Laboratorium Sterowania Adaptacyjnego
Raport z ćwiczeń **Ex4, Ex6**
Szymon Kacperek, Adrianna Kręglewska, Adam Banaszczyk
AiR, studia stacjonarne II stopnia, specjalność SSiR, rok akademicki 2019/2020

1 Model-Identification Adaptive Control (MIAC)

Celem projektu jest identyfikacja systemu za pomocą metody *MIAC* z deterministyczną syntezą sterownika. Według założeń, *MIAC* zapewnia asymptotyczną zbieżność błędu śledzenia do zera oraz czas ustalenia $T_{s1\%} = \alpha[s]$.

Dla celów symulacji przyjęto następujące wartości parametrów:

$$T_a = 0.005[s], \quad T_c = 0.001[s], \quad T_F = 1.5T_a, \quad \hat{p}_0 = [1 \quad 1], \quad \alpha = 3.0, \quad lambda = 0.999, \quad \rho = 0.1 \tag{1}$$

oraz postaci wymuszeń: **typu 1**: $y_r(t) = Y_r \sin(\omega_r t)$, $\dot{y}_r = Y_r \omega_r \cos(\omega_r t)$ oraz **typu 2**: $y_r(t) = Y_r rect(\omega_r t)$, $\dot{y}_r = 0$.

1.1 Wnioski

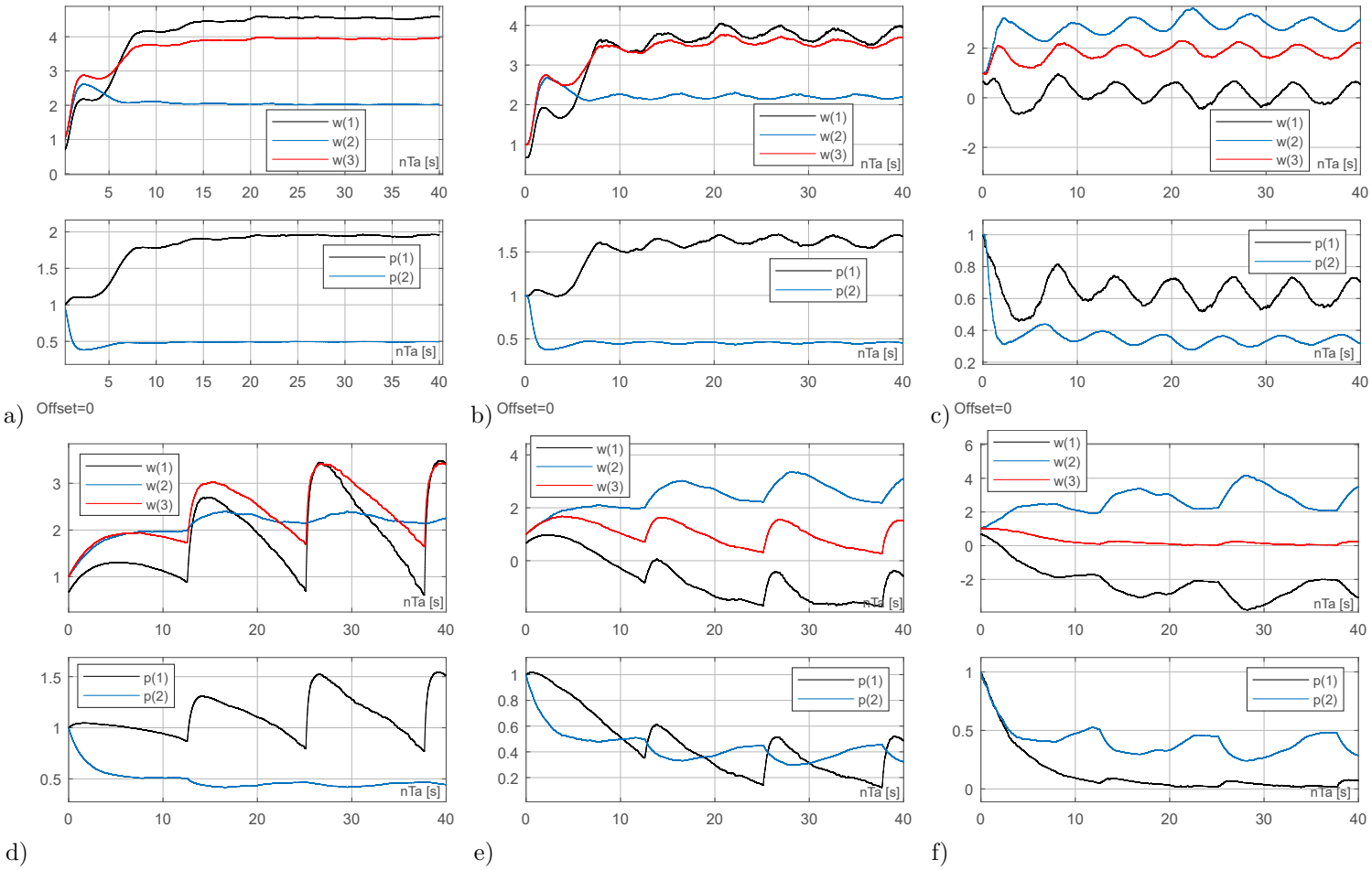
Asymptotyczna zbieżność błędów śledzenia e widoczna jest na rys. 3b, 3h i ulega pogorszeniu wraz ze wzrostem wariancji szumu białego (rys. 3d, 3f, 3j, 3l). Czas ustalenia $T_{s1\%} < \alpha$ (rys. 3h) został spełniony, lecz widoczna jest wrażliwość algorytmu na zakłócenia (rys. 3l), mogące doprowadzić do zmiany wartości tunelu ustalenia. Wraz ze wzrostem wariancji szumu białego, jakość odwzorowania trajektorii referencyjnej ulegała stopniowemu pogorszeniu (rys. 3f, rys. 3l), co ukazuje wrażliwość modelu na zakłócenia. Wpływ szumu białego na estymaty parametrów $\hat{p}$ obiektu ukazany jest na rysunku 1.

Wykorzystanie sterownika ze stałym współczynnikiem p nie spełniło założeń projektowych - uchyb nie zbiegał asymptotycznie do zera (rys. 2b, 2d). Wprowadzenie zmian (*on-line*) parametru w pozwoliło spełnić założenia projektowe.

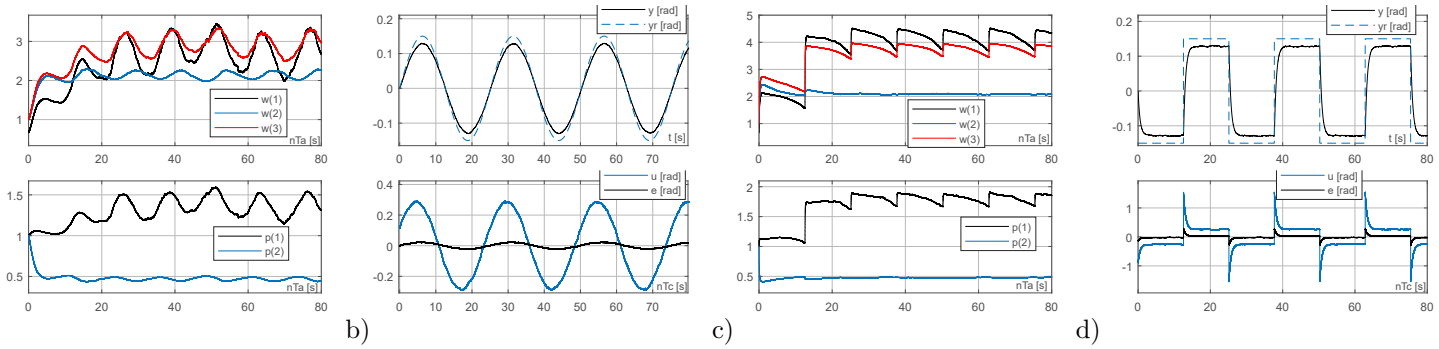
Wpływ czasu T_a na przebiegi estymat parametrów widoczny jest na rys. 4a, 4b - wyraźnie zwiększa oscylacje parametrów w oraz $\hat{p}$. Zwiększenie współczynnika ρ oraz wpływ na amplitudę parametrów sterownika w widoczny jest na rys 4c, 4d.

Podsumowując, schemat sterowania MIAC spełnił założenia projektowe. Widoczna jest wrażliwość układu na wystąpienie szumu, estymaty parametrów znacznie odbiegają od wartości niezaszumionych. Rozwiązaniem tego problemu może być identyfikacja parametryczna metodą zmiennych instrumentalnych.

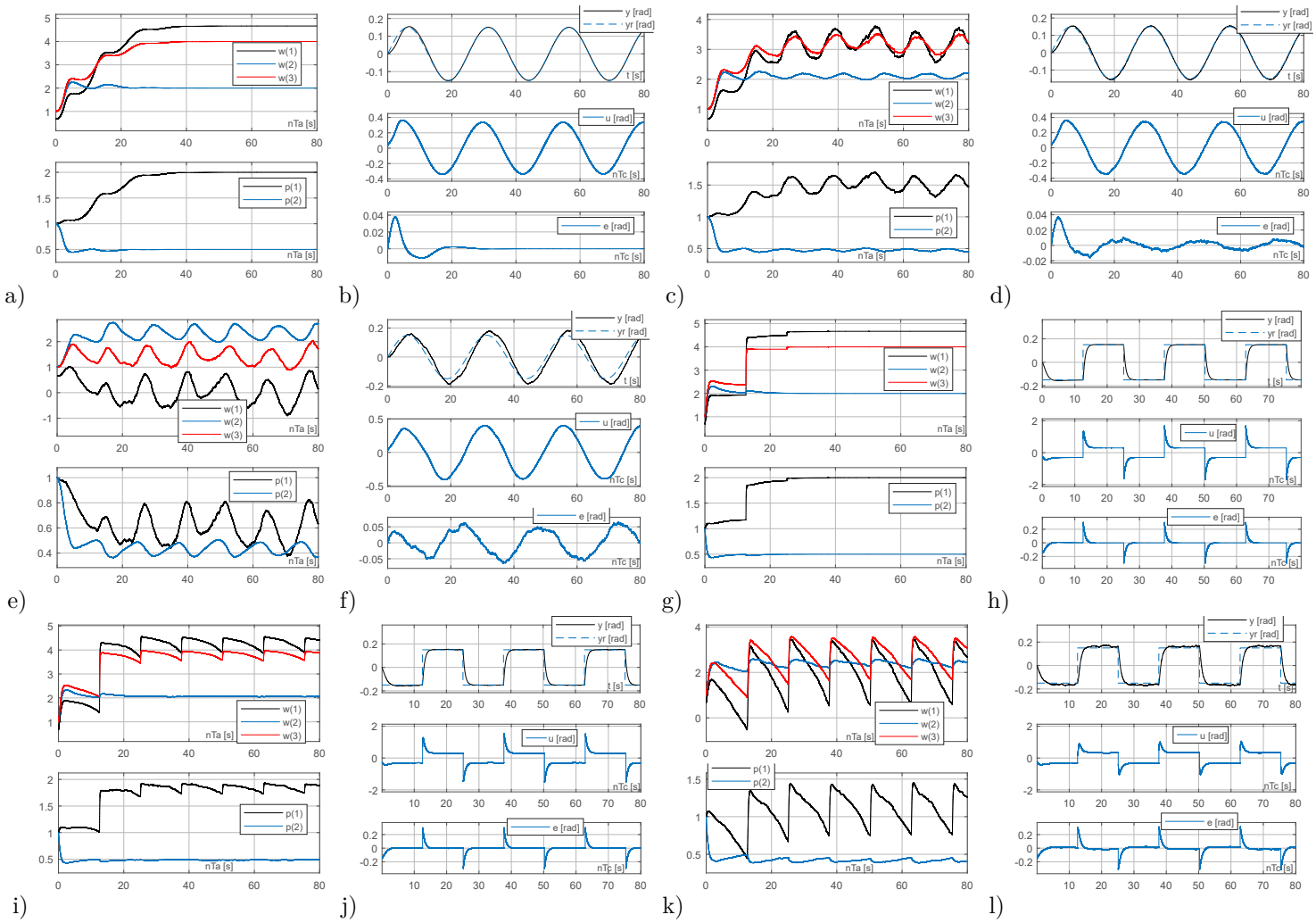
1.2 Prezentacja wyników



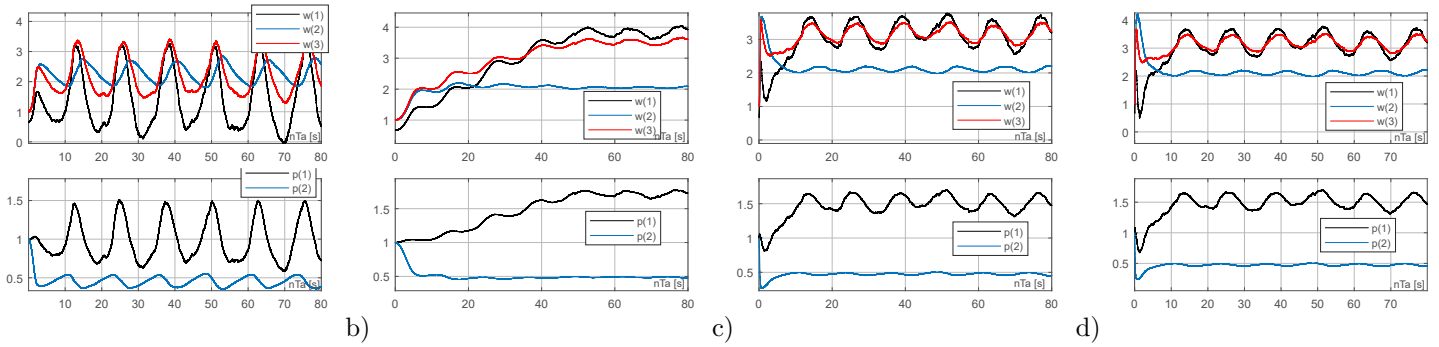
Rysunek 1: Wyniki symulacji bez sterownika dla zakłócenia szumem białym o wariancji (a, d) $\sigma_e^2 = 0.01$, (b, e) $\sigma_e^2 = 0.1$, (c, f) $\sigma_e^2 = 1.0$ dla wymuszenia o wartościach współczynników $Y_r = 1[rad/s]$, $\omega_r = 0.5[rad/s]$ typu 1 **(a-c)** oraz typu 2 **(d-f)**.



Rysunek 2: Wyniki symulacji z blokiem sterownika, o wartościach parametru $w = [5 \quad 1 \quad 1]$ dla zakłócenia szumem białym o wariancji $\sigma_e^2 = 0.01$. Wymuszenia o wartościach współczynników $Y_r = 0.15[rad/s]$, $\omega_r = 0.25[rad/s]$ typu 1 **(a, b)** oraz typu 2 **(c, d)**.



Rysunek 3: Wymuszenia o wartościach współczynników $Y_r = 0.15[rad/s]$, $\omega_r = 0.25[rad/s]$ typu 1 **(a-f)** oraz typu 2 **(g-l)**. Symulacja przeprowadzona z blokiem sterownika z adaptacyjną zmuaną (*on-line*) parametru w, dla zakłócenia szumem białym o wariancji (a, b, g, h) $\sigma_e^2 = 0.0$, (c, d, i, j) $\sigma_e^2 = 0.01$, (e, f, k, l) $\sigma_e^2 = 0.1$. Przebiegi współczynnika w, estymat parametrów $\hat{p}$ (a, c, e, g, i, k) oraz zadanej trajektorii referencyjnej y_r oraz pozycji obiektu y, sygnału sterującego u oraz błędu śledzenia e (b, d, f, h, j, l).



Rysunek 4: Wpływ parametrów T_a a) 0.002, b) 0.01 oraz $\rho =$ c) 10, d) 20 na przebiegi estymat parametrów $\hat{p}$ oraz współczynnika w.

2 Active/Adaptive Disturbance Rejection Control (ADRC)

Celem tego ćwiczenia jest zaprojektowanie sterowania w systemie ze sterownikiem ADRC oraz jego weryfikacja. W schemacie ADRC proces adaptacji wynika z odpowiedniego aktualizowania „on-line" dodatkowego sygnału sterującego odpowiedzialnego za kompensację tak zwanego całkowitego zakłócenia, w którego skład wchodzą wszelkie niewiadome i niepewności parametryczne badanego obiektu. W symulacji przyjęto następujące wartości parametrów:

$$\theta_{10} = -0.018[rad], \quad \theta_{20} = 0.01[rad], \quad \hat{\theta}_{60} = 0.425[rad], \quad \alpha = 2[s]$$

oraz postaci wymuszeń: typu 1: $y_r(t) = Y_r \sin(\omega_{rt})$, typu 2: $y_r(t) = H(s)[Yr(t)rect(\omega_{rt})]$, gdzie H jest filtrem liniowym trzeciego rzędu.

2.1 Wnioski

Wykresy błędów śledzenia (Rys 5.) zbliżają się w okolice zera, jednak asymptotycznie do niego nie zmierzają. Oscylują one wokół niego w jakimś stałym tunelu wartości przy dużym współczynniku μ. Z jego obniżeniem, błąd zbliża się ku zeru. Przebiegi estymat zmiennych stanu w dobry sposób odwzorowują ich faktyczne wartości, lecz asymptotycznie do nich nie zmierzają. Najmniej dokładne są estymaty trzeciej zmiennej stanu, o którą system został rozszerzony, czyli całkowitego zakłócenia. Na Rys 5. można zaobserwować wpływ współczynnika μ. Wraz z jego wzrostem pogarsza się sterowanie systemu, co szczególnie widoczne jest na wykresach błędu śledzenia oraz błąd estymacji zmiennych stanu. Sygnał sterujący na wyjściu ze sterownika również jest bardziej niespokojny dla większych wartości μ.

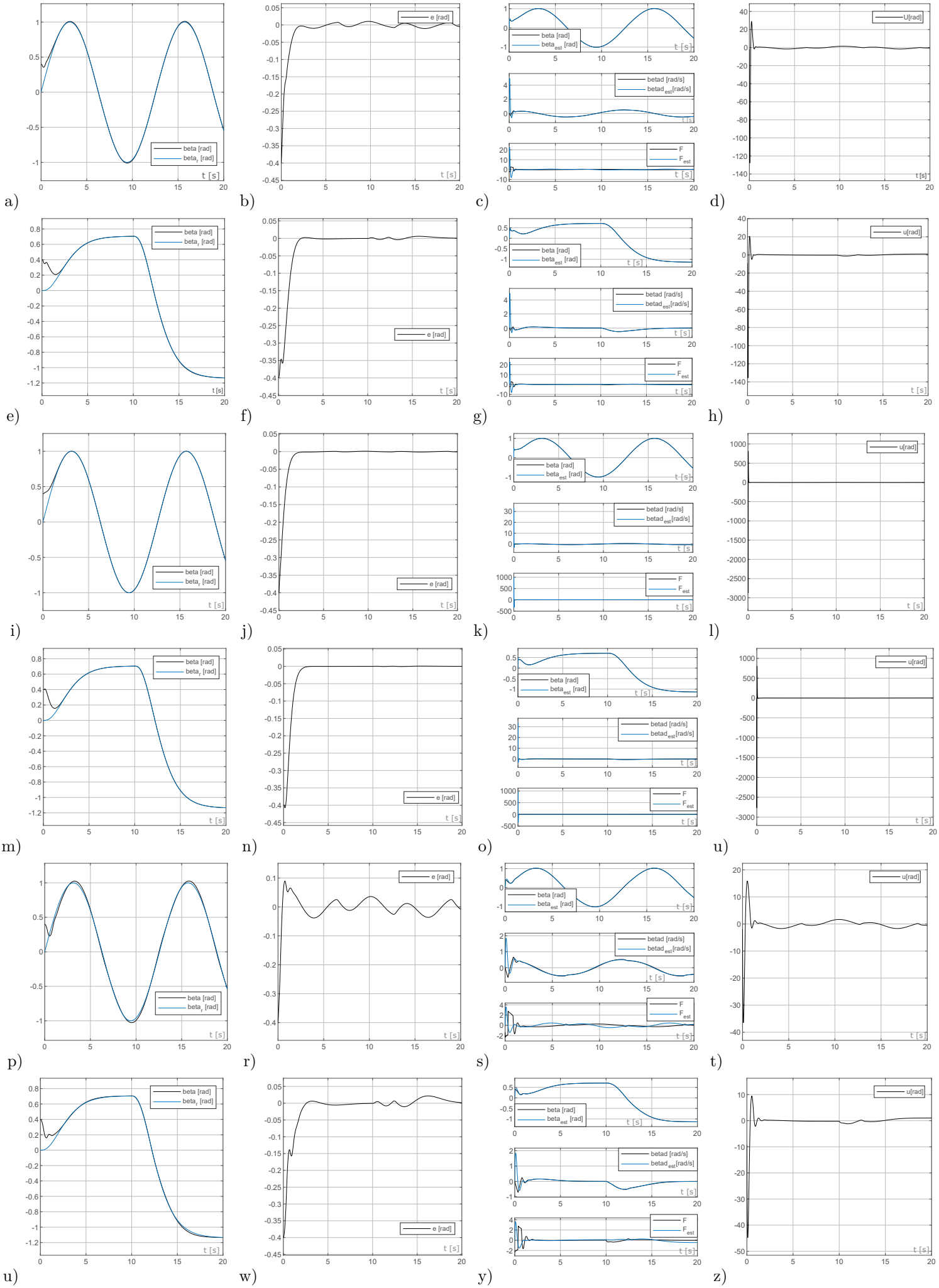
Czas ustalania się wartości błędu śledzenia dla systemu z zamkniętą pętlą kompensacji spełnia warunek $T_{s1\%} \approx \alpha$. Otwarcie pętli negatywnie wpływa na odwzorowywanie przez system zadanej trajektorii, co widoczne jest na porównaniu Rys 5 i 6, dla których przyjęto te same wartości parametru $\mu = 0.2$.

Poprzez dodanie dodatkowego zakłócenia system stał się delikatnie bardziej ospały oraz z większym błędem odwzorowuje trajektorię zadaną. Zakłócenie negatywnie wpłynęło również na estymaty zmiennych stanu $\hat{x}_2$ oraz $\hat{x}_3$. W przypadku $\hat{x}_1$ jest to mniej widoczne. W przypadku dodanych zakłóceń otwarcie pętli kompensacji po raz kolejny pogorszyło jakość otrzymywanych wyników (Rys 7.).

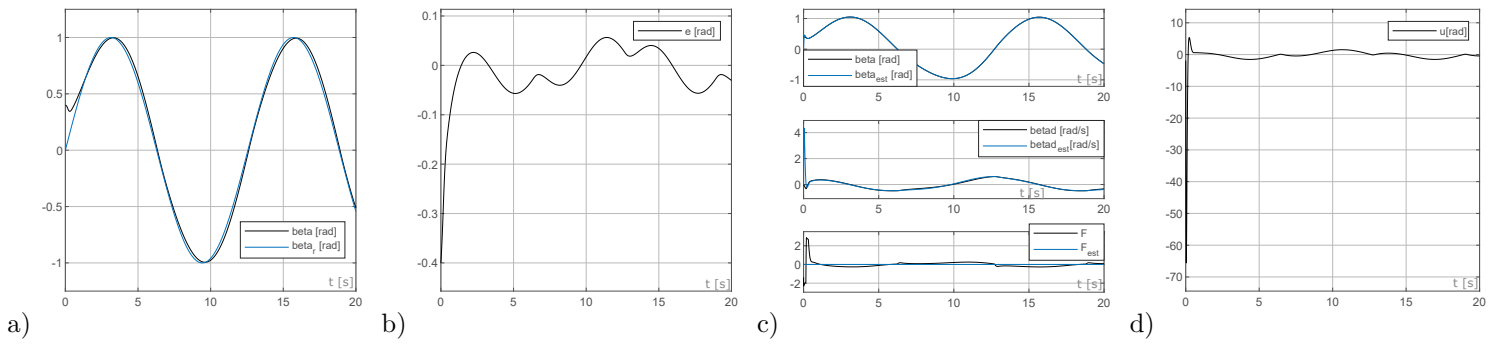
Na Rys 8. Można zaobserwować wpływ wartości czasu próbkowania na odpowiedź systemu w metodzie ADRC. Wraz ze zwiększeniem Ta sterowanie systemu pogorszyło się. Oznacza to, że użycie wystarczająco małych wartości czasu próbkowania jest korzystne dla metody ADRC w czasie dyskretnym. W przypadku zmniejszenia wartości czasu próbkowania Ta zaczyna się również pojawiać zjawisko chatteringu, co jest najbardziej widoczne na sygnałach sterujących, błędu śledzenia oraz estymat zmiennych stanu.

Podsumowując, model ADRC poprzez odpowiednią kompensację całkowitego zakłócenia oraz aktualizowanie „on-line" sygnału sterującego zapewnia dobre odwzorowanie trajektorii przy odpowiednim dostrojeniu parametrów takich jak μ, ω_c oraz macierz L w przypadku czasu ciągłego czy czas próbkowania w przypadku czasu dyskretnego.

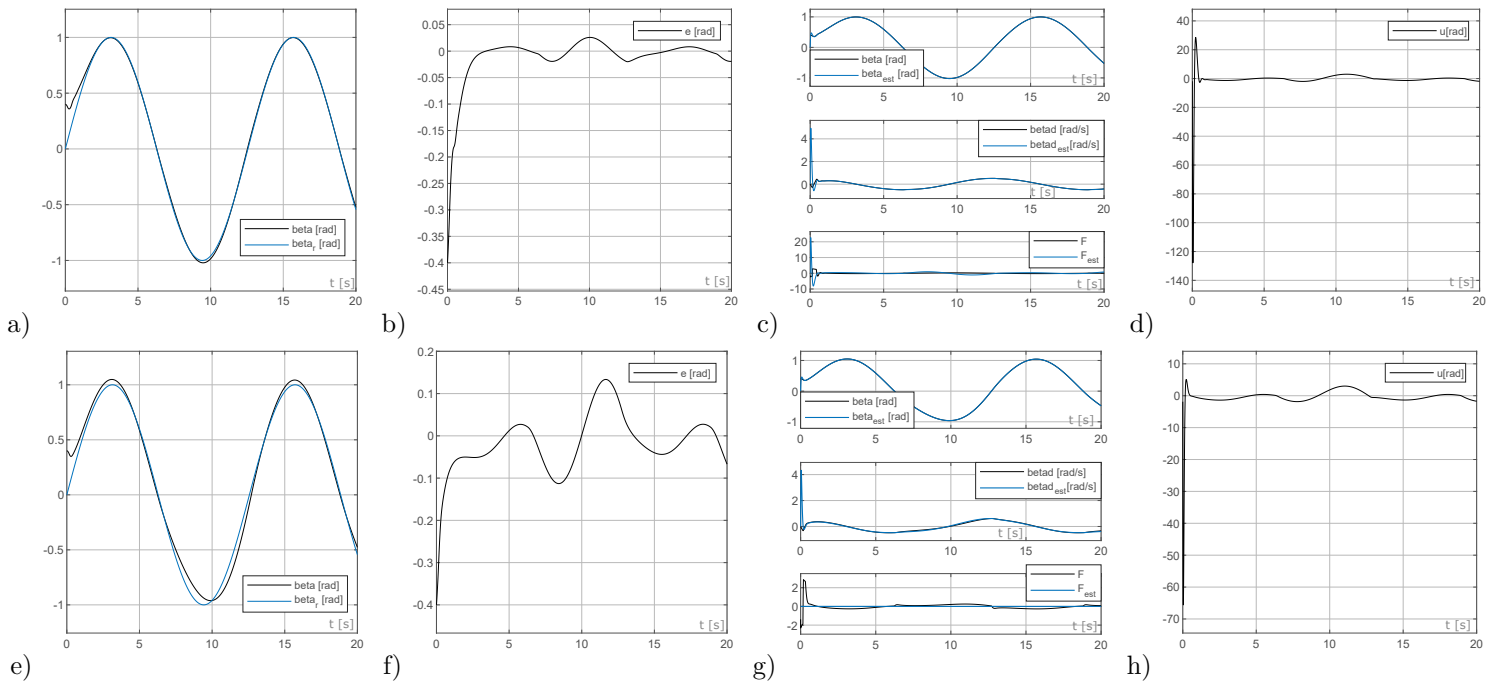
2.2 Prezentacja wyników



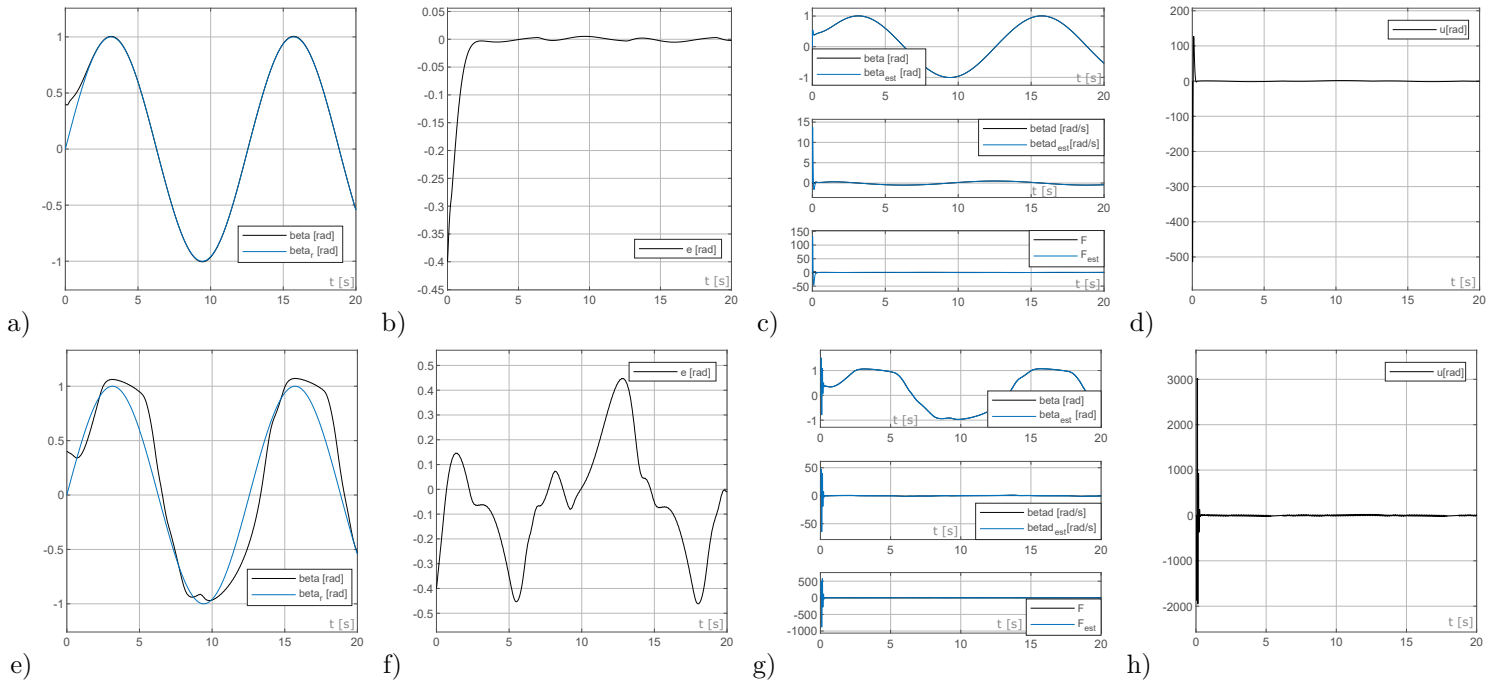
Rysunek 5: Wyniki symilacji sterowania systemi w czasie ciągłym z parametrami początkowymi oraz zmiennym współczynnikiem mi: (a-d) – sygnał typu 1 ze współczynnikiem $\mu = 0.2$ (e-h) - typ2 ze współczynnikiem $\mu = 0.2$ (i-l) – typ1 $\mu = 0.03$ (m-n) – typ2 $\mu = 0.03$ (p-t) – typ1 $\mu = 0.5$(u-z) typ2 $\mu = 0.5$



Rysunek 6: Sygnał typu1 ze współczynnikiem $\mu = 0.2$ oraz otwartą pętlą kompensacji a) $\mu = 0.2$, dodanie zakłócenia zewnętrznego d b) $\mu = 0.2$, dodanie zakłócenia zewnętrznego d oraz otwarcie pętli kompensacji



Rysunek 7: (a-d) – sygnał typu1, $\mu = 0.2$, dodane zakłócenie zewnętrzne d, (e-f) – sygnał typu 1, $\mu = 0.2$, dodane zakłócenie zewnętrzne z otwartą pętlą kompensacji



Rysunek 8: (a-d) – sygnał typu 1 w czasie dyskretnym o czasie próbkowania $T_a = 0.01[s]$ oraz parametrze $\mu = 0.1$, (e-h) – typ 1 w czasie dyskretnym, $T_a = 0.04$, $\mu = 0.1$