

VSG Protokol

2021/2022

1. Úvod

Cílem projektu je navrhnout a aplikovat filtry na signál, který v sobě integruje 4 rušivé harmonicky vztažené funkce cosinus. Zadaný signál, byl vygenerován z databáze TIMIT. V rámci tohoto projektu byl použit programovací jazyk **Matlab** se **Signal Processing Toolbox**.

2. Úkoly

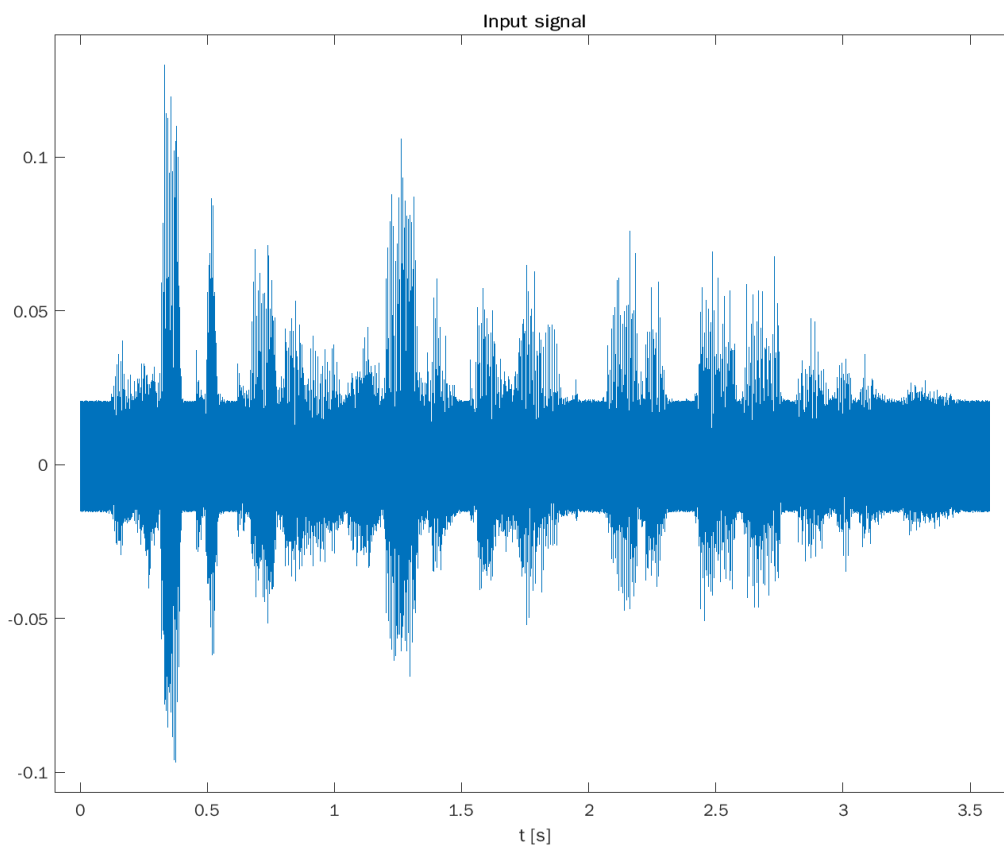
2.1. Základy

Délka signálu ve vzorcích: **57242**

Délka signálu v sekundách: **3.58 s**

Maximální amplituda: **0.13**

Minimální amplituda: **-0.1**

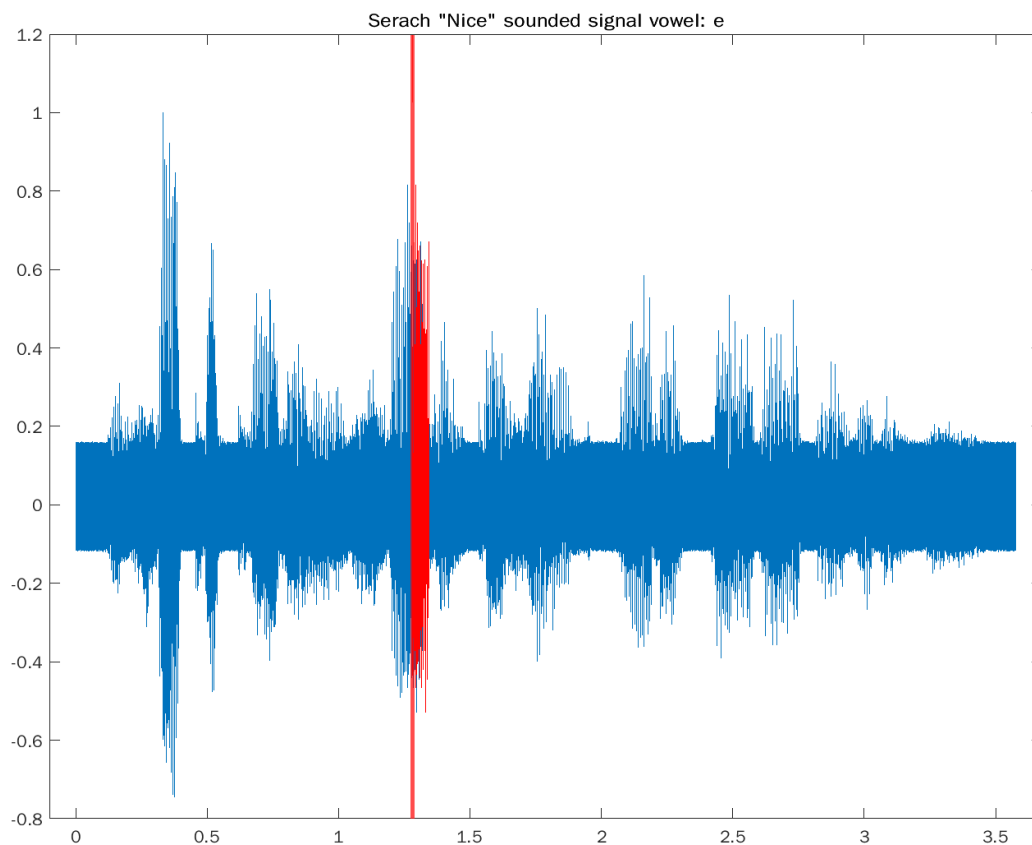


Obrázek 1 Vstupní signál

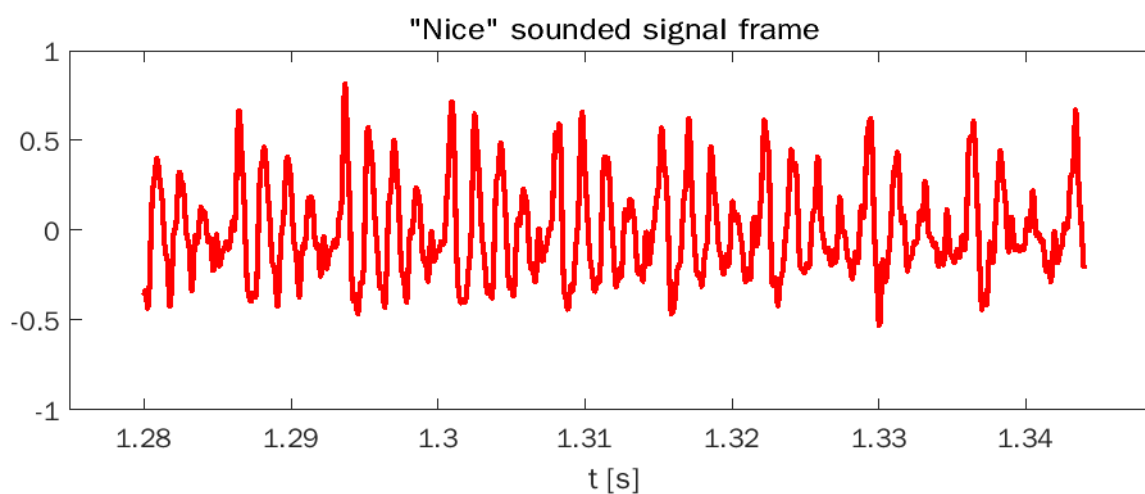
2.2. Předzpracování a rámce

V rámci tohoto úkolu bylo provedeno ustřednění a následná normalizace signálu. Normalizovaný signál byl poté rozdělen na rámce pomocí funkce **buffer**. Vstupními parametry jsou: normovaný signál, délka rámce(1024 vzorků) a překrytí(512 vzorků), s nastavením „nodelay“. Výstupem je matice úseků.

Pro výběr „pěkného“ rámce byl aplikován postup, kdy v první řadě v rámci nahrávky byly identifikovány samohlásky. Z nich byla vybrána samohláska **e**, která se v nahrávce nachází zhruba kolem **1.28 s**. Tomuto okolí odpovídá rámec **41**. Vybráním samohlásky jdou vidět maxima spektra odpovídající rezonancím hlasového ústrojí i násobky základní frekvence.



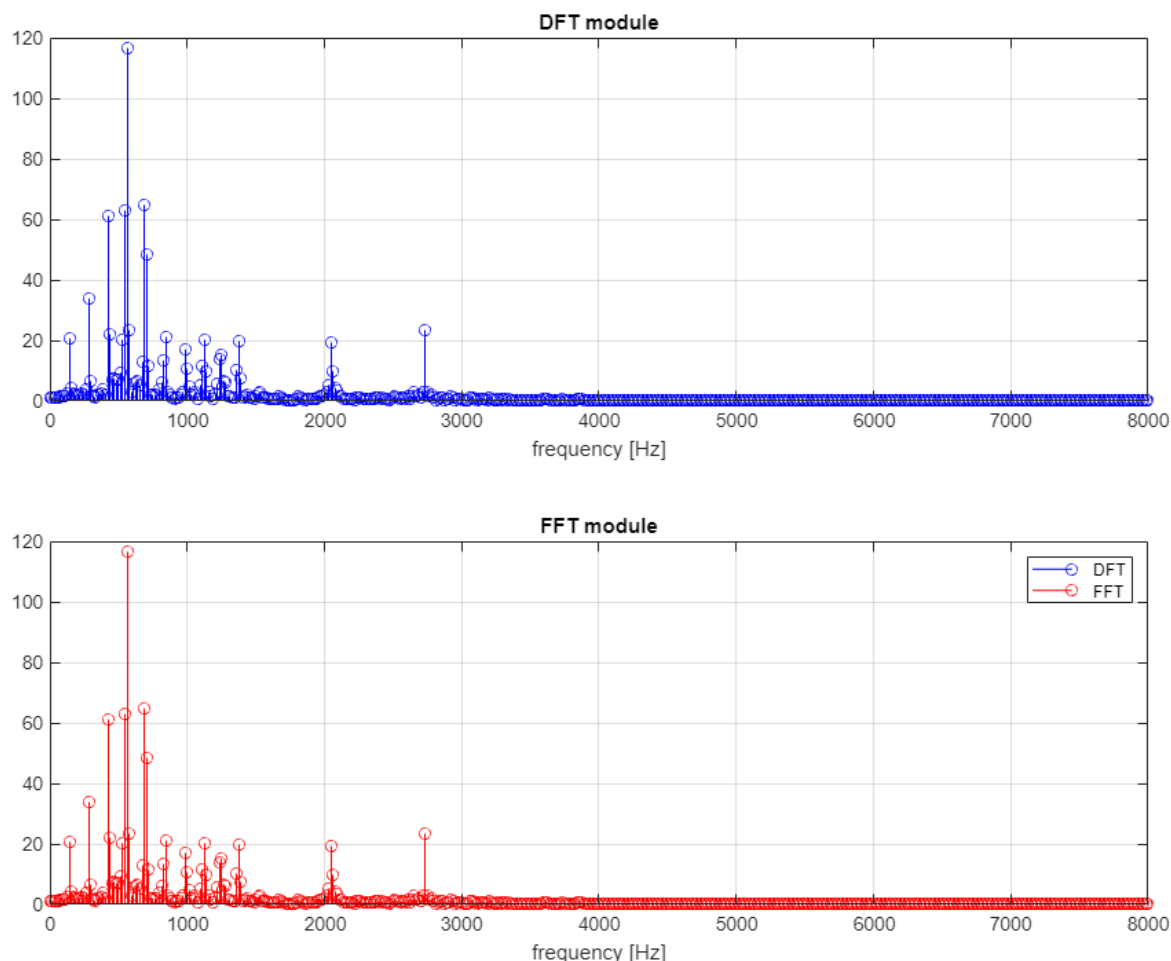
Obrázek 2 Identifikace samohlásky i



Obrázek 3 Znělý rámec číslo 41

2.3. DFT

Vlastní funkce **dft** má vstupní parametr: velikost rámce(1024 vzorků) a signál určený k transformaci, výstupem je transformovaný signál. V rámci implementace vlastní funkce pro výpočet diskretní Fourierovy transformace, bylo řešení opřeno o výpočet násobení matice bází s vektorem signálu. Matice bází je vypočítána z funkce **dftmtx**, kde vstupním parametrem je velikost rámce(1024 vzorků).

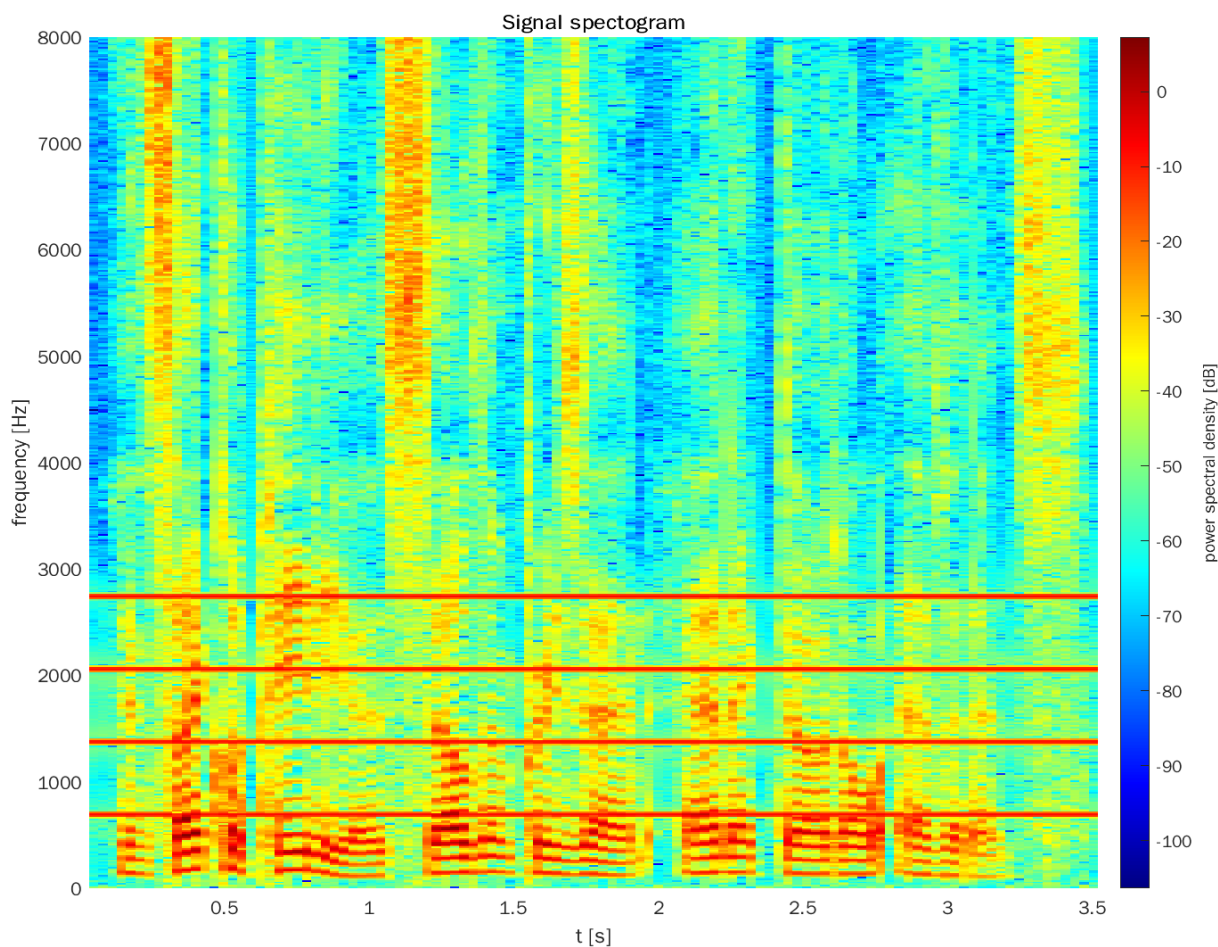


Obrázek 4 Modul DFT a FFT

Při grafickém porovnání DFT a FFT lze vypořadovat, že vypočítané hodnoty jsou totožné. Avšak rozdíl je patrný v rychlosti výpočtu kdy FFT pro zadanou úlohu je cirká **30x** rychlejší, než implementována vlastní funkce DFT. Což odpovídá řádu složitosti DFT $O(n^2)$, zatímco řád složitosti FFT $O(n \log n)$.

2.4. Spektrogram

Pro výpočet logaritmického výkonového spektrogramu byla použita funkce **spectrogram**, kde vstupní parametry jsou: normovaný signál, délka okna(1024 vzorků), překrytí(512 vzorků), vzorkovací frekvence. Výstupem funkce je matice krátkodobé Fourierovy transformace, vektor normalizovaných frekvencí a vektor času. Pro vykreslení je nutné provést ještě úpravu jednotlivých koeficientů DFT: $P[k] = 10 \log_{10}|X[k]|^2$.



Obrázek 5 Spektrogram normalizovaného signálu

2.5. Určení rušivých frekvencí

K identifikaci rušivých signálů bylo využito grafu logaritmického výkonového spektrogramu z úkolu 2.4. Rušivé komponenty byly určeny vizuálním odečtením:

$$f_1 = 690 \text{ Hz}$$

$$f_2 = 1380 \text{ Hz}$$

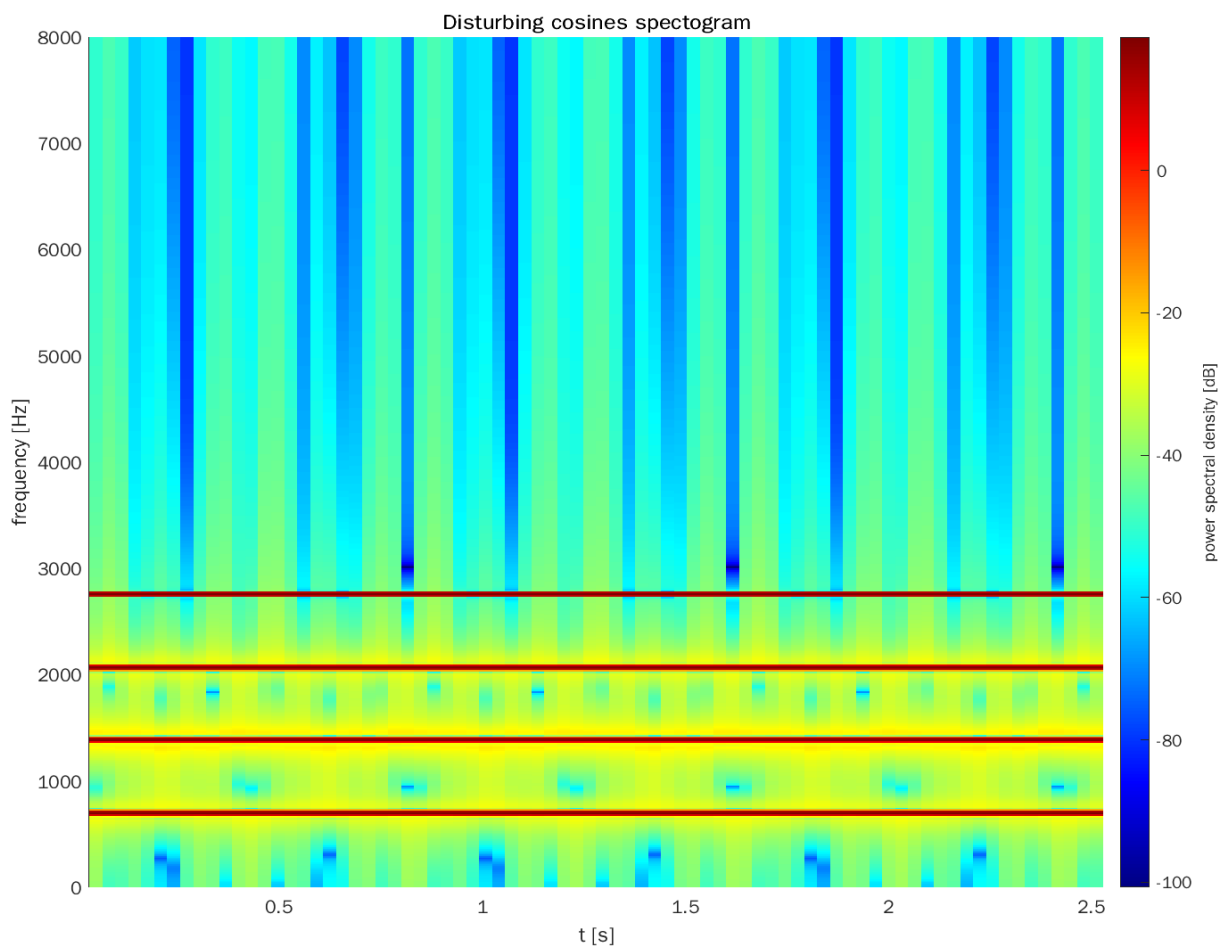
$$f_3 = 2060 \text{ Hz}$$

$$f_4 = 2740 \text{ Hz}$$

Z odečtených frekvencí lze vypořadovat, že jsou harmonicky vztažené, což odpovídá zadání z databáze TIMIT.

2.6. Generování signálu

Podle zadání byly vygenerovány čtyři rušivé funkce cosinus, které byly identifikovány z úkolu 2.5. V první řadě byl porovnán spektrogram s rušivými funkcemi ku spektrogramu z úkolu 2.4., následovalo provedení zápisu do souboru a také porovnání poslechem. Podle spektrogramu můžeme konstatovat, že identifikace a generování bylo provedeno úspěšně. Poslechem nelze zcela určit, zda se jedná přesně o dané rušivé frekvence



Obrázek 6 Spektrogram čtyř rušivých cos

2.7. Čistící filtr

Pro řešení tohoto úkolu byla vybrána metoda filtrace pomocí čtyř pásmových zádrží, které potlačují frekvence určené z úkolu 2.6. Tento návrh a zkonstruování filtru byl implementován jako funkce **four_filters**, kde vstupními parametry jsou: vektor frekvencí, vzorkovací frekvence a normovaný signál. Výstupem funkce je vyfiltrovaný signál (úkol 2.10.), matice nul, matice pólů, matice koeficientů filtrů. Ve funkci jsou následně nastaveny parametry zvlnění v propustném pásmu (3 dB), potlačení v závěrném pásmu (40 dB) a vzorkovací frekvence je převedena na Nyquistovu frekvenci.

Návrh filtrace pro jednotlivé frekvence je koncipován tak, kdy v první řadě je vypočítána frekvence závěrného pásma, která odpovídá ± 25 Hz od filtrované frekvence. Následně je vypočítána frekvence propustného pásma, která odpovídá ± 50 Hz od filtrované frekvence. Poté je vypočítán řád a mezní frekvence Butterworthova filtru pomocí funkce **buttord**, přičemž vstupními parametry jsou vektor frekvence závěrného pásma, vektor frekvence propustného pásma, zvlnění v propustném pásmu a potlačení v závěrném pásmu. Následuje výpočet konstrukce Butterworthova filtru pomocí funkce **butter**, kde vstupními parametry je řád a mezní frekvence. Výstupem je vektor pólů, nul a zesílení. Konverze na koeficienty filtrů **a**, **b** je realizována pomocí funkce **zp2tf**.

Coefficient of filter for frequency 690 [HZ]

```
[b] = [ 0.96 -13 81 -3.2e+02 8.5e+02 -1.7e+03 2.5e+03 -2.9e+03 2.5e+03 -1.7e+03 8.5e+02 -3.2e+02 81 -13 0.96 ]
[a] = [ 1 -13 84 -3.3e+02 8.7e+02 -1.7e+03 2.5e+03 -2.9e+03 2.5e+03 -1.7e+03 8.4e+02 -3.1e+02 79 -12 0.91 ]
```

Coefficient of filter for frequency 1380 [HZ]

```
[b] = [ 0.96 -11 66 -2.4e+02 6e+02 -1.1e+03 1.7e+03 -1.9e+03 1.7e+03 -1.1e+03 6e+02 -2.4e+02 66 -11 0.96 ]
[a] = [ 1 -12 68 -2.4e+02 6.1e+02 -1.2e+03 1.7e+03 -1.9e+03 1.6e+03 -1.1e+03 5.9e+02 -2.3e+02 64 -11 0.91 ]
```

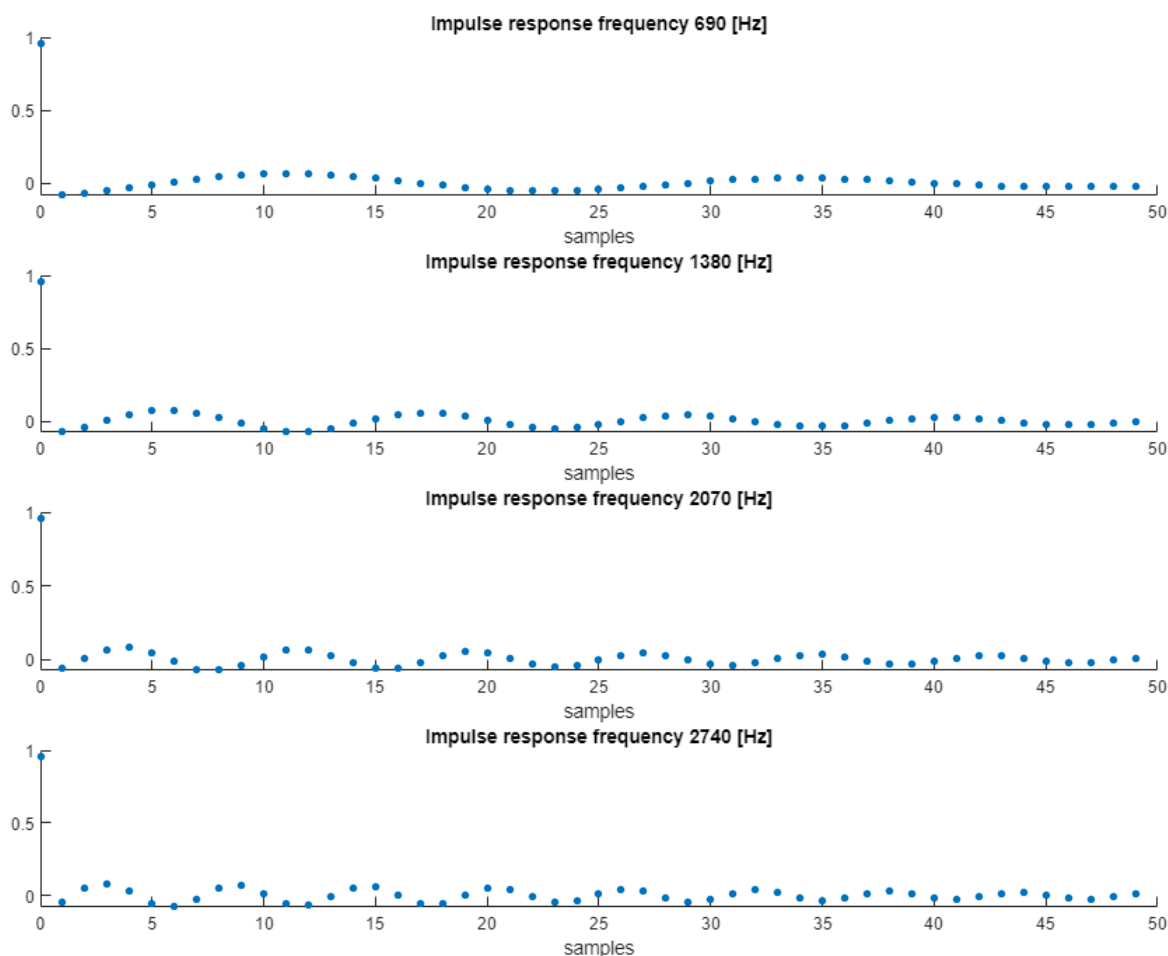
Coefficient of filter for frequency 2070 [HZ]

```
[b] = [ 0.96 -9.2 45 -1.4e+02 3.3e+02 -5.8e+02 8.2e+02 -9.1e+02 8.2e+02 -5.8e+02 3.3e+02 -1.4e+02 45 -9.2 0.96 ]
[a] = [ 1 -9.6 46 -1.5e+02 3.4e+02 -5.9e+02 8.2e+02 -9.1e+02 8.1e+02 -5.8e+02 3.2e+02 -1.4e+02 43 -8.8 0.91 ]
```

Coefficient of filter for frequency 2740 [HZ]

```
[b] = [ 0.96 -6.4 25 -67 1.4e+02 -2.3e+02 3e+02 -3.3e+02 3e+02 -2.3e+02 1.4e+02 -67 25 -6.4 0.96 ]
[a] = [ 1 -6.6 26 -69 1.4e+02 -2.3e+02 3e+02 -3.3e+02 3e+02 -2.2e+02 1.4e+02 -65 24 -6.1 0.91 ]
```

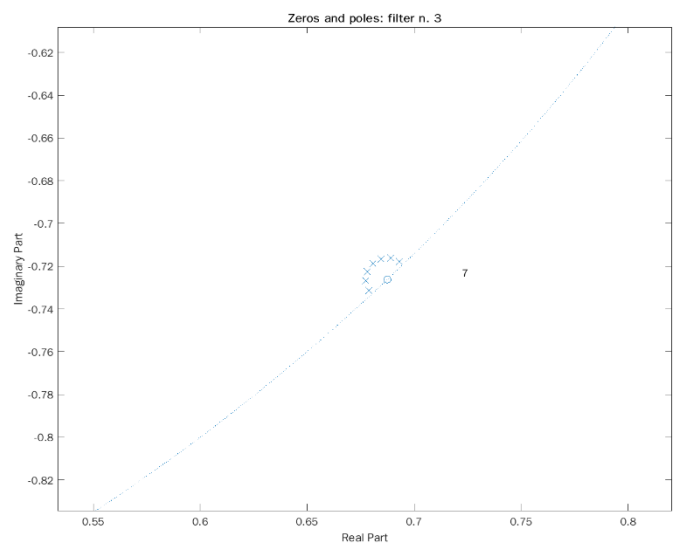
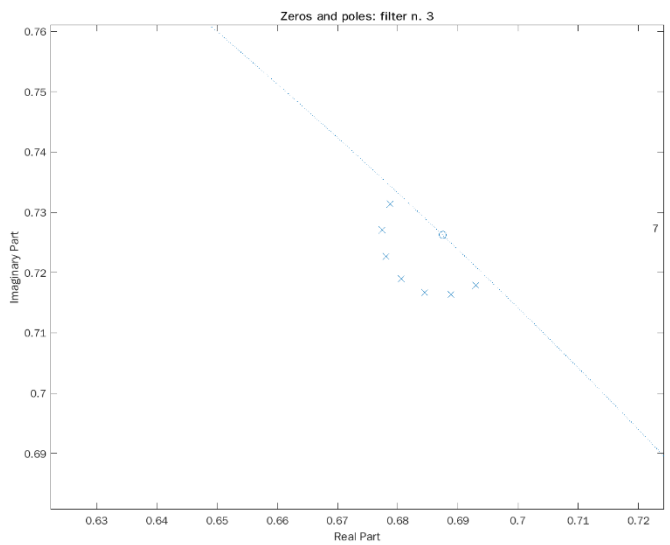
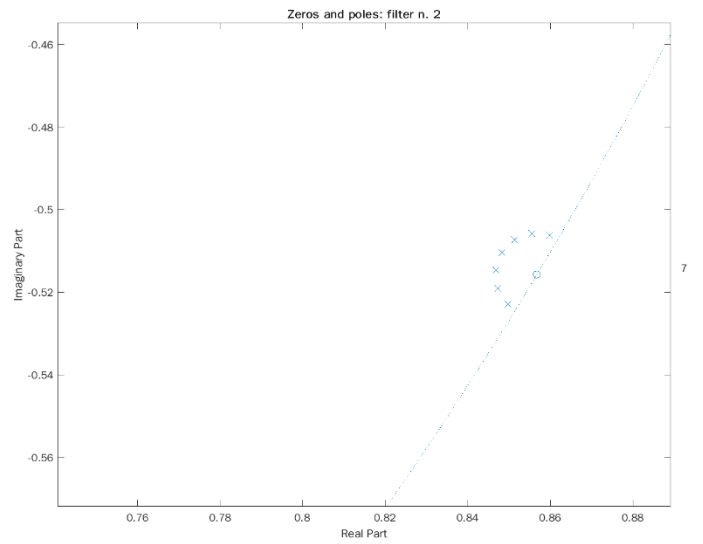
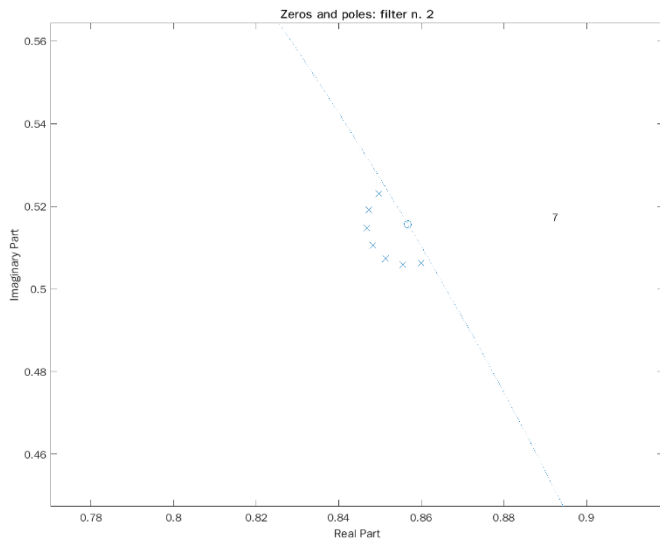
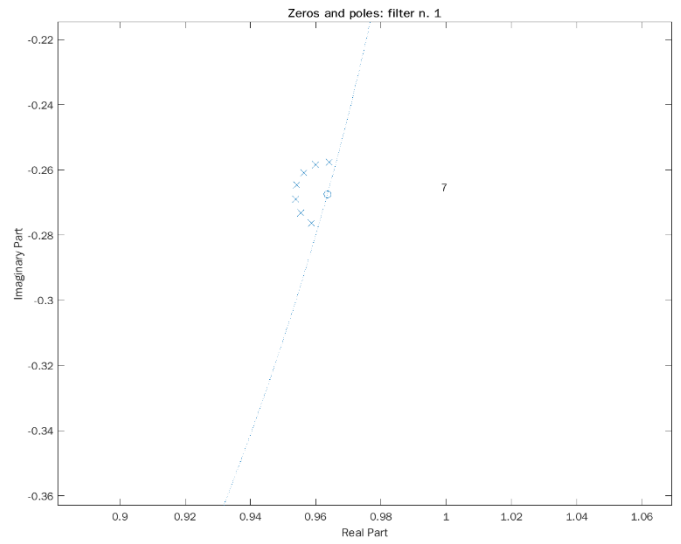
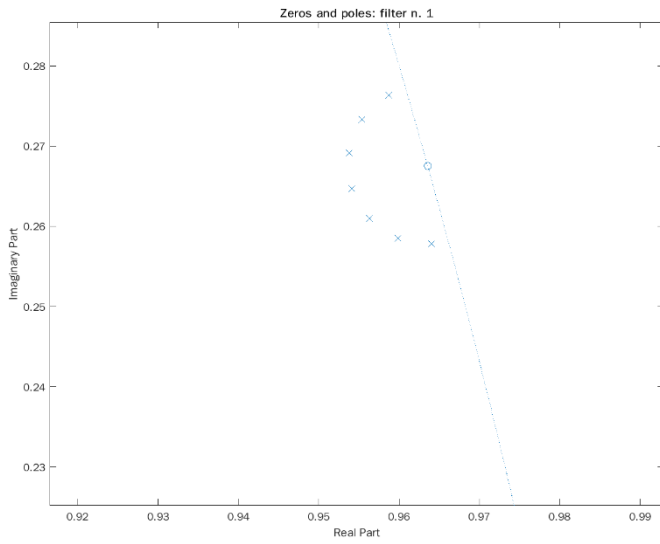
Obrázek 7 Výpis koeficientů filtrů typu pásmová zádrž

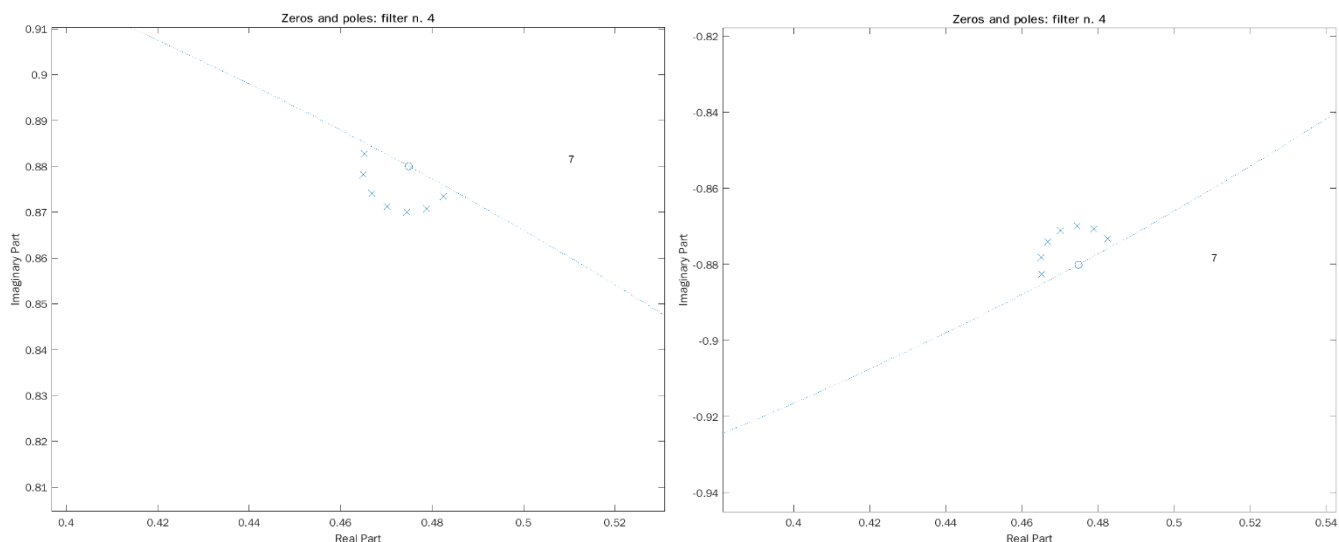


Obrázek 8 Impulzní charakteristika filtrů typu pásmová zádrž

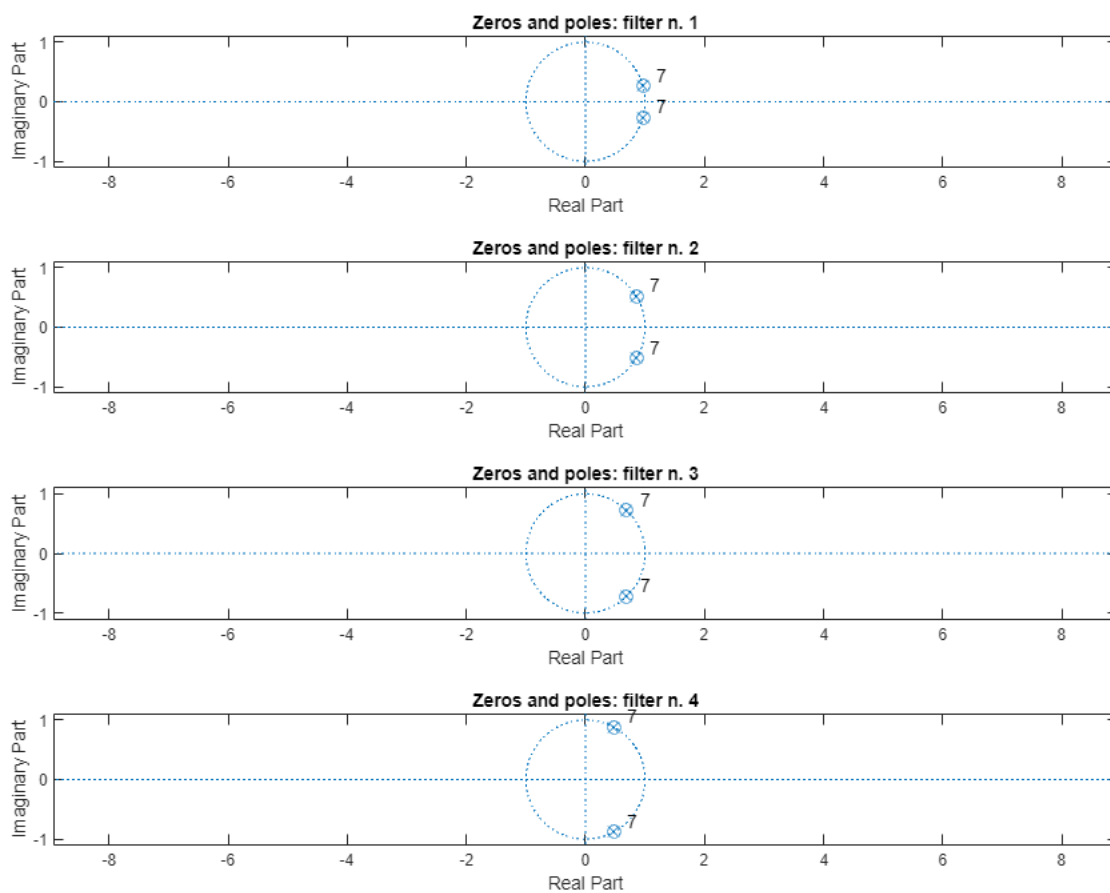
2.8. Nulové body a póly

Výpočet nulových bodů a pólů byl realizován v rámci konstrukce Butterworthova filtru (úkol 2.7.), pro vykreslení byla použita funkce **zplane**, kde vstupním parametrem je vektor nul a pólů. Z obrázků, kde je zoom na oblasti, ve kterých se nacházejí póly a nuly v komplexní rovině, lze konstatovat, že se jedná o stabilní filtry, jelikož póly leží uvnitř jednotkové kružnice.





Obrázek 9 Zoom pólů a nul v komplexní rovině

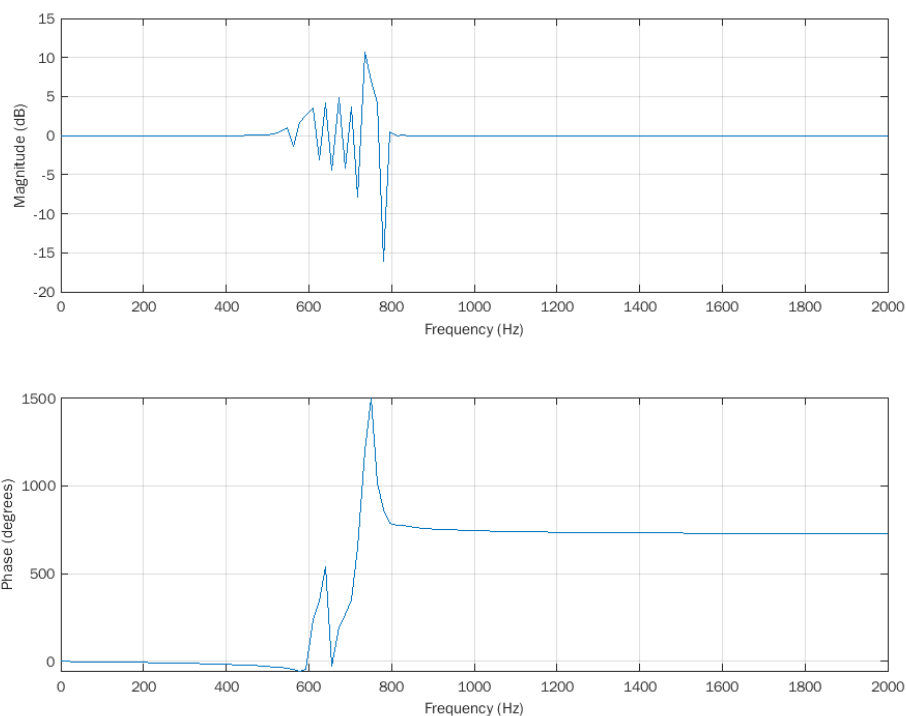


Obrázek 10 Póly a nuly v komplexní rovině

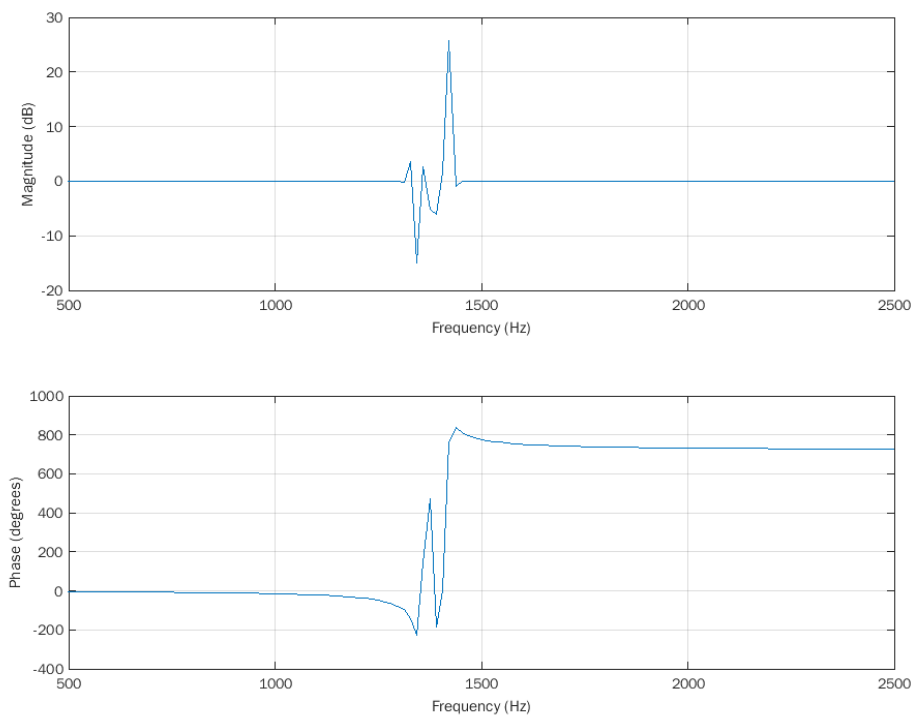
2.9. Frekvenční charakteristika

Výpočet frekvenční charakteristiky filtrů a současně vykreslení bylo provedeno pomocí funkce **freqz**, kde vstupními parametry je vektor koeficientů filtrů a vzorkovací frekvence. Koeficienty filtru byly vypočítány v úkolu 2.7. Výstupem je vykreslený graf frekvenční

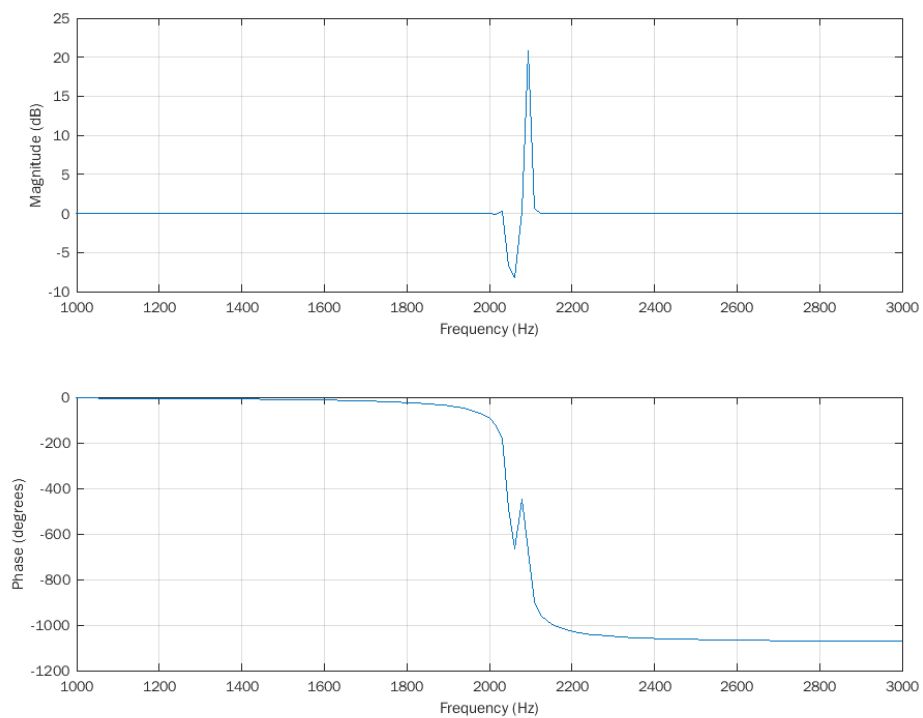
charakteristiky, jak pro modulovou tak argumentovou část. Z frekvenčních charakteristik můžeme posoudit, že navržené filtry typu pásmová zadrž provádí filtraci na definovaných rušivých frekvencích.



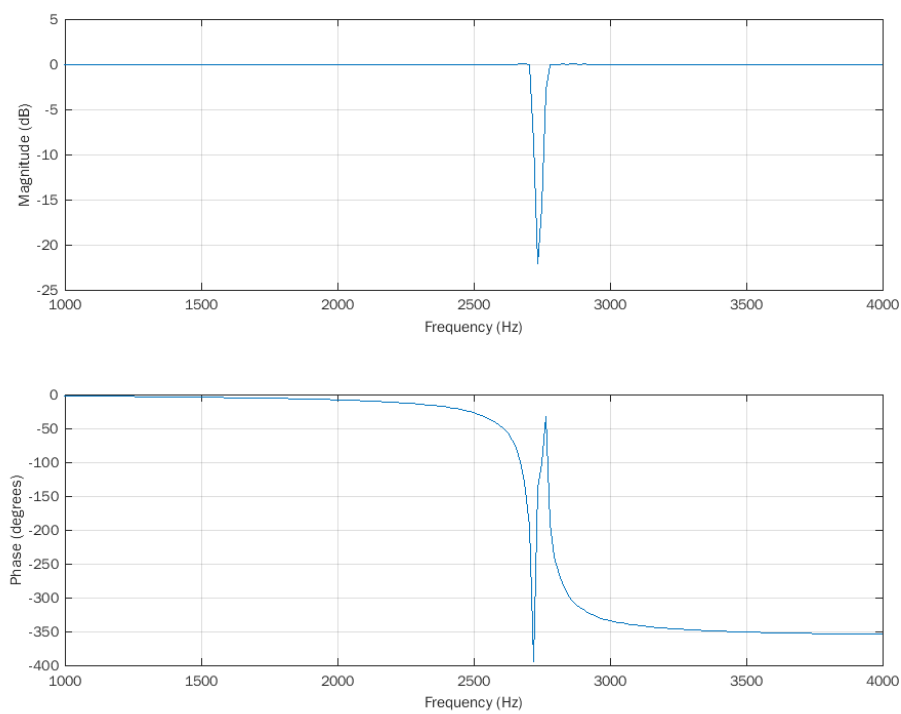
Obrázek 12 Frekvenční charakteristika filtru č. 1



Obrázek 11 Frekvenční charakteristika filtru č. 2



Obrázek 13 Frekvenční charakteristika filtru č. 3

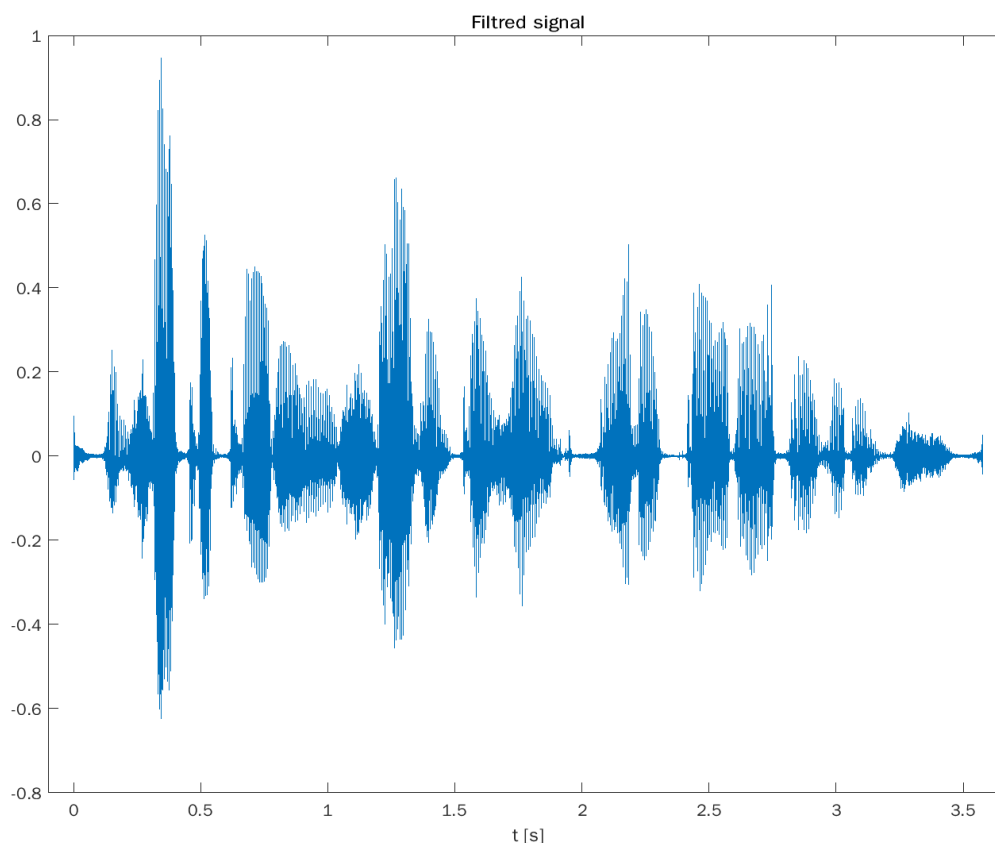


Obrázek 14 Frekvenční charakteristika filtru č. 4

2.10. Filtrace

Na závěr, je zkonstruovaný Butterworthův filtr z úkolu 2.7. aplikován. V rámci řešení se samotná filtrace nachází ve funkci **four_filters**(úkol 2.7), kde je použita sekvenční filtrace, tedy postupně jsou odfiltrovány rušivé artefakty v konečném cyklu v rozsahu počtu rušivých frekvencí. Samotná filtrace byla provedena pomocí funkce **filtfilt**. Vstupní parametry jsou transformované nuly, póly a zesílení z konstrukce Butterworthova filtru do tvaru druhého řádu pomocí funkce **zp2sos**. Výstupem je vyfiltrovaný signál.

Před validací úspěšnosti filtrace, byla provedená vizuální kontrola dynamického rozsahu, který činí -1 až 1.

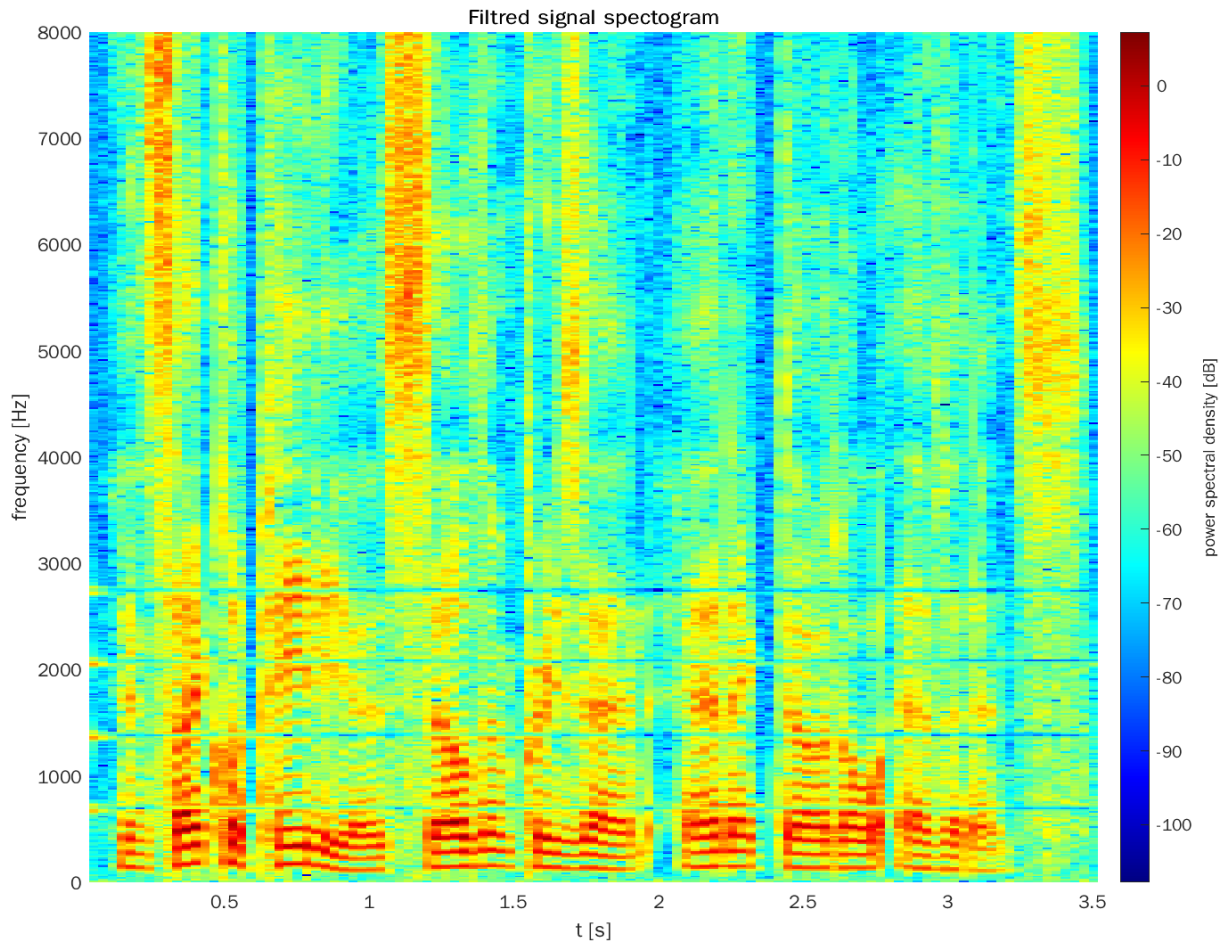


Obrázek 15 Filtrovaný signál

V rámci validace, zda byla filtrace úspěšná, byl proveden poslech vyfiltrovaného signálu. Poslech byl realizován na nekvalitních reproduktorech i sluchátkách. Při poslechu v reproduktorech lze konstatovat, že došlo k úspěšné filtraci, avšak při poslechu ve sluchátkách při téměř maximálním zesílení, lze slyšet na začátku nahrávky a u konce část nevyfiltrovaného rušivého artefaktu. Jedním z možných řešení, je úsek tohoto nevyfiltrovaného signálu zcela vyříznout.

3. Závěr

Cílem projektu byl daný signál s rušivými artefakty analyzovat, najít na kterých frekvencích se nachází rušivé sinusovky, navrhnout filtry pro čištění signálu a pak signál vyčistit. Všechny tyto kroky byly splněny, kdy tíženým výstupem je filtrovaný signál. Filtrace není zcela bezprecedentně přesná, avšak splňuje požadavky.



Obrázek 16 Spektrogram filtrovaného signálu

Reference

- [1] MATLAB Answers [online]. 2021 [cit. 2022-01-06]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/answers/index>
- [2] Digital Filter Design. SAS® Help Center [online]. 2020 [cit. 2022-01-01]. Dostupné z: https://documentation.sas.com/doc/en/pgmsascdc/9.4_3.5/casforecast/casforecast_dfil_details03.htm