

## **VEŽBA 1 - Projektovanje i realizacija jednostavnog sistema za poboljšanje audio signala**

### **Potrebno predznanje**

- Poznavanje programskog jezika C
- Diskretni sistemi za obradu signala (impulsni odziv, prenosna karakteristika)
- Digitalni filtri sa beskonačnim impulsnim odzivom (IIR)
- All-pass filtri
- Spektralna analiza signala

### **Šta će biti naučeno tokom izrade zadatka**

U okviru ove vežbe naučićete:

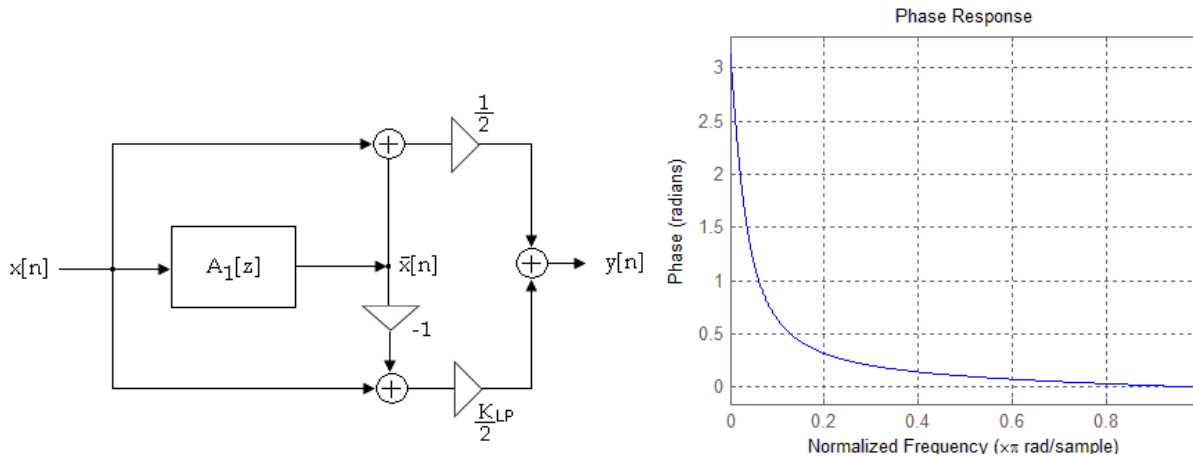
- Kako pristupati problemu projektovanja digitalnog sistema za obradu zvuka.
- Kako projektovati i realizovati praktični sistem sastavljen od blokova za digitalno procesiranje signala.
- Na koji način funkcionišu i kako se implementiraju algoritmi za ekvalizaciju audio signala
- Šta su i kako funkcionišu shelving filtri.
- Na koji način se vrši primena do sada naučenih algoritama digitalnog procesiranja signala (algoritmi brze Furijeove transformacije, digitalni filtri) za realizaciju realnog sistema i kako se testira njihova funkcionalnost.
- Kako projektovati i realizovati algoritme digitalnog procesiranja signala u slučaju rada u realnom vremenu.
- Kako vršiti pretraživanje literature i nalaziti relevantne podatke za definisano polje naučnog interesa.

## 1 TEORIJSKE OSNOVE

Ekvalizacija audio signala je proces modifikacije prenosne funkcije (spektralne karakteristike) audio sistema korišćenjem linearnih filtera. Cilj ekvalizacije je kontrolisana promena, pojačanje ili slabljenje signala, u određenom delu spektra, za željeni iznos pojačanja odnosno slabljenja.

### 5.1.1 Kontrola niskih i visokih tonova (bass/treble)

Jednostavno kolo za regulaciju nivoa (pojačanje ili slabljenje) niskih frekvencija prikazano je na slici 1a. Filter  $A_1$  je allpass filter prvog reda (primer fazne karakteristike dat je na slici 1b). Ulazni signal  $x[n]$  i signal na izlazu allpass filtera  $\bar{x}[n]$  imaju jednaku amplitudsku karakteristiku ali su im faze različite. Za  $\omega = 0$  razlika faza ova dva signala je  $\pi$  (poništauju se), dok za  $\omega > \omega_c$  razlika faza teži nuli (za  $\omega = 1$  razlika je nula). Sabiranjem ova dva signala poništiće se niske frekvencije, dok će srednje i visoke ostati nepromenjene (gornja grana kola na slici 1a). Oduzimanjem ova dva signala poništiće se srednje i visoke frekvencije, dok će niske ostati nepromenjene (donja grana kola na slici 1a). Koeficijent  $K_{LP}$  određuje nivo niskih frekvencija u krajnjem signalu  $y[n]$  – ako je manji od 1 doći će do slabljenja niskih frekvencija, a ako je veći od jedan doći će do pojačanja niskih frekvencija. Srednje i visoke frekvencije ostaće nepromenjene. Filter predstavljen na slici 1a nazivamo shelving filter prvog reda. Prenosnu karakteristiku shelving filtera moguće je menjati bez ponovnog projektovanja filtera – menja se samo koeficijent  $K_{LP}$ .



Slika 1 - a) NP shelving filter prvog reda; b) Fazna karakteristika allpass filtera prvog reda za  $\alpha = 0.9$ .

Prenosna funkcija allpass filtera prvog reda  $A_1$  je:

$$A_1(z) = \frac{\alpha - z^{-1}}{1 - \alpha z^{-1}},$$

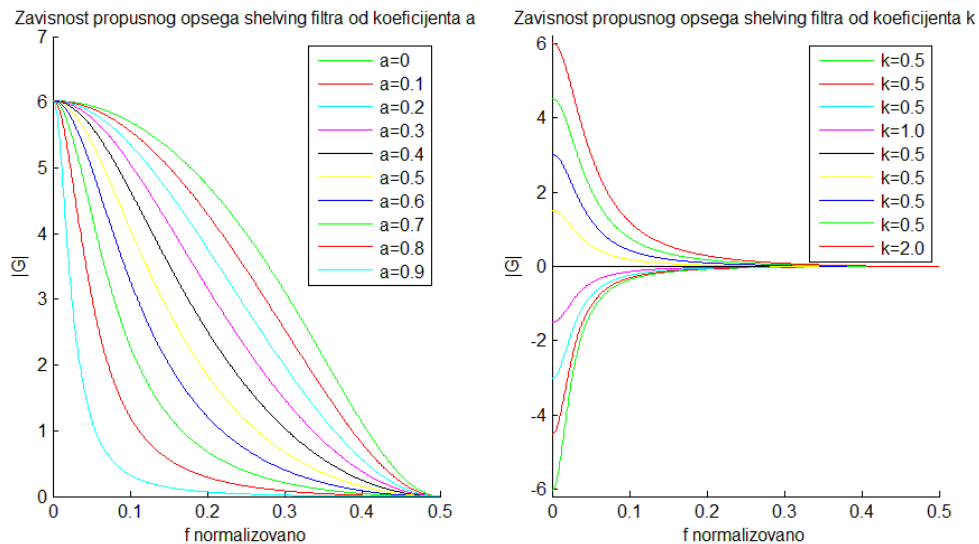
pa je prenosna funkcija shelving filtera:

$$G_1(z) = \frac{K_{LP}}{2} [(1 - A_1(z))] + \frac{1}{2} [(1 + A_1(z))].$$

Granična učestanost shelving filtera zavisi samo od koeficijenta  $\alpha$  i data je sledećim izrazom:

$$\omega_c = \cos^{-1}\left(\frac{2\alpha}{1+\alpha^2}\right)$$

Zavisnost prenosne funkcije shelving filtera od koeficijenta  $\alpha$  (definiše se u procesu dizajna filtera) i koeficijenta  $K$  (zadaje se u procesu upotrebe filtera) prikazana je na slici 2.



Slika 2 - Zavisnost propusnog opsega NP shelving filtera od koeficijenata  $\alpha$  i  $K$

Implementacija niskopropusnog shelving filtera u prgoramskom jeziku C, po uzoru na blok dijagram prikazan na slici 1, data je sa:

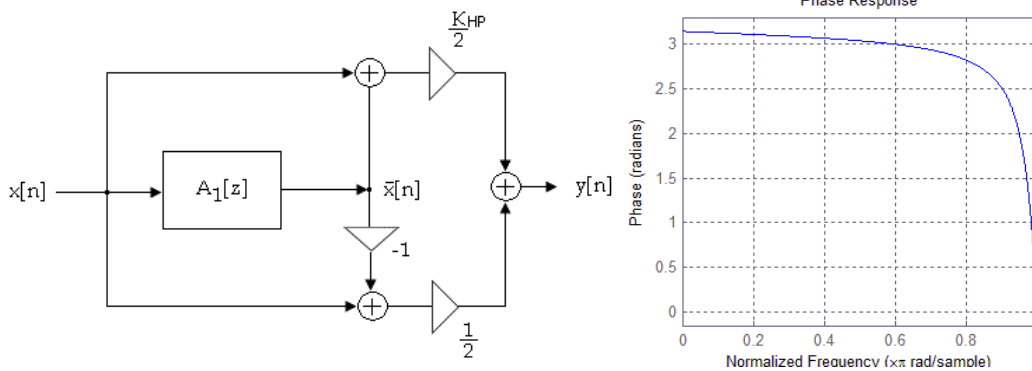
```
Int16 shelvingLP(Int16 input, Int16* coeff, Int16* z_x, Int16* z_y, float k)
{
    Int16 filtered_input, output;
    Int32 accum;

    filtered_input = first_order_IIR(input, coeff, z_x, z_y);
    accum = (input + (Int32)filtered_input)>>1;
    accum += ((input - (Int32)filtered_input)>>1)*k;
    output = ((Int16)CLIP16(accum));

    return output;
}
```

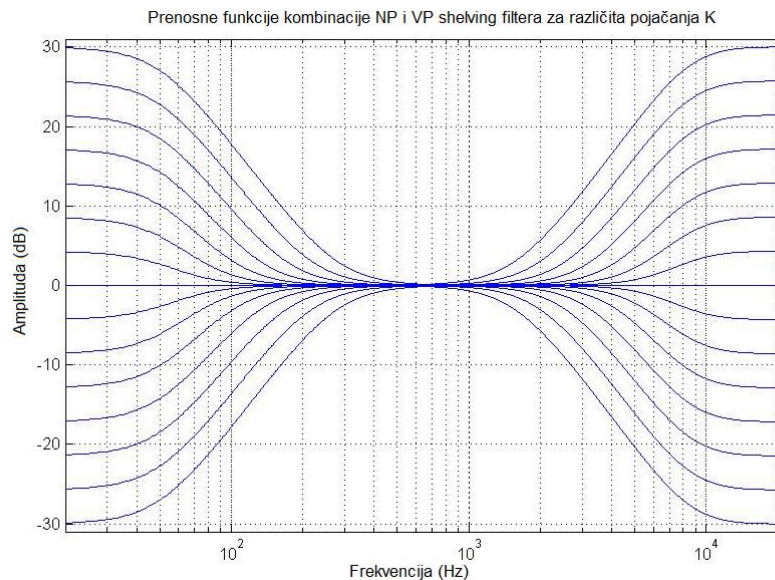
Na prethodnom primeru pomenljiva *input* predstavlja ulazni odbrak, *coeff* niz sa koeficijentima all-pass filtera prvog reda, *z\_x* i *z\_y* promenljive za pamćenje prethodnog ulaza i izlaza iz IIR filtra i *k* koeficijent pojačanja.

Analogno niskopropusnom shelving filteru pravimo i shelving filter za regulisanje visokih frekvencija. Razlika je da koeficijent  $\alpha$  za VP shelving filter ima negativnu vrednost u opsegu (0, -1) i da se regulisanje nivoa promene visokih frekvencija vrši u gornjoj grani (slika 3a). Fazna karakteristika allpass filtera prvog reda za negativnu vrednost koeficijenta  $\alpha$  ( $\alpha = -0.9$ ) predstavljena je na slici 3b.



Slika 3 - a) VP shelving filter prvog reda; b) Fazna karakteristika allpass filtera prvog reda za  $\alpha = -0.9$

Kombinacijom NP i VP shelving filtera moguće je nezavisno regulisati niske i visoke frekvencije. Na slici 4 prikazan je primer kombinacija prenosnih funkcija koje mogu da se ostvare takvom vezom.



Slika 4 - Primer prenosne funkcije kaskadno vezanih NP i VP shelving filtera za različite vrednosti pojačanja  $K$ .

### 5.1.2 Ekvalizator

Zamenom allpass filtera prvog reda sa allpass filterom drugog reda u shelving filteru sa slike 1a dobija se shelving filter drugog reda koji se još naziva i peeking filter (slika 5a). Na faznoj karakteristici allpass filtera  $A_2$  (prikazanoj je na slici 5b) vidi se da će najveći uticaj filtera biti u srednjem delu fazne karakteristike (brza promena faze od 0 do  $\pi$  pa opet na 0), dok će nivo signala ostati nepromenjen u ostatku spektra. Za razliku od NP i VP shelving filtera kojima je moguće regulisati frekvencije niže (NP) ili

više od granične frekvencije (VP) od granične frekvencije, kod peeking filtera moguće je regulisati opseg frekvencija oko centralne frekvencije filtera. Zbog višeg red filtera moguće je kontrolisati dva parametra – propusni opseg i centralnu frekvenciju, dok je kod NP i VP shelving filtera moguće kontrolisati samo propusni opseg dok je centralna frekvencija fiksirana na  $\omega = 0$  (za NP), odnosno na  $\omega = \pi$  (za VP).

Prenosna funkcija allpass filtera drugog reda je:

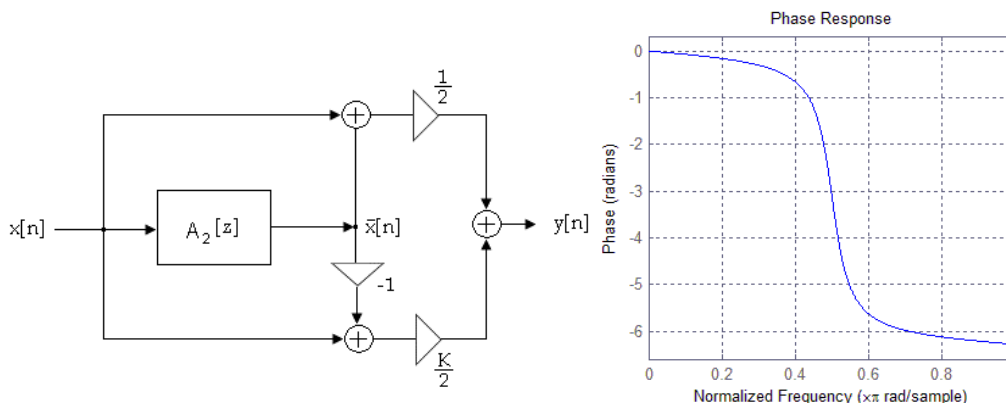
$$A_2(z) = \frac{\alpha - \beta(1 + \alpha)z^{-1} + z^{-2}}{1 - \beta(1 + \alpha)z^{-1} + \alpha z^{-2}},$$

centralna učestanost određena je faktorom  $\beta$ :

$$\omega_0 = \cos^{-1}(\beta),$$

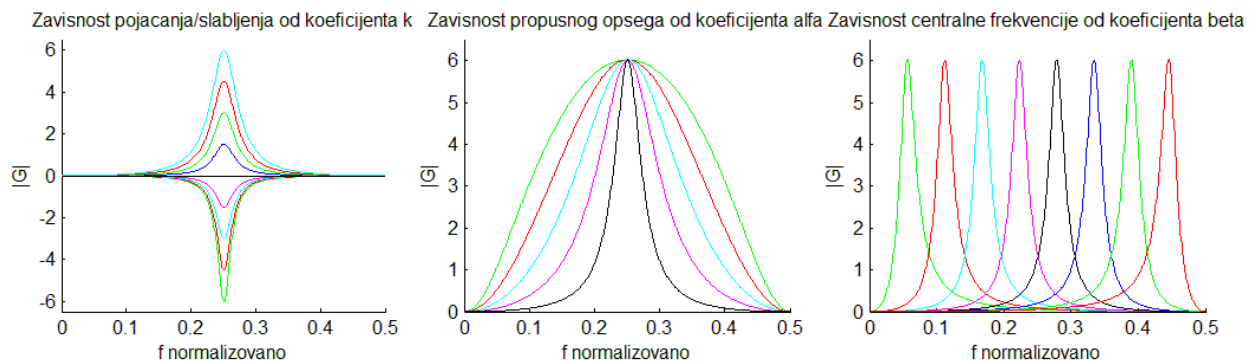
a širina opsega na koji filter utiče određena je faktorom  $\alpha$ :

$$\Delta\omega = \cos^{-1}\left(\frac{2\alpha}{1 + \alpha^2}\right)$$



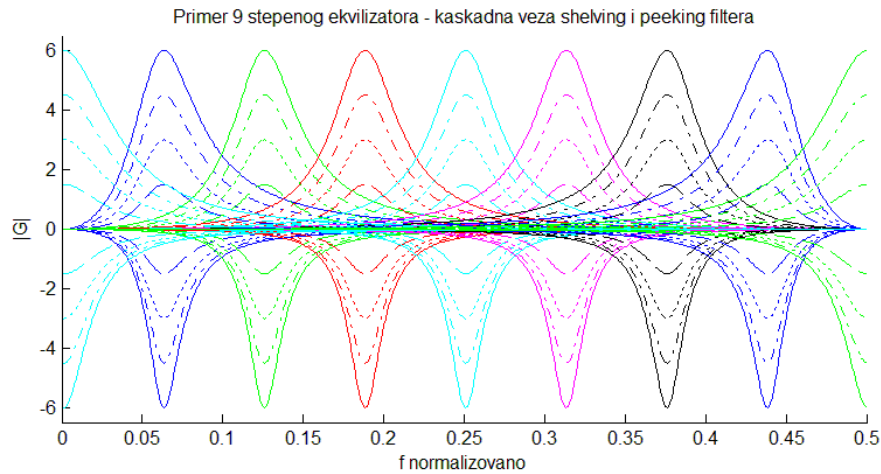
Slika 5 - a) Peekig filter (shelving filter drugog reda); b) Fazna karakteristika allpass filtera drugog reda za  $\beta = 0.0$ .

Uticaj parametara  $K$ ,  $\alpha$  i  $\beta$  na karakteristike peeking filtera ilustrovan je na slici 6.



Slika 6 - Zavisnost pojačanja, opsega delovanja i centralne frekvencije peeking filtera od koeficijenata  $K$ ,  $\alpha$  i  $\beta$

Da bi mogli regulisati kompletan spektar potrebno je kombinovati NP i VP shelving filtere (regulacija niskih i visokih frekvencija na krajevima spektra) i peeking filtere sa ekvidistantnim centralnim frekvencijama. Primer prenosne funkcije jednog takvog ekvalizatora prikazan je na slici 7.



Slika 7 - Primer 9-stepenog ekvilizatora nastalog kombinacijom NP i VP shelving filtera i 7 peeking filtera sa ekvidistantnim centralnim frekvencijama za različite vrednosti pojačanja K.

## 2 ZADACI

### 2.1 Zadatak 1

Izračunati koeficijenate all-pass filtra prvog reda za parametre  $\alpha_1 = 0,7$  i  $\alpha_2 = -0,7$  i koeficijenate all-pass filtra drugog reda tako da sredina opsega odgovara frekvenciji 0,25 a širina opsega da je jednaka 0,2. Za izračunavanje koeficijenata koristiti date jednačine filtera:

$$A_1(z) = \frac{\alpha - z^{-1}}{1 - \alpha z^{-1}} \quad A_2(z) = \frac{\alpha - \beta(1 + \alpha)z^{-1} + z^{-2}}{1 - \beta(1 + \alpha)z^{-1} + \alpha z^{-2}}$$

Voditi računa da koeficijenti trebaju biti predstavljeni kao brojevi u nepokretnom zarezu sa preciznošću 1.15 (koristiti tip Int16), tako da broj 32767 odgovara vrednosti 1.0, a -32768 vrednosti -1.0.

Kod filtra drugog reda obratiti pažnju da se koeficijenti A1 i B1 nalaze u opsegu [-2, 2], stoga u okviru niza sa koeficijentima na njihovom mestu treba čuvati polovinu njihove vrednosti. Ovakvu predstavu koeficijenata očekuje i data funkcija za filtriranje.

A0	A1	B0	B1
----	----	----	----

- Koeficijenti filtra prvog reda

A0	A1/2	A2	B0	B1/2	B2
----	------	----	----	------	----

Koeficijenti filtra drugog reda

### 2.2 Zadatak 2

Data je realizacija funkcije za LP shelving filter sa:

```
Int16 shelvingLP(Int16 input, Int16* coeff, Int z_x, Int16* z_y, float K);
```

Gde parametar *input* predstavlja ulazni odbirak, *coeff* koeficijente *all-pass* filtra, *z\_x* memorija za ulazne odbirke za IIR filter, *z\_y* memoriju za izlazne odbirke, *K* pojačanje/slabljenje u propusnom opsegu.

Koristeći datu funkciju i koeficijente izračunate u prethodnom zadatku za  $\alpha_1=0,7$  iscrtati prenosnu karakteristiku *shelving* filtra za  $K = 0,5$  i  $K = 2,0$ . Za potrebe iscrtavanja prenosne karakteristike filtra izračunati impulsni odziv dovođenjem dirakovog impulsa u trajanju od *N* odbiraka na ulaz filtra.

### 2.3 Zadatak 3

Na osnovu date funkcije u prethodnom zadatku realizovati HP *shelving* filter u okviru funkcije:

```
Int16 shelvingHP(Int16 input, Int16* coeff, Int16* z_x, Int16* z_y, float K);
```

Parametar *input* predstavlja ulazni odbirak, *coeff* koeficijente *all-pass* filtra, *z\_x* memorija za ulazne odbirke za IIR filter, *z\_y* memoriju za izlazne odbirke, *K* pojačanje/slabljenje u propusnom opsegu.

Koristeći realizovanu funkciju i koeficijente izračunate u prethodnom zadatku za  $\alpha_2=-0,7$  iscrtati prenosnu karakteristiku *shelving* filtra za  $K = 0,5$  i  $K = 2,0$ . Za potrebe iscrtavanja prenosne karakteristike filtra izračunati impulsni odziv dovođenjem dirakovog impulsa u trajanju od *N* odbiraka na ulaz filtra.

### 2.4 Zadatak 4

Realizovati *Peek shelving* filter u okviru funkcije:

```
Int16 shelvingPeek(Int16 input, Int16* coeff, Int16* z_x, Int16* z_y, float K);
```

Parametar *input* predstavlja ulazni odbirak, *coeff* koeficijente *all-pass* filtra, *z\_x* memorija za ulazne odbirke za IIR filter, *z\_y* memoriju za izlazne odbirke, *K* pojačanje/slabljenje u propusnom opsegu.

Za filtriranje koristiti priloženu funkciju *second\_order\_iir*.

Koristeći realizovanu funkciju i koeficijente izračunate u prethodnom zadatku za zadatu sredinu i širinu opsega, iscrtati prenosnu karakteristiku *shelving* filtra za  $K = 0,5$  i  $K = 2,0$ . Za potrebe iscrtavanja prenosne karakteristike filtra izračunati impulsni odziv dovođenjem dirakovog impulsa u trajanju od *N* odbiraka na ulaz filtra.

### 2.5 Zadatak 5

Realizovati jednostavan ekvalizator kaskadnom vezom nisko i visoko propusnih shelving filtera i ekvalizatora (realizovanih u zadacima 2 i 3 i 4)

Prikazati impulsni odziv i prenosnu karakteristiku sistema za različite vrednosti parametara *K*.