



POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Wydział
Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa

Zakład Teorii Maszyn i Robotów



TEORIA STEROWANIA I

INŻ. DANIEL WLAZŁO

OPIS ROZWIĄZANIA PIERWSZEGO ZADANIA PROJEKTOWEGO

numer albumu: 244123

kierunek: Automatyka i Robotyka

specjalność: Robotyka

Warszawa, 12 września 2015

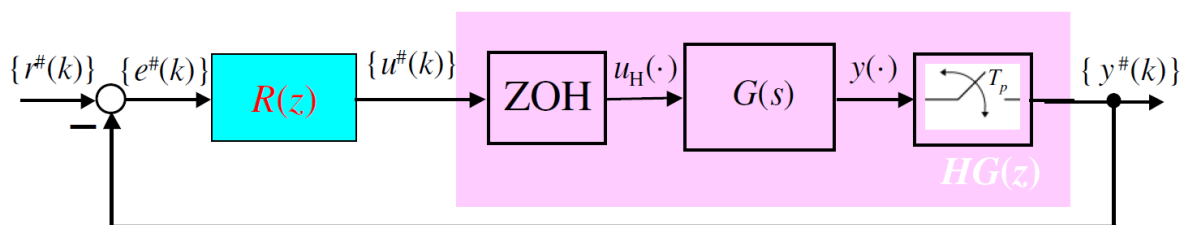
Spis treści

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Zadanie | 2 |
| 1.1 | Treść projektu | 2 |
| 1.2 | Dane do projektu | 3 |
| 2 | Proces projektowania | 4 |
| 2.1 | Sprawdzenie zachowania symulowanego obiektu bez regulatora dyskretnego | 4 |
| 2.1.1 | Analiza transmitancji obiektu | 4 |
| 2.1.2 | Dokładna transmitancja dyskretna obiektu | 5 |
| 2.1.3 | Transmitancja widmowa | 5 |
| 2.1.4 | Transmitancja pseudoczęstotliwościowa | 5 |
| 2.2 | Projektowanie regulatora | 6 |
| 2.2.1 | Dobór wzmacnienia regulatora | 6 |
| 2.2.2 | Dobór nowej pulsacji granicznej | 8 |
| 2.3 | Regulator | 9 |
| 2.3.1 | Transmitancja | 9 |
| 2.3.2 | Stabilność | 9 |
| 2.3.3 | Funkcje wrażliwości | 11 |
| 3 | Wnioski | 14 |

Rozdział 1

Zadanie

1.1 Treść projektu



Rysunek 1.1: Schemat układu regulacji

Dla układu regulacji o powyższej strukturze wybrać czas próbkowania T_p oraz dobrać tak transmitancję regulatora dyskretnego $R(z)$, aby otrzymać układ regulacji spełniający następujące wymagania:

- uchyby położeniowy i prędkościowy w stanie ustalonym są najmniejsze z możliwych do osiągnięcia,
- wymuszenia r o maksymalnej prędkości r_1 i maksymalnym przyspieszeniu r_2 są przenoszone z uchybem nie większym niż ε ,
- odpowiedź układu regulacji na skok jednostkowy charakteryzuje się małą oscylacyjnością i niezbyt dużym czasem ustalania, co jest związane z przyjętą przez projektanta maksymalną wielkością piku rezonansowego M_p układu zamkniętego,
- moduł sterowania u nie przekracza rozsądnej granicy.

Projekt powinien przedstawiać co najmniej:

- transmitancję i równanie różnicowe wybranego regulatora,
- charakterystyki częstotliwościowe transmitancji:

$$\begin{aligned} G(j\omega), HG^*(j\omega), HG^*(jv), \\ L^*(jv) = R^*(jv)HG^*(jv), \end{aligned}$$

- charakterystykę Nyquista zaprojektowanego układu otwartego,
- przyjętą przez projektanta maksymalną wielkością pików rezonansowego M_p układu zamkniętego,
- charakterystykę amplitudową funkcji wrażliwości $|S^*(j\omega)|$ oraz charakterystykę amplitudową dopełniającej funkcji wrażliwości (transmitancji układu zamkniętego) $|T^*(j\omega)|$, charakterystykę amplitudową funkcji wrażliwości sterowania $|R^*(j\omega)|$, zaprojektowanego systemu pokazujące, że spełniono postawione wymagania w dziedzinie częstotliwościowej,
- odpowiedzi układu regulacji na:
 - skok jednostkowy,
 - skok jednostkowy o amplitudzie $(r_1)^2/r_2$,
 - wymuszenie harmoniczne:

$$t \mapsto r(t) = \frac{(r_1)^2}{r_2} \sin\left(\frac{r_2}{r_1}t\right)$$

- wymuszenie o trapezoidalnym przebiegu prędkości i prędkości maksymalnej równej r_1 oraz przyspieszeniu maksymalnym równym r_2 ,
- sterowanie wywołane powyższym wymuszeniem, pokazujące, że spełniono wymagania w dziedzinie czasowej.

1.2 Dane do projektu

Zestaw numer 16:

- Transmitancja:

$$G(s) = \frac{150}{s(1.12s+1)(0.224s+1)}$$

- Maksymalna prędkość:

$$r_1 = 1$$

- Maksymalne przyspieszenie:

$$r_2 = 0.8$$

- Dokładność

$$\varepsilon = 0.005$$

Rozdział 2

Proces projektowania

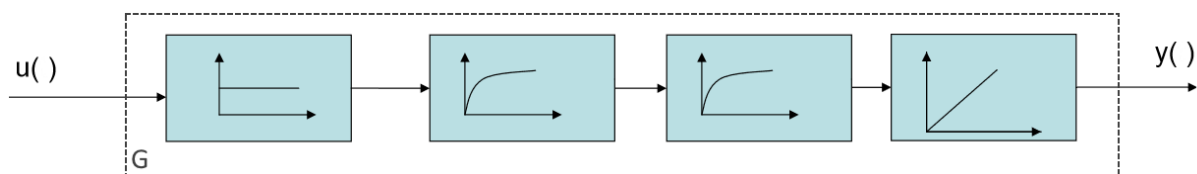
2.1 Sprawdzenie zachowania symulowanego obiektu bez regulatora dyskretnego

2.1.1 Analiza transmitancji obiektu

Transmitancja ma postać:

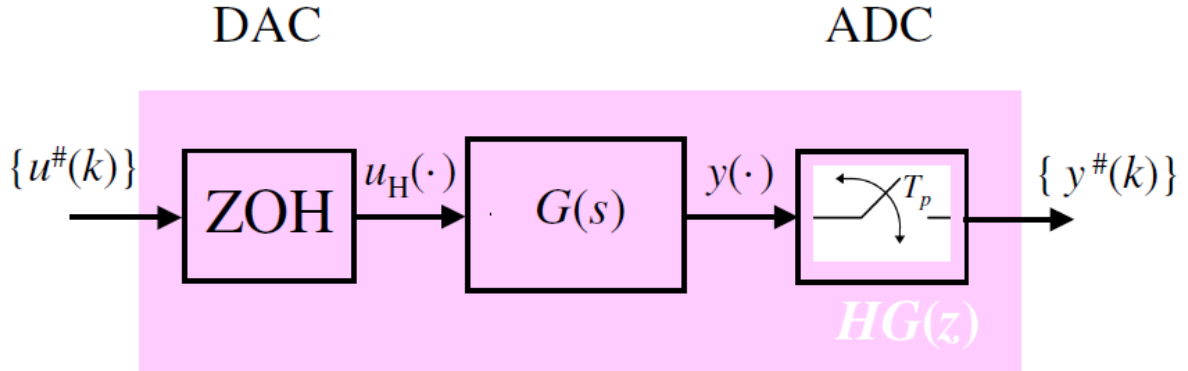
$$G(s) = \frac{150}{s(1.12s+1)(0.224s+1)}$$

Obiekt można zatem przedstawić w postaci superpozycji członu proporcjonalnego, członu całkującego idealnego oraz członu inercyjnego 2 rzędu (bądź dwóch członów inercyjnych pierwszego rzędu).



Rysunek 2.1: Wizualizacja dekompozycji obiektu o transmitancji G

2.1.2 Dokładna transmitancja dyskretna obiektu



Rysunek 2.2: Obiekt wraz z układami DAC i ADC

Korzystając z wzoru:

$$HG(z) = \frac{z-1}{z} \mathcal{Z}(\mathcal{L}^{-1}(\frac{G(s)}{s})) = \frac{z-1}{z} \mathcal{D}(\frac{G(s)}{s})$$

dla czasu próbkowania $T_p = 0.04$ otrzymano dokładną transmitancję dyskretną obiektu:

$$HG(z) = \frac{6.344 \cdot 10^{-6} z^2 + 2.524 \cdot 10^{-5} z + 6.276 \cdot 10^{-6}}{z^3 - 2.979 z^2 + 2.958 z - 0.9788}$$

2.1.3 Transmitancja widmowa

Korzystając z zależności:

$$HG^*(j\omega) = HG(e^{T_p j\omega})$$

obliczono transmitancję widmową:

$$HG^*(j\omega) = \frac{6.344 \cdot 10^{-6} (e^{0.041 j\omega})^2 + 2.524 \cdot 10^{-5} e^{0.041 j\omega} + 6.276 \cdot 10^{-6}}{(e^{0.041 j\omega})^3 - 2.979 (e^{0.041 j\omega})^2 + 2.958 e^{0.041 j\omega} - 0.9788}$$

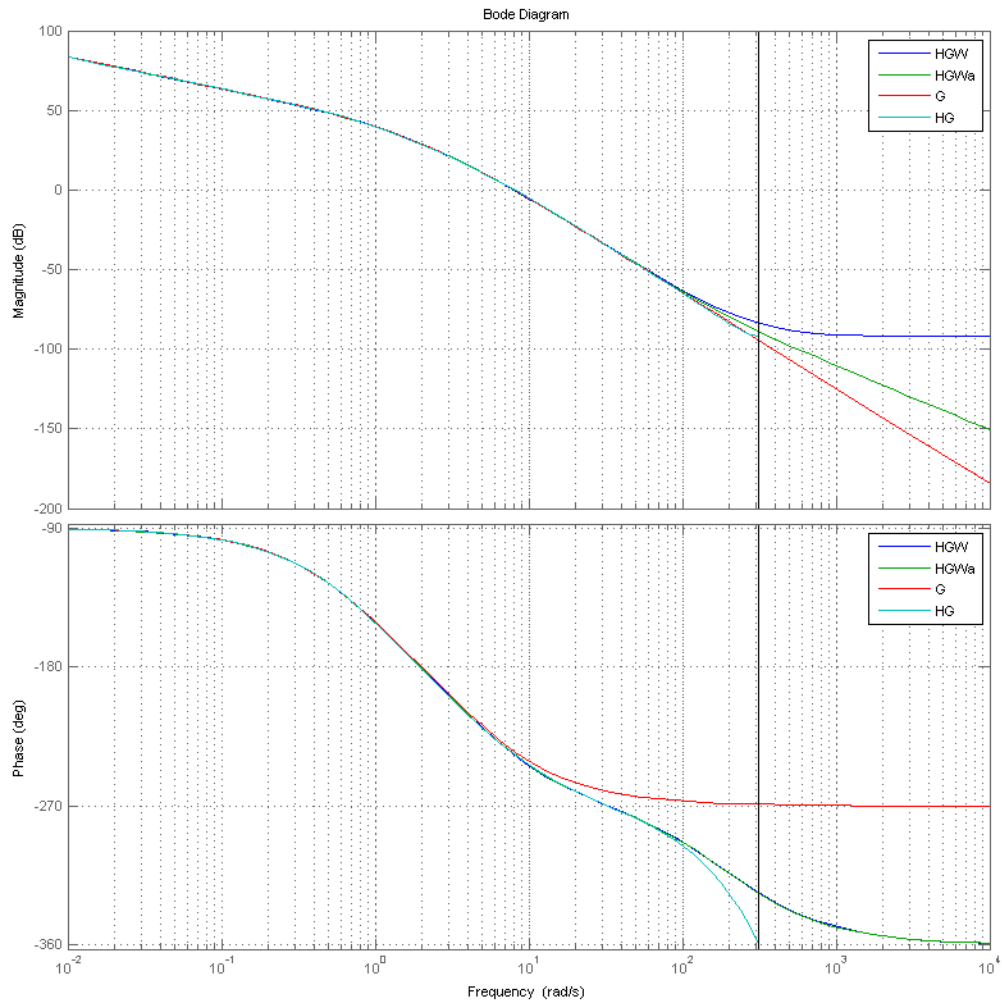
2.1.4 Transmitancja pseudoczęstotliwościowa

Transmitancja pseudoczęstotliwościowa ma postać:

$$HG^{w*}(j\nu) = \frac{1.594 \cdot 10^{-6} j\nu^3 - 8.057 \cdot 10^{-4} j\nu^2 - 1.191 j\nu + 597.9}{j\nu^3 + 5.357 j\nu^2 + 3.986 j\nu}$$

Przybliżenie transmitancji pseudoczęstotliwościowej:

$$HG_{est}^{w*}(j\nu) = G(j\nu) \left(1 - \frac{T_p}{2} j\nu\right) = \frac{-0.3 j\nu + 150}{0.2509 j\nu + 1.344 j\nu + s}$$



Rysunek 2.3: Charakterystyka częstotliwościowa transmitancji HGw^* , HGw^{*est} , HG^* oraz G

2.2 Projektowanie regulatora

2.2.1 Dobór wzmocnienia regulatora

Pierwszym krokiem zbliżającym do obliczenia wzmocnienia było wyznaczenie obszaru zabronionego. Korzystając z definicji wymagań:

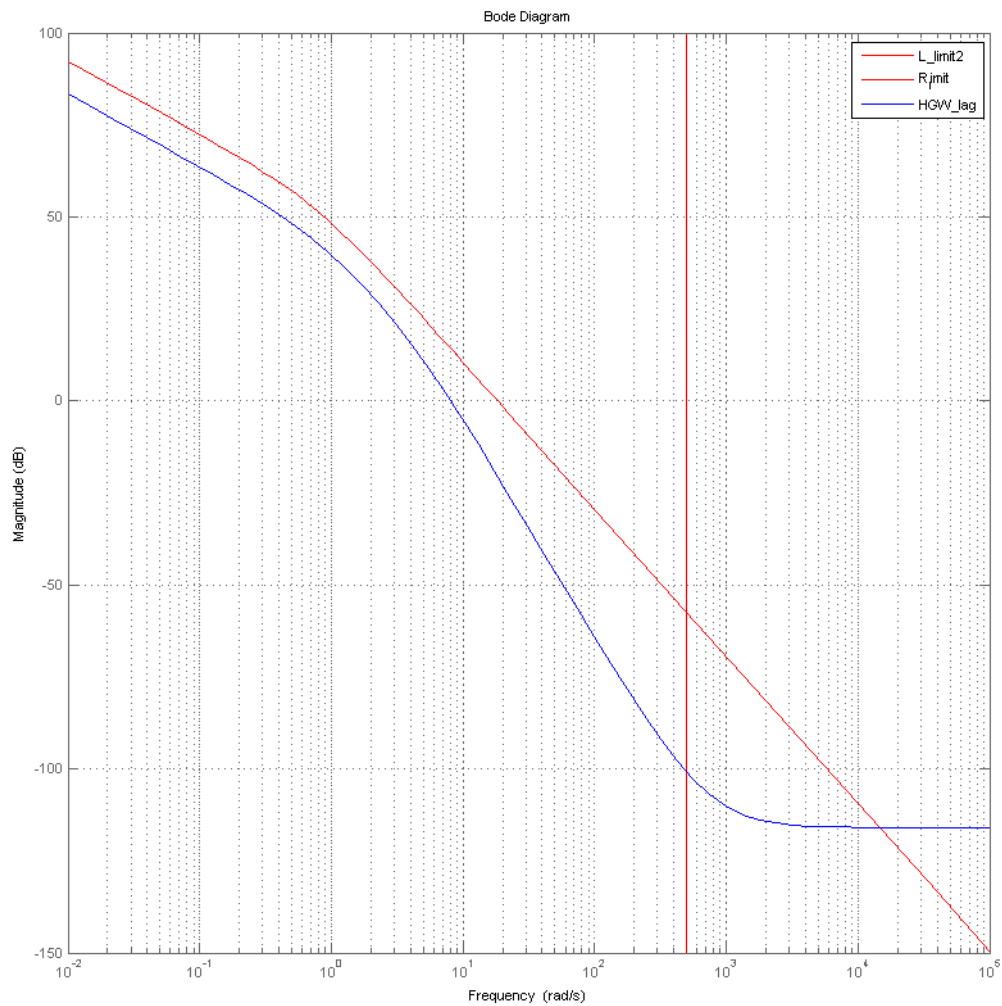
$$\begin{aligned} \text{Maksymalna prędkość: } r_1 &= 1 \\ \text{Maksymalne przyspieszenie: } r_2 &= 0.8 \\ \text{Dokładność: } \varepsilon &= 0.005 \end{aligned}$$

obliczam wielkości ω_a oraz $L_g r$:

$$\omega_a = \frac{r_2}{r_1} = 0.8$$

$$L \geq \frac{1}{\epsilon} \frac{(r_1)^2}{r_2} \frac{1.16 \cdot 4}{\pi} = 369.2$$

Na podstawie tych wartości wykreślono wykres obszaru zabronionego. Naniesiono na niego również wykres transmitancji $HG^{w*}(j\nu)$.



Rysunek 2.4: Obszar zabroniony

Z analizy wykresu wynika, że minimalne wzmocnienie, jakie powinien wprowadzać regulator wynosi $k_r = 3$

2.2.2 Dobór nowej pulsacji granicznej

Naturalna pseudopulsacja graniczna obiektu: $\nu_{gob} = 8.0395$.

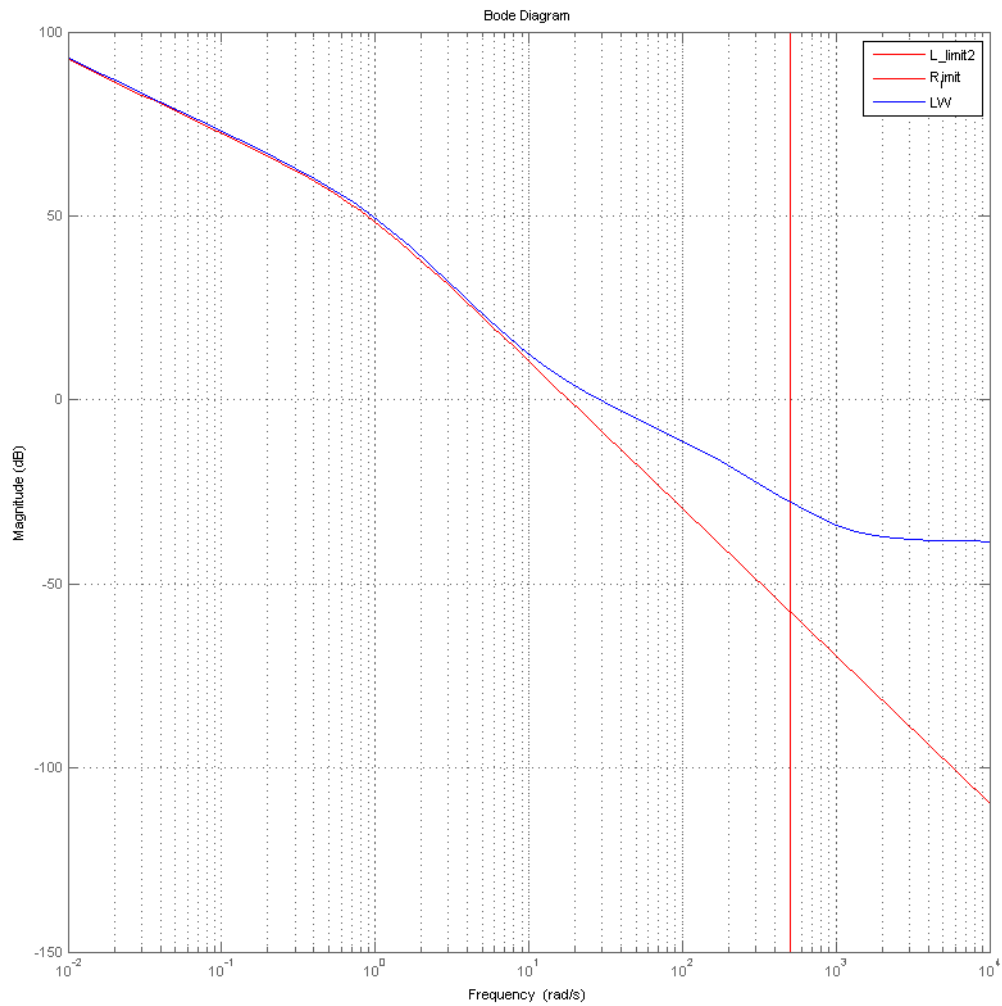
Ograniczenie wynikające z wprowadzenia opóźnienia: $\nu_g < 110$.

Przyjęto $\nu_g = 80$.

Z faktu przyjęcia, iż $M_p = 1.4$, wynika, że:

$$\nu_1 \leq \nu_g \frac{M_p - 1}{M_p} = 22.8571; \nu_2 \geq \nu_g \frac{M_p + 1}{M_p} = 137.1429$$

Na podstawie przeprowadzonych symulacji działania regulatora, dobrano $\nu_1 = 8, \nu_2 = 400$.



Rysunek 2.5: Wykres Bodego dla obiektu z regulatorem

2.3 Regulator

2.3.1 Transmitancja

Transmitancja regulatora wynosi:

$$R(j\nu) = \frac{0.04664j\nu^2 + 0.7482j\nu + 3}{6.25e-06j\nu^2 + 0.005j\nu + 1}$$

Transmitancja impulsowa regulatora wynosi:

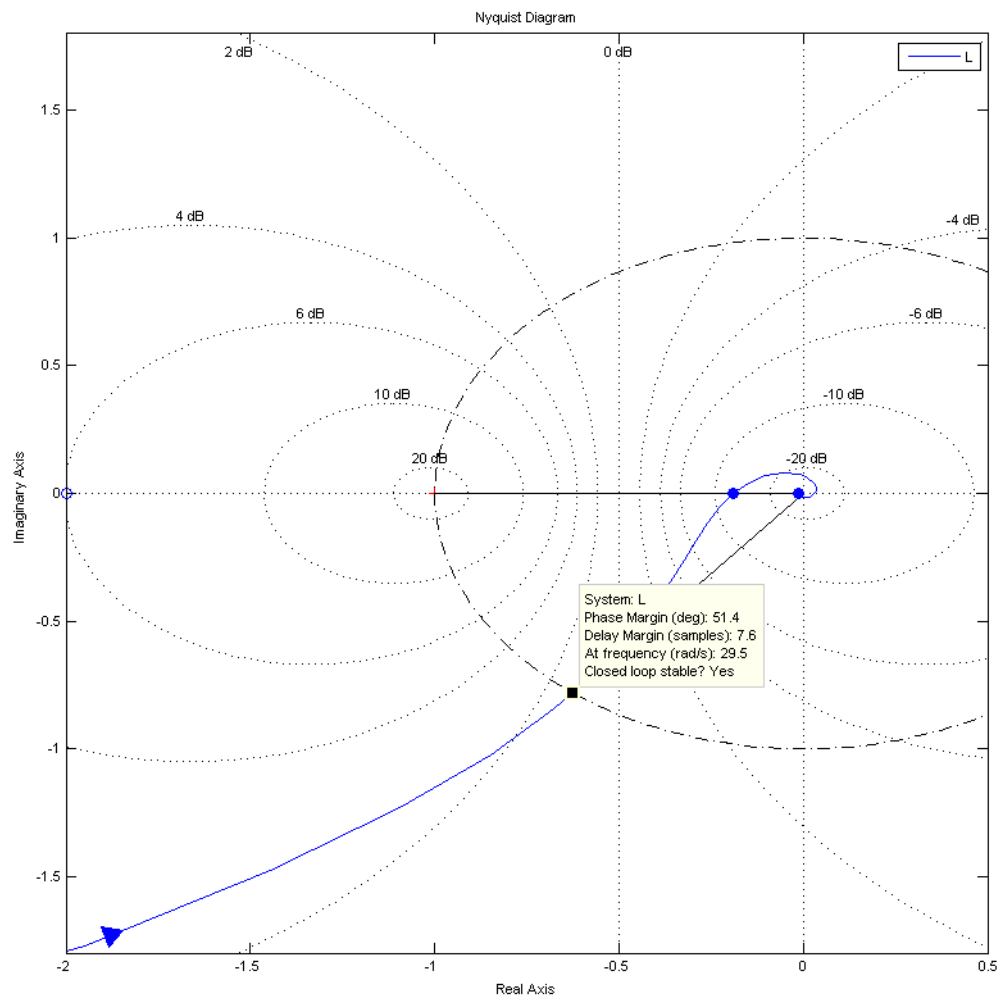
$$R(z) = \frac{2378z^2 - 4606z + 2230}{z^3 - 0.2222z^2 + 0.01235z}$$

Równanie różnicowe:

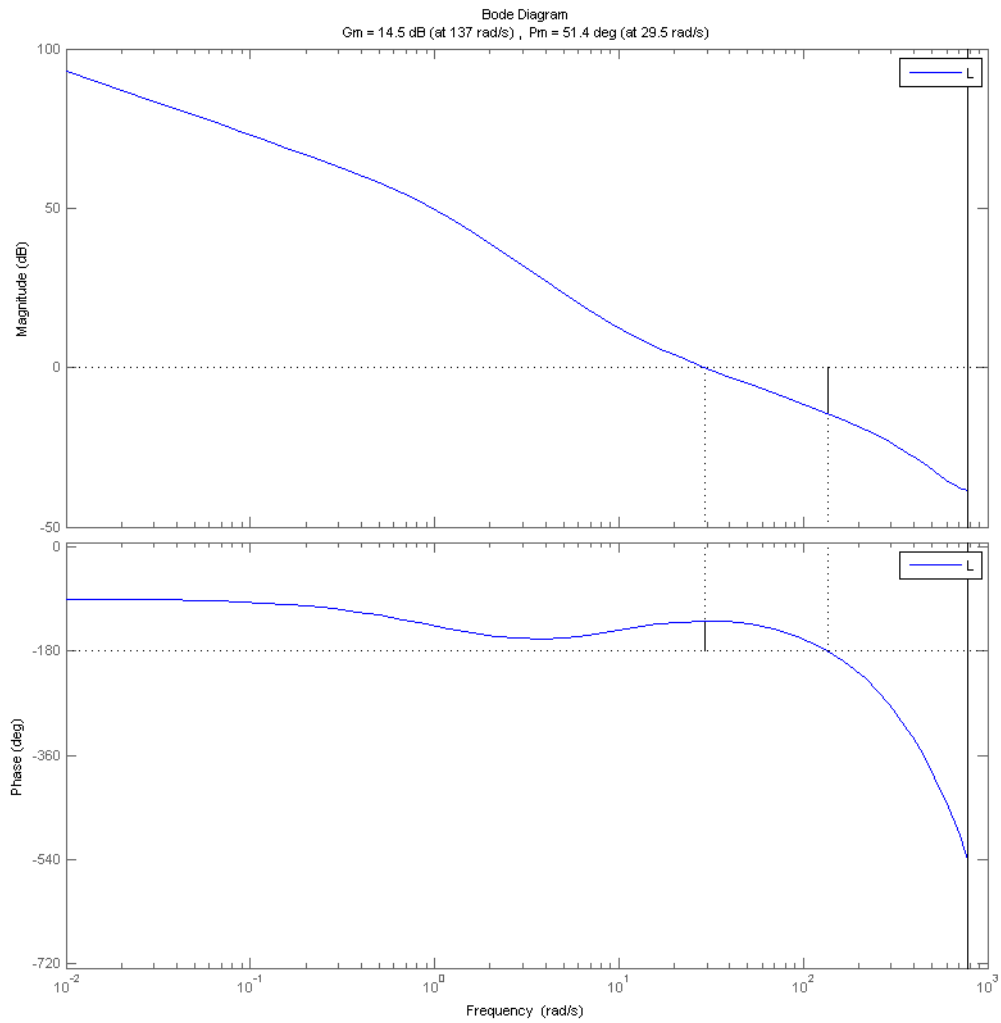
$$u(k) = 0.2222u(k-1) - 0.01235u(k-2) + (2378e(k-1) - 4606e(k-2) + 2230)e(k-3)$$

2.3.2 Stabilność

W celu zbadania stabilności układu wykonano wykres Nyquista oraz zbadano układ poleceniem *gain*.



Rysunek 2.6: Wykres Nyquista petli otwartej

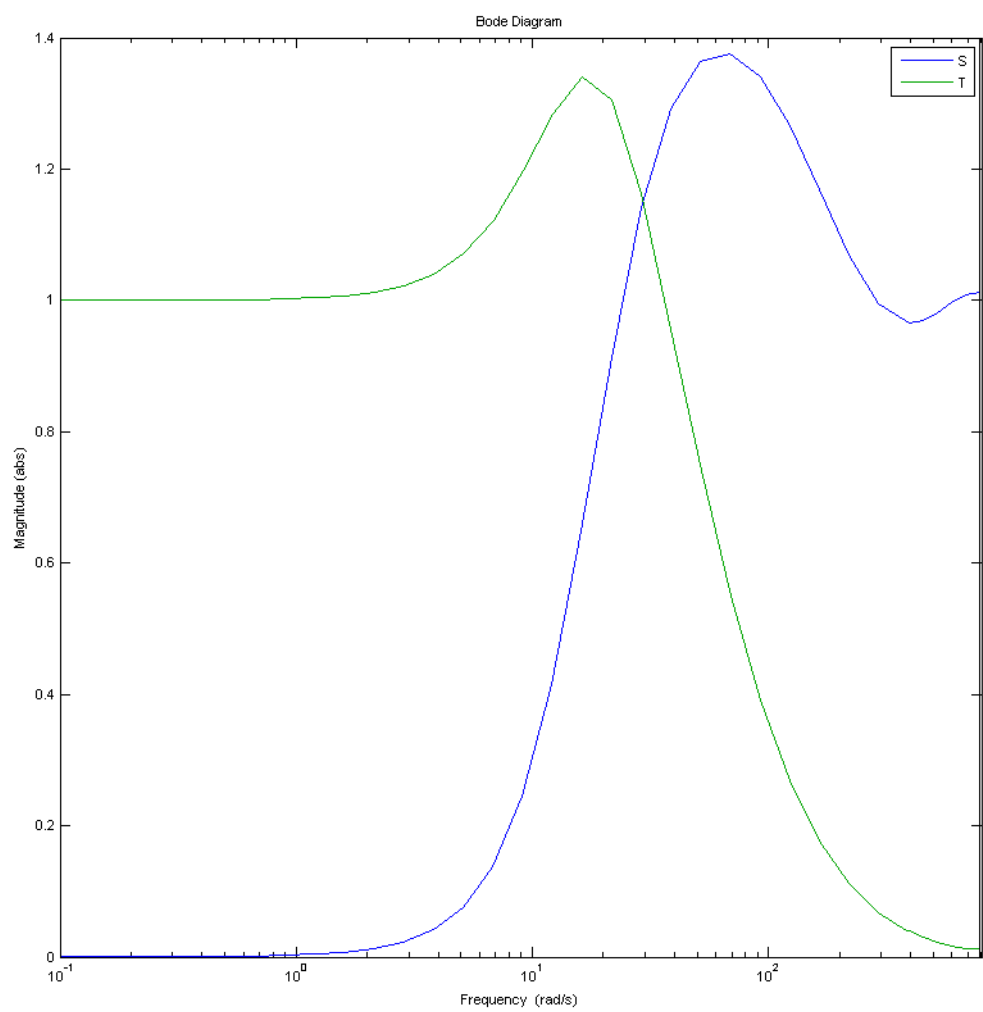


Rysunek 2.7: Wykres Bodego petli otwartej

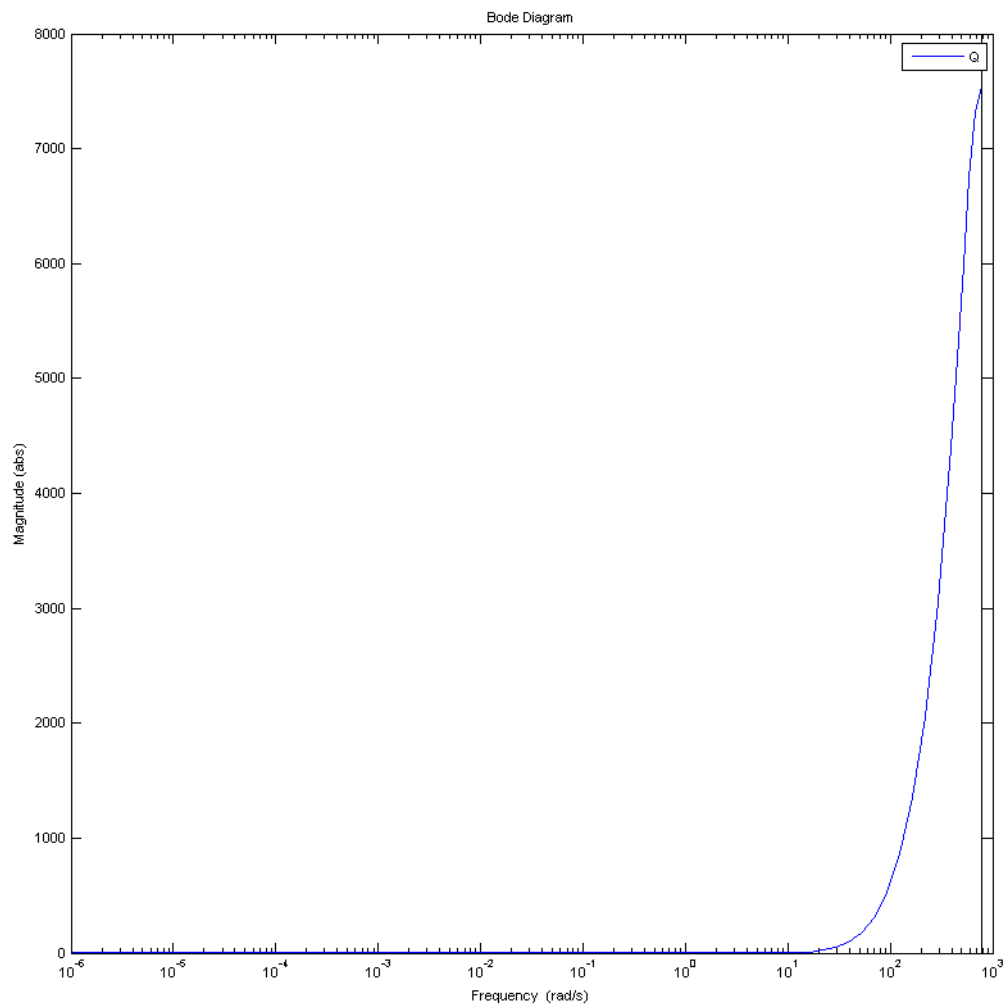
2.3.3 Funkcje wrażliwości

W celu sprawdzenia reakcji układu na spektrum częstotliwości sygnału wymuszenia sporządzono wykresy:

- funkcji wrażliwości $S = \frac{1}{1+GR}$ oraz dopełniającej funkcji wrażliwości $T = \frac{GR}{1+GR}$
- funkcji wrażliwości na sterowanie $Q = \frac{R}{1+GR}$



Rysunek 2.8: Wykres funkcji wrażliwości oraz dopełniającej funkcji wrażliwości



Rysunek 2.9: Wykres funkcji wrażliwości na sterowanie

2.4 Odpowiedzi na zadane sygnały

Rozdział 3

Wnioski

Celami pracy były:

- zapoznanie się z literaturą w zakresie robotyki mobilnej,
- wykonanie przeglądu rozwiązań w zakresie budowy robotów kategorii Ketchup House,
- określenie wymagań stawianych robotom Pomidor 1,5 oraz PACMAN,
- zaprojektowanie oraz wykonanie części mechanicznych robotów Pomidor 1,5 oraz PACMAN,
- wykonanie środowiska testowego dla testów czujników oraz planszy zgodnej z regulaminami zawodów,
- przeprowadzenie testów robotów.

Spis rysunków

| | | |
|-----|---|----|
| 1.1 | Schemat układu regulacji | 2 |
| 2.1 | Wizualizacja dekompozycji obiektu o transmitancji G | 4 |
| 2.2 | Obiekt wraz z układami DAC i ADC | 5 |
| 2.3 | Charakterystyka częstotliwościowa transmitancji HGw^* , HGw^{*est} , HG^* oraz G | 6 |
| 2.4 | Obszar zabroniony | 7 |
| 2.5 | Wykres Bodego dla obiektu z regulatorem | 8 |
| 2.6 | Wykres Nyquista petli otwartej | 10 |
| 2.7 | Wykres Bodego petli otwartej | 11 |
| 2.8 | Wykres funkcji wrażliwości oraz dopełniającej funkcji wrażliwości | 12 |
| 2.9 | Wykres funkcji wrażliwości na sterowanie | 13 |

Spis tabel

Bibliografia

- [1] Jezierski E., *Dynamika robotów*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 2006, str. 233-237
- [2] Matarić M. J. *The Robotics Primer*, MIT Press, 2007
- [3] Pierewoj Jakub *Projekt i wykonanie robota mobilnego - oprogramowanie sterujące* 2015.
- [4] Kamiński Mateusz *Miniaturowy robot mobilny: projekt konstrukcji, wykonanie prototypu i oprogramowania* 2014.
- [5] Koło Nauowe Inżynierii Mechatronicznej, <http://www.knim.pwr.wroc.pl/>, data dostępu 20.01.2015