

Laboratorium Sterowania Robotów

Laboratorium nr 05

Temat: Synteza sterowania PD, PID dla manipulatora

Celem tematyki laboratorium jest zapoznanie się i testowanie zastosowania regulatorów PD, PID w sterowaniu robotem manipulacyjnym.

Ten rodzaj sterowania można stosować tam, gdzie nie występują bardzo szybkie ruchy, szczególnie w robotach z dużym stopniem przełożenia między napędami a członami. Jest to sterowanie do wykonywania zadań typu „weź i połóż” (ang. pick-and-place) czyli np. przenoszenie, spawanie punktowe, paletyzacja.

1. Sterowanie PD dla 1-go stopnia swobody

Najprostszym podejściem do sterowania ruchem manipulatora o n stopniach swobody jest przyjęcie nieliniowych wyrazów jako zakłócenia wejściowego na silnik i zaprojektowanie niezależnego regulatora dla każdego przegubu.

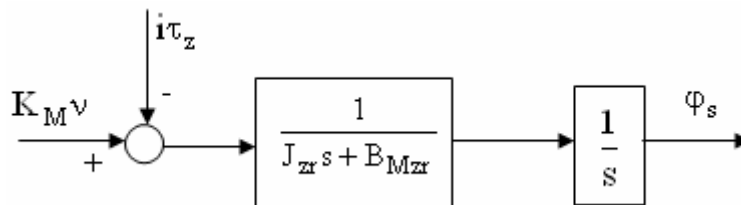
Zaletą tego podejścia jest jego prosta forma, polegająca na tym, że dynamika silników jest liniowa. Zastosujemy syntezę sterowania dla przypadku $n=1$.

Jak wiemy, pojedynczy człon manipulatora napędzany modułem napędowym możemy opisać modelem matematycznym w postaci

$$J_{zr}\ddot{\varphi}_s + B_{Mzr}\dot{\varphi}_s = K_M v(t) - i\tau_z \quad (1)$$

gdzie: τ_z jest zakłóceniem $\tau_z = G(i\varphi_s)$, $J_{zr} = J_s + i^2 J_A$ jest zredukowanym momentem bezwładności, $B_{Mzr} = ai^2 + B_M$ jest zredukowaną formą oporów ruchu.

Na rys. 1 pokazano schemat blokowy otwartego układu sterowania.

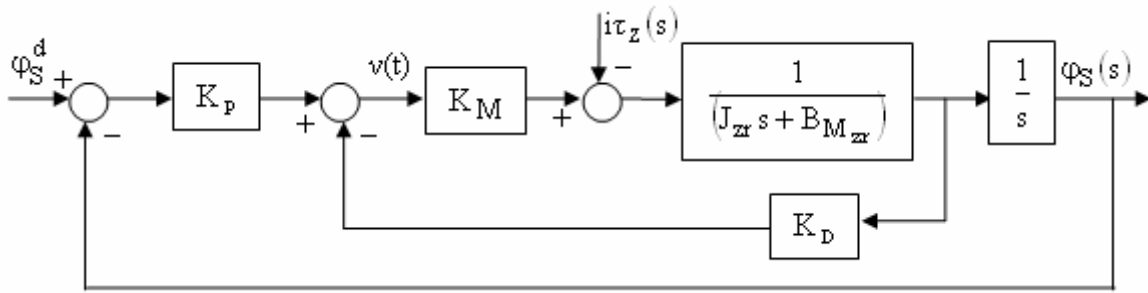


Rys. 1. Schemat blokowy układu otwartego

Przyjmujemy sterowanie PD

$$v(s) = K_p E(s) - K_D s\varphi_s(s) \quad (2)$$

gdzie $E(s)$ jest transformatą uchybu, K_p , K_D są odpowiednio współczynnikami wzmacnienia działania proporcjonalnego (P) i różniczkującego (D). Wynikowy układ w pętli zamkniętej jest pokazany na rys. 2.



Rys. 2. Układ z zamkniętą pętlą i sterowaniem PD

Na podstawie analizy układu zamkniętego możemy wyznaczyć równanie charakterystyczne

$$D(s) = J_{zr}s^2 + (B_{Mzr} + K_M K_D)s + K_M K_p \quad (3)$$

Układ zamknięty będzie stabilny dla wszystkich dodatnich wartości współczynników K_p , K_D oraz ograniczonych zakłóceń, a uchyb nadążania będzie równy

$$E(s) = \frac{J_{zr}s^2 + (B_{Mzr} + K_M K_D)s}{D(s)} \varphi_s^d(s) + \frac{i\tau_z(s)}{D(s)} \quad (4)$$

dla skoku jednostkowego $\varphi_s^d(s) = \varphi^d/s$, uchyb w stanie ustalonym spełnia zależność

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} sE(s) = \frac{i\tau_z}{K_M K_p}$$

Współczynniki wzmocnienia K_p i K_D mogą być wyznaczone z wyrażenia

$$s^2 + (B_{Mzr} + K_M K_D)s/J_{zr} + K_M K_p/J_{zr} = s^2 + 2\zeta \omega s + \omega^2 \quad (5)$$

jako

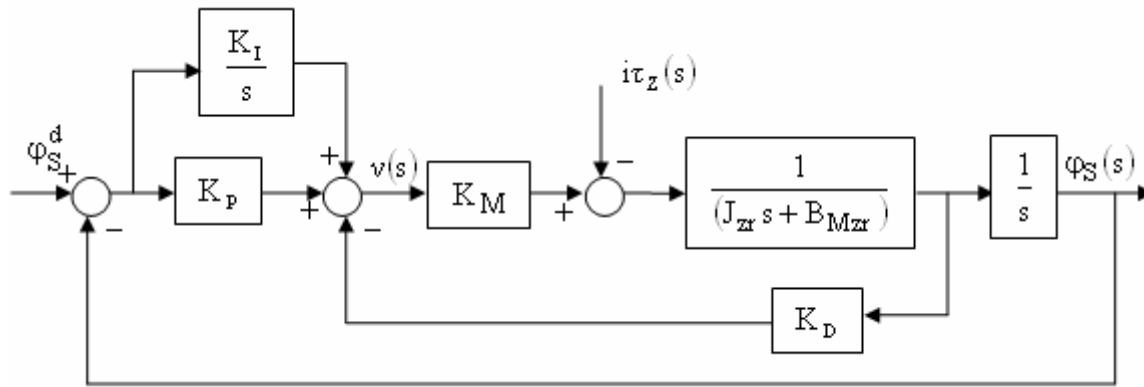
$$K_p = \frac{\omega^2 J_{zr}}{K_M}, \quad K_D = \frac{2\zeta \omega J_{zr} - B_{Mzr}}{K_M} \quad (6)$$

Zwykle w zastosowaniach do robotyki przyjmuje się $\zeta = 1$, tak że odpowiedź jest tłumiona krytycznie. Zgodnie z regułą praktyczną, jeśli najniższy rezonans strukturalny wystąpi przy ω_{rez} to należy ograniczyć częstotliwość własną układu zamkniętego do przedziału

$$\omega \leq \frac{1}{2} \omega_{rez} \quad (7)$$

2. Sterowanie PID dla 1-go stopnia swobody

Przy sterowaniu PD w celu kompensacji stałego zakłócenia niezbędne są duże wzmocnienia. Dodając regulator całkujący I do regulatora PD możemy uzyskać zerowy uchyb w stanie ustalonym przy małych wzmocnieniach. Dodajmy wyraz całkujący K_I/s do regulatora PD. Prowadzi to do tzw. prawa sterowania PID, jak to pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Układ z zamkniętą pętlą i sterowaniem PID

Dla tego typu sterowania równanie charakterystyczne zapiszemy jako

$$D_I(s) = J_{zr}s^3 + (B_{Mzr} + K_M K_D)s^2 + K_M K_P s + K_M K_I \quad (8)$$

Zastosowanie kryterium stabilności Routha do tego wielomianu wykazuje, że układ zamknięty jest stabilny, jeśli wzmacnienia są dodatnie i dodatkowo spełniają nierówność

$$K_I < \frac{(B_{Mzr} + K_M K_D)K_P}{J_{zr}} \quad (9)$$

3. Zadania do wykonania

W celu zbadania wpływu zastosowania regulatora PD i PID na jakość sterowania manipulatora i jednym stopniu swobody, należy:

1. Zbudować model układu napęd-ramię i układ sterowania PD, PID z zastosowaniem pakietu Matlab/Simulink.
2. Przeprowadzić symulację regulatora PD dla przypadku bez zakłóceń.
3. Przedstawić na wykresach przebiegi sygnału zadanego $q_s^d(t)$, odpowiedzi układu $q_s(t)$, $\dot{q}_s(t)$, sterowania $v(t)$.
4. Przeprowadzić symulację regulatora PD dla przypadku z zakłóceniem i sporządzić wykresy jak w p. 3.
5. Przeprowadzić symulację regulatora PID dla przypadku z zakłóceniem i sporządzić wykresy jak w p. 3

Dane do symulacji:

	A	B	C	D	E	F	G	H
J_{zr}	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1	0.15	0.2	0.1
B_{Mzr}	0.1	0.1	0.2	0.2	0.05	0.1	0.05	0.05
K_M	10	15	10	10	10	5	8	10
i	1/20	1/15	1/20	1/10	1/20	1/10	1/15	1/20
ω	6	6	8	8	10	10	3	5
ζ	1							
1	1							

$q_s(0)$	0							
q_s^d	π	2π	4π	8π	π	5π	4π	10π

Sprawozdanie powinno zawierać:

- opis matematyczny rozwiązywanego problemu,
- dane przyjęte w symulacji,
- listingi programów,
- otrzymane wykresy (każdy wykres powinien być opisany i skomentowany),
- wnioski.