

Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych  
Politechnika Warszawska

Projektowanie układów sterowania  
(projekt grupowy)

Sprawozdanie z projektu i ćwiczenia laboratoryjnego  
nr 3, zadanie nr 10

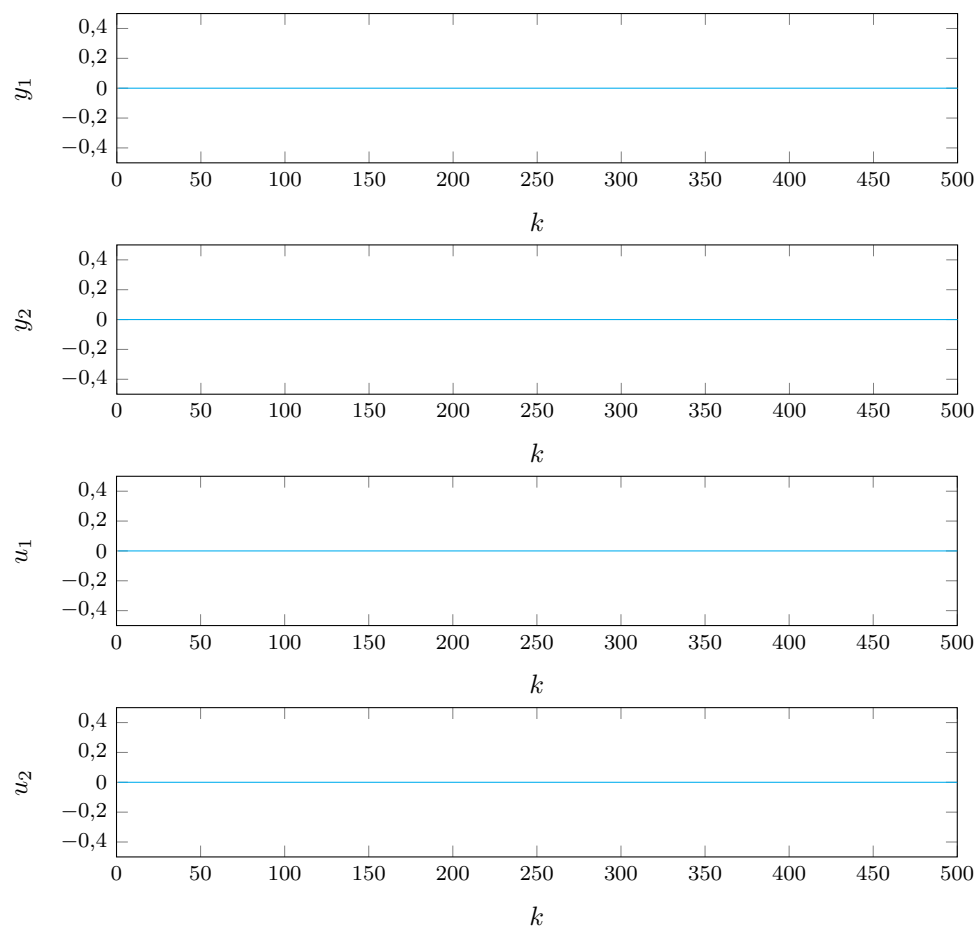
Bartłomiej Boczek, Aleksander Piotrowski, Łukasz Śmigielski

Warszawa, 31 marca 2017

## Spis treści

1. Punkt 1	2
2. Punkt 2	3
3. Punkt 3	10
4. Punkt 4	12
5. Punkt 5	13
6. Punkt 6	19
7. Punkt 7	35

## 1. Punkt 1

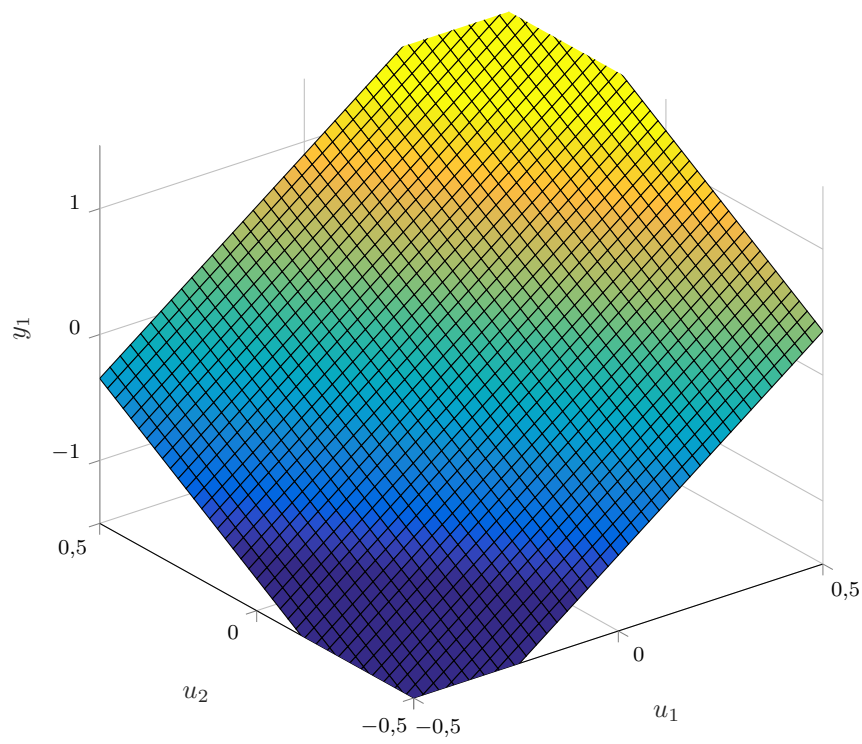
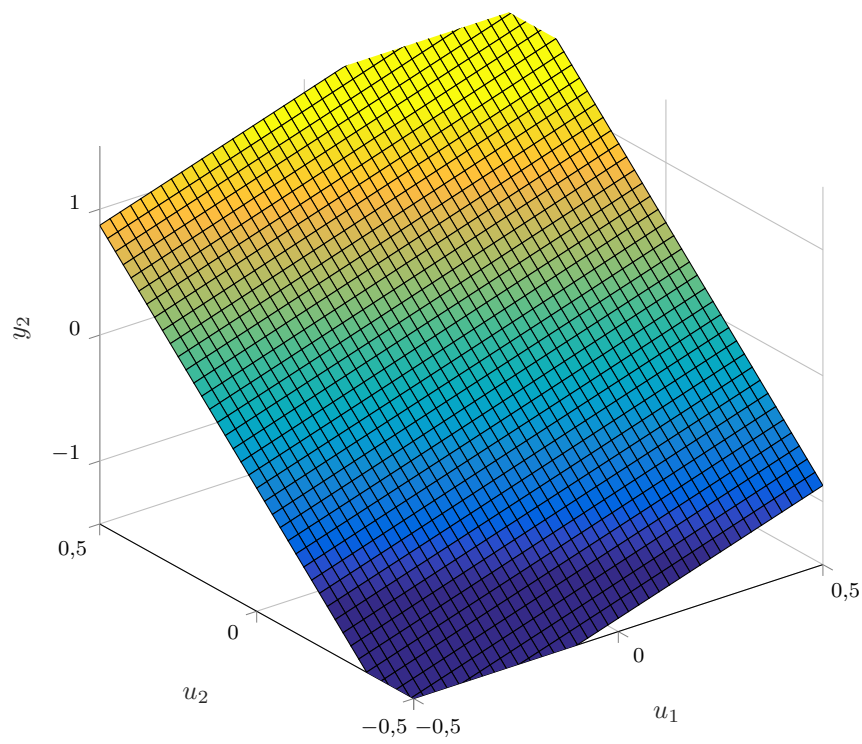


Rys. 1.1. Sygnały wejściowe i wyjściowe w punkcie pracy

## 2. Punkt 2

Poniżej zostały przedstawione przebiegi sygnałów dla kilku kombinacji skoków sygnału sterującego na wejściach 1 i 2.

Możemy zaobserwować, że obiekt ma właściwości statyczne, o czym świadczą poniższe charakterystyki statyczne:

Rys. 2.1. Charakterystyka statyczna procesu  $y_1(u_1, u_2)$ Rys. 2.2. Charakterystyka statyczna procesu  $y_2(u_1, u_2)$

Ponieważ obiekt ma właściwości statyczne możemy obliczyć wzmocnienia statyczne dla każdego z torów wejście-wyście:

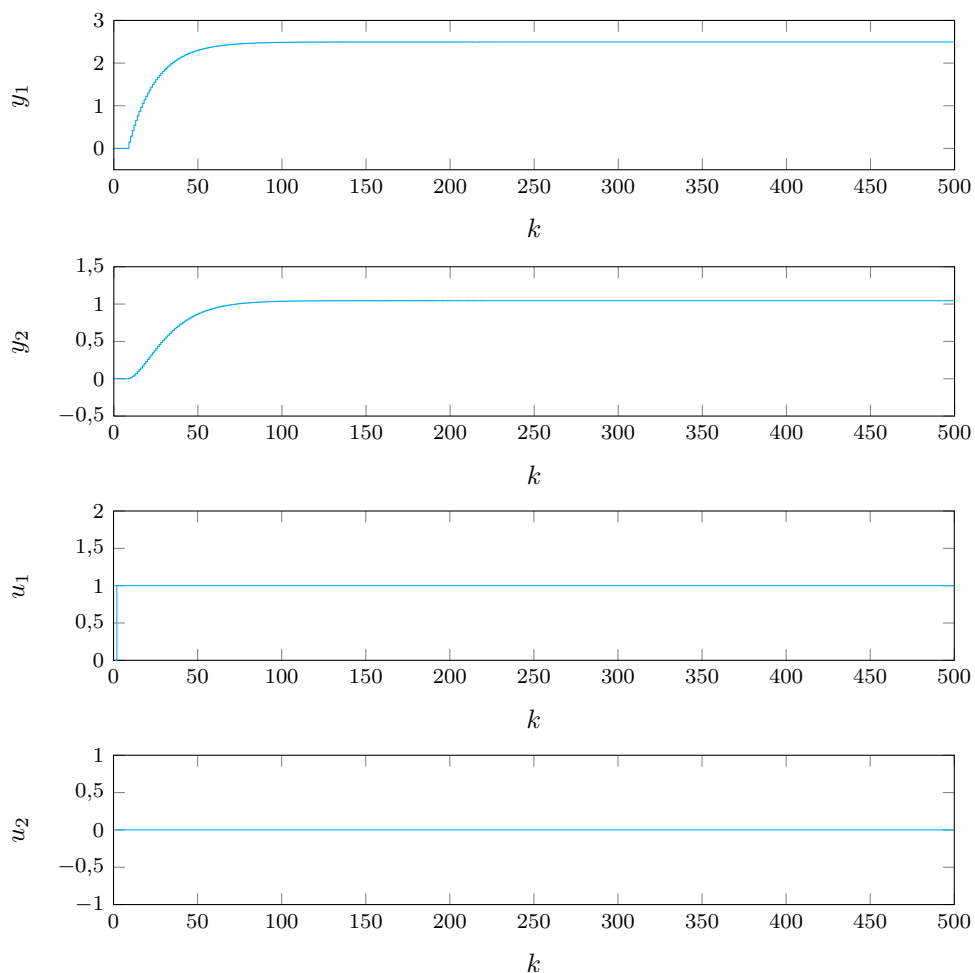
$$K_{statY1-U1} = 2,4947$$

$$K_{statY1-U2} = 1,7970$$

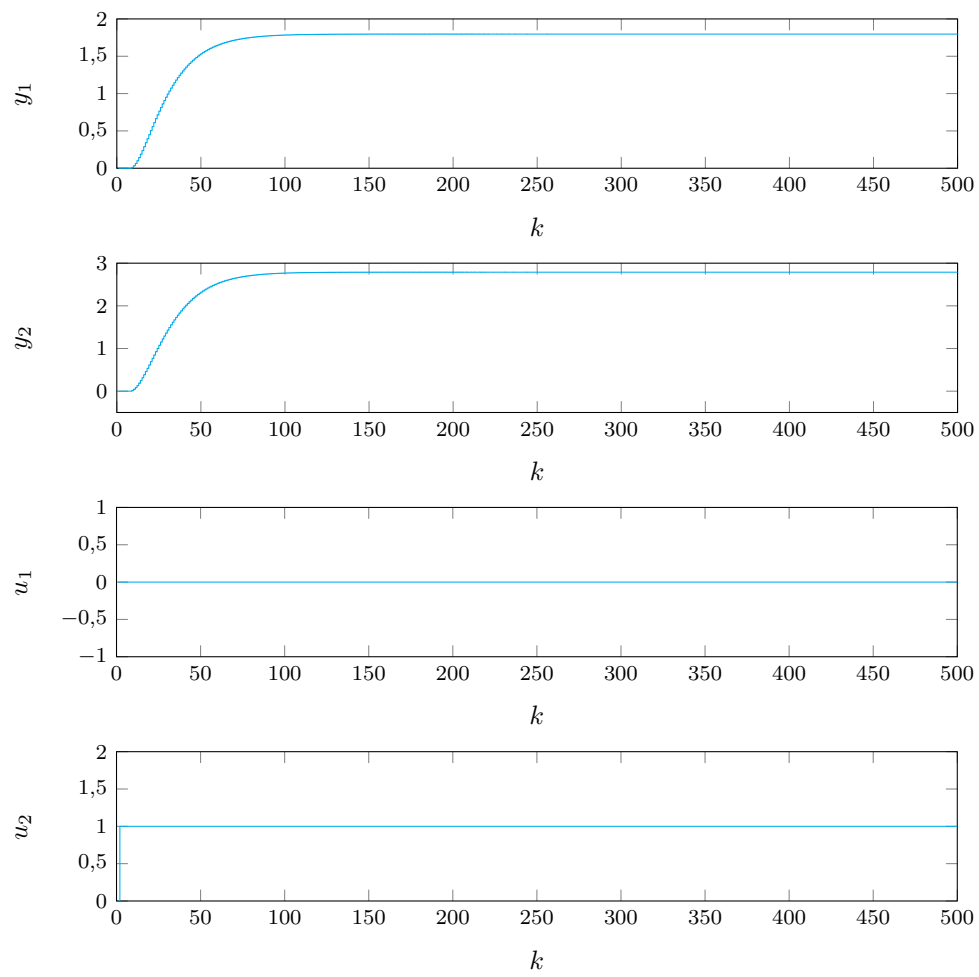
$$K_{statY2-U1} = 2,7886$$

$$K_{statY2-U2} = 2,7886$$

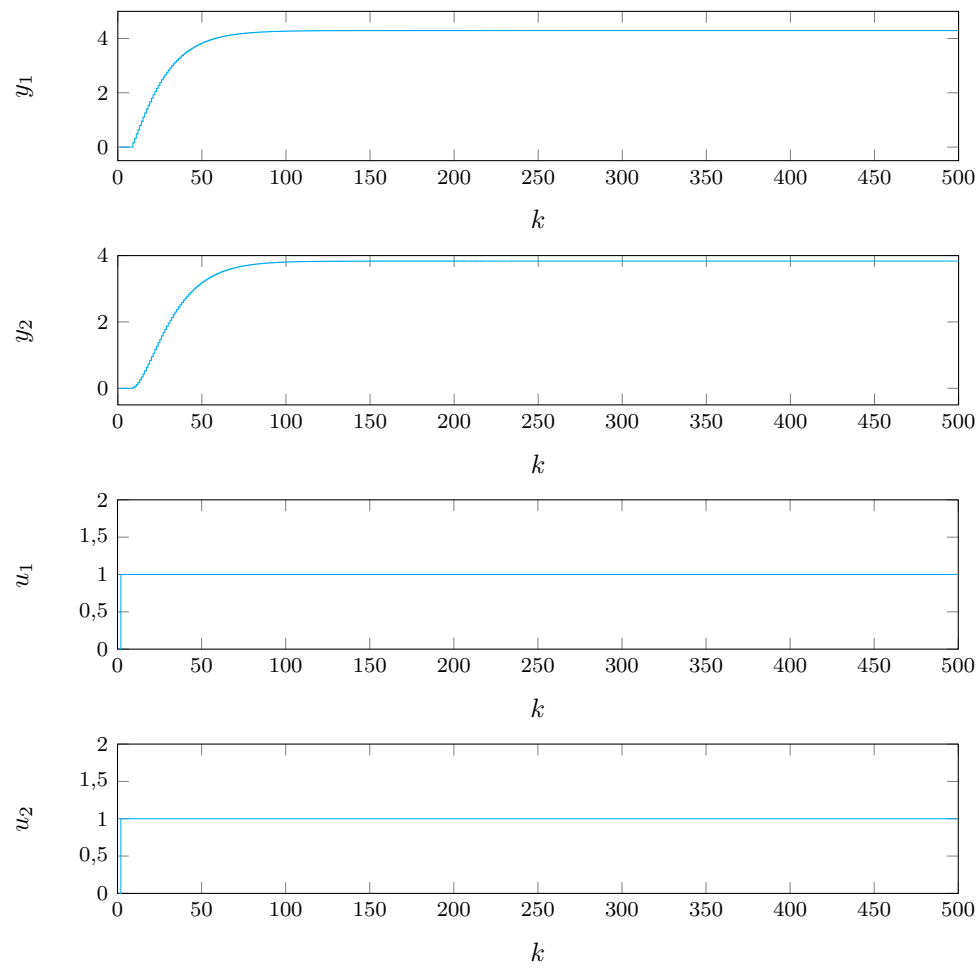
Właściwości dynamiczne obiektu to opóźnienie (wynoszące  $T_s = 8$ ), a także stabilność, którą możemy zaobserwować poprzez to, że gdy obiekt na obiekt działają stałe sygnały sterujące, po pewnym czasie stabilizują się jego wyjścia.



Rys. 2.3. Odpowiedź skokowa procesu wraz z sygnałami sterującymi przypadek 1

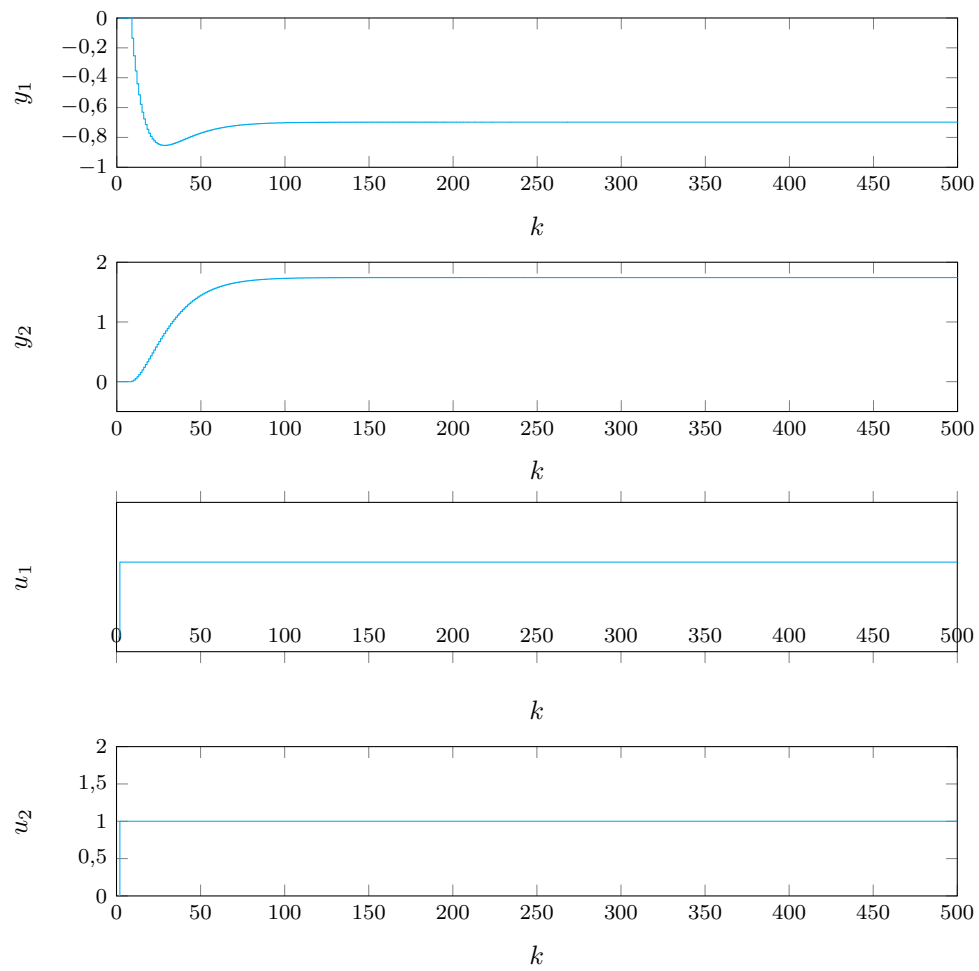


Rys. 2.4. Odpowiedź skokowa procesu wraz z sygnałami sterującymi przypadek 2

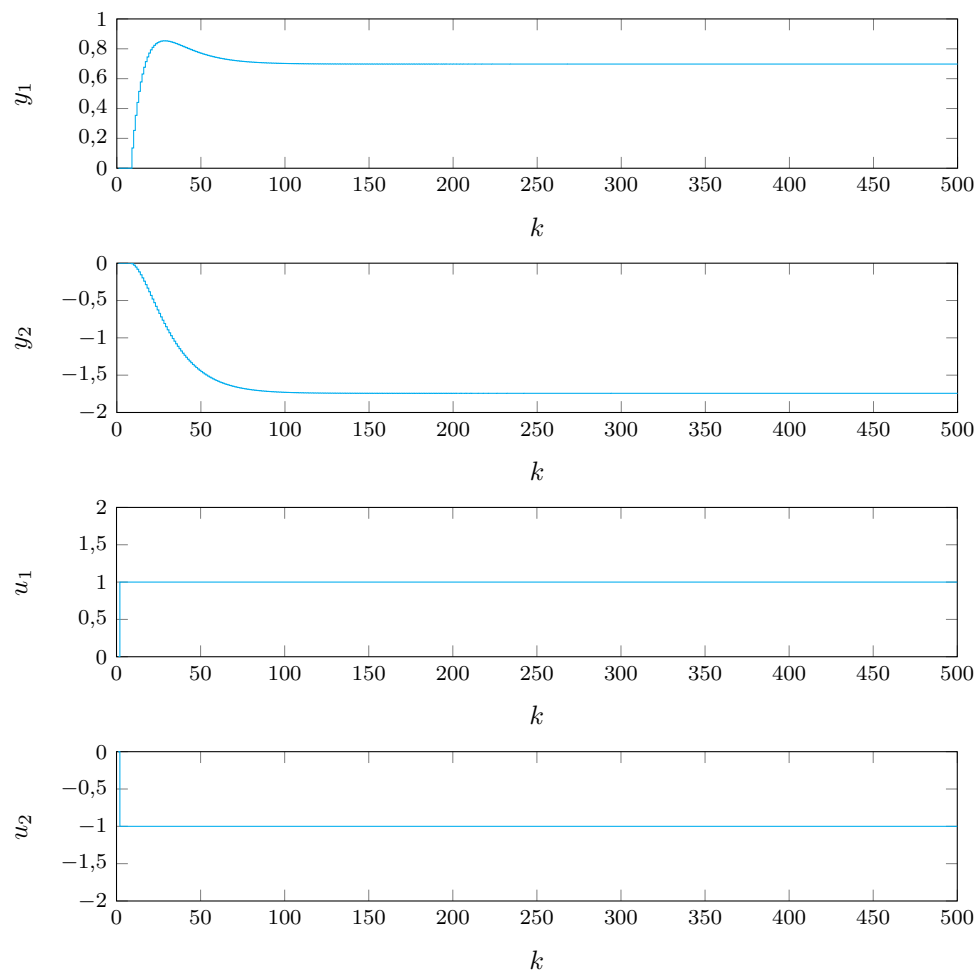


Rys. 2.5. Odpowiedź skokowa procesu wraz z sygnałami sterującymi przypadek 3





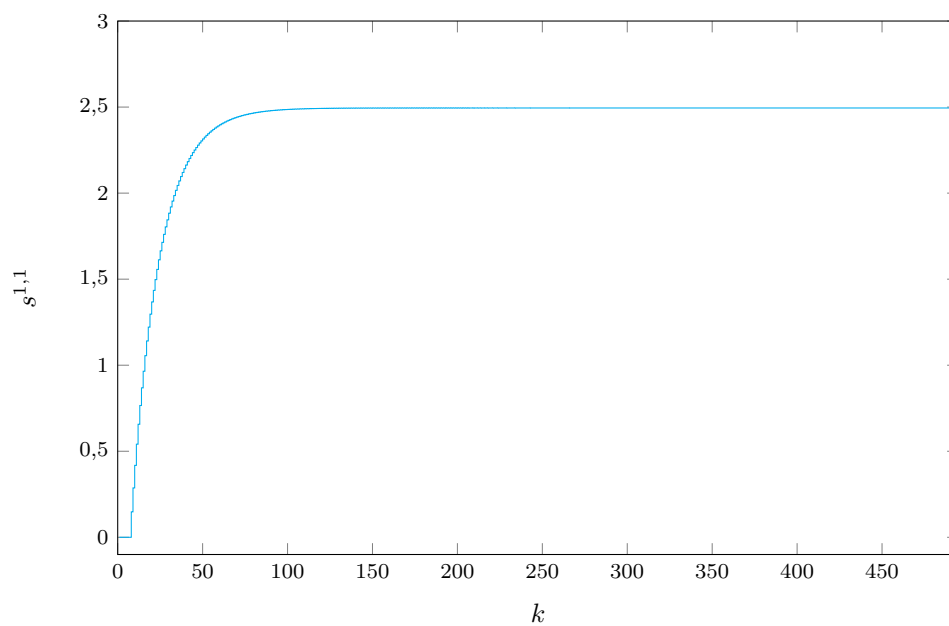
Rys. 2.6. Odpowiedź skokowa procesu wraz z sygnałami sterującymi przypadek 4



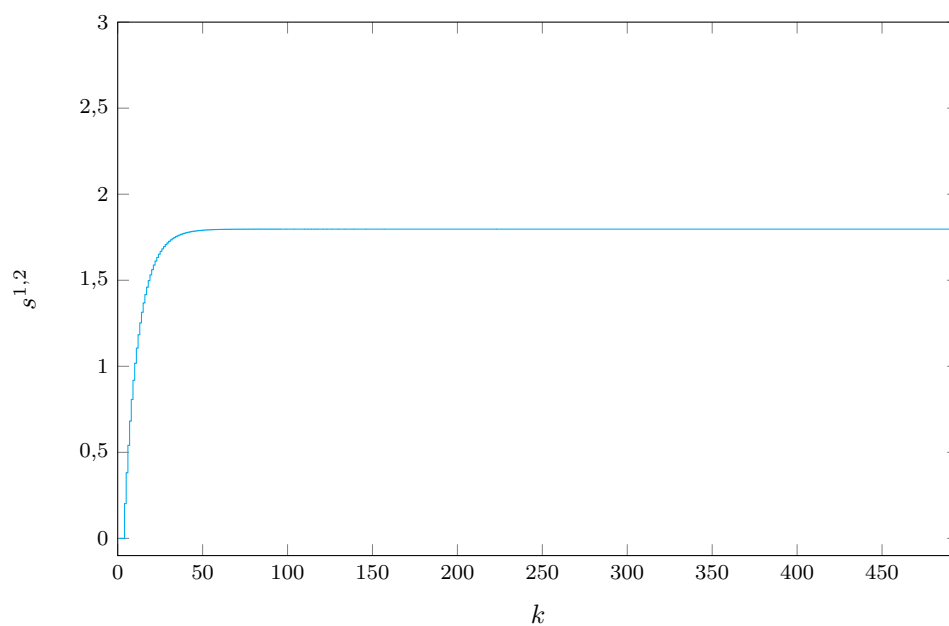
Rys. 2.7. Odpowiedź skokowa procesu wraz z sygnałami sterującymi przypadek 5

### 3. Punkt 3

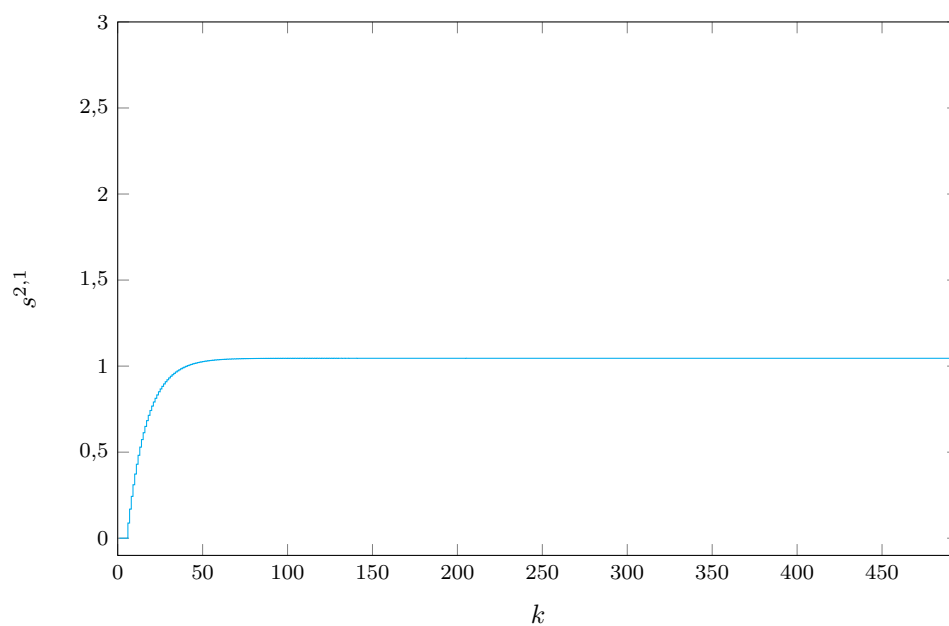
Dla lepszej czytelności wykresów skok jednostowy sterowania następuje w chwili  $k=6$ , co można zaobserwować na poniższych przebiegach.



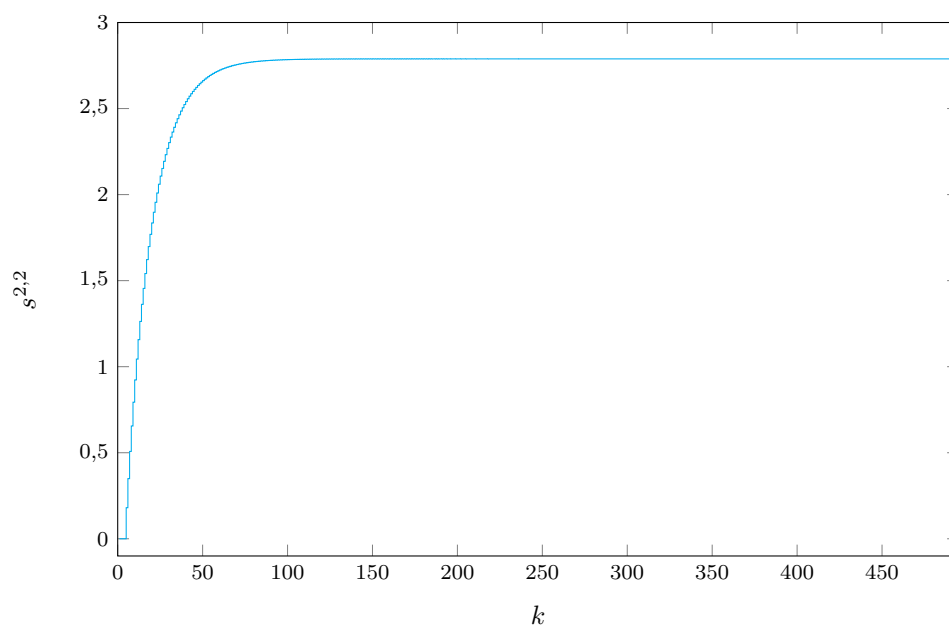
Rys. 3.1. Odpowiedź skokowa wyjścia 1 przy skoku wejścia 1



Rys. 3.2. Odpowiedź skokowa wyjścia 1 przy skoku wejścia 2



Rys. 3.3. Odpowiedź skokowa wyjścia 2 przy skoku wejścia 1



Rys. 3.4. Odpowiedź skokowa wyjścia 2 przy skoku wejścia 2

#### 4. Punkt 4

## 5. Punkt 5

PID:

Wersja 1 (V1): uchyb pierwszego wyjścia oddziałuje na pierwszy sygnał sterujący, uchyb drugiego wyjścia oddziałuje na drugi sygnał sterujący

Nastawy dobrane za pomocą optymalizatora ga:

$K1 = 1,228\,038$ ;  $Ti1 = 11,602\,531$ ;  $Td1 = 1,166\,250$ ;  $Ts = 0,5$ ;  
 $K2 = 0,851\,927$ ;  $Ti2 = 9,777\,445$ ;  $Td2 = 0,842\,038$ ;  $Ts = 0,5$ ;

Na załączonych przebiegach widać, że wyjścia obiektu bardzo szybko się stabilizują. Błąd uzyskany podczas regulacji z powyższymi nastawami dla wartości zadanej przedstawionej na wykresach.

$E = 97,4793$

Wersja 2 (V2): uchyb pierwszego wyjścia oddziałuje na drugi sygnał sterujący, uchyb drugiego wyjścia oddziałuje na pierwszy sygnał sterujący

Nastawy dobrane za pomocą ga:

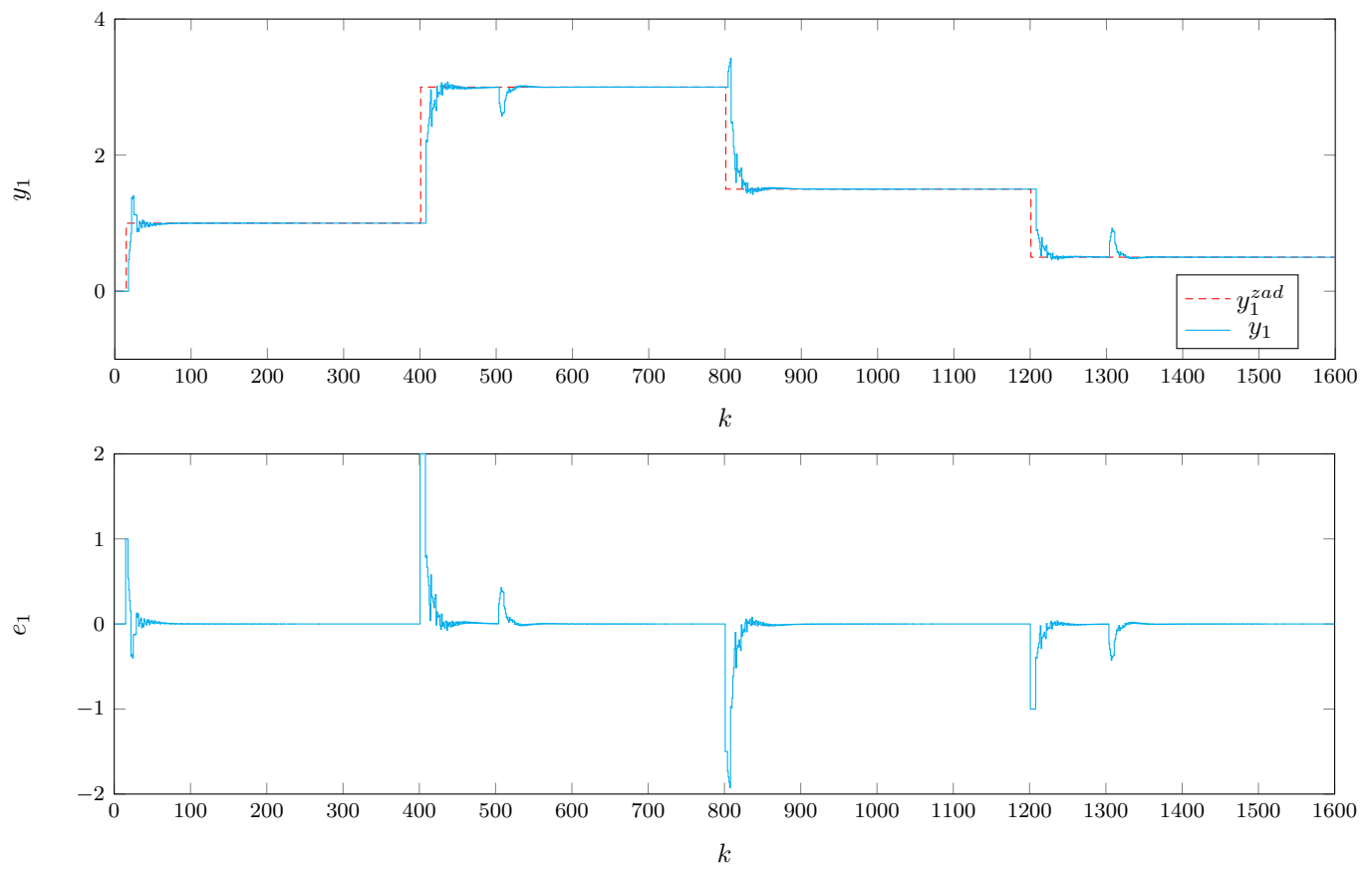
$K1=0.110346$ ;  $Ti1=7.651625$ ;  $Td1=1.748742$ ;  $Ts=0.5$ ;  
 $K2=0.050791$ ;  $Ti2=4.007075$ ;  $Td2=2.908946$ ;  $Ts=0.5$ ;

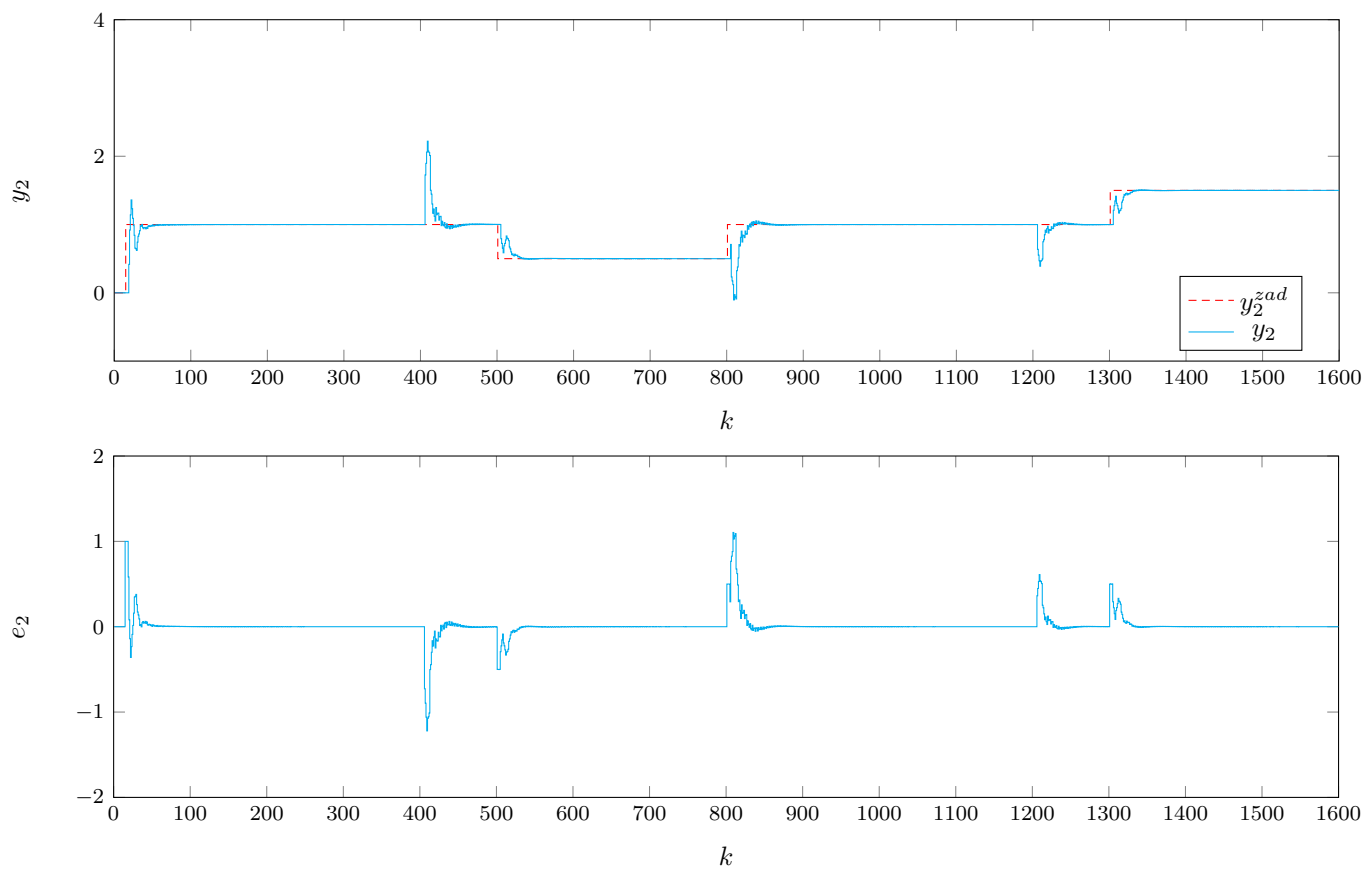
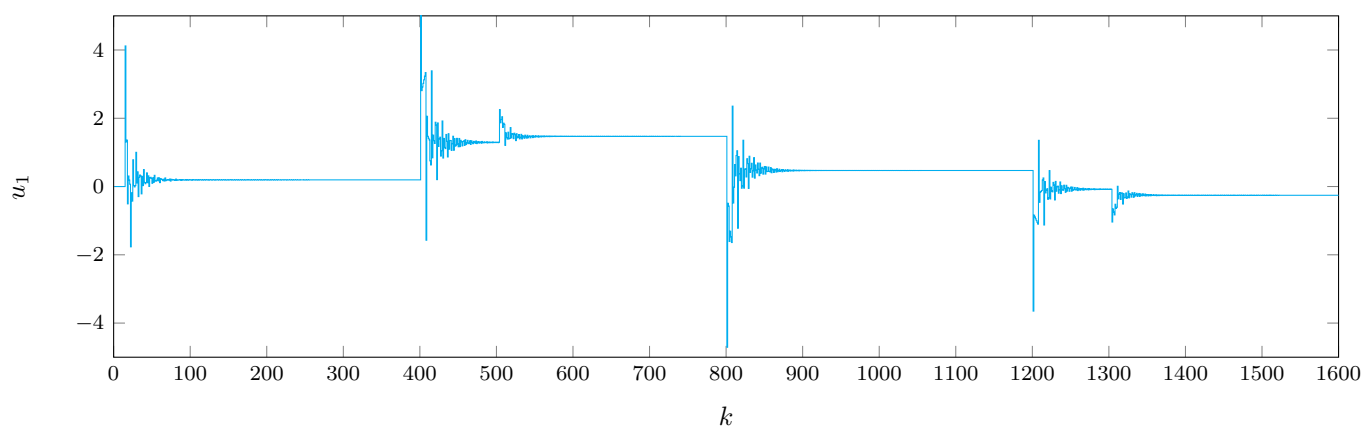
DMC

Nastawy:

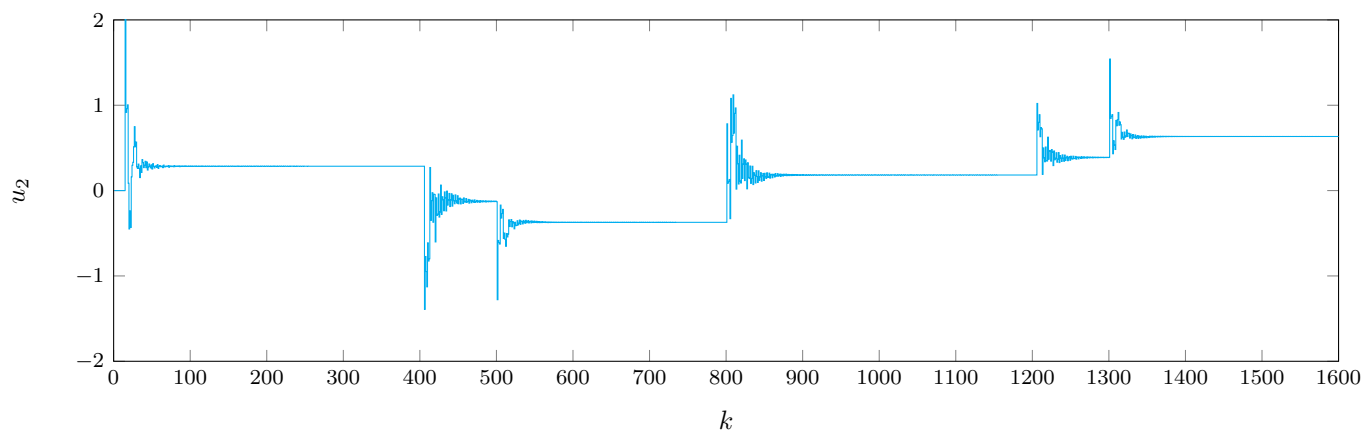
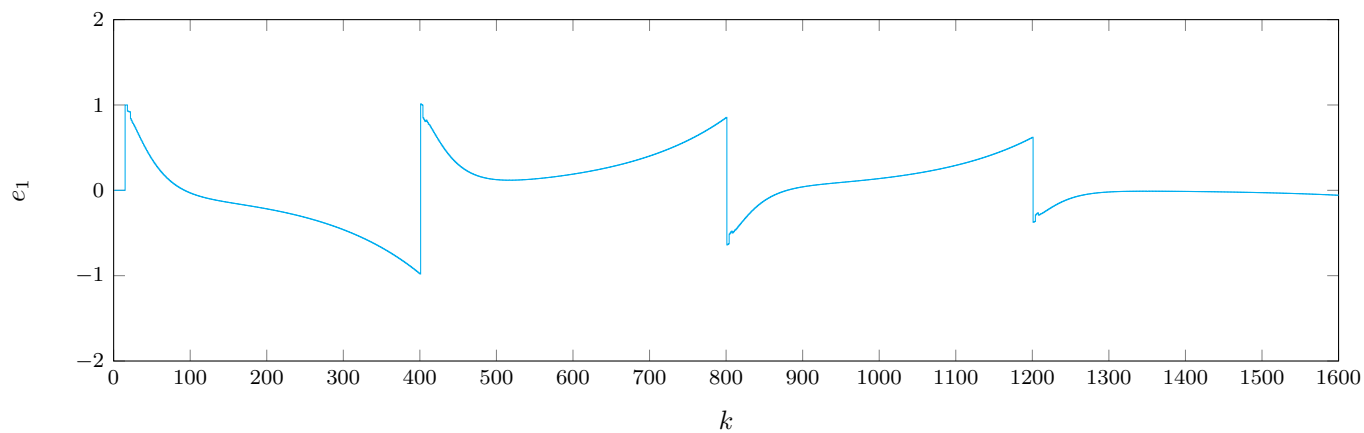
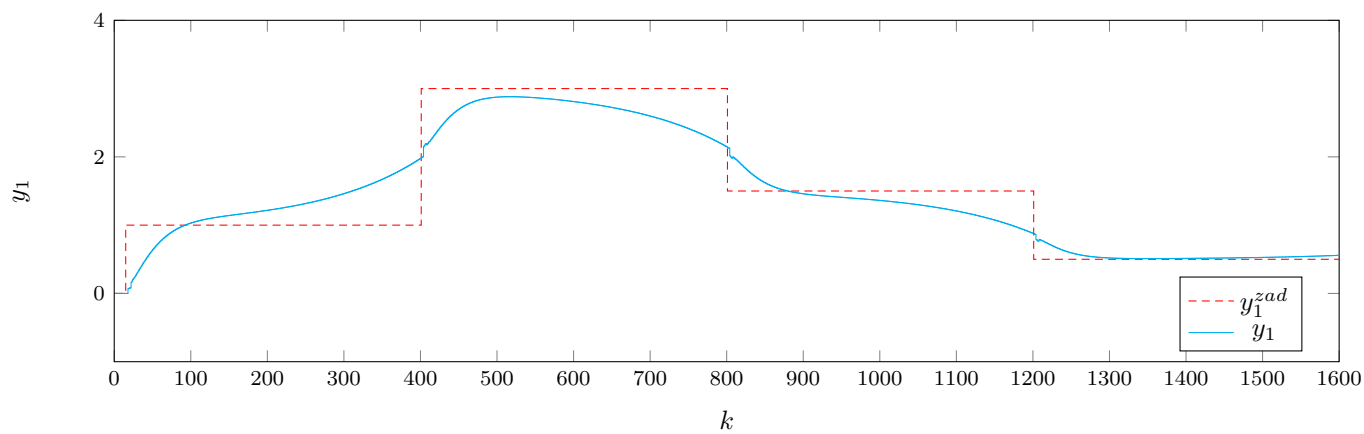
$D = 135$ ;  $N=80$ ;  $Nu=6$ ;  $\lambda1=1$ ;  $\lambda2=1$ ;

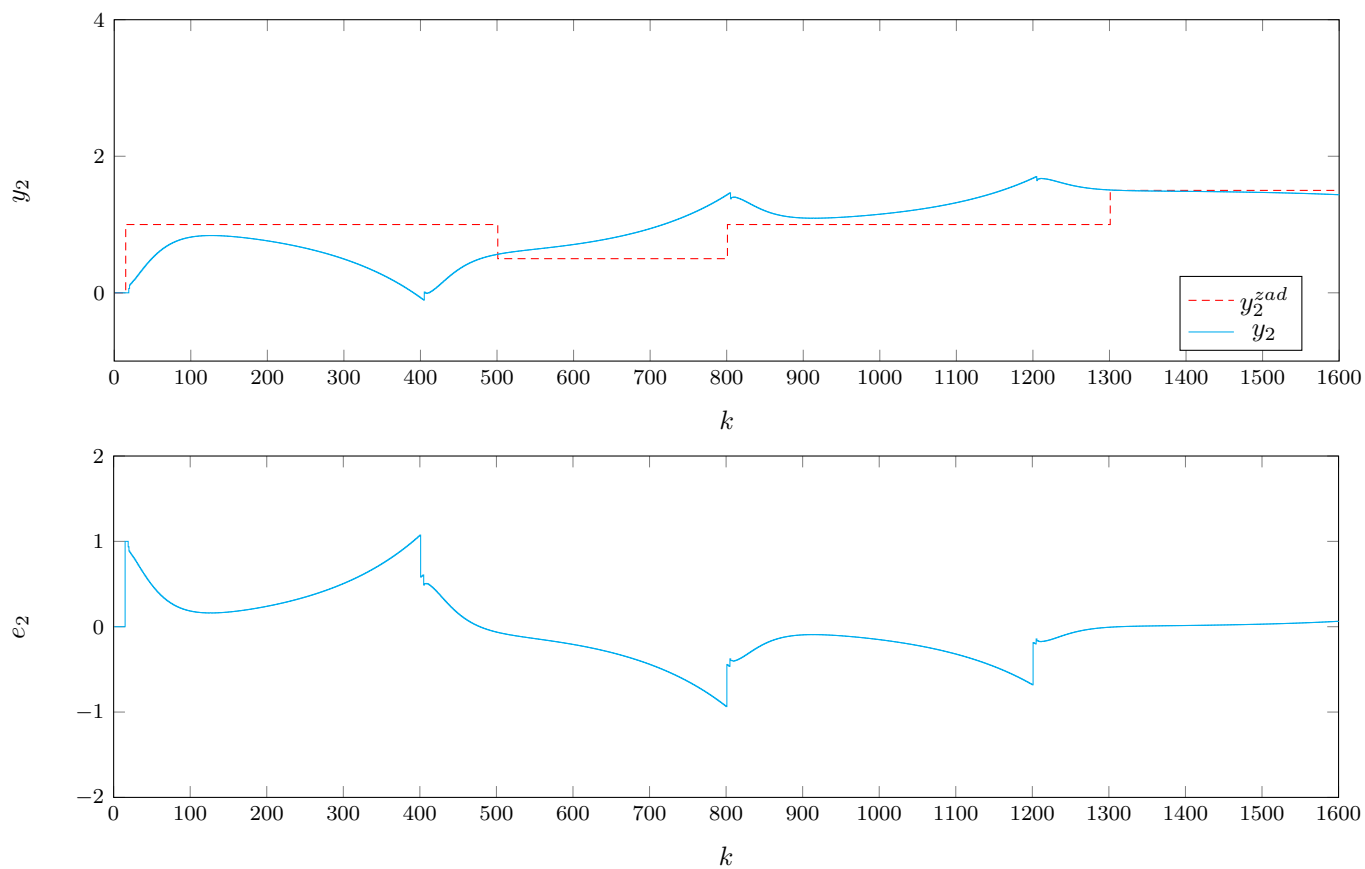
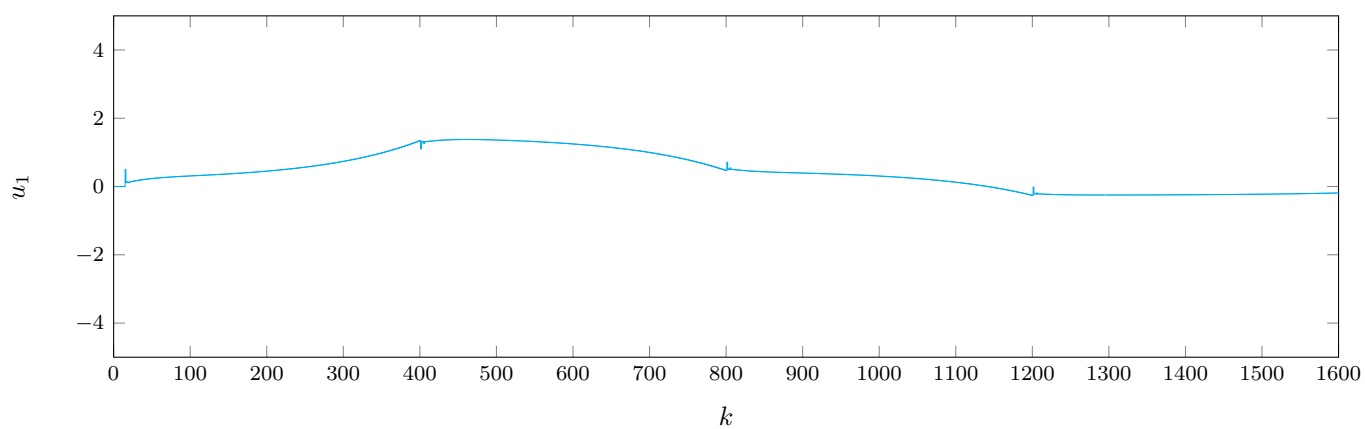
Wniosek: Widać, że regulator DMC najszybciej stabilizuje proces, w porządku jest również PID w wersji 1, natomiast PID z "zamienionymi" sygnałami (wersja 2) nie daje zadowalających rezultatów

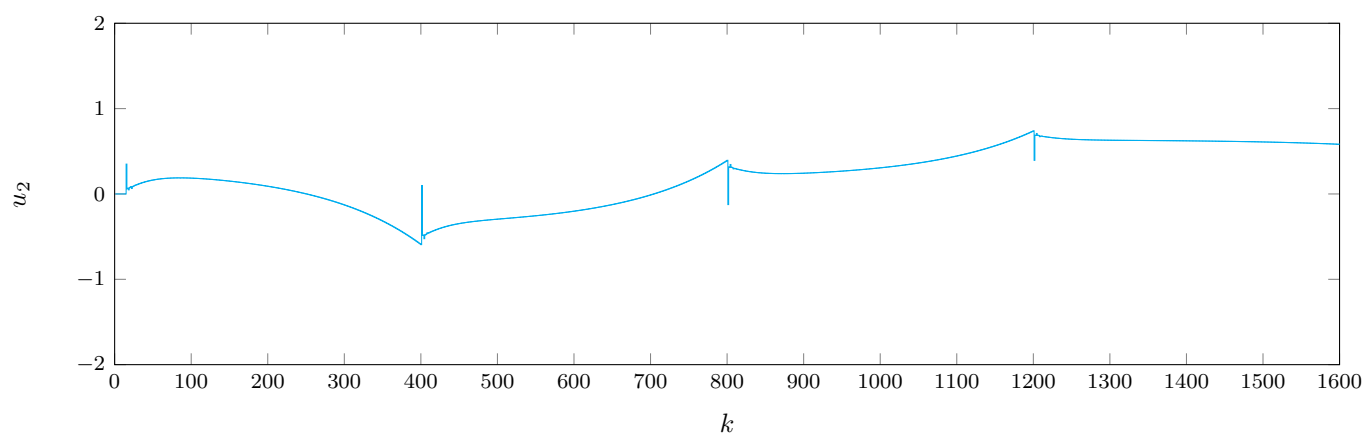
Rys. 5.1. Sygnał wyjściowy  $y_1$  wraz z błędem dla V1

Rys. 5.2. Sygnał wyjściowy  $y_2$  wraz z błędem dla V1Rys. 5.3. Sygnał wejściowy  $u_1$  dla V1



Rys. 5.4. Sygnał wejściowy  $u_2$  dla V1Rys. 5.5. Sygnał wyjściowy  $y_1$  wraz z błędem dla V2

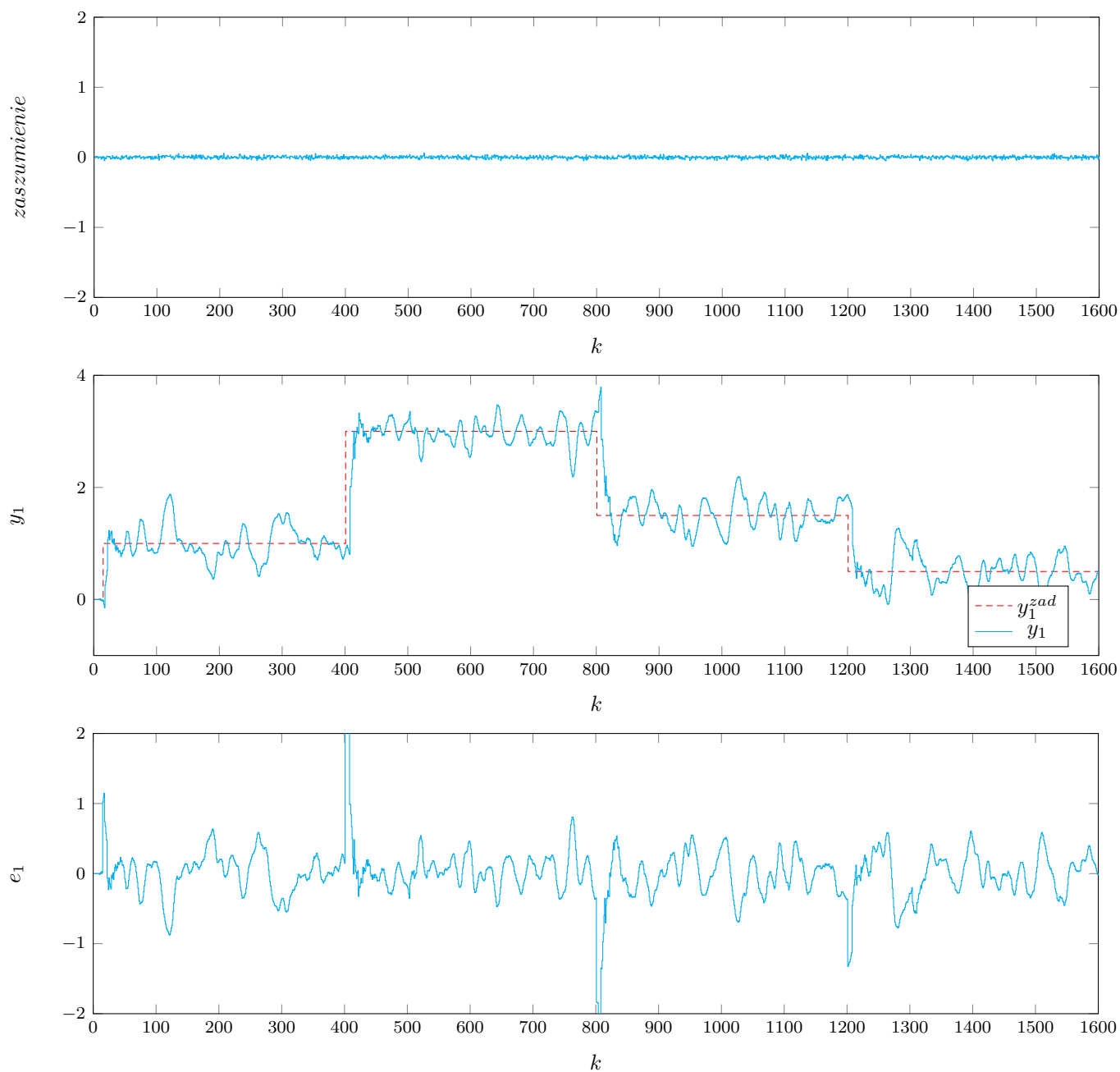
Rys. 5.6. Sygnał wyjściowy  $y_2$  i błąd dla V2Rys. 5.7. Sygnał wejściowy  $u_1$  dla V2

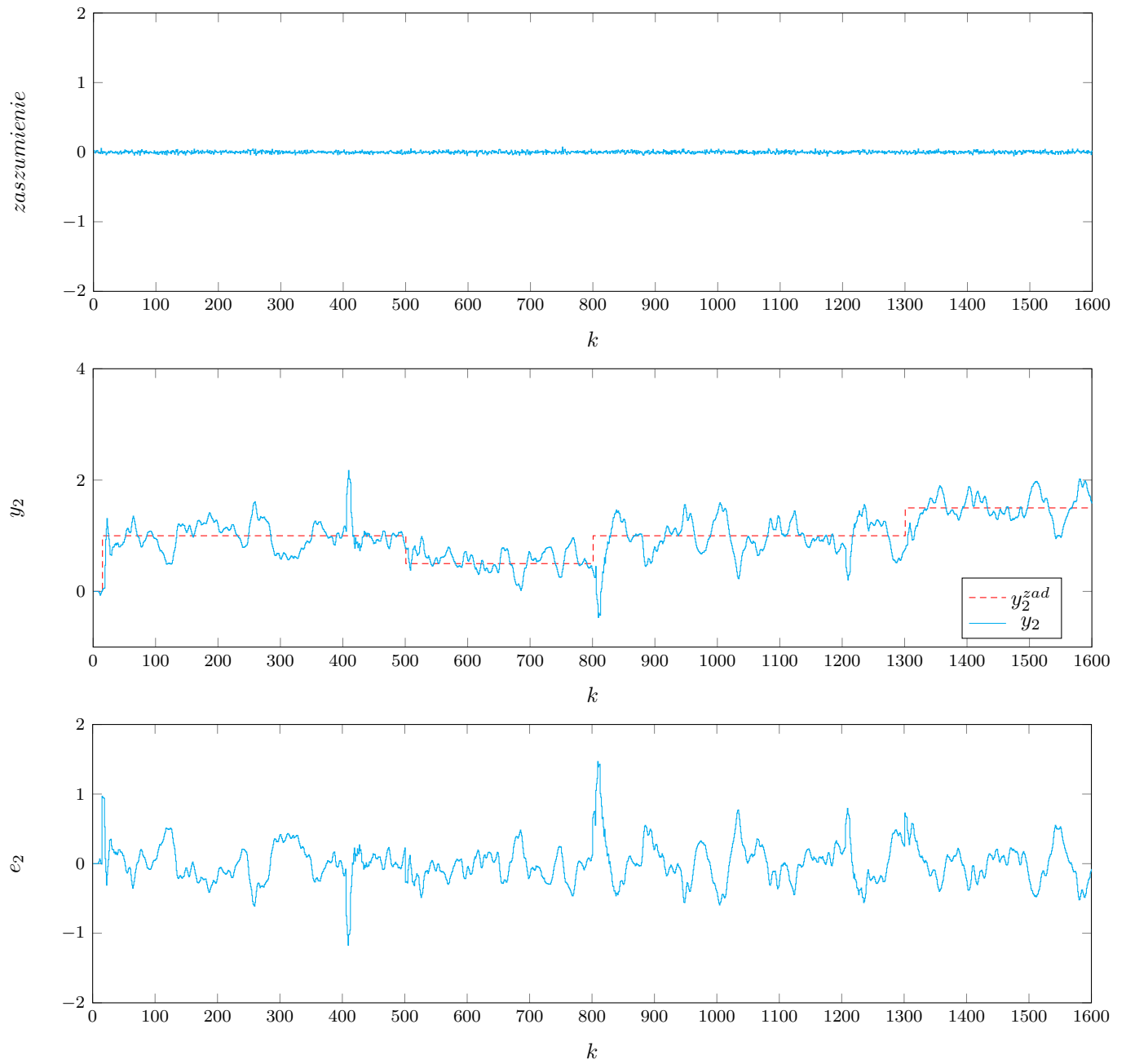
Rys. 5.8. Sygnał wejściowy  $u_2$  dla V2

## 6. Punkt 6

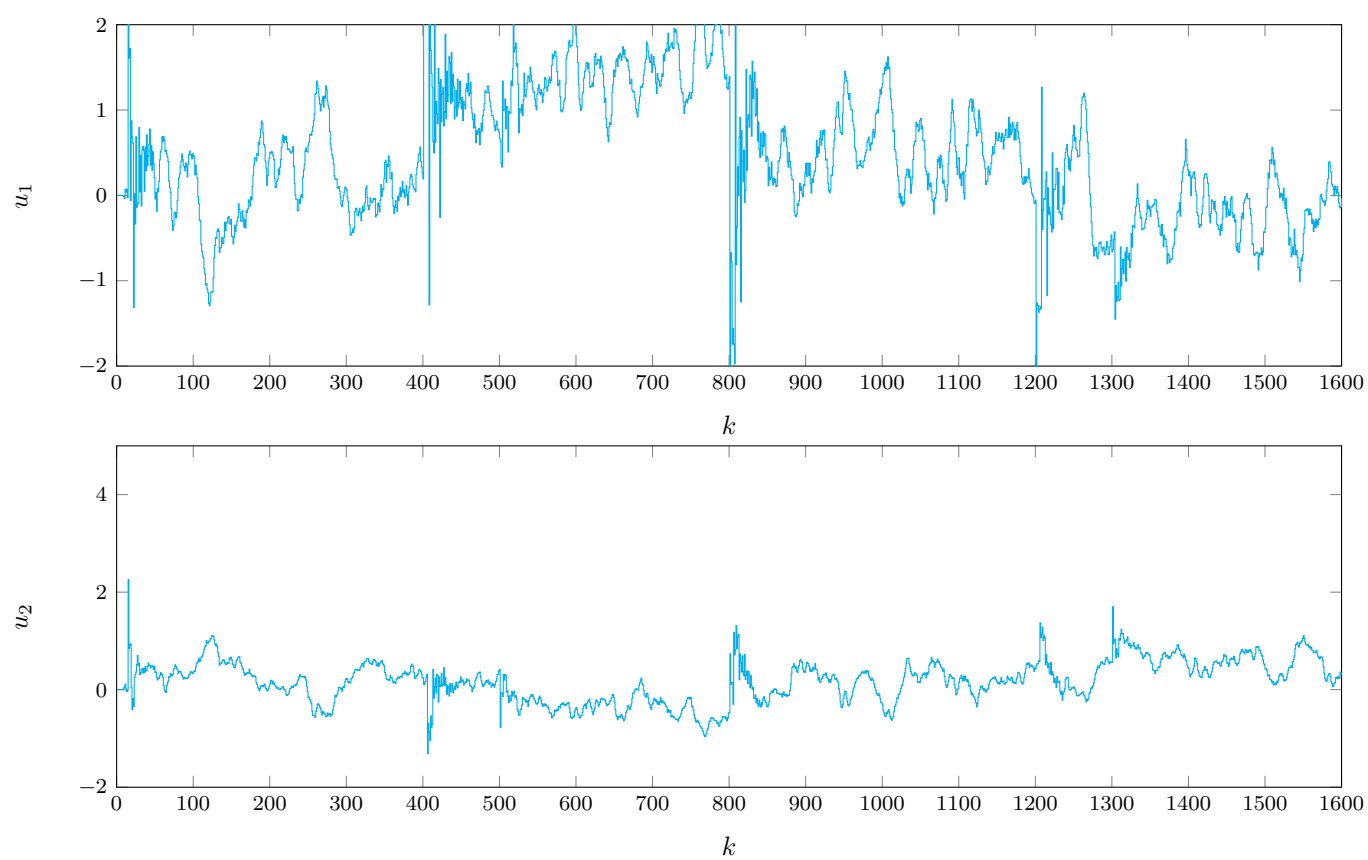
Pomiary zostały zaszumione szumem białym generowanym przez funkcję `awgn`, z parametrem SNR(Signal to Noise Ratio), który jest skalą wielkości szumu (im SNR mniejszy, tym sygnał bardziej zaszumiony). Poniżej zostały przedstawione wykresy odpowiednio dla regulatora PID i DMC z nastawami dobranymi w poprzednim podpunkcie. Możemy zauważyć, że regulatory PID w wersji 1 oraz DMC bardzo dobrze dają sobie radę z szumem pomiarowym, szczególnie gdy nie jest on duży.

Trochę gorzej poradził sobie PID z "zamienionymi" sygnałami, co może wynikać z jego ogólnej niestabilności i średnich rezultatów w regulacji.

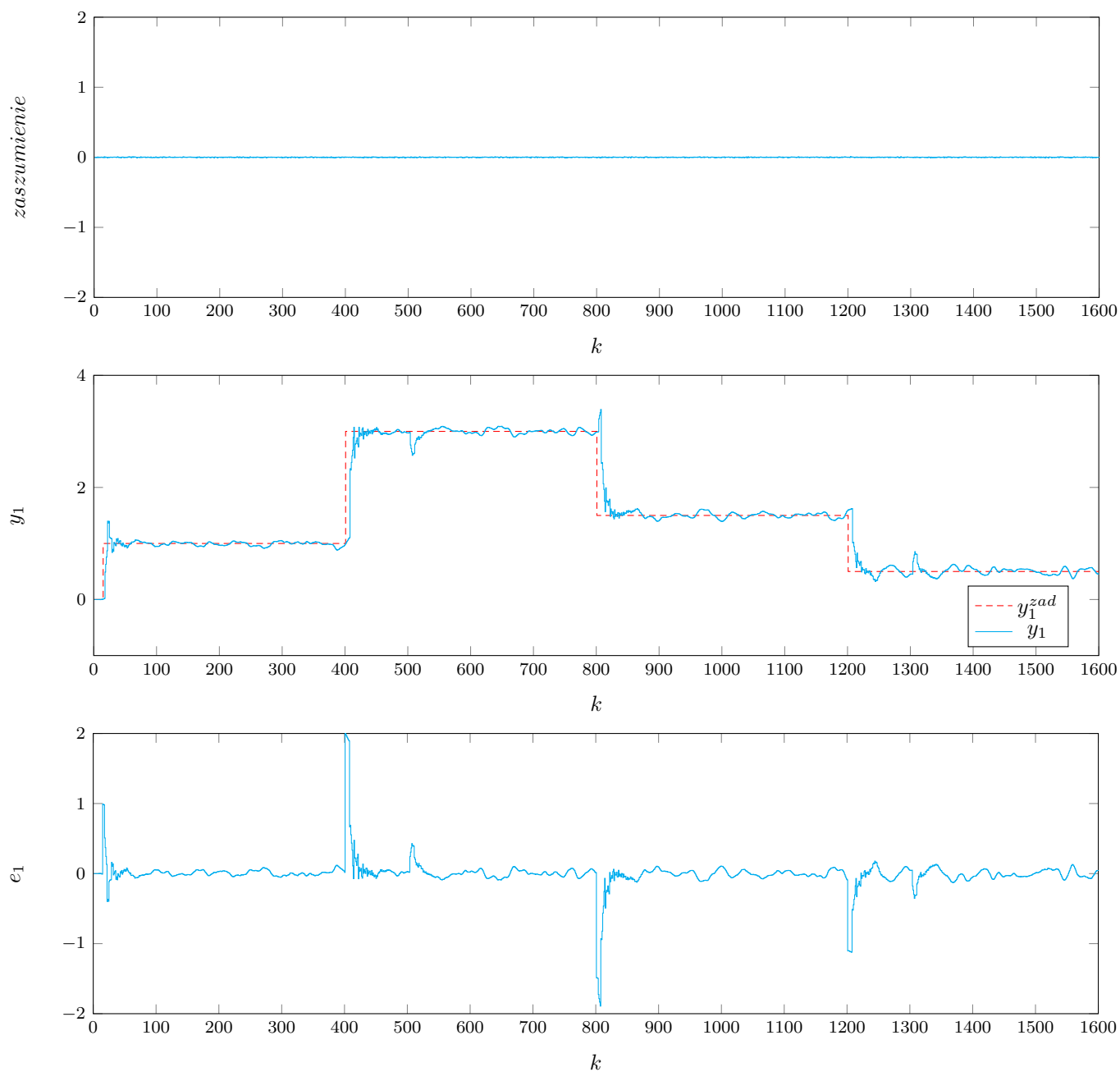
Rys. 6.1.  $y_1$  dla V1, SNR=35



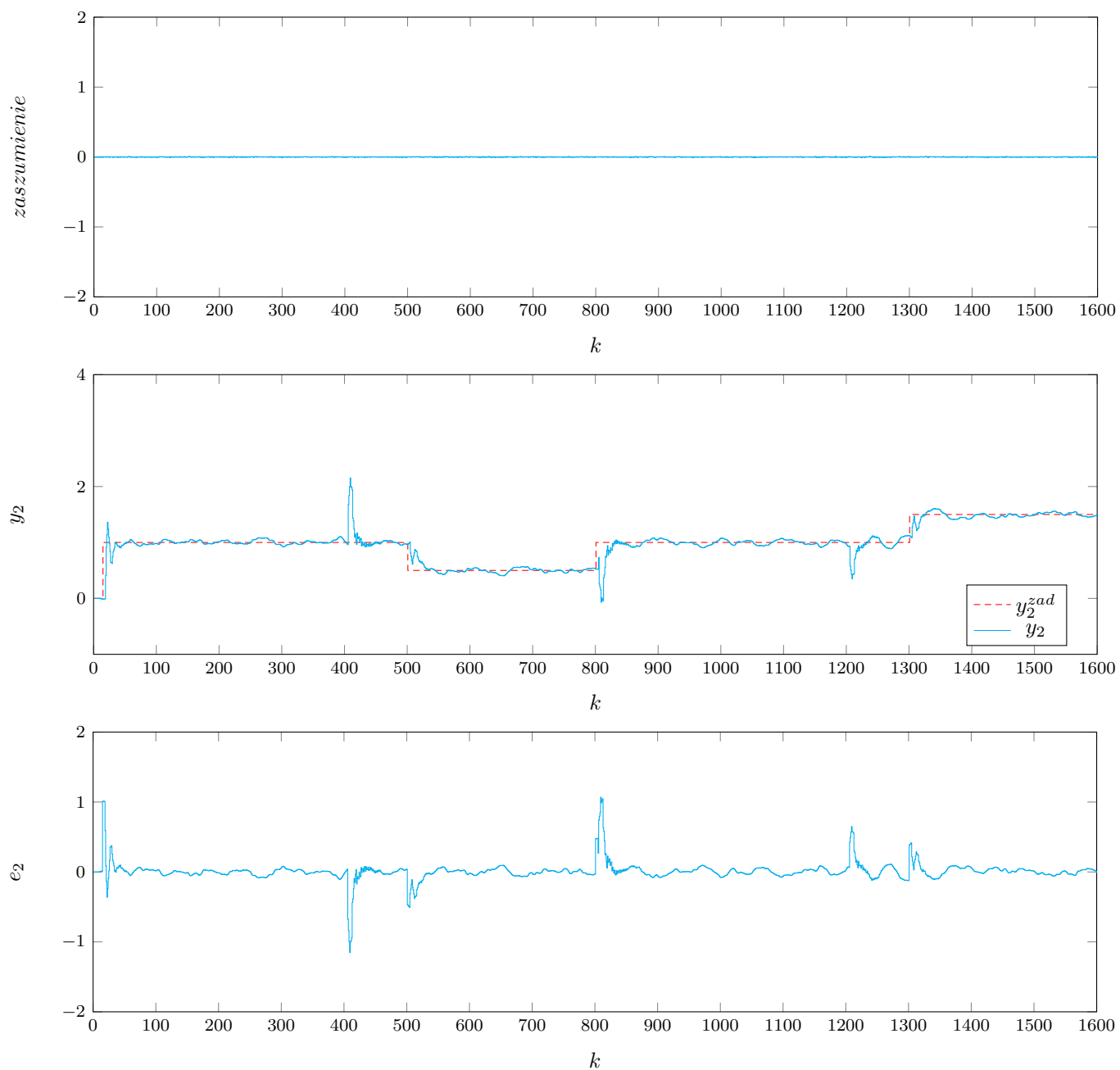
Rys. 6.2.  $y_2$  dla V1, SNR=35, błąd skumulowany  $e_1+e_2 = 370,6180$



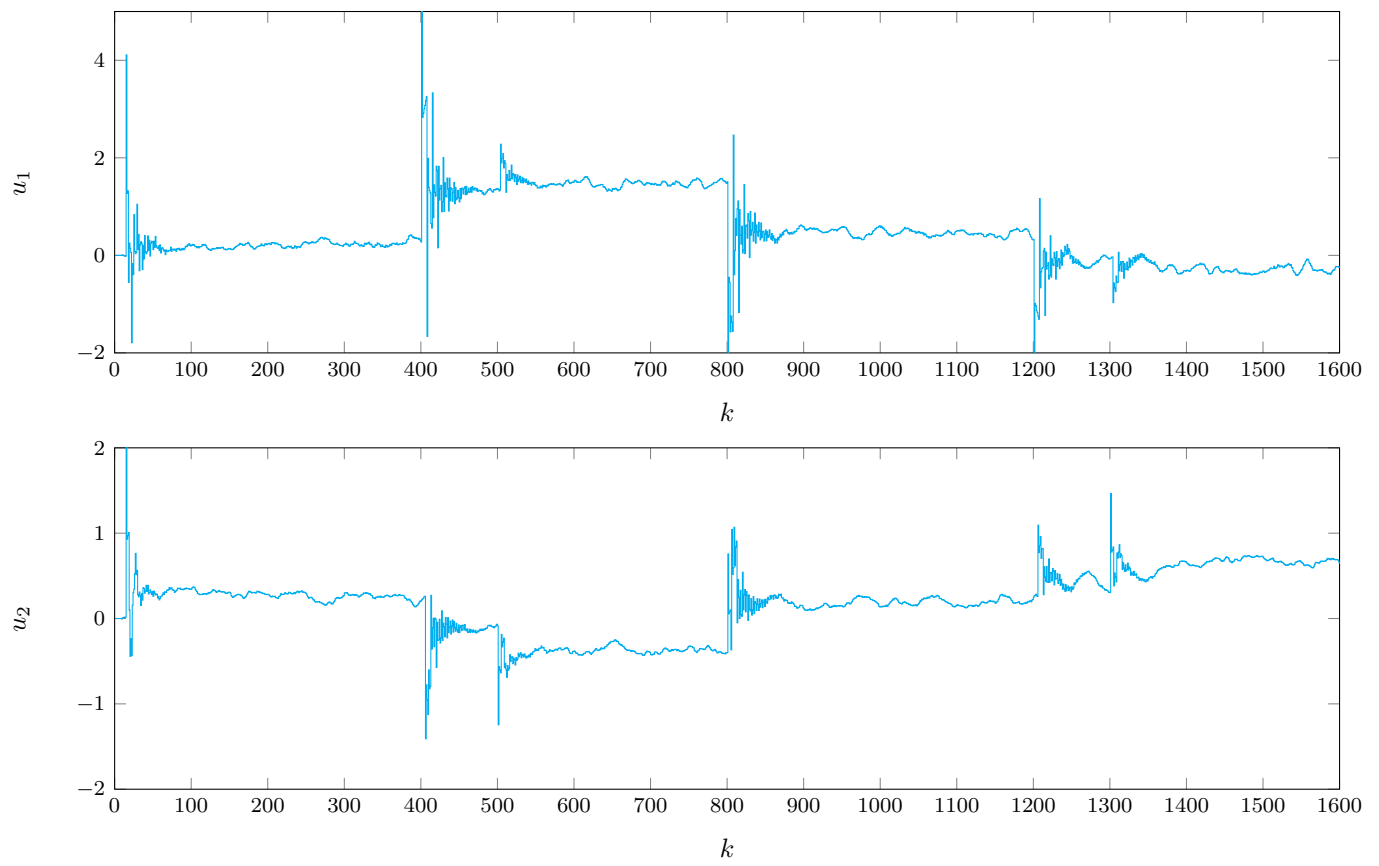
Rys. 6.3. Sygnały wejściowe V1, SNR=35

Rys. 6.4.  $y_1$  dla V1, SNR=50

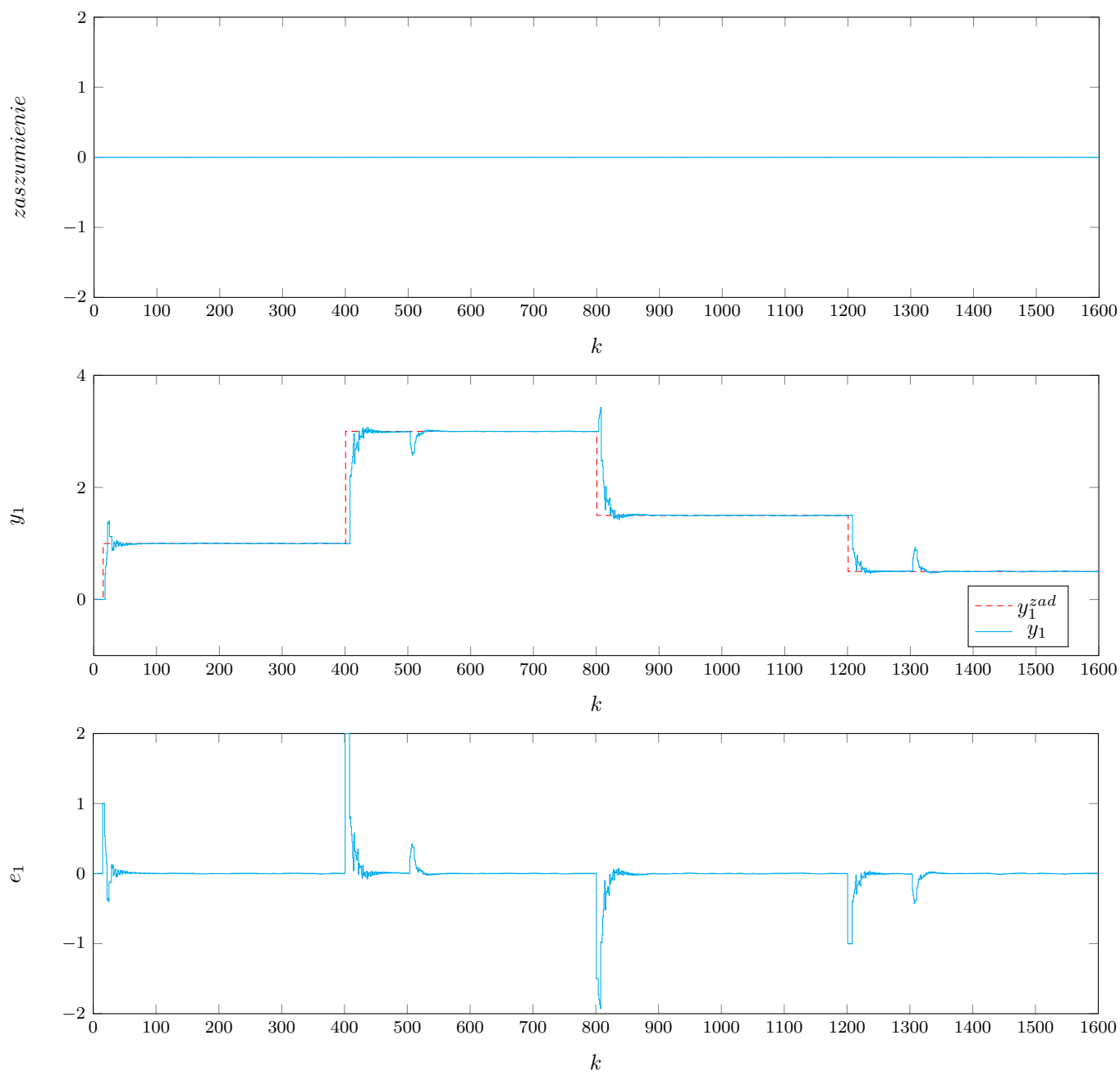


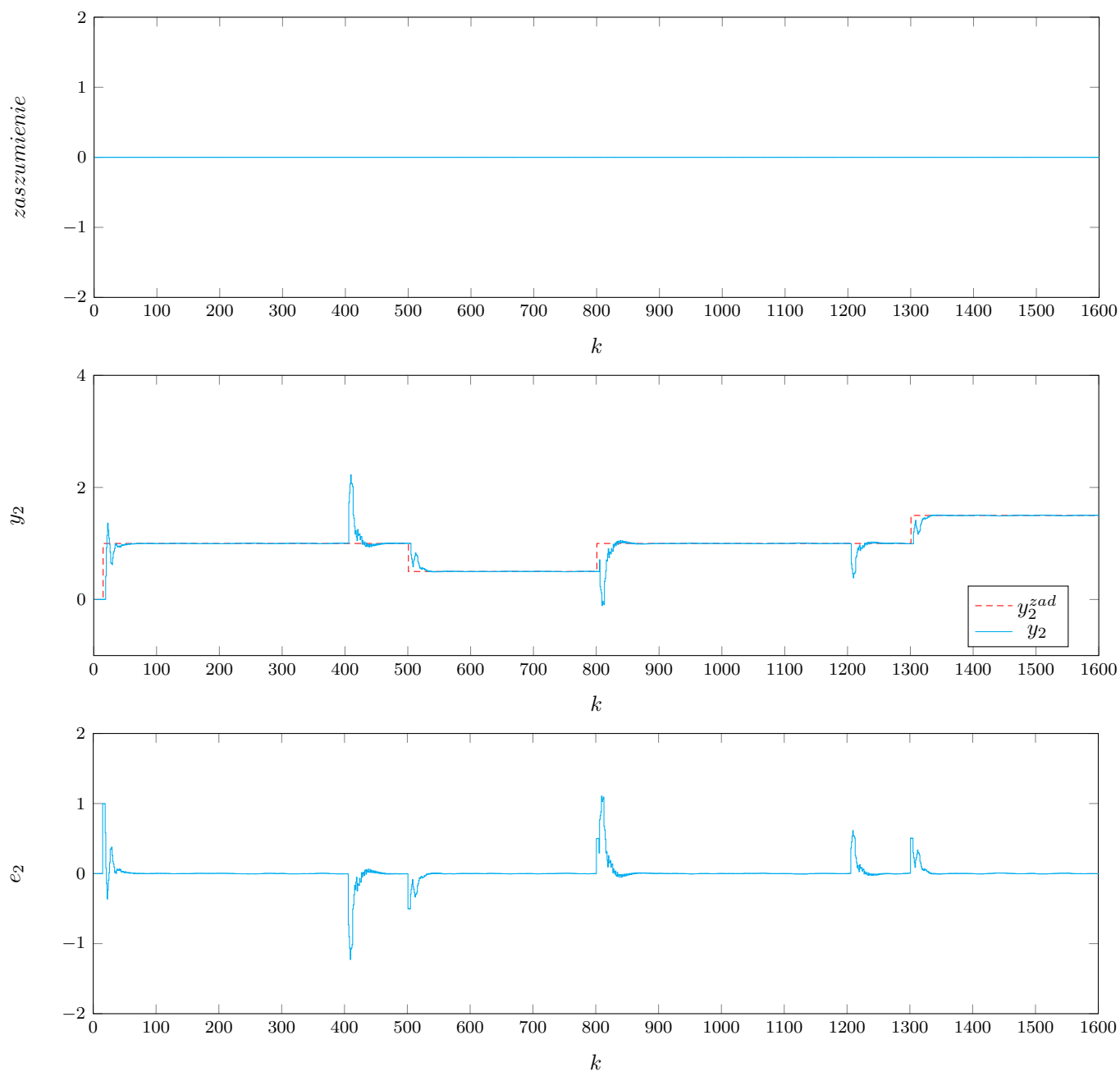


Rys. 6.5.  $y_2$  dla V1, SNR=50, błąd skumulowany  $e_1+e_2 = 110,3434$

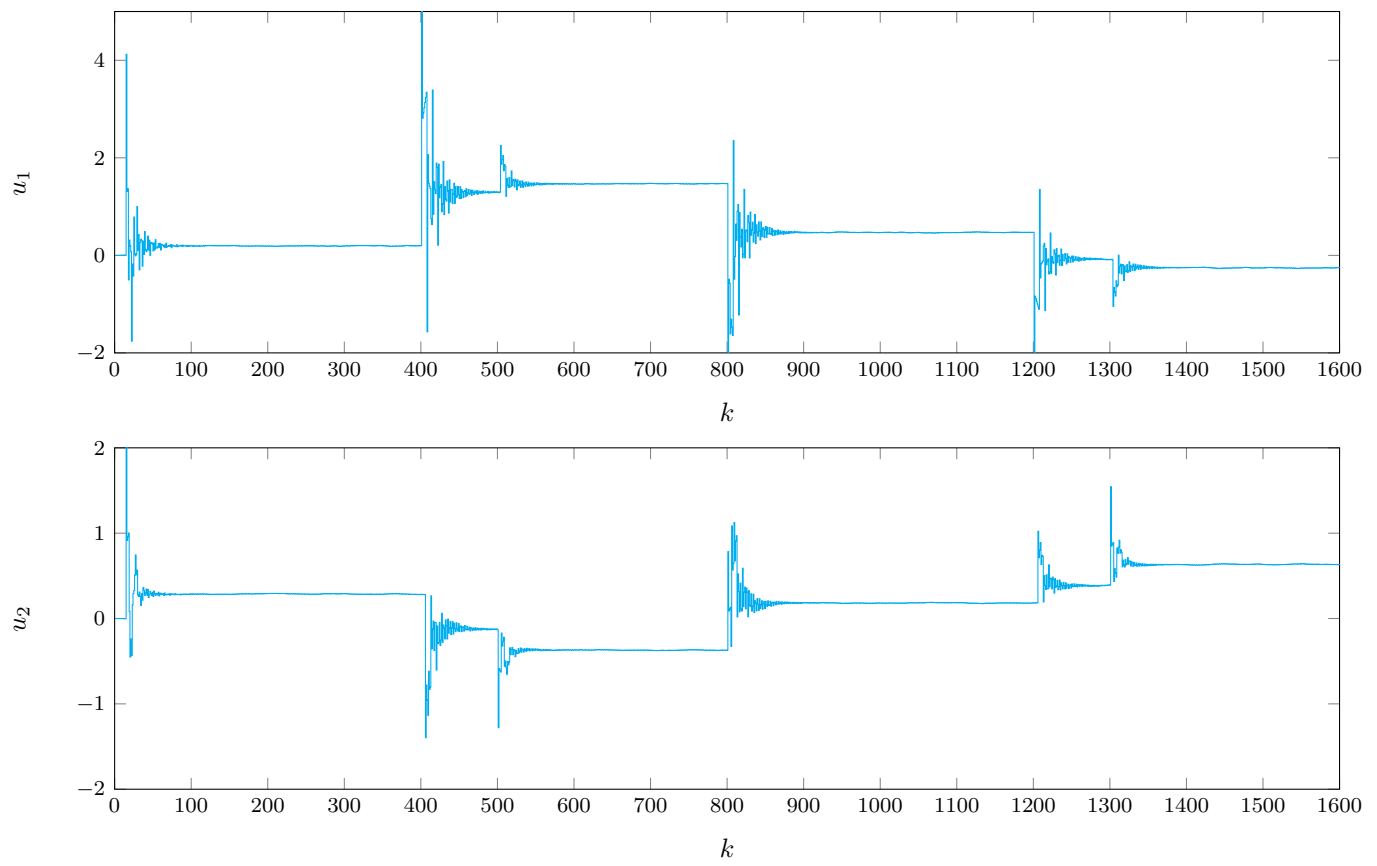


Rys. 6.6. Sygnały wejściowe V1, SNR=50

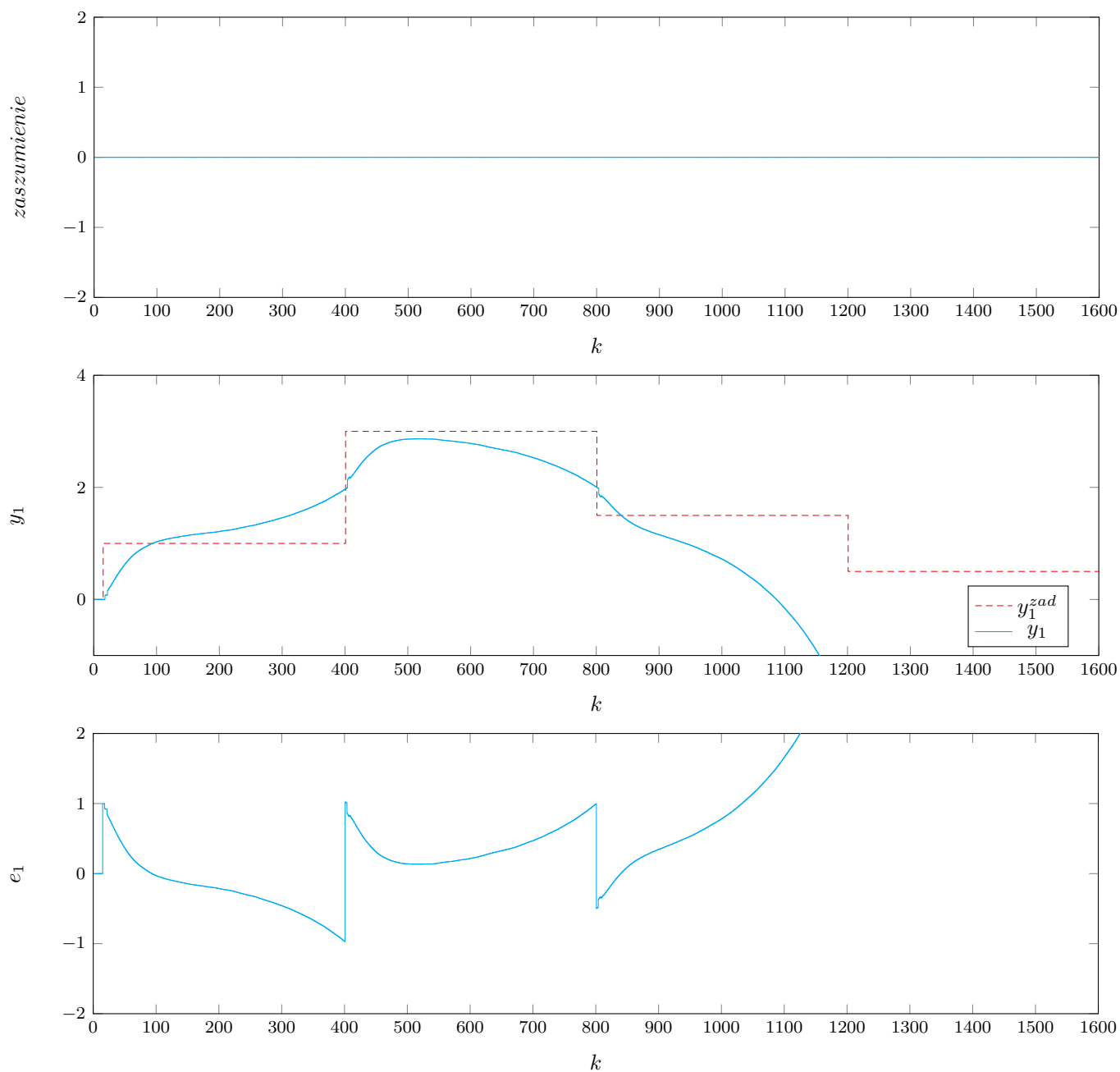
Rys. 6.7.  $y_1$  dla V1, SNR=75

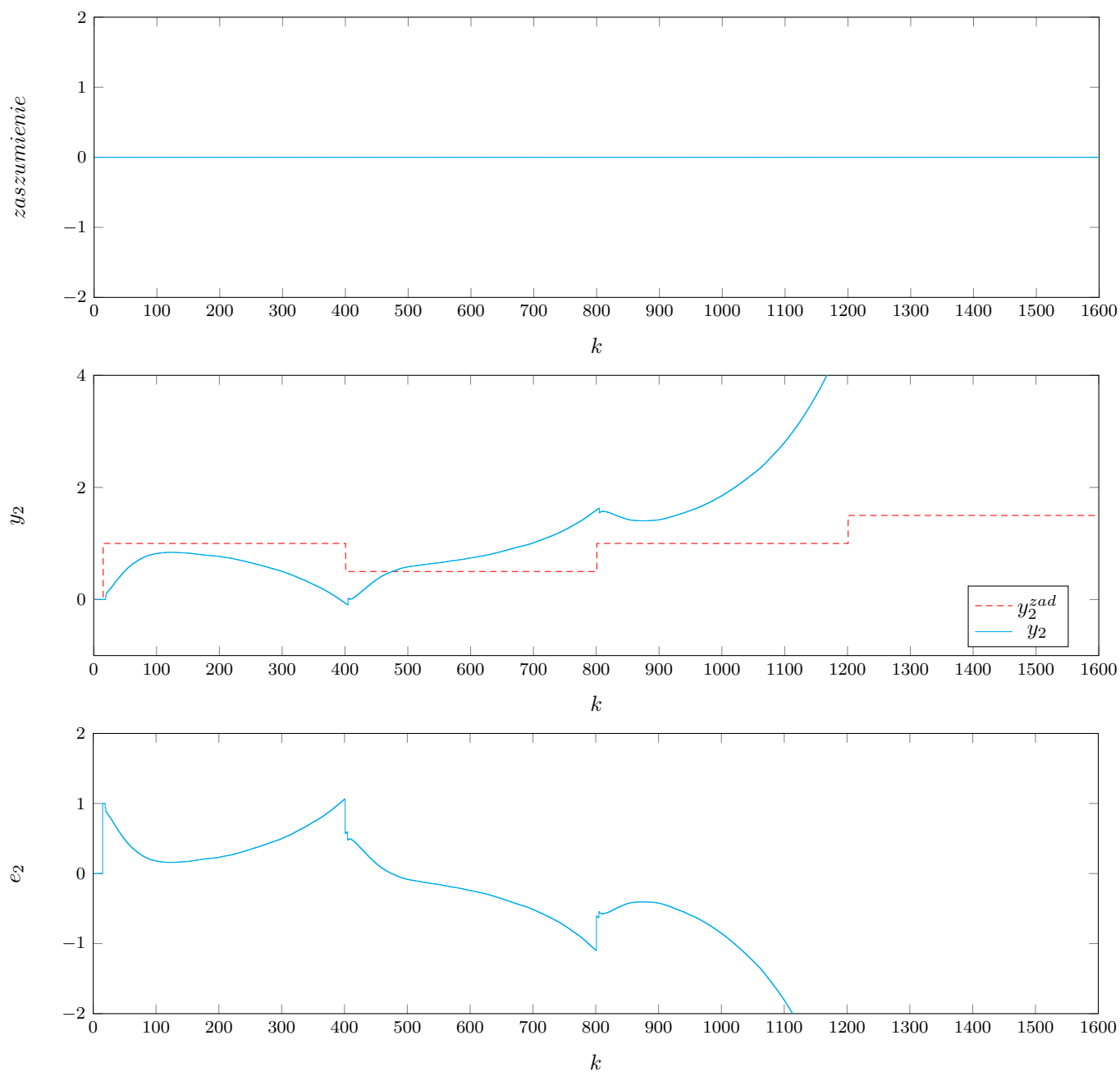


Rys. 6.8.  $y_2$  dla V1, SNR=75, Błąd skumulowany  $e_1 + e_2 = 97,4781$

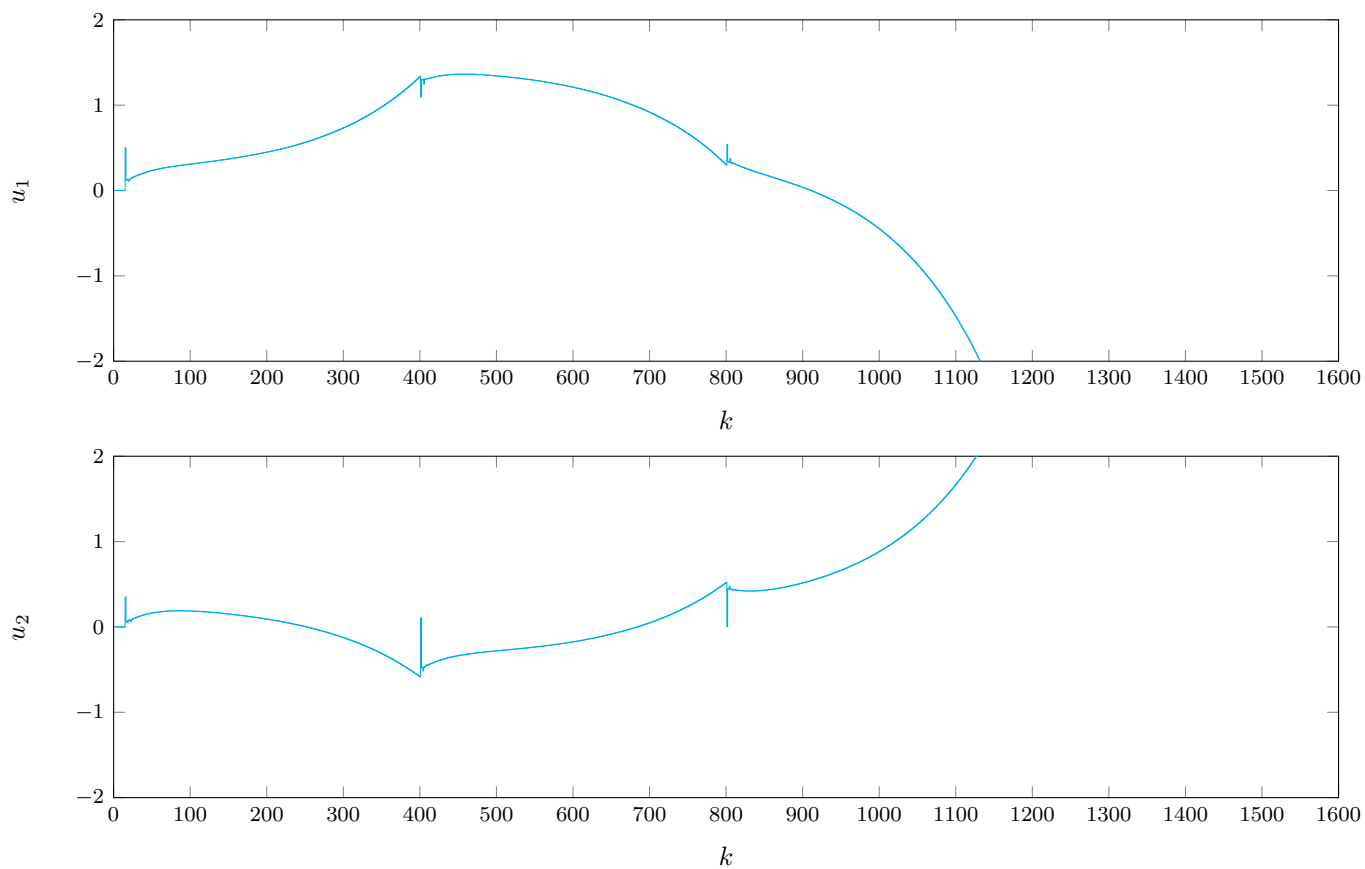


Rys. 6.9. Sygnały wejściowe V1, SNR=75

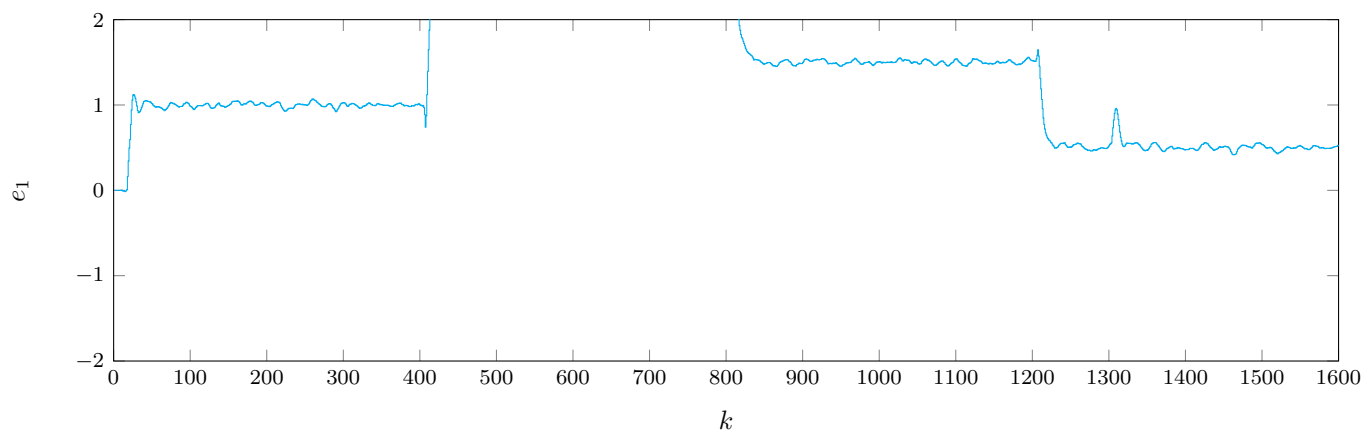
Rys. 6.10.  $y_1$  dla V2, SNR=75



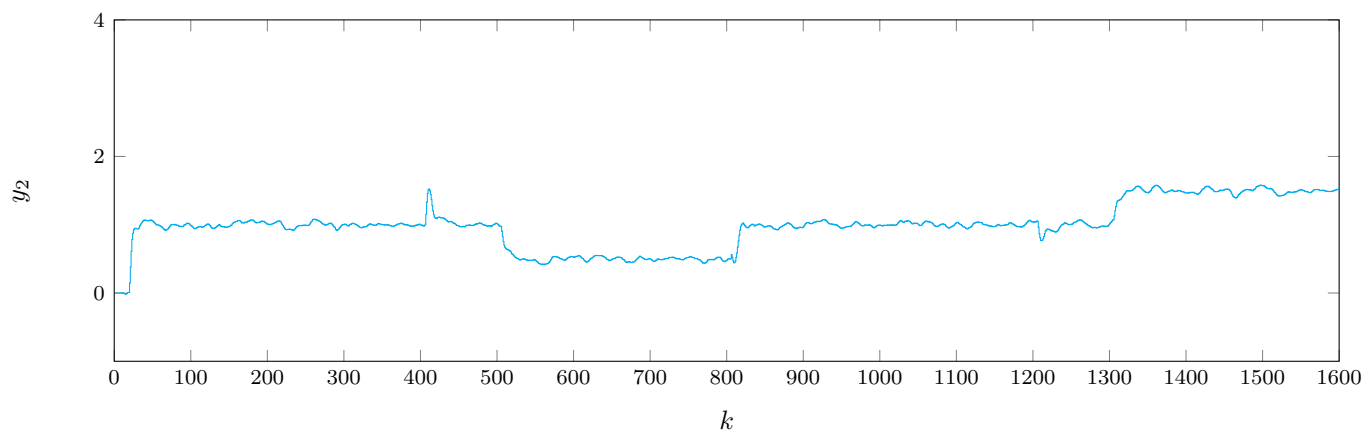
Rys. 6.11.  $y_2$  dla V2, SNR=75, błąd skumulowany  $e_1 + e_2 = 6926$



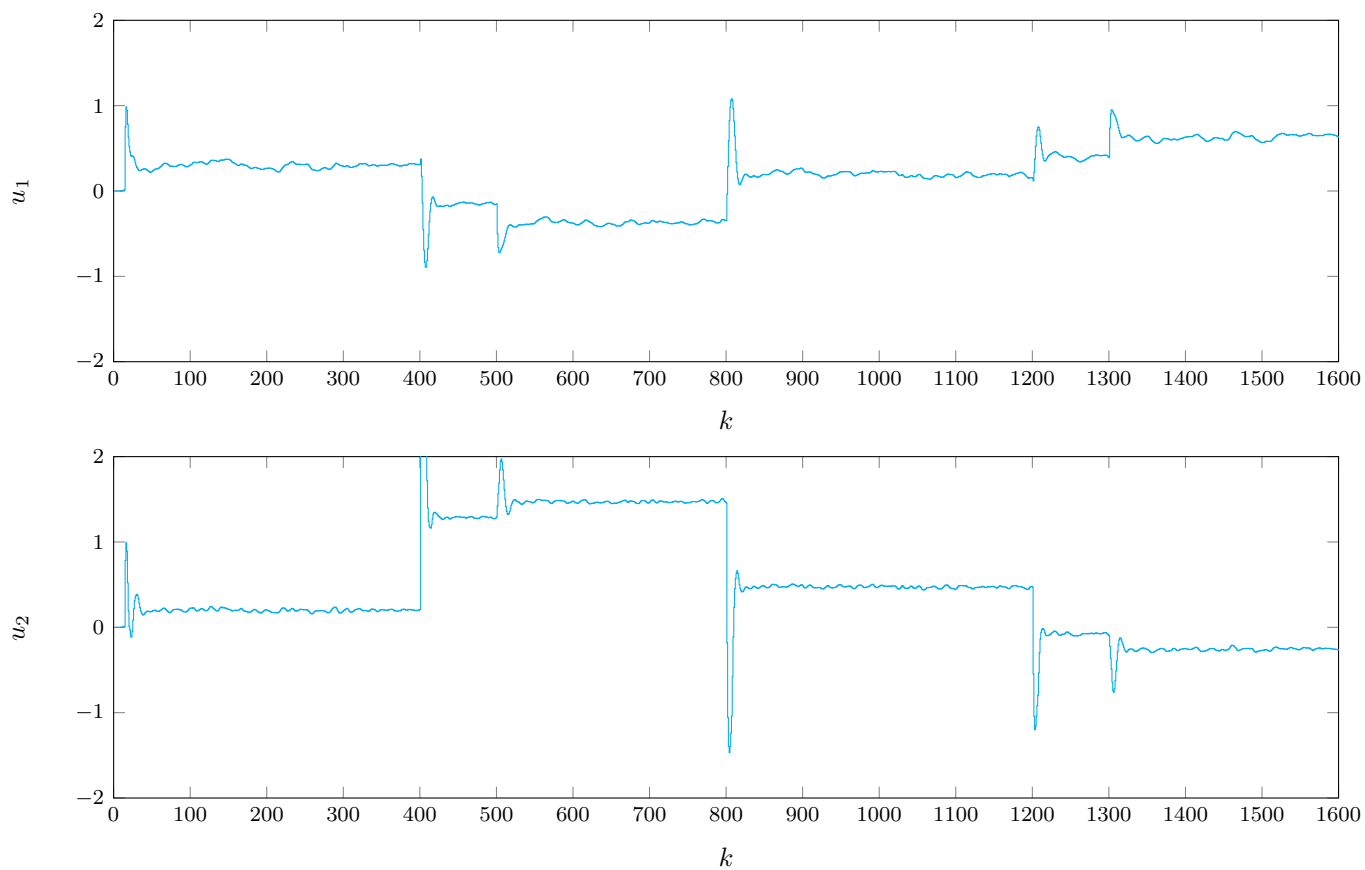
Rys. 6.12. Sygnały wejściowe V2, SNR=75

Rys. 6.13.  $y_1$  dla DMC, SNR=-50

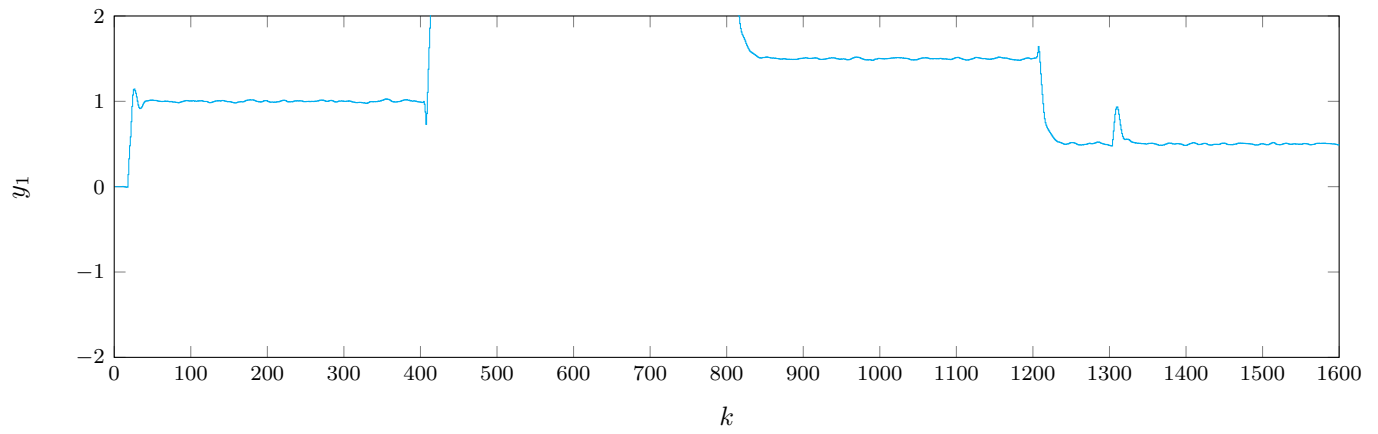
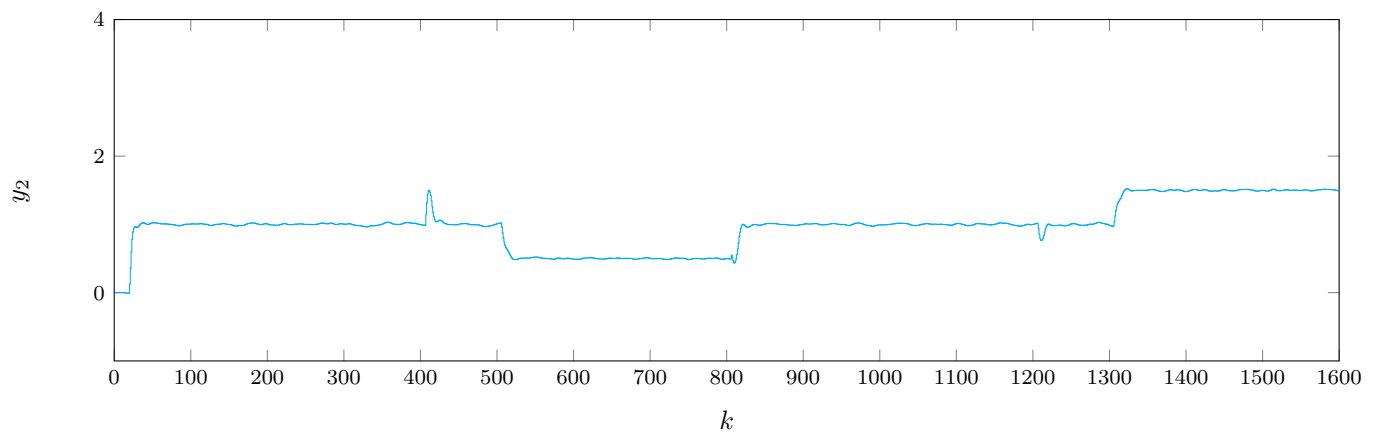


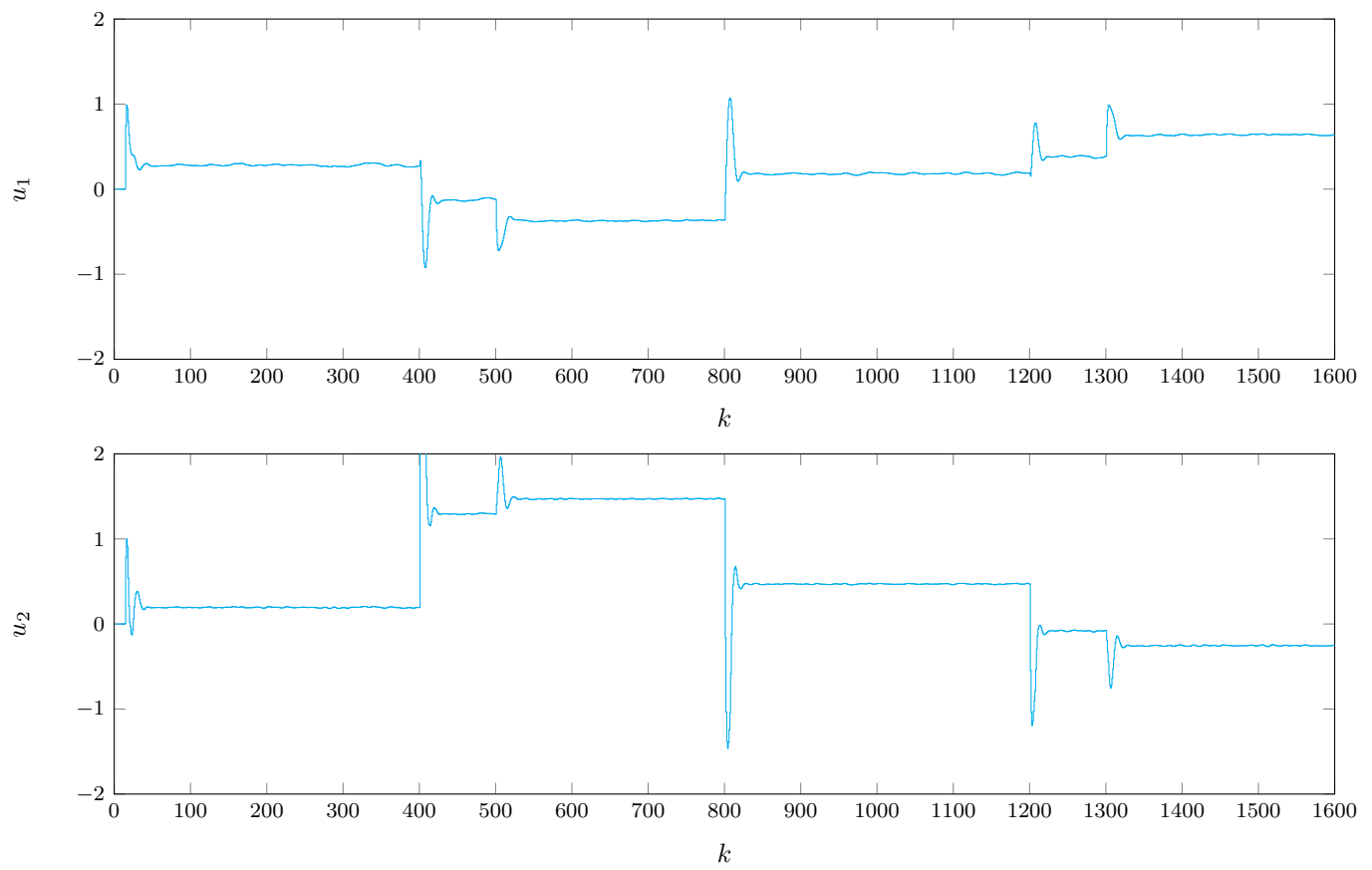


Rys. 6.14.  $y_2$  dla V2, SNR=75, błąd skumulowany 102.97



Rys. 6.15. Sygnały wejściowe DMC, SNR=-50

Rys. 6.16.  $y_1$  dla DMC, SNR=-60Rys. 6.17.  $y_2$  dla DMC, SNR=-60, błąd skumulowany 103,93

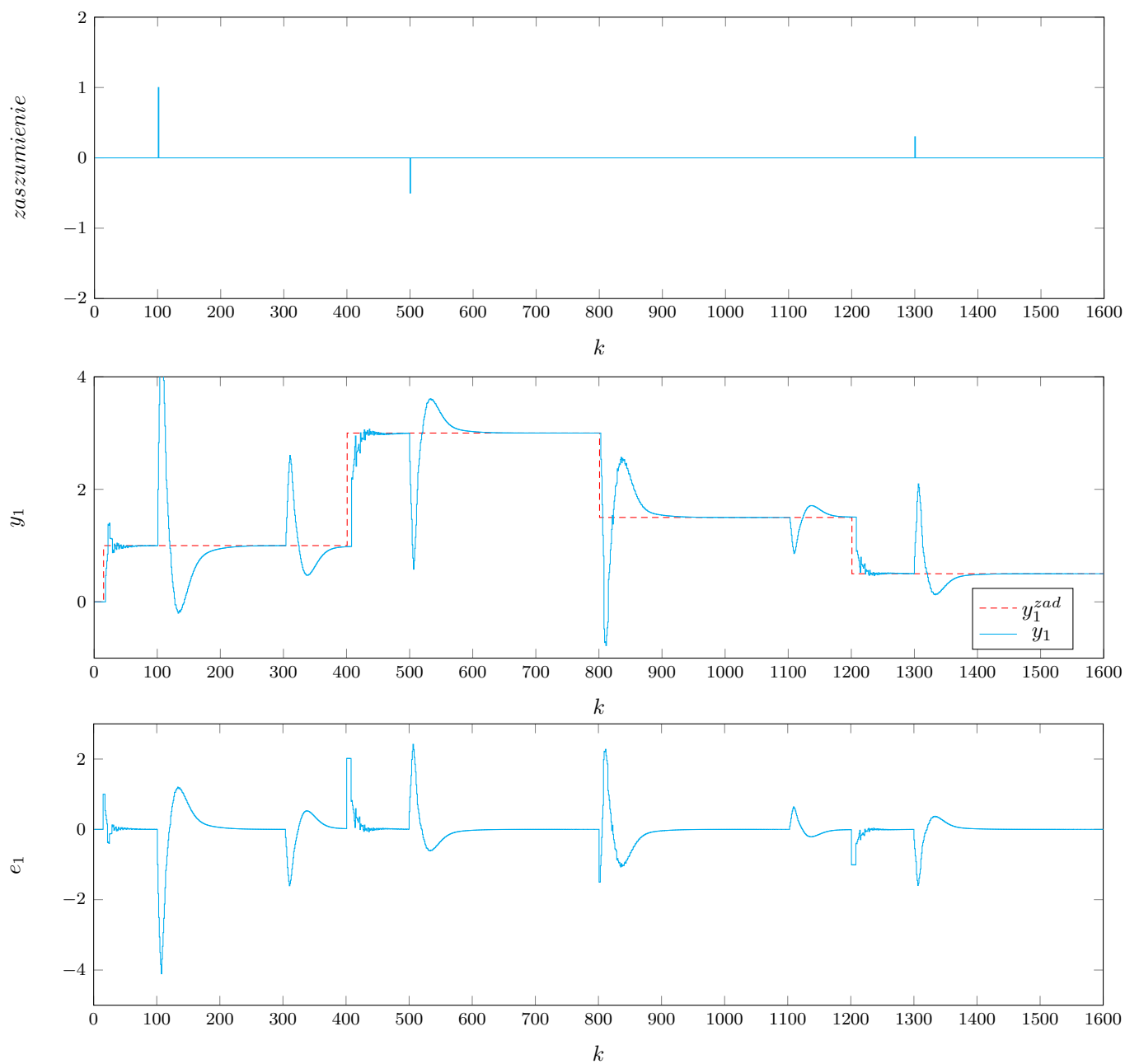


Rys. 6.18. Sygnały wejściowe DMC, SNR=-60

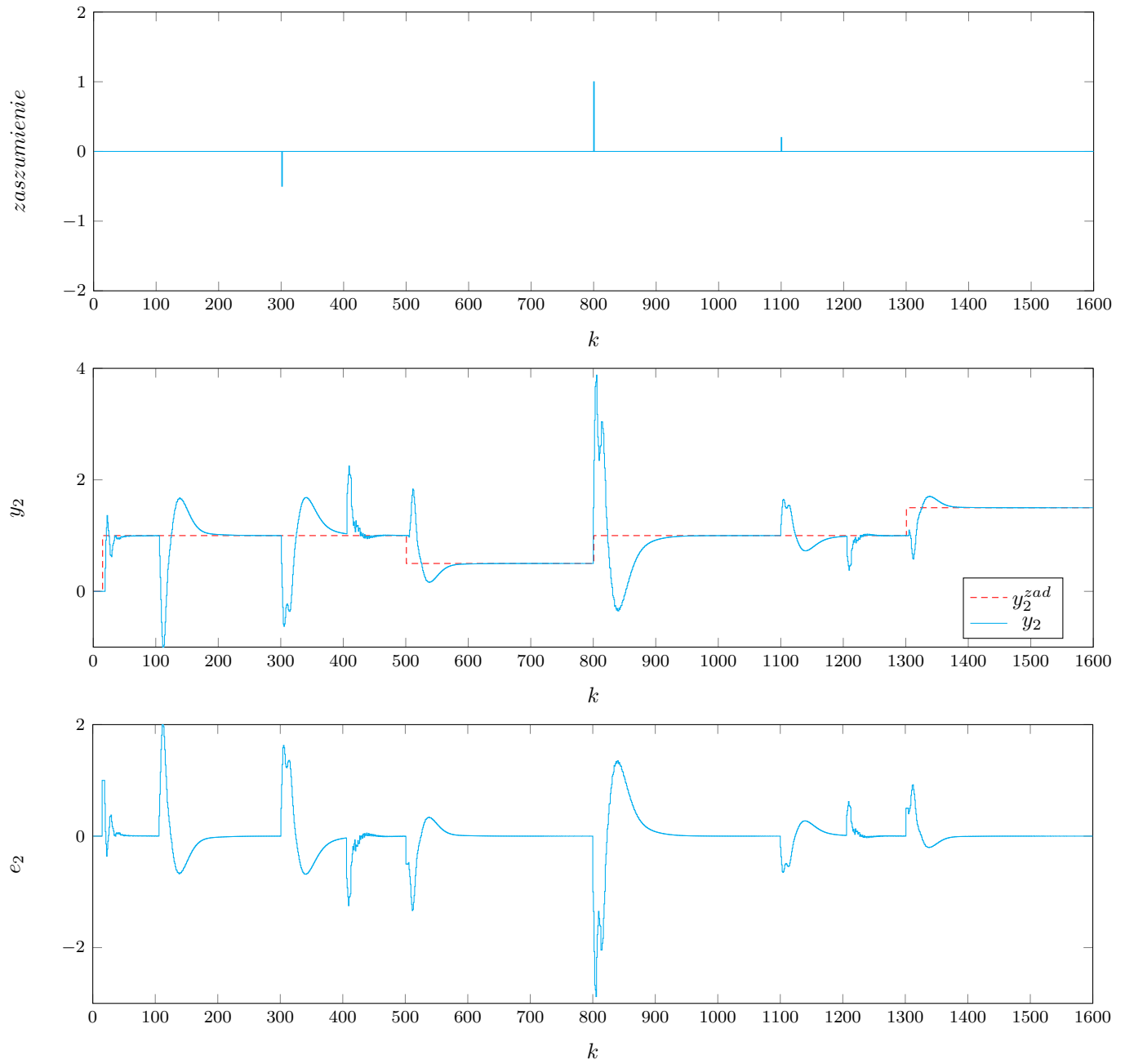
## 7. Punkt 7

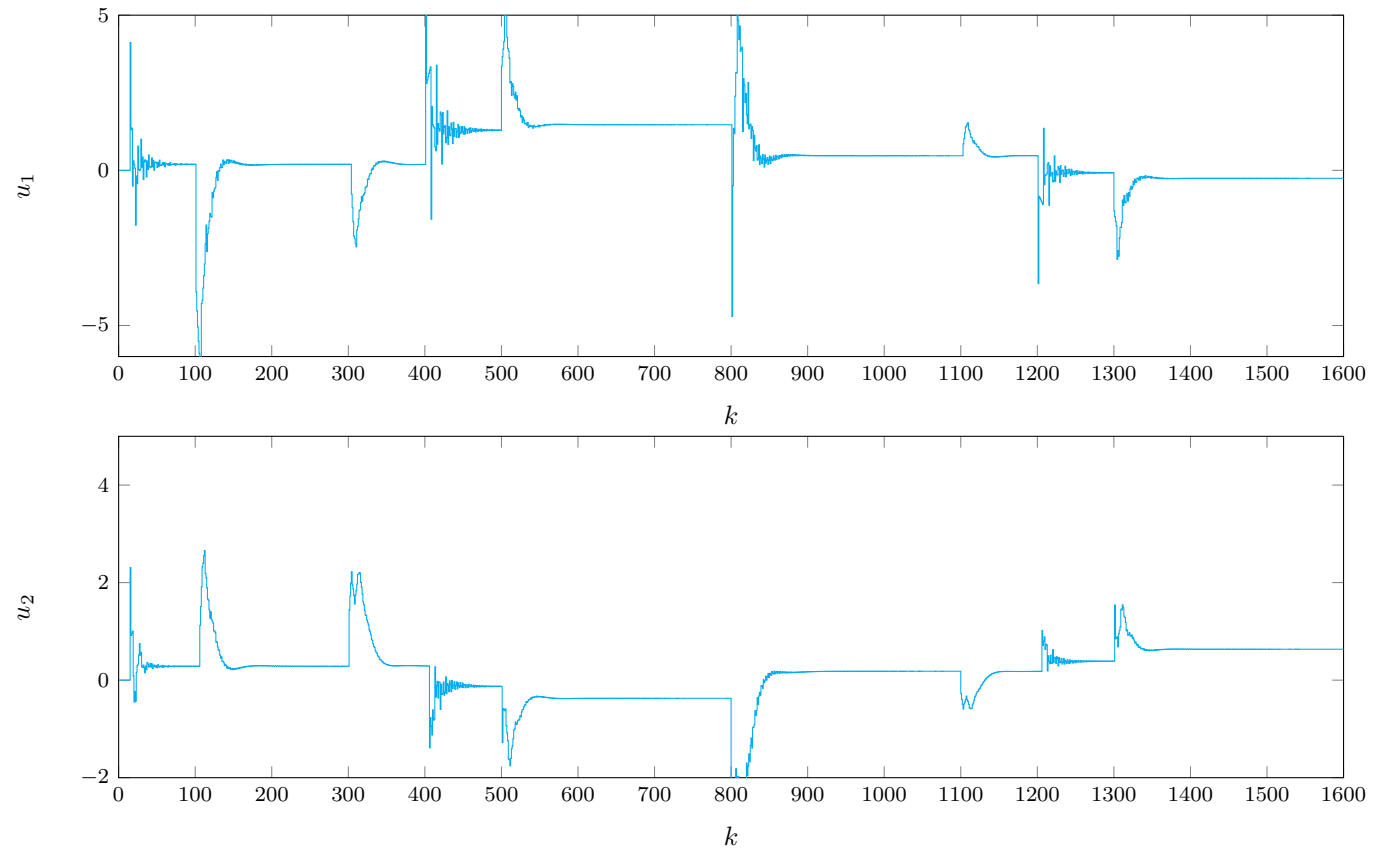
Szum addytywny został wygenerowany jako jendnostowe skoki dodawane do pomiaru sygnału wyjściowego. Możemy je obserwować na poniższych wykresach. Możemy zauważyć, że dostrojone wcześniej regulatory dobrze radzą sobie ze stabilizacją zakłóceń, nie wpadają w dragania. Poniżej, jako przykład został przedstawiony wykres dla regulatora PID w wersji 1.

$$e = e_1 + e_2 = 590,4457$$



Rys. 7.1. //TODO

Rys. 7.2.  $y_2$



Rys. 7.3. ///TODO

Oraz dla regulatora DMC: