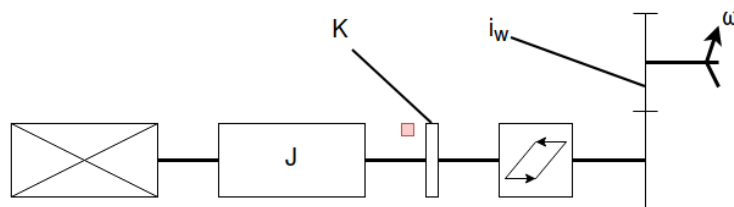


Numer ćwiczenia	1	Tytuł ćwiczenia: Modelowanie i identyfikacja 1	
Data wykonania ćwiczenia:	08.03.2022	Imię, nazwisko: 1) Mateusz Obszański 2) Mateusz Głuch	
Data oddania sprawozdania:	15.03.2022		
Kierunek/ Specjalizacja:	AiR/ ISS 1a		

1. Modelowanie układu

1.1. Układ jako całość

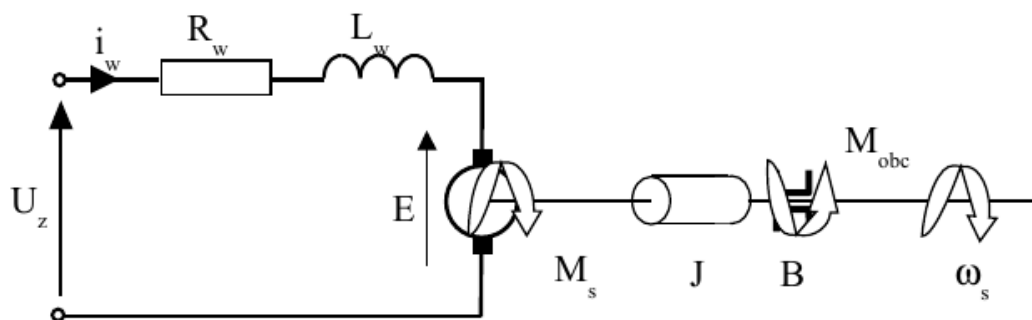
Układ silnika DC z obciążeniem można rozważać jako układ kilku elementów połączonych ze sobą szeregowo:



Rys 1. Uproszczony schemat ideowy układu stanowiska

- silnika elektrycznego DC – napędu
- mosiężnego walca – elementu obciążającego
- hamulca magnetycznego – elementu obciążającego
- tarczy z luzem – elementu nieliniowego
- przekładni

1.2. Silnik elektryczny DC – model standardowy



Rys 2. Schemat ideowy silnika elektrycznego DC z obciążeniem

Silnik elektryczny prądu stałego jest opisywany przez odpowiednio równania części elektrycznej i mechanicznej.

Część elektryczna:

$$U_{we} = Ri + L \frac{di}{dt} + k_e \omega$$

Gdzie:

U_{we} – napięcie na wejściu silnika (zadane jako % wypełnienia PWM)

R – rezystancja uzwojenia silnika

L – indukcyjność uzwojenia silnika

k_e – stała elektryczna silnika

Część mechaniczna:

$$k_m i = J \frac{d\omega}{dt} + D\omega + M_o$$

Gdzie:

 k_m – stała mechaniczna silnika J – moment bezwładności wirnika (obciążenia) D – współczynnik tarcia wiskotycznego M_o – moment obciążający

Przy obraniu zmiennych stanu: $x_1 = i$, $x_2 = \omega$ oraz wyjścia: $y = \omega$ możliwe jest przekształcenie powyższych równań do postaci równań stanu:

$$\dot{X} = AX + BU$$

$$Y = CX$$

Gdzie powyższe macierze przybierają postać:

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{k_e}{L} \\ \frac{k_m}{J} & -\frac{D}{J} \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} & 0 \\ 0 & \frac{1}{J} \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix}$$

1.3.Element obciążający – mosiężny walec

Mosiężny walec znajdujący się na wale wyjściowym silnika można potraktować jako element podlegający II prawu Newtona dla ruchu obrotowego:

$$J * \dot{\omega} = M$$

Gdzie:

 J – moment bezwładności ciała (tutaj walca) ω – prędkość kątowa ciała (wałca) M – moment napędzający ciało

Dla jednorodnego walca o masie m , moment bezwładności wyraża się wzorem:

$$J = \frac{1}{2}mr^2$$

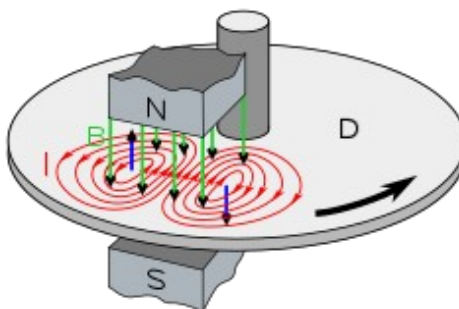
Biorąc pod uwagę gęstość materiału, z którego jest wykonany walec:

$$J = \frac{1}{2}\rho V r^2 = \frac{\pi}{2}\rho H r^4$$

Gdzie:

 ρ – gęstość materiału H – wysokość walca r – promień walca

1.4.Element obciążający – hamulec magnetyczny



Rys. 3 Przykładowy hamulec magnetyczny

Zasada działania hamulca magnetycznego opiera się na zastosowaniu w praktyce prawa Faradaya, gdzie podczas ruchu niemagnetycznej tarczy przez pole magnetyczne indukowany jest w niej prąd indukujący pole magnetyczne przeciwdziałające zmianie pola magnetycznego (reguła Lenza). Zgodnie z prawem Faradaya:

$$E = \frac{d\Phi_B}{dt}$$

Gdzie:

E – SEM indukowana w pierścieniu

Φ_B – strumień pola magnetycznego przechodzący przez pierścień

Zgodnie z prawem Ohma, natężenie indukowane w pierścieniu jest proporcjonalne do SEM indukowanej, zaś ze względu na zastosowanie w hamulcu magnetycznym magnesu stałego, indukcja pola magnetycznego nie ulega zmianie. Oznacza to, że jedynym czynnikiem mogącym wpłynąć na zmianę strumienia pola magnetycznego w czasie jest prędkość kątowa tarczy:

$$\frac{d\Phi_B}{dt} = B * \frac{dA}{dt} = k * \omega; k = const$$

Łącznie z poprzednimi rozważaniami, można założyć, że moment działający na tarczę w wyniku ruchu przez tarczę hamulca będzie proporcjonalny do prędkości kątowej:

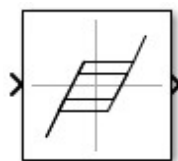
$$M = k * \omega; k = const$$

1.5.Element nieliniowy – tarcza z luzem

Tarczę z luzem można zamodelować jedynie poprzez analizę jej zachowania podczas pracy jako elementu ze strefą martwą, dla którego szerokość tej strefy pozostaje stała, natomiast jej brzegi przemieszczają się razem z wejściem:

Zachowanie tarczy z luzem		
Stan	Wejście	Wyjście
Luz	Wewnątrz strefy martwej	Pozostaje stałe
Styk - rosnący	Rosnące, po prawej stronie strefy martwej	Równe wejściu pomniejszonemu o połowę szerokości strefy martwej
Styk - malejący	Malejące, po lewej stronie strefy martwej	Równe wejściu powiększonemu o połowę szerokości strefy martwej

Tarcza z luzem tego typu jest modelowana za pomocą bloczka *backlash* w pakiecie Simulink:



Rys. 4 Blok *backlash*

Matematyczny opis elementu:

$$\begin{cases} \dot{y} = \dot{x} \Leftarrow x < x_0 + \frac{a}{2} \wedge \dot{x} > 0 \\ \dot{y} = 0 \Leftarrow y \in (x_0 - \frac{a}{2}; x_0 + \frac{a}{2}) \\ \dot{y} = \dot{x} \Leftarrow x < x_0 - \frac{a}{2} \wedge \dot{x} < 0 \end{cases}$$

Gdzie:

a – szerokość strefy martwej

y – wyjście

x – wejście

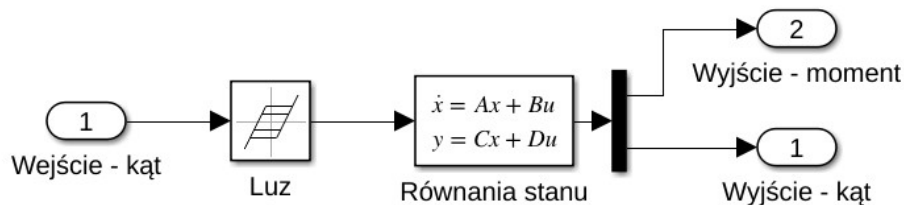
x_0 – wejście w momencie ostatniego rozprzęgnięcia (utruty styku)

1.6.Przekładnia wyjściowa

Przekładnię wyjściową można rozważać jako szeregowy układ następujących obiektów:

- obiektu z luzem (ruchomą strefą martwą)
- obiektu z momentem bezwładności i tarcie wiskotycznym
- izolowanego przełożenia (wzmocnienia)

Ze względu na to, że powyższe elementy zostały omówione powyżej, przedstawiony zostanie jedynie schemat modelowania w pakiecie Simulink:



Rys. 5 Model przekładni

1.7.Element łączący – sprzęgło kłowe elastyczne

Ze względu na wysoką sztywność i bardzo niewielki luz (w porównaniu do tarczy z luzem) elementu łączącego poszczególne segmenty wału wyjściowego silnika, zdecydowano o potraktowaniu sprzęgieł jako elementu sztywnego.

1.8.Łożyskowanie

Dla uproszczenia modelu matematycznego, pod kątem łożyskowania wału poczyniono następujące założenia:

- Wszystkie łożyska generują moment zewnętrzny skupiony, tj. moment od poszczególnych łożysk można potraktować jako pojedynczy
- W łożyskach występuje jedynie tarcie wiskotyczne, tj. proporcjonalne do prędkości kątowej wału

Na podstawie tych założeń można wyprowadzić zależność:

$$M_L = D_L * \omega$$

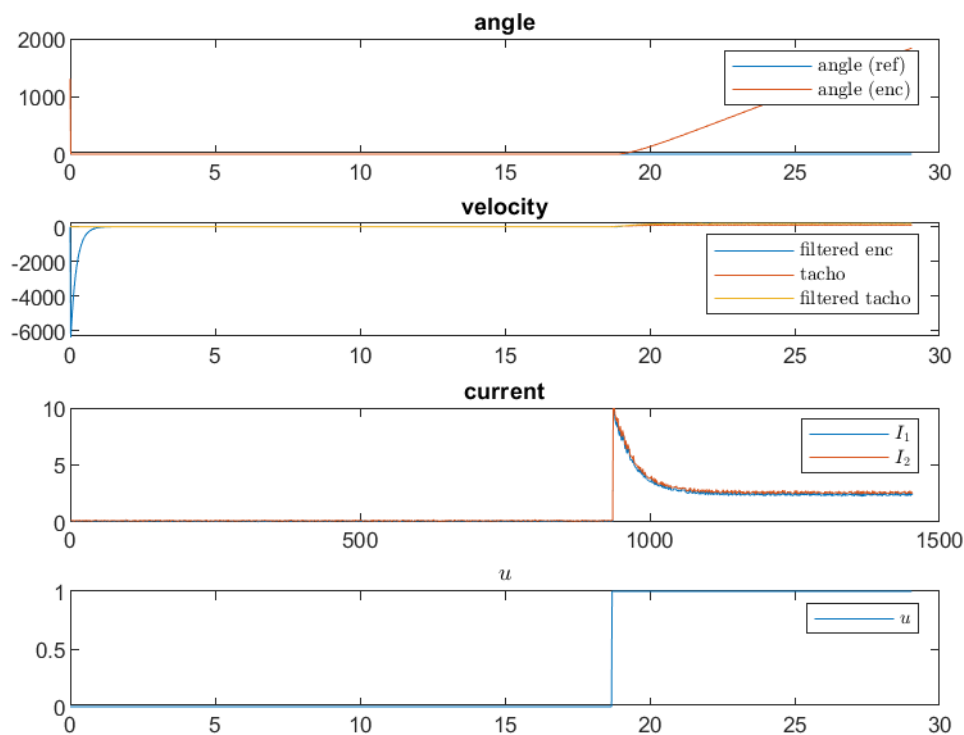
Gdzie:

D_L – współczynnik tarcia wiskotycznego pochodzący od łożysk

M_L – moment oporu pochodzący od łożysk

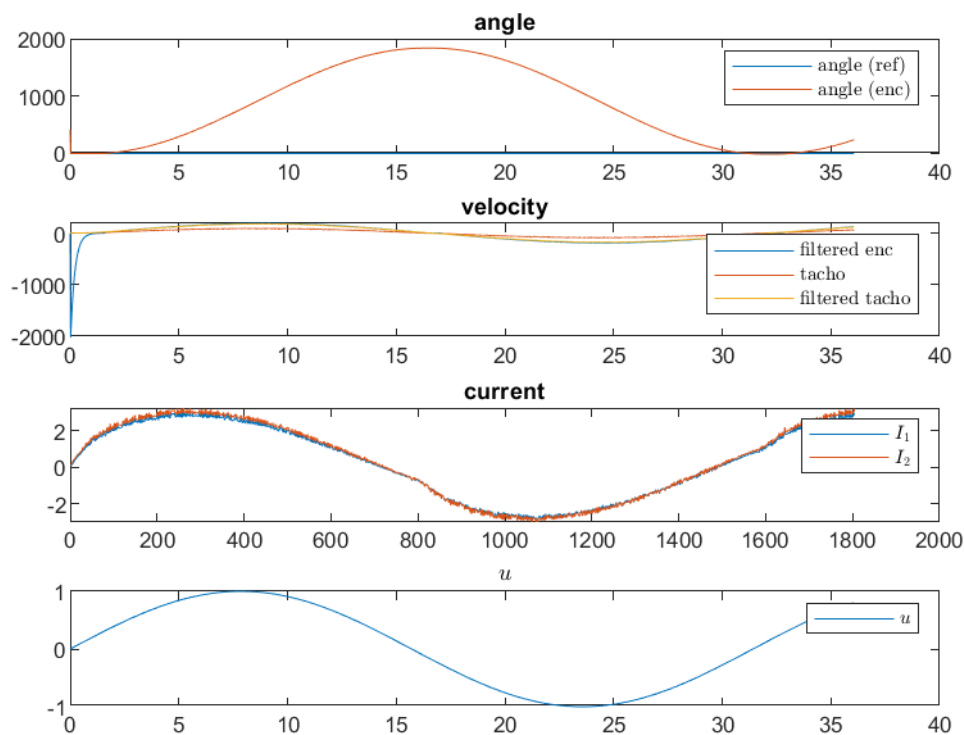
2. Identyfikacja układu

2.1. Odpowiedź skokowa układu

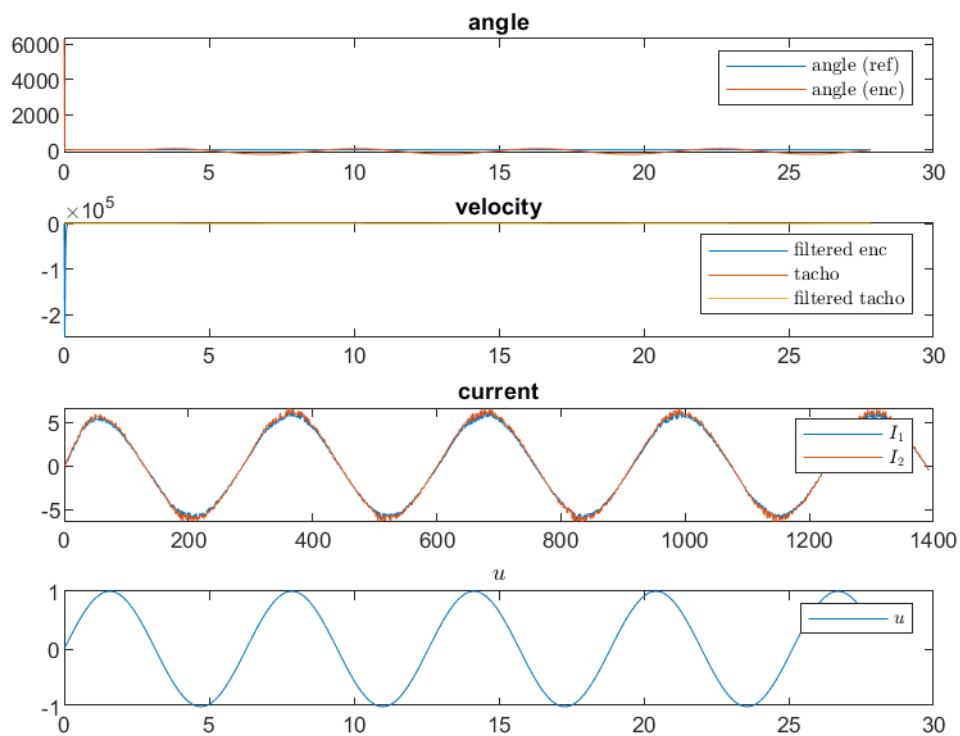


Rys. 6 Przebiegi czasowe – odpowiedź skokowa

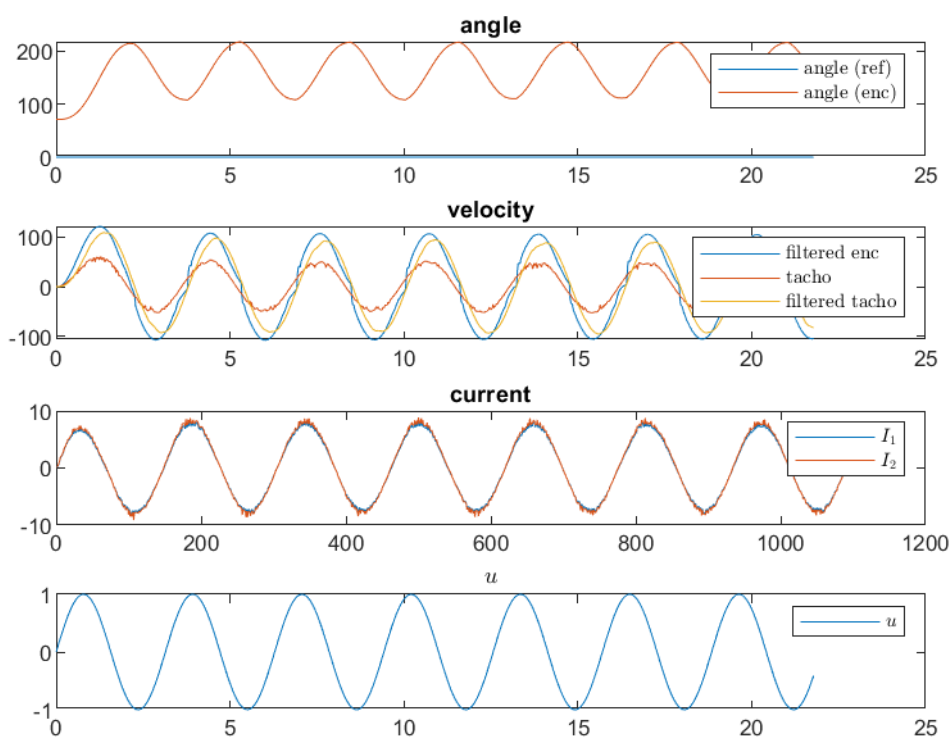
2.2. Odpowiedź układu na sygnał sinusoidalny



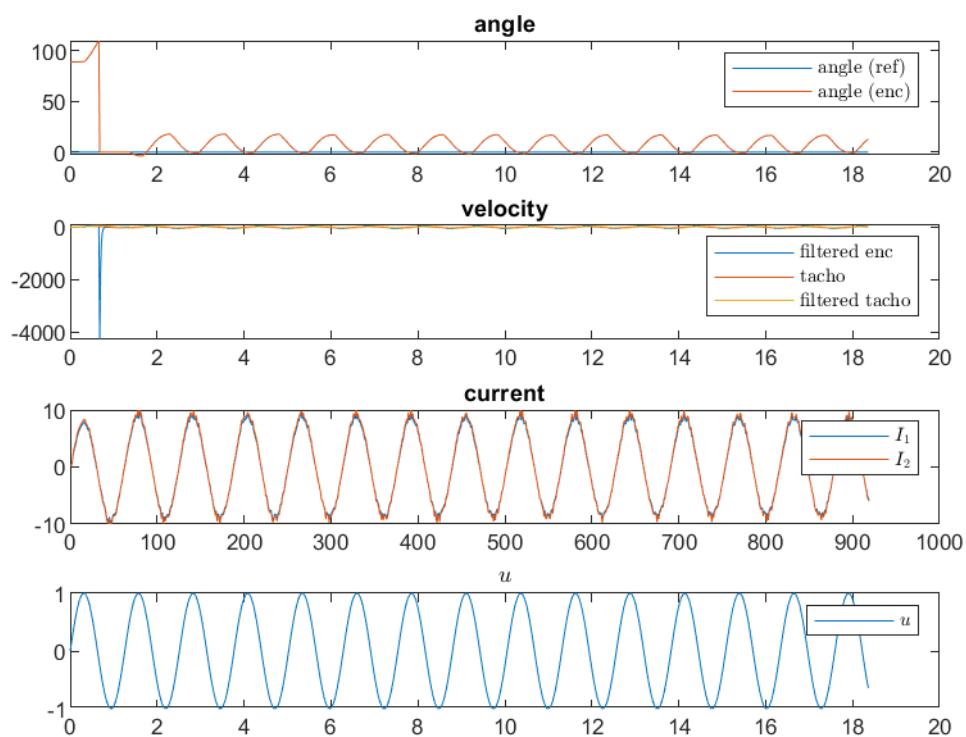
Rys. 7 Przebiegi czasowe – sygnał sinusoidalny 0.2 rad/s



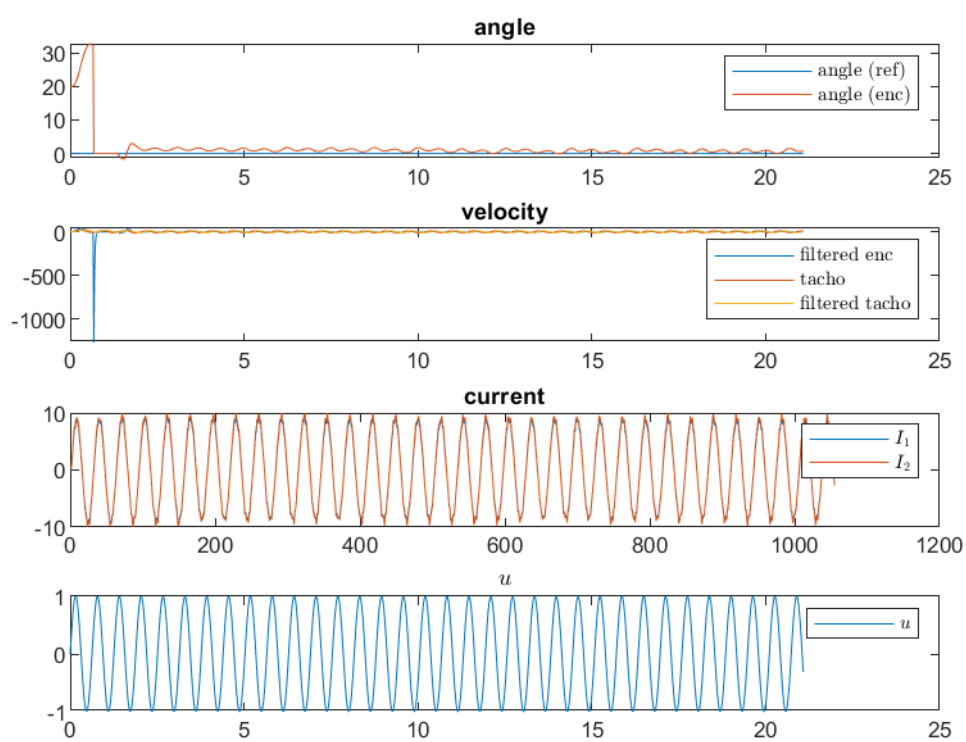
Rys. 8 Przebiegi czasowe – sygnał sinusoidalny 1 rad/s



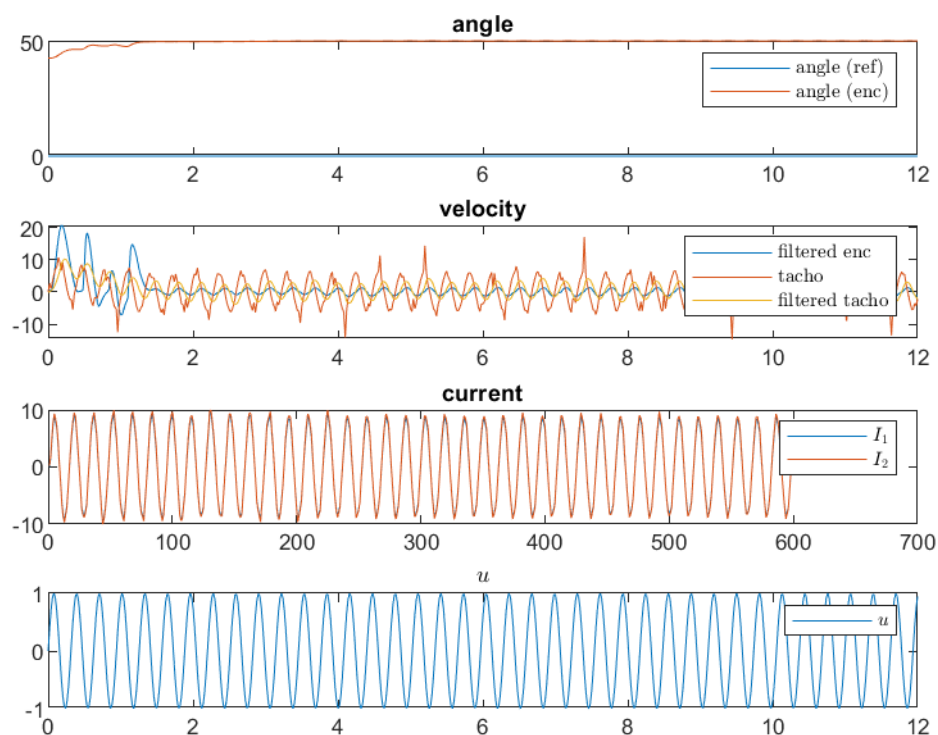
Rys. 9 Przebiegi czasowe – sygnał sinusoidalny 2 rad/s



Rys. 10 Przebiegi czasowe – sygnał sinusoidalny 5 rad/s

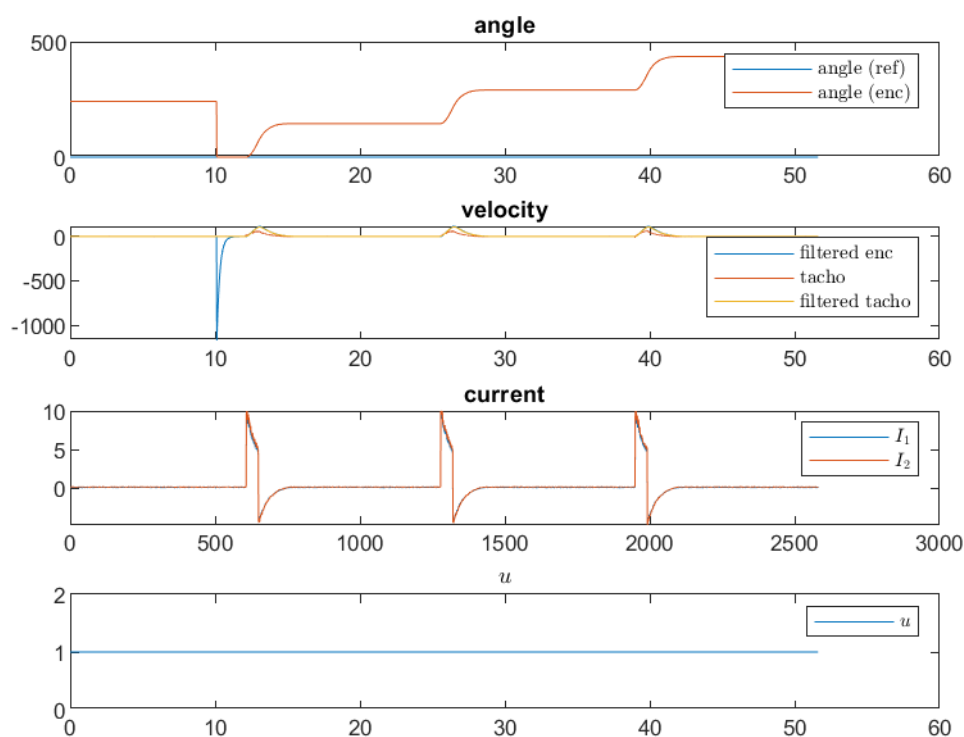


Rys. 11 Przebiegi czasowe – sygnał sinusoidalny 10 rad/s



Rys. 12 Przebiegi czasowe – sygnał sinusoidalny 20 rad/s

2.3. Odpowiedź układu na sygnał PWM o niskiej częstotliwości



Rys. 13 Przebiegi czasowe – odpowiedź na sygnał PWM o niskiej częstotliwości

2.4. Odpowiedź układu na sygnał *chirp* #TODO