

# Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrysz, Bednarz Rafał, Stankevich Stanislau

28 stycznia 2022

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

# Spis treści

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrysz,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

# Spis treści

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrysz,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

# Wprowadzenie

Regulacja wielowymiarowa to proces regulacji, w którym regulowanych jest równocześnie wiele wielkości występujących w jednym obiekcie zależnych od wielu wartości sterujących.

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrysz,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

# Wprowadzenie

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrysz,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Rozważane algorytmy w regulacji wielowymiarowej:

- ▶ PID
- ▶ DMC
- ▶ GPC

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

# Spis treści

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrysz,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

# Wielowymiarowy PID

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrysz,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Schemat projektowania wielowymiarowego algorytmu PID:

- ▶ Wyznaczenie odpowiedzi skokowych wszystkich torów
- ▶ Przyporządkowanie najbardziej znaczącym sygnałów sterujących do wyjść
- ▶ Strojenie poszczególnych regulatorów

Niektóre sygnały sterujące nie będą miały wpływu na sygnały wyjściowe.

Wprowadzenie

PID

DMC

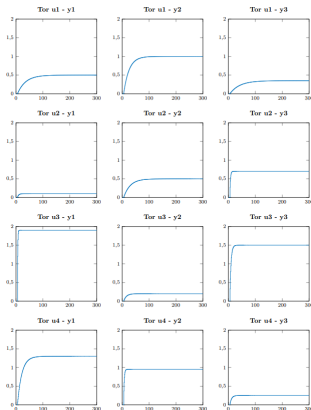
GPC

Wnioski

Bibliografia

# Wielowymiarowy PID

Wyznaczenie odpowiedzi skokowych dla wszystkich torów procesu:



**Rysunek:** Odpowiedzi poszczególnych torów dla skoku jednostkowego

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrysz,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

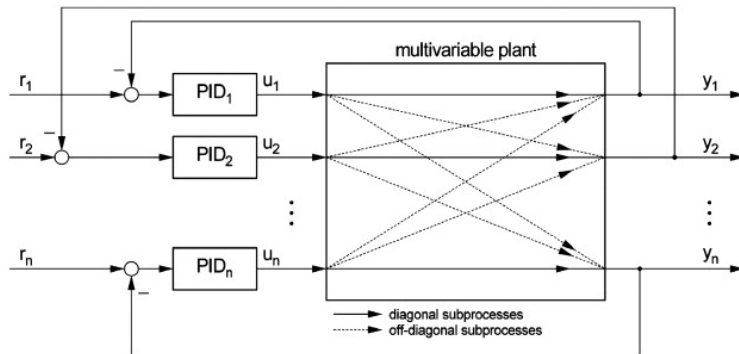
Wnioski

Bibliografia



# Wielowymiarowy PID

Określenie pętli regulacji:



Rysunek: Schemat układu regulacji

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrowski,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Wprowadzenie

PID

DMC

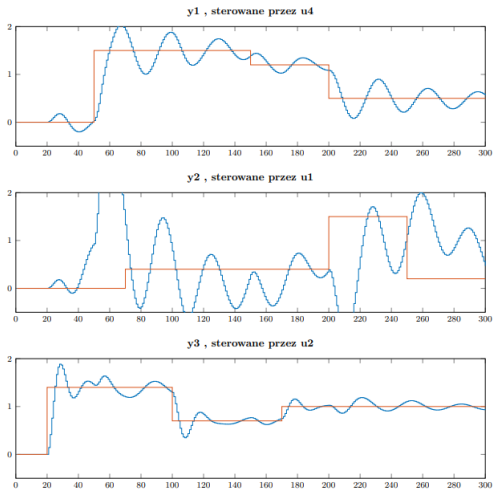
GPC

Wnioski

Bibliografia

# Wielowymiarowy PID

## Wyniki działania:



Rysunek: Wyniki regulacji

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrowski,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

# Spis treści

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrysz,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

# Wielowymiarowy DMC

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrowski,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Projekt pętli regulacji z zastosowaniem wielowymiarowego algorytmu DMC:

- ▶ Wyznaczenie wielowymiarowej odpowiedzi skokowej
- ▶ Model w postaci odpowiedzi skokowej
- ▶ Rozwiązanie problemu optymalizacji
- ▶ Wyznaczenie wektora optymalnych przyrostów sterowań

Wszystkie sygnały sterujące wpływają na sygnały wyjściowe.

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

# Wielowymiarowy DMC

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrowski,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Wyznaczenie wielowymiarowej odpowiedzi skokowej:

$$\mathbf{S}_l = \begin{bmatrix} s_l^{11} & s_l^{12} & s_l^{13} & \dots & s_l^{1n_u} \\ s_l^{21} & s_l^{22} & s_l^{23} & \dots & s_l^{2n_u} \\ s_l^{31} & s_l^{32} & s_l^{33} & \dots & s_l^{3n_u} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ s_l^{n_y 1} & s_l^{n_y 2} & s_l^{n_y 3} & \dots & s_l^{n_y n_u} \end{bmatrix}, \quad l = 1, 2, \dots, D.$$

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

# Wielowymiarowy DMC

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrysz,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Model w postaci odpowiedzi skokowej:

$$y(k) = y(0) + \sum_{j=1}^k \mathbf{S}_j \Delta u(k-j),$$

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

# Wielowymiarowy DMC

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrysz,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Rozwiązanie problemu optymalizacji:

$$\min_{\Delta u(k)} J(k) = \sum_{n=1}^{n_y} \mu_n \sum_{p=1}^N (y_n^{zad}(k) - y^1(k + p(k)))^2 + \sum_{n=1}^{n_u} \lambda_u \sum_{p=0}^{N_u-1} (\Delta u_n(k + p(k)))^2$$

Zależność opisująca wyjścia przewidywane

$$y(k+p|k) = \sum_{j=1}^p \mathbf{S}_j \Delta u(k+p-j|k) + y(k) + \sum_{j=1}^{D-1} (\mathbf{S}_{j+p} - \mathbf{S}_j) \Delta u(k-j),$$

Wprowadzenie

PID

DMC

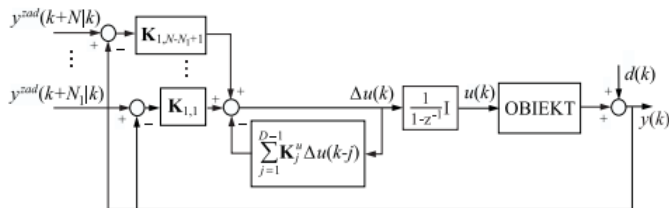
GPC

Wnioski

Bibliografia

# Wielowymiarowy DMC

Określenie pętli regulacji:



Rysunek: Schemat układu regulacji

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrowski,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

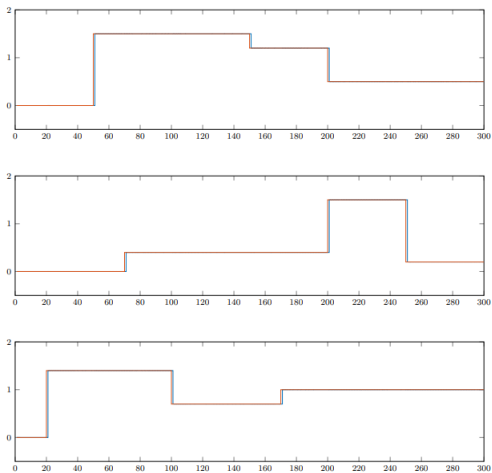
Wnioski

Bibliografia



# Wielowymiarowy DMC

Wyniki działania:



Rysunek: Wyniki wielowymiarowej regulacji z zastosowaniem algorytmu DMC

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrowski,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

# Spis treści

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrysz,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

# Wielowymiarowy GPC

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrowski,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Projekt pętli regulacji z zastosowaniem wielowymiarowego algorytmu GPC:

- ▶ Wyznaczenie wielowymiarowej odpowiedzi impulsowej
- ▶ Model w postaci odpowiedzi skokowej
- ▶ Rozwiązanie problemu optymalizacji
- ▶ Wyznaczenie wektora optymalnych przyrostów sterowań

Wszystkie sygnały sterujące wpływają na sygnały wyjściowe.

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

# Wielowymiarowy GPC

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrysz,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Wyznaczenie wielowymiarowej odpowiedzi impulsowej:

$$s_k = \sum_{j=0}^k h_j,$$

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

# Wielowymiarowy GPC

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrysz,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Model w postaci odpowiedzi skokowej:

$$\mathbf{A}(z^{-1})y(k) = \mathbf{B}(z^{-1})u(k-1) + \mathbf{C}(z^{-1})\frac{\varepsilon(k)}{\Delta},$$

gdzie  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{B}$  i  $\mathbf{C}$  są macierzami wielomianowymi

$$\mathbf{A}(z^{-1}) = \mathbf{1} + \mathbf{A}_1 z^{-1} + \mathbf{A}_2 z^{-2} + \dots + \mathbf{A}_{n_A} z^{-n_A},$$

$$\mathbf{B}(z^{-1}) = \mathbf{B}_0 + \mathbf{B}_1 z^{-1} + \mathbf{B}_2 z^{-2} + \dots + \mathbf{B}_{n_B} z^{-n_B},$$

$$\mathbf{C}(z^{-1}) = \mathbf{1} + \mathbf{C}_1 z^{-1} + \mathbf{C}_2 z^{-2} + \dots + \mathbf{C}_{n_C} z^{-n_C},$$

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

# Wielowymiarowy GPC

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrysz,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Model w przypadku działania szumów białych:

$$\mathbf{A}(z^{-1})y(k) = \mathbf{B}(z^{-1})u(k-1) + \frac{\varepsilon(k)}{\Delta}.$$

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

# Wielowymiarowy GPC

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrysz,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Rozwiązanie problemu optymalizacji:

$$\min_{\Delta u(k)} J(k) = \sum_{n=1}^{n_y} \mu_n \sum_{p=1}^N (y_n^{zad}(k) - y^1(k+p(k)))^2 + \sum_{u=1}^{n_u} \lambda_u \sum_{p=0}^{N_u-1} (\Delta u_n(k+p(k)))^2$$

Zastosowanie trajektorii referencyjnej w miejsce trajektorii wartości zadanych

$$y^{ref}(k+p|k) = \gamma y^{ref}(k+p-1|k) + (1-\gamma)y^{zad}(k+p|k), \quad p = 1, \dots, N$$

Wprowadzenie

PID

DMC

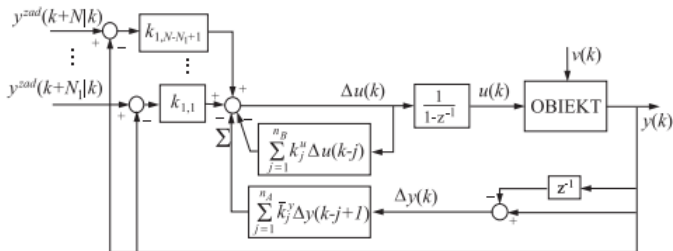
GPC

Wnioski

Bibliografia

## Wielowymiarowy GPC

Określenie pętli regulacji:



**Rysunek:** Schemat układu regulacji

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrysz,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

## Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

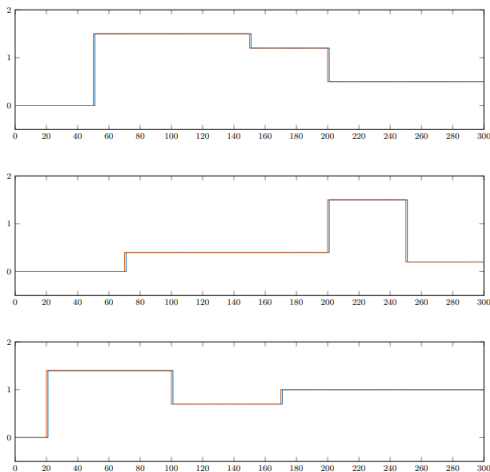
## Wnioski

## Bibliografia



# Wielowymiarowy GPC

Wyniki działania:



Rysunek: Wyniki wielowymiarowej regulacji z zastosowaniem algorytmu GPC

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrowski,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

# Spis treści

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrysz,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

Ocena działania poszczególnych układów wielowymiarowej regulacji:

- ▶ PID
- ▶ DMC
- ▶ GPC

# Spis treści

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrysz,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia

# Bibliografia

- [1] P. Tatjewski. Sterowanie zaawansowane obiektów przemysłowych Struktury i algorytmy. 2016
- [2] R. Dittmar, S.Gill, H. Singh, M.Darby. Robust optimization-based multi-loop PID controller tuning: A new tool and its industrial application. 2011

Dobór pętli regulacji w przypadku większej liczby sygnałów sterujących niż do wyjściowych.

Jakub Ostrysz,  
Bednarz Rafał,  
Stankevich  
Stanislau

Wprowadzenie

PID

DMC

GPC

Wnioski

Bibliografia