WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI I INFORMATYKI
INSTYTUT AUTOMATYKI I INFORMATYKI
KIERUNEK AUTOMATYKA I ROBOTYKA
STUDIA STACJONARNE I STOPNIA

PRZEDMIOT : : LABORATORIUM PODSTAW AUTOMATYKI

5. Układy z opóźnieniem

1. Modelowanie układów z opóźnieniem - SIMULINK

Transformata Laplace’a funkcji przesuniętej w czasie o θ jednostek czasu wynosi:

$$L\{f(t-\theta\} = e^{-s\theta}$$

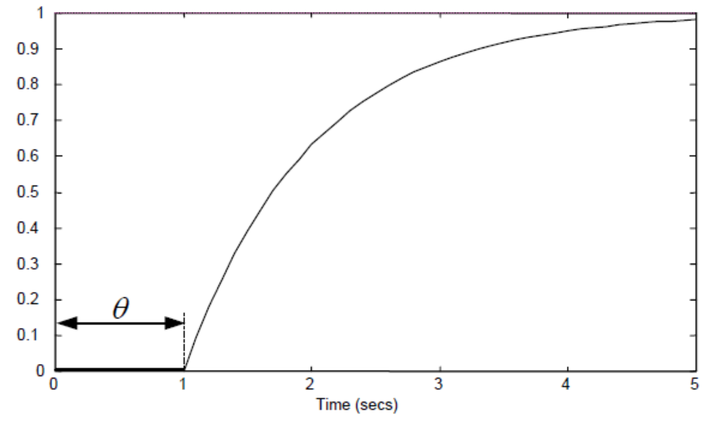
Przykładowo, układ inercyjny 1-go rzędu o transmitancji:

$$G(s) = \frac{k}{Ts+1}$$

z opóźnieniem o wartości θ wyraża się transmitancją:

$$G(s) = \frac{ke^{-s\theta}}{Ts+1}$$

Odpowiedź skokową dla tej transmitancji przedstawia poniższy rysunek (dla k=1, T=1, θ=1):

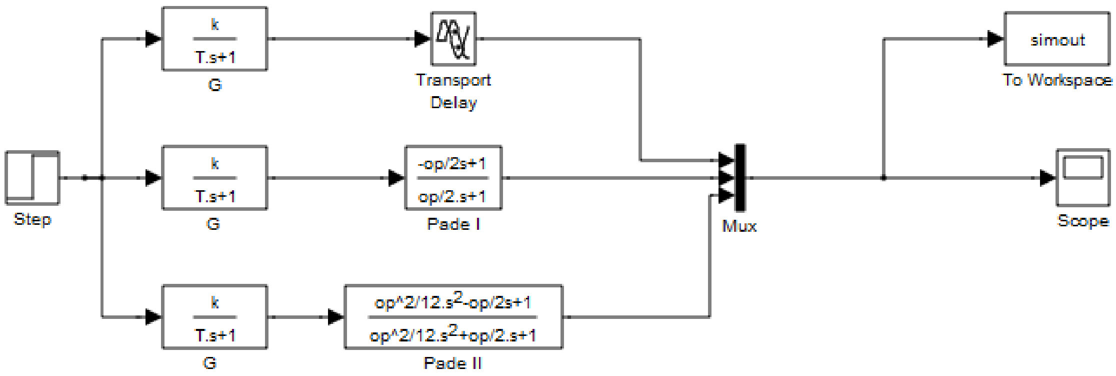


Forma ekspotencjalna w powyższym wzorze nie zawsze jest dogodna do analizy systemu. W szczególności nie można wtedy w prosty sposób faktoryzować układu za pomocą jedynie biegunów i zer. Jedną z metod sprowadzenia układu z opóźnieniem do postaci wielomianowej jest aproksymacja Pade'go. Polega ona na zastąpieniu członu $e^{-s\theta}$ formą wielomianową, tak jak w poniższej tabeli:

Aproksymacja Pade'go 1-go rzędu	Aproksymacja Pade'go 2-go rzędu
$e^{-s\theta} \approx \dfrac{1-\frac{\theta}{2}s}{1+\frac{\theta}{2}s}$	$e^{-s\theta} \approx \dfrac{1-\frac{\theta}{2}s+\frac{\theta^2}{12}s^2}{1+\frac{\theta}{2}s+\frac{\theta^2}{12}s^2}$

Zadanie 1:

Przy pomocy pakietu SIMULINK zbudować układ, w którym przeprowadzone zostanie porównanie modeli otrzymanych poprzez aproksymację Pade'go 1-go i 2-go rzędu (dla parametrów: k = 1, T = 1, θ = 2, czas symulacji 8s) z oryginalnym układem z opóźnieniem transportowym (bloczek *Transport Delay*).



model1.mdl

Napisać skrypt (na podstawie przedstawionego poniżej), w którym: zdefiniowane będą parametry modelu, przeprowadzona symulacja przedstawionego powyżej układu zbudowanego w SIMULINKU oraz przedstawione odpowiedzi skokowe (na jednym wykresie). W skrypcie należy wykorzystać funkcję **sim**.

```
clear all
close all
:
:       % parametry modelu
:
sim('model1.mdl',[0 8]);
figure;
hold on;
plot(tout(:,1),simout(:,1),'b');
:       % rysowanie odpowiedzi skokowych
:
title('Step response');
xlabel('Time(sec)');
ylabel('Amplitude');
legend('Uklad z opoznieniem','Aproksymacja Pade''go 1-go
rzedu','Aproksymacja Pade''go 2-go rzedu');
hold off;
```

2. Aproksymacja układu wysokiego rzędu przez układ niskiego rzędu z opóźnieniem.

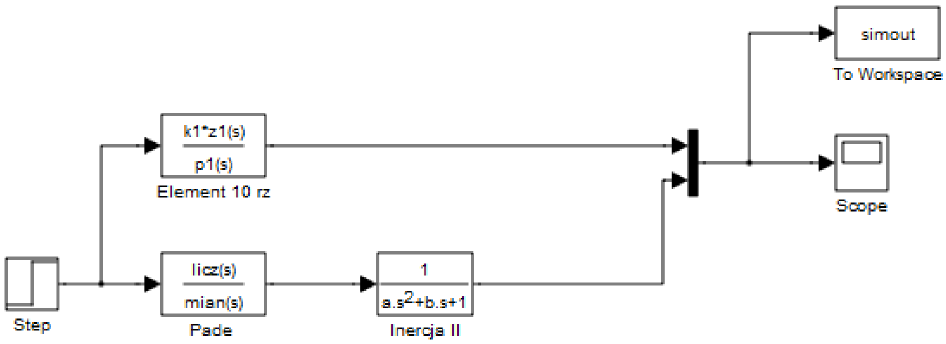
Im wyższy rząd układu tym bardziej skomplikowane stają się obliczenia z nim związane. W związku z tym, często zamiast układu wysokiego rzędu stosuje się układ niskiego rzędu z odpowiednio dobranym opóźnieniem, np.: układ 10-go rzędu Układ 2-go rzędu z opóźnieniem θ = 1[s]

Zadanie 2:
Przy pomocy pakietu SIMULINK zbudować układ za pomocą, którego można będzie dokonać porównania odpowiedzi czasowych elementu 10-go rzędu o transmitancji podanej w formie sfaktoryzowanej

$$G_{10}(s) = \frac{5^{10}}{(s+5)^{10}}$$

oraz elementu 2-go rzędu z opóźnieniem o transmitancji

$$G(s) = \frac{e^{-s\theta}}{as^2+bs+1}.$$



model2.mdl

Napisać skrypt (na podstawie przedstawionego poniżej), który wyznaczy ch-ki skokowe na podstawie symulacji powyższego układu dla następujących parametrów:

- a=0.4, b=1 oraz a=0.8, b=1
- a=0.4, b=1 oraz a=0.4, b=1.5

opóźnienie θ=1, rząd aproksymacji **pade** n=5, czas symulacji=8s.

```
clear all
close all
op=1;
n=5;
[licz,mian] = pade(op,n);
a=0.4;
b=1;
```

```
z1=[];
p1=[-5 -5 -5 -5 -5 -5 -5 -5 -5 -5];
k1=5^10;
:       %symulacja
figure;
hold on;
:       % rysowanie odpowiedzi skokowych
:
legend('Uklad 10-go rzedu','Uklad 2-go rzedu z opoznieniem');
hold off;
```

Zadanie 3:

Wykorzystując plik **`model2.mdl`** dobrać tak parametry a, b, θ aby aproksymacja była przeprowadzona z jak najmniejszym błędem. Zatem należy dobrać tak powyższe parametry (zoptymalizować) aby minimalizować całkę z kwadratu błędu:

$$\min_{a,b,\theta} \int_0^\infty E^2(t)dt.$$

W tym celu należy wykorzystać funkcję optymalizacyjną np. **`fminsearch`** i napisać dwa skrypty: skrypt wywołujący funkcję **`fminsearch`** oraz skrypt zawierający minimalizowaną funkcję.

Zapisać funkcję minimalizowaną w pliku aproks.m

```
function e=aproks(x)
global a b licz mian z1 p1 k1
a=x(1);
b=x(2);
op=x(3);
n=5;
[licz,mian] = pade(op,n);
z1=[];
p1=[-5 -5 -5 -5 -5 -5 -5 -5 -5 -5];
k1=5^10;
sim('model2.mdl');
e = sum((simout(:,1)-simout(:,2)).^2);
end
```

Napisać skrypt, który wywoła funkcję **`fminsearch`**:

```
clear all
close all
global a b licz mian z1 p1 k1
[wynik,c] = fminsearch(@aproks,[1 1 1]);
a = wynik(1)
b = wynik(2)          %wektor wynik zawiera parametry optymalne
op = wynik(3)
:
:
                      %uzupełnić skrypt
:
:
legend('Uklad 10-go rzedu','Uklad 2-go rzedu z opoznieniem');
hold off;
```