

SPRAWOZDANIE Z LABORATORIUM SYMULACJI PROCESÓW DYNAMICZNYCH

Karol Kozłowski
Piotr Komoniewski

Grupa lab.:

Termin:
wtorek/np 13:00

Data:
6 XI 2007

Ćwiczenie nr 2

Metody symulacja temperatury pomieszczenia.

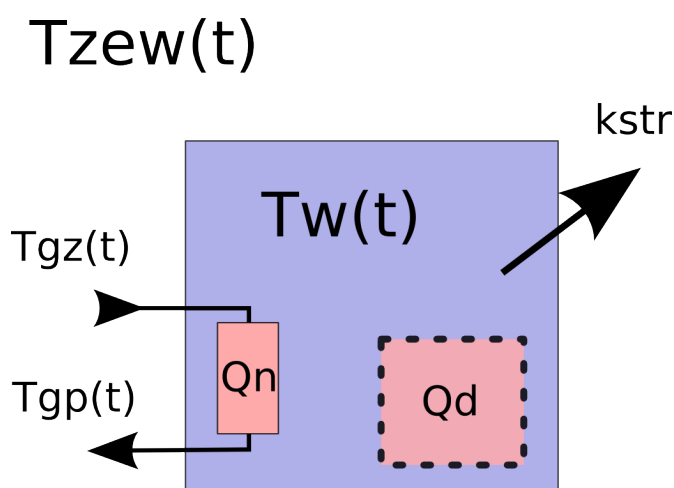
Ocena

1.Cel Ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z różnymi metodami symulacji warunków temperaturowych panujących w pomieszczeniu. Obiekt uwzględnia następujące warunki: straty ciepła wyprowadzane na zewnątrz pomieszczenia oraz źródło ciepła w postaci grzejnika z gorącą wodą znajdującego się wewnątrz tego pomieszczenia. Możliwe jest również wprowadzenie do układu dodatkowego źródła ciepła Q_d .

2.Przebieg ćwiczenia

2.1.Model obiektu



Rysunek 1: Schemat modelowanego obiektu

Obiekt modelowany jest przez następujący układ równań:

$$Q_w(t) = c_{pp} \cdot \rho_p \cdot V_w \cdot T_w(t) = C_{vw} \cdot T_w(t) \quad \text{– równanie stanu ciepła w pomieszczeniu (1)}$$

$$Q_g(t) = c_{pw} \cdot \rho_w \cdot V_g \cdot T_{gsr}(t) = C_{vg} \cdot T_{gsr}(t) \quad \text{– równanie stanu ciepła w grzejniku (2)}$$

$Q_w(t)$ – ciepło wody, $Q_g(t)$ – ciepło grzejnika

$$c_{pp}=1000\left[\frac{J}{kg\cdot K}\right] - \text{c. właściwe powietrza}, \quad c_{pw}=4127\left[\frac{J}{kg\cdot K}\right] - \text{c. właściwe wody}$$

ρ_p – gęstość powietrza, ρ_w – gęstość wody

V_g – objętość grzejnika, V_w – objętość wnętrza

$T_w(t)$ – temperatura wody, $T_{gsr}(t)$ – średnia temperatura grzejnika

$$T_{gsr}(t) = \frac{T_{gz}(t) + T_{gp}(t)}{2} \Rightarrow T_{gp}(t) = 2 \cdot T_{gsr}(t) - T_{gz}(t) \quad (3)$$

$T_{gz}(t)$ – temperatura wody wpływającej do grzejnika

$T_{gp}(t)$ – temperatura wody wypływającej z grzejnika

równania zmiany stanu magazynu:

$$C_{vw} \cdot \dot{T}_w(t) = k_g \cdot (T_{gsr}(t) - T_w(t)) - k_{str} \cdot (T_w(t) - T_{zew}(t)) + Q_d \quad (4)$$

$$C_{vg} \cdot \dot{T}_{gsr}(t) = c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f(t) \cdot T_{gz}(t) - c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f(t) \cdot T_{gp}(t) - k_g \cdot (T_{gsr}(t) - T_w(t)) \quad (5)$$

po podstawieniu wzoru (3) do równania (5) i uproszczeniu wyniku otrzymamy:

$$C_{vg} \cdot \dot{T}_{gsr}(t) = 2 \cdot c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f(t) \cdot (T_{gz}(t) - T_{gsr}(t)) - k_g \cdot (T_{gsr}(t) - T_w(t)) \quad (6)$$

Równanie stanu ustalonego ($\dot{T}_{gsr}(t)=0$, $\dot{T}_w(t)=0$):

$$k_g \cdot (T_{gsr}(t) - T_w(t)) = k_{str} \cdot (T_w(t) - T_{zew}(t)) = 2 \cdot c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f(t) \cdot (T_{gz}(t) - T_{gsr}(t)) = Q_N$$

$$k_g = \frac{Q_N}{T_{gsr}(t) - T_w(t)} - \text{współczynnik wymiany ciepłej grzejnik} \leftrightarrow \text{pomieszczenie}$$

$$k_{str} = \frac{Q_N}{T_w(t) - T_{zew}(t)} - \text{współczynnik wymiany ciepłej pomieszczenie} \leftrightarrow \text{zewnątrz}$$

$$f(t) = \frac{Q_N}{2 \cdot c_{pw} \cdot \rho_w \cdot (T_{gz}(t) - T_{gsr}(t))} - \text{współczynnik przepływu cieczy w grzejniku}$$

Równania operatorowe obiektu:

$$C_{vw} \cdot s \cdot T_w = k_g \cdot (T_{gsr} - T_w) - k_{str} \cdot (T_w - T_{zew}) + Q_d \quad (7)$$

$$C_{vg} \cdot s \cdot T_{gsr} = c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f_0 \cdot T_{gz} - c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f_0 \cdot T_{gp} - k_g \cdot (T_{gsr} - T_w) \quad (8)$$

W celu uproszczenia równań stosujemy podstawienie:

$$M_1 = C_{vw} \cdot s + k_g + k_{str}$$

$$M_2 = C_{vg} \cdot s + 2 \cdot c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f_0$$

Układ równań zmiennych wejściowych:

$$T_w = \frac{k_g}{M_1} \cdot T_{g\dot{s}r} + \frac{k_{str}}{M_1} \cdot T_{zew} + \frac{Q_{dN}}{M_1}$$

$$T_{g\dot{s}r} = \frac{2 \cdot c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f_0}{M_2} \cdot T_{gz} + \frac{k_g}{M_2} \cdot T_w$$

Po prostych przekształceniach:

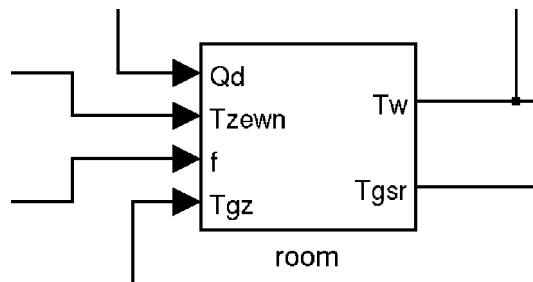
$$T_w = \frac{2 \cdot k_g \cdot c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f_0}{M_1 \cdot M_2 - k_g^2} \cdot T_{gz} + \frac{M_2 \cdot k_{str}}{M_1 \cdot M_2 - k_g^2} \cdot T_{zew} + \frac{M_2}{M_1 \cdot M_2 - k_g^2} \cdot Q_{dN}$$

$$T_w = \frac{2 \cdot k_g \cdot c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f_0}{s^2 \cdot C_{vw} \cdot C_{vg} + s(2 \cdot C_{vw} \cdot c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f_0 + C_{vw} \cdot k_g + k_g \cdot C_{vg} + k_{str} \cdot C_{vg}) + 2 \cdot c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f_0(k_g + k_{str}) + k_g \cdot k_{str}} \cdot T_{gz} +$$

$$+ \frac{s \cdot C_{vg} \cdot k_{str} + 2 \cdot c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f_0 \cdot k_{str} + k_g \cdot k_{str}}{s^2 \cdot C_{vw} \cdot C_{vg} + s(2 \cdot C_{vw} \cdot c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f_0 + C_{vw} \cdot k_g + k_g \cdot C_{vg} + k_{str} \cdot C_{vg}) + 2 \cdot c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f_0(k_g + k_{str}) + k_g \cdot k_{str}} \cdot T_{zew} +$$

$$+ \frac{C_{vg} \cdot s + 2 \cdot c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f_0}{s^2 \cdot C_{vw} \cdot C_{vg} + s(2 \cdot C_{vw} \cdot c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f_0 + C_{vw} \cdot k_g + k_g \cdot C_{vg} + k_{str} \cdot C_{vg}) + 2 \cdot c_{pw} \cdot \rho_w \cdot f_0(k_g + k_{str}) + k_g \cdot k_{str}} \cdot Q_{dN}$$

2.2. Komputerowe modele symulacji



Rysunek 2: Model z ćw 1

Na powyższym wykresie znajduje się rzeczywisty model symulowanego obiektu wykonany w poprzednim ćwiczeniu i zgrupowany przy użyciu funkcji „Create Subsystem”.

W ćwiczeniu wykorzystane będą również modele wykonane w oparciu o zapis operatorowy transmitancji obiektu oraz model wykonany przy użyciu opisu przestrzeni stanu obiektu. Szczegółowe opisy podsystemów można znaleźć w załączniku „sim1_model” na stronach od 2 do 4.

Skrypt użyty do symulacji znajduje się w załączniku.

2.3.Przebiegi czasowe

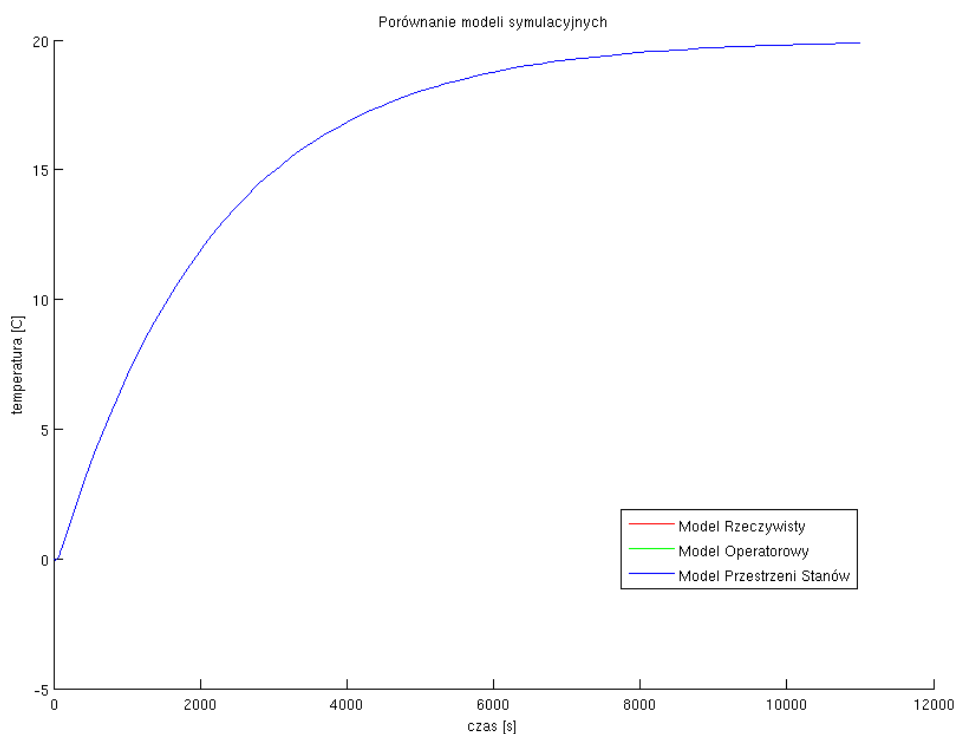
a)Porównanie symulacji wszystkimi trzema metodami przy zerowych warunkach początkowych i braku zakłóceń

Warunki początkowe

- Temperatura zewnętrzna 0°C
- Temperatura grzejnika 20°C
- Warunki T_{w0} i T_{gsr0} są zerowe

Zakłócenia:

- **brak**



Rysunek 3: Porównanie modeli symulacyjnych

Zgodnie z oczekiwaniami modele zachowują się bardzo podobnie – ewentualne różnice są niezauważalne na wykresie.

Ponieważ w symulacji nie uwzględniono warunków początkowych wszystkie wykresy dążą do stanu ustalonego.

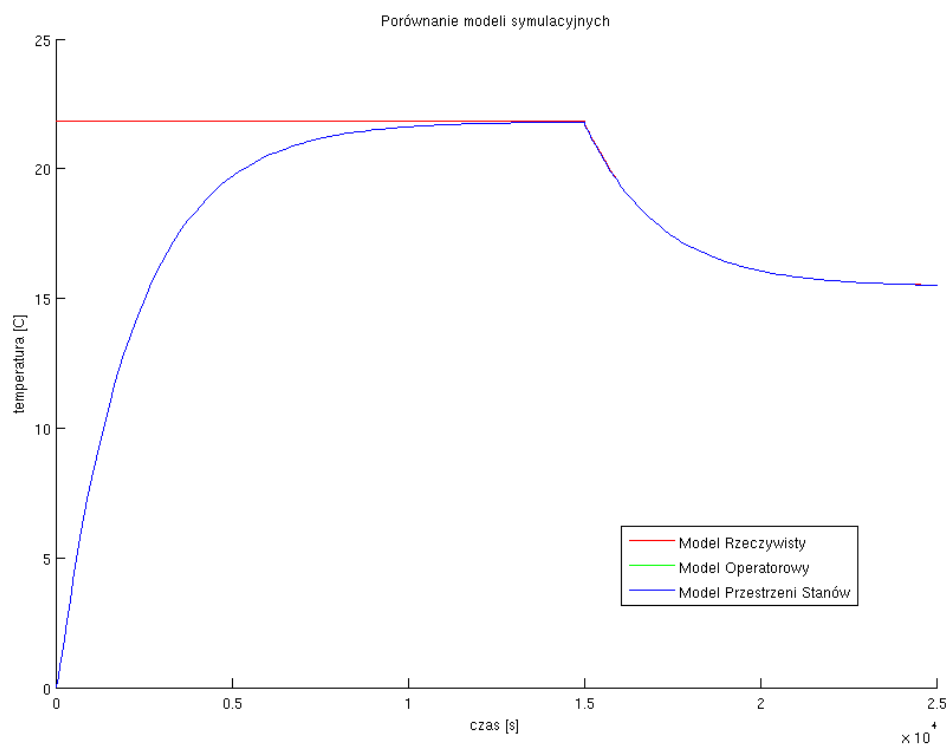
b) Porównanie symulacji wszystkimi trzema metodami w przy niezerowych warunkach początkowych (z zakłóceniami)

Warunki początkowe

- Temperatura zewnętrzna 0°C
- Temperatura grzejnika 60°C

Zakłócenia:

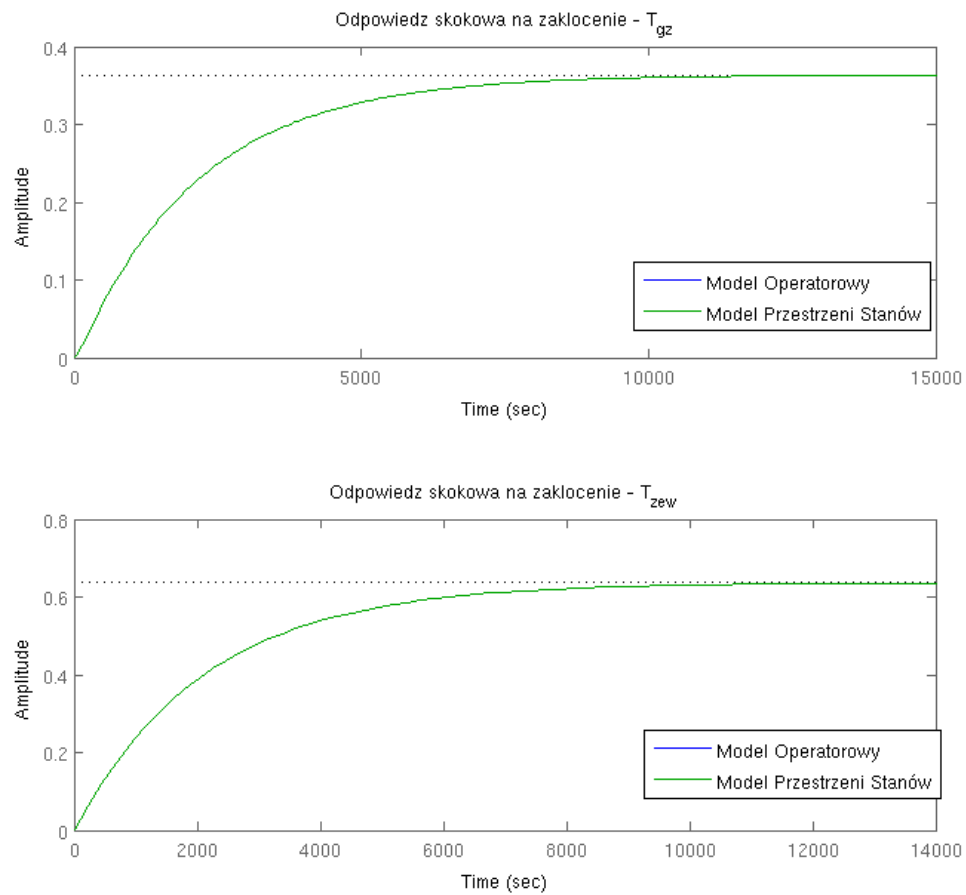
- W chwili $t=15000[s]$ następuje skok temperatury zewnętrznej o -10°C



Rysunek 4: Zakłócenie modeli w stanie ustalonym

Ponieważ dla modeli transmitancji i przestrzeni stanów nie uwzględniono warunków początkowych konieczne jest odczekanie odpowiedniego czasu – do ustalenia się stanu. Po zakłóceniu obiektu widać, że wszystkie modele zachowują się identycznie.

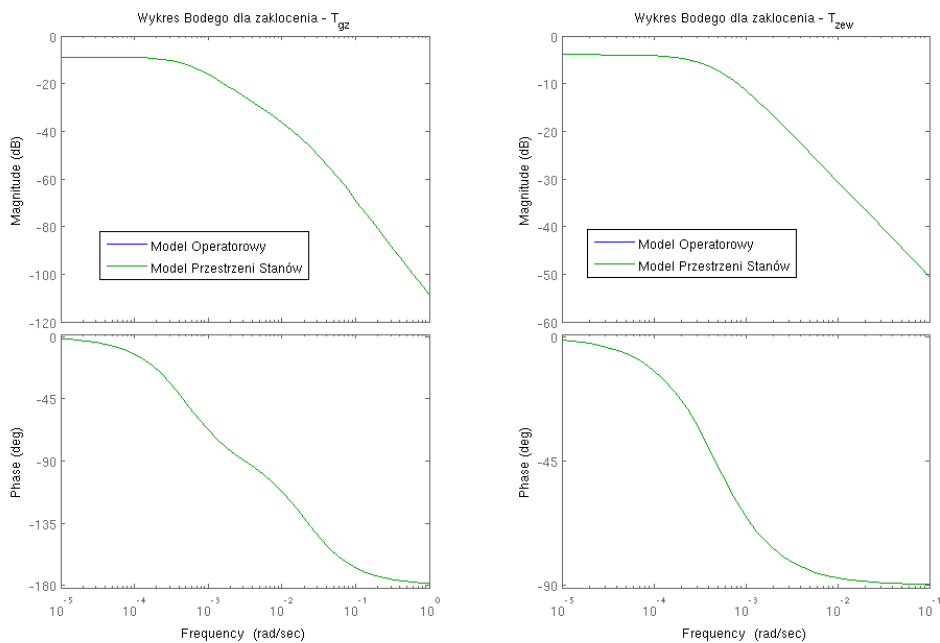
c) Odpowiedzi skokowe



Rysunek 5: Odpowiedzi skokowe

Korzystając z funkcji pakietu *Control System Toolbox* możemy wykreślić odpowiedzi skokowe na wybrane zakłócenia.

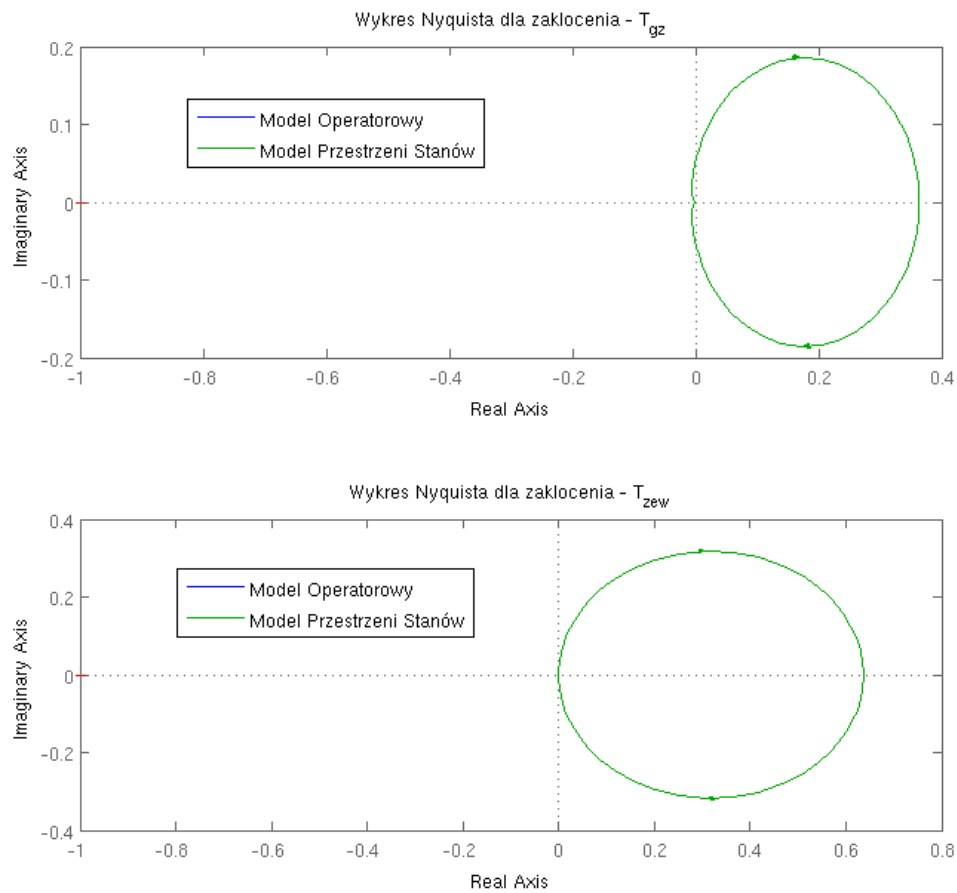
d) Wykresy Bodego



Rysunek 6: Wykresy Bodego

Korzystając z funkcji pakietu *Control System Toolbox* możemy wykreślić charakterystyki Bodego (amplitudowe i fazowe) dla wybranych zakłóceń.

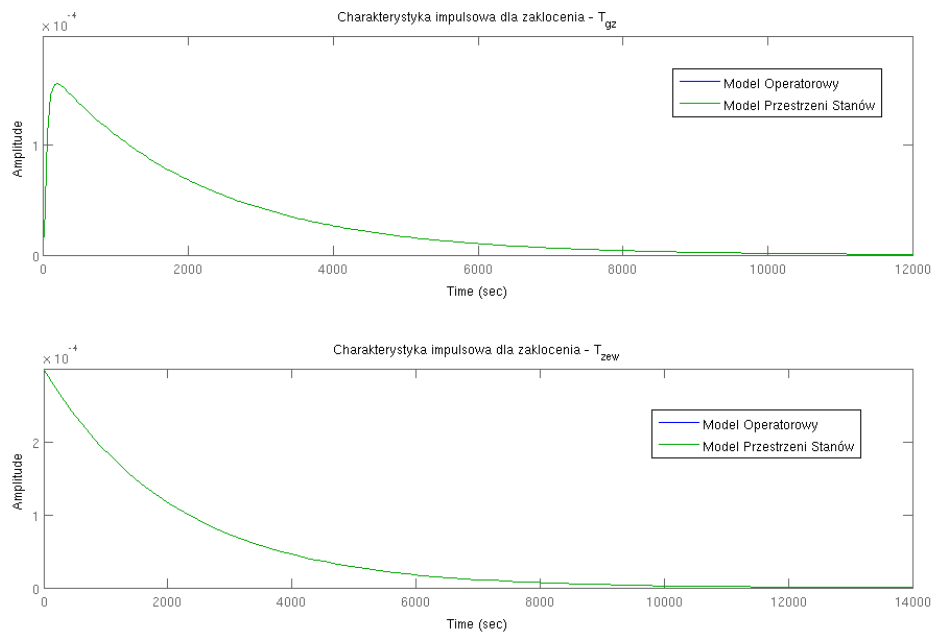
e) Wykresy Nyquista



Rysunek 7: Wykresy Nyquista

Korzystając z funkcji pakietu *Control System Toolbox* możemy wykreślić charakterystyki Nyquista dla wybranych zakłóceń. Jak łatwo zauważyć układ dla wybranych pobudzeń zachowuje się stabilnie.

f) Charakterystyki impulsowe

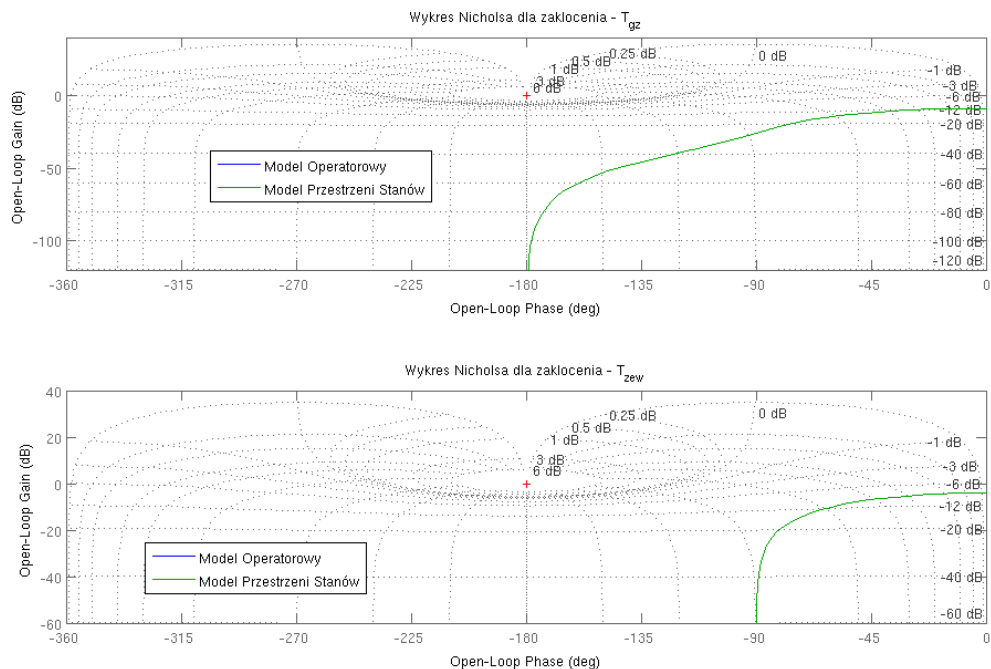


Rysunek 8: Charakterystyki impulsowe

Po wykreśleniu charakterystyk impulsowych również można stwierdzić, że obiekt zachowuje się stabilnie.

g) Wykresy Nicholsa

Wykres Nicholsa jest zależnością pomiędzy modulem wyrażonym w dB i kątem przesunięcia fazowego w stopniach.



Rysunek 9: Wykresy Nicholsa

3. Wnioski

- Wykonane badania pokazują, że przedstawione przez nas 3 metody symulacji obiektów dynamicznych dostępne w środowisku Matlab/Simulink dają niemalże identyczne wyniki.
- Możliwość szybkiego wykreślania charakterystyk Bodego czy Nyquista pozwala stwierdzić, czy zaprojektowany układ jest stabilny czy też nie.

4. Załączniki:

- Schemat modelu „sim1_model” (4 strony)
- Skrypt symulacyjny
- Obliczenia transmitancji