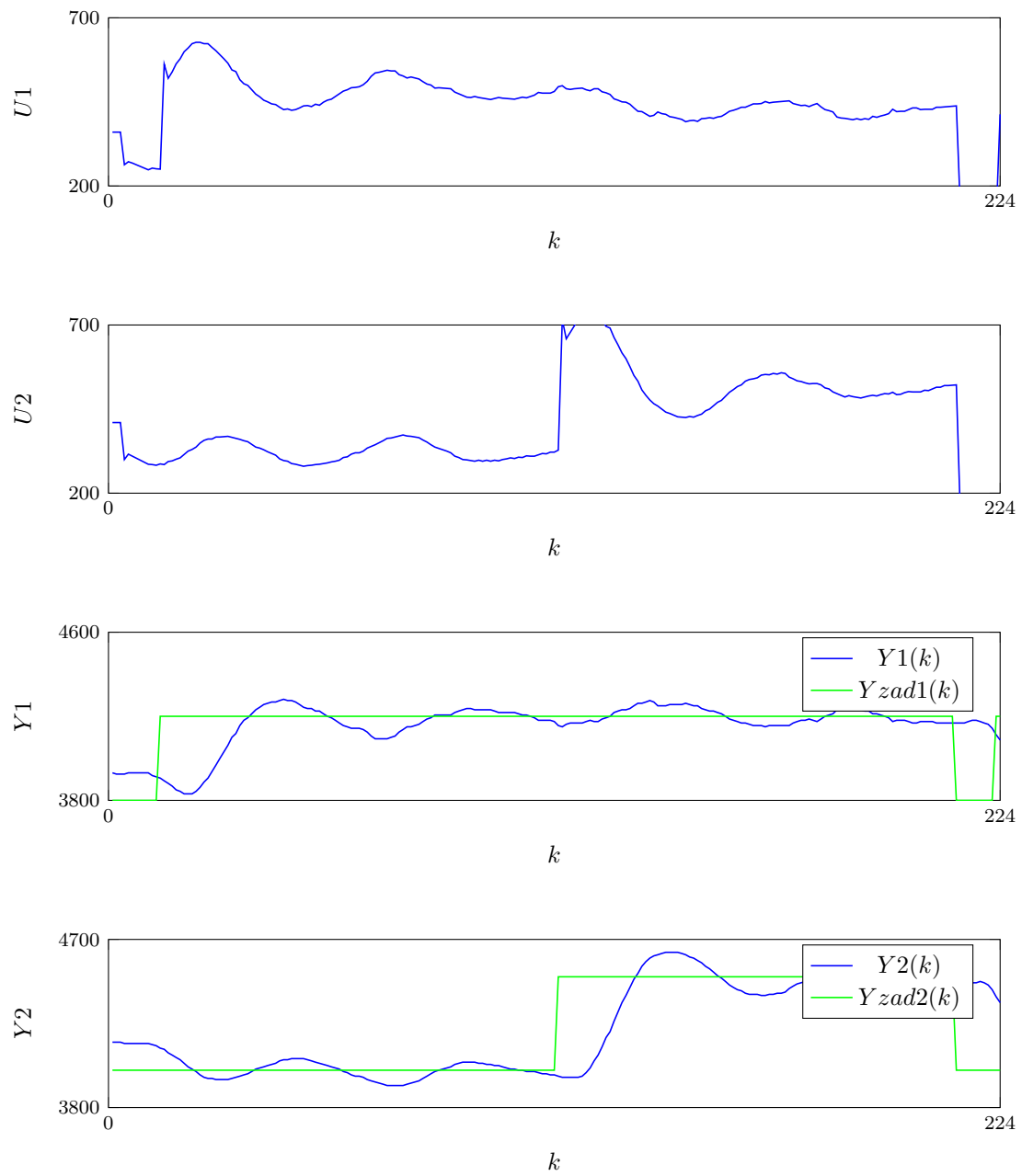
Rys. 3.1. Mechanizm zabezpieczający

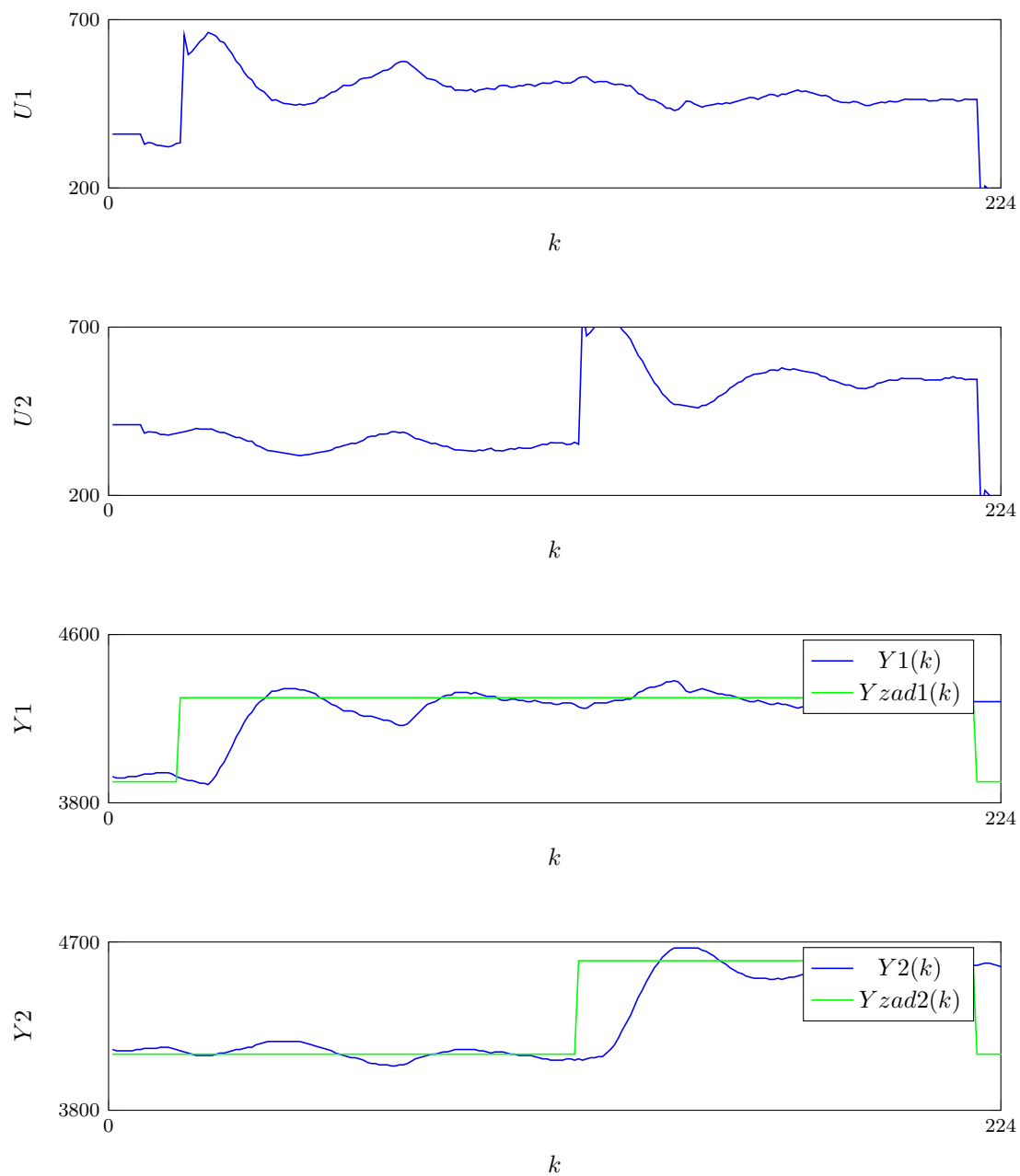
4. Zadanie 3: PID

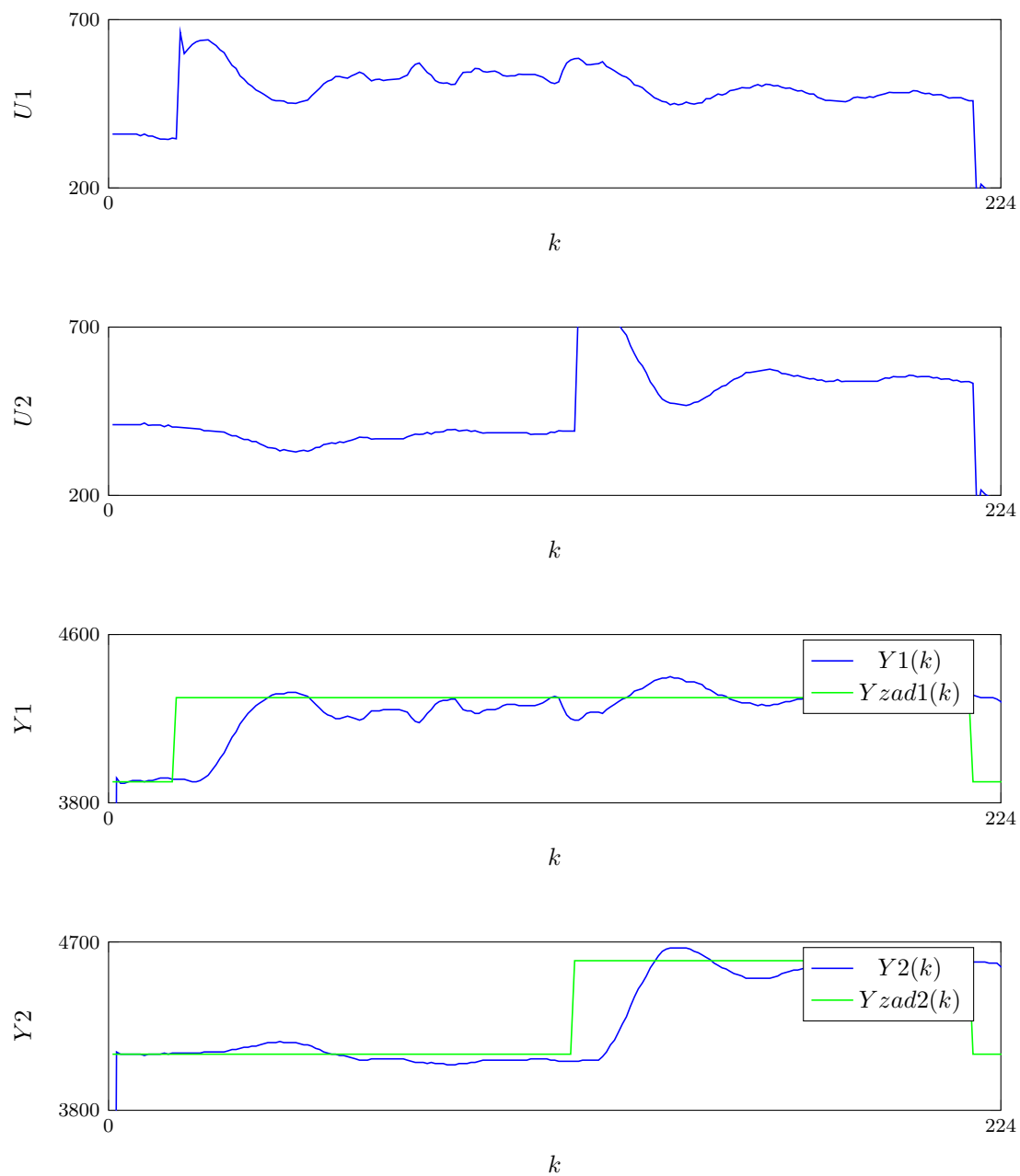
Na tym etapie przystąpiliśmy do implementacji algorytmu *PID* z ograniczeniami, bez użycia wbudowanych funkcji na stanowisku grzejąco - chłodzącym. Z powodu braku możliwości otwarcia wspomnianego pliku poza laboratorium, implementacja jest zawarta wyłącznie w pliku o następującej ścieżce:

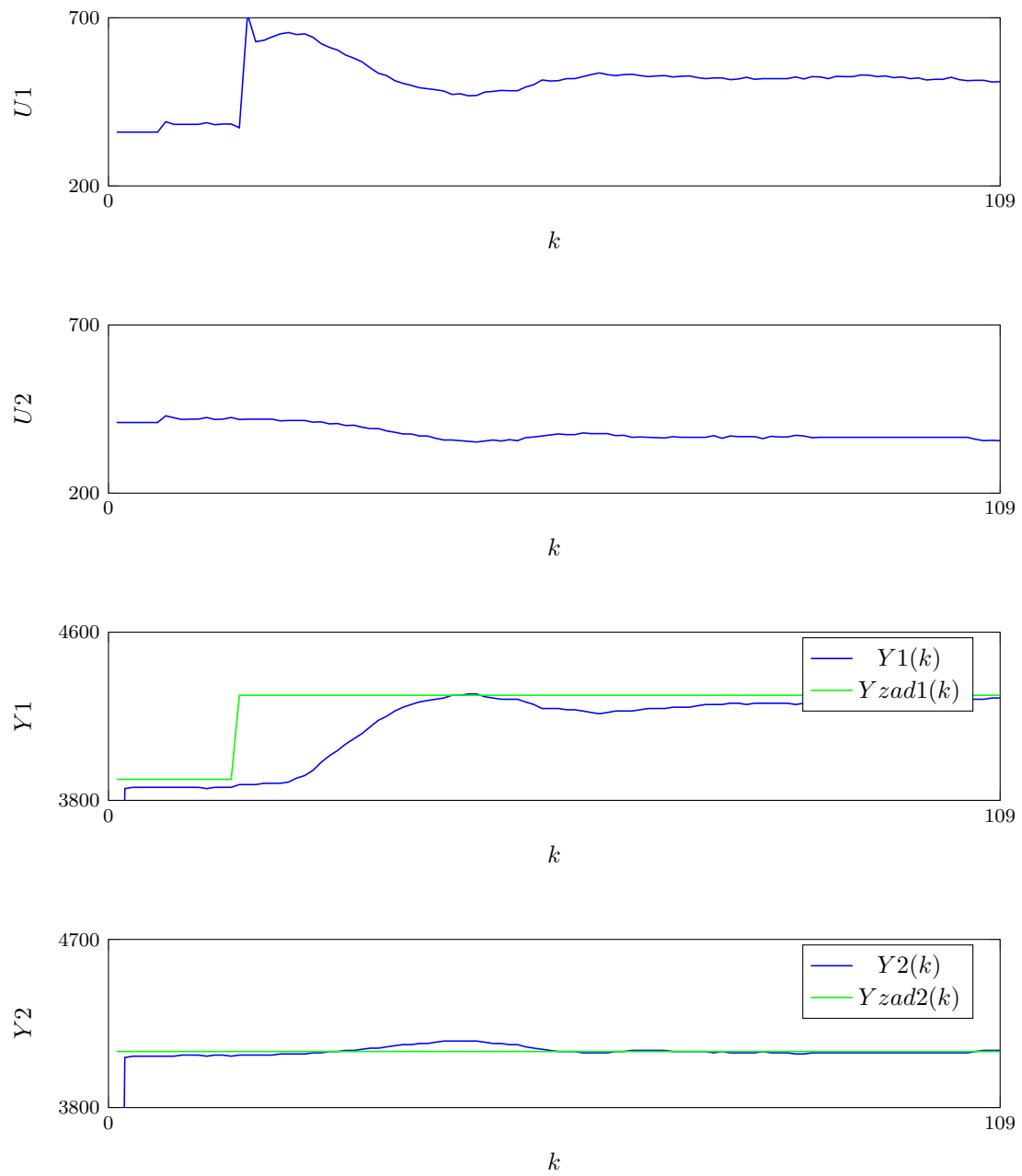
stanowiskogrzewcze.gx3 > FIXEDSCAN > PID

W trakcie trwania laboratorium udało się nam zebrać 4 przebiegi wyjść obiektu. Rys . 4.1 przedstawia nasze początkowe nastawy od których rozpoczęliśmy dobieranie kolejnych. Widać, że nastawy te są niedoskonałe z powodu widocznych oscylacji. Najlepsze nastawy, które udało się nam uzyskać są przedstawione na rys . 4.3 i mają one następujące wartości : $K = 6$, $T_i = 100$, $T_d = 1.2$. Można na nich zauważyć, że przeregulowanie , oscylacje oraz czas regulacji uległy poprawie. Przebiegi na wykresie rys. 4.4 są niekompletne z powodu zakończenia laboratorium, dlatego ciężko nam oszacować czy uzyskaliśmy poprawę dla tej próby.

Rys. 4.1. PID $K = 6$, $T_i = 65$, $T_d = 1$

Rys. 4.2. PID $K = 6$, $T_i = 85$, $T_d = 1.2$

Rys. 4.3. PID $K = 6$, $T_i = 100$, $T_d = 1.2$

Rys. 4.4. PID $K = 6$, $T_i = 110$, $T_d = 1.5$

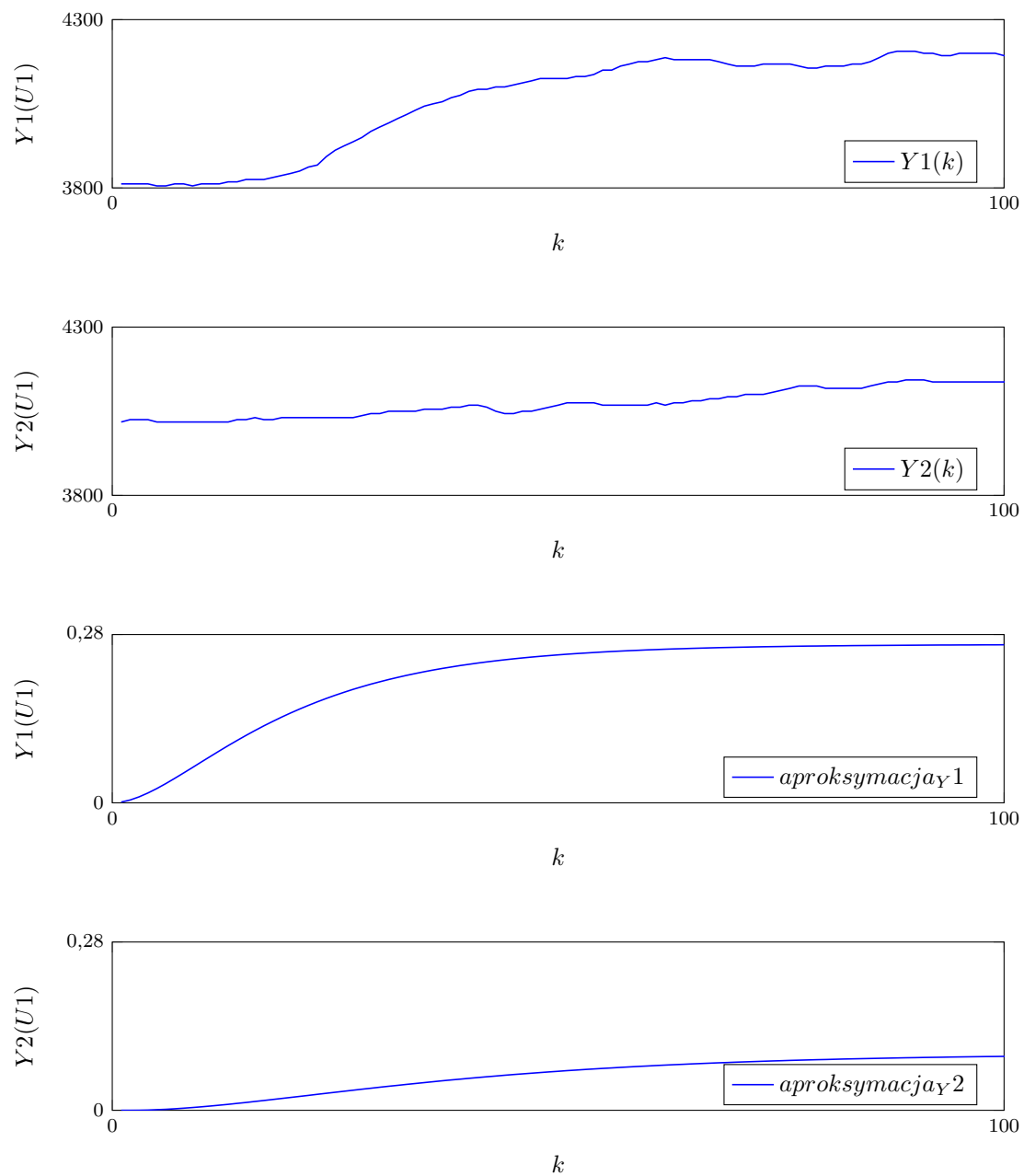
5. Zadanie 4: DMC

Na tym etapie przystąpiliśmy do implementacji algorytmu *DMC* z ograniczeniami na stanowisku grzejąco - chłodzącym. Z powodu braku możliwości otworzenia wspomnianego pliku poza laboratorium, implementacja jest zawarta wyłącznie w pliku o następującej ścieżce:

$$\textit{stanowiskogrzewcze.gx3} > \textit{FIXEDSCAN} > \textit{DMC}$$

5.1. Odpowiedzi skokowe

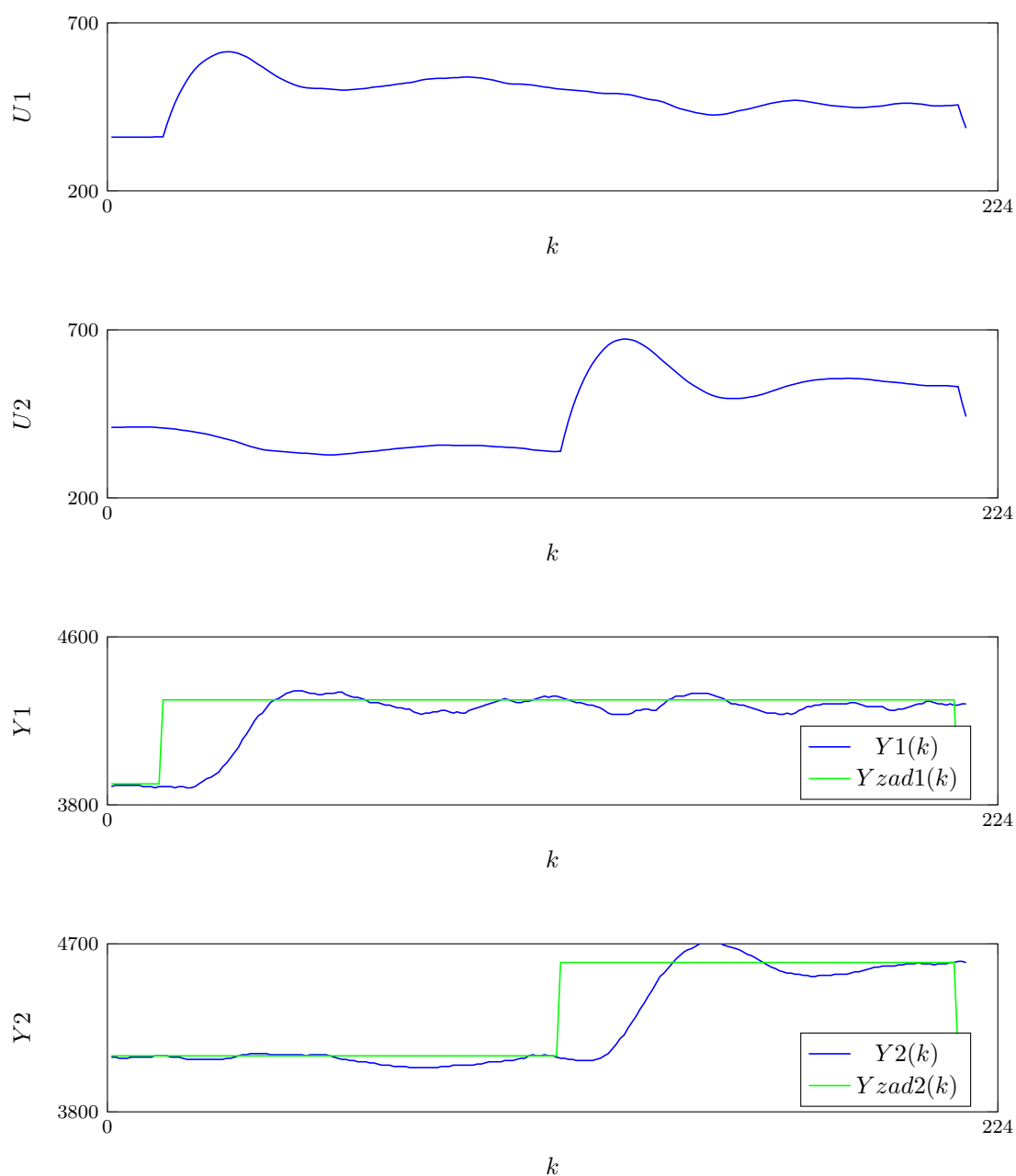
Pamiętając, że obiekt jest symetryczny postanowiliśmy zebrać odpowiedzi skokowe wyłącznie dla zmiany sterowania pierwszej grzałki. Zebrane oraz zaproksymowane wyniki przedstawione są na rys. 5.1



Rys. 5.1. Odpowiedzi skokowe oraz ich normalizacja

5.2. DMC

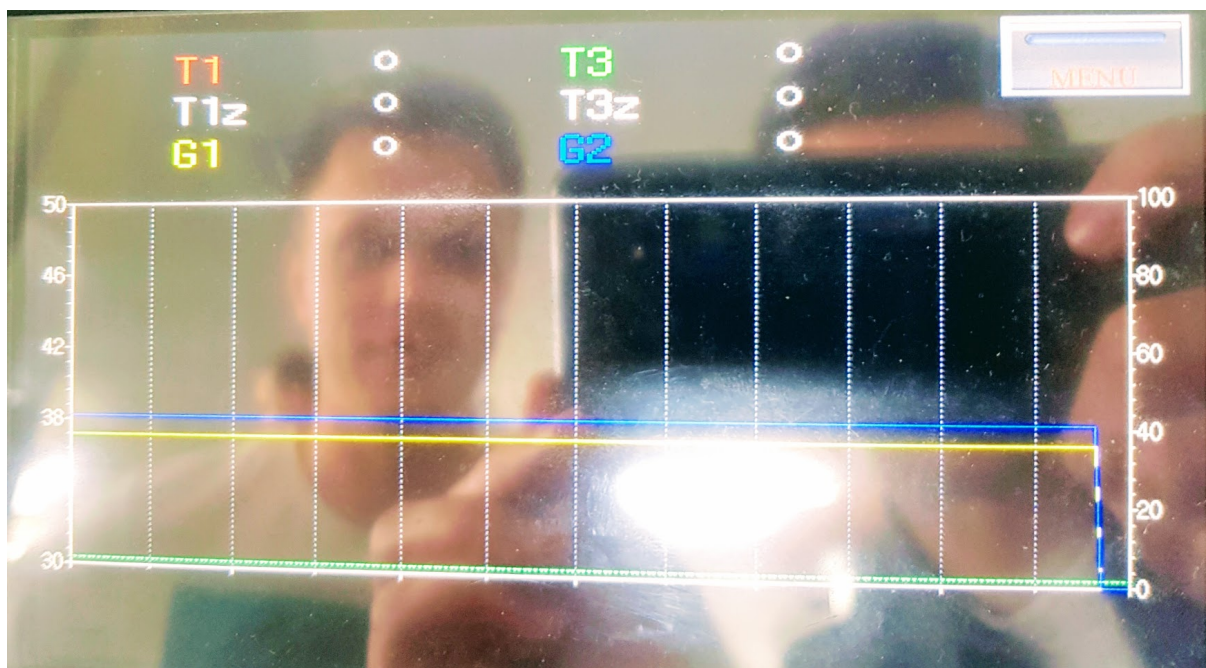
Na rys. 5.2 zostały zaprezentowane wyniki dla torów sterowania oraz wyjścia regulatora DMC. W trakcie trwania laboratorium udało się nam zebrać przebiegi dla nastaw $N = 100, N_u = 100, \lambda = 1$. Prowadzący laboratorium ocenił nasz wygląd regulacji na zadawalający oraz zasugerował nam porzucenie dalszych badań i skupienie się na następnych punktach laboratorium.



Rys. 5.2. DMC $N = 100, N_u = 100, \lambda = 1$

6. Zadanie 5: Panel operatora

Do stworzenia wizualizacji został użyty program GT Designer. Działający panel operatora został zaakceptowany przez Prowadzącego.



Rys. 6.1. Panel operatora stanowiska grzewczego

6.1. Prezentowane wartości

Zdecydowaliśmy się na prezentację następujących wartości:

1. Aktualne wartości obu wyjść procesu ($T1$ i $T3$);
2. Aktualne wartości zadane obu wyjść procesu ($T1z$ i $T3z$);
3. Aktualne wartości sterowań dla obu wyjść ($G1$ i $G2$);
4. Historię poprzednich sterowań dla obu procesów.
5. Historię poprzednich wyjść dla obu procesów.

6.2. Sposób prezentacji danych

Dane prezentowane są w najprostszej formie graficznej, aby użytkownik panelu operatora mógł ocenić stan, w jakim znajduje się obiekt w jak najmniejszym czasie.

6.2.1. Wartości aktualne

Wartości aktualne prezentowane są w formie tekstowej - obok symbolicznych nazw wypisana jest liczba skojarzona z wielkością reprezentowaną przez tę nazwę. Najważniejsze prezentowane

wartości mają przypisane indywidualne kolory: $T1$ - czerwony, $T3$ - zielony, $G1$ - żółty, $G2$ - niebieski.

6.2.2. Wartości przeszłe

Aby uzyskać dokładniejsze dane dotyczące aktualnego stanu procesu, zostaje udostępniony również wykres wartości historycznych sterowania i wyjść obiektu.

Wykres ten został stworzony poprzez element 'Historical Trend Graph' programu GT Designer. Prezentowana jest na nim historia czterech wartości ($T1$, $T3$, $G1$ i $G2$) poprzez linie w kolorze odpowiadającym poszczególnym wielkościom.

Trudności sprawiła nam prezentacja danych na jednym wykresie, gdyż wyjścia i wejścia mają różne rzędy wielkości i zakresy. Uby umożliwić wizualizację, zastosowaliśmy dwie różne skale na wykresie - skala po lewej stronie wykresu odnosi się do temperatury (zakres od 30 do 50 stopni), natomiast skala po prawej stronie pozwala określić wielkość sterowania (wysterowanie grzałki od 0 do 100).

7. Zadanie 6: Automat stanów

Do zmiany wartości zadanej został zaimplementowany automat stanów w najprostszej postaci - każdy stan reprezentuje wartość zadanej wielkości wyjściowej (temperatury) dla każdego z wyjść. Każdy stan może przejść tylko do jednego innego stanu, podobnie do każdego stanu można dostać się tylko jedną ścieżką. Warunkiem przejść między stanami jest numer iteracji - każda wartość zadana trwa określoną ilość iteracji. Kod dostępny jest w projekcie *stanowisko_grzewcze.gx3* w sekcji *> FixedScan > Zadana*.

8. Zadanie 7: Konfiguracja sterownika

Aby uruchomić obiekt laboratoryjny TRAS konieczna jest konfiguracja sterownika i jego połączenia z programem Matlab. W tym celu wykonane zostały poniższe działania:

Konfiguracja wstępna, konieczna także przy pracy ze stanowiskiem grzewczym:

1. Ustawiono IP sterownika PLC na 192.168.127.250;
2. Dodano element Unpassive TCP z portem 4000, aby umożliwić komunikację z Matlabem
3. Zdefiniowano konieczne bloki programowe: Init, Fixed Scan oraz konieczne labelle.

Konfiguracja ze stanowiskiem TRAS:

8.1. Wejścia regulatora

W pierwszej kolejności, aby umożliwić regulację, potrzebne są sygnały wyjściowe obiektu. W naszym przypadku są to dwa enkodery, z których odczytujemy położenie obiektu w poziomie i pionie.

Aby umożliwić odczyt z endkoderów konieczny jest kod:

```
HIOEN(TRUE,0,3,0);  
DHCMOVP(TRUE,0,0,SD4500);  
DHCMOVP(TRUE,0,0,SD4530);
```

Fragment

```
HIOEN(TRUE,0,3,0);
```

aktywuje szybkie liczniki, natomiast fragment:

```
DHCMOVP(TRUE,0,0,SD4500);  
DHCMOVP(TRUE,0,0,SD4530);
```

pozwala na odczyt wartości z enkoderów podpiętych pod podane adresy.

8.2. Wyjścia regulatora

Aby skonfigurować wyjścia regulatora należy zacząć od konfiguracji PWM. Ustawiliśmy odpowiednie częstotliwości w sekcji *CPUParameter* posilając się instrukcją oraz pomocą Prowadzącego laboratorium.

Następnie skonfigurowaliśmy wyjścia PWM:

```
PWM(EN_PWM1,Y_PWM1,K200,Y2);  
PWM(EN_PWM2,Y_PWM2,K200,Y4);
```

Niestety, w tym miejscu popełniliśmy błąd. Z powodu presji czasu i niemożności otworzenia pliku .xls zawierającego opis wejść/wyjść obiektu TRAS (brak zainstalowanego w systemie oprogramowania otwierającego ten format), podczas wyboru sygnałów sterujących silnikami kierowaliśmy się doświadczeniami przeprowadzonymi na panelu operatora. Sprawdziliśmy, które

sygnały uruchamiają obiekt i zmieniają kierunki jego obrotu w odpowiednich osiach. Sygnały zmiany kierunków, Y3 i Y5, zostały dobrane prawidłowo. Jendakże, wiedząc, że pozostałe cztery sygnały to są dwa sygnały sterujące PWM oraz dwa sygnały hamulca oraz kierując się intuicją, że sygnały hamulca to te, które będąc aktywne zatrzymują obiekt (sądziliśmy, że działają binarnie), błędnie założyliśmy, że sygnałami sterującymi są sygnały Y2, Y4. Niestety, są to sygnały hamujące działające w odwrotnej logice ('negative logic') i dodatkowo można z możliwością sterownia nimi za pomocą PWM. Wynikiem takiej pomyłki był pozornie działający system regulacji, sterownik nie zgłaszał błędów. Obiekt reagował na zmiany sterowania - mniejsza wartość wypełnienia sygnału PWM powodowała wolniejszy ruch, co nas tylko upewniło, że wejścia i wyjścia obiektu są poprawnie skonfigurowane. Pomyłka ta jednak miała katastrofalne skutki dla pozostałej części naszego laboratorium.

9. Zaadanie 10: Dostosowanie implementacji regulatora PID do obiektu Inteco

Pełen kod regulatora PID o dwóch wejściach i dwóch wyjściach do stanowiska TRAS dostępny jest w projekcie o nazwie tras.gx3, pod ścieżką Program > Fixed Scan > TRAS PID.

Jest to zaadoptowany algorytm PID stanowiska grzewczego. Zmiany wynikają z konieczności uwzględnienia kierunku ruchu - gdy zmienia się znak uchybu, również kierunek ruchu w danej osi powinien się zmienić (ustawianie flag *Y_DIR_DOWN* i *Y_DIR_LEFT*, podpiętych pod wejścia obiektu sterujące kierunkami obrotu wirników).

9.1. Strojenie regulatorów

Nastawy obu regulatorów były dobierane eksperymentalnie, przy czym najpierw był dobierany regulator osi pionowej, przy wyłączonym regulatorze osi poziomej, potem na odwrót. Nastawy zostały otrzymane w trakcie standardowej procedury - poprzez wyłączenie członów całkujących i różniczkujących, i, następnie, zmiany kolejno parametrów *K*, *Ti* i *Td*.

Jak zostało wspomniane w poprzednim rozdziale, programowe PWMy zostały podłączone pod sygnały hamujące obiektu. Jednakże regulator osi pionowej potrafił wysterować z zadowalającą jakością - miał tylko nieznaczne oscylacje wokół wartości zadanej. W celu poprawy jakości sterowania w osi pionowej (należy uwzględnić grawitację, jako dodatkową siłę działającą tylko w dół) wprowadziliśmy modyfikację do naszego algorytmu PID - wyłączamy regulator, gdy obiekt jest powyżej wartości zadanej - grawitacja sama spowoduje jego spadek.

Niestety, nie posiadamy wykresów obrazujących regulację TRASa. Mieliśmy zamiar wykonać je gdy dobierzemy zadowalające nastawy drugiego regulatora, co, jak się okazało, nie było możliwe. Obiekt w osi poziomej, sterowany za pomocą hamulca reagował na zmiany sterowania, ale robił to w sposób gwałtowny i niekontrolowany. Nieświadomi swojej pomyłki w konfiguracji, przez cały pozostały czas laboratorium poszukiwaliśmy przyczyny nieprzewidywalnego zachowania obiektu w złych nastawach, marnując cenny czas, co zaskutkowało niemożnością utworzenia wykresów i zrealizowania dużej części pozostałych podpunktów. Jednakże Prowadzący zajęcia widział i może potwierdzić regulację TRASa w osi pionowej.

10. Zadanie 12: Automat stanów: TRAS

Do zmiany wartości zadanej został zaimplementowany automat stanów w postaci bliźniaczo podobnej do tej dla obiektu grzewczego. Jediną różnicą były inne wartości zadane w kolejnych stanach.