



TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY

Katedra elektroniky a multimediálnych telekomunikácií



Signálové procesory

Návrh mikrofónového zosilňovača

Št. program: SE_ING_1.ročník

20. dec. 2016

Vypracovali:

Peter Dzivák

Rastislav Jurč

Tomáš Koutun

Peter Šimčák

1 Obsah

1.	Ciele zadania.....	1
1.1	Použitý mikrofón	1
1.2	Bloková schéma.....	1
1.3	Návrh zosilňovača pomocou OZ TL072	2
1.4	Návrh zosilňovača pomocou OZ OPA2363	6
2	Návrh číslicových filtrov.....	13
2.1	Definícia úloh.....	13
2.2	Návrh koeficientov IIR a FIR filtra	13
2.2.1	FIR filter	13
2.2.2	IIR filter	15
2.3	Vývojová doska BF533 EZ-KIT Lite	17
2.4	Návrh programu v prostredí VisualDSP++	18
2.4.1	Inicializácia.....	18
2.4.2	Knižničná funkcia FIR filtra	18
2.4.3	Knižničná funkcia IIR filtra	19
2.4.4	Spracovanie vstupných vzoriek	19
2.5	Porovnanie filtrov na doske EZ-KIT Lite.....	21
2.6	Porovnanie filtrov v Matlabe a simulátore.....	27
2.6.1	FIR filter	28
2.6.2	IIR filter	29
2.6.3	IIR+FIR.....	32
3	Návrh dosky plošného spoja.....	34
4	Použitá literatúra.....	35

1. Ciele zadania

Cieľom zadania je navrhnuť predzosilňovač pre mikrofón použitím operačných zosilňovačov TL072 a OPA2363. Ďalšou úlohou je navrhnuť číslicové filtre pre akustické pásmo v prostredí VisualDSP++ a demonštrovať ich funkciu na vývojovej doske EZ-KIT Lite so signálovým procesorom Blackfin BF533.

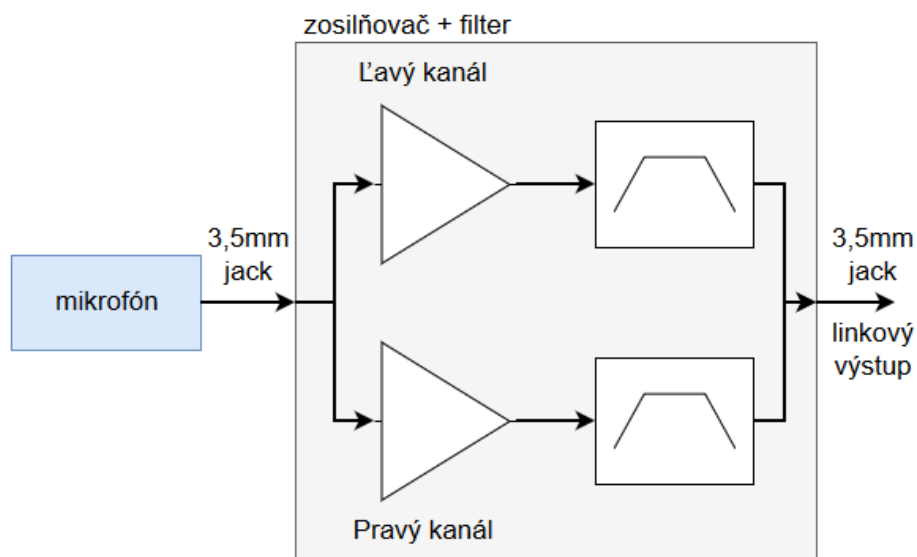
1.1 Použitý mikrofón

V rámci zadania budeme pracovať s elektretovým mikrofónom Vectra MIC-1 určeným pre fotoaparáty alebo videokamery so stereo výstupom na 3,5mm jack konektor. [1.]

Parametre mikrofónu:

- Typ: smerový mikrofón
- Frekvencia: 30-18000Hz
- Uhly snímania: 90° alebo 120°
- Citlivosť: -40dB (0 dB = 1V/Pa pri 1KHz)
- Výstupná impedancia: 200Ω
- Signál - šum : 76dB (1Khz pri 1 PA)
- Max. SPL: 120dB (pri 1Khz; 1% THD) [1.]

1.2 Bloková schéma



Obr. 1 Bloková schéma predzosilňovača

Jednou z požiadaviek na zosilňovač je linkový stereo výstup, kvôli čomu sú ľavý a pravý kanál zosilňované a filtrované samostatne podľa Obr. 1. Napájanie týchto obvodov bude riešené pomocou 9V batérie pre OZ TL072 a 3V batériou pre OZ OPA2363.

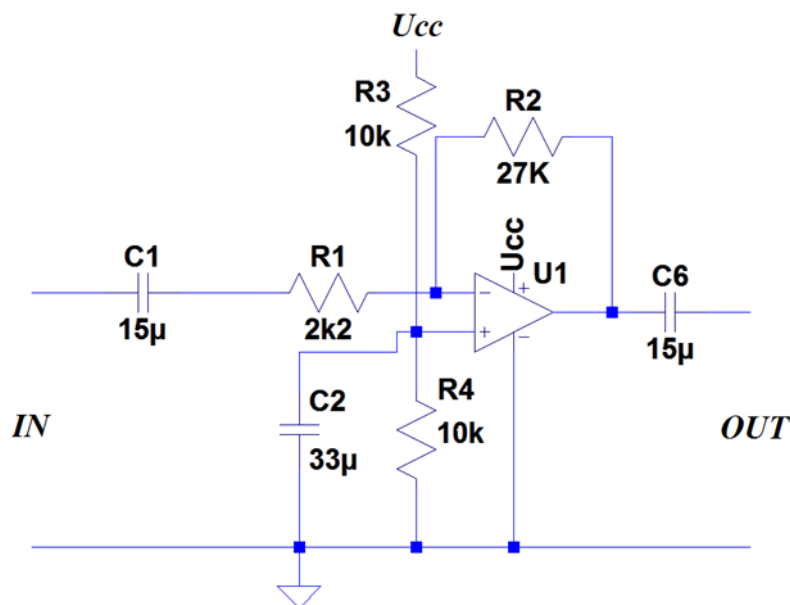
1.3 Návrh zosilňovača pomocou OZ TL072

OZ TL072 sme si zvolili kvôli nízkemu harmonickému skresleniu $THD = 0,003\%$ a jeho nízkemu šumu. Má napájanie diferenčným napätím v intervale -18 až $18V$ [2.], kvôli čomu pri napájaní z batérie musíme k vstupnému signálu pridať napätový ofset aby nedochádzalo k orezávaniu jeho záporných zložiek.

OZ je v invertujúcom zapojení podľa Obr. 2 so zosilnením

$$A_u = -\frac{R_2}{R_1} = -\frac{27}{2,2} = -12,27$$

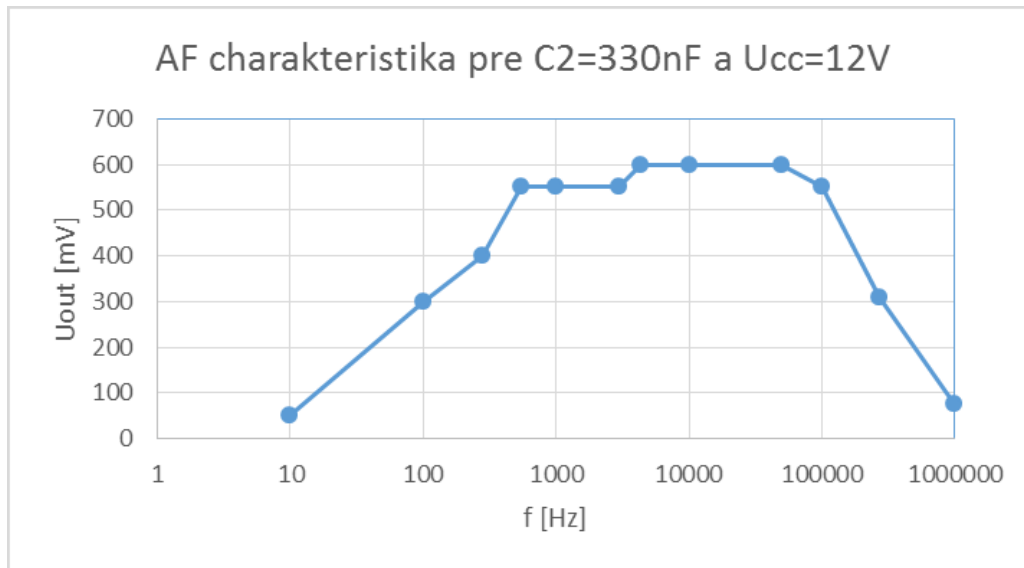
Delič napätia na tvorený rezistormi R_3 a R_4 s výstupom pripojeným na neinvertujúci vstup pridáva k vstupnému signálu jednosmernú zložku s veľkosťou $U_{cc}/2$. Vázobné kondenzátory slúžia na filtráciu jednosmerných zložiek signálu.



Obr. 2 schéma zapojenia zosilňovača

Ďalším krokom bolo zapojenie zosilňovača na kontaktné pole a následné zmeranie AF charakteristík.

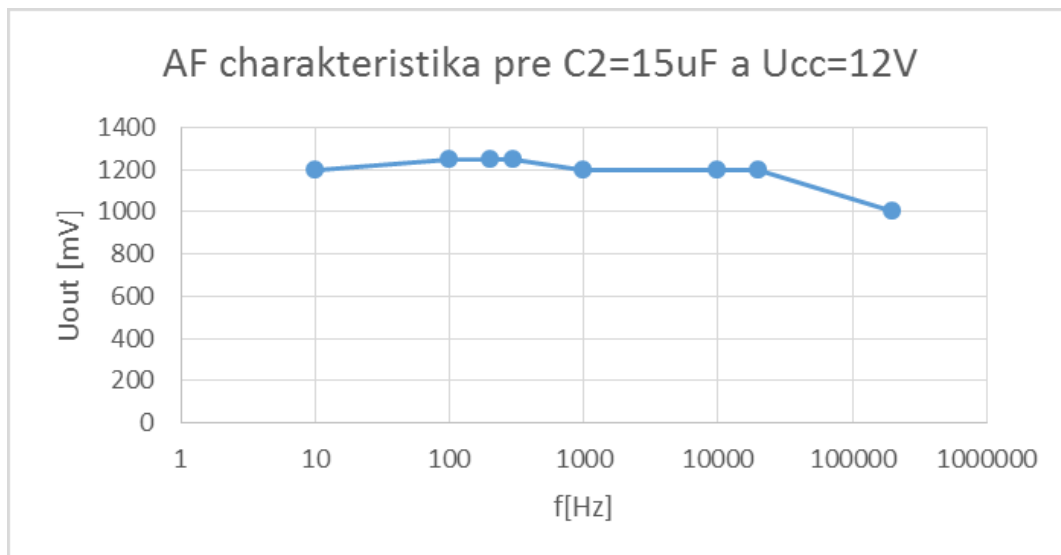
Na vstup predzosilňovača sme pripojili generátor so sínusovým signálom s amplitúdou $100mV$. Postupne sme menili frekvenciu vstupného signálu a sledovali signál na výstupe. Pre prvé zapojenie sme použili kondenzátor $C1$ s hodnotou $330nF$. Výsledná charakteristika aj s tabuľkou hodnôt je zobrazená na Obr. 3.



Obr. 3 AF charakteristika predzosilňovača s použitím C1 = 330nF

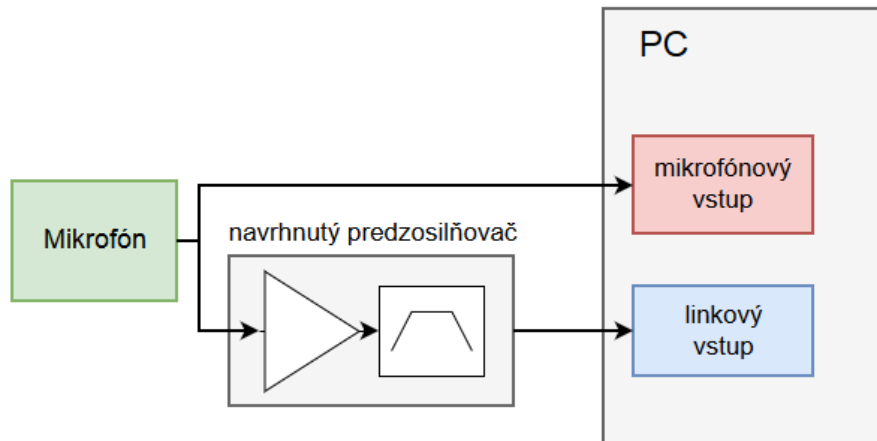
Keďže z Obr. 3 môžeme vidieť že AF charakteristika nevyhovuje našim požiadavkám a kondenzátor C1 má malú hodnotu, použili sme kondenzátor s hodnotou 15 μ F. Veľkosť zosilnenia podľa vyššie uvedeného vzťahu by mala mať hodnotu 12,27 avšak charakteristika na predchádzajúcom obrázku zobrazuje hodnotu zosilnenia maximálne 6. Z tohto dôvodu sme zvolili vyššiu hodnotu kondenzátora C1.

Výsledná AF charakteristika pri použití kondenzátora C1 s hodnotou 15 μ F je zobrazená na Obr. 4.

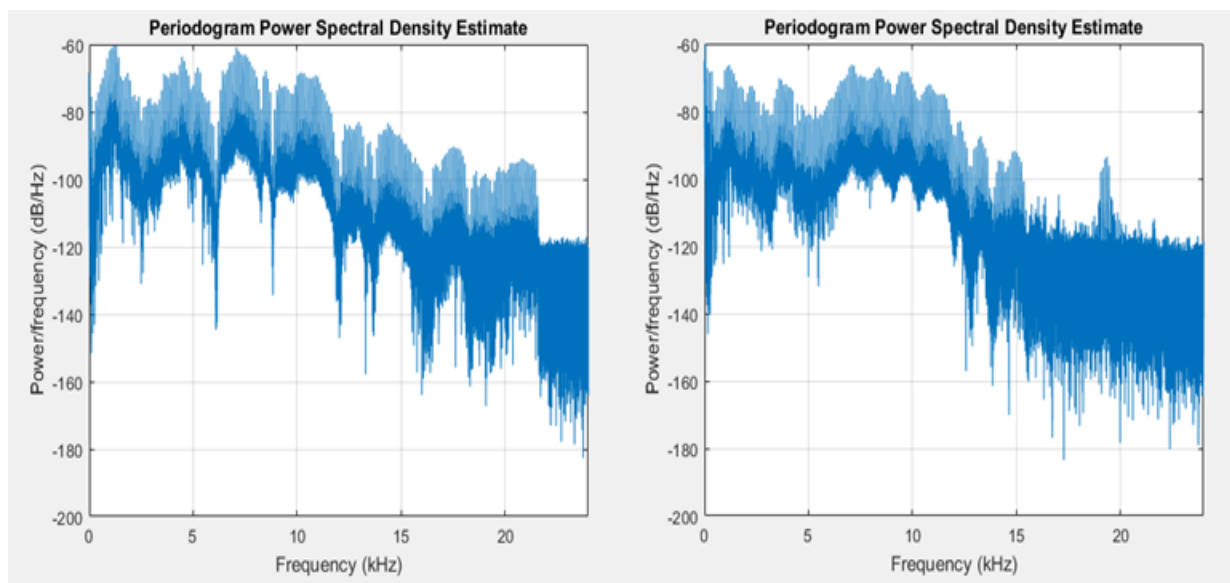


Obr. 4 AF charakteristika predzosilňovača s použitím C1 = 15uF

Po vytvorení správneho návrhu pre predzosilňovač sme pokračovali porovnaním nahrávok pri použití predzosilňovača implementovaného v mikrofónovom vstupe zvukovej karty a nášho predzosilňovača pripojeného na linkový vstup zvukovej karty zapojením mikrofónu podľa Obr. 5. Spektrum nahrávok je na Obr. 6

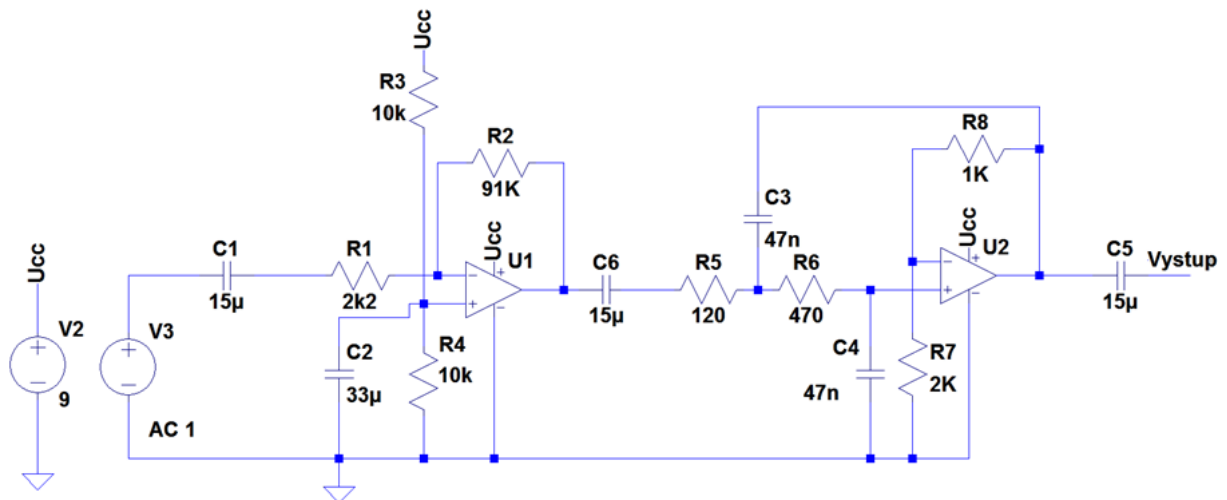


Obr. 5 pripojenie mikrofónu k PC pre porovnanie nahrávok z mikrofónového vstupu a použitím predzosilňovača pripojeného k linkovému vstupu



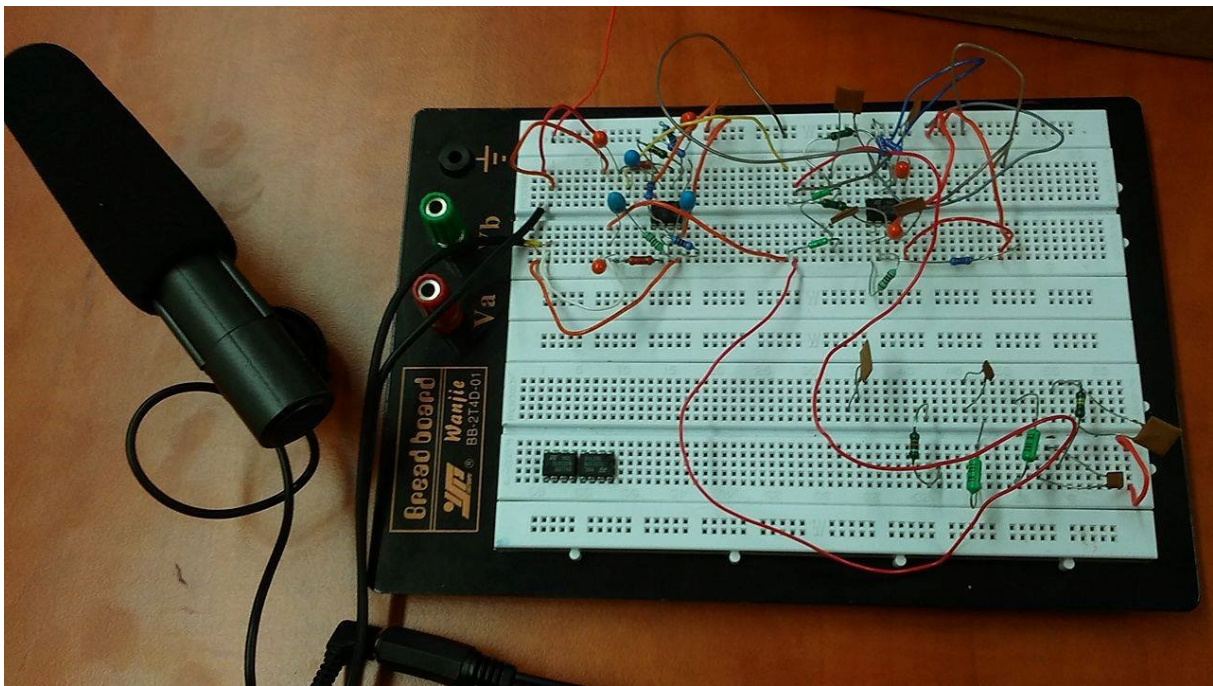
Obr. 6 Porovnanie spektra nahrávky pre výstup z mikrofónového vstupu (vľavo) a linkového vstupu (vpravo)

Prehrávaním nahrávok a ich porovnávaním sme zistili, že pri použití nášho predzosilňovača je počuť šum. Ďalším krokom teda bolo navrhnuť filter ktorý by tento šum potlačil. Ďalším počutelným rozdielom je úroveň hlasitosti, ktorá bola s predzosilňovačom o čosi nižšia. Aby bola úroveň hlasitosti a teda aj zosilnenia porovnateľná s predzosilňovačom použitom v mikrofónovom vstupe zvukovej karty, zväčšili sme veľkosť rezistora R2 na 91k. Keďže mikrofón má dva kanály, vytvorili sme symetrické zapojenie pre druhý kanál. Výslednú schému jedného kanála s filtrom môžete vidieť na Obr. 7.



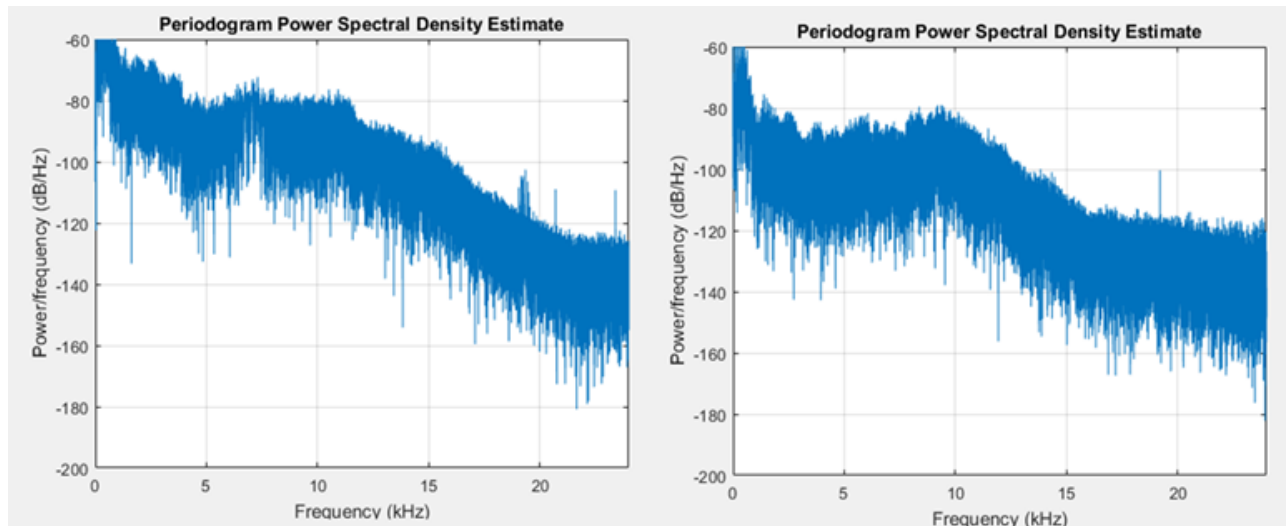
Obr. 7 Schéma zapojenia predzosilňovača s filtrom pre jeden kanál

Na Obr. 8 môžete vidieť reálny prípravok, ktorý sme testovali.



Obr. 8 Pripojenie mikrofónu na meraný zosilňovač

Následným porovnaním nahrávok z mikrofónového vstupu a nášho zapojenia sme získali frekvenčné charakteristiky nahrávok ktoré môžete vidieť na Obr. 9:



Obr. 9 Spektrum nahrávok z mikrofónového vstupu (vľavo) a z linkového vstupu (vpravo)

Spektrum nahrávok ako môžete vidieť z Obr. 9, je porovnateľné, teda môžeme konštatovať, že navrhnutý predzosilňovač s filtrom je podobný tomu, ktorý je použitý na mikrofónovom vstupe zvukovej karty.

1.4 Návrh zosilňovača pomocou OZ OPA2363

Ďalším krokom zadania bolo navrhnuť zapojenie pre OZ OPA2363 typu CMOS, ktorý pracuje na nižšom napätí ako TL072 (1,8 až 5,5V) [3.]. Na napájanie bude použitá 3V batéria.

Zapojenie ktoré sme zrealizovali sa skladá s dvoch stupňov. V prvom stupni použijeme invertujúce a v druhom neinvertujúce zapojenie zosilňovača. Výpočet hodnôt zosilnení a hodnôt jednotlivých prvkov v zapojení je inšpirované z výpočtov uvedených v odkaze [4.].

Začneme premenou citlivosti mikrofónu z dB na V/Pa. Použijeme informácie o našom mikrofóne z špecifikácií uvedených v [1.]. Citlivosť je teda :

$$10^{\frac{-40dB}{20}} = 10mV/Pa.$$

V nasledujúcom kroku je potrebné vyjadriť predchádzajúcu citivosť v V/Pa na A/Pa. Keďže je vysupená impedancia daná ako 200Ω výpočet bude vyzeráť nasledovne:

$$\frac{10mV/Pa}{200\Omega} = 50\mu A/Pa.$$

Výpočet zisku závisí od maximálneho vstupného tlaku mikrofónu. V našom prípade si zvolíme 100dB SPL čo zodpovedá typickej audio úrovni 1,228 Vrms. 100dB SPL je hodnota tlaku 2Pa ktorá na výstupe mikrofónu vytvorí prúd :

$$\frac{50\mu A}{Pa} * 2Pa = 100\mu A.$$

Rezistor v spätnej väzbe by ma mat teda hodnotu :

$$R = \frac{V_{OUT}}{I_{IN}} = \frac{1.228V}{100\mu A} = 12280 \Omega.$$

Pri zvolenom vstupnom odpore 220 Ω by mal byť zisk sústavy nasledovný:

$$-\frac{12280}{220} = -55,82.$$

Keďže chceme realizovať zosilňovač s dvojstupňovým zapojením vypočítaný zisk musíme rozdeliť do týchto dvoch stupňov. Prvý stupeň bude mat nasledujúce zosilnenie:

$$A_{u1} = \frac{R_6}{R_7} = \frac{4700}{220} = 21,36$$

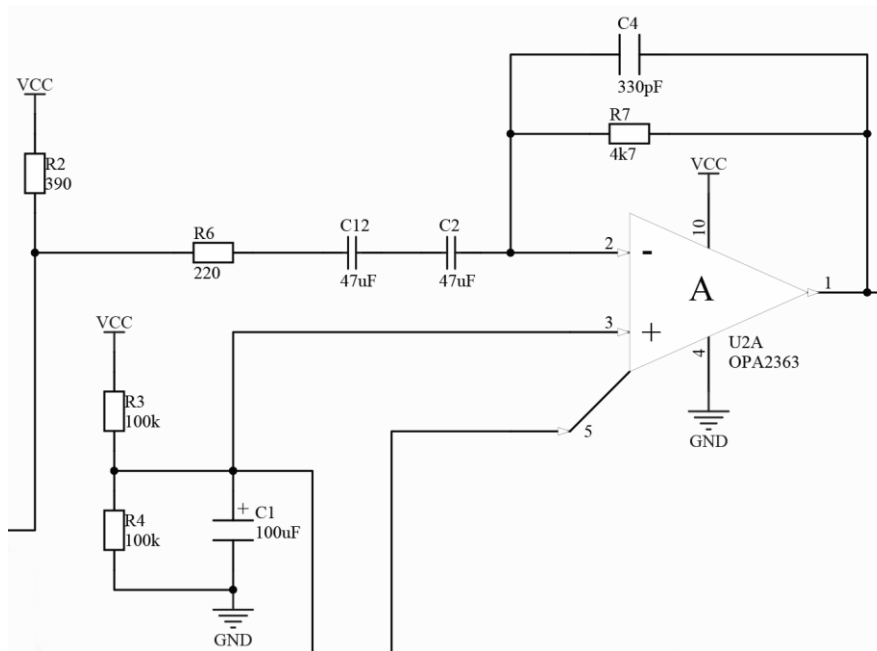
Alebo v dB: $A_{u1dB} = 20 * \log 21,36 = 26,6dB$

V druhom stupni bude mať užívateľ možnosť zmeny zisku zosilňovača prepínaním hodnôt rezistora $R_5 = k27, 1k$ alebo $6k8$, čím dostaneme zisk:

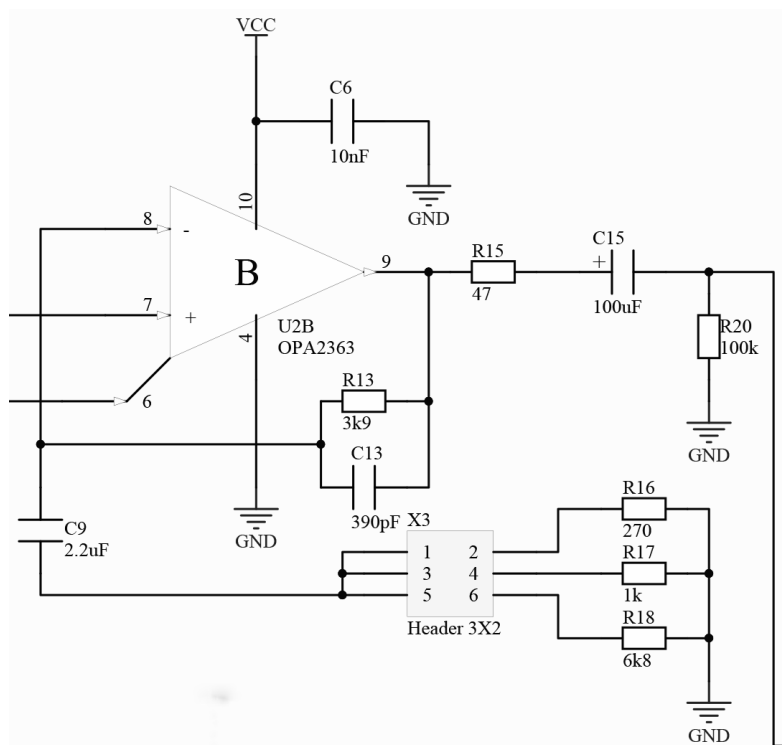
Pre k27: $A_{u2} = \frac{R_{13}}{R_{16}} + 1 = \frac{3900}{270} + 1 = 15,45, A_{u2dB} = 20 * \log 15,45 = 23,78dB$

Pre 1k: $A_{u2} = \frac{R_{13}}{R_{17}} + 1 = \frac{3900}{1000} + 1 = 4,9, A_{u2dB} = 20 * \log 4,9 = 13,8dB$

Pre 6k8: $A_{u2} = \frac{R_{13}}{R_{18}} + 1 = \frac{3900}{6800} + 1 = 1,57, A_{u2dB} = 20 * \log 1,57 = 3,92dB$



Obr. 10 schéma zapojenia prvého stupňa pre jeden kanál



Obr. 11 schéma zapojenia druhého stupňa pre jeden kanál

Ďalším parametrom ktorý potrebujeme zistiť je veľkosť spätnoväzobných kondenzátorov. Od týchto hodnôt závisí pokles AF charakteristiky pri určitej frekvencii. V našom prípade sme si zvolili pokles AF charakteristiky o 0.3dB pri frekvencii 18KHz. Výpočet týchto hodnôt bude vyzerať nasledovne :

$$f_p = \frac{18\text{KHz}}{\sqrt{\left(\frac{1}{10 \cdot \frac{-0.15}{20}}\right)^2 - 1}} = 96019 \text{ Hz},$$

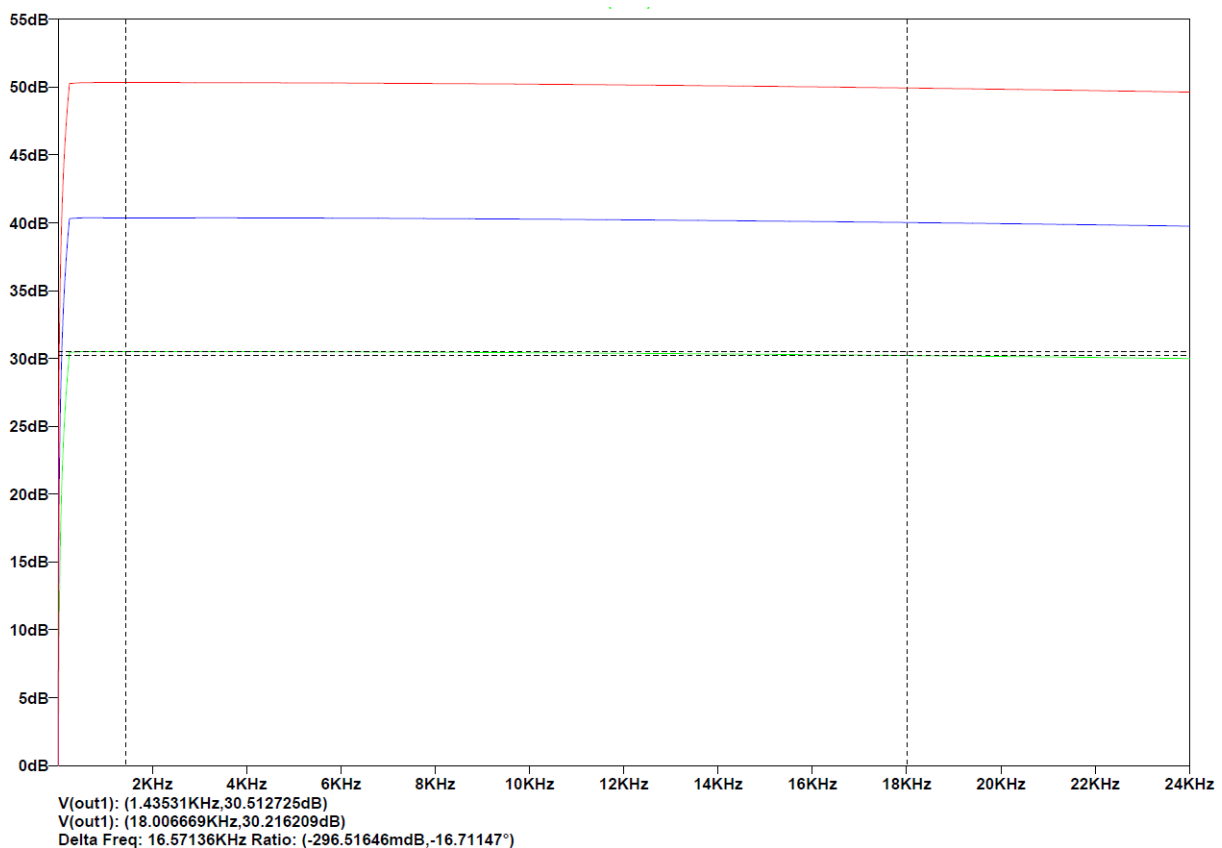
$$C_4 = \frac{1}{2\pi f_p R_7} = \frac{1}{2\pi * 96019 * 4700} = 352.66 \text{ pF},$$

$$C_{13} = \frac{1}{2\pi f_p R_{13}} = \frac{1}{2\pi * 96019 * 3900} = 425 \text{ pF}.$$

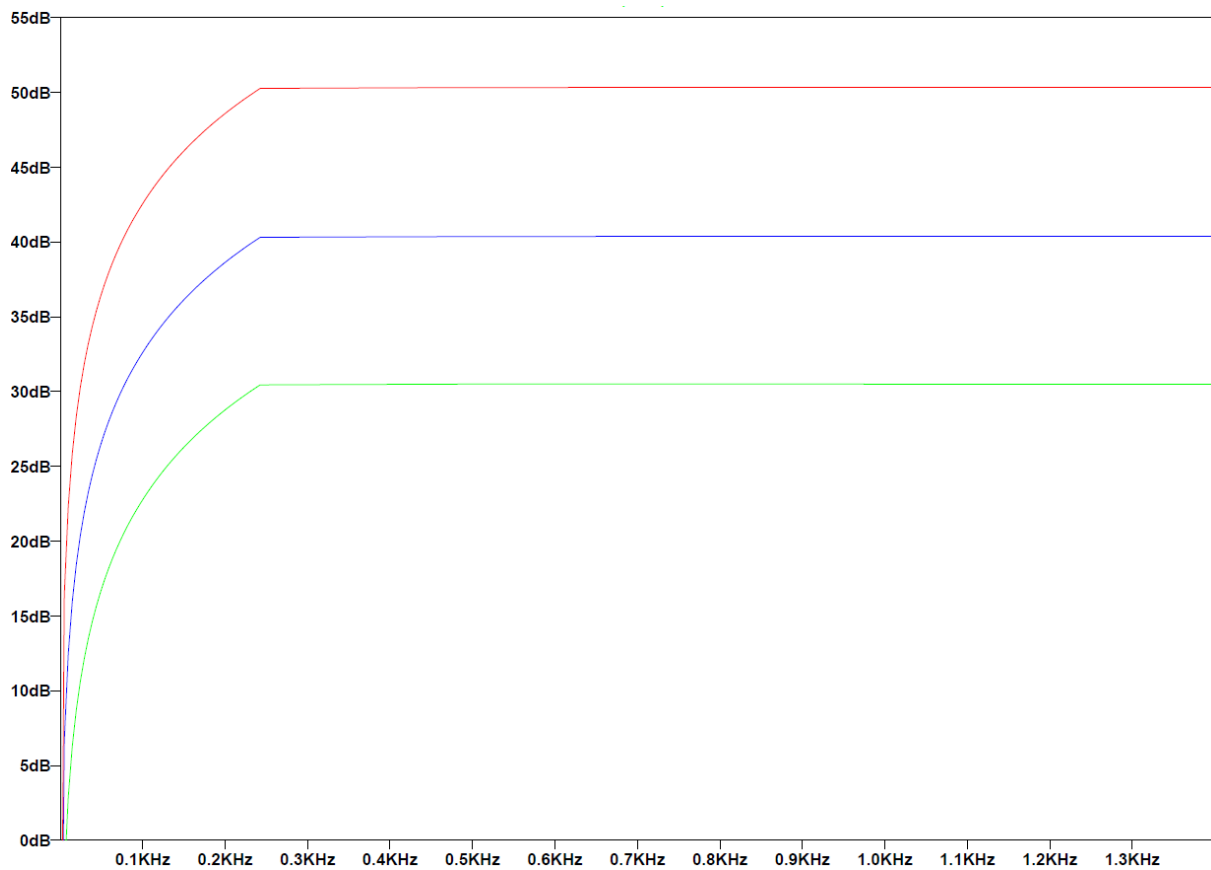
Hodnotu vstupnej kapacity sme si zvolili ako sériové zapojenie dvoch kondenzátorov s hodnotou kapacity 100uF čo sa vo výsledku rovná kapacite 50uF. Hodnoty všetkých ostatných kondenzátorov sú podľa Obr. 10 a Obr. 11.

V programe LTSpice sme vykonali striedavú analýzu zosilňovača na Obr. 10 a dostali sme nasledujúce frekvenčné charakteristiky na Obr. 12:

Pokles zisku o 0,3dB nastáva okolo frekvencie 18kHz.



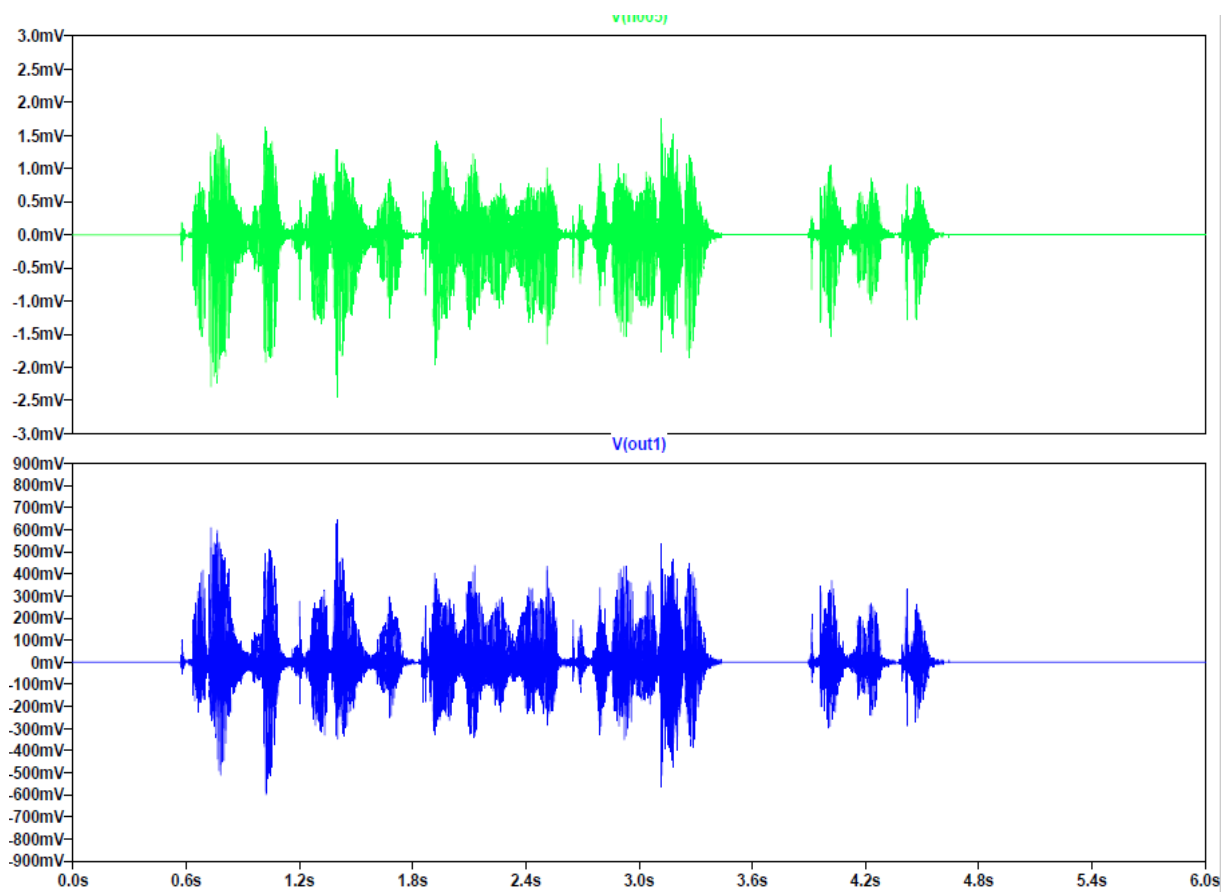
Obr. 12 frekvenčná charakteristika zosilňovača



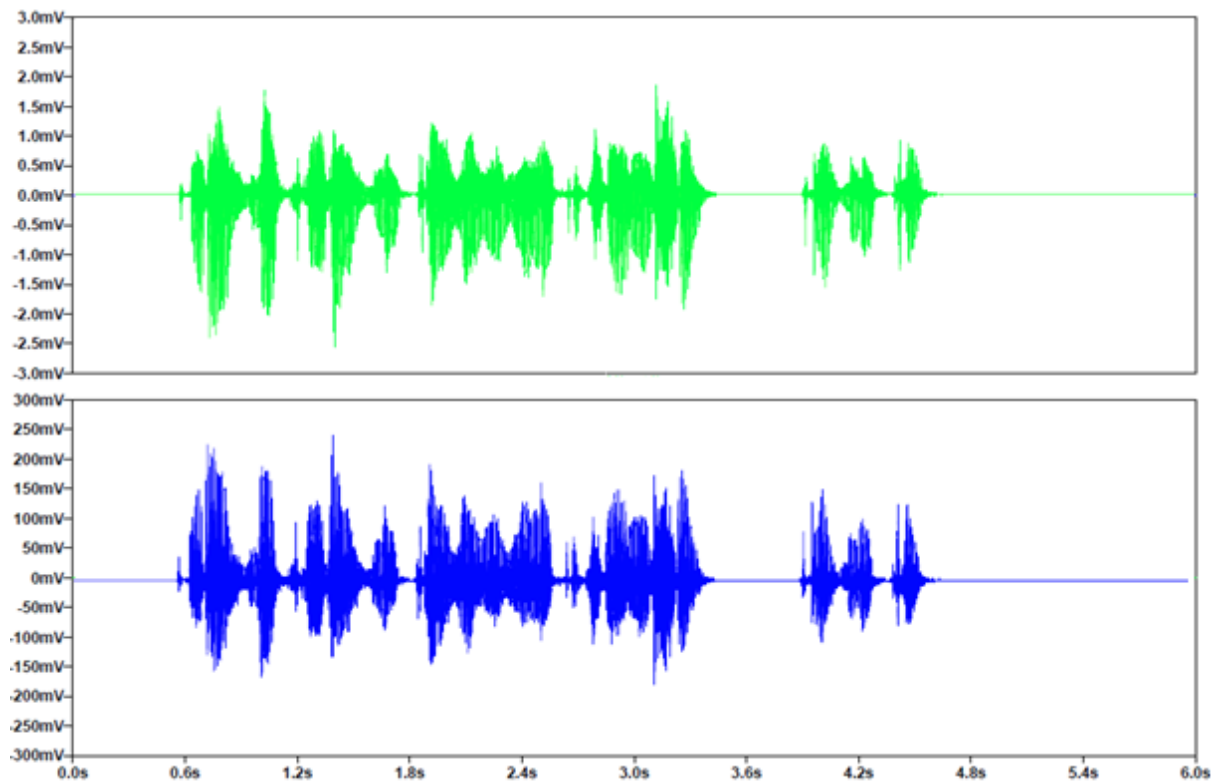
Obr. 13 frekvenčná charakteristika zosilňovača do frekvencie 1,2kHz

Po priblížení charakteristiky na nižšie frekvencie do 1300Hz môžeme na Obr. 13 vidieť, že zosilňovač prepúšťa frekvencie s požadovaným zosilnením až od frekvencie okolo 250Hz.

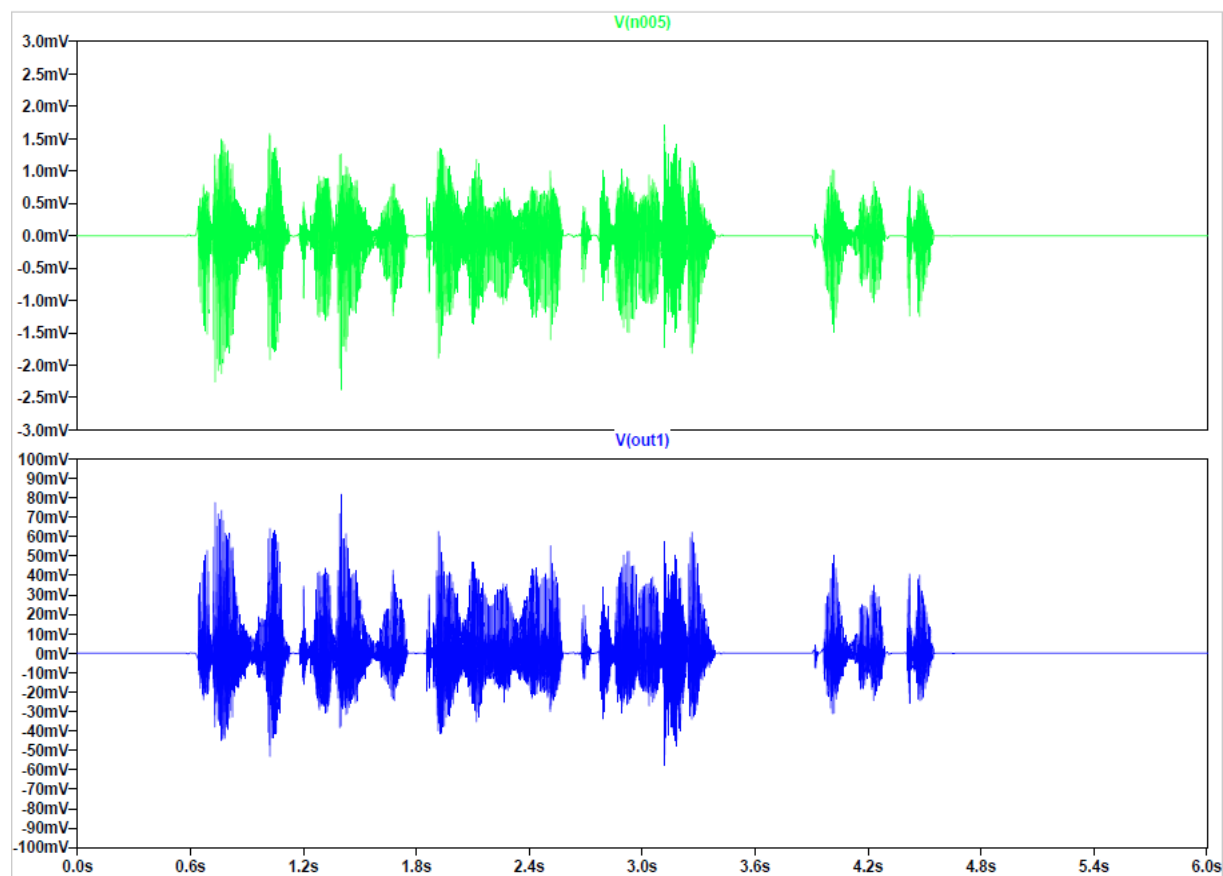
Vykonalí sme tiež časové charakteristiky pre vstupný a výstupný zosilnený signál. Zdrojom vstupného signálu bola nahrávka reči vo formáte .wav, ktorá bola zosilnená pre 3 hodnoty rezistora R_5 .



Obr. 14 tran analýza vstupného a výstupného zosilneného signálu 0,28k



Obr. 15 tran analýza vstupného a výstupného zosilneného signálu 1k



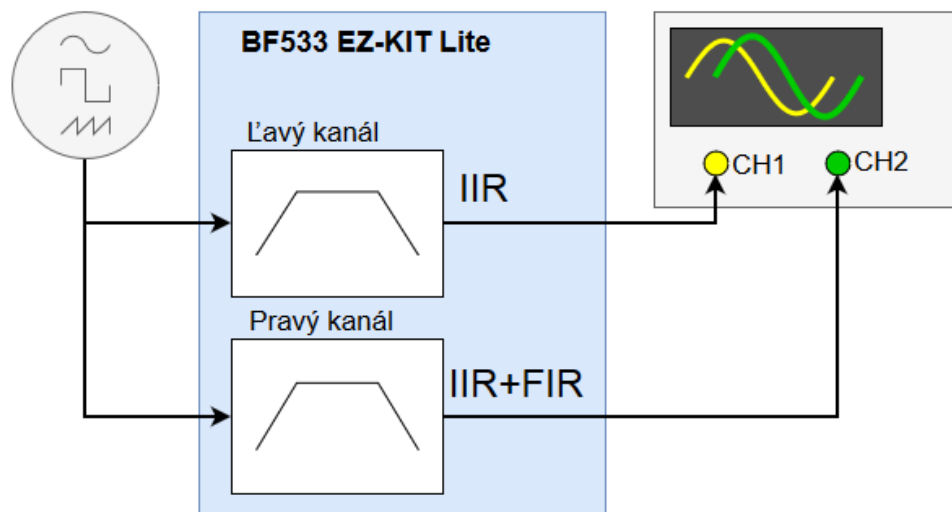
Obr. 16 tran analýza vstupného a výstupného zosilneného signálu 6,7k

2 Návrh číslicových filtrov

2.1 Definícia úloh

Úlohou je navrhnuť číslicové filtre s konečnou (FIR) a nekonečnou impulzovou odpoveďou (IIR) pre akustické pásmo s frekvenciami 300 až 3400Hz a otestovať ich činnosť na vývojovej doske s procesorom Blackfin BF533.

Vývojová doska má 2 audio vstupy a 3 audio výstupy s cinch konektorom [5.]. Na jeden zo vstupov bude privedený signál z generátora rozdelený do 2 kanálov, ktorý má byť filtrovaný v ľavom kanáli IIR filtrom a v pravom IIR a následne FIR filtrom podľa Obr. 17. Po filtrácii majú byť signály poslané na stereo výstup a porovnané dvojkanálovým osciloskopom.



Obr. 17 Zapojenie číslicových filtrov

2.2 Návrh koeficientov IIR a FIR filtra

Koeficienty číslicových filtrov boli vypočítané v prostredí Matlab. Podmienkou bolo použitie Remezovho algoritmu pre FIR filter a pre IIR výpočet koeficientov vo forme bikvadov použitím eliptického filtra.

2.2.1 FIR filter

Filtre s konečnou impulzovou odpoveďou (FIR- Finite Impulse Response) patria medzi najjednoduchšie číslicové filtre ako z teoretického, tak aj z realizačného hľadiska. FIR filter N - tého rádu je možné opísať prenosovou funkciou [6.]

$$H_{FIR}(z) = \sum_{k=0}^N h[k]z^{-k}$$

pričom $h[k]$ sú koeficienty FIR filtra.

FIR filter sme navrhli podľa týchto parametrov:

- útlm v priepustnom pásme = 1dB
- útlm v nepriepustnom = 25dB
- $f_{stop1} = 100\text{Hz}$
- $f_{pass1} = 300\text{Hz}$
- $f_{pass2} = 3400\text{Hz}$
- $f_{stop2} = 3600\text{Hz}$
- vzorkovacia frekvencia $f_s = 48\text{kHz}$

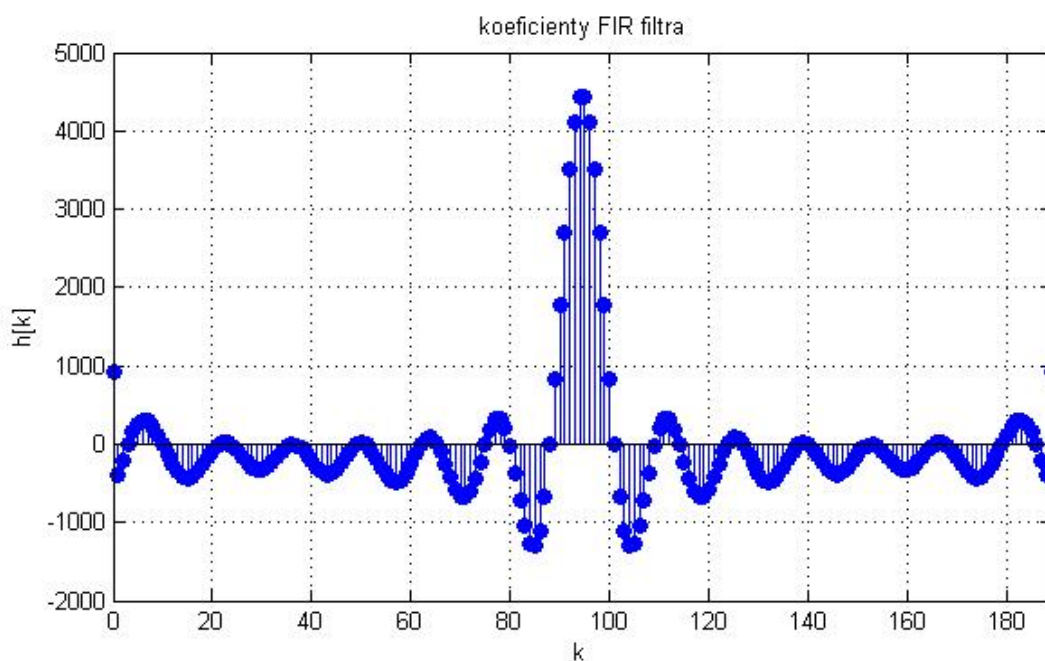
Na základe týchto údajov sme zistili potrebný počet koeficientov FIR filtra,

```
[n1,fo,mo,w1] = remezord( [fstop1 fpass1 fpass2 fstop2], [0 1 0], [10^((-1)*stopfir/20)
10^(passfir/20)-1 10^((-1)*stopfir/20)], fs );
```

a vypočítali sme jeho koeficienty a impulzovú charakteristiku zobrazenú na Obr. 18:

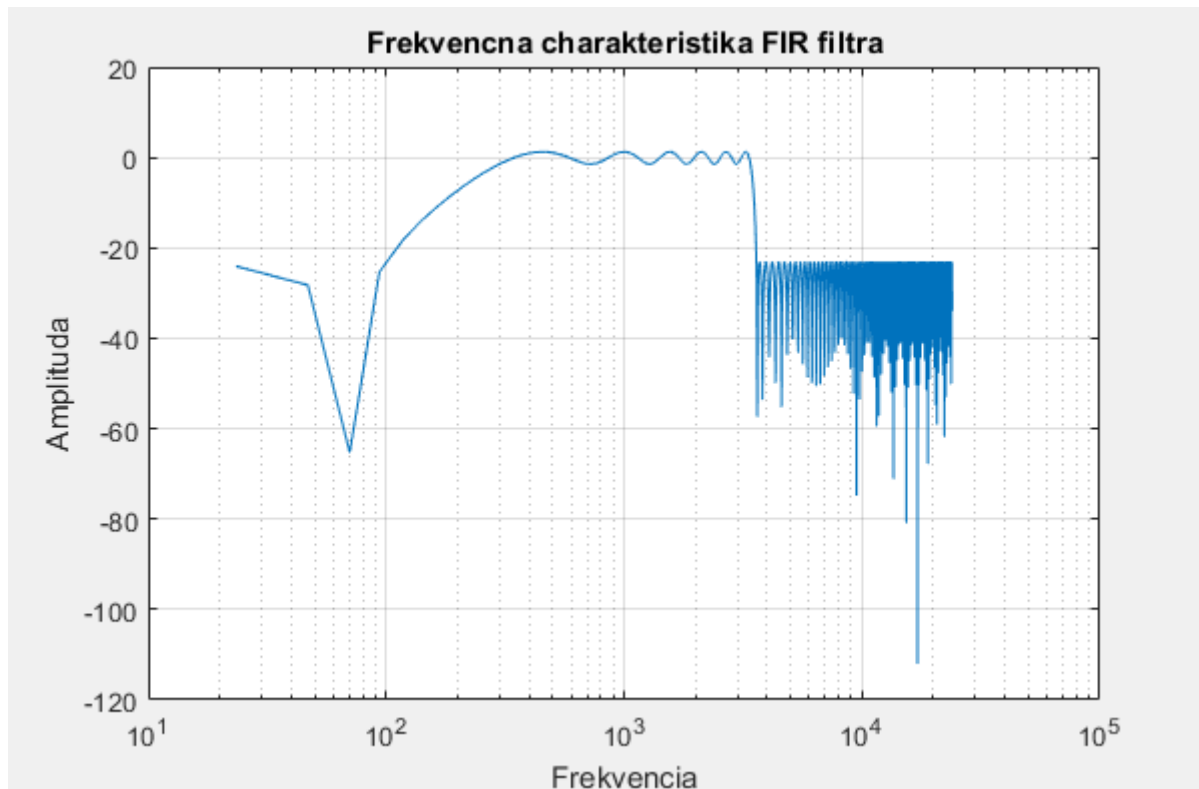
```
h = remez(n1,fo,mo,w1);
```

```
impz(h);
```



Obr. 18 koeficienty FIR filtra 190. Rádu

Frekvenčná charakteristika navrhnutého filtra 190. rádu vyzerá je na Obr. 19:



Obr. 19 frekvenčná charakteristika FIR filtra

2.2.2 IIR filter

Existuje niekoľko verzií implementácie IIR filtrov, ktoré sa líšia štruktúrou zapojenia a počtom koeficientov. Z teórie ČSS je známe, že v praktických implementáciách IIR filtrov je výhodné využívať realizácie IIR filtrov pomocou kaskádneho zapojenia sekcií 2 rádu – bikvadov. Prenosové funkcie bikvadov získame z prenosovej funkcie IIR filtra [6.]

$$H_{IIR}(z) = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_N z^{-N}}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_N z^{-N}}$$

rozkladom do tvaru (pre jednoduchosť predpokladáme, že N je párne):

$$H_{IIR}(z) = \prod_{k=1}^{N/2} \left(\frac{b_{0k} + b_{1k} z^{-1} + b_{2k} z^{-2}}{1 + a_{1k} z^{-1} + a_{2k} z^{-2}} \right) = \prod_{k=1}^{N/2} H_k(z)$$

pričom na implementáciu kompletnej prenosovej funkcie $H_{IIR}(z)$ je využité kaskádne zapojenie $N / 2$ bikvadov. Rozklad prenosovej funkcie na bikvady je veľmi výhodný práve pre DSP, pretože umožňuje jednoduchým spôsobom eliminovať problémy reprezentácie koeficientov filtra v zlomkovom formáte. Prakticky využívané koeficienty bikvadu jk a môžu byť z intervalu

$$|a_{jk}| < 2 \quad j = 1, 2 \quad k = 1, 2, \dots, N/2$$

V prípade DSP s pevnou rádovou čiarkou, ktorých interval čísel je obmedzený na interval $\langle -1, 1 \rangle$ musia byť tieto koeficienty uložené so zmenenou mierkou. V prípade bikvadov stačí všetky koeficienty a_{jk} vydeliť mierkovou konštantou 2 .

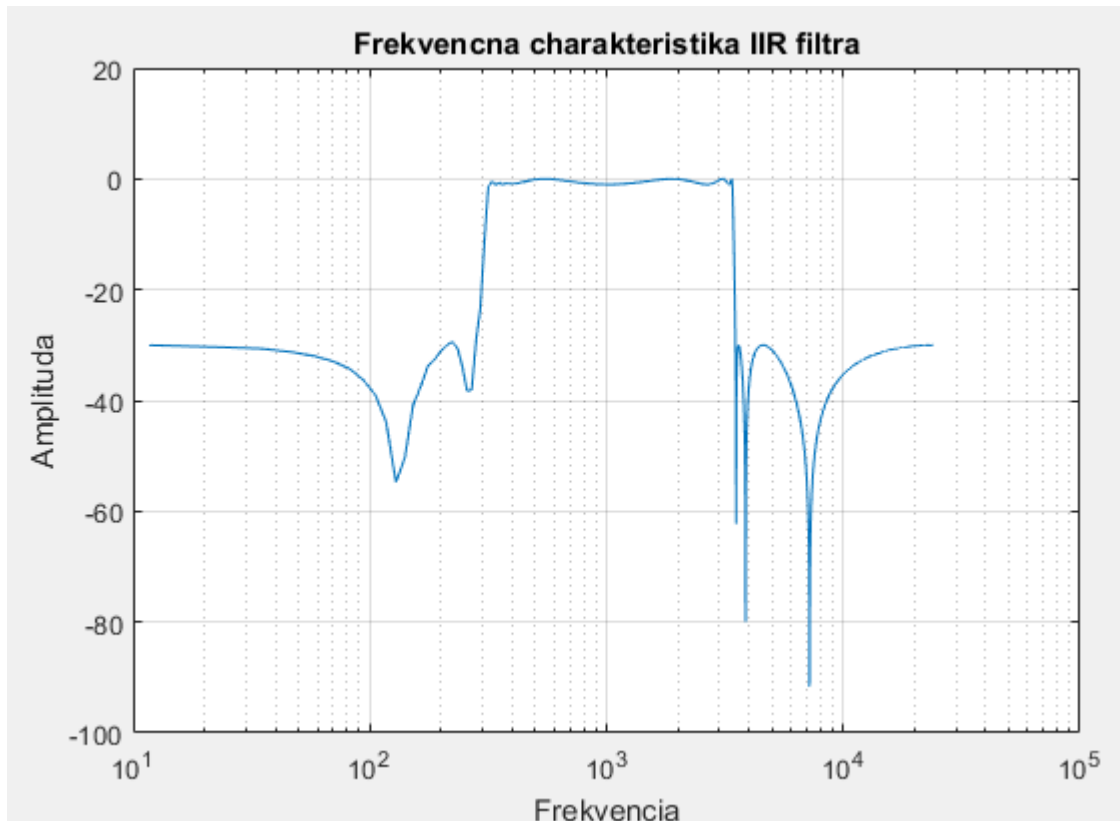
Eliptický IIR filter sme navrhli pomocou nástroja fdatool s týmito parametrami [10.]:

- útlm v priepustnom pásme = 1dB
- útlm v nepriepustnom = 30dB
- fstop1 = 100Hz
- fpass1 = 300Hz
- fpass2 = 3400Hz
- fstop2 = 3600Hz
- vzorkovacia frekvencia $f_s = 48\text{kHz}$
- štruktúra: Priama forma II, so sekciami 2. Rádu

Navrhnutý IIR filter má 6 bikvadov s frekvenčnou charakteristikou na Obr. 20:

Usporiadanie vo formáte: **$b_{0k} \ b_{1k} \ b_{2k} \ 1 \ a_{0k} \ a_{2k}$**

1.bikvad: 15385 -30763 15385 16384 -31885 15561;
 2.bikvad: 1172, -1387, 1172 16384 -28148 12948;
 3.bikvad: 16177 -32334 16177 16384 -32631 16275;
 4.bikvad: 9623 -16847 9623 16384 -28992 15353;
 5.bikvad: 16346 -32668 16346 16384 -32729 16369;
 6.bikvad: 14801 -26509 14801 16384 -29432 16225;



Obr. 20 frekvenčná charakteristika navrhnutého filtra

2.3 Vývojová doska BF533 EZ-KIT Lite

Vývojový modul ADSP BF533 EZ-KIT Lite je vývojovým prostriedkom, ktorý umožňuje ladenie programov pre procesory Blackfin ADSP-BF533.

Audio rozhranie modulu využíva 96kHz 16 bitový multimediálny AD/DA kodek AD1836 od firmy Analog Devices, ktorý spolu s procesorom Blackfin umožňuje realizovať klasický systém ČSS. Pretože AD a DA prevodníky kodeku využívajú sigma-delta moduláciu, sú vstupné a výstupné analógové obvody relatívne jednoduché. Kodek má 4 audio vstupy (2 kanály) a 6 audio výstupov (3 kanály).

Kodek je pripojený k DSP pomocou rozhrania SPORT0 procesora BF533. Procesor môže komunikovať s audio kodekom

- v **časovom multiplexe** (TDM – Time Division Multiplex) alebo
- v **dvojvodičovom móde** (TWI – Two Wire Interface, tiež označovaný ako IS mód).

TWI mód umožňuje kodeku pracovať so vzorkovacou frekvenciou až 96 kHz, umožňuje však využitie len dvoch DA kanálov. TDM mód umožňuje činnosť kodeku len do 48 kHz, umožňuje však využitie všetkých troch DA výstupov. [7.]

2.4 Návrh programu v prostredí VisualDSP++

V tejto úlohe bol využitý projekt pre prácu s audio kodekom z distribúcie prostredia VisualDSP++, ktorý je možné nájsť v adresári

```
..\Blackfin\Examples\ADSP-BF533 EZ-Kit Lite\Audio Codec Talkthrough\C_Talkthrough_TDM
```

Tento projekt však pracuje len s jedným kanálom a filtrácia je aplikovaná po vzorkách. Preto sme použili upravenú verziu tohto projektu ktorú môžeme nájsť na tomto odkaze [8.]. Tento projekt obsahuje blokové spracovanie vstupných vzoriek ktoré sú po filtrácii vysielané na výstup. Projekt však obsahuje iba filtráciu pomocou IIR filtra. Spojením projektu ktorý je uvedený na tomto odkaze [9.] a upraveného projektu IIR_BLOCK sme získali blokovú FIR a IIR filtráciu pre oba kanály. Popis uprav v pôvodnom projekte sú uvedené v kapitole Spracovanie vstupných vzoriek.

2.4.1 Inicializácia

Uvedený projekt v jazyku C najskôr v **Initialize.c** inicializuje použité periférie:

- EEBIU - pripojenie externých pamätí
- FLASH - konfigurácia IO vývodov (pre všeobecné použitie) FLASH pamäte
- SPORT0 - sériový port procesora
- DMA - použité DMA kanály [6.]

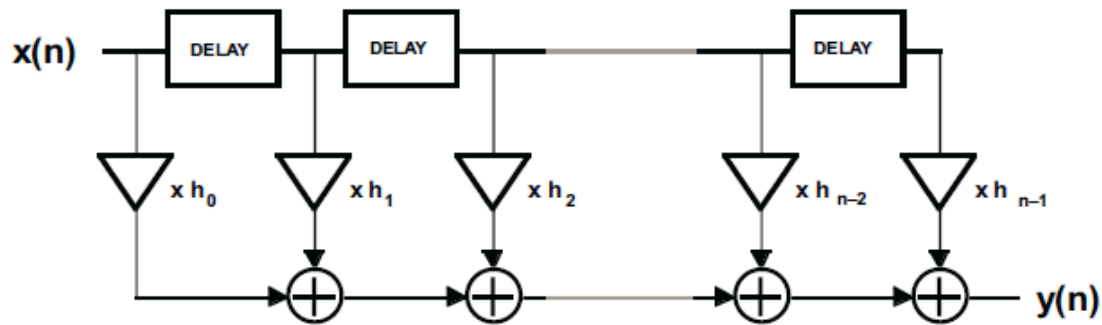
a následne skonfiguruje prerušovací systém procesora a povolí prenos z/do rozhrania SPORT0 pomocou DMA kanálov, čo je realizované v tele funkcie **main**.

2.4.2 Knižničná funkcia FIR filtra

Funkcia *fir_fr16()* má prototyp

```
void fir_fr16(const fract16 x[],fract16 y[],int n,fir_state_fr16 *s);
```

Štruktúra implementovaného FIR filtra, ktorý je realizovaný funkciou *fir_fr16()* je zobrazená na Obr. 21. FIR filter je definovaný rádom filtra, jeho koeficientmi a obsahom (stavom) oneskorovacej linky. [9.]



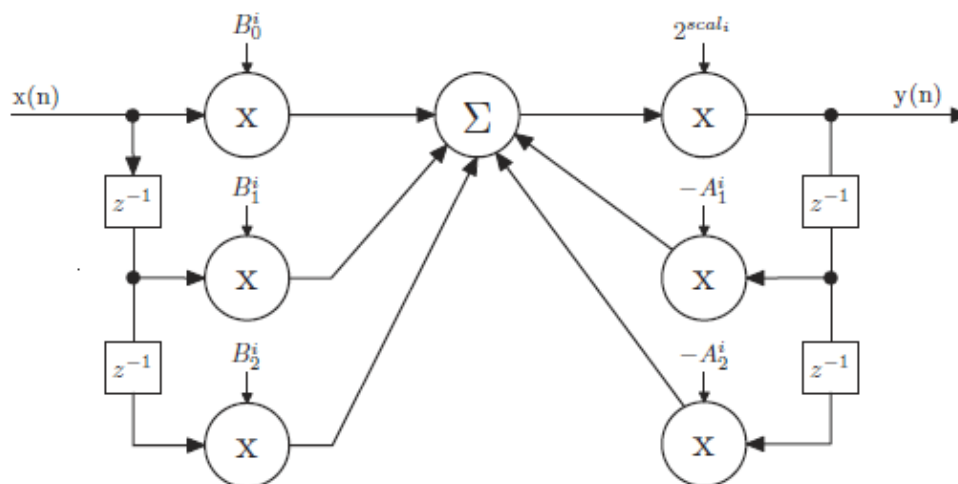
Obr. 21 štruktúra realizovaného FIR filtra

2.4.3 Knižničná funkcia IIR filtra

Na realizáciu číslicovej filtrácie s nekonečnou impulzovou odpoveďou sme použili funkciu

```
void iir2_fr16( const fract16 x[], fract16 y[], int n, iir_state_fr16 *s)
```

ktorá realizuje implementáciu pomocou bikvadov. Táto realizácia využíva nekanonickú formu realizácie bikvadu, ktorá je znázornená na Obr. 22.



Obr. 22 Nekanonická realizácia bikvadu využívaná vo funkcii iir2_fr16()

Funkcia využíva koeficienty so zmenenou mierkou v tvare $A_1 = a_1 / S, \dots, B_N = b_N / S$, pričom pevne zvolený škálovací faktor $S = 2$ zabezpečuje, že žiadny koeficient nemá hodnotu mimo zlomkového intervalu $(-1, 1)$. Funkcia je optimalizovaná z pohľadu rýchlosti tak, že spracováva paralelne pomocou duálnej MAC architektúry 2 vstupné vzorky a dosahuje rýchlosť $\sim 2,5$ cyklu/vzorku, čo demonštruje mimoriadnu efektívnosť zdrojového kódu. [6.]

2.4.4 Spracovanie vstupných vzoriek

Keďže je táto funkcia optimalizovaná pre blokové spracovanie vstupných vzoriek, na ich načítanie sa používa tzv. **ping-pong** metóda, ktorá pre každý kanál využíva 2 bufre.

Pre smer AD -> bufre sú to nasledujúce polia short (int16) čísel: [6.]

```
#pragma align 4
short Left_In0_A[BLOCK_SIZE];
#pragma align 4
short Left_In0_B[BLOCK_SIZE];
#pragma align 4
short Right_In0_A[BLOCK_SIZE];
#pragma align 4
short Right_In0_B[BLOCK_SIZE];
```

Pre smer bufre->DA to sú polia:

```
#pragma align 4
short Left_Out0_A[BLOCK_SIZE];
#pragma align 4
short Left_Out0_B[BLOCK_SIZE];
#pragma align 4
short Right_Out0_A[BLOCK_SIZE];
#pragma align 4
short Right_Out0_B[BLOCK_SIZE];
```

// TK pridanie buffrov pre pracu s FIR filtrom

```
#pragma align 4
short Right_FIR_A[BLOCK_SIZE];
#pragma align 4
short Right_FIR_B[BLOCK_SIZE];
```

Direktíva #pragma align zabezpečí uloženie bloku údajov na adresu, ktorá je násobkom štyroch. Tieto bloky majú veľkosť BLOCK_SIZE, ktorá je definovaná v hlavičkovom súbore codec_buffers.h hodnotou 512. Pre FIR filtráciu bolo potrebné vytvoriť ďalšie buffre. Tieto buffre sú taktiež vo funkcii Init_Buffers() inicializované.

Interné riadenie počítadla pre zápis resp. vyčítavanie bufrov v prerušení je odvodené od premenných (keďže sú typu static, nie sú viditeľné mimo zdrojového kódu codec_buffers.c):

```
static int cnt=0;           // počítadlo prijatých vzoriek
static int Ping_Pong = 0;  // 0 => from AD to A, from B to DA
                          // !0 => from AD to B, from A to DA
```

Signalizácia naplnenia AD bufrov resp. vyprázdnenie DA bufrov je signalizovaná hlavnému programu pomocou premennej (jedinej premennej, ktorá musí byť typu volatile):

```
volatile int New_Blocks_Received; // 1 => AD to A_Blocks,
                                   // 2 => AD to B_Blocks
```

Prepis vzoriek z AD a DA prevodníkov do bufrov sa uskutočňuje vo funkcii void Fill_Buffers(void), ktorá zároveň vykonáva kompresiu 24-bitových vzoriek na 16-bitové zo všetkých vstupných audio kanálov. Príklad pre ľavý kanál vstupu 0:

```
Left_In0_B[cnt] = (short) (iChannel0LeftIn>>16);
```

Pre použitie FIR filtrácie bolo potrebné vytvoriť funkciu fir2_init(int stages) ktorá inicializovala FIR filter podľa počtu koeficientov. Telo tejto funkcie vyzerá nasledovne :

```
void fir2_init(int stages)
{
    int i;
    memcpy( coef_FIR, fir2_coef, stages );    // do L pamate
// nulovanie oneskorovacich liniek
    for (i=0;i<stages;i++) {
        delay_right_FIR[i] = 0;
    }
// inicializacia stavovych premennych
    fir_init(state_right_FIR, coef_FIR, delay_right_FIR, stages, 1);
}
```

Spracovanie AD vzoriek z ľavého a pravého kanálu vstupu 0 je realizované v nekonečnej slučke hlavného programu v závislosti na tom, ktorý vstupný bufer je signalizovaný ako plný:

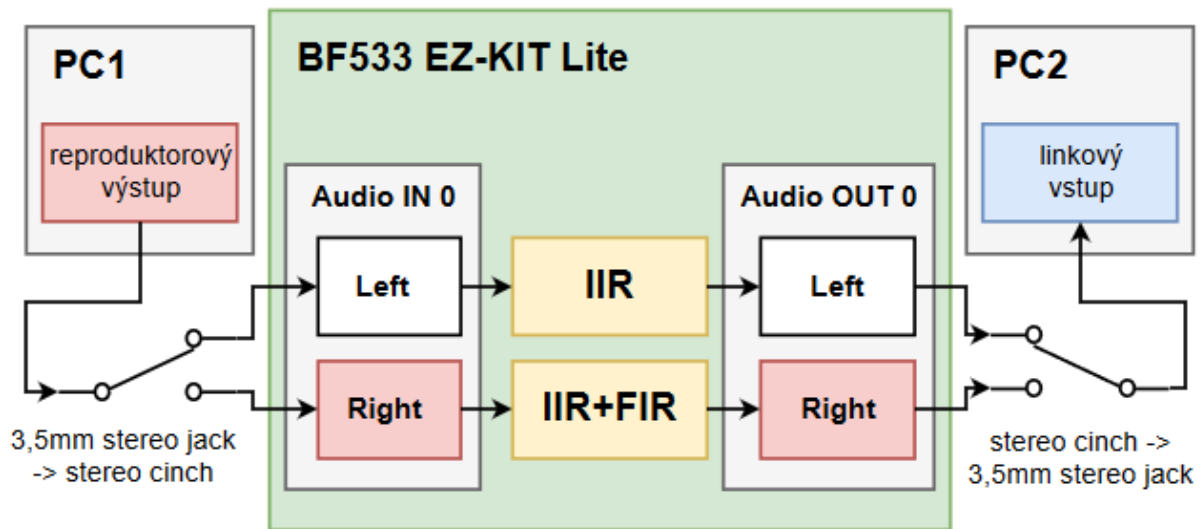
```
while(1) {
if(New_Blocks_Received==1) {           // FINISHED ->from AD to A, from A to DA
iir2_fr16(Left_In0_A, Left_Out0_A, BLOCK_SIZE, &state_left);
iir2_fr16(Right_In0_A, Right_FIR_A, BLOCK_SIZE, &state_right);
fir_fr16(Right_FIR_A, Right_Out0_A, BLOCK_SIZE, &state_right_FIR);
New_Blocks_Received = 0;              // signalizacia spracovania bloku
}
if(New_Blocks_Received==2) {         // FINISHED ->from AD to B, from A to DA
iir2_fr16(Left_In0_B, Left_Out0_B, BLOCK_SIZE, &state_left);
iir2_fr16(Right_In0_B, Right_FIR_B, BLOCK_SIZE, &state_right);
fir_fr16(Right_FIR_B, Right_Out0_B, BLOCK_SIZE, &state_right_FIR);
New_Blocks_Received = 0;              // signalizacia spracovania bloku
}
}
```

V prípade pravého kanál, ktorým sa realizuje IIR+FIR filtrácia nie sú vzorky po IIR filtrácii poslané na výstup ako v ľavom kanáli, ale sú uložené do pomocných polí Right_FIR_A a Right_FIR_B, ktoré predstavujú vstupy pre FIR filter. Vzorky sú skopírované do výstupných bufrov až po filtrácii FIR filtrom.

2.5 Porovnanie filtrov na doske EZ-KIT Lite

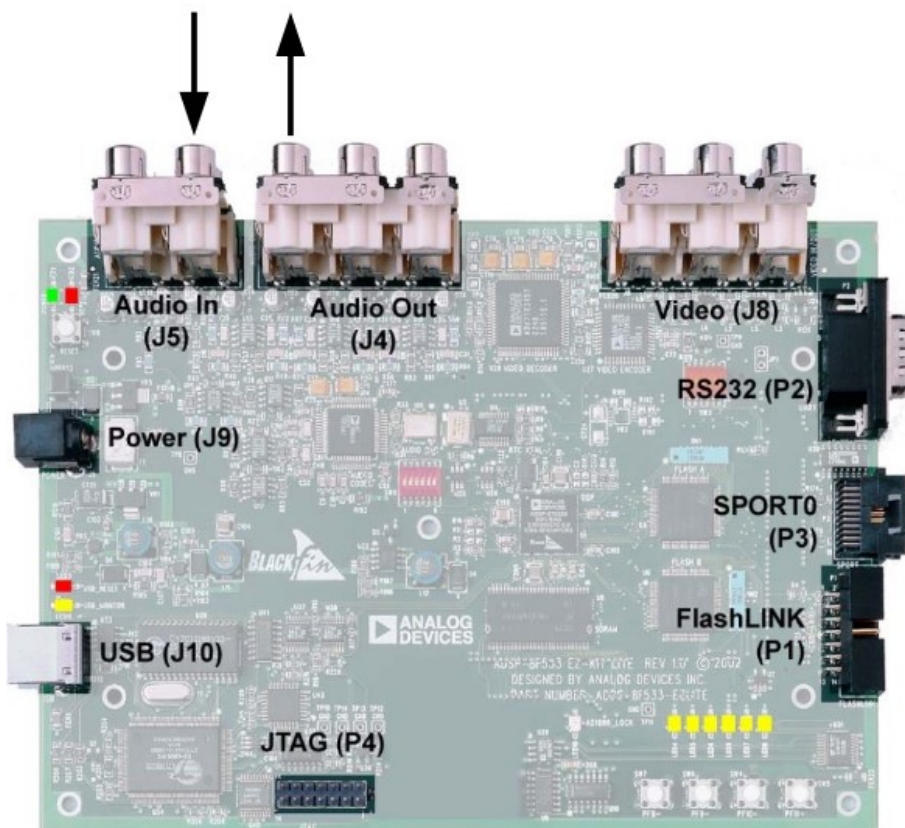
Na overenie činnosti filtrov sme použili 2 počítače podľa Obr. 23 – jeden bol pomocou redukcie 3,5mm jack – cinch pripojený na audio vstup vývojovej dosky a vysielal biely šum z .wav

súboru. Audio výstup bol rovnakou redukciou pripojený k ďalšiemu počítaču, ktorým sme nahrávali filtrovaný signál. Tlačidlá v blokovej schéme slúžia na ilustráciu toho, že počas testovania bol pripojený iba jeden z kanálov na vstupe a príslušný kanál na výstupe.



Obr. 23 Pripojenie PC k vývojovej doske

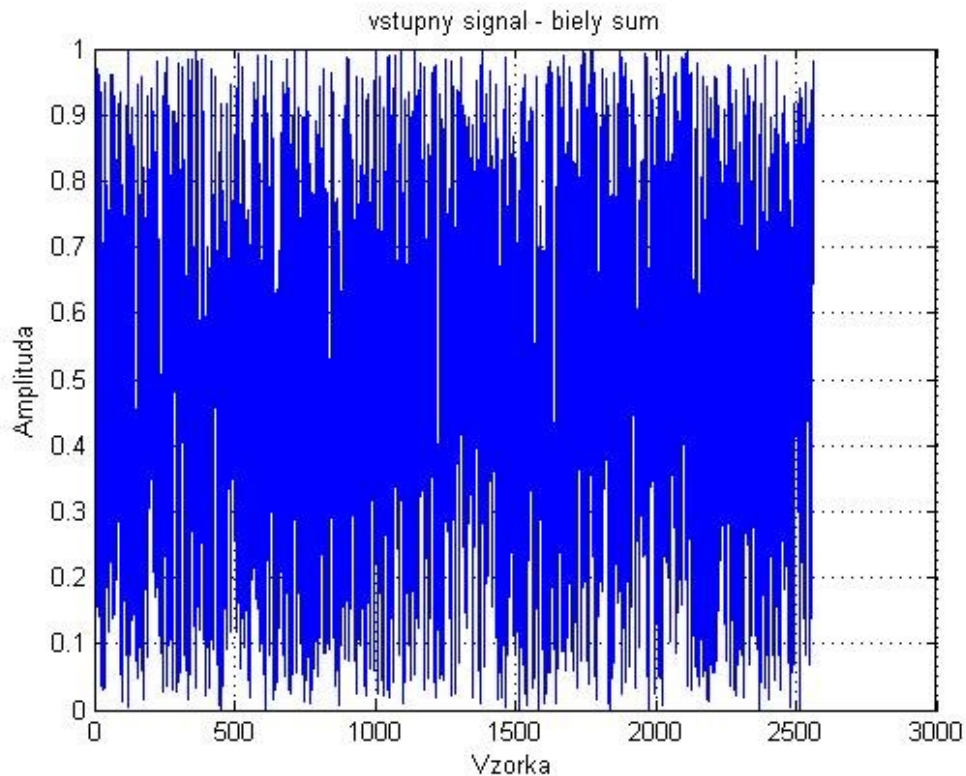
Vstupy a výstupy boli k doske pripojené podľa Obr. 24:



Obr. 24 Zapojenie audio konektorov k vývojovej doske

Počas nahrávania bol na výstup pripojený iba jeden kanál, čím sme dostali 2 rozdielne nahrávky pre ľavý a pravý kanál. Programom na doske bolo spracovaných prvých 5120 vzoriek vstupného signálu.

Na vstup bol privedený biely šum (Obr. 25) generovaný v Matlabe pomocou funkcie rand():

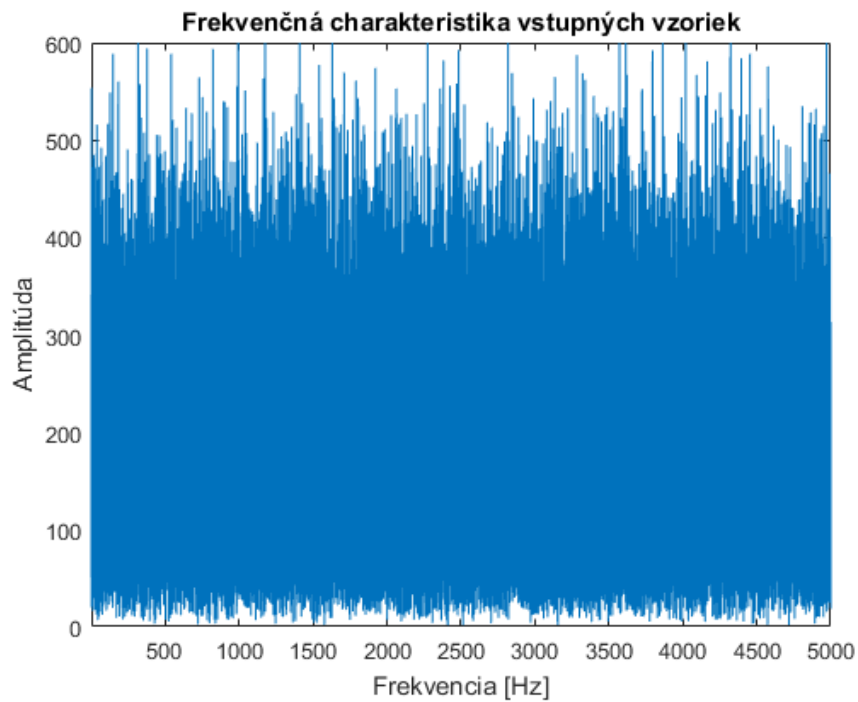


Obr. 25 postupnosť vzoriek bieleho šumu

Funkcia rand() rovnomerne rozkladá náhodné čísla čo sa v spektre prejaví rovnomerným rozložením spektrálnych zložiek, čo je zobrazené na Obr. 27. Táto vlastnosť je pre nás výhodná z toho dôvodu, že pri filtrovaní takéhoto šumu sa nám prejavia len zložky v priepustnom pásme filtra. Na Obr. 26 môžete vidieť príkazy na vytvorenie vstupného súboru so vzorkami.

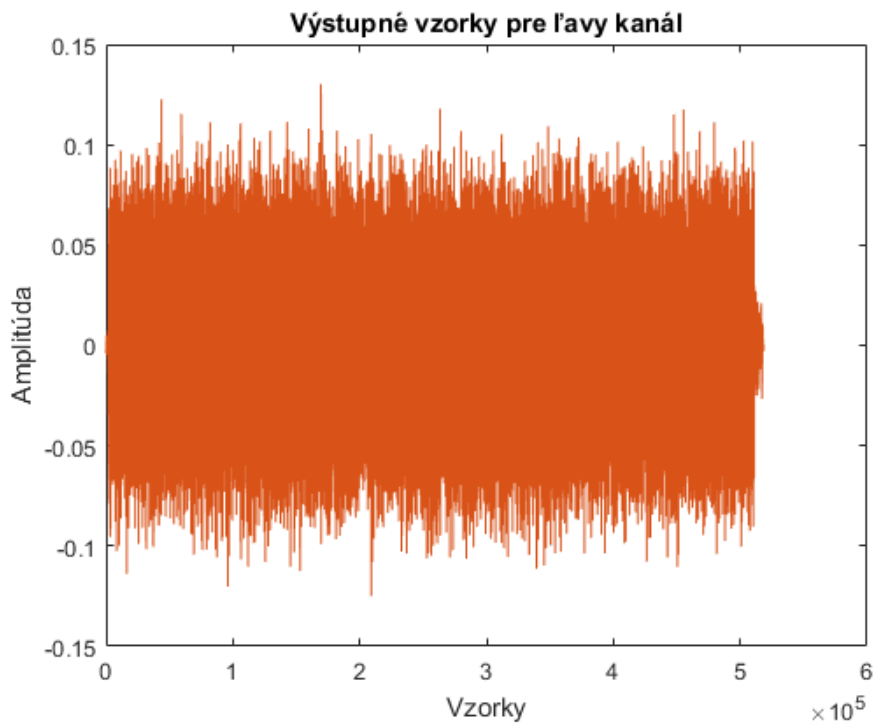
```
x=rand(1,25600);  
x=x*2^15;  
x=ceil(x);  
fwrite('vstup.dat',x,'short');  
file=fopen('vstup.dat','w')  
fwrite(file,x,'short');  
fclose(file);
```

Obr. 26 Vytvorenie súboru so vstupnými vzorkami

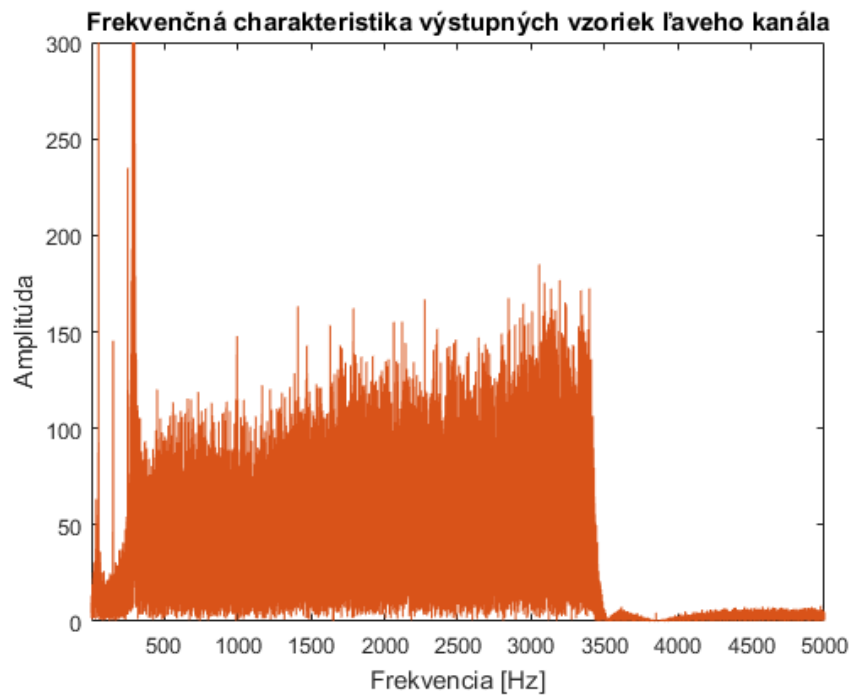


Obr. 27 amplitúdové spektrum bieleho šumu

Vstupný signál filtrovaný IIR filtrom (na vstupe a výstupe pripojený iba ľavý audio kanál) je na Obr. 28 a jeho spektrum na Obr. 29:

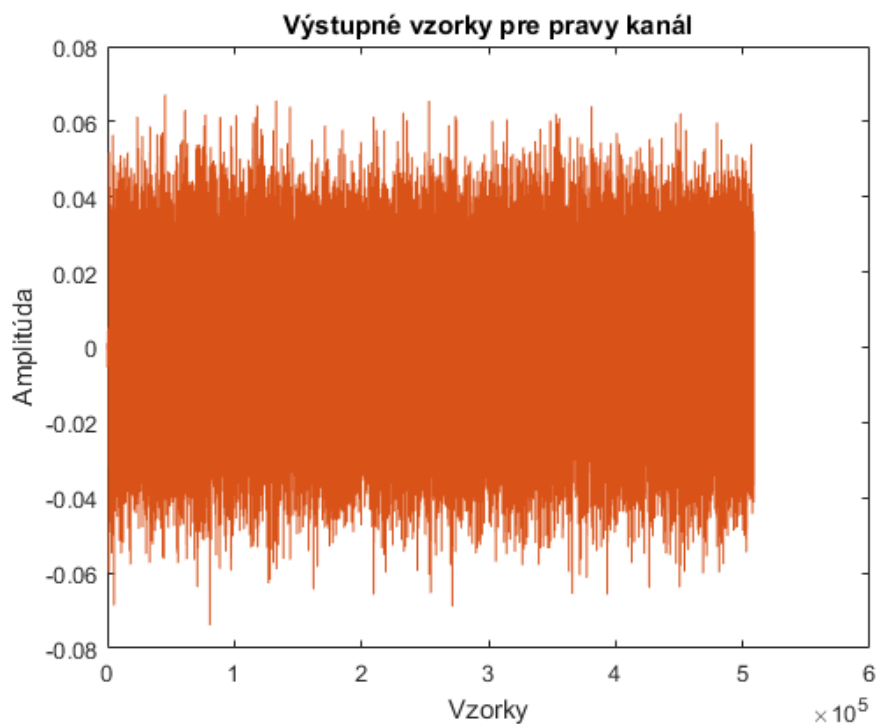


Obr. 28 postupnosť vzoriek filtrovaných IIR filtrom

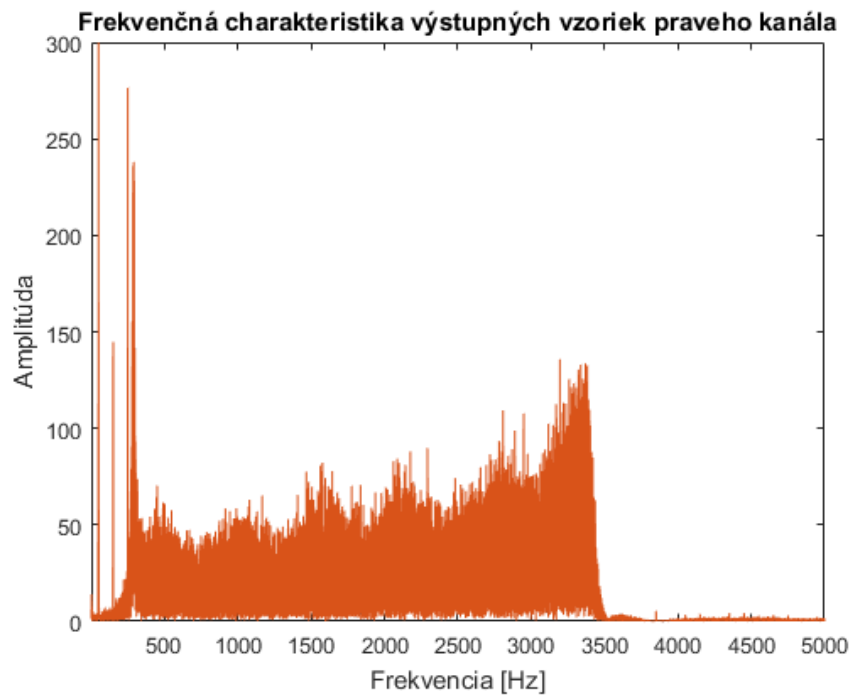


Obr. 29 spektrum signálu po filtrácii IIR filtrom

Rovnakým postupom sme získali výstupy pre pravý kanál, ktorý bol filtrovaný IIR a následne FIR filtrom. Filtrovaný výstup v časovej oblasti je na Obr. 30 a jeho spektrum na Obr. 31:



Obr. 30 postupnosť vzoriek filtrovaných IIR a FIR filtrom



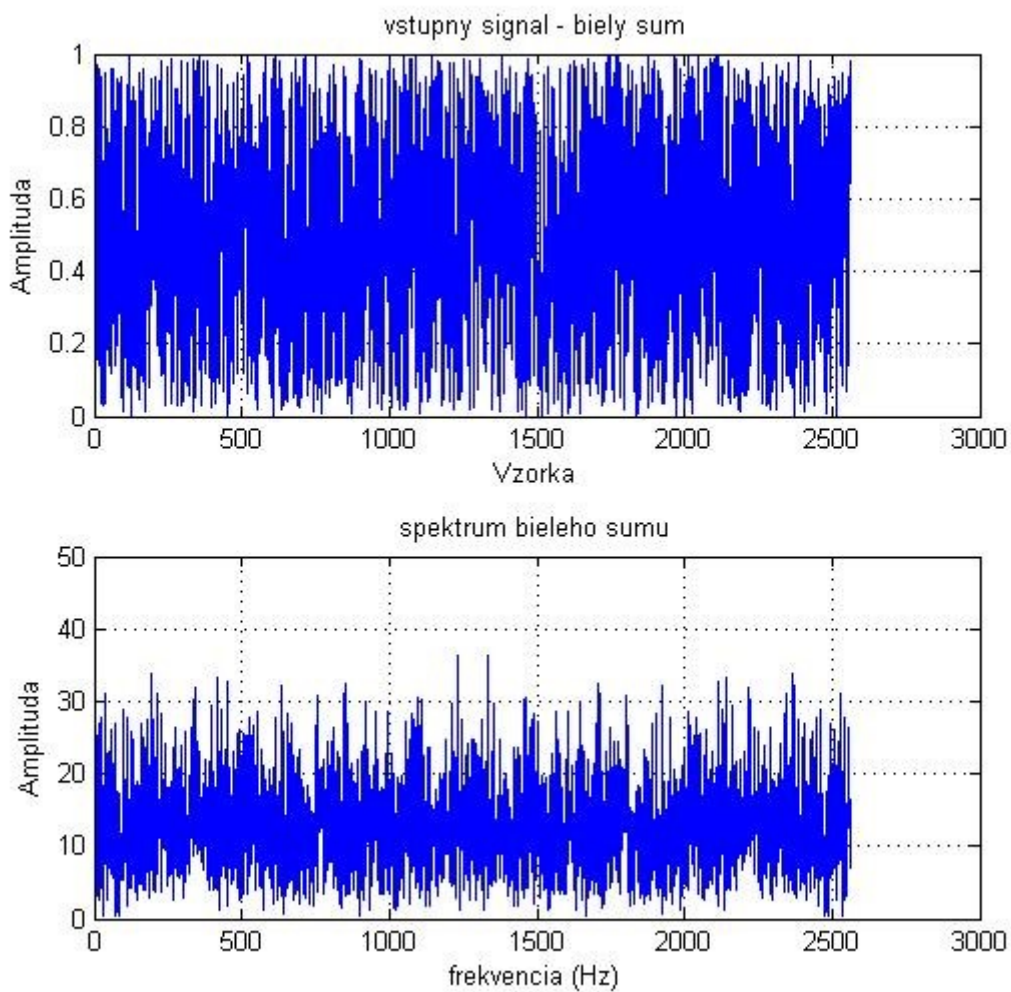
Obr. 31 spektrum signálu po filtrácii IIR a FIR filtrom

Porovnaním signálov sme zistili, že došlo k poklesu amplitúdy výstupných signálov voči vstupnému, čo je spôsobené použitím filtrov, ktorých zisk je nižší ako 1. Tým, že bol pravý kanál filtrovaný IIR aj FIR filtrom je jeho amplitúda nižšia ako na výstupe ľavého kanála.

2.6 Porovnanie filtrov v Matlabe a simulátore

Funkčnosť filtrov sme overili aj v simulátore procesora Blackfin BF533 v prostredí VisualDSP++. Opäť sme použili súbor so vzorkami bieleho šumu, ktorý sme filtrovali v ľavom kanáli FIR filtrom, v pravom IIR filtrom a výsledky sme uložili do binárnych súborov. V Matlabe sme rovnaký signál filtrovali pomocou funkcií `filter()` a `sosfilt()` a porovnali výsledkami zo simulátora.

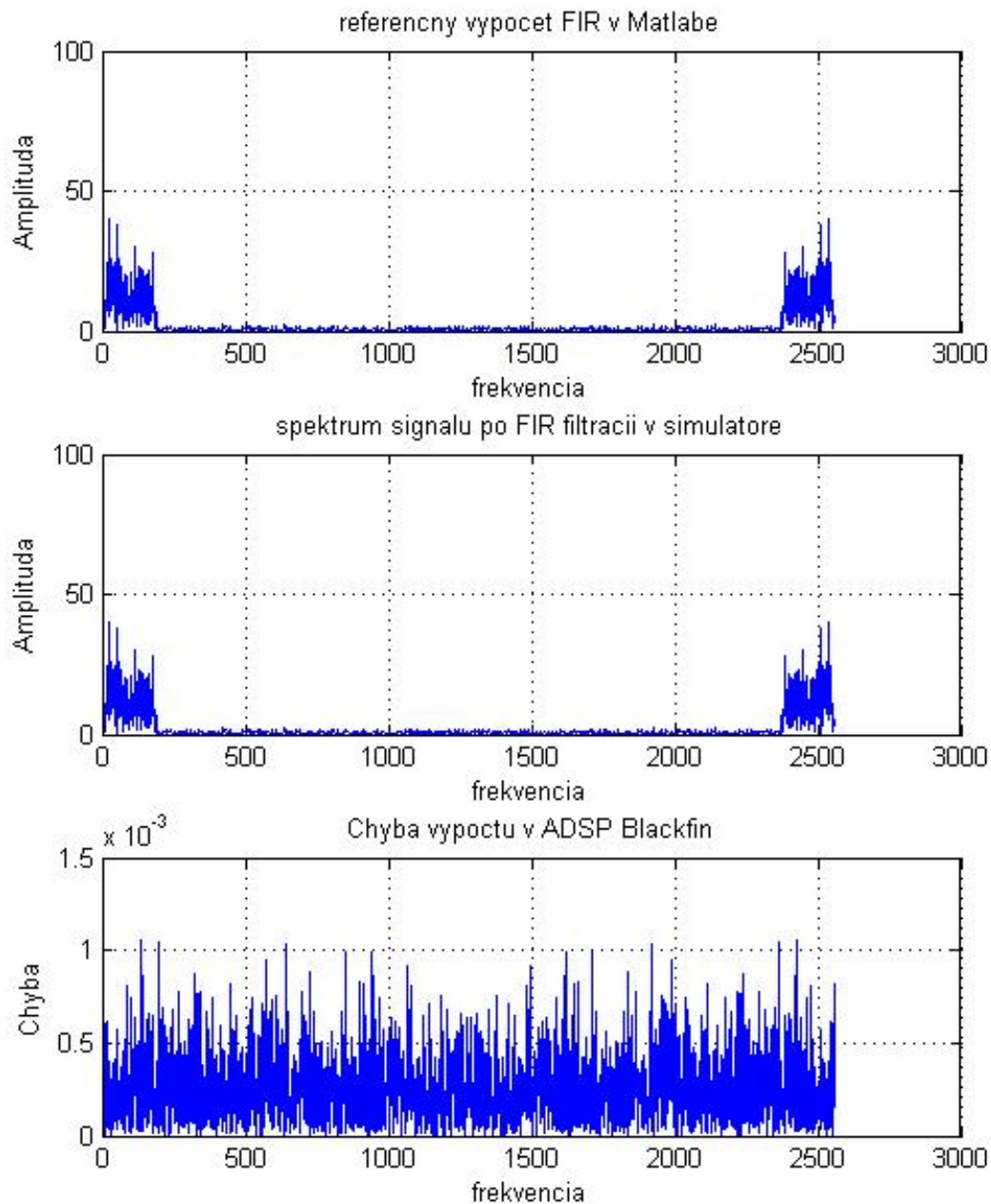
Vstup filtrov použitý v simulátore a Matlabe je zobrazený na Obr. 32:



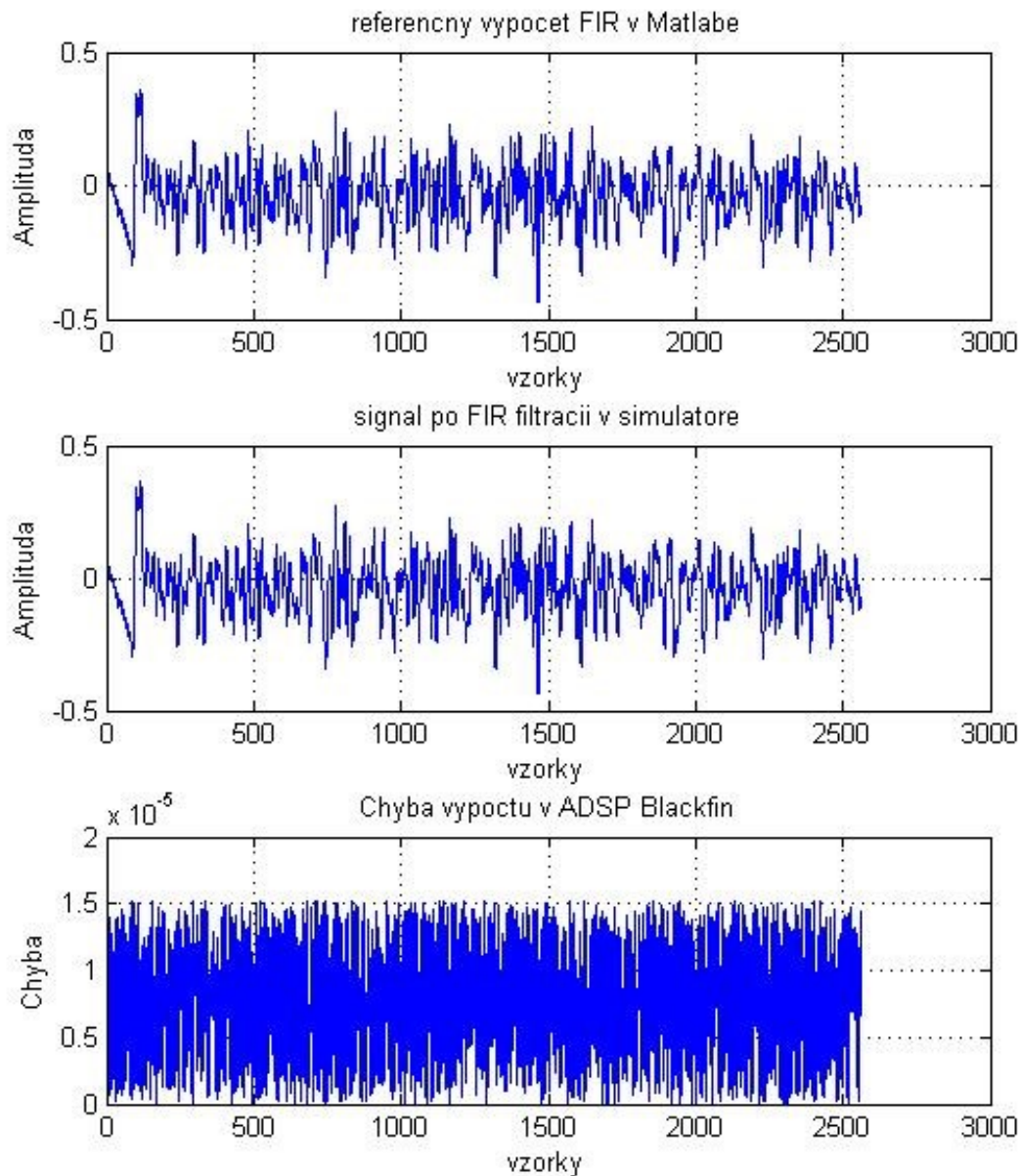
Obr. 32 časová a frekvenčná charakteristika vstupného signálu

2.6.1 FIR filter

Porovnali sme signál filtrovaný v simulátore s referenčným výpočtom v Matlabe. Spektrum filtrovaných signálov a ich rozdiel môžete vidieť na Obr. 33, ich časové priebehy a chyba je na Obr. 34:



Obr. 33 rozdiel spektier signálov po filtrácii FIR filtrom



Obr. 34 porovnanie signálov v čase

Pre filtráciu v simulátore aj Matlabe bol použitý totožný FIR filter 190. rádu pričom rozdiel signálov je maximálne $1,5 \times 10^{-5}$.

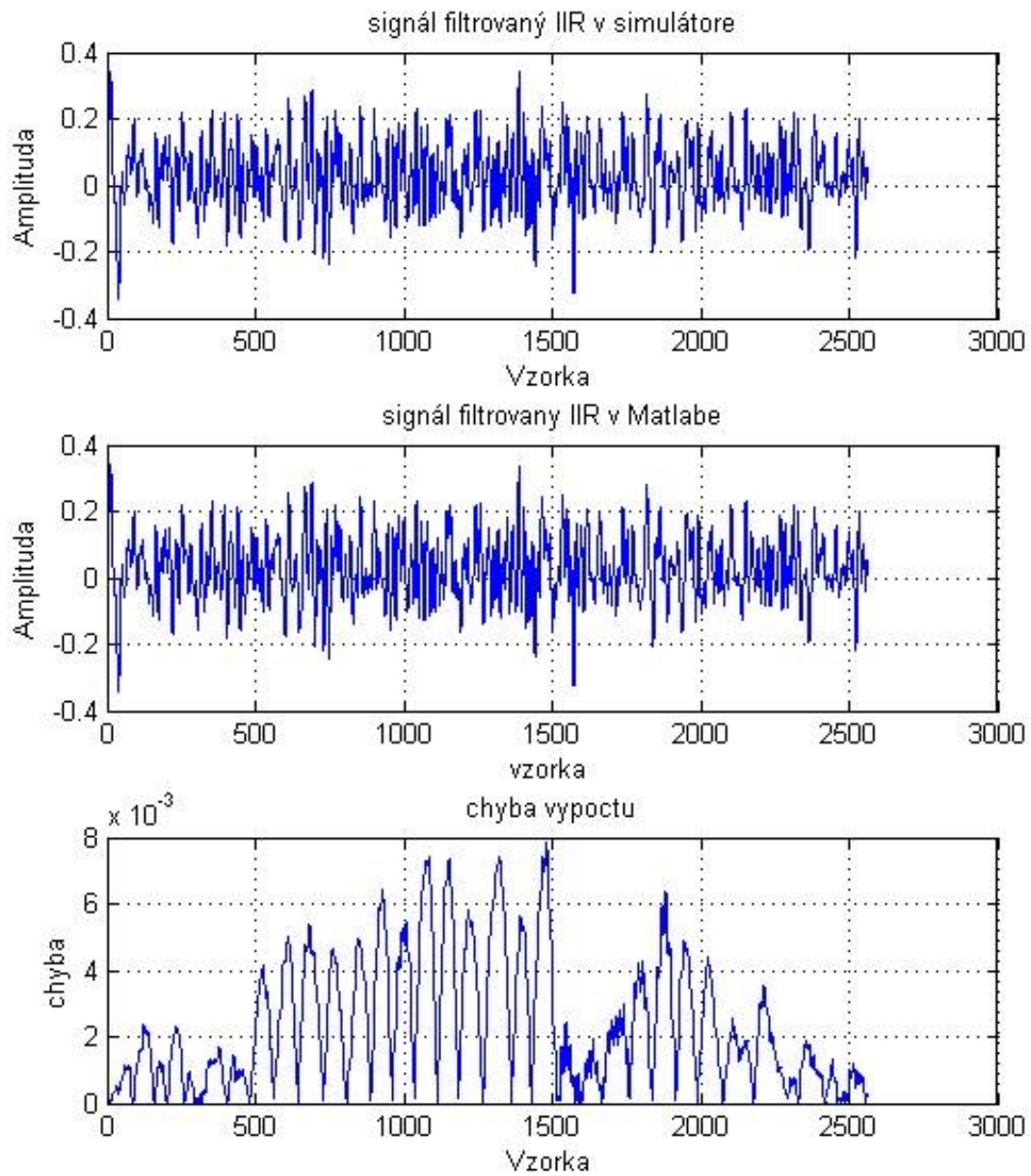
2.6.2 IIR filter

Rovnako sme pomocou funkcie `sosfilt()` v Matlabe vykonali filtráciu vstupného bieleho šumu pomocou IIR filtra. Použili sme rovnaké koeficienty ako pre simulátor a dosku, bolo ich však potrebné usporiadať do vhodného tvaru a použiť opačné znamienka koeficientov:

V Matlabe: $\mathbf{b_{01} \ b_{11} \ b_{21} \ 1 \ a_{01} \ a_{21}}$

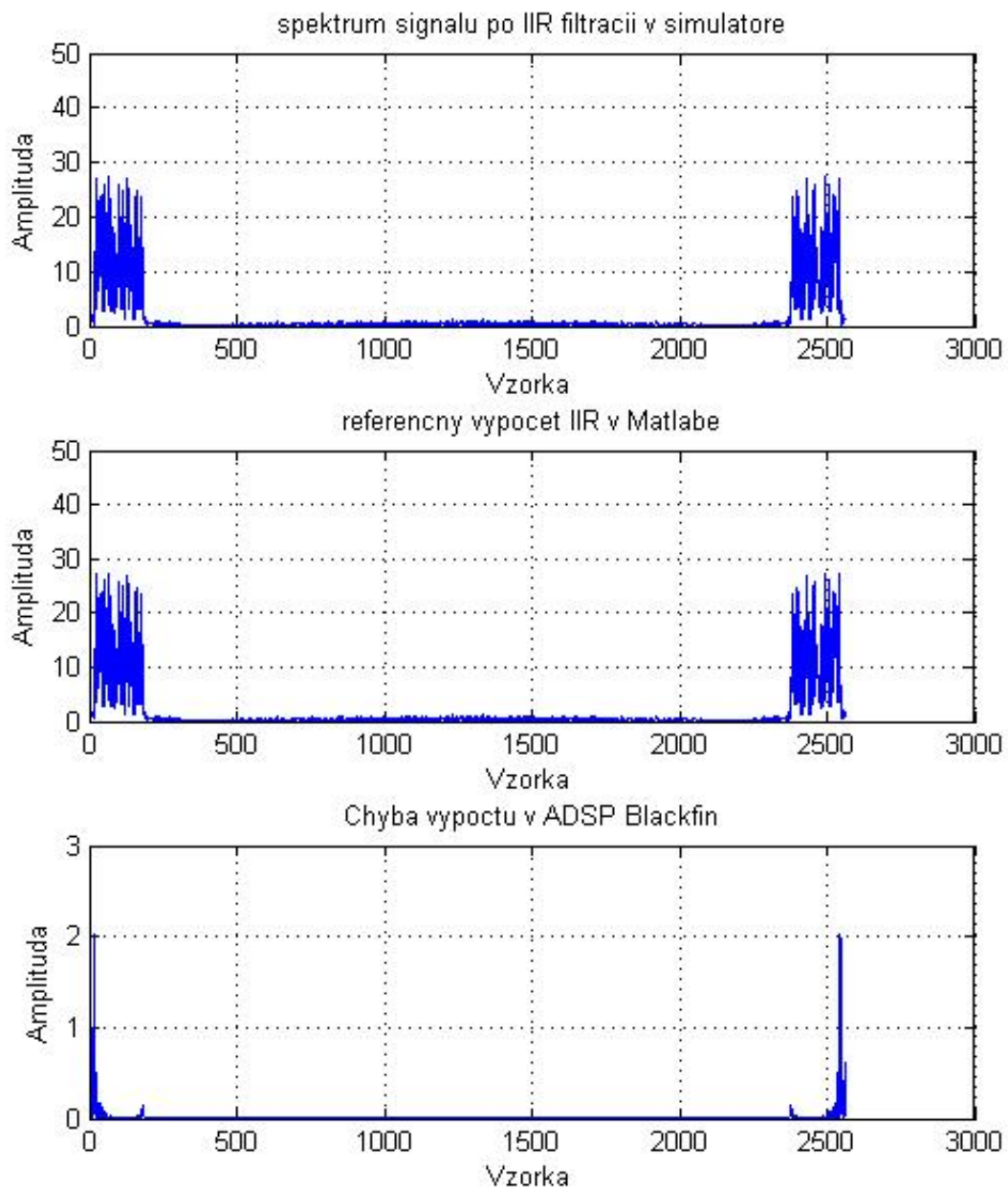
V simulátore a na doske: $\mathbf{b_{11} \ b_{21} \ a_{21} \ b_{01} \ a_{11}}$

Porovnanie IIR filtrov v časovej oblasti (Obr. 35):



Obr. 35 porovnanie IIR filtra v simulátore a Matlabe

Porovnanie spektier filtrovaných signálov (Obr. 36):

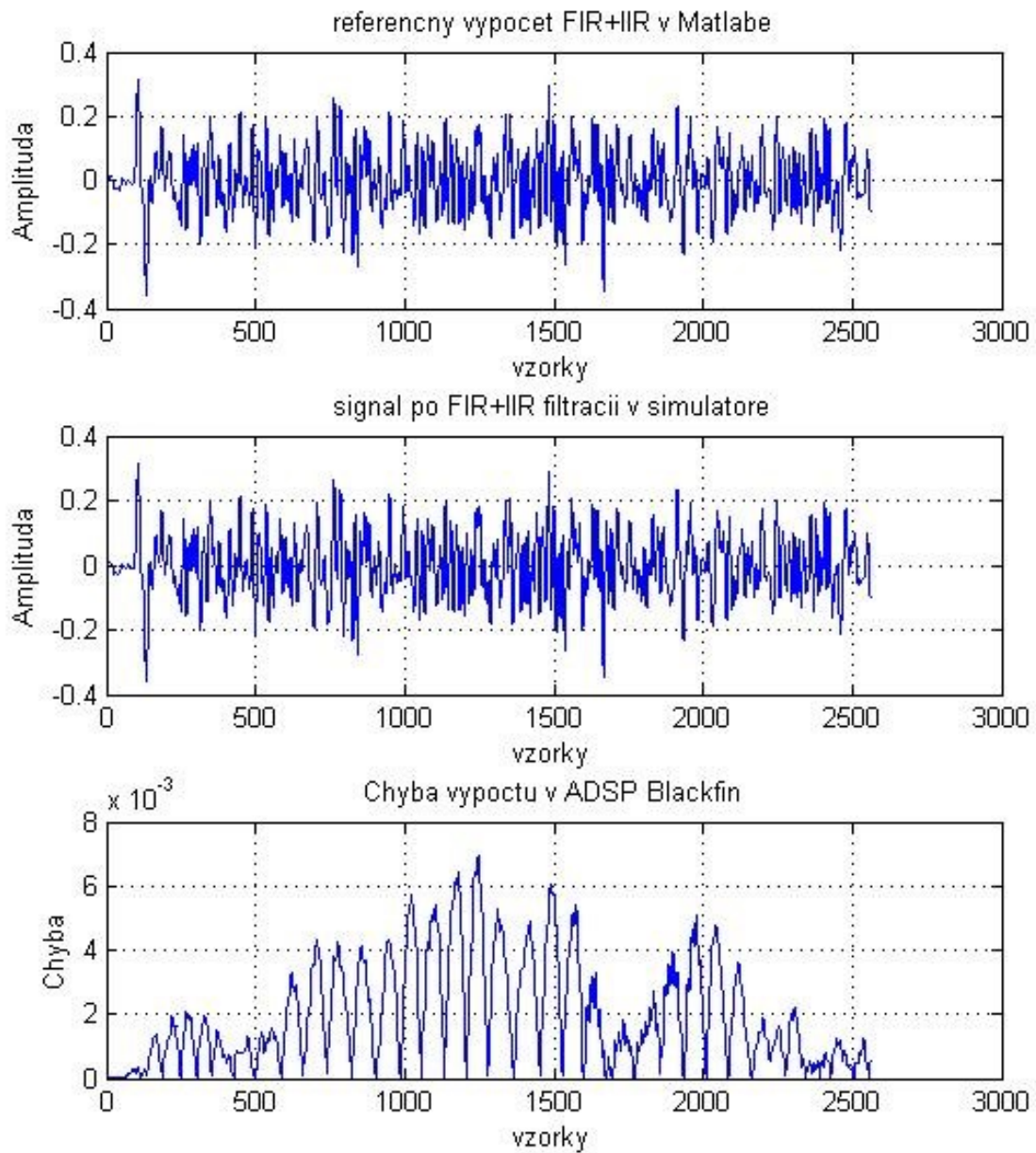


Obr. 36 porovnanie filtrov v spektre

2.6.3 IIR+FIR

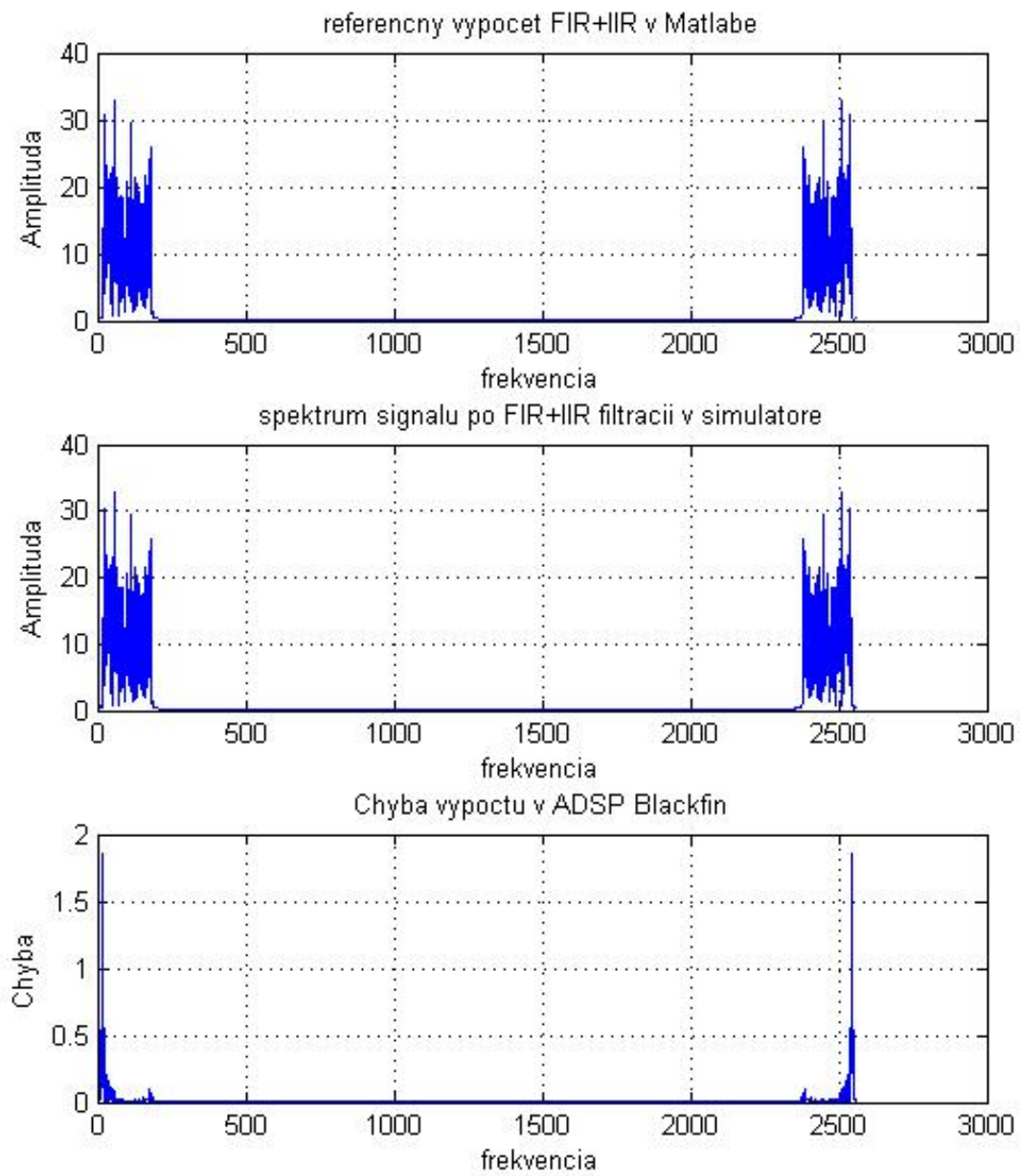
Porovnanie signálov filtrovaných IIR aj FIR filtrom v simulátore a Matlabe:

V časovej oblasti (Obr. 37):



Obr. 37 porovnanie filtrov IIR+FIR v časovej oblasti

Vo frekvenčnej oblasti (Obr. 38):



Obr. 38 porovnanie spektier IIR+FIR

3 Návrh dosky plošného spoja

Návrh dosky plošného spoja je vytvorený v programe Altium Designer 16. Doska má rozmery 2,7x3,1cm, je obojstranná, súčiastky sú osadené len na TOP vrstve. Všetky súčiastky sú prvky na povrchovú montáž (SMD, technológia SMT).

Na doske sú osadené dva integrované obvody, ide o operačné zosilňovače OPA2363 firmy Texas Instruments v puzdre MSOP10. Ďalej sa tam nachádzajú pasívne súčiastky ako rezistory a kondenzátory (keramické, tantalové). Nachádzajú sa tu taktiež kolíkové lišty (PIN HEADER) 3x2 na nastavenie voliteľného zisku zosilňovača. Kolíková lišta 3x1 slúži ako SHUTDOWN pre OZ OPA2363.

V nasledujúcej tabuľke je súpis súčiastok s prípadnými poznámkami.

Meno súčiastky	Hodnota	Poznámka	Technológia
R1,R2	390	-	SMT
R3,R4,R19,R20	100k	-	SMT
R5,R6	220	-	SMT
R7,R8	4k7	-	SMT
R12,R13	3k9	-	SMT
R14,R15	47	-	SMT
R9,R16	270	-	SMT
R10,R17	1k	-	SMT
R11,R18	6k8	-	SMT
C1,C14,C15	100uF	Tantal	SMT
C2,C3,C10,C12	47uF	Keramika	SMT
C4,C5	330pF	Keramika	SMT
C6,C7	10nF	Keramika	SMT
C8,C9	47uF	Keramika	SMT
C11,C13	390pF	Keramika	SMT
X1	-	3x1 PIN HEADER	THT
X2,X3	-	3x2 PIN HEADER	THT
U1,U2	OPA2363	MSOP 10 PIN	SMT

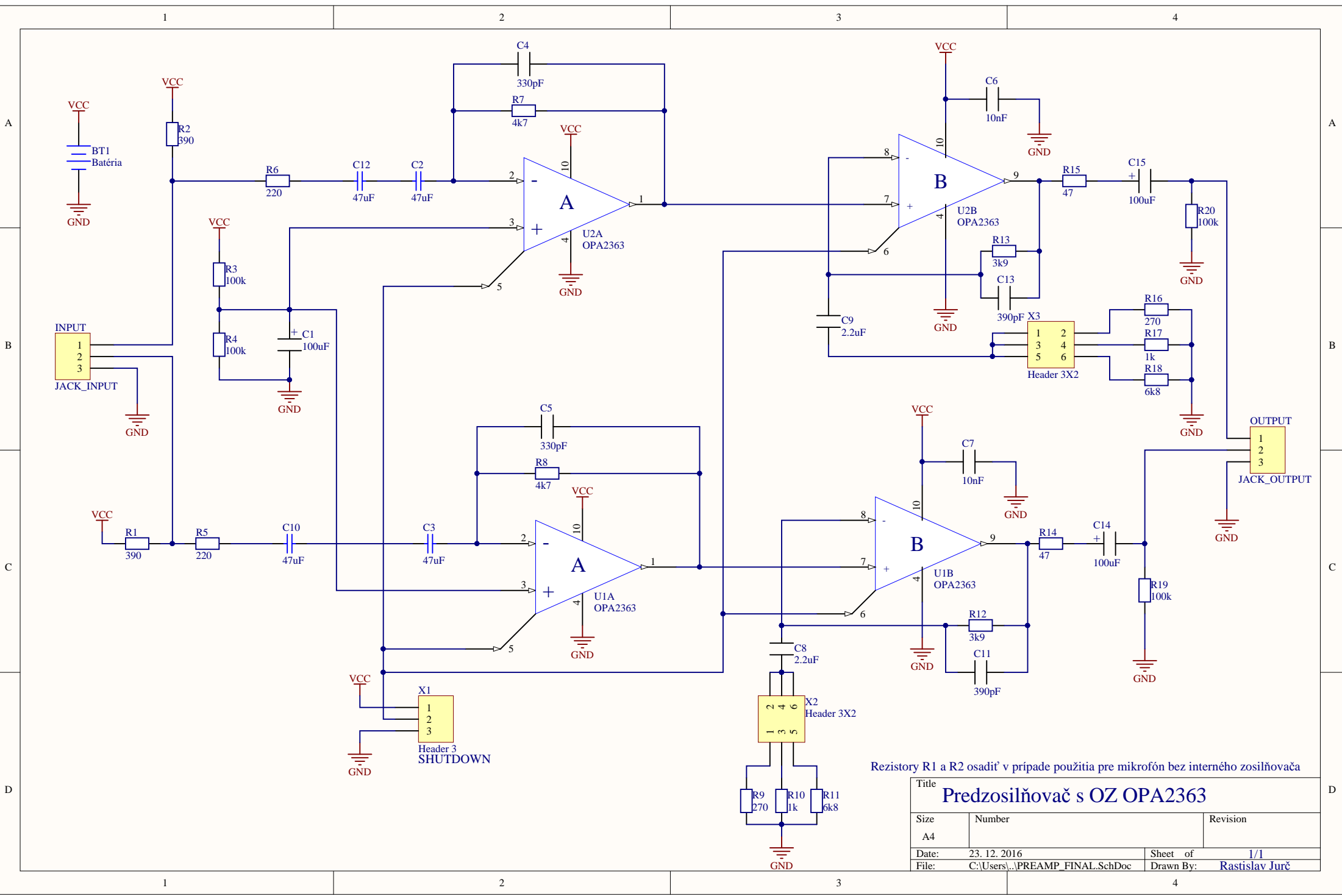
Tab. 1 Súpis súčiastok

V priloženom dokumente PREAMP_FINAL.pdf sa nachádza schéma zapojenia, TOP a BOTTOM vrstva, osadzovací výkres a nakoniec 3D zobrazenie dosky.

Priložená je taktiež krátka 3D animácia návrhu dosky.

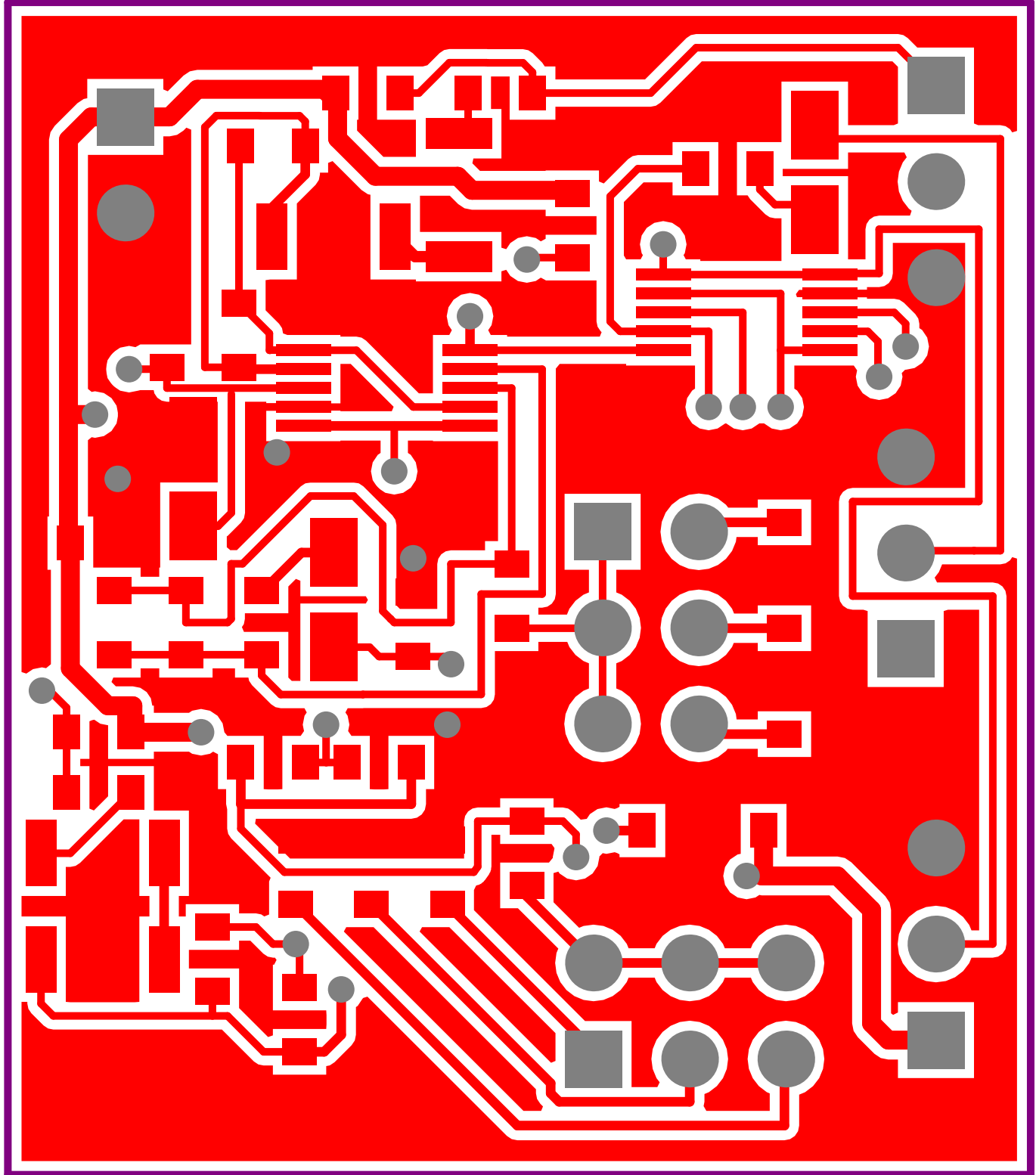
4 Použitá literatúra

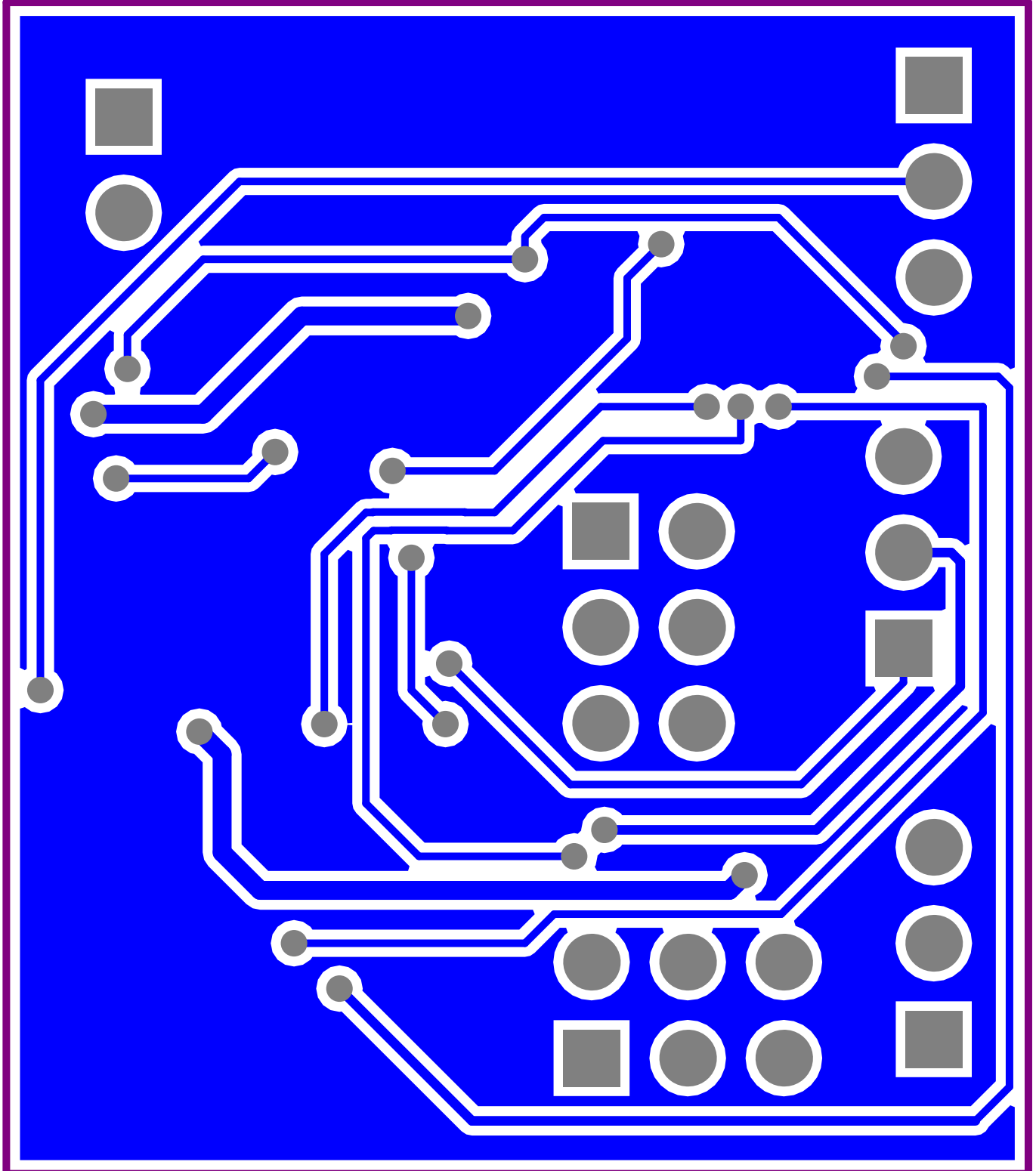
- [1.] Vectra MIC-1 Electret condenser microphone dostupne online:
https://content.abt.com/documents/58786/PRO8026_Instruction_book.pdf
- [2.] Katalógový list OZ TL072, dostupné online:
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl072.pdf>
- [3.] Katalógový list OZ OPA2363, dostupné online:
<http://www.ti.com/lit/ds/sbos259d/sbos259d.pdf>
- [4.] Single-Supply, Electret microphone pre-amplifier reference design, dostupne online:
<http://www.ti.com/lit/ug/tidu765/tidu765.pdf>
- [5.] Vývojový modul Analog Devices ADSP BF533 EZ-KIt Lite, návod na cvičenia z predmetu Signálové procesory, dostupné online:
https://data.kemt.fei.tuke.sk/SignaloveProcesory/_materialy/Cvicenia/sp_5cv.pdf
- [6.] Implementácia IIR filtra pomocou procesorov ADSP Blackfin, návod na cvičenia z predmetu Signálové procesory, dostupné online:
https://data.kemt.fei.tuke.sk/SignaloveProcesory/_materialy/Cvicenia/sp_7cv.pdf
- [7.] Vývojový modul Analog Devices ADSP BF533 EZ-KIt Lite (II. časť), návod na cvičenia z predmetu Signálové procesory, dostupné online:
https://data.kemt.fei.tuke.sk/SignaloveProcesory/_materialy/Cvicenia/sp_6cv.pdf
- [8.] Projekt IIR filter, dostupné online:
https://data.kemt.fei.tuke.sk/SignaloveProcesory/_materialy/Cvicenia/adsp2181/IIR_test.zip
- [9.] Projekt FIR filtracie FIR_LIB, dostupné online:
https://data.kemt.fei.tuke.sk/SignaloveProcesory/_materialy/Cvicenia/sp_3cv.zip
- [10.] ICs for Communications, s.265, dostupné online:
<https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Infineon%20PDFs/PSB2163.pdf>



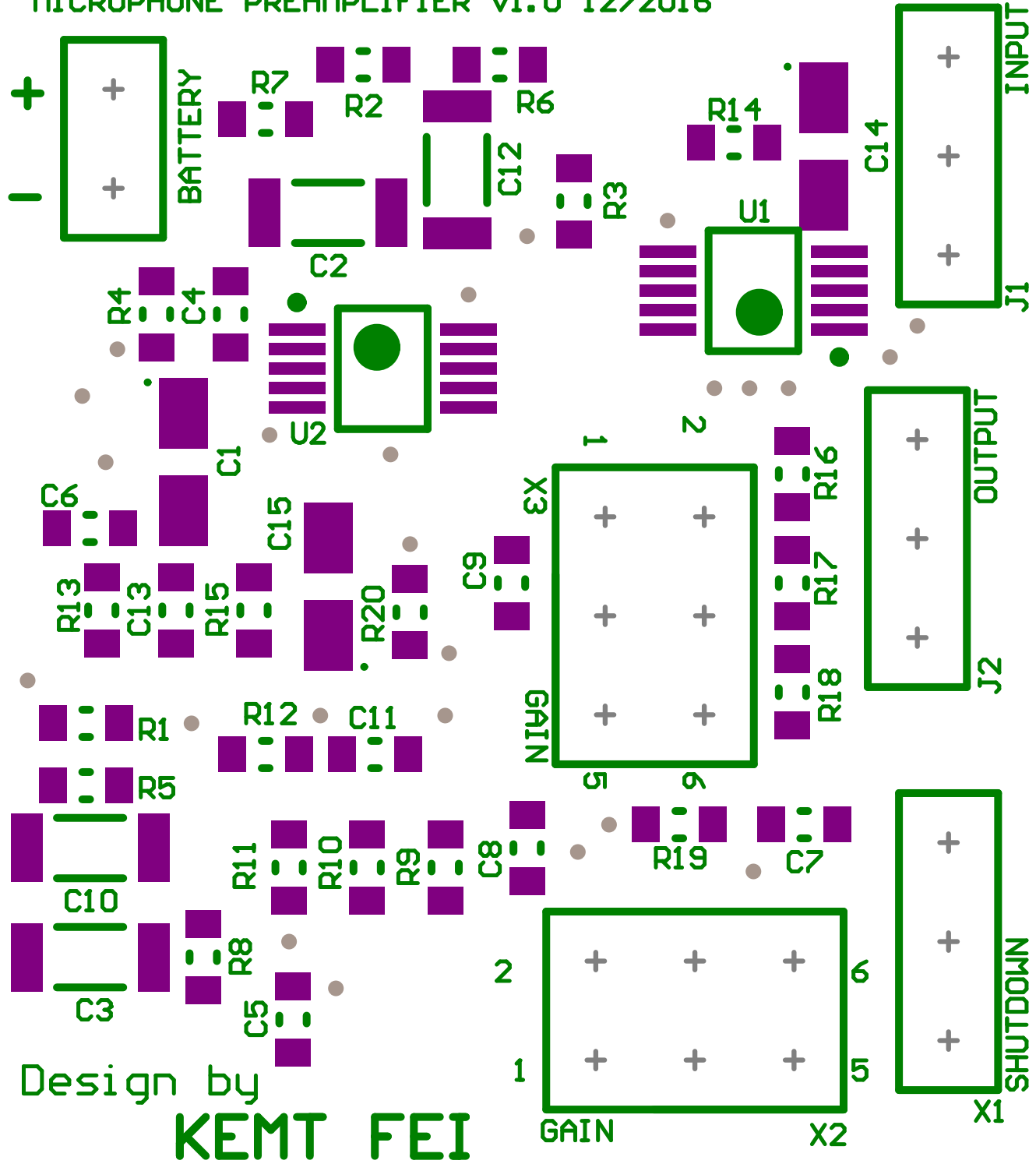
Rezistory R1 a R2 osadiť v prípade použitia pre mikrofón bez interného zosilňovača

Title		
Predzosilňovač s OZ OPA2363		
Size	Number	Revision
A4		
Date:	23. 12. 2016	Sheet of 1/1
File:	C:\Users\...\PREAMP_FINAL.SchDoc	Drawn By: Rastislav Jurč





MICROPHONE PREAMPLIFIER v1.0 12/2016



Design by
KEMT FEI

GAIN

X2

X1

SHUTDOWN

OUTPUT

J2

INPUT

J1