

AGH, WIET	Techniki obliczeniowe- raport końcowy z projektu o filtrach na wzmacniaczu operacyjnym	Kierunek: EiT
Wykonali: Patrycja Pach, Bartosz Hadała		

Wstęp

W ramach projektu opracowaliśmy w MATLAB-ie narzędzie do analizy i wizualizacji właściwości filtrów opartych na wzmacniaczach operacyjnych. Celem było zrozumienie działania filtrów całkujących, różniczkujących i pasmowo przepustowych oraz ich praktyczne zastosowanie w przetwarzaniu sygnałów.

Komendy wbudowane wykorzystane w projekcie:

1. Funkcja *tf*

Funkcja *tf* poprzez podanie danych wejściowych w postaci wektorów współczynników licznika i mianownika tworzy transmitancję naszego filtra.

Przykład:

$$\begin{aligned}
 H &= tf(Licznik, Mianownik); \\
 Licznik &= [a, b]; \\
 Mianownik &= [c, d]; \\
 \text{Funkcja wyjściowa:} \\
 H &= \frac{as + b}{cs + d}
 \end{aligned}$$

2. Funkcja *Bode*

Funkcja *Bode* na podstawie wcześniej obliczonych transmitancji filtrów wykreśla nam amplitudową oraz częstotliwościową charakterystykę Bodego.

3. Funkcja *lsim*

Funkcja *lsim* pozwala na obliczenie odpowiedzi naszego filtra na zadany sygnał wejściowy. Wymaga to podania transmitancji, przedziału czasu oraz sygnału wejściowego.

Przykład:

$$\begin{aligned}
 H &= \frac{as + b}{cs + d} \\
 we &= \sin(x) \\
 t &= a:x:b; \\
 [wy, t] &= lsim[H, we, t]
 \end{aligned}$$

4. Funkcja *step*

Funkcja *step* pozwala na wyliczenie odpowiedzi skokowej naszego filtru na zadaną transmitancję wejściową.

5. Funkcja *impulse*

Funkcja *impulse* pozwala na wyliczenie odpowiedzi impulsowej układu na zadaną transmitancję wejściową. Jest to reakcja układu na impuls jednostkowy, który jest teoretycznie nieskończenie krótki i o nieskończenie dużej amplitudzie, ale o całkowitej energii równej 1.

6. Funkcja *interp1*

Funkcja *interp1* pozwala na interpolację jednowymiarową, czyli wyznaczanie wartości pośrednich dla danych określonych w dyskretnych punktach. Jest przydatna w analizie sygnałów, aproksymacji wartości funkcji oraz przetwarzaniu danych eksperymentalnych

Opis naszego kodu:

Moduł wyboru filtru:

W skrypcie „projekt.m” mamy część programu, która jest odpowiedzialna za wyświetlenie interfejsu użytkownikowi, w którym będzie on mógł wybrać jeden z trzech typów filtrów tj. całkujący, różniczkujący bądź pasmowo przepustowy, ponadto w tej części projektu zdefiniowaliśmy elementy pasywne naszego filtru takie jak rezystory i kondensatory.

Po wyborze rodzaju filtra, który jest realizowany za pomocą funkcji switch-case użytkownik przechodzi do szczegółowego podmenu, gdzie będzie mógł wybrać jedną z kilku konfiguracji filtra.

Po wybraniu typu oraz konfiguracji filtra program wywołuje odpowiednią funkcję.

Funkcje tworzenia transmitancji:

Skrypty takie jak „UkładCałkujący n .m”, „UkładRóżniczkujący n .m” oraz „FiltrPP.m” (n jest numerem filtru). Tworzą nam transmitancję filtru za pomocą funkcji *tr*, której schemat działania przedstawiliśmy powyżej.

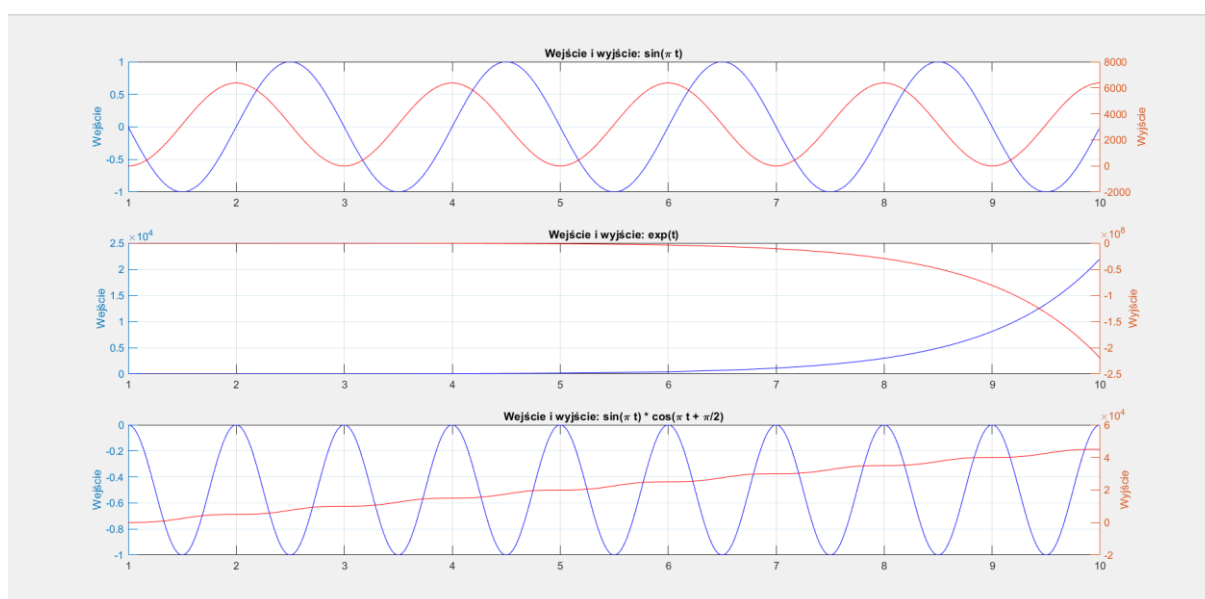
Ciało funkcji:

W skrypcie „CiałoFunkcji.m” znajduje się kluczowy kod, który jest rdzeniem naszego programu-tutaj definiujemy sygnały wejściowe naszego układu oraz tworzymy z nich nasze sygnały wyjściowe. Następnie funkcja wizualizuje nam wyniki w postaci wykresów, na których pokazane są: charakterystyki Bodego, funkcje wejściowe oraz wyjściowe i odpowiedzi naszego układu na skok jednostkowy.

Wybór menu:

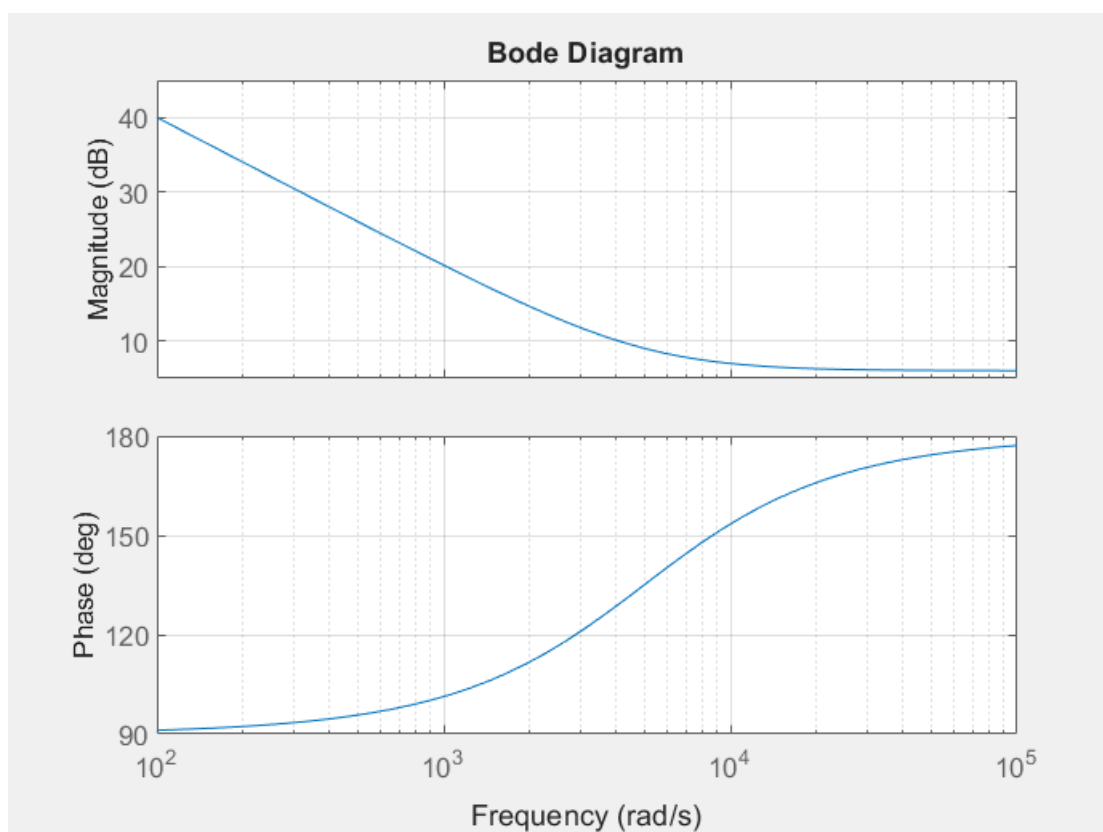
Funkcję „wybor2.m” wykorzystaliśmy w celu minimalizacji i nie nadmiarowości kodu. Służy on do celu poinformowania użytkownika z jakimi układami ma do czynienia, jest wykorzystywany w celu podjęcia wyboru i dalszego działania kodu

Charakterystyczny opis wybranych wykresów:



Rysunek 1: Charakterystyka sygnału wyjściowego do sygnału wyjściowego układu całkującego

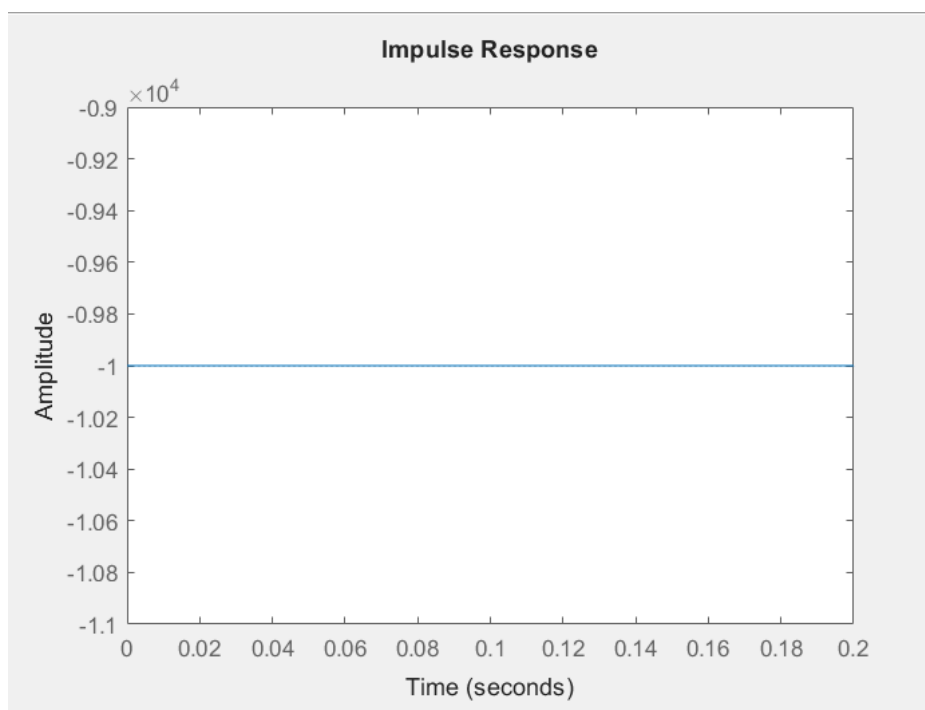
Na wejście układu całkującego podajemy w celu przedstawienia funkcjonalności filtru trzy funkcje: $\sin(\pi t)$, $\exp(t)$ oraz $\sin(\pi t)\cos(\pi t + \pi/2)$. Układ ten generuje na jednym wykresie przebieg wejściowy (kolor niebieski) oraz przebieg wyjściowy (kolor czerwony). W celu lepszej wizualizacji wykorzystaliśmy dwie różne skale, po lewej stronie mamy realizację sygnału wejściowego, natomiast po prawej sygnały wyjściowe. U góry przebiegu widnieje pogrubionym drukiem opis wykresu. Z charakterystyki i założenia zadania wynika, że przebieg wyjściowy jest wielokrotnie zwiększony na wyjściu. Głównym celem wzmacniaczy operacyjnych jest wzmocnienie sygnału, w celu dalszego wykorzystania go. Co ciekawe, można zaobserwować, że sygnał jest odwrócony oraz przesunięty w fazie o 90° .



Rysunek 2: Wykresy Bodego (amplitudowo-częstotliwościowe oraz fazowo-częstotliwościowe)

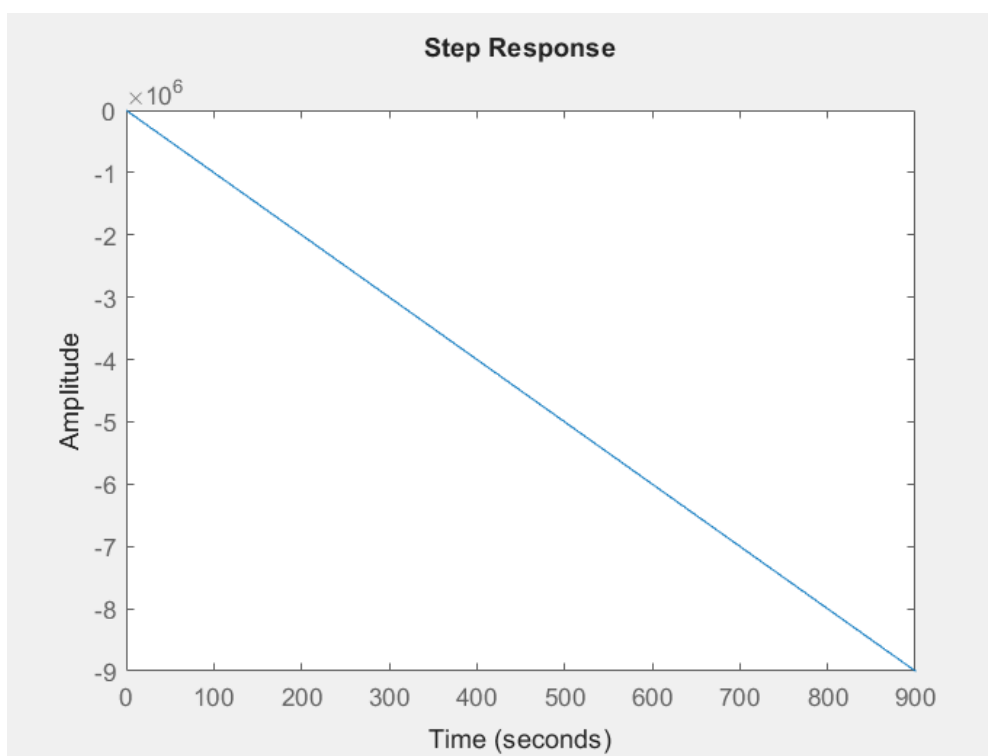
Wykres Bodego przedstawia, jak zmienia się wzmacnienie wzmacniacza operacyjnego w funkcji częstotliwości. Pozwala to określić pasmo przenoszenia układu oraz jego zachowanie w różnych zakresach częstotliwości. Opis osi to w przypadku wzmacniaczy operacyjnych OY – wzmacnienie liczone ze wzoru $20\log(|K_v(j\omega)|)$ oraz OX – częstotliwość. W przypadku układu z jednym biegunem (pierwszego rzędu) obserwujemy spadek wzmacnienia o 20 dB/dekadę po przekroczeniu częstotliwości granicznej. Natomiast w układzie z jednym zerem charakterystyka wykazuje wzrost wzmacnienia o 20 dB/dekadę. Do tego momentu wystąpienia bieguna mamy spadek wzmacnienia o 20 dB/dek, natomiast w biegunie występuje wyprostowanie się charakterystyki. Jak widzimy, aby uzyskać duże wzmacnienie dla tego rodzaju filtru należy wykorzystać niskie częstotliwości, dla wysokich wzmacnienie jest niezauważalne.

Dla analizy charakterystyki fazowej możemy powiedzieć, że wygięcie występuje w biegunie, bądź zerze funkcji. Analogicznie jak w wykresach Bodego, w zależności od funkcji, kiedy mamy do czynienia z jednym zerem lub biegunem obserwujemy spadek, bądź narastanie o 45° . Charakterystyka jest funkcją $\arctan(x)$, zazwyczaj w środowisku inżynierskim aproksymowana przez krzywą o wyraźnym punkcie przegięcia w pobliżu zer i biegunów. Dla powyższego wykresu możemy odczytać, że dla omegi równej 10^4 mamy fazę ok. 150° .



Rysunek 3: Odpowiedź układu na sygnał impulsowy

Powyższy wykres przedstawia reakcję układu na impuls jednostkowy, tzw. Deltę Diraca $\delta(t)$. Jest to kluczowa charakterystyka dynamiczna układu, która pozwala określić, jak wzmacniacz zachowuje się w dziedzinie czasu. Odpowiedź impulsowa $h(t)$ to odwrotna transformata Laplace'a transmitancji układu $H(s)$. W idealnym wzmacniaczu pasmo przenoszenia jest nieskończone, więc odpowiedź impulsowa powinna być natychmiastowa i dokładnie odwzorowywać impuls wejściowy. W rzeczywistych wzmacniaczach odpowiedź impulsowa jest ograniczona przez pasmo przenoszenia, co powoduje zniekształcenia, oscylacje lub opóźnienia. Na osi x przedstawiony jest czas, natomiast oś y odzwierciedla amplitudę sygnału.



Rysunek 4: Odpowiedź układu na sygnał jednostkowy

Odpowiedź skokowa to reakcja wzmacniacza operacyjnego na skok jednostkowy sygnału wejściowego (czyli nagłą zmianę napięcia). Jest to kluczowa charakterystyka dynamiczna układu, która opisuje jego szybkość i stabilność. Opis osi to x – czas, y – amplituda. Dla idealnego WO o nieskończonej szerokości pasma odpowiedź skokowa byłaby natychmiastowa – wyjście zmieniałoby napięcie bez opóźnienia i dokładnie odwzorowałoby skok wejściowy. W rzeczywistych wzmacniaczach operacyjnych jednak pasmo przenoszenia jest skończone, co prowadzi do opóźnień i zniekształceń.

Zastosowania filtrów:

Filtry znajdują szerokie zastosowanie w licznych dziedzinach techniki takich jak na przykład:

- **Telekomunikacja:**
Filtry w telekomunikacji służą przykładowo do tłumienia szumów w sygnałach cyfrowych oraz do przesyłu danych do selektywnego przepuszczania określonych częstotliwości.
- **Urządzenia pomiarowe**
W urządzeniach pomiarowych filtry używane są do wykrywania nagłych zmian sygnałów oraz pomagają w wyznaczeniu wartości średnich w systemach pomiarowych.
- **Zasilacze**
Filtry redukują szumy na wyjściu zasilaczy impulsowych oraz pomagają w stabilizacji napięcia i eliminacji harmonicznych.
- **Medycyna**
Filtry wykorzystywane są w urządzeniach analiz EKG oraz EGG.

Zastosowania naszego kodu:

Nasz kod może być wykorzystywany jako narzędzie edukacyjne dla studentów do zrozumienia działania filtrów oraz analizy ich charakterystyk. Umożliwia analizę pasma przenoszenia, tłumienia i wzmocnienia dla różnych częstotliwości. Służy do oceny przesunięcia fazowego, które jest kluczowe dla stabilności układu. Nasze narzędzie może posłużyć jako pierwszy krok w projektowaniu filtrów do rzeczywistych zastosowań, dzięki niemu można szybko ocenić działanie różnych układów i zoptymalizować ich parametry.