

Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Instytut Automatyki i Informatyki Stosowanej

Projektowanie układów sterowania
(projekt grupowy)

Sprawozdanie z projektu i ćwiczenia laboratoryjnego
nr 2, zadanie nr 7

Autorzy:
Grochowina Mateusz
Winnicki Konrad
Zgorzelski Jan

Warszawa, 4 kwietnia 2019

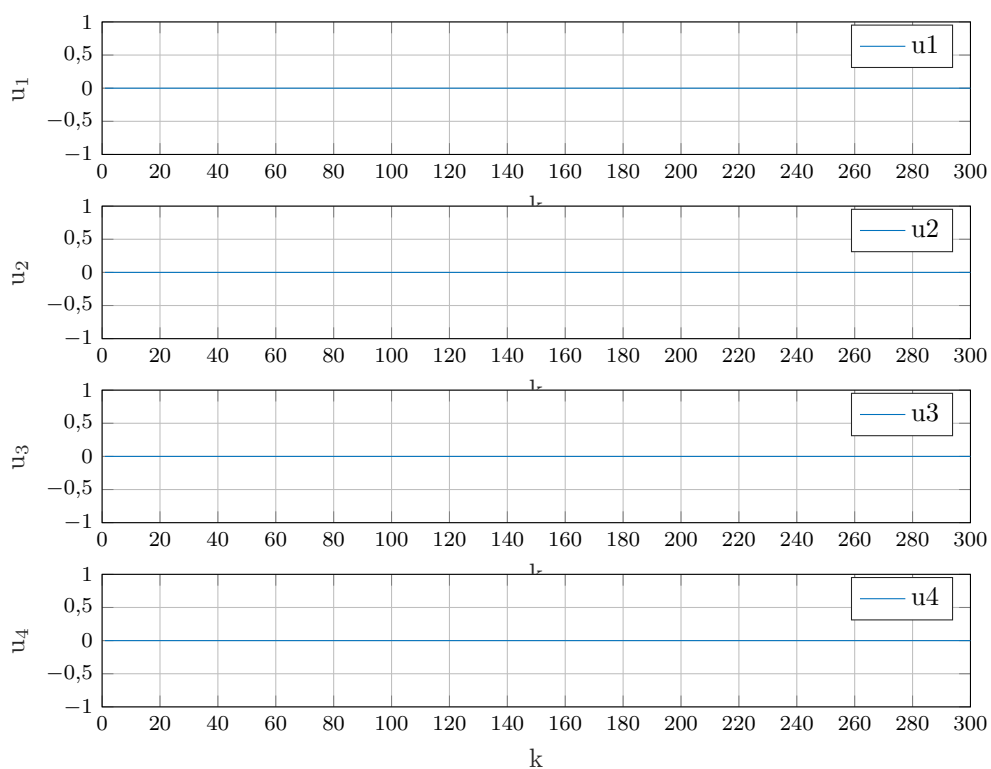
Spis treści

1. Projekt	2
1.1. Poprawność podanego punktu pracy	2
1.2. Odpowiedzi skokowe 12 torów procesów	4
1.3. Program do symulacji algorytmu cyfrowego PID i DMC w najprostszej wersji analitycznej	7
1.4. Dobranie eksperymentalne konfiguracji i parametrów regulatorów PID i DMC	8
1.4.1. Konfiguracja i dobór parametrów regulatorów PID	8
1.4.2. Dobór parametrów regulatorów DMC	12
1.5. Optymalizacja parametrów regulatorów PID i DMC	16
1.5.1. Optymalizacja PID	16
1.5.2. Optymalizacja DMC	20
1.6. Implementacja algorytmu DMC w wersji klasycznej	22
2. Laboratorium	26
2.1. Stanowisko grzejąco-chłodzące	26
2.1.1. Sprawdzenie popraawaności punktu pracy	26
2.1.2. Zabezpieczenia stanowiska	27
2.1.3. Implementacja dwupętlowego regulatora PID	28
2.1.4. Implementacja regulatora DMC 2x2	29
2.1.5. Panel operatora	30
2.1.6. Automat stanów	31
2.2. Stanowisko INTECO	32
2.2.1. Konfiguracja sterownika stanowiska Inteco	32
2.2.2. Zabezpieczenia stanowiska	33
2.2.3. Charakterystyka statyczna	34
2.2.4. Dostosowanie i dobieranie parametrów regulatorów PID	35
2.2.5. Automat stanów	36
2.2.6. Wizualizacja procesu	37
2.3. Porównanie regulatorów PID	38

1. Projekt

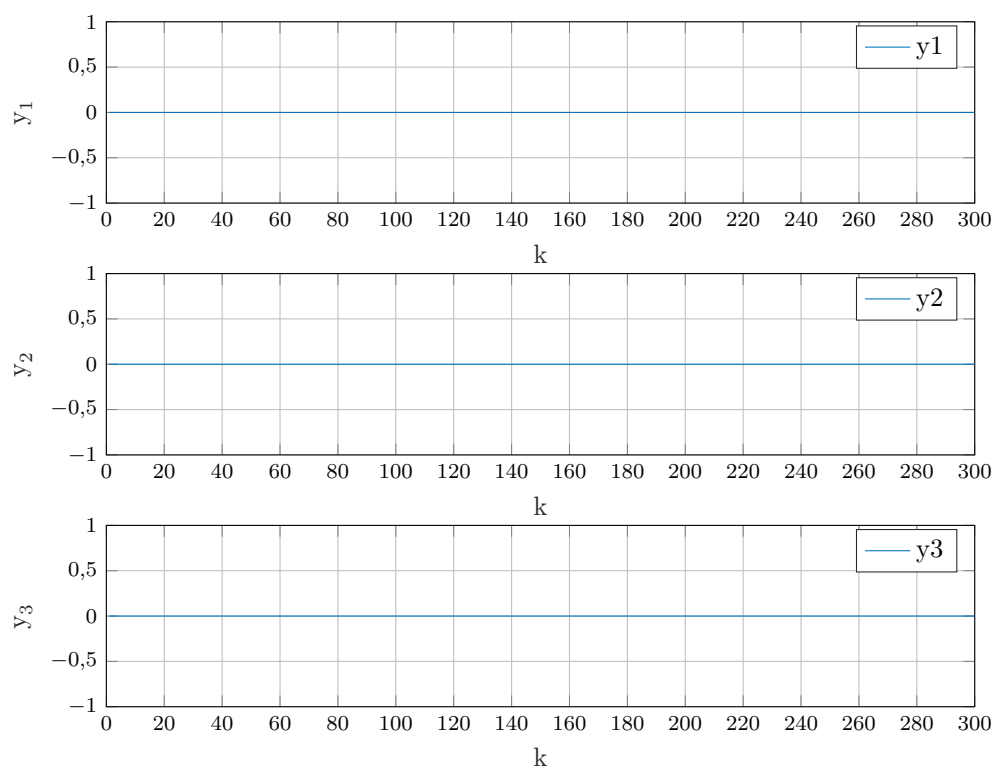
1.1. Poprawność podanego punktu pracy

Zasymulowano odpowiedź procesu w punkcie pracy dla sterowania $upp1=upp2=upp3=upp4=0$



Rys. 1.1. projekt-zadanie1-u-proj-zadanie1u

Wyjścia obiektu wynoszą $ypp1=ypp2=ypp3=0$.

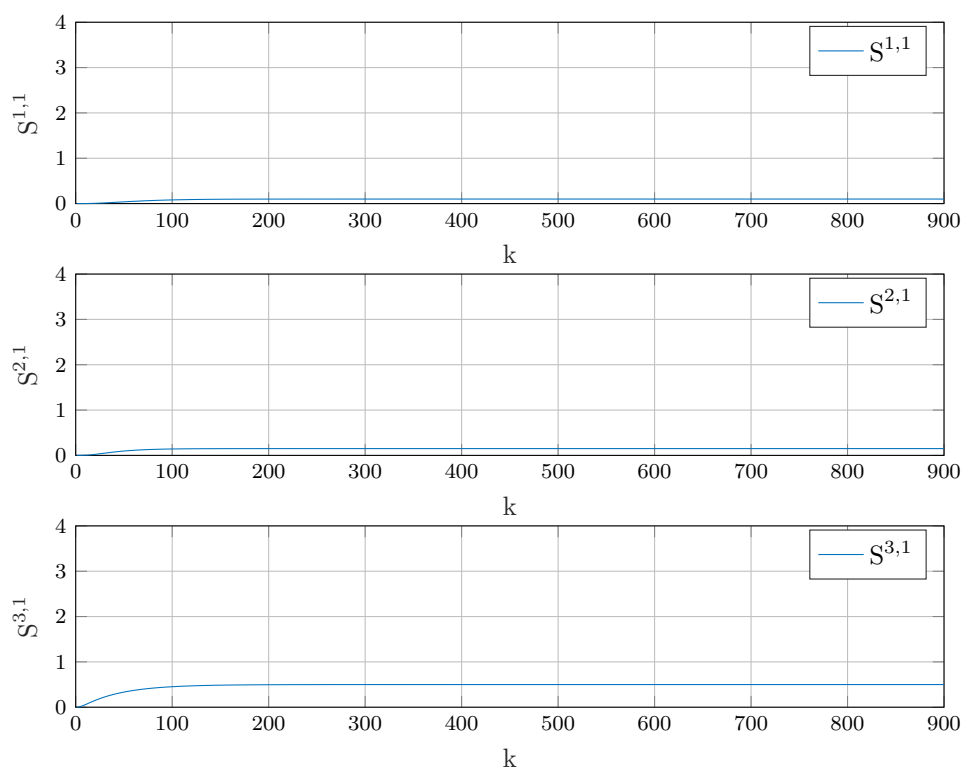


Rys. 1.2. projektzadanie1projzadanie1y

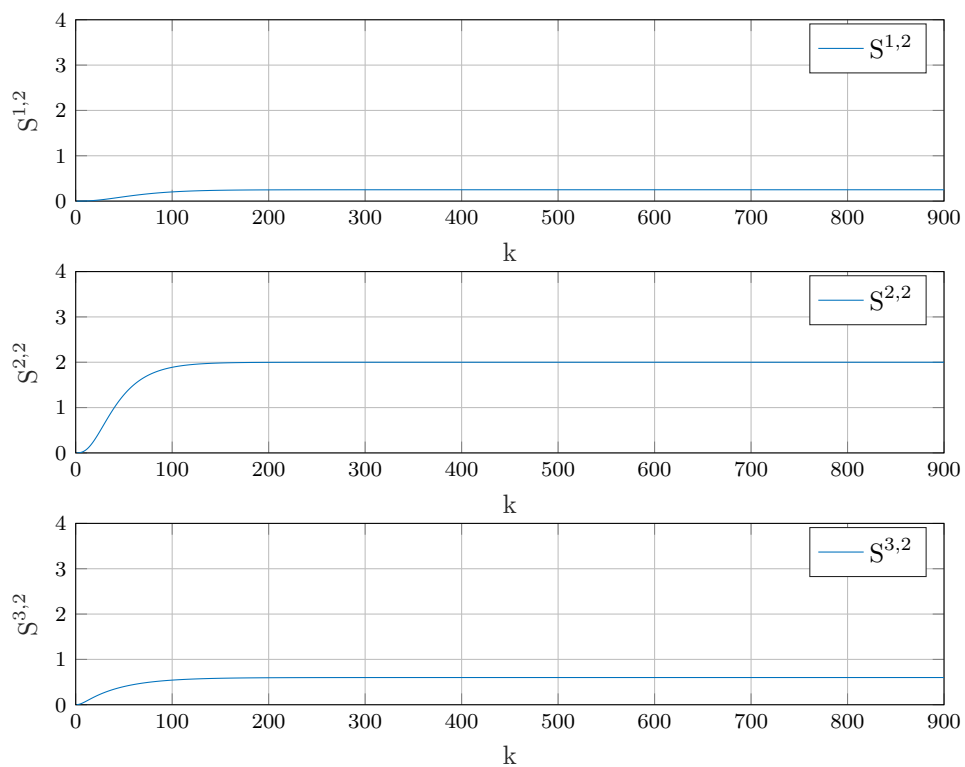
Podany punkt pracy jest poprawny

1.2. Odpowiedzi skokowe 12 torów procesów

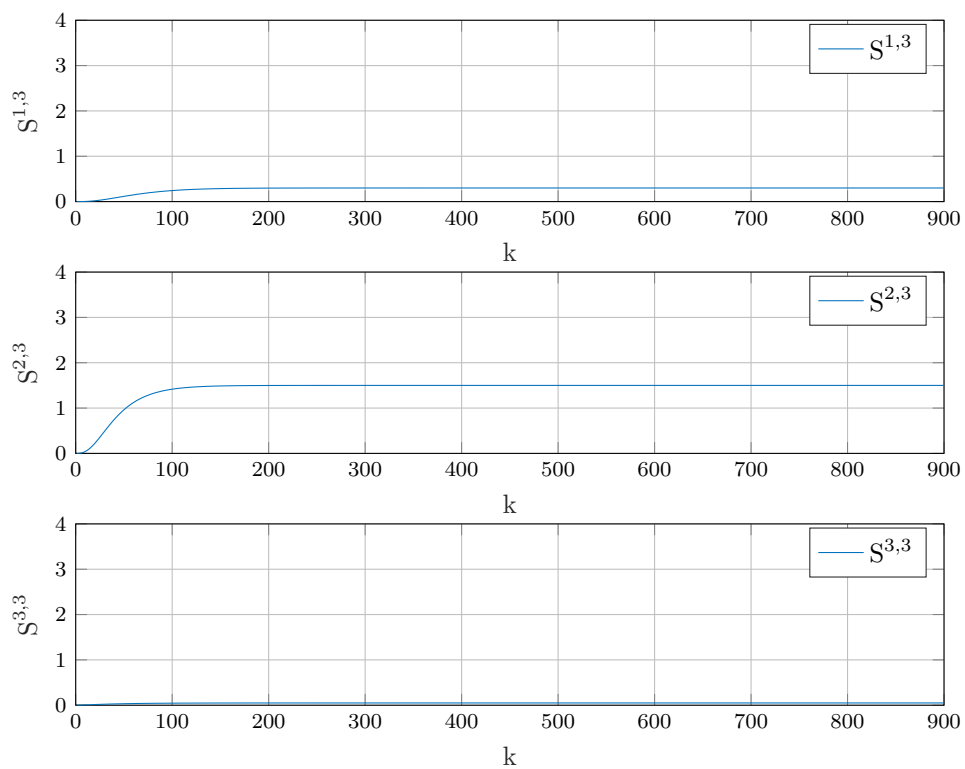
Wyznaczono odpowiedzi skokowe dla 12 torów procesu to znaczy zestaw liczb s_{mn} dla m równe 1, 2, 3, gdzie m oznacza numer wyjścia y i n równe 1, 2, 3, 4, gdzie n oznacza numer sterowania u przy pojedynczych skokach jednostkowych odpowiednich sygnałów sterujących od chwili k równe 0 włącznie sygnał wymusza ma wartość 1, w przeszłości jest zerowy.



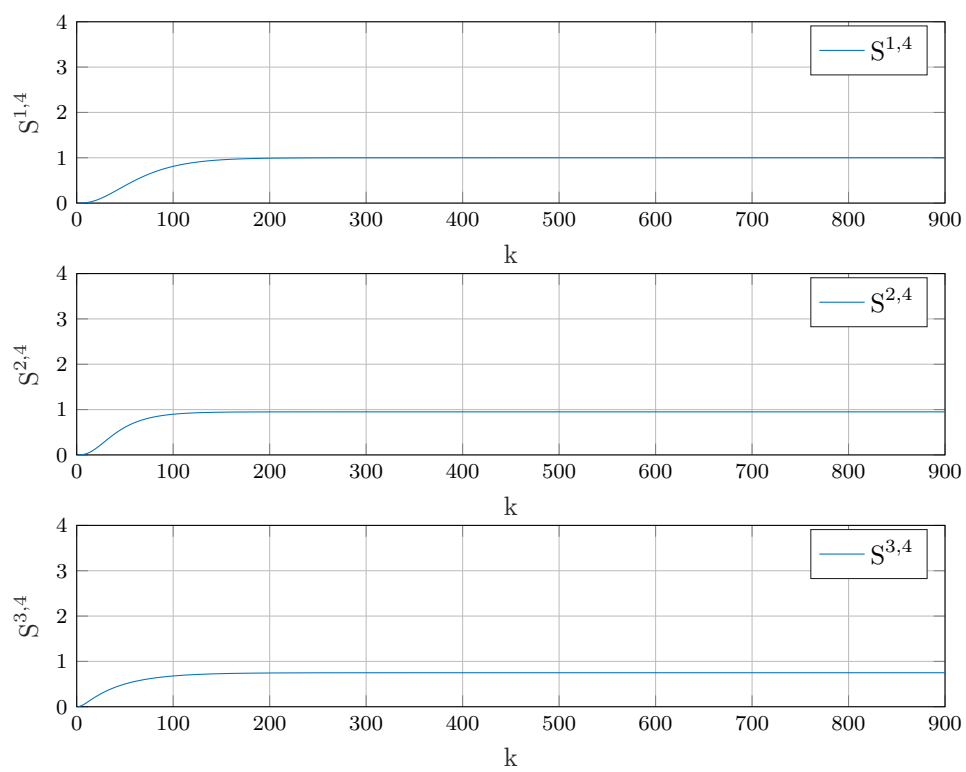
Rys. 1.3. projekt-zadanie2-u1-proj-zadanie2u1



Rys. 1.4. projekt-zadanie2-u2-proj-zadanie2u2



Rys. 1.5. projekt-zadanie2-u3-projzadanie2u3



Rys. 1.6. projekt-zadanie2-u4-proj-projzadanie2u4

1.3. Program do symulacji algorytmu cyfrowego PID i DMC w najprostszej wersji analitycznej

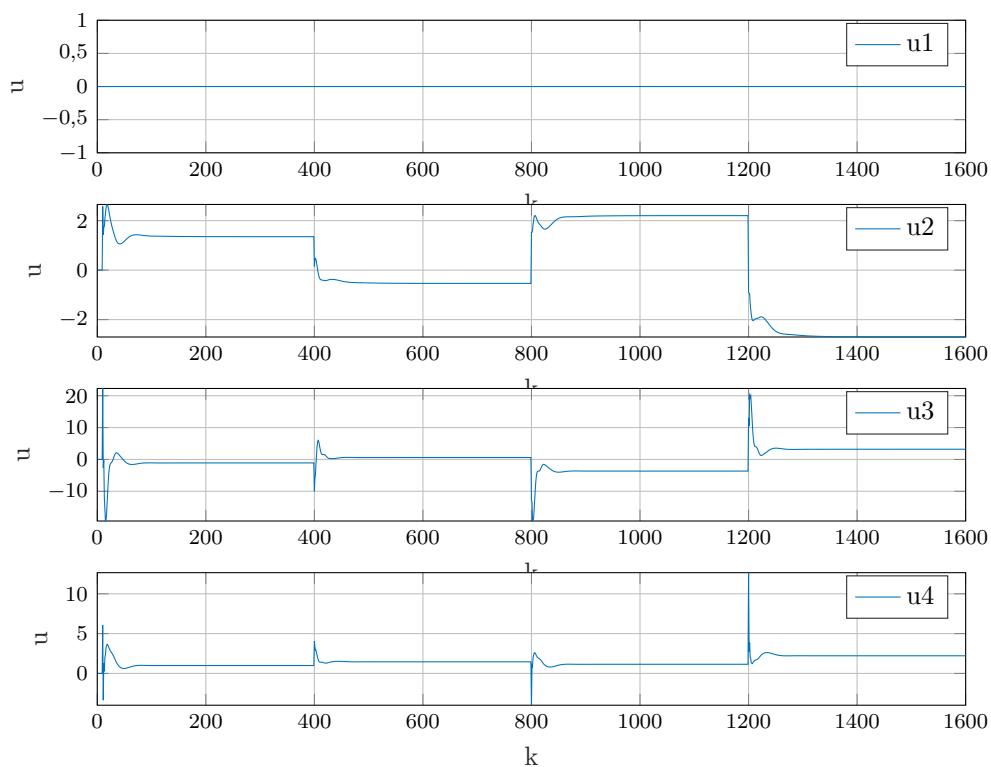
Zaimplementowano cyfrowy algorytm PID oraz algorytm DMC (w najprostszej wersji analitycznej)

1.4. Dobranie eksperymentalne konfiguracji i parametrów regulatorów PID i DMC

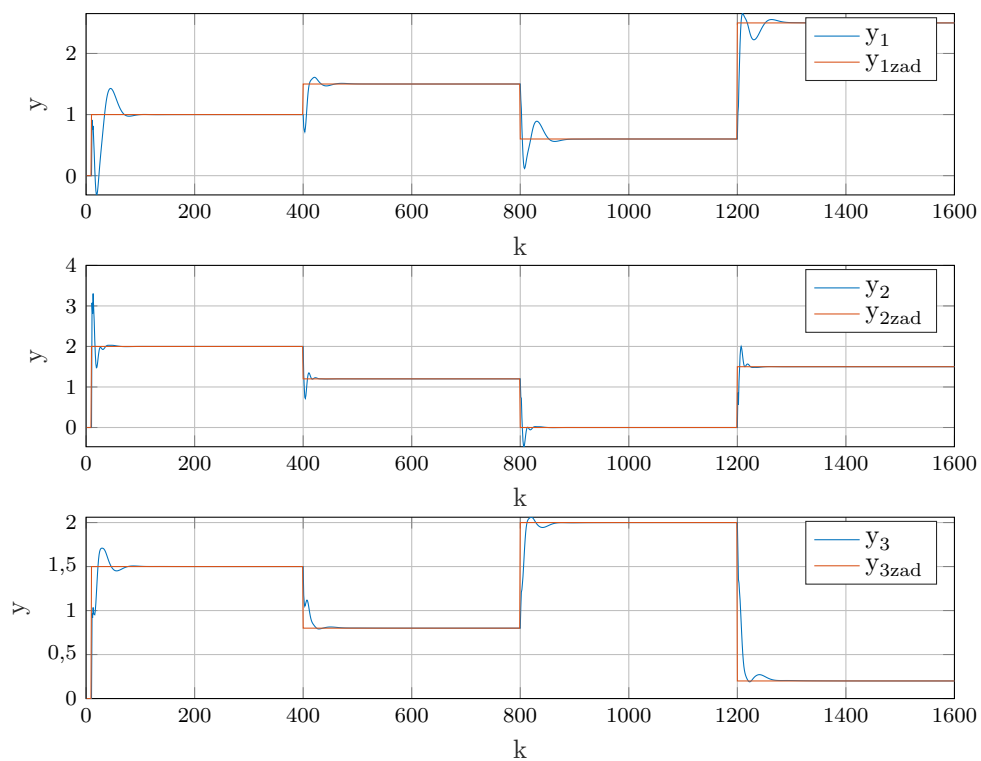
Dla zaproponowanej trajektorii zmian sygnałów zadanych (kilka skoków o różnej amplitudzie) dobrać nastawy regulatora PID i parametry algorytmu DMC metoda eksperymentalna. Jakość regulacji oceniać jakościowo (na podstawie rysunków przebiegów sygnałów) oraz ilościowo, wyznaczając wskaźnik jakości regulacji

gdzie k_{konc} oznacza koniec symulacji (zawsze taki sam). Zamieścić wybrane wyniki symulacji (przebiegi sygnałów wejściowych i wyjściowych procesu oraz wartości wskaźnika E). W przypadku algorytmu PID rozważyć kilka możliwych konfiguracji regulatora, tzn. uchyb e_1 pierwszego wyjścia oddziałuje na pierwszy sygnał sterujący u_1 , uchyb e_2 oddziałuje na u_2 , uchyb e_3 oddziałuje na u_3 itd. Zamieścić wybrane wyniki symulacji

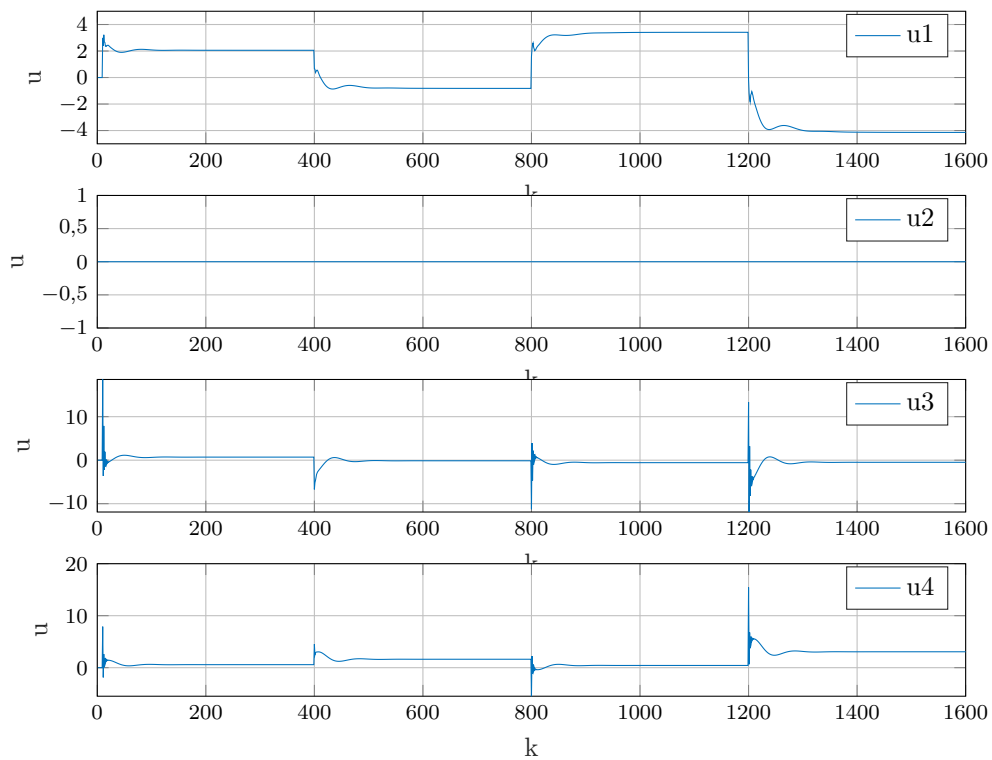
1.4.1. Konfiguracja i dobór parametrów regulatorów PID



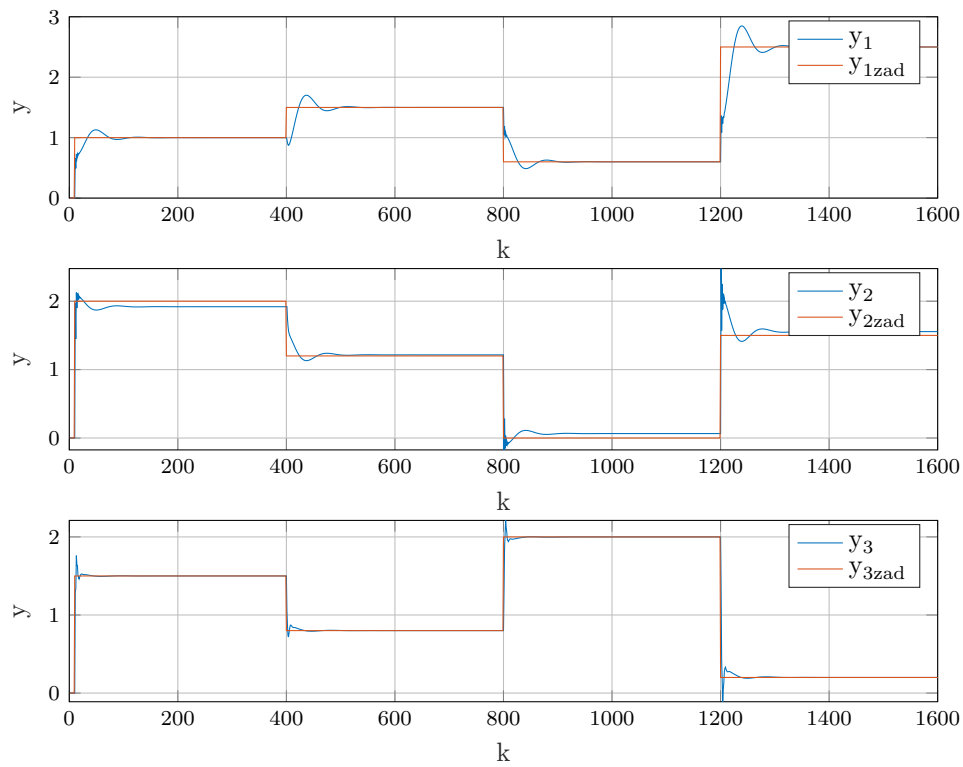
Rys. 1.7. projekt-zadanie4-PID-PIDbezu1-u-projzadanie4PIDbezu1u.tex



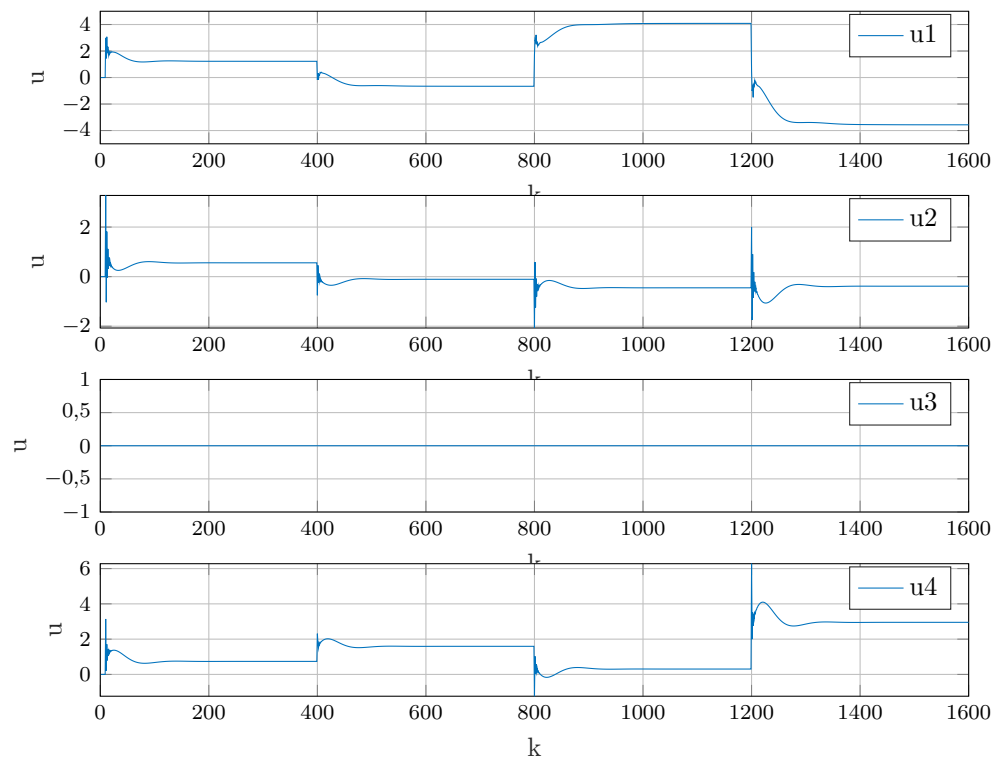
Rys. 1.8. projekt-zadanie4-PID-PIDbezu1-y-projzadanie4PIDbezu1u.tex



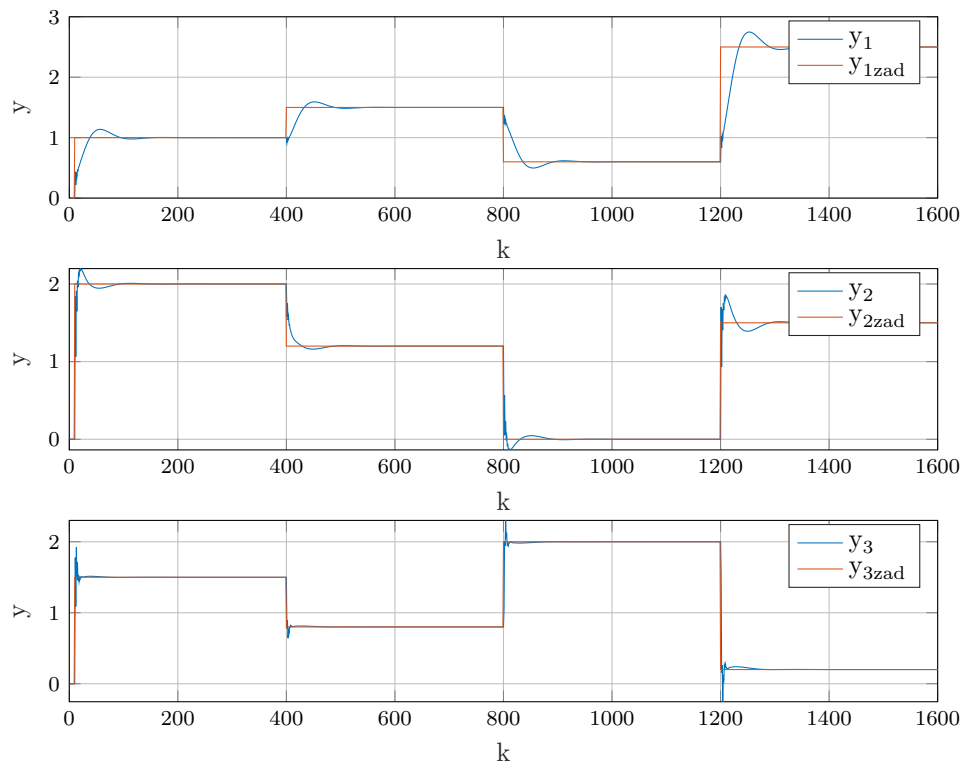
Rys. 1.9. projekt-zadanie4-PID-PIDbezu2-u-projzadanie4PIDbezu2u.tex



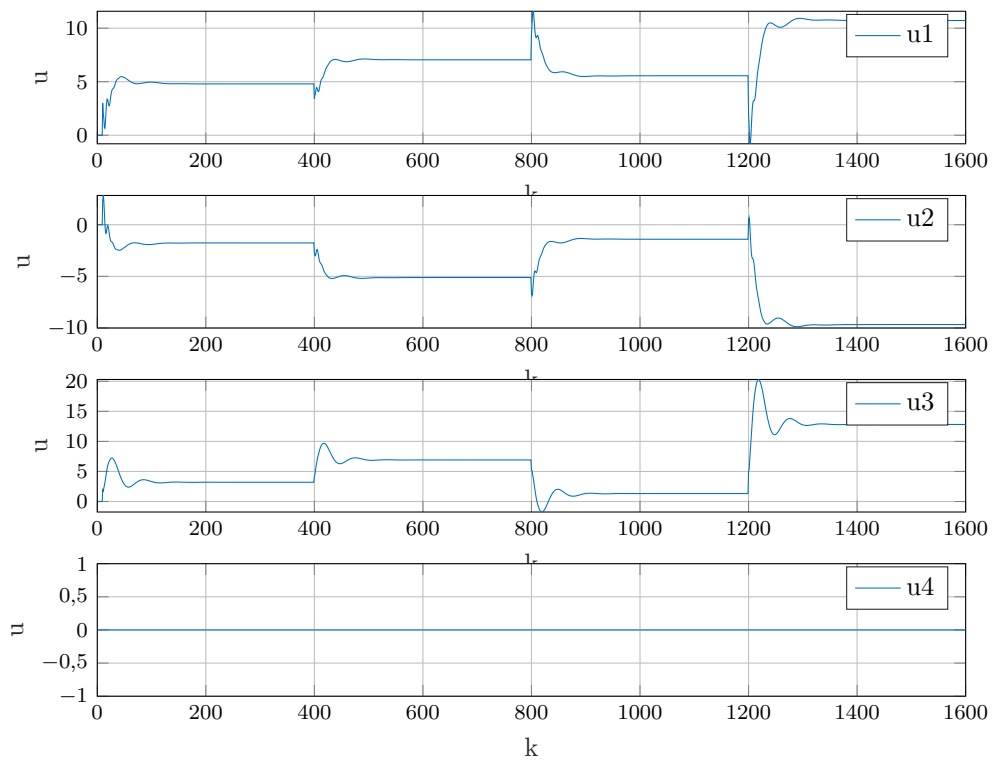
Rys. 1.10. projekt-zadanie4-PID-PIDbezu2-y-projzadanie4PIDbezu2y.tex



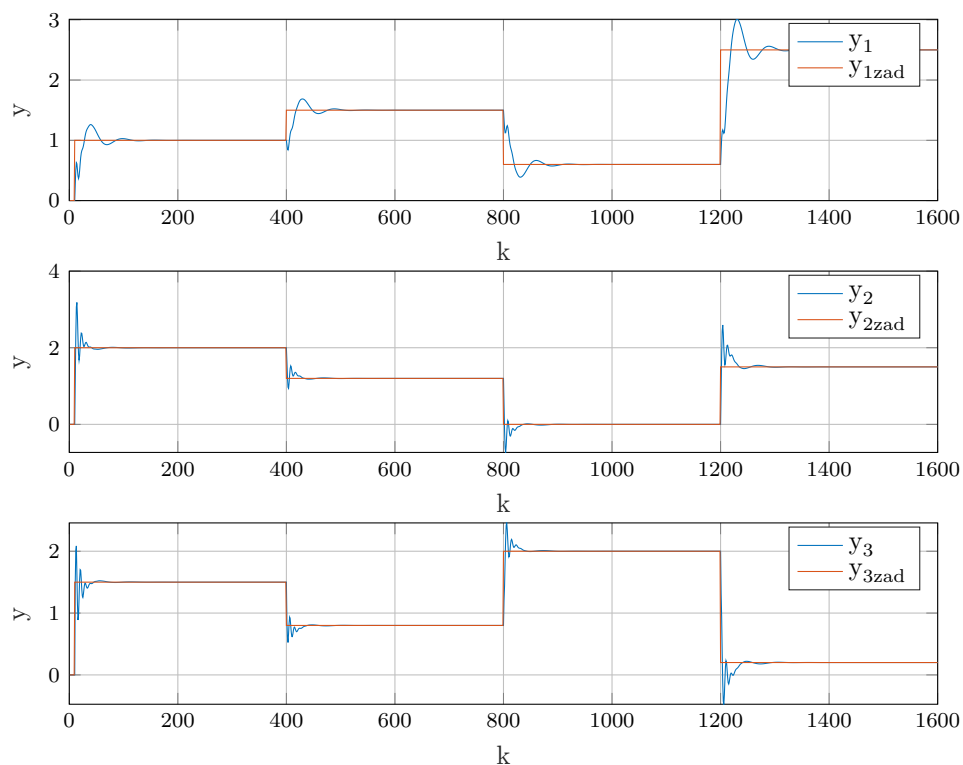
Rys. 1.11. projekt-zadanie4-PID-PIDbezu3-u-projzadanie4PIDbezu3u.tex



Rys. 1.12. projekt-zadanie4-PID-PIDbezu3-y-projzadanie4PIDbezu3y.tex

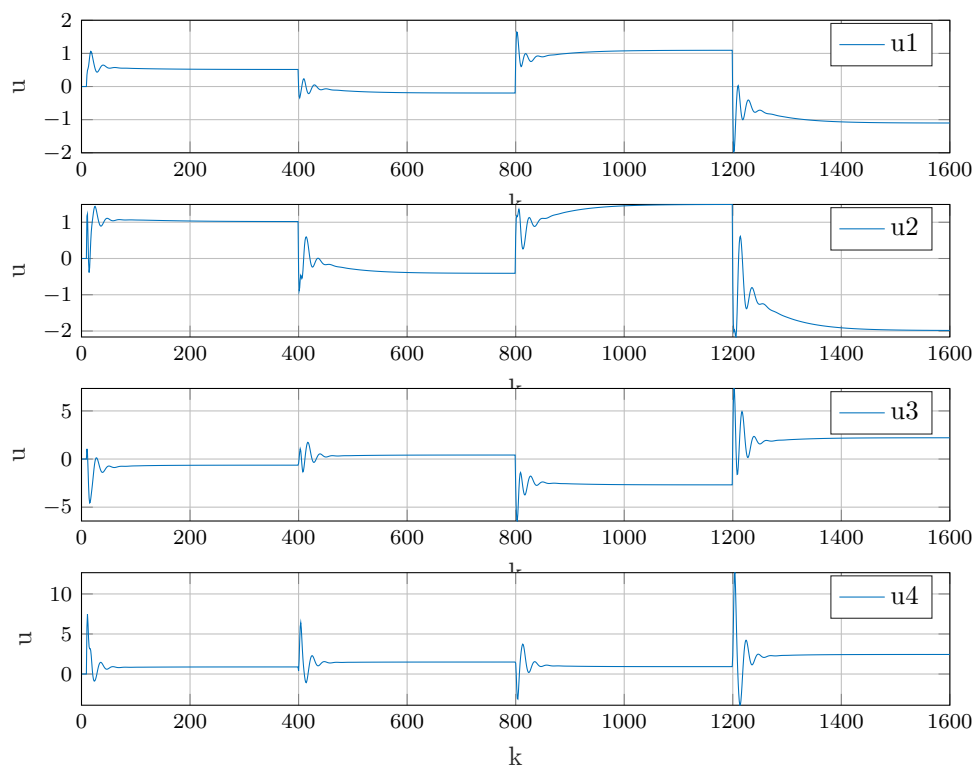


Rys. 1.13. projekt-zadanie4-PID-PIDbezu4-u-projzadanie4PIDbezu4u.tex

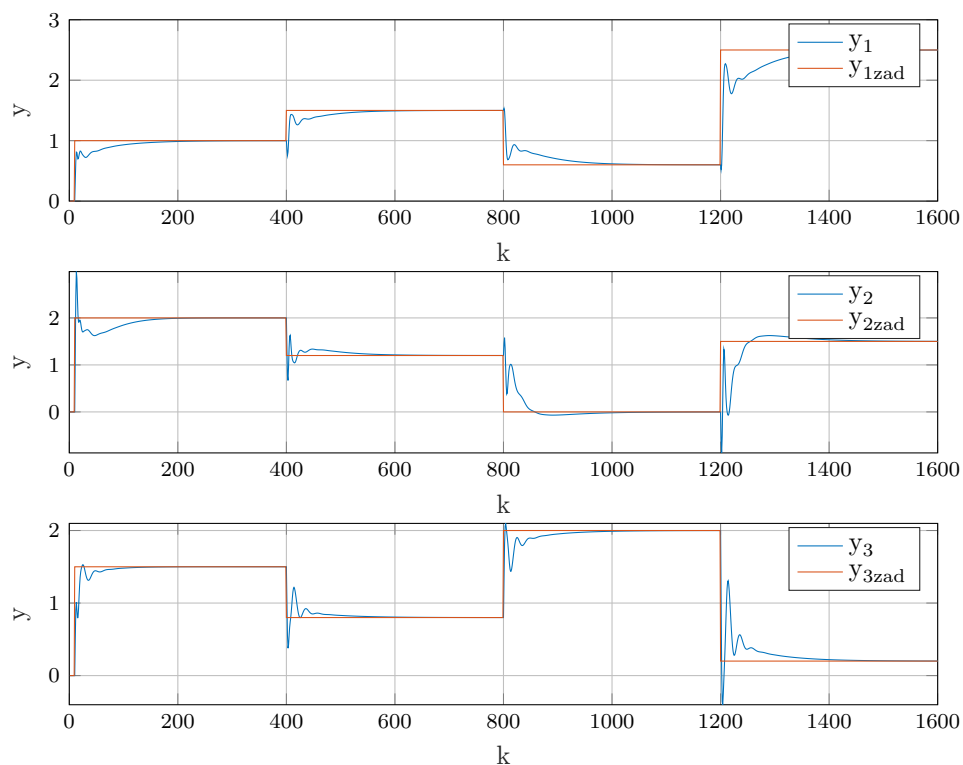


Rys. 1.14. projekt-zadanie4-PID-PIDbezu4-y-projzadanie4PIDbezu4y.tex

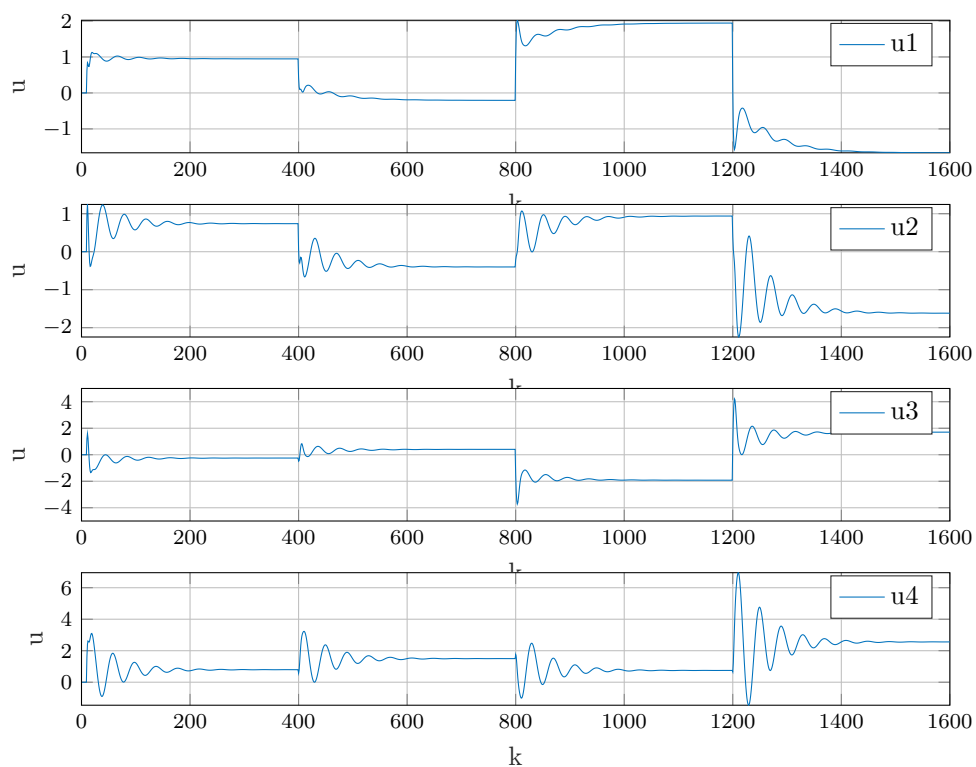
1.4.2. Dobór parametrów regulatorów DMC



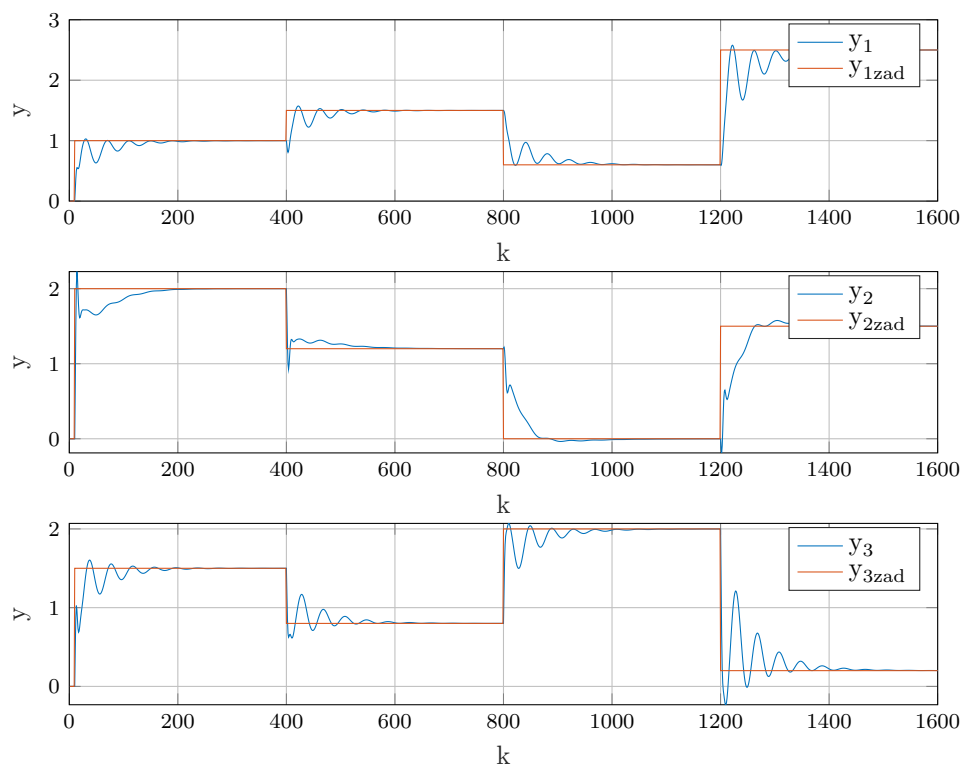
Rys. 1.15. projekt-zadanie4-DMC-DMC1-u-projzadanie4DMC1u.tex



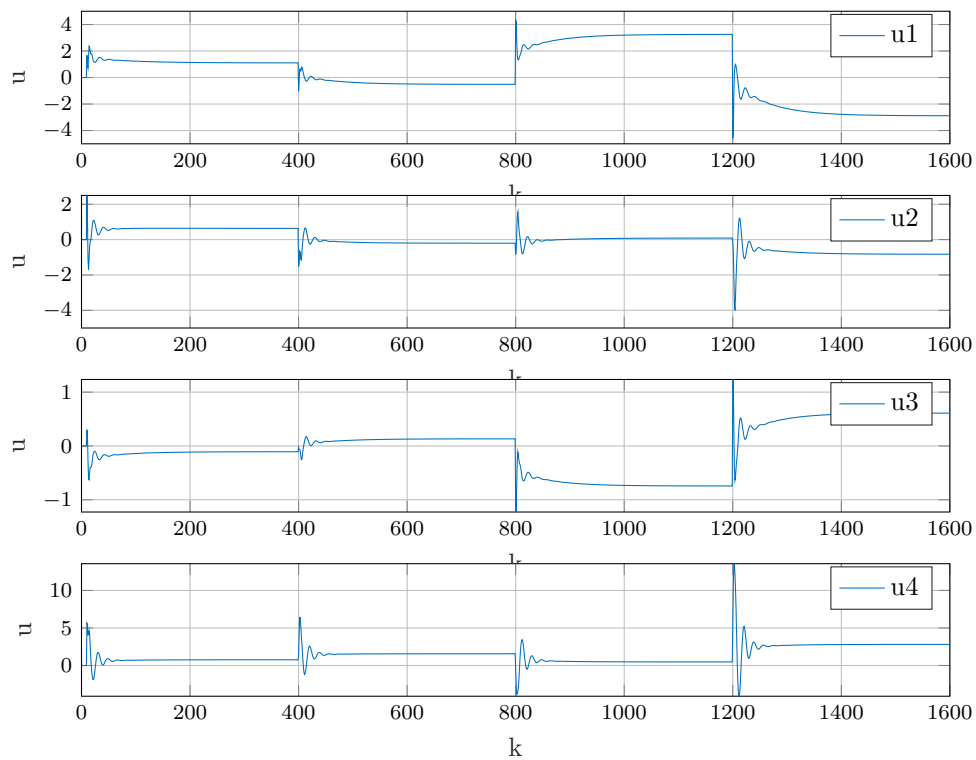
Rys. 1.16. projekt-zadanie4-DMC-DMC1-y-projzadanie4DMC1y.tex



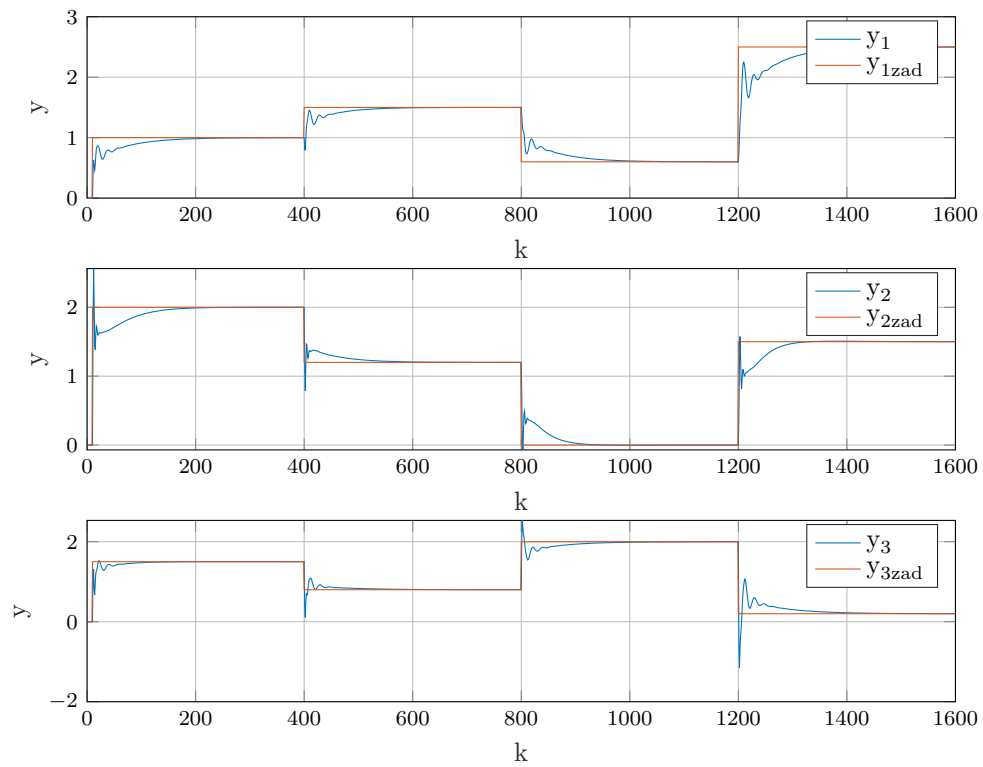
Rys. 1.17. projekt-zadanie4-DMC-DMC2-u-projzadanie4DMC2u.tex



Rys. 1.18. projekt-zadanie4-DMC-DMC2-y-projzadanie4DMC2y.tex



Rys. 1.19. projekt-zadanie4-DMC-DMCBEST-u-projzadanie4DMCBESTu.tex

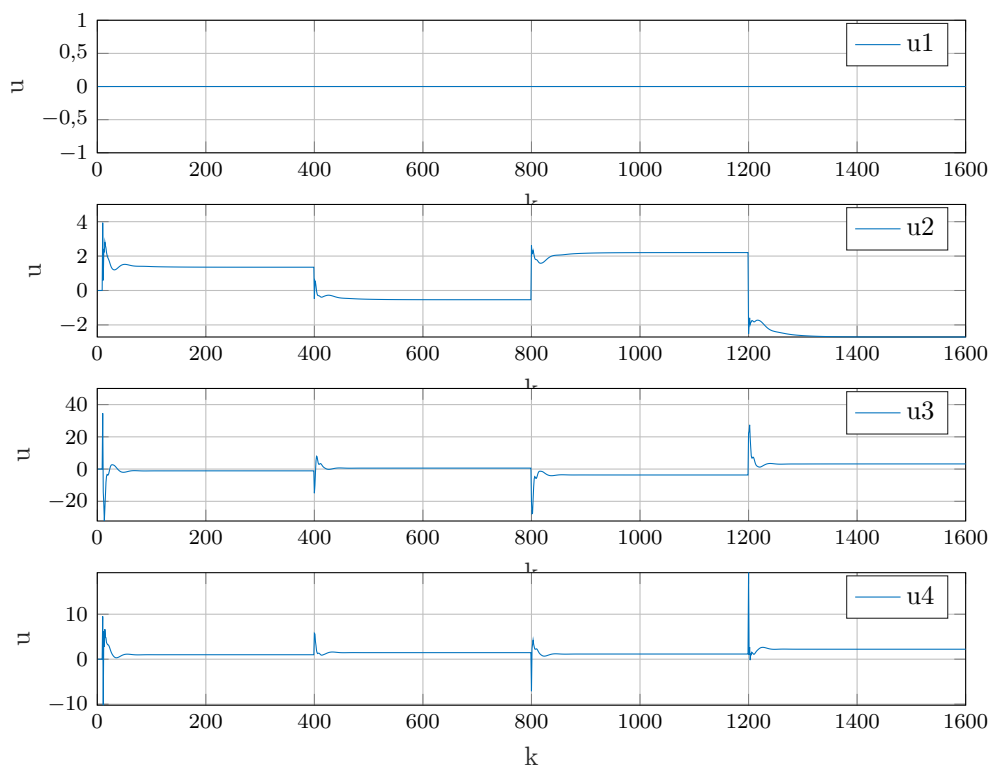


Rys. 1.20. projekt-zadanie4-DMC-DMCBEST-y-projzadanie4DMCBESTy.tex

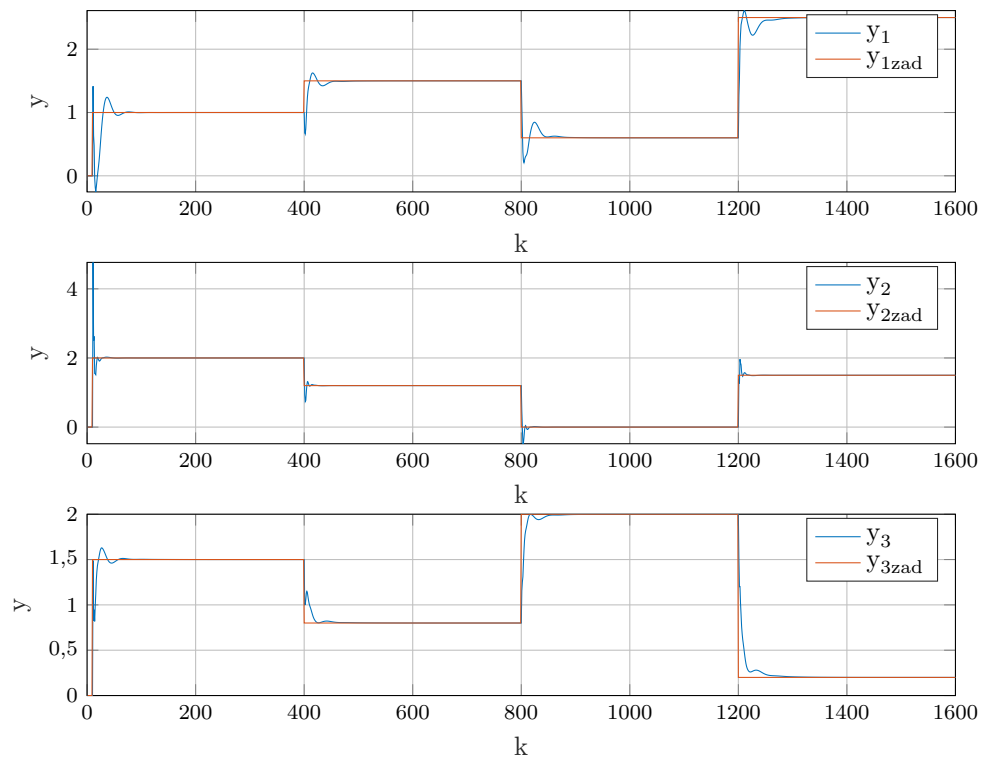
1.5. Optymalizacja parametrów regulatorów PID i DMC

Dla zaproponowanej trajektorii zmian sygnału zadanego dobrać nastawy regulatora PID i parametry algorytmu DMC (u_1 , u_2 , u_3 , λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_4 , natomiast horyzonty D , N , N_u przyjąć stałe) w wyniku optymalizacji wskaźnika jakości regulacji E . Zamieścić wyniki symulacji.

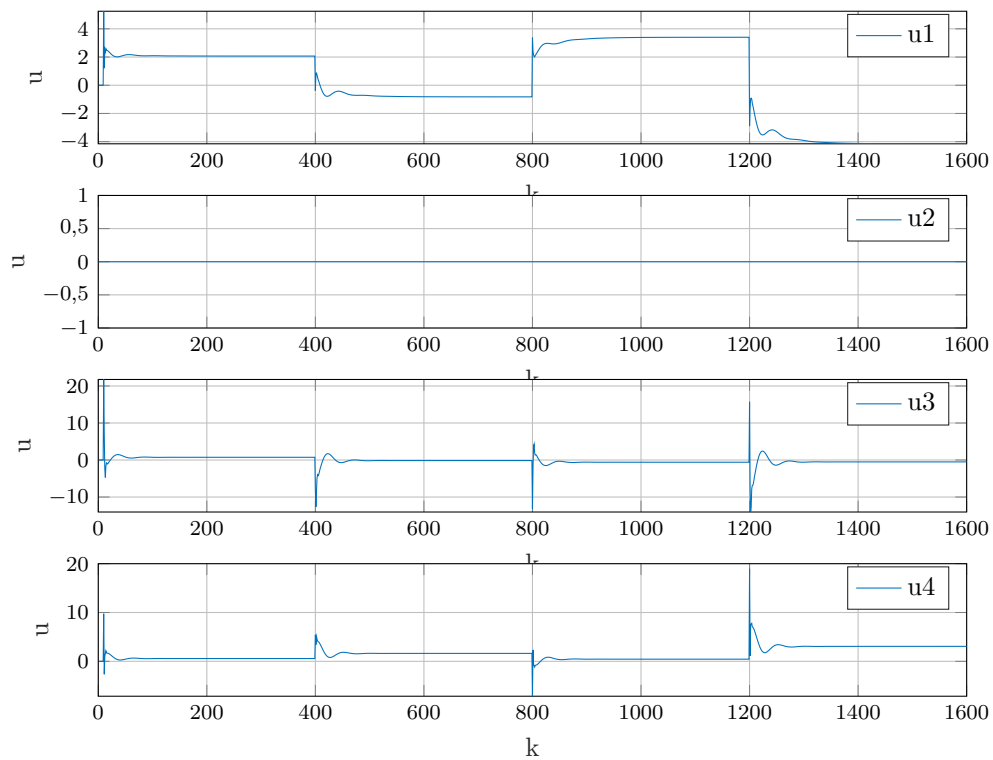
1.5.1. Optymalizacja PID



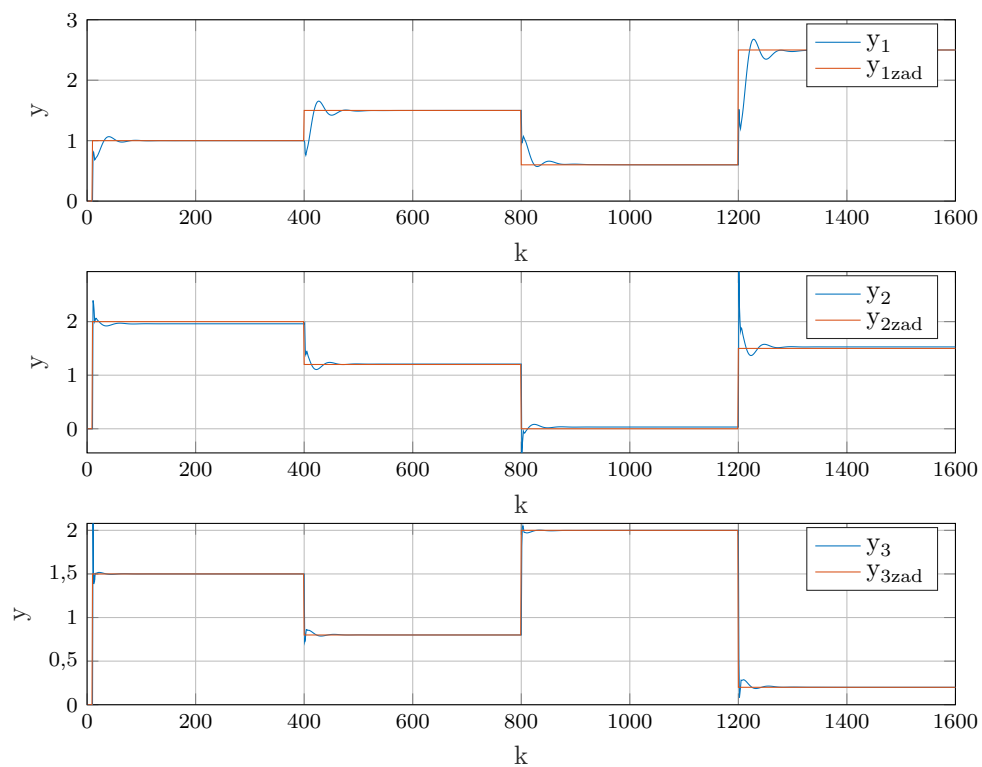
Rys. 1.21. projekt-Zadanie5-PID-PIDbezu1-u-projzadanie5PIDbezu1u.tex



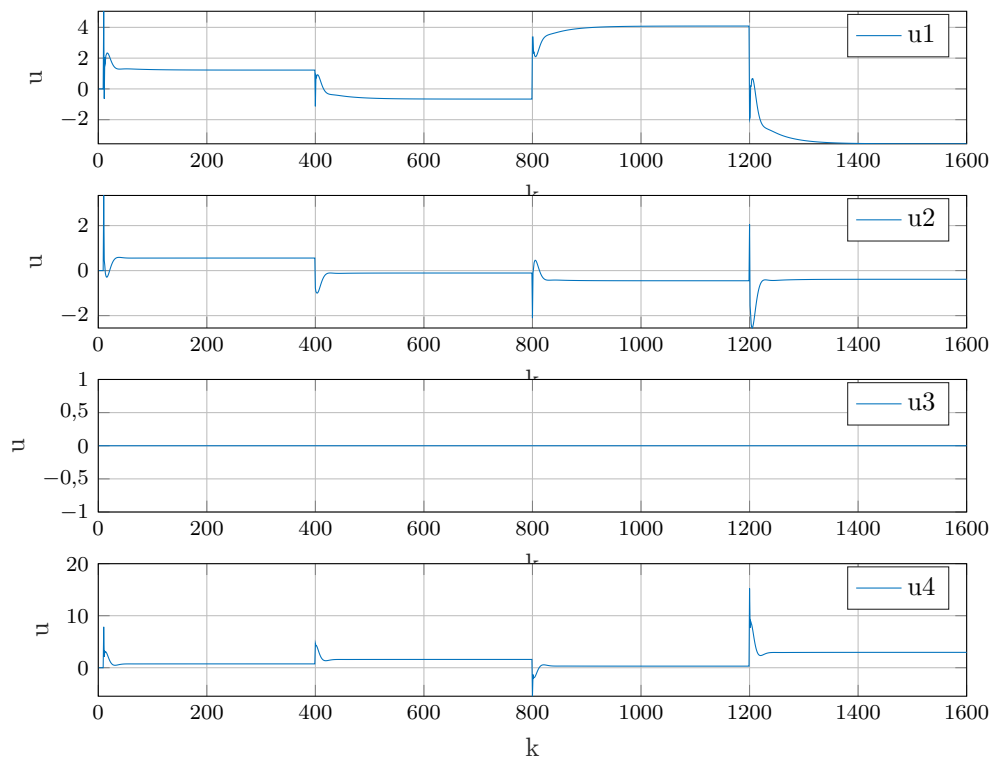
Rys. 1.22. projekt-Zadanie5-PID-PIDbezu1-y-projzadanie5PIDbezu1y.tex



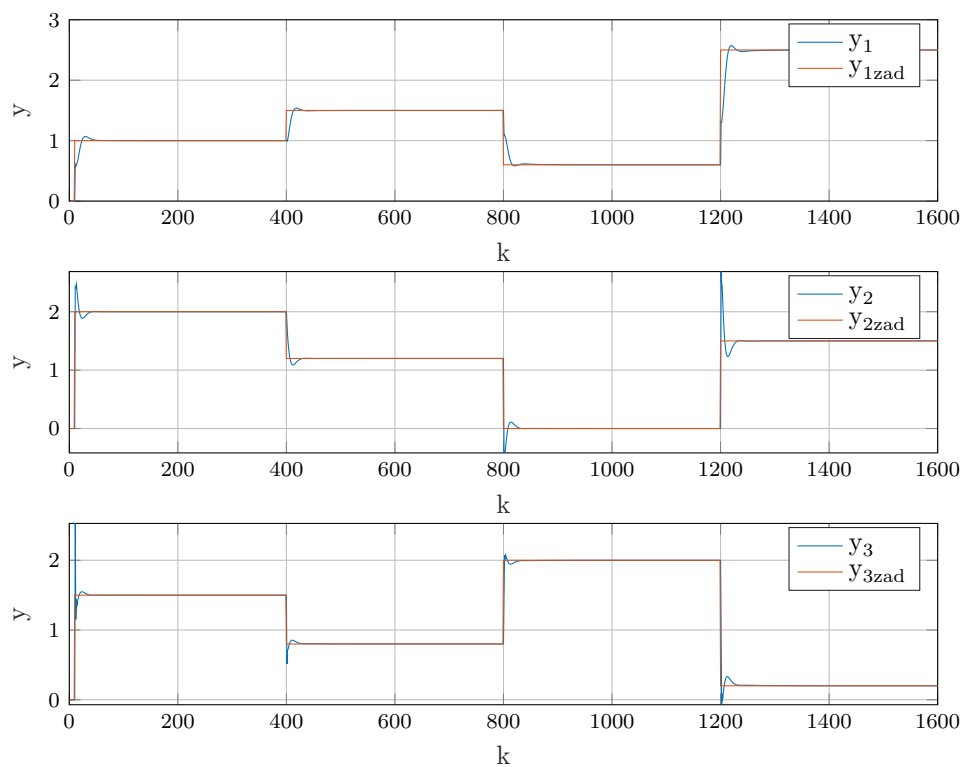
Rys. 1.23. projekt-Zadanie5-PID-PIDbezu2-u-projzadanie5PIDbezu2u.tex



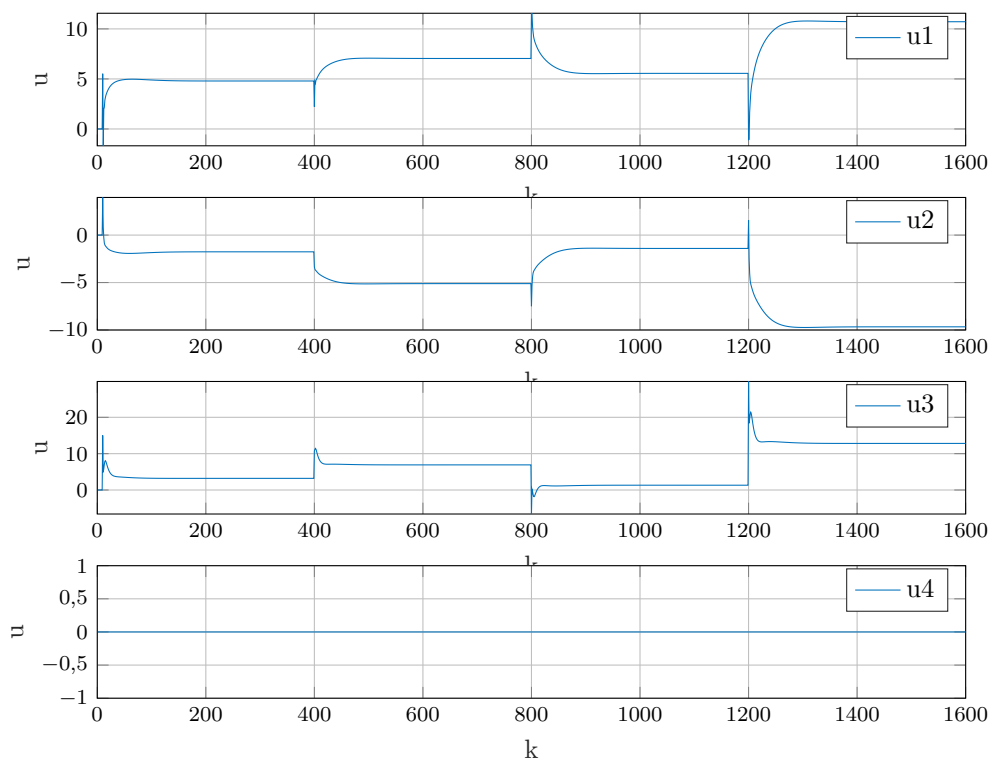
Rys. 1.24. projekt-Zadanie5-PID-PIDbezu2-y-projzadanie5PIDbezu2y.tex



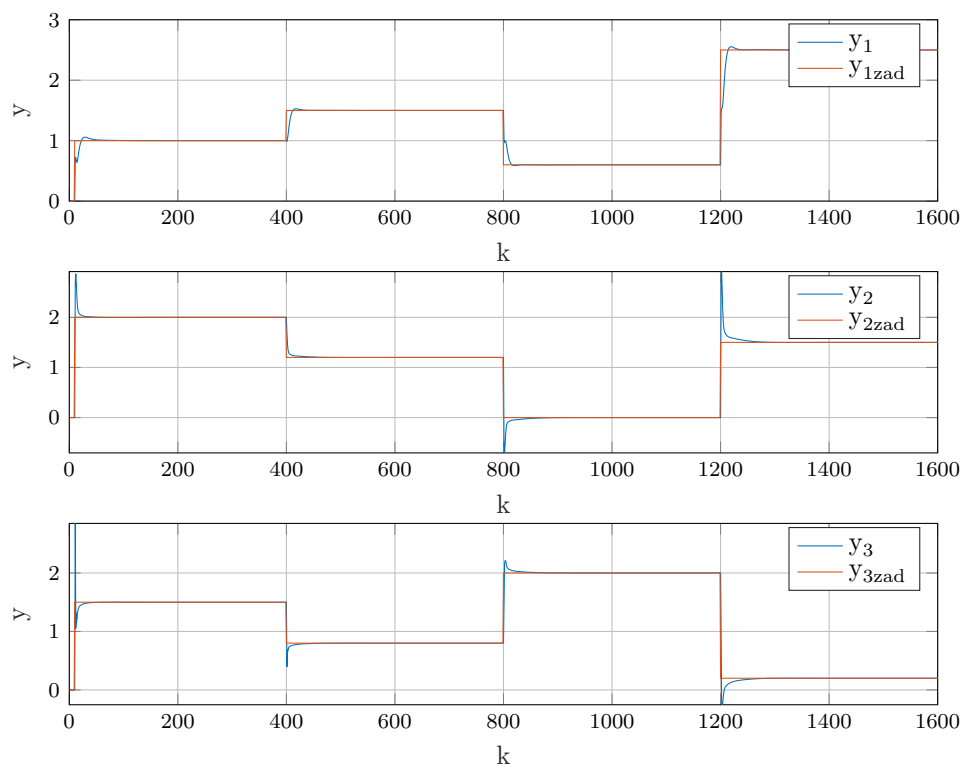
Rys. 1.25. projekt-Zadanie5-PID-PIDbezu3-u-projzadanie5PIDbezu3u.tex



Rys. 1.26. projekt-Zadanie5-PID-PIDbezu3-y-projzadanie5PIDbezu3y.tex

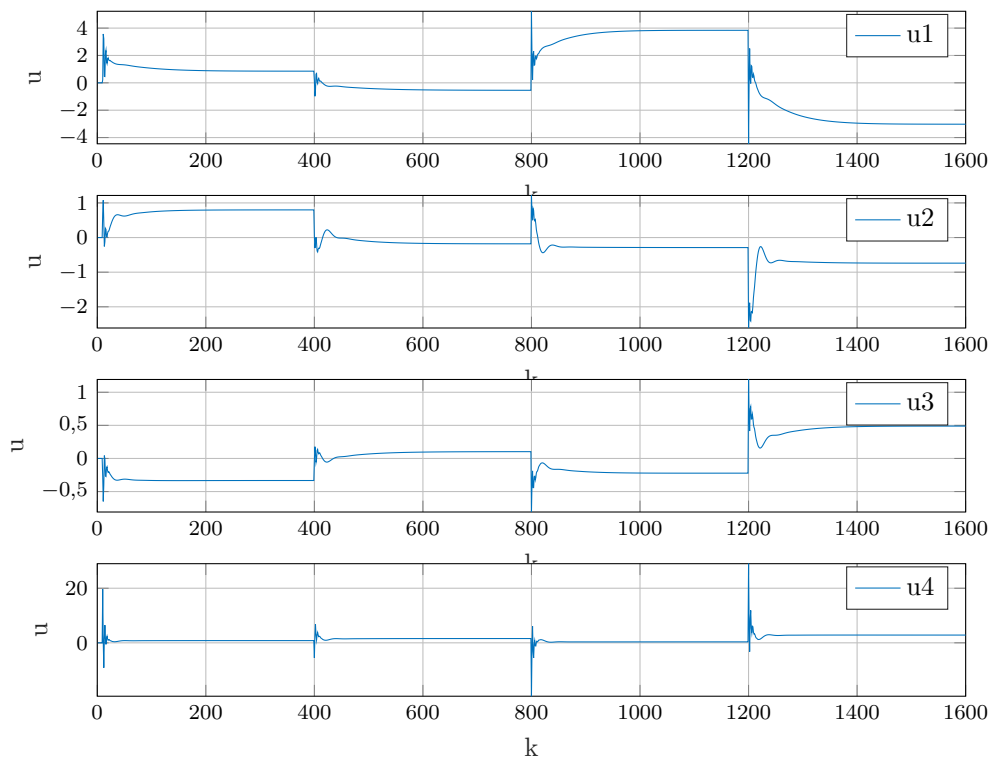


Rys. 1.27. projekt-Zadanie5-PID-PIDbezu4-u-projzadanie5PIDbezu4u.tex

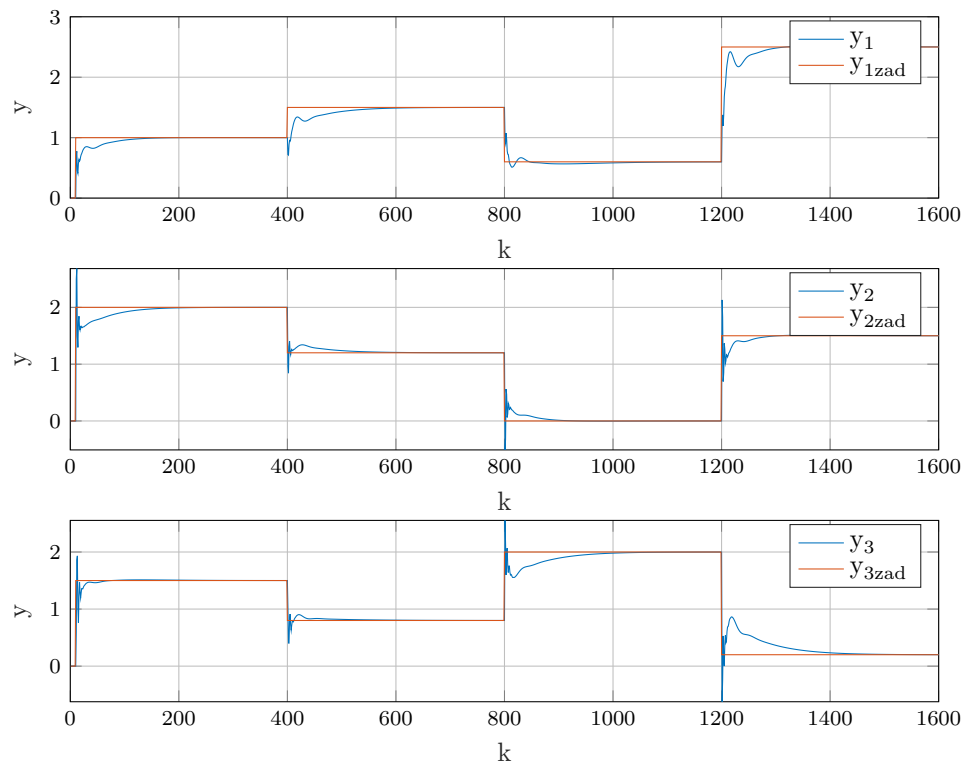


Rys. 1.28. projekt-Zadanie5-PID-PIDbezu4-y-projzadanie5PIDbezu4y.tex

1.5.2. Optymalizacja DMC



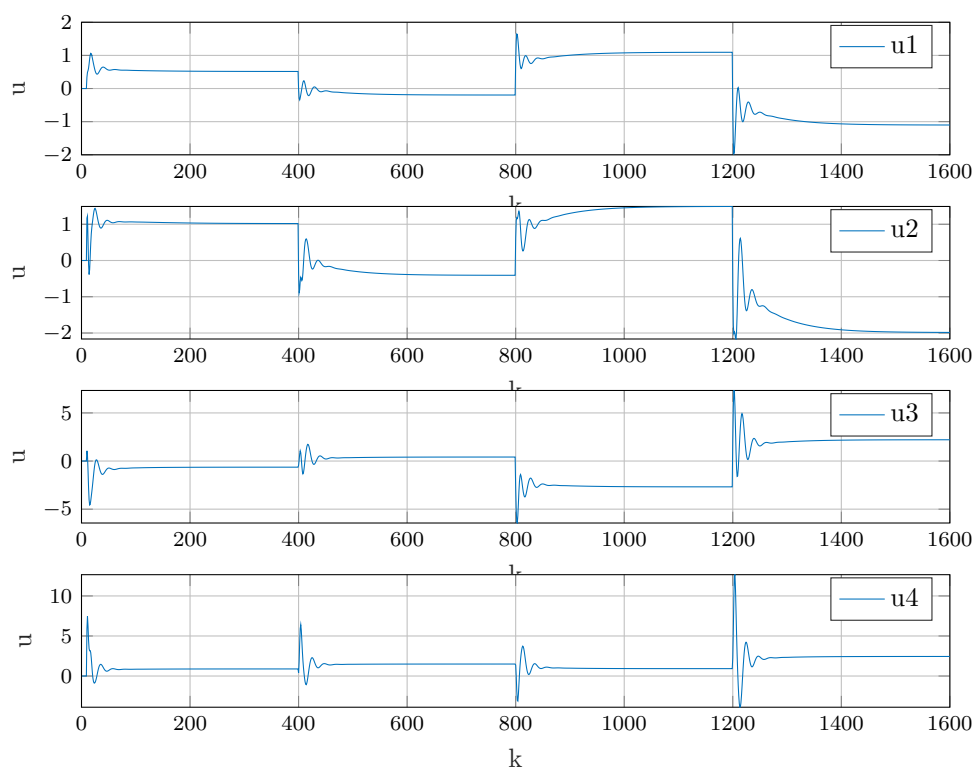
Rys. 1.29. projekt-Zadanie5-DMC-u-projzadanie5DMCu.tex



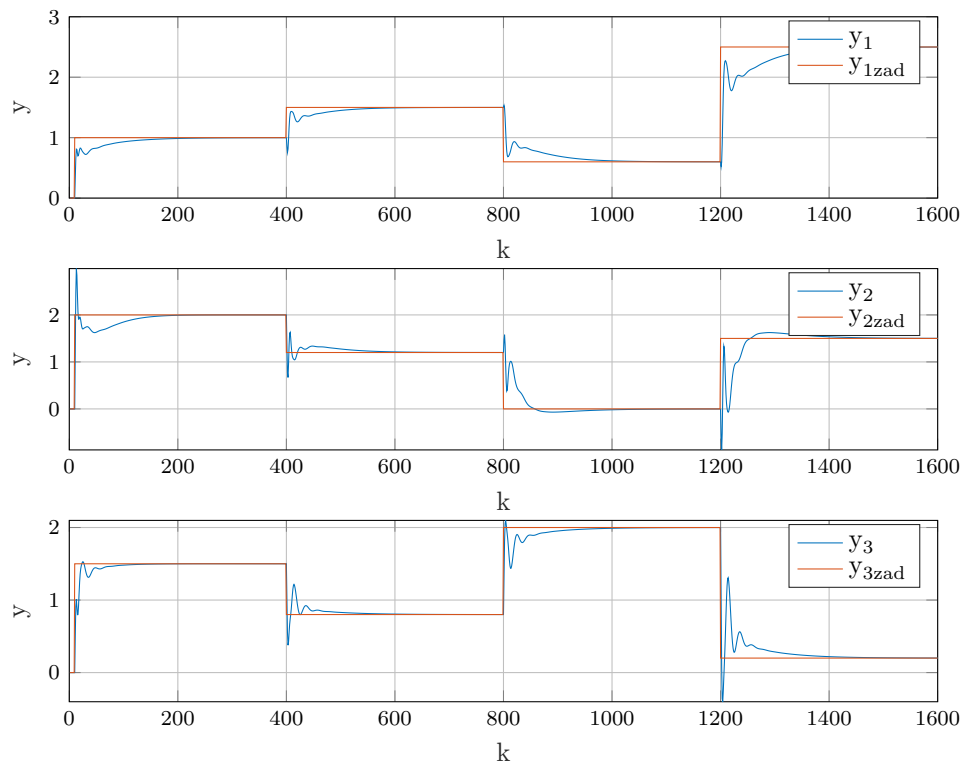
Rys. 1.30. projekt-Zadanie5-DMC-y-projzadanie5DMCy.tex

1.6. Implementacja algorytmu DMC w wersji klasycznej

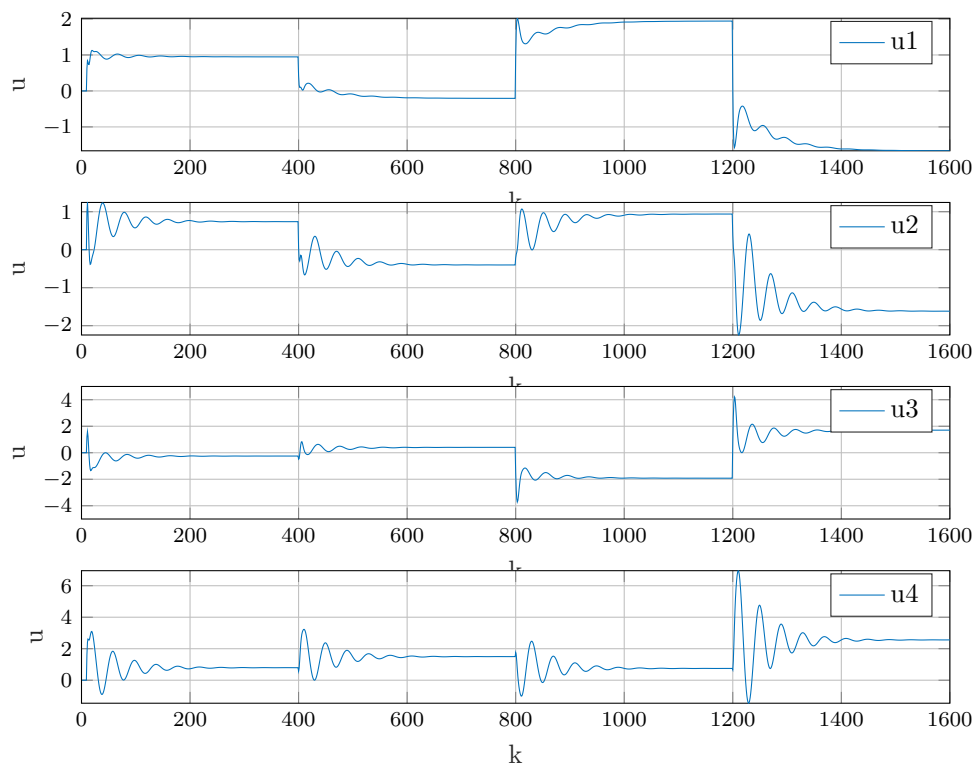
Zaimplementować również algorytm DMC w wersji klasycznej (tj. wyznaczający trajektorie sterowania na całym horyzoncie sterowania). Sprawdzić, czy na pewno otrzymane wyniki symulacji dla wybranego zestawu parametrów są takie same jak w wersji klasycznej.



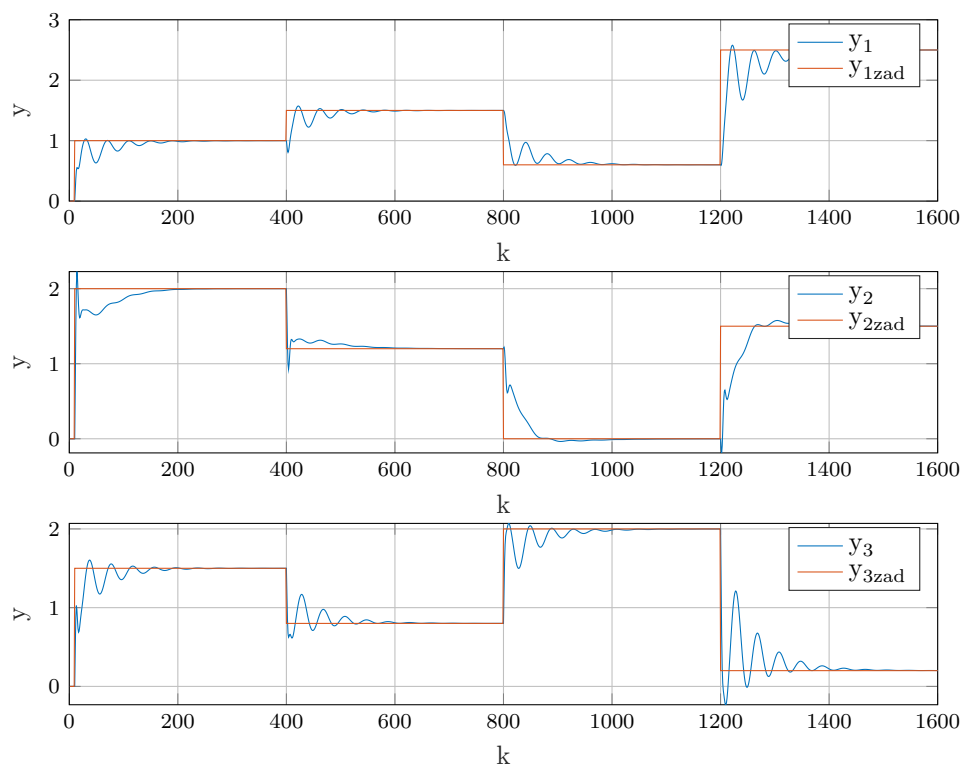
Rys. 1.31. projekt-Zadanie6-DMC-DMC1-u-projzadanie6DMC1u.tex



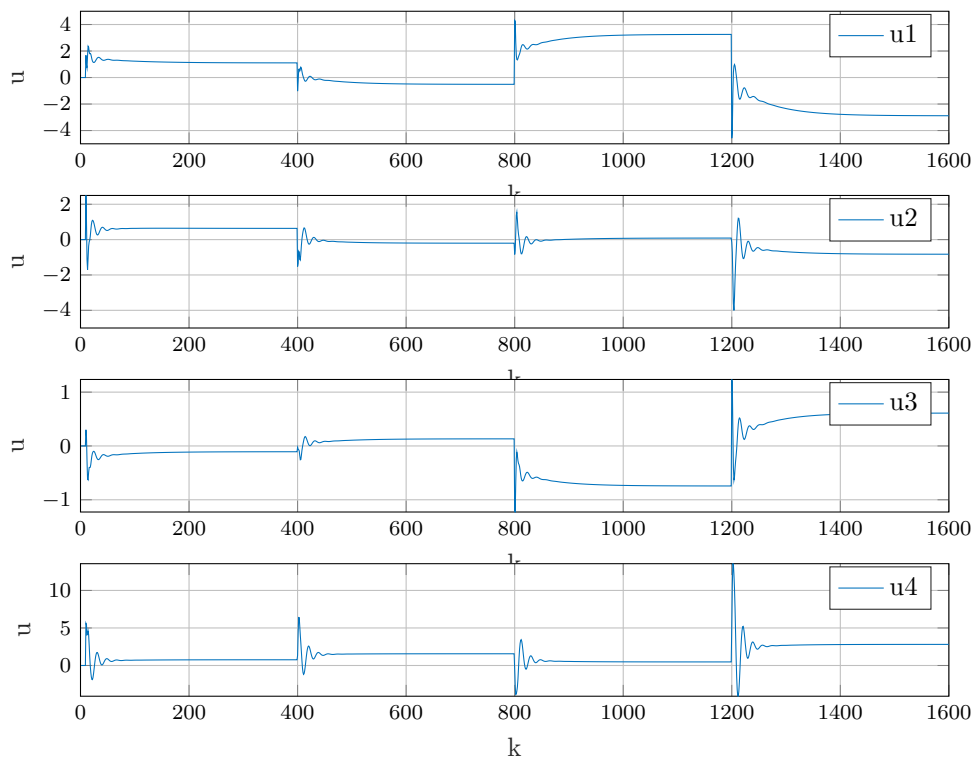
Rys. 1.32. projekt-Zadanie6-DMC-DMC1-y-projzadanie6DMC1y.tex



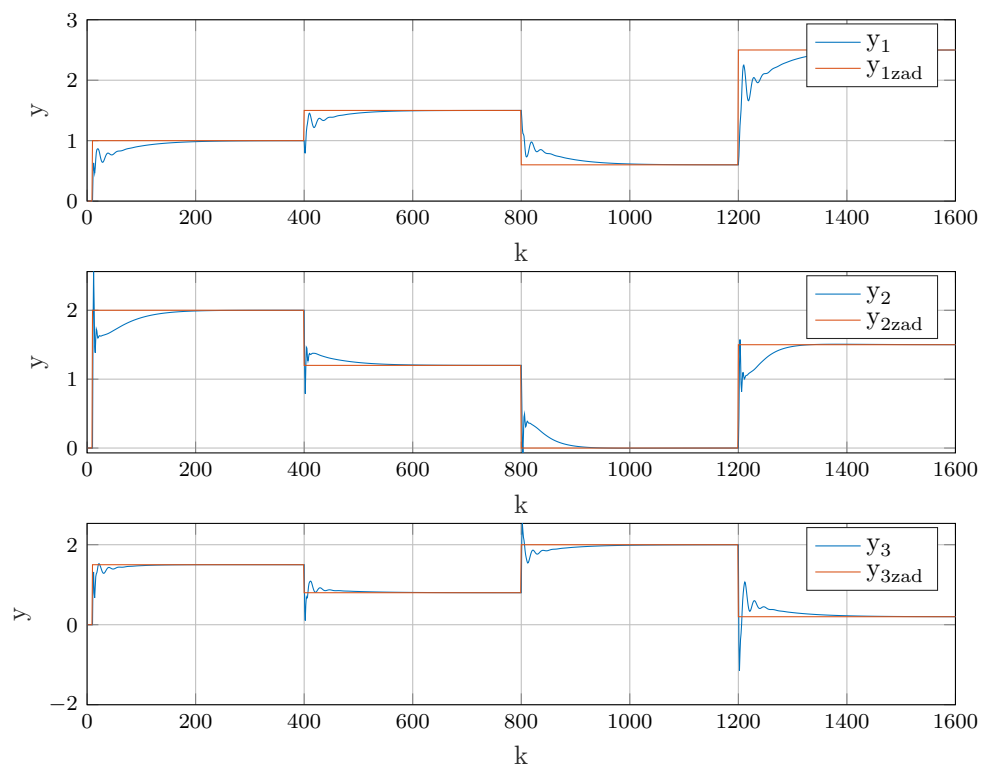
Rys. 1.33. projekt-Zadanie6-DMC-DMC2-u-projzadanie6DMC2u.tex



Rys. 1.34. projekt-Zadanie6-DMC-DMC2-y-projzadanie6DMC2y.tex



Rys. 1.35. projekt-Zadanie6-DMC-DMCBEST-u-projzadanie6DMCBESTu.tex



Rys. 1.36. projekt-Zadanie6-DMC-DMCBEST-y-projzadanie6DMCBESTy.tex

2. Laboratorium

2.1. Stanowisko grzejąco-chłodzące

2.1.1. Sprawdzenie poprawności punktu pracy

Sygnały sterujące ustawione zostały na wskazane w poleceniu wartości: $G1 = 32$, $G2 = 37$, $W1=W2=50$. Sprawdzona została możliwość sterowania i pomiaru w komunikacji ze stanowiskiem. Wartości temperatur w punkcie pracy wyniosły: $T1 = 36,3$ $T2 = 38,3$

2.1.2. Zabezpieczenia stanowiska

W celu zabezpieczenia stanowiska przed uszkodzeniem na sterowniku został zaimplementowany mechanizm, który przy przekroczeniu temperatury 150°C wyłącza grzałkę sąsiadującą z czujnikiem, który zmierzył niebezpieczną temperaturę. Implementacja takiego mechanizmu jest prosta, ale niezwykle istotna w tego typu procesach. Zadeklarowano wartość krytyczną temperatury oraz zaimplementowano funkcję sprawdzającą czy wskazanie czujnika nie przekracza tej wartości. W przypadku jej przekroczenia grzałka sąsiadująca z danym czujnikiem zostaje wyłączona, sterowanie G zostaje ustawione na 0.

2.1.3. Implementacja dwupętlowego regulatora PID

Na sterowniku zaimplementowano uwzględniając ograniczenia dwupętlowy regulator PID. Metodą eksperymentalną dobrano nastawy regulatora. Nastawy: Implementacja : Wykresy:

2.1.4. Implementacja regulatora DMC 2x2

Na sterowniku zaimplementowano uwzględniając ograniczenia regulator DMC 2x2 w wersji oszczędnej obliczeniowo(analitycznej). Pozyskano odpowiedzi skokowe obiektu. Dobierając parametry regulatora uwzględniono: Liczbę wykorzystanych rejestrów pamięci, czas obliczeń pojedynczej iteracji algorytmu oraz jakość regulacji Implementacja Wykresy

2.1.5. Panel operatora

Panel operatora Wartości mierzone, zadane oraz sterowanie

2.1.6. Automat stanów

Zaimplementować automat stanów, na podstawie którego modyfikowane będą wartości zadane. Opisać implementację.

2.2. Stanowisko INTECO

2.2.1. Konfiguracja sterownika stanowiska Inteco

Skonfigurować sterownik w celu obsługi stanowiska Inteco. Opisać zastosowaną konfigurację.

2.2.2. Zabezpieczenia stanowiska

Zaimplementować na sterowniku mechanizm zabezpieczający przed uszkodzeniem stanowiska. Omówić zastosowane podejście.

2.2.3. Charakterystyka statyczna

Spróbować wyznaczyć charakterystykę statyczną. Omówić wyniki.

2.2.4. Dostosowanie i dobieranie parametrów regulatorów PID

Dostosować implementację regulatora PID (wielopetlowego) do współpracy ze stanowiskiem Inteco. Regulator(y) dostroić. Omówić proces dobierania nastaw regulatorów. Uwzględnić ograniczenia jeśli istnieją. Zamieścić wykresy w sprawozdaniu.

2.2.5. Automat stanów

Dostosować automat stanów, na podstawie którego modyfikowane będą wartości zadane.

2.2.6. Wizualizacja procesu

Przygotować wizualizację procesu: — jego szczegółowa reprezentacja graficzna, — wykres sygnałów wyjściowych, wartości zadanych oraz sterowania, — graf przejść automatu stanów.

2.3. Porównanie regulatorów PID

Porównać działanie własnej implementacji regulatora PID z działaniem wbudowanej w sterownik funkcji PID. Sprawdzić wpływ ograniczeń na działanie obu wersji regulatora. Omówić parametry zastosowane w funkcji PID.