

## Sterowanie procesami – projekt II, zadanie 2.40

Michał Stolarz

Proces dynamiczny opisany jest transmitancją:

$$G(s) = \frac{K_0 e^{-T_0 s}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}$$

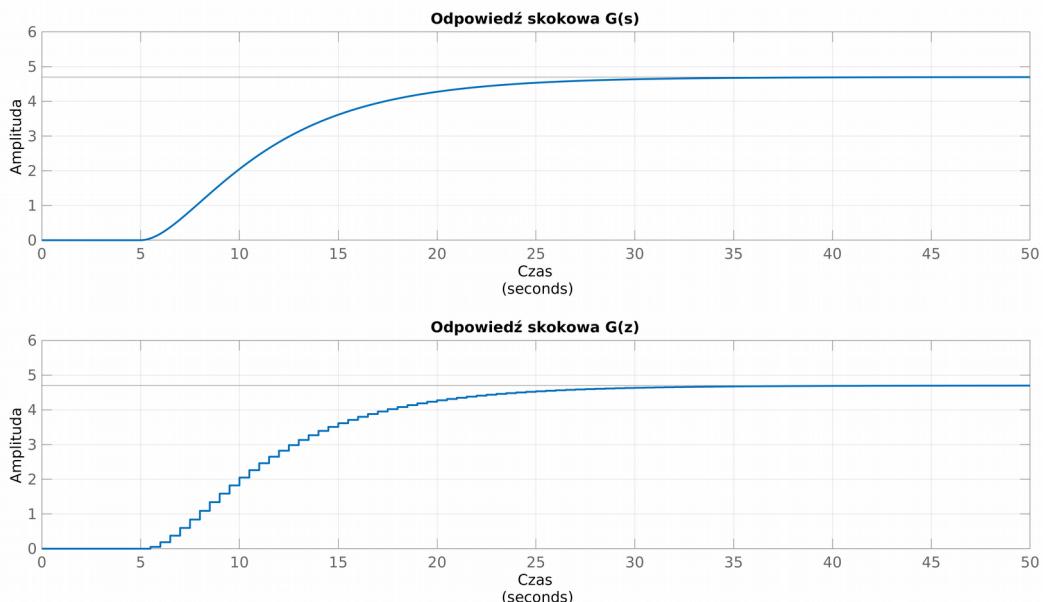
gdzie  $K_0=4,7$ ,  $T_0=5$ ,  $T_1 = 1,89$ ,  $T_2=5,27$

### Zad nr 1

Wyznaczona (za pomocą ekstrapolatora zerowego rzędu) transmitancja dyskretna o okresie próbkowania 0,5s ma postać:

$$G(z) = z^{-10} \frac{0.0524z + 0.04649}{z^2 - 1.677z + 0.6981}$$

Odpowiedzi skokowe zarówno transmitancji dyskretnej jak i ciągłej są do siebie zbliżone:



Ilustracja 1: Odpowiedzi skokowe transmitancji ciągłej i dyskretnej

Jak widać na wykresach współczynniki wzmacniania zarówno transmitancji dyskretnej jak i ciągłej są takie same. Dla pewności jednak użyto funkcji: `dcgain()`. Jako argument przyjmuje transmitancję, a zwraca wzmacnianie statyczne. Dla obu transmitancji wzmacnianie statyczne wyniosło 4,7. Wszelkie obliczenia zamieszczono w pliku zad1.m .

### Zad nr 2

Wyznaczone równanie różnicowe na podstawie transmitancji dyskretnej, służące do obliczenia wielkości  $y(k)$  na podstawie sygnałów wejściowych i wyjściowych z chwil poprzednich jest posataci:

$$y(k) = 1.677y(k-1) - 0.6981y(k-2) + 0.0524u(k-11) + 0.04649u(k-12)$$

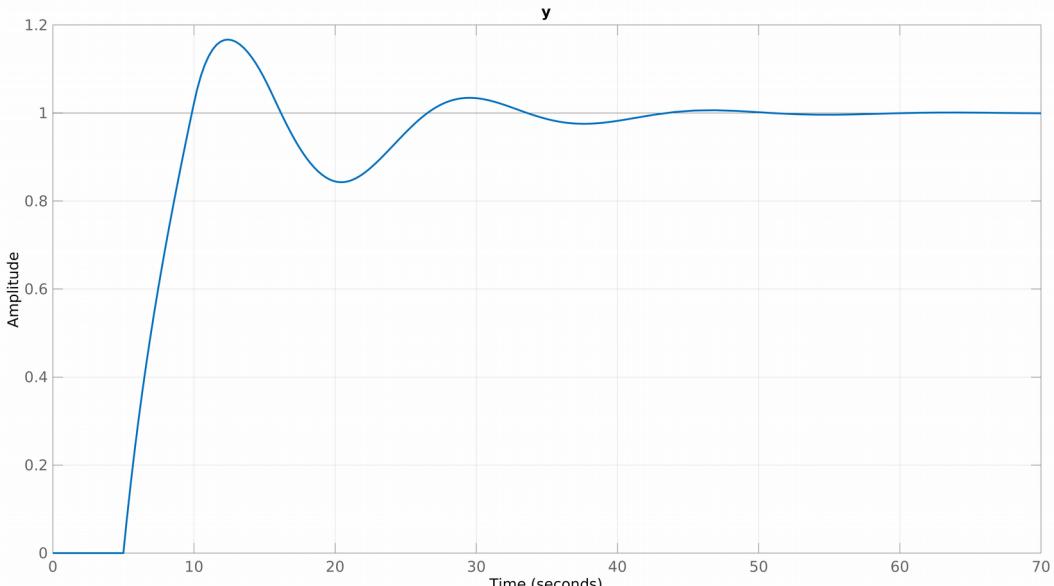
### Zad nr 3

Dla danego obiektu dobrano ciągły regulator PID metodą Zieglera Nicholsa. Najpierw zmierzono wzmacnienie krytyczne  $K_k=0,4802$ , a następnie okres oscylacji  $T_k=20s$ . Nastawy wyniosły kolejno:  $K_r=0,6K_k=0,2881$ ,  $T_i=0,5T_k=10$ ,  $T_d=0,12T_k=2,4$ . Następnie na podstawie uzyskanych parametrów wyliczono parametry  $r_0$ ,  $r_1$ ,  $r_2$  dla dyskretnego regulatora PID. Korzystano ze wzorów:

$$r_0 = K_r \left( 1 + \frac{T_p}{2T_i} + \frac{T_d}{T_p} \right)$$
$$r_1 = K_r \left( -1 - 2\frac{T_d}{T_p} + \frac{T_p}{2T_i} \right)$$
$$r_2 = \frac{K_r T_d}{T_p}$$

gdzie  $T_p$  jest czasem próbkowania i wynosi 0,5s. Parametry te wyniosły kolejno:  $r_0=1.6783$ ,  $r_1=-3.0469$ ,  $r_2=1.3830$ .

Ponieważ metodą Zieglera Nicholsa uzyskano regulator stabilny i w dopuszczalnym czasie dążący do wartości zadanej (Ilustracja 2), zaprzestano dalszych prób zmieniania parametrów.

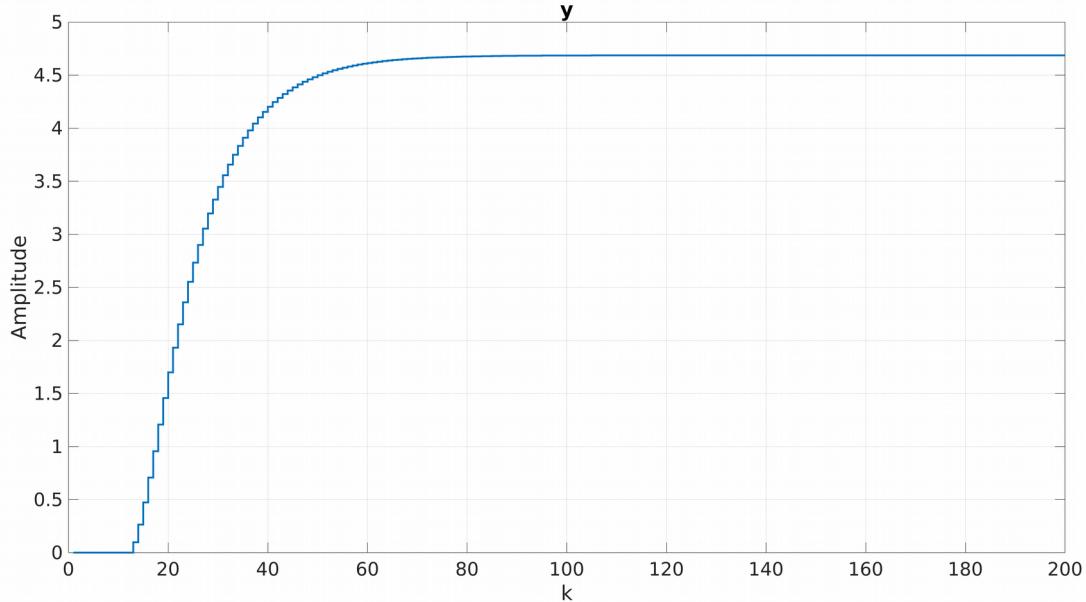


Ilustracja 2: Odpowiedź skokowa obiektu z ciągłym reguляtorem PID o parametrach wyznaczonych metodą Zieglera-Nicholsa

Wszelkie obliczenia do tego zadania zamieszczono w pliku zad3.m .

### Zad nr 4

Program do symulacji cyfrowego algorytmu PID oraz algorytmu DMC w wersji analitycznej, bez ograniczeń znajduje się w pliku zad4.m . Przyjęto stałą trajektorię zadaną dla całego horyzontu predykcyjnego. Wykorzystano tutaj model z punktu drugiego do wyznaczenia odpowiedzi skokowej obiektu (wykorzystanej w regulacji predykcyjnej DMC) i jego symulacji. Odpowiedź skokową obiektu przedstawiono na Ilustracji 3, gdzie  $k$  oznacza numery kolejnych próbek z wartościami odpowiedzi skokowej obiektu.



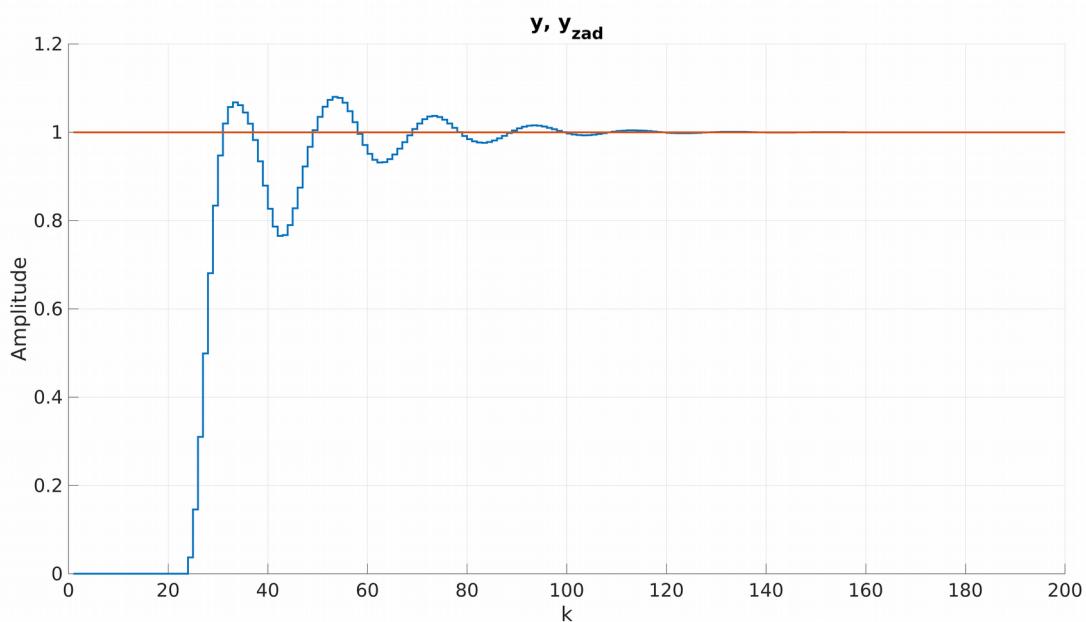
Ilustracja 3: Odpowiedź skokowa modelu w postaci równania różnicowego

### Zad nr 5

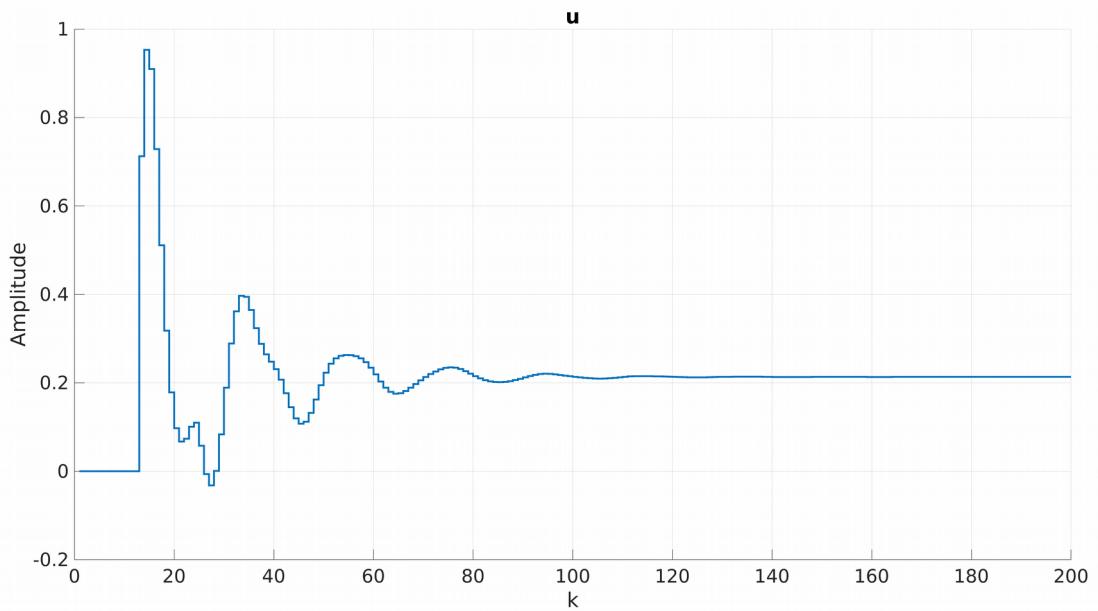
Dobrano parametry algorytmu DMC testując działanie układu regulacji dla skokowych zmian wartości zadanej, postępując w następujący sposób:

a)

Na podstawie odpowiedzi skokowej określono horyzont dynamiki  $D=80$ . Po tej liczbie kroków wartość odpowiedzi skokowej można uznać za ustaloną (zmienia się o bardzo niewielkie wartości), równą w przybliżeniu wzmacnieniu statycznemu (wynosi 4,6760). Następnie założono początkową wartość współczynnika  $\lambda$  ( $\lambda=1$ ) oraz długości horyzontów predykcji i sterowania takie same, jak horyzontu dynamiki ( $N_u=N=D$ ). Otrzymaną odpowiedź układu umieszczono na Ilustracji 4. Czerwonym kolorem zaznaczono wartość zadaną, a niebieskim wyjście obiektu. Regulator może nie pracuje optymalnie ale prawidłowo, ponieważ jest stabilny i osiąga wartość zadaną w dopuszczalnym czasie.



Ilustracja 4: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC o parametrach  $N_u=N=D=80$

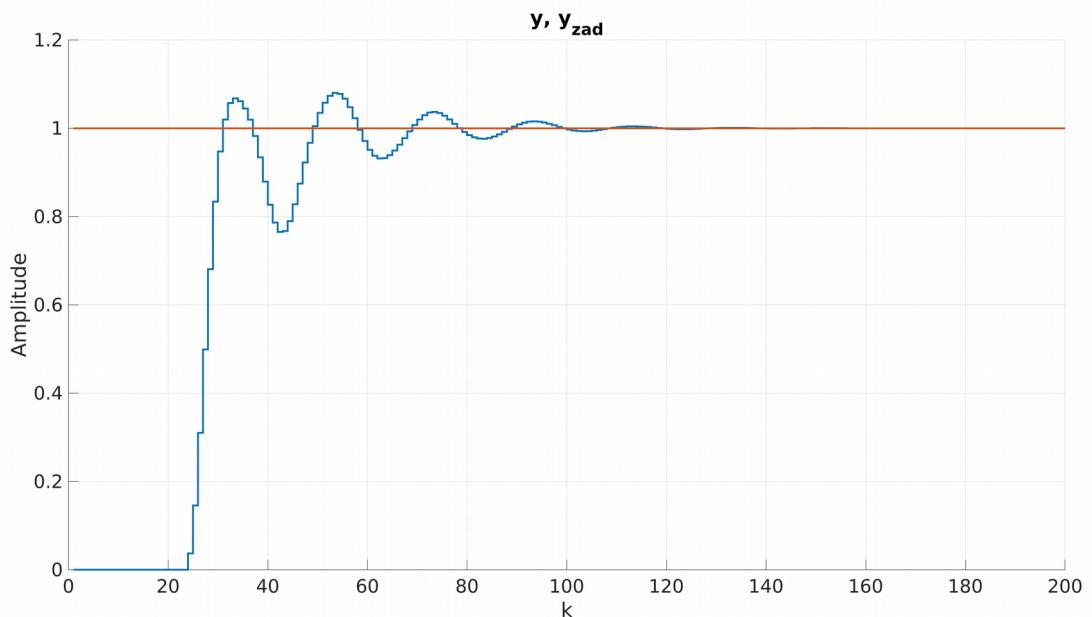


Ilustracja 5: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC o parametrach  $Nu=N=D=80$

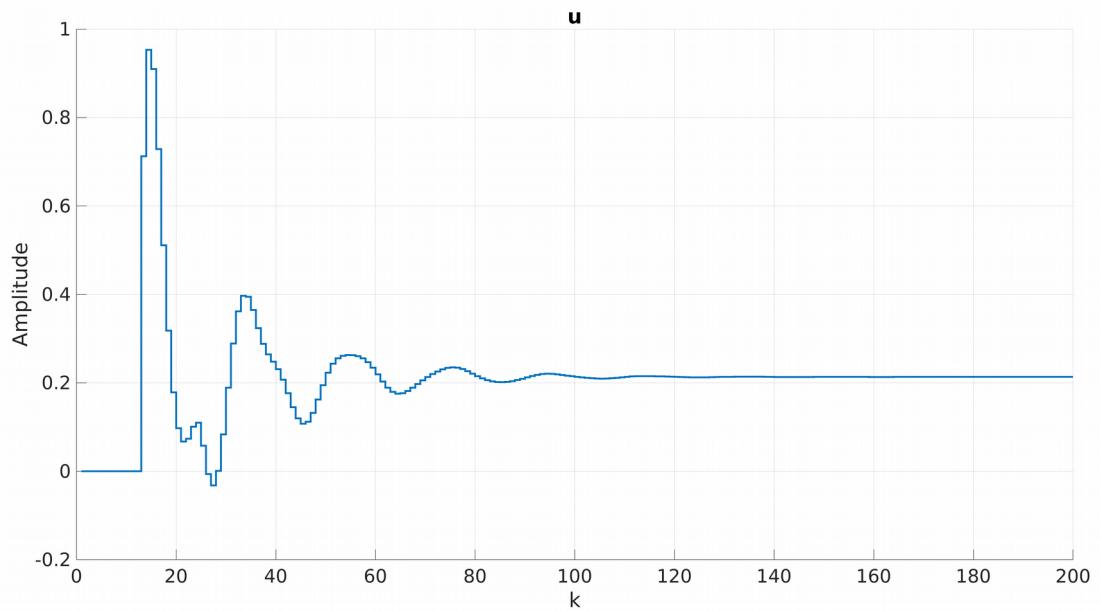
Niestety uzyskany regulator wytwarza sygnał sterujący, który potrafi bardzo szybko się zmieniać i uzyskiwać duże wartości, co też może być niekorzystne dla samego obiektu. Sygnał sterujący regulatora pokazano na Ilustracji 5.

b)

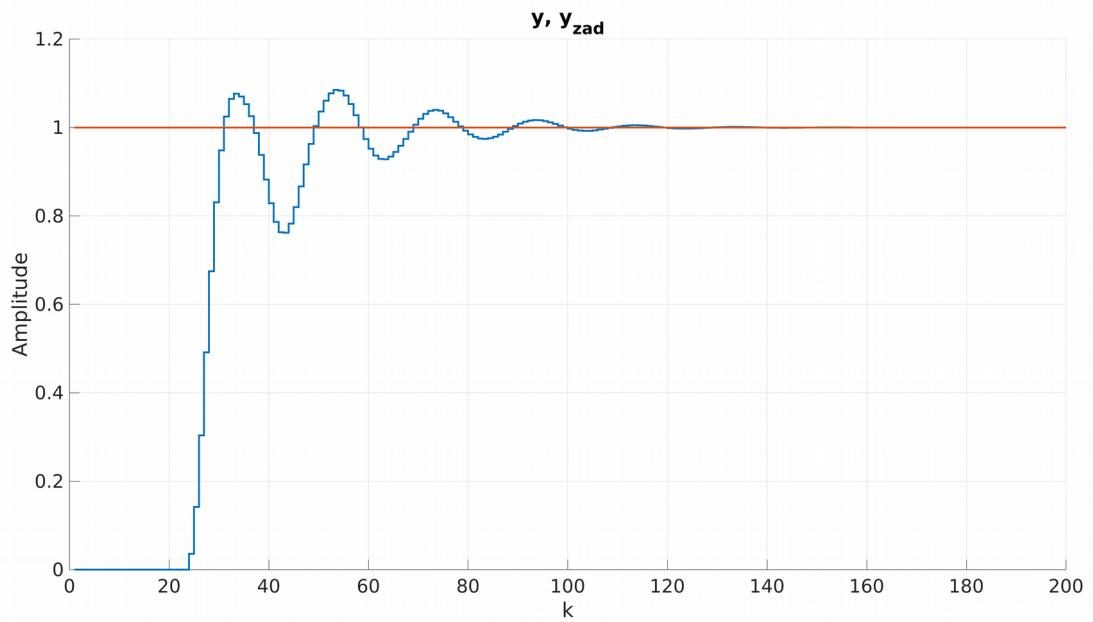
Następnie zaczęto stopniowo skracać horyzont predykcji i wybrano jego docelową długość równą 18, przy warunkach  $D=80$ ,  $Nu=N$ ,  $\lambda=1$ . Wyniki przeprowadzonych eksperymentów przedstawiają Ilustracje 6-12 . Na wykresach z odpowiedzią skokową układu czerwonym kolorem oznaczono wartość zadaną, a niebieskim wyjście modelu.



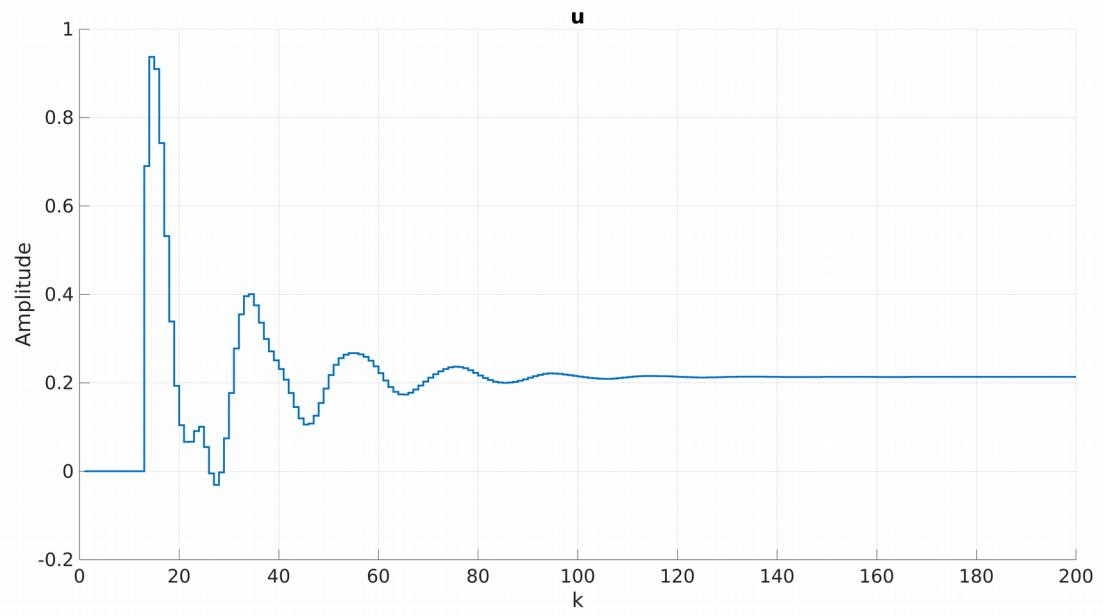
Ilustracja 6: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC o parametrach  $Nu=N=40$



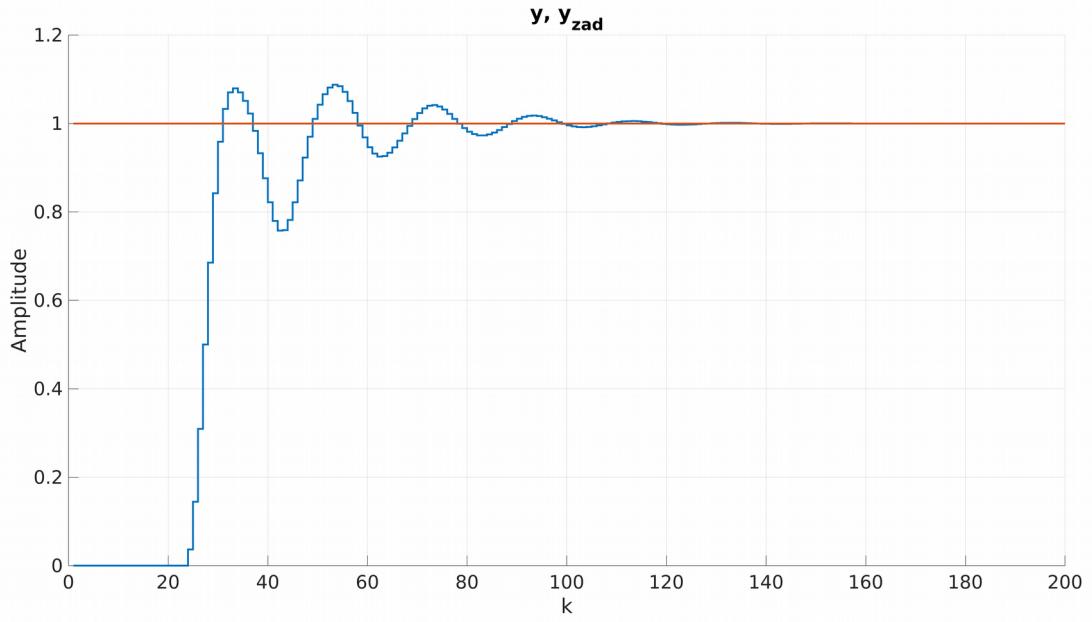
Ilustracja 7: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC o parametrach  $Nu=N=40$



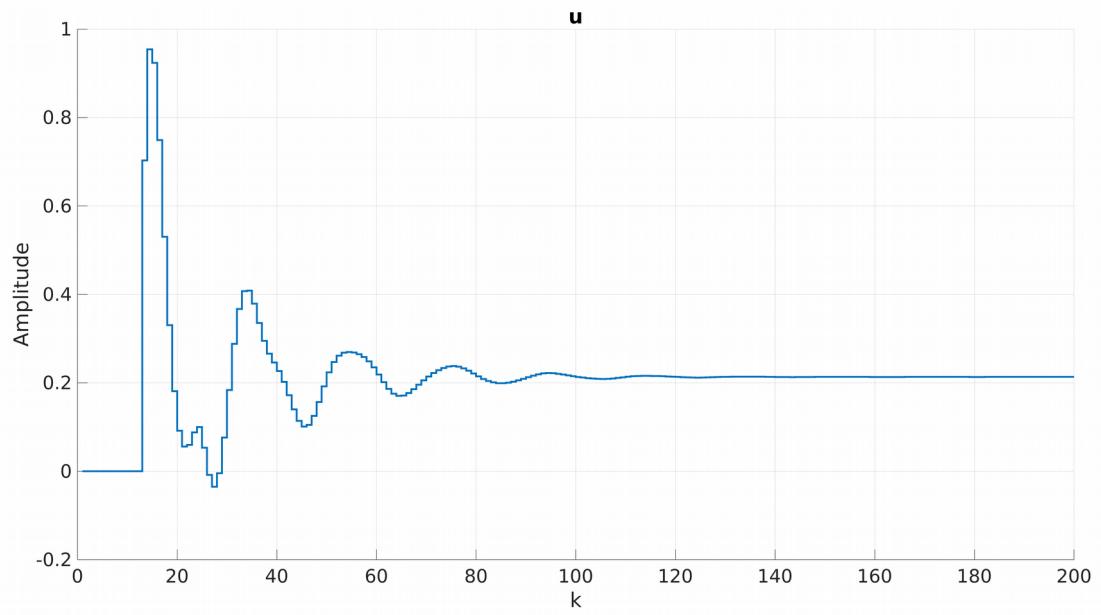
Ilustracja 8: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC o parametrach  $Nu=N=20$



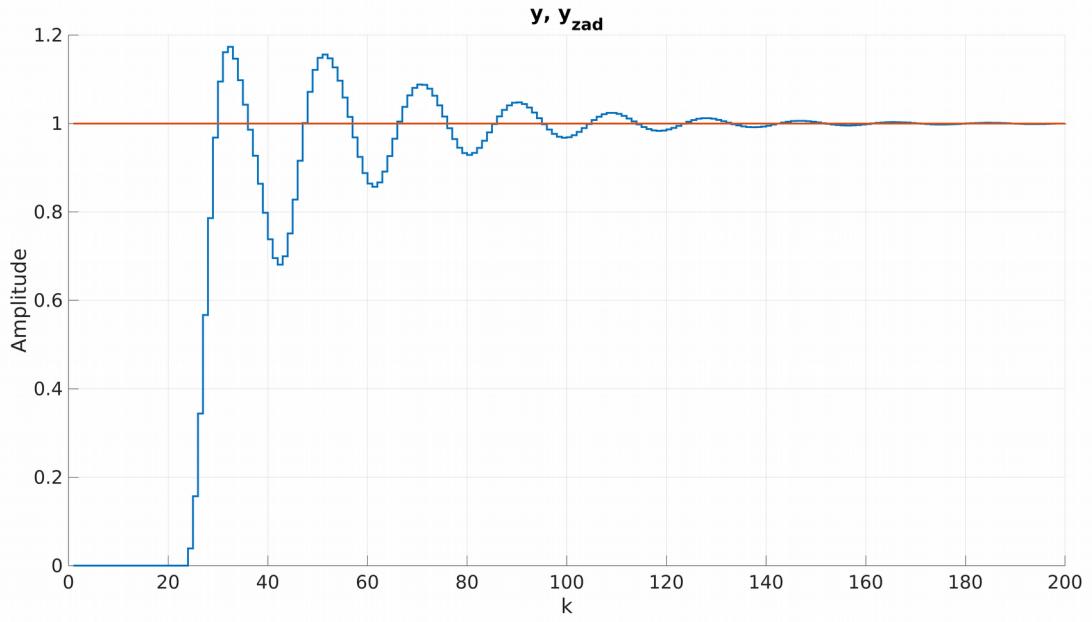
Ilustracja 9: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC o parametrach  $\text{Nu}=\text{N}=20$



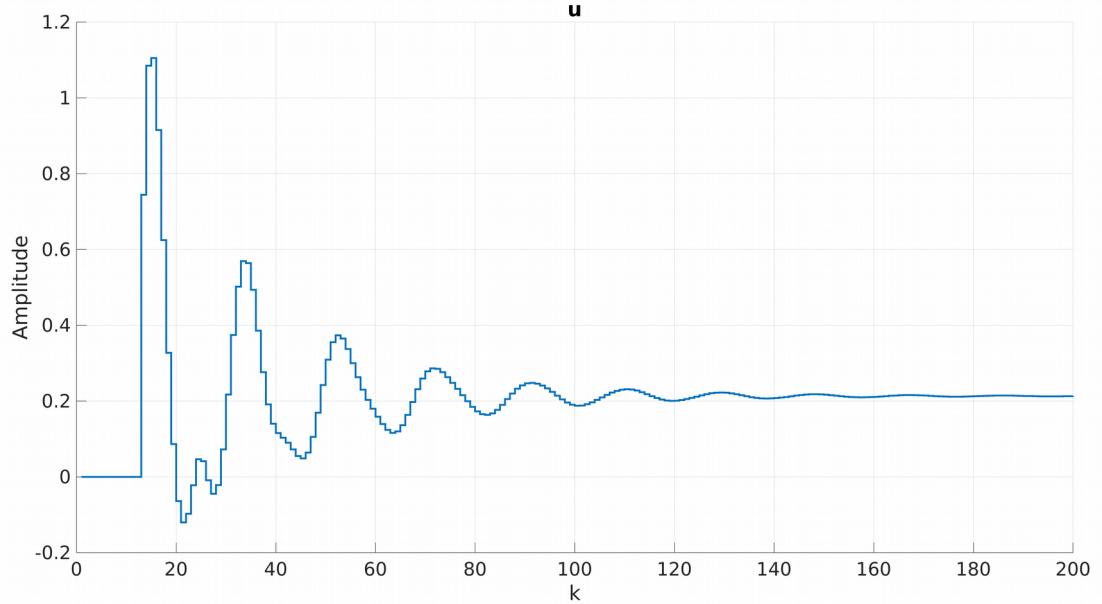
Ilustracja 10: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC o parametrach  $\text{Nu}=\text{N}=18$



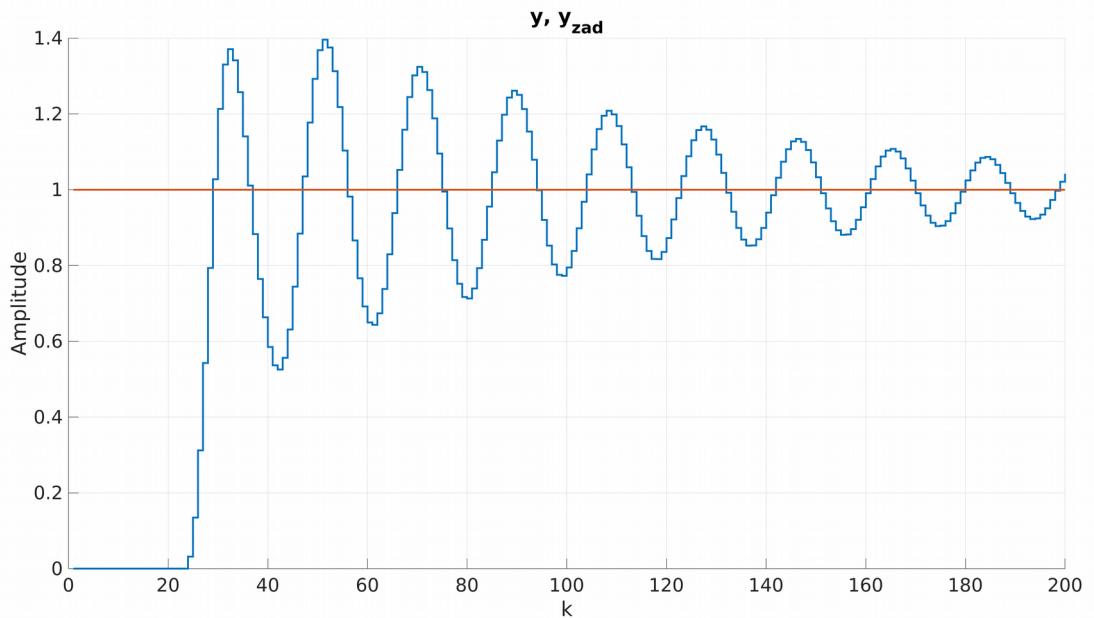
Ilustracja 11: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC o parametrach  $N_u=N=18$



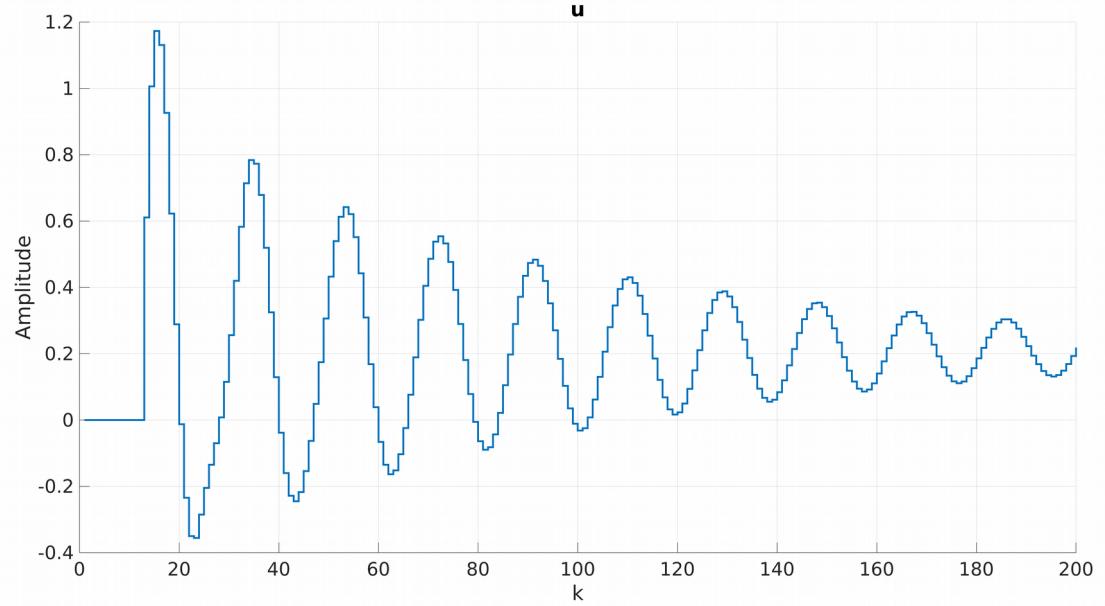
Ilustracja 12: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC o parametrach  $N_u=N=16$



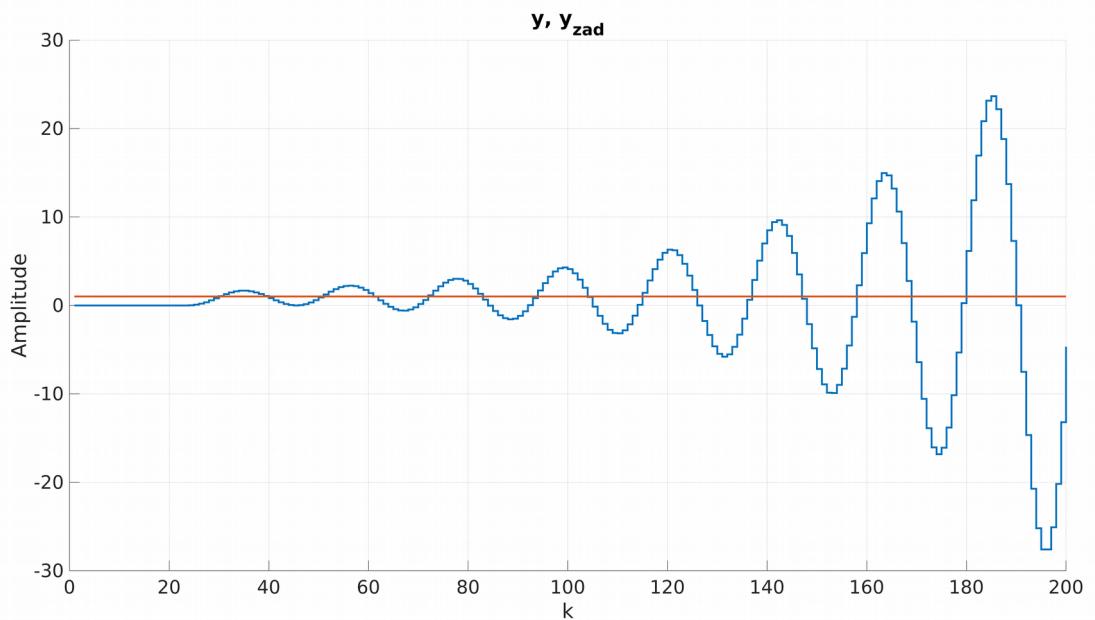
Ilustracja 13: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC o parametrach  $N_u=N=16$



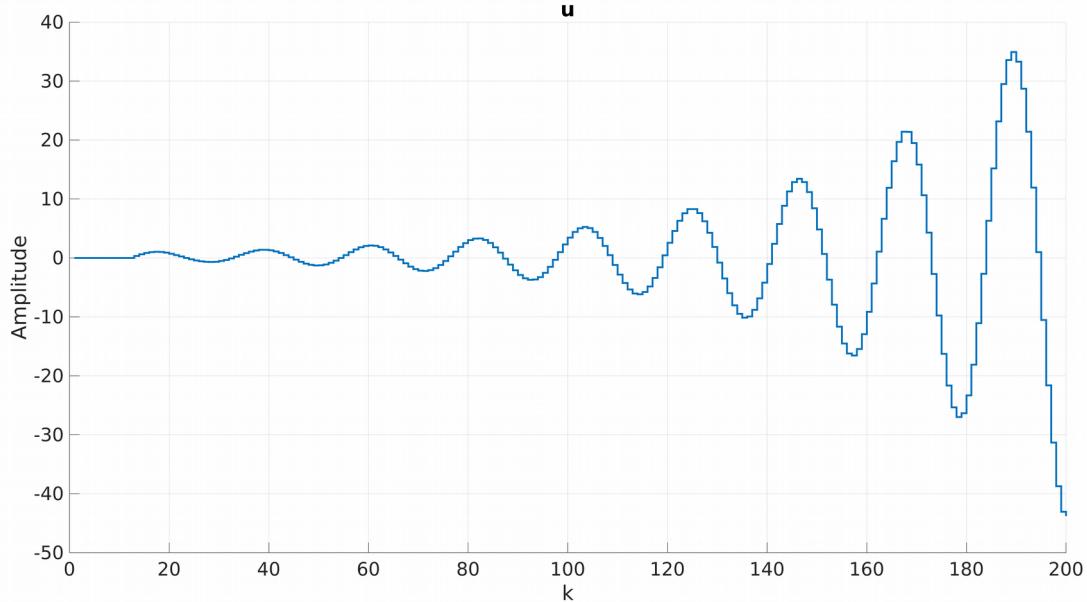
Ilustracja 14: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC o parametrach  $N_u=N=15$



Ilustracja 15: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC o parametrach  $N_u=N=15$



Ilustracja 16: Odpowiedź skokowa obiektu z regulatorem DMC o parametrach  $N_u=N=14$



Ilustracja 17: Sterowanie obiektu z regulatorem DMC o parametrach  $N_u=N=14$

Jak widać na powyższych grafikach horyzont predykcyjny jest bardzo istotnym parametrem w działaniu regulatora DMC. Przy dużych wartościach tego parametru pracuje on stabilnie, wyjście modelu osiąga wartość zadaną w dopuszczalnym czasie, niestety podobnie jak w poprzednim podpunkcie sygnał sterujący potrafi być szybkozmienisty i osiągać duże wartości. Omawiany regulator praktycznie działa w przybliżony sposób dla wartości  $N$  od 80 w dół do 18. Jako dowód pokazano przebiegi odpowiedzi skokowych i wartości sterujących dla wartości  $N$  40, 20 i 18. Sytuacja zaczyna stawać się ciekawsza dla  $N=16$ , kiedy to pojawia się większe przeregulowanie, czas regulacji obiektu w widoczny sposób się wydłuża, a sygnał sterujący przybiera większe wartości. Sytuacja staje się jeszcze gorsza dla  $N=15$  kiedy to regulatorowi bardzo dużo czasu zajmuje osiągnięcie wartości zadanej na wyjściu modelu (jest mało stabilny), a przeregulowanie sięga rekordowo wysokiej wartości równej 0.4. Podobnie jak w poprzednim przypadku tak i tu sygnał sterujący osiąga jeszcze większe wartości. Układ staje się niestabilny i wpada w narastające oscylacje dla horyzontu predykcyjnego 14 (Ilustracje 16, 17).

Z powyższych doświadczeń można wywnioskować, że długi horyzont predykcyjny sprzyja większej stabilności obiektu, jednak nie ma sensu dawać mu zbyt dużej wartości, ponieważ od pewnej wartości  $N$  w góre regulator pracuje praktycznie tak samo. Należy jednak uważać by nie był on za krótki gdyż układ może stać się niestabilny, lub mało stabilny.