Projekt L2

1. Celem jest zaprojektowanie i zaimplementowanie obliczeń prognozy temperatury tl w oparciu o model odpowiedzi skokowej, w pliku **step_stepResponseModel.m** w taki sposób, żeby prognoza była jak najbardziej zbliżona do wartości liczonej przez symulator i poprawnie identyfikowała okres, kiedy wystąpiło uszkodzenie tl_flt=1;

2. Jako obiekt użyty został model (niepełny) stanowiska grzewczo-chłodzącego, który symuluje:
   - Temperatury wyjściowe: tl (lewa) i tr (prawa)

   w oparciu o sygnały:
   - Wysterowania grzałek: hl (lewa) i hr (prawa) w zakresie (0-100)
   - Wysterowania wentylatorów: fl (lewy) i fr (prawy) w zakresie (30-100)
   - Sygnał uszkodzenia tl_flt i tr_flt – 0: stan poprawny, 1 – uszkodzenie toru pomiarowego temperatury, wówczas tl=13C a tr=17C.

   Plik **step_simulator.m** symuluje jeden krok (1 sekundę pracy) symulatora. Plik wykorzystuje zmienne globalne, które przechowują stan modelu, dzięki czemu model zachowuje się jak rzeczywisty obiekt.

   Plik **init_simulator.m** inicjalizuje zmienne globalne i ustawia początkowe warunki pracy:
   - tl=22.7C, tr=23.5C
   - fl=fr=30
   - hl=hr=0

   Stan modelu może być sprowadzony do warunków początkowych poprzez wywołanie skryptu.

3. Skrypt **run_simulator.m** symuluje układ w pewnych założonych warunkach. W pierwszych 1000 krokach układ jest sprowadzany do punktu pracy (przy założonych sterowaniach fl=fr=30; hr=0; hl=50). Następnie włączana jest metoda detekcji oparta o obliczenia prognozy.

   Wskazówka: Zebranie odpowiedzi skokowej należy przeprowadzić po sprowadzenie układu do punktu pracy, czyli wykonaniu ok. 1000 kroków – analogicznie jak jest to robione w skrypcie run_simulator.m.

4. Funkcja function tl_prediction = step_stepResponseModel(p,k) liczy prognozę tl dla temperatury lewej. Prognoza liczone jest na podstawie:
   - parametru p, określającą z której chwili należy użyć wartość temperatury
   - aktualnej chwili k

     oraz powinna wykorzystać zmienne globalne przechowujące historię sterowania i historię wartości procesowej

5. Studenci (zespoły) w celu zaliczenia projektu proszeni są o wysłanie drogą mailową:
   - Sprawozdania opisującego otrzymane wyniki (plik.pdf)
   - Wszystkich plików, w tym zmodyfikowanego pliku step_stepResponseModel.m, tak żeby możliwe było uruchomienie projektu. W szczególności konieczne jest dodanie pliku z odpowiedzią skokową.

6. Ocena będzie składała się z oceny wynikającej ze sprawozdania i kodu (max 10pkt). Ocenie będzie również podlegała uzyskana dokładność prognozy.

   Termin nadsyłania upływa 14.11.2020 godzina 23:59.

Poniżej zamieszczono niezbędne wprowadzenie teoretyczne potrzebne do zrozumienia działania modelu w postaci odpowiedzi skokowej.

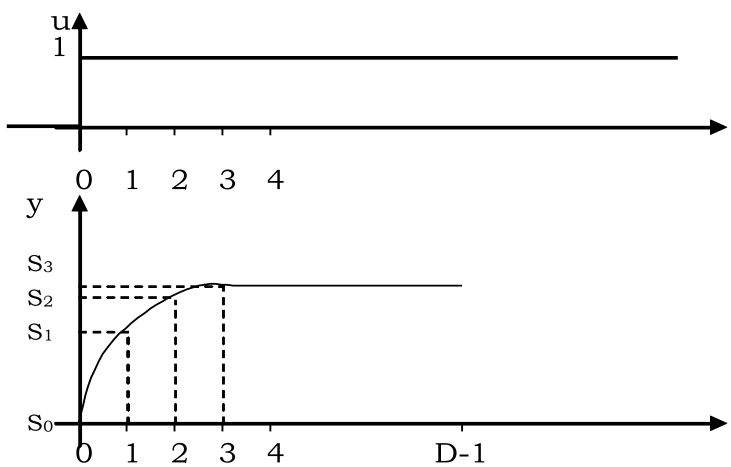
1. Model w postaci odpowiedzi skokowej

1.1. Obiekt SISO

Model w postaci odpowiedzi skokowej jest bardzo prostym i wygodnym sposobem modelowania dynamiki obiektu. Model obiektu może zostać otrzymany na drodze prostego eksperymentu polegającego na dokonaniu wymuszenia skokowego na wejściu obiektu.

Bez wątpienia prostota modelowania przyczyniła się do popularyzacji algorytmu DMC, który jako model wewnętrzny wykorzystuje model w postaci odpowiedzi skokowej. Forma modelu w postaci odpowiedzi skokowej pozwala na projektowanie algorytmu przez kadry nieobeznane z metodami modelowania i identyfikacji.

Przykładowa odpowiedź zaprezentowana jest na poniższym rysunku.



Rys. 1.1: Przykład odpowiedzi wyjścia obiektu y na skok jednostkowy wejścia u.

W oparciu o model zaprezentowany w postaci odpowiedzi skokowej można dokonywać predykcji wyjścia obiektu na kolejne chwile w przyszłości. Znając odpowiedź obiektu na skok jednostkowy oraz znając historię sterowania można wyliczać predykcję wyjścia traktując dyskretyzowany sygnał sterowania jako kolejno występujące po sobie skoki, co można zapisać jak poniżej:

$$
\begin{aligned}
y_1 &= y_0 + s_1 \Delta u_0 \\
y_2 &= y_0 + s_2 \Delta u_0 + s_1 \Delta u_1 \\
y_3 &= y_0 + s_3 \Delta u_0 + s_2 \Delta u_1 + s_1 \Delta u_2 \\
y_4 &= y_0 + s_4 \Delta u_0 + s_3 \Delta u_1 + s_2 \Delta u_2 + s_1 \Delta u_3 \\
&\vdots
\end{aligned}
\tag{1.1}
$$

a w postaci ogólnej zwiniętej:

$$
y_k = y_0 + \sum_{j=1}^{k} s_j \Delta u_{k-j} \tag{1.2}
$$

W oparciu o powyższy wzór wartości na chwilę *k+p* może być zapisana w następujący sposób:

$$
y_{k+p} = y_0 + \sum_{j=1}^{k+p} s_j \Delta u_{k+p-j} \tag{1.3}
$$

Jeżeli dokonujemy obliczeń wartości na chwilę *k+p* w chwili *k*, to wówczas część z wartości wejściowych należy do przyszłości i jest jeszcze nieznana. Po dokonaniu rozbicia na części uzależnione od przyszłości i od przeszłości możemy zapisać wzór w postaci jak niżej:

$$
y_{k+p|k} = y_0 + \sum_{j=1}^{p} s_j \Delta u_{k+p-j|k} + \sum_{j=p+1}^{k+p} s_j \Delta u_{k+p-j} + d_{k+p|k} \tag{1.4}
$$

Zakładając, że nie jest znany model zakłócenia i przyjmując, że zakłócenie będzie się nie zmieniać na horyzoncie predykcji *N*

$$
d_{k+1|k} = d_{k+2|k} = \ldots = d_{k+N|k} = d_k \tag{1.5}
$$

gdzie:

$$
d_k = y_k - \left[y_0 + \sum_{j=1}^{k} s_j \Delta u_{k-j} \right] \tag{1.6}
$$

Łącząc powyższe zależności, wyrażenie na wartość na chwilę *k+p* wyliczaną w chwili *k* przyjmuje postać:

$$y_{k+p|k} = y_k + \sum_{j=1}^{p} s_j \Delta u_{k+p-j|k} + \sum_{j=p+1}^{k+p} s_j \Delta u_{k+p-j} - \sum_{j=1}^{k} s_j \Delta u_{k-j} =$$

$$= y_k + \sum_{j=1}^{p} s_j \Delta u_{k+p-j|k} + \sum_{j=1}^{k} s_{j+p} \Delta u_{k-j} - \sum_{j=1}^{k} s_j \Delta u_{k-j} =$$

$$= \sum_{j=1}^{p} s_j \Delta u_{k+p-j|k} + y_k + \sum_{j=1}^{k} \left(s_{j+p} - s_j\right) \Delta u_{k-j} =$$

$$== \Delta y_{k+p|k} + y^{f}_{k+p|k} \qquad \mathrm{p} = 1, \ldots, \mathrm{N} \tag{1.7}$$

gdzie:

$\Delta y_{k+p|k} = \sum_{j=1}^{p} s_j \Delta u_{k+p-j|k}$ - trajektoria zależna od bieżącej i przyszłych wartości sterowania. Trajektoria ta nazywana jest *„trajektorią wymuszoną”*;

$y^{f}_{k+p|k} = y_k + \sum_{j=1}^{k} \left(s_{j+p} - s_j\right) \Delta u_{k-j}$ - trajektoria zależna od historii wartości sterowania. Trajektoria ta nazywana jest *„trajektorią swobodną”* lub też *„trajektorią stała”* (ang. fixed trajectory). Uwzględniając, że założono model stabilny o horyzoncie dynamik równym *D*, wyrażenie na trajektorię swobodną można zapisać jak poniżej:

$$y^{f}_{k+p|k} = y_k + \sum_{j=1}^{D-1} \left(s_{j+p} - s_j\right) \Delta u_{k-j} \tag{1.8}$$

Reasumując:

$$y_{k+p|k} = y_k + \sum_{j=1}^{D-1} \left(s_{j+p} - s_j\right) \Delta u_{k-j} + \sum_{j=1}^{p} s_j \Delta u_{k+p-j|k} \tag{1.9}$$

W celu wykorzystania modelu w postaci odpowiedzi skokowej do diagnostyki należy dokonać *przesunięcia w czasie z chwili k do chwili k-p* i wartość na bieżącą chwilę liczyć jako wartość na chwilę *k* liczoną w chwili *k-p*. Czyli horyzont predykcji N w tym zadaniu przyjmuje wartość równą p (długości dynamiki modelu). W tym celu należy wprowadzić zapis jak poniżej.

$$y_{k|k-p} = y_{k-p} + \sum_{j=1}^{D-1} \left(s_{j+p} - s_j\right) \Delta u_{k-p-j} + \sum_{j=1}^{p} s_j \Delta u_{k-j} \tag{1.10}$$