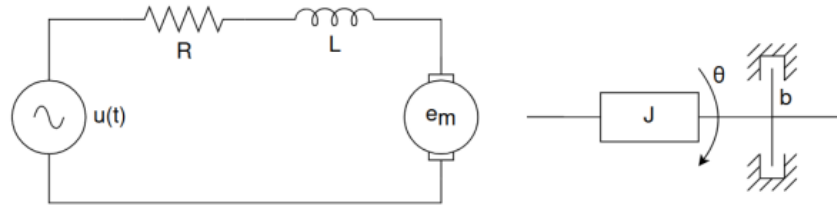


## Sprawozdanie MMM- projekt

Projekt 2. Dany jest model silnika elektrycznego



gdzie moment obrotowy wału zależny jest od prądu w obwodzie elektrycznym jako  $T = K_T i$ , natomiast wsteczna siła elektromotoryczna generowana w obwodzie twornika dana jest jako  $e_m = K_e \theta'$ . Należy opracować model oraz zaimplementować symulację układu pozwalającą na wykreślenie prądu płynącego w obwodzie oraz prędkości kątowej wału silnika. Symulator powinien umożliwiać pobudzenie układu przynajmniej trzema rodzajami sygnałów wejściowych (prostokątny o skończonym czasie trwania, trójkątny, harmoniczny). Symulator powinien umożliwiać zmianę wszystkich parametrów układu oraz sygnałów wejściowych.

### Wyprowadzenie i opis zmiennych:

Równanie elektryczne silnika:  $U = U_R + U_L + e_m$

$$U_R = R \cdot i$$

$$U_L = L \cdot di/dt$$

$$e_m = K_e \cdot \omega_s$$

Z tego wynika, że równanie elektryczne przyjmuje postać:

$$u = R \cdot i + L \cdot di/dt + K_e \cdot \omega_s$$

Z tego wynika, że:

$$di/dt = -(R \cdot i)/L - (K_e \cdot \omega_s)/L + u/L$$

Równanie momentu obrotowego silnika można zapisać w następującej postaci:

$$M_s = M_a + M_v$$

gdzie  $M_s$  - moment obrotowy wirnika,  $M_a$  - moment związany z przyspieszeniem kątowym,  $M_v$  - moment związany z oporami ruchu wirnika

$$M_s = K_m \cdot i$$

$$M_a = J \cdot d\omega_s/dt$$

$$M_v = B \cdot \omega_s$$

Z tego wynika, że równanie przyjmuje postać:

$$K_m \cdot i = J \cdot d\omega_s/dt + B \cdot \omega_s$$

Po przekształceniu:

$$d\omega s/dt = (K_m * i)/J - (B * \omega s)/J$$

Do stworzenia modelu stanowego użyjemy wzorów gdzie:

$$x_1 = i$$

$$x_2 = \omega s$$

$$y = \omega s$$

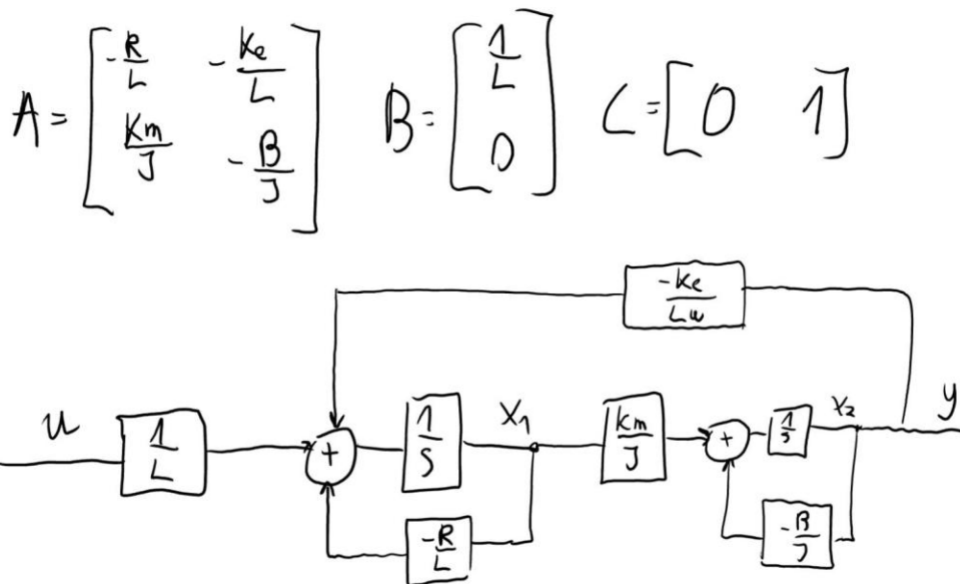
$$u \text{ (wejście)} = u \text{ (napięcie)}$$

Powstają nam wtedy równania:

$$x_1' = -(R * x_1)/L - (K_e * x_2)/L + u/L$$

$$x_2' = (K_m * x_1)/J - (B * x_2)/J$$

Co daje nam następujący model stanowy:



Z danego modelu stanowego możemy obliczyć transmitancję korzystając ze wzoru:

$$G(s) = C * (sI * A)^{-1} * B = K_m / (s^2 * L * J + s * (B * J + R * J) + R * B + K_m * K_e)$$

Układ będzie stabilny, ponieważ parametry  $L$ ,  $J$ ,  $B$ ,  $R$ ,  $K_m$ ,  $K_e$  przyjmują wartości dodatnie, co jest warunkiem wystarczającym na stabilność tego układu.

Równania różniczkowe rozwiązujemy przewidując przebieg funkcji pomiędzy kolejnymi krokami. Korzystamy z twierdzenia Eulera:

```
x1p = -(R * x1[i])/L - (Ke * x2[i])/L + napiecie[i]/L
x2p = (Km * x1[i])/J - (B * x2[i])/J
x1.append(x1[i] + x1p * 0.001)
x2.append(x2[i] + x2p * 0.001)
```

Wyniki równań dodajemy do list, z których następnie rysowane są wykresy. Funkcja "rysuj\_funkcje" tworzy nowy wykres za pomocą "matplotlib.pyplot" i rysuje funkcję na podstawie przekazanych współrzędnych x i y.

Na wejście układu możemy podać 3 rodzaje sygnałów:

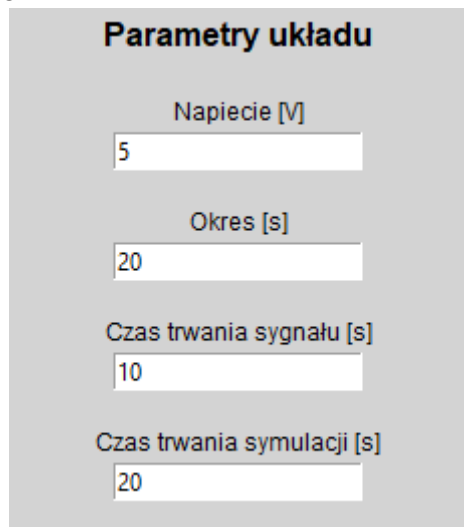
- sygnał sinusoidalny
- sygnał trójkątny
- sygnał prostokątny

Do każdego sygnału możemy dobrać następujące parametry:

- czas trwania
- okres
- amplitudę

### Wnioski i obserwacje:

W celu analizy podajemy sygnał:



The image shows a graphical user interface for setting system parameters. It has a title 'Parametry układu' and four input fields, each with a label and a numerical value:

Label	Value
Napiecie [V]	5
Okres [s]	20
Czas trwania sygnału [s]	10
Czas trwania symulacji [s]	20

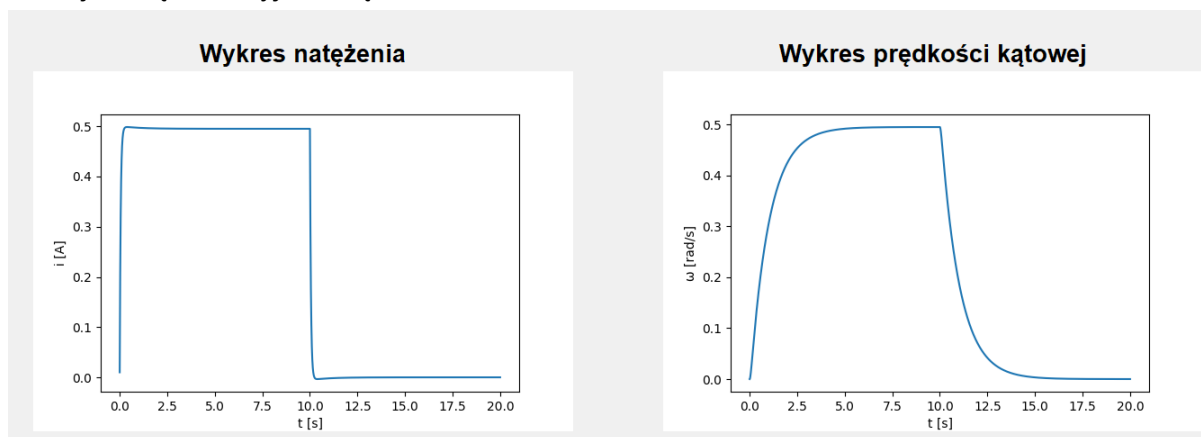
Rys 1. Parametry zadanego sygnału

Oraz inne parametry układu:

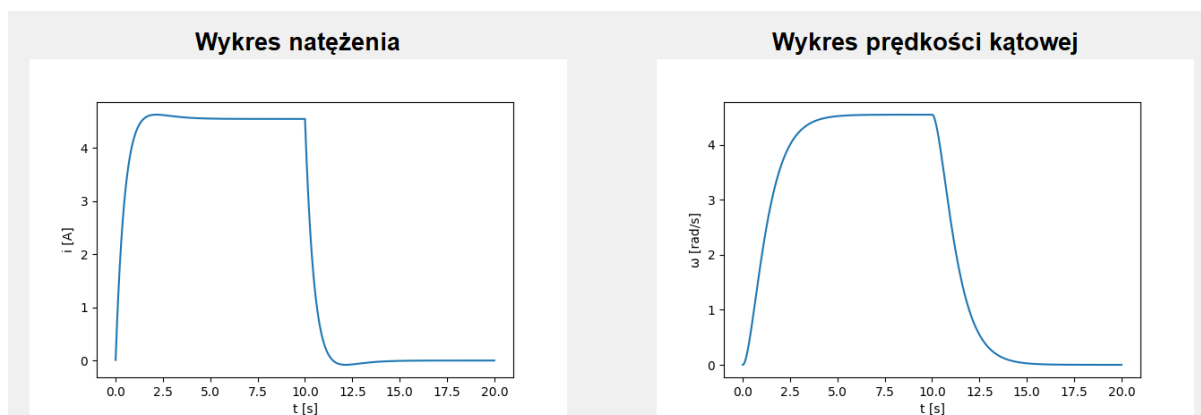
Rezystancja	<input type="text" value="1"/>
Indukcyjność	<input type="text" value="0.5"/>
Moment bezwładności ( J ) [kg*m^2]	<input type="text" value="0.1"/>
Współczynnik tarcia lepkiego ( b ) [Pa * s]	<input type="text" value="0.1"/>
Ke [V * s/rad]	<input type="text" value="0.1"/>
Km [N * m/A]	<input type="text" value="0.1"/>

Rys 2. Parametry układu

Wzrost rezystancji i indukcyjności w obwodzie wirnika spowoduje spadek natężenia prądu płynącego przez ten obwód. Rezystancja ogranicza przepływ prądu, a większa indukcyjność powoduje większe opory dla zmian prądu. Spadek natężenia prądu może mieć wpływ na wydajność silnika, ponieważ mniejszy prąd oznacza mniejszą siłę elektromotoryczną i zmniejszoną moc wyjściową.

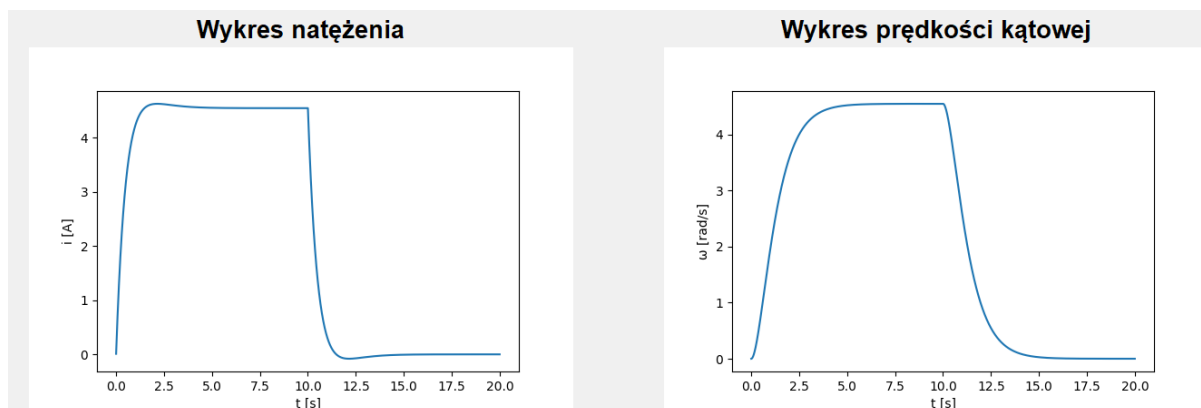


Rys 3. Wykresy natężenia i prędkości kątowej dla  $R=10$

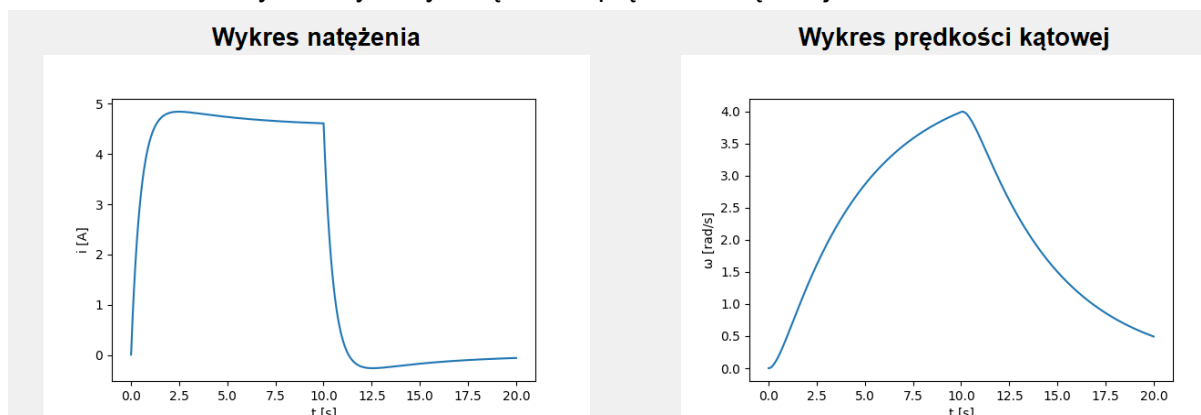


Rys 4. Wykresy natężenia i prędkości kątowej dla  $R=1$

Wzrost momentu bezwładności wirnika spowalnia zmianę prędkości kątowej. W rezultacie silnik potrzebuje większego momentu obrotowego, aby zmienić prędkość kątową. To prowadzi do zmniejszonego przyspieszenia kątowego wirnika. Po wyłączeniu zasilania, spadek prędkości kątowej wirnika będzie zachodził wolniej w przypadku większego momentu bezwładności. Dlatego po wygaśnięciu sygnału zasilania, wirnik o większym momencie bezwładności będzie dłużej utrzymywał obroty niż wirnik o mniejszym momencie bezwładności.

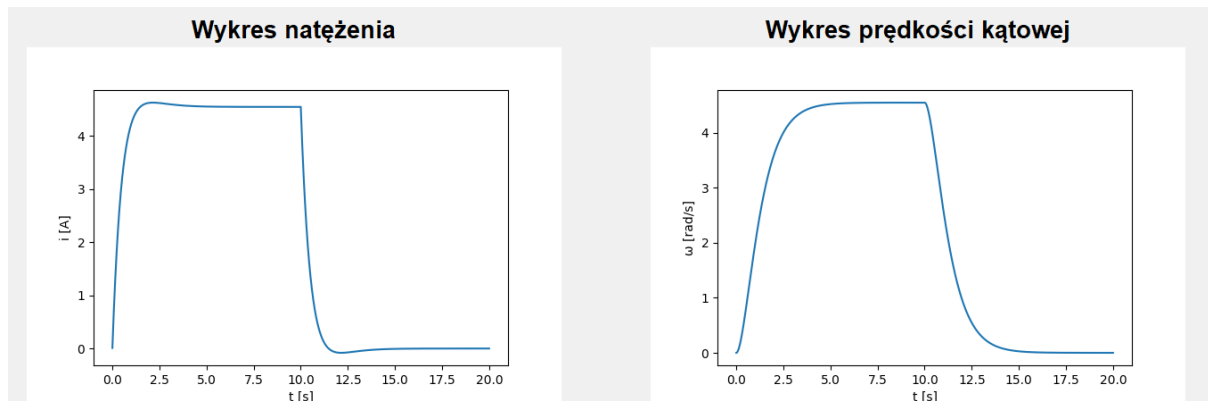


Rys 5. Wykresy natężenia i prędkości kątowej dla  $J = 0.1$

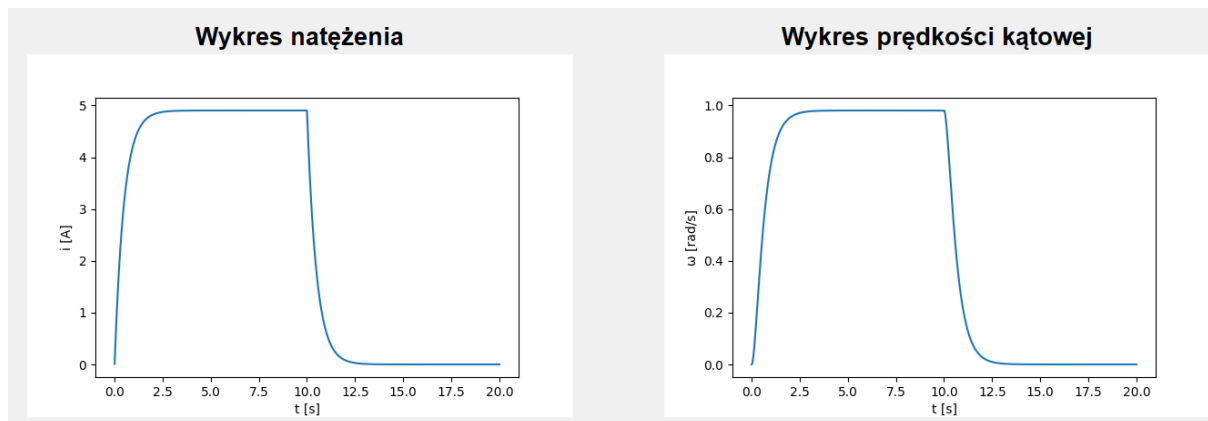


Rys 6. Wykresy natężenia i prędkości kątowej dla  $J = 0.5$

Wzrost współczynnika tarcia lepkiego, który wpływa na opory występujące podczas ruchu obrotowego, powoduje spadek prędkości kątowej wirnika. Tarcie lepkie działa przeciwnie do ruchu, generując opory, które hamują wirnik. Im większy współczynnik tarcia lepkiego, tym większe opory i tym większy spadek prędkości kątowej.

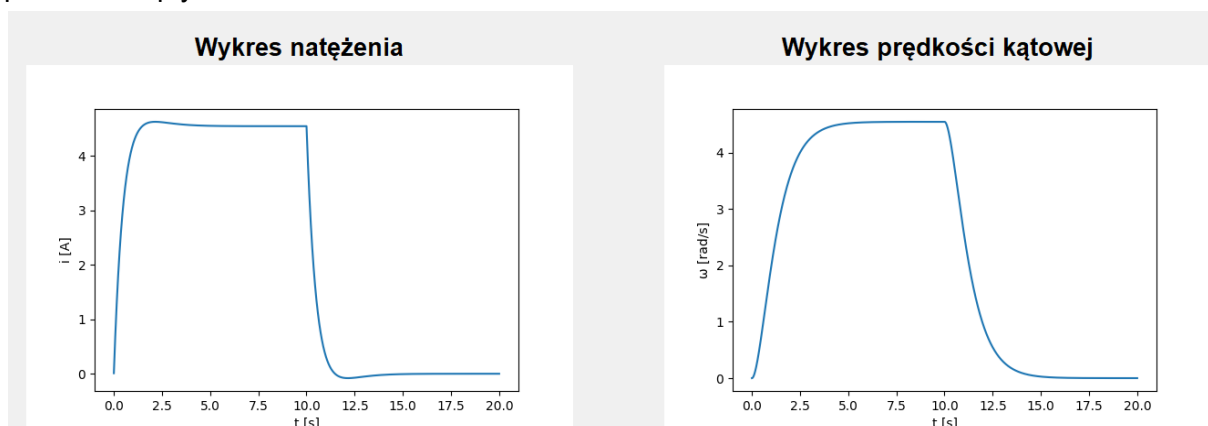


Rys 7. Wykresy natężenia i prędkości kątowej dla  $b = 0.1$

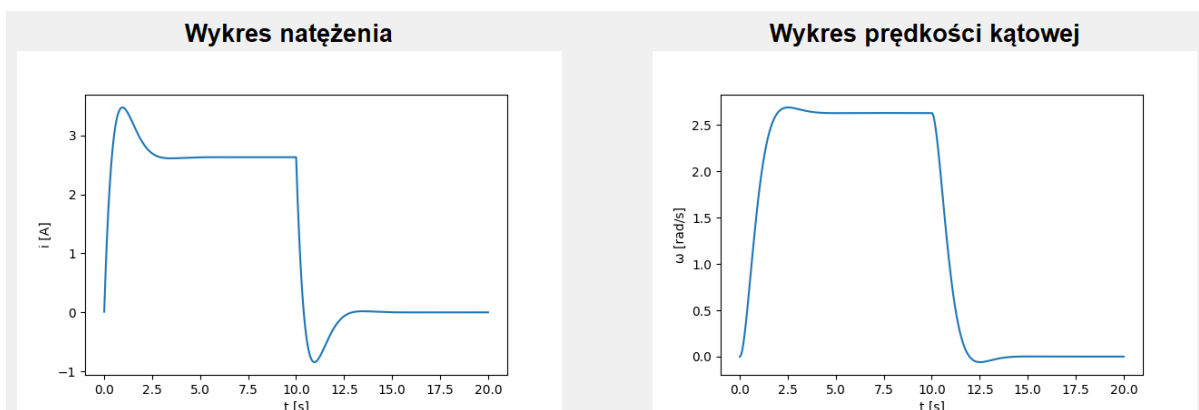


Rys 8. Wykresy natężenia i prędkości kątowej dla  $b = 0.5$

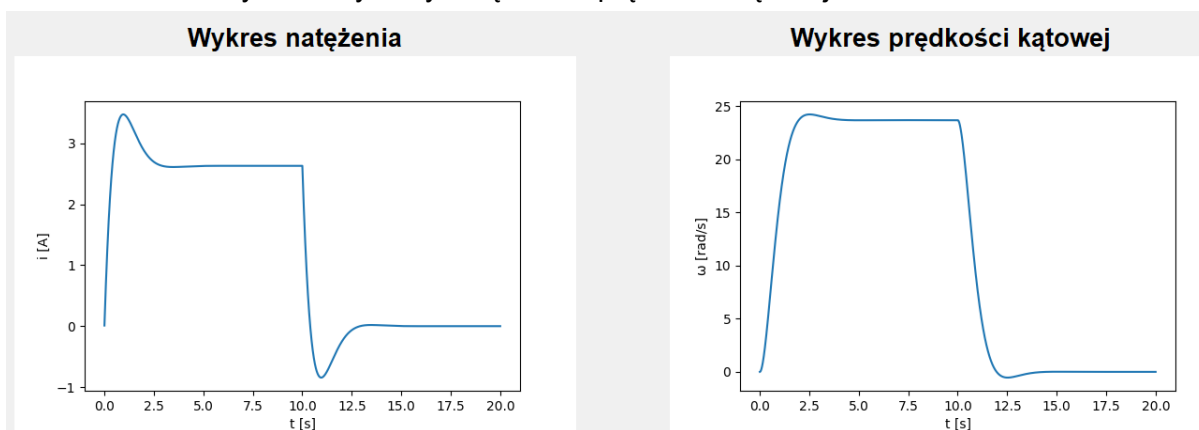
Współczynniki  $K_e$  (stała elektryczna) i  $K_m$  (stała mechaniczna) są charakterystycznymi parametrami silnika. Gdy wartości tych współczynników przekraczają 1, może pojawić się efekt przeregulowania. Przeregulowanie to sytuacja, w której po zmianie sterowania silnikiem, na przykład po zmianie napięcia zasilającego, prędkość kątowa wirnika przekracza docelową wartość przed osiągnięciem równowagi. Przeregulowanie może być niepożądane, ponieważ wpływa na stabilność działania silnika.



Rys 9. Wykresy natężenia i prędkości kątowej dla  $K_e = 0.1$  oraz  $K_m = 0.1$



Rys 10. Wykresy natężenia i prędkości kątowej dla  $K_e = 0.9$



Rys 11. Wykresy natężenia i prędkości kątowej dla  $K_m = 0.9$