**Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych**

**Politechnika Warszawska**

**Sterowanie procesami**

**Sprawozdanie z projektu drugiego**

**Zadanie 2.44**

**Regulatory PID i DMC**

**Konrad Winnicki**

Warszawa, 27 kwietnia 2018

**Obiekt regulacji jest opisany transmitancją:**

*.*

Po podstawieniu wartości transmitancja ciągła przyjmuje postać:

Spis treści

[1. Transmitancja dyskretna 3](#_Toc516009196)

[ Wyznaczenie transmitancji dyskretnej 3](#_Toc516009197)

[ Porównanie transmitancji ciągłej i dyskretnej 4](#_Toc516009198)

[ Odpowiedź skokowa 4](#_Toc516009199)

[ Współczynnik wzmocnienia statycznego transmitancji 5](#_Toc516009200)

[**2.** Równanie różnicowe obiektu 6](#_Toc516009201)

[ Ogólna postać równania różnicowego 6](#_Toc516009202)

[**3.** Ciągły regulator PID metodą Zieglera-Nicholsa 7](#_Toc516009203)

[ Metoda Zieglera-Nicholsa 7](#_Toc516009204)

[ Parametry dyskretnego regulatora PID 8](#_Toc516009205)

[**4.** Program do symulacji cyfrowego algorytmu PID oraz DMC 9](#_Toc516009206)

[ Blok inicjalizacji 9](#_Toc516009207)

[ Pętla symulacyjna 9](#_Toc516009208)

[ Zapis wyników symulacji 10](#_Toc516009209)

[**5.** Algorytm DMC 10](#_Toc516009210)

[ Opis algorytmu 10](#_Toc516009211)

[ Wpływ parametrów algorytmu 11](#_Toc516009212)

[ Horyzont dynamiki – D 11](#_Toc516009213)

[ Horyzont predykcji – N 12](#_Toc516009214)

[ Horyzont sterowania – Nu 13](#_Toc516009215)

[ Współczynnik kary – lambda 14](#_Toc516009216)

[ Dobrane parametry algorytmu 15](#_Toc516009217)

[**6.** Porównanie algorytmów PID i DMC 16](#_Toc516009218)

[ Jakość regulacji 16](#_Toc516009219)

[ Obszary stabilności 16](#_Toc516009220)

# Transmitancja dyskretna

## Wyznaczenie transmitancji dyskretnej

* + W ogólności aby uzyskać transmitację dyskretną G(z) na podstawie ciągłej G(s) przy zastosowaniu ekstrapolatora zerowego rzędu wymagane jest wykonanie przekształcenia jak poniżej:
  + MatLab dostarcza funkcję c2d() pozwalającą uzyskać pożądaną postać transmitancji.
    - Wywołanie funkcji:

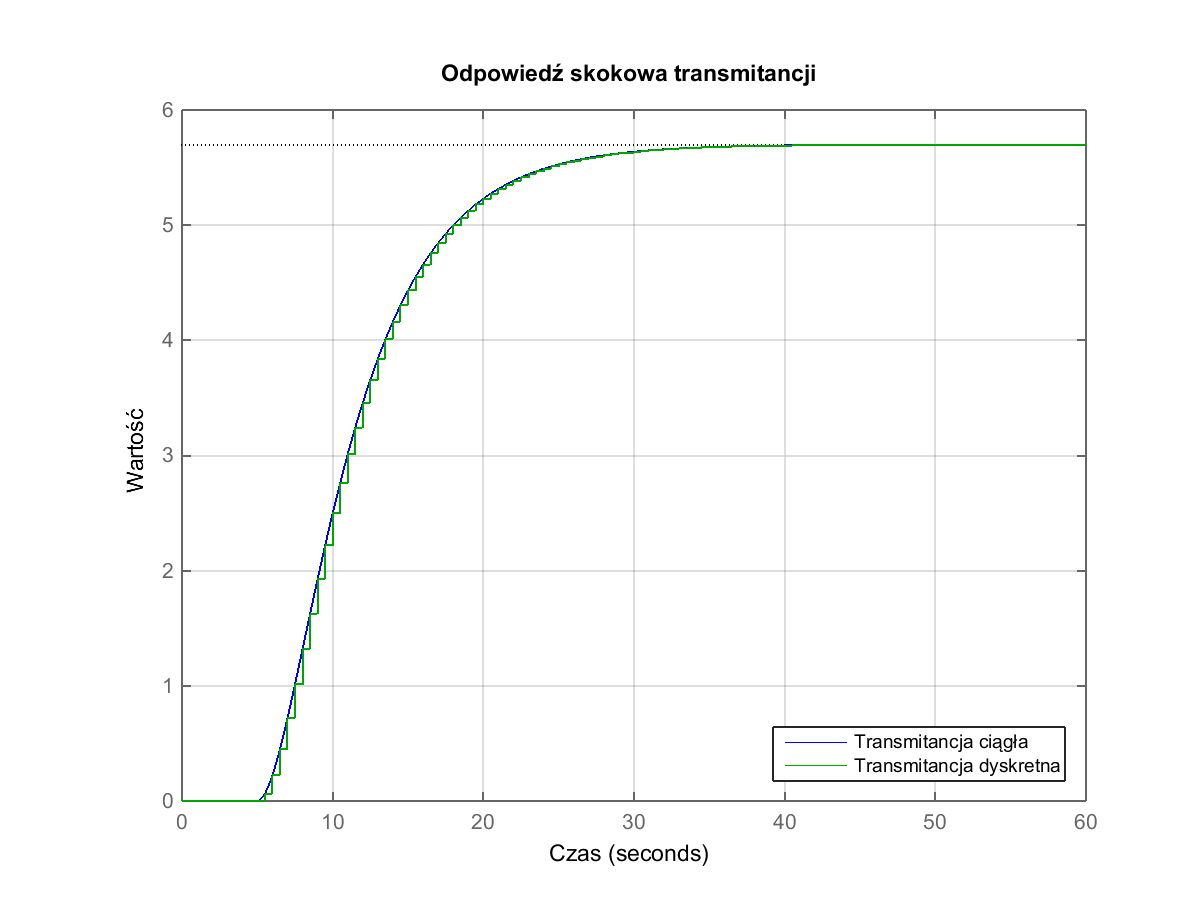
,

Gdzie:   
Gs jest transmitancją ciągłą,   
Tp jest okresem próbkowania, przyjęty 0.5 sekundy,   
a argument ‘zoh’ wybiera metodę dyskretyzacji

* + Tą metodą uzyskałem transmitancję dyskretną o postaci:

## Porównanie transmitancji ciągłej i dyskretnej

### Odpowiedź skokowa

  
Odpowiedź skokowa transmitancji dyskretnej i ciągłej

* + Odpowiedzi skokowe transmitancji są identyczne z dokładnością do efektu schodków transmitancji dyskretnej wynikającego z założonego okresu próbkowania Tp.
  + Ważną uwagą jest zaobserwowane opóźnienie reakcji obydwu transmitancji na skok sygnału wejściowego. Opóźnienie odpowiedzi wynosi około 5 sekund co jest równe parametrowi T0 transmitancji ciągłej. Obiekt nie reaguje natychmiast na zmiany jego wejścia.

### Współczynnik wzmocnienia statycznego transmitancji

* + może zostać przeprowadzone na kilka sposobów:
    - Odczytanie z wykresu wartości wyjściowej transmitancji w chwili gdy zmiany wyjścia nie są zauważalne, np. odczyt wartości w 50 sekundzie pozwala określić wartość współczynnika KSTAT jako równą około 5.7.
    - Druga, dokładna metoda analityczna polega na wyznaczeniu granicy wartości wyjścia do której zbiegają transmitancje dla stałego sygnału w nieskończoności
      * Wyznaczenie analityczne współczynnika wzm. stat. transmitancji ciągłej przedstawia się następująco:
      * Wyznaczenie analityczne współczynnika wzm. stat. transmitancji dyskretnej przedstawia się następująco:
    - Wyznaczone współczynniki obydwu transmitancji są sobie równe, a dodatkowo ich wartości są równe Ko
  + Zaobserwowane przebiegi odpowiedzi skokowej obydwu transmitancji oraz wyznaczone współczynniki wzmocnienia statycznego świadczą o poprawności odwzorowania transmitancji dyskretnej na podstawie ciągłej co pozwala przejść do dalszej części projektu

# Równanie różnicowe obiektu

## Ogólna postać równania różnicowego

* + Aby przekształcić transmitancję ciągłą do postaci równania różnicowego stosuję ciąg przekształceń jak poniżej:

Z definicji transmitancji:

Podstawiając transmitancję do wzoru:

Przemnażając na krzyż otrzymuję:

Wymnażając nawiasy:

Stosując przekształcenie

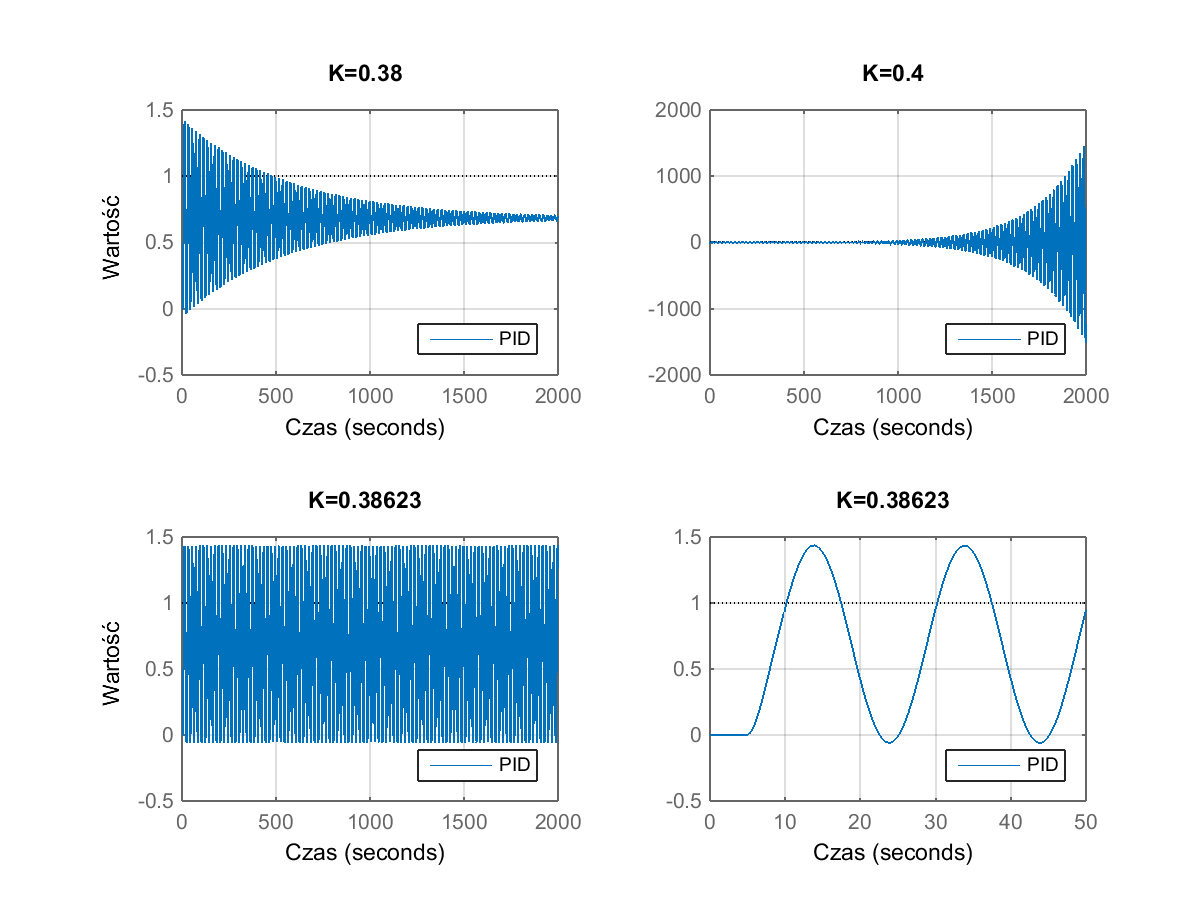
Uporządkowując równanie otrzymuję finalną postać równania różnicowego:

* + Składowe równania różnicowego u(k-11) i u(k-12) ukazują opóźnienie reakcji obiektu na sygnał wejściowy

# Ciągły regulator PID metodą Zieglera-Nicholsa

## Metoda Zieglera-Nicholsa

* + - Metoda ma na celu eksperymentalne wyznaczenie wzmocnienia krytycznego Kk oraz okresu oscylacji odpowiedzi obiektu Tk przy zastosowaniu regulatora PID z aktywnym członem proporcjonalnym P
    - Eksperyment polega na obserwacji odpowiedzi skokowej obiektu z regulatorem proporcjonalnym. Celem eksperymentu jest osiągnięcie oscylacji o stałej amplitudzie na wyjściu obiektu. Regulowanym parametrem jest wzmocnienie K regulatora.
    - Wykresy poniżej przedstawiają przykładowe odpowiedzi skokowe obiektu dla trzech wartości wzmocnienia K regulatora:

Wykresy odpowiedzi skokowej dla eksperymentu Z-N

* + - Powyższe wykresy przedstawiają odpowiedzi skokowe obiektu z regulatorem proporcjonalnym o zmienianym wzmocnieniu K.
    - Pierwszy wykres dla (K=0.38) przedstawia układ stabilny –
    - Pierwszy wykres dla (K=0.4) przedstawia układ zdestabilizowany –
    - Dwa ostatnie wykresy przedstawiają odpowiedź układu dla tej samej wartości K. Obserwujemy oscylacje o stałej amplitudzie, a zatem osiągnięto wzmocnienie krytyczne - , dodatkowo ostatni wykres pozwala zmierzyć okres oscylacji przy wzmocnieniu krytycznym.
    - Wyznaczone wzmocnienie krytyczne:
    - Wyznaczony okres oscylacji:
    - Na podstawie wyznaczonych parametrów układu dobieram parametry regulatora PID zgodnie z zaleceniami metody Zieglera-Nicholsa:

## Parametry dyskretnego regulatora PID

* + - Równanie regulatora:

Gdzie:  
u(k) jest sygnałem sterującym obiektem  
e(k) jest sygnałem błędu(yzad-y)  
r0, r1, r2 to parametry regulatora

* + Parametry dyskretnego regulatora wyznaczam ze wzorów:
  + Podstawiając do wzorów znane mi wartości Kr, Ti, Td, oraz przyjmując Tp równe 0.5 otrzymuję wartości parametrów dyskretnego regulatora PID:

# Program do symulacji cyfrowego algorytmu PID oraz DMC

## Blok inicjalizacji

* + - Inicjalizacja skryptu rozpoczyna się wywołaniem skryptu zadania 2 wyznaczającego równanie różnicowe obiektu regulacji
    - Następnie wykonywana jest inicjalizacja regulatora PID(skrypt pid\_init.m)
    - W kolejnym kroku ustalane są parametry regulatora DMC i wywoływany jest skrypt inicjujący(DMC\_init.m), który na podstawie odpowiedzi skokowej obiektu generuje macierze regulatora
    - W ostatnim kroku definiowane są parametry symulacji takie jak
      * Ilość kroków symulacji
      * Opóźnienie startu
      * Trajektoria zadana
      * Wybór aktywnego regulatora

## Pętla symulacyjna

* + - Składa się z dwóch sekcji – obiekt i regulator(PID lub DMC)
      * Kolejne wartości równania różnicowego obiektu. Równanie w postaci wektorowej pozwala na dynamiczną zmianę parametrów obiektu

%równanie różnicowe obiektu

y(k) = -y((k-length(b)):(k-1))\*(flip(b')) +   
u((k-length(c)+1):(k))\*(flip(c'));

* + - * Blok sterowania algorytmu PID

%uchyb regulacji

e(k)=yzad(k)-y(k);

%sygnał steruj\_cy regulatora PID

u(k)=r2\*e(k-2)+r1\*e(k-1)+r0\*e(k)+u(k-1);

* + - * Blok sterowania algorytmu DMC

%trajektoria swobodna

yo = y(k)\*ones(D,1)+Mp\*flip(deltaUp((k-D+1):(k-1)));

%przyszłe sterowania

deltau = K\*(yzad(k:(k+D-1))'-yo);

%bieżąca zmiana sterowania

deltaUp(k) = deltau(1);

%sygnał steruj\_cy regulatora DMC

u(k) = u(k-1)+deltau(1);

## Zapis wyników symulacji

* + - Na tym etapie wykonywane są wykresy sygnałów takie jak
      * Przebieg sterowania PID/DMC w czasie
      * Przebieg wyjścia obiektu przy regulatorze PID/DMC na tle trajektorii zadanej
    - Zapis wykresów do pliku

# Algorytm DMC

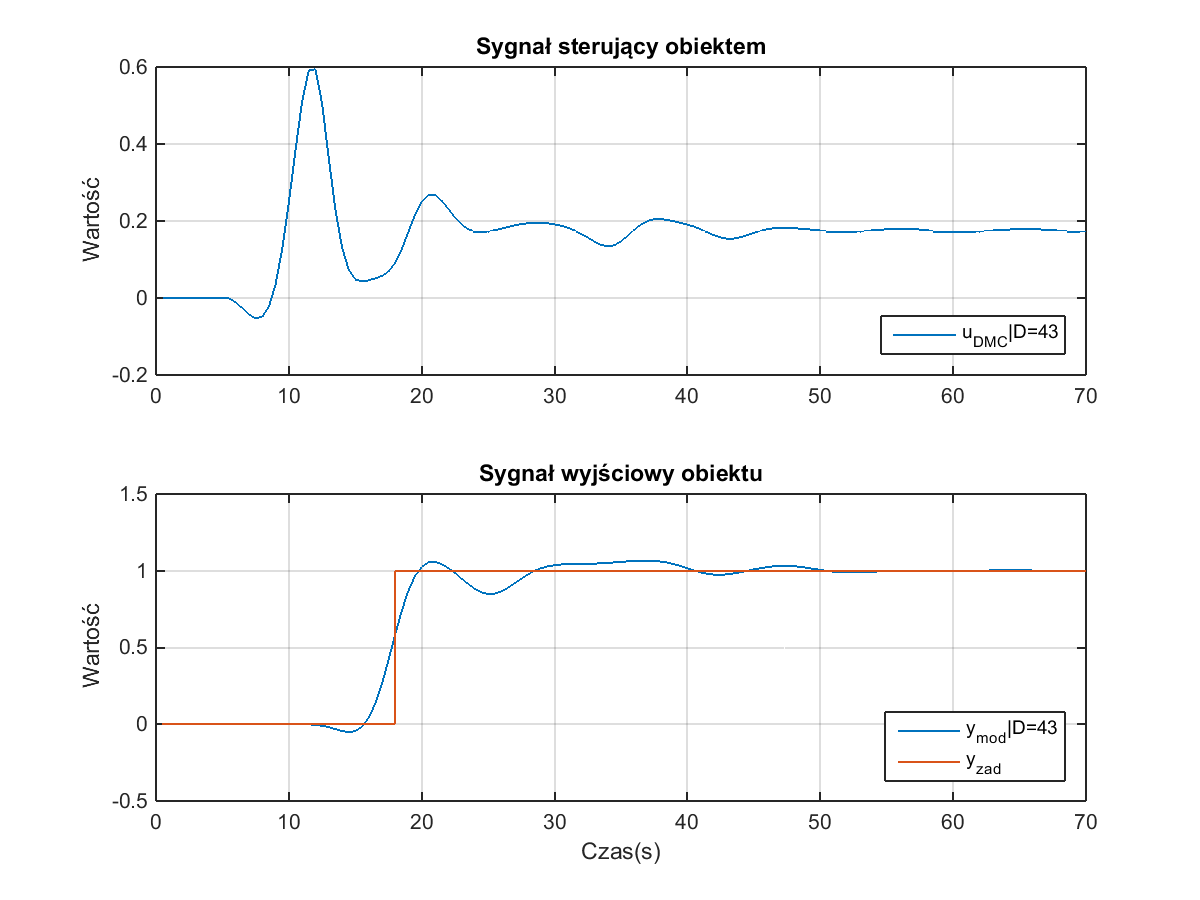
## Opis algorytmu

* + - Dd
    - Dd

## Wpływ parametrów algorytmu

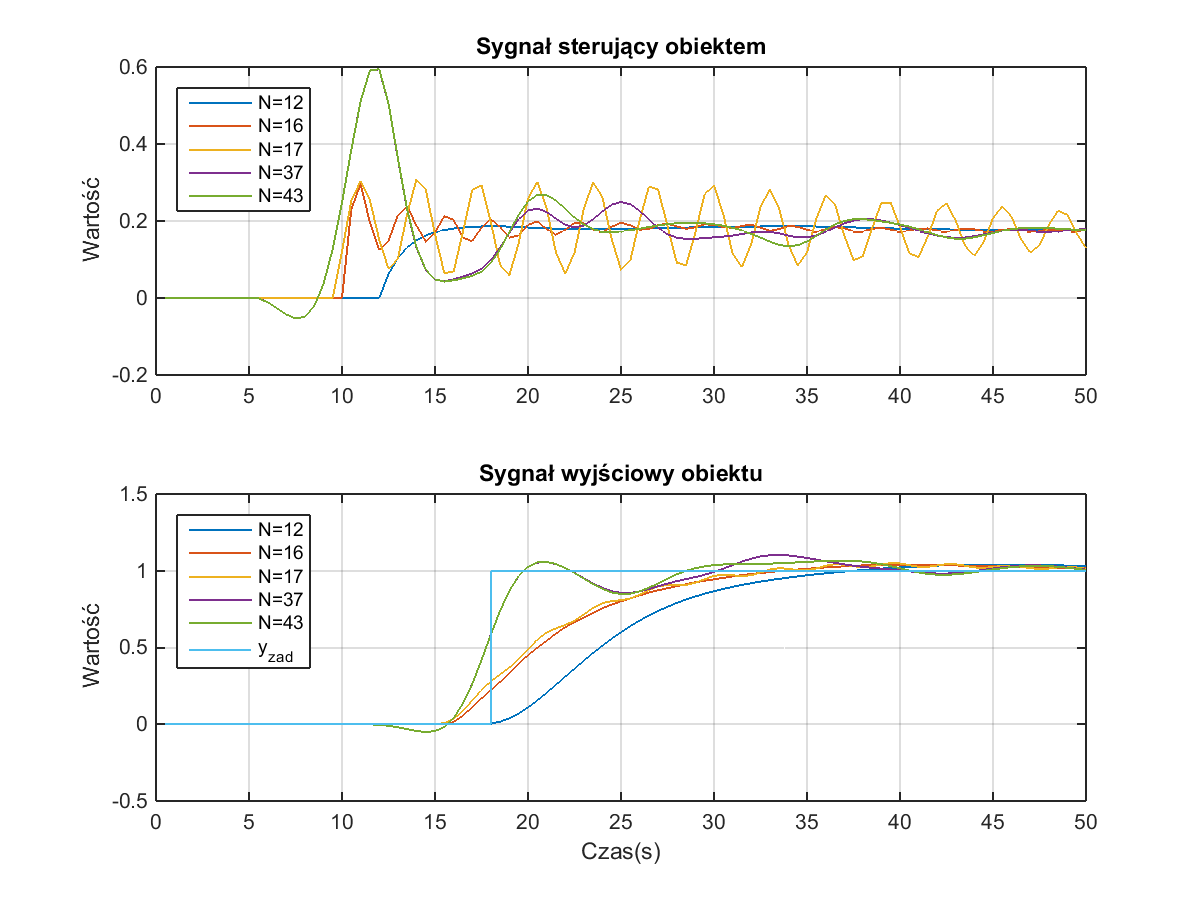
### Horyzont dynamiki – D

S



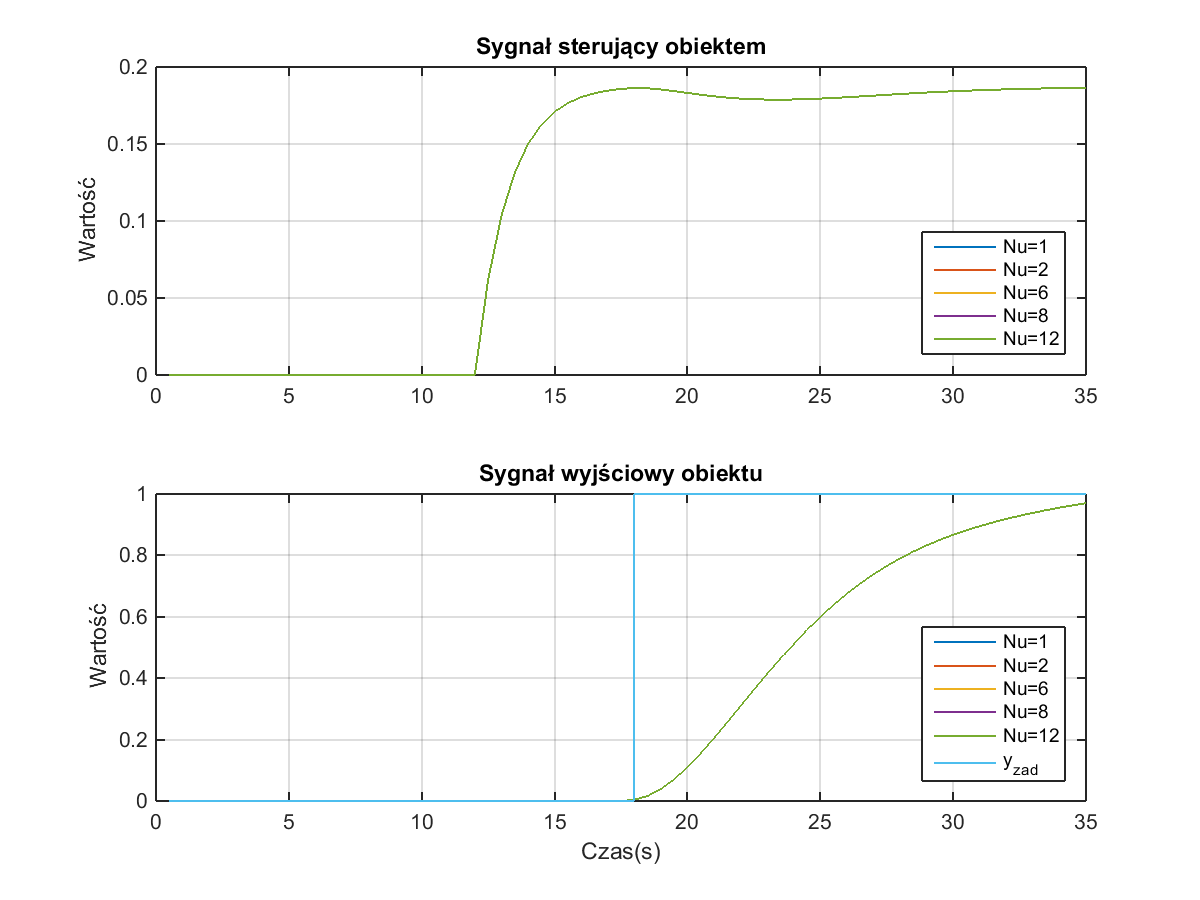
### Horyzont predykcji – N

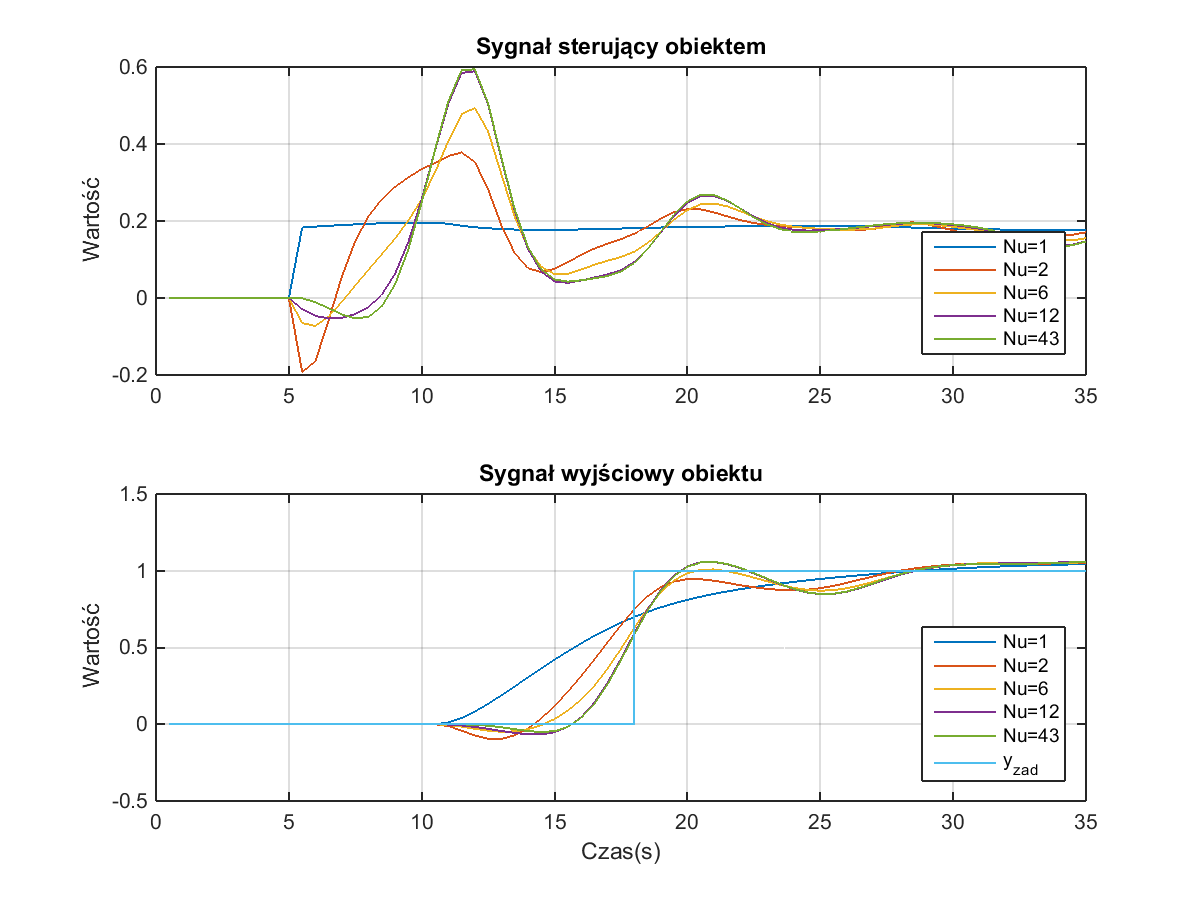
S



### Horyzont sterowania – Nu

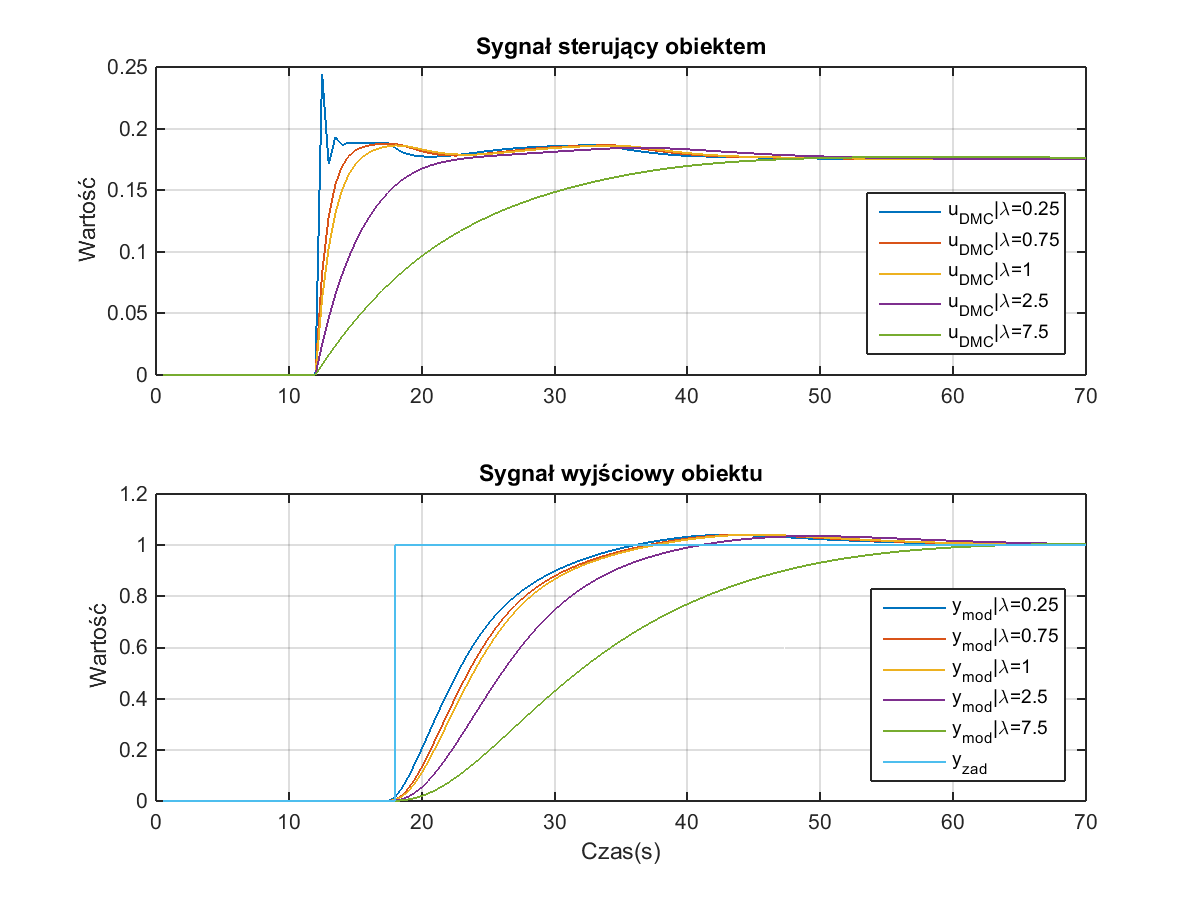
S



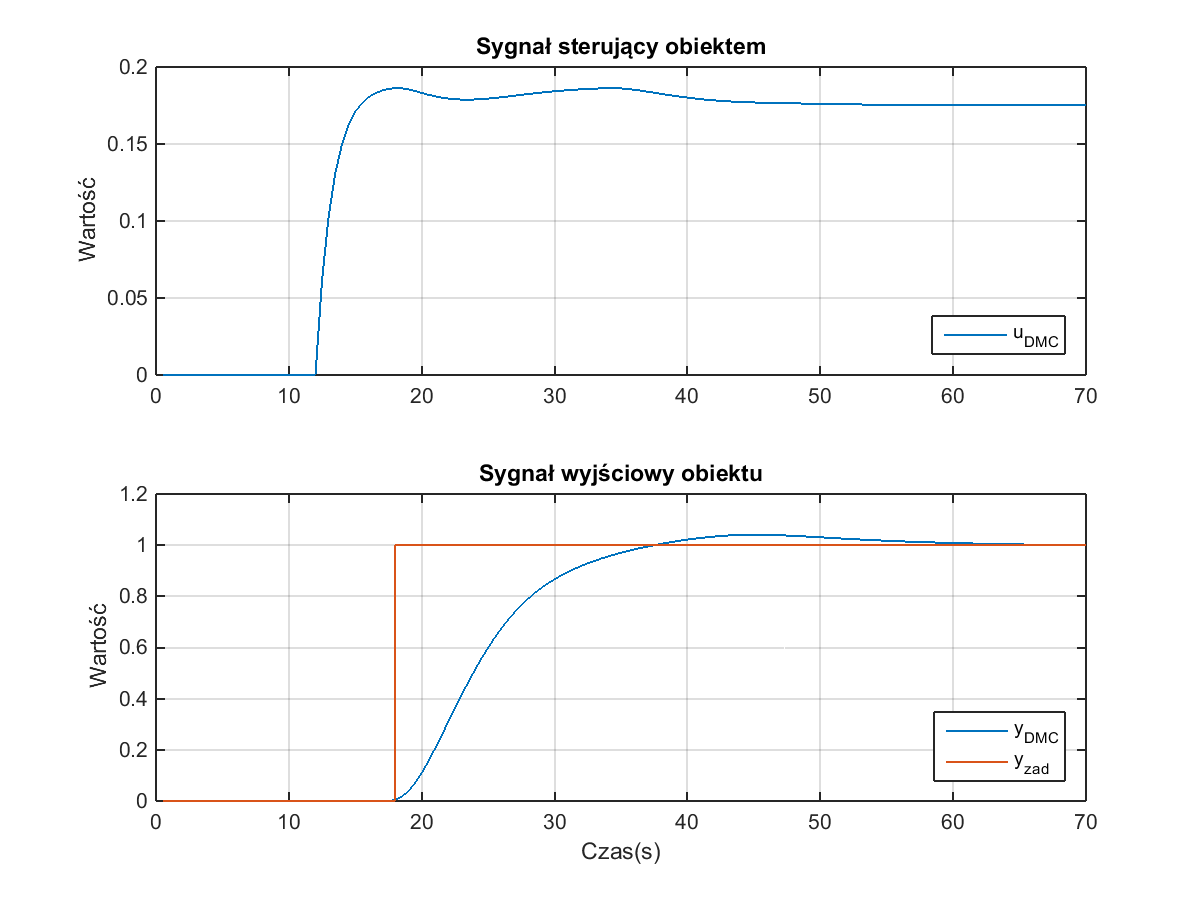


### Współczynnik kary – lambda

D



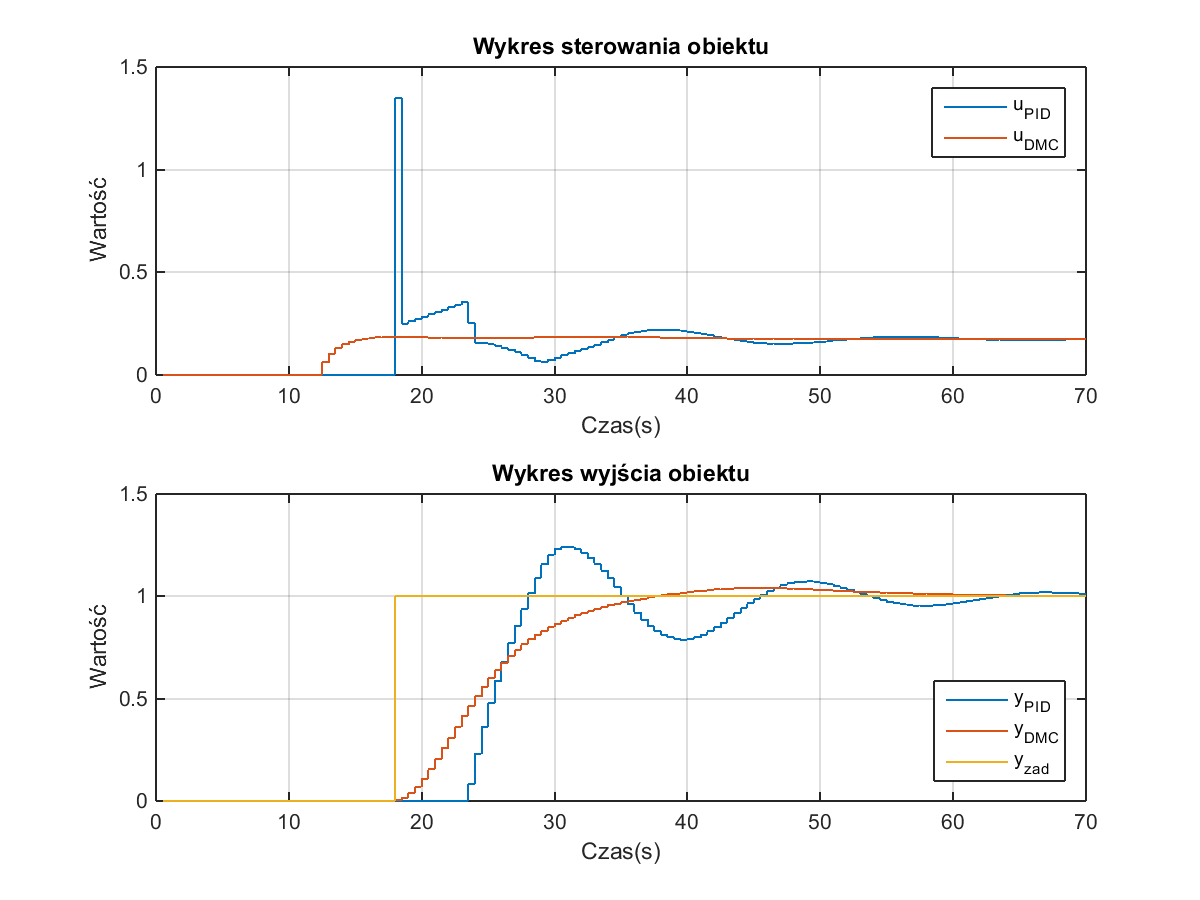
## Dobrane parametry algorytmu

* + - Dobrałem D=43 N=12 Nu=1 lambda=1
    - 

# Porównanie algorytmów PID i DMC

## Jakość regulacji

D



## Obszary stabilności

W

