



Zavod za elektroakustiku

ELEKTROAKUSTIKA

Seminarski rad

Frekvencijska obrada audio signala

Student:

Voditelji:

izv. prof. dr. sc. Siniša Fajt

doc.dr.sc. Antonio Petošić

dr. sc. Miljenko Krhen

dr. sc. Marko Horvat

Sadržaj

Uvod	3
1. Analiza osnovnih, pasivnih filtarskih oblika	4
1.1 RC mreža	4
1.2 CR mreža	5
1.3 Pojasno propusni filter	6
1.4 Pojasna brana	7
2 Aktivni električni filteri	8
2.1 Općenito o aktivnim električni filterima	8
2.2 Izvedba	8
3. Ekvalizatori	9
3.1 Regulator boje tona – shelving filter	9
3.2 Grafički ekvalizator	10
3.3 Parametarski ekvalizator	11
4. Wah-wah pedala	12
5. Zaključak	14
Kratki opis seminarskog rada	15
Literatura:	16

Uvod

Frekvencijska obrada audio signala je obrada audio signala prvenstveno pomoću filtra. Filtri su uređaji ili sklopovi koji oblikuju signal koji uđe u njih te ovisno o spektru signala i karakteristikama pojedinog filtra propuštaju izlazni signal. Bitno je naglasiti, ukoliko filter nije „all pass“ tj. svepropusni, ulazni i izlazni signal nikada nisu jednaki.

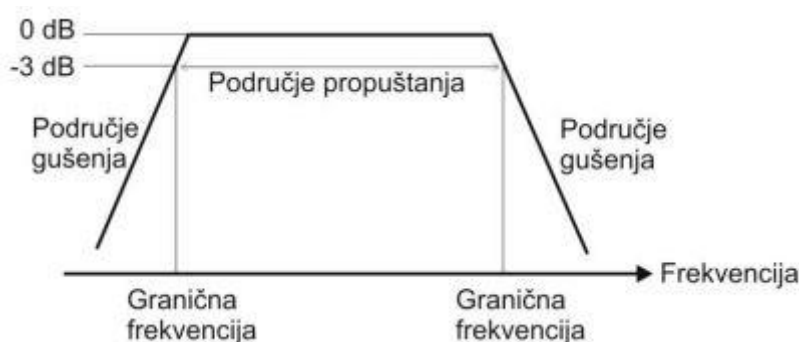
Filtri po svojoj karakteristici mogu pojačavati ili gušiti ulazni signal ovisno o frekvencijama signala i svojoj izvedbi.

Prema području propuštanja i gušenja frekvencija filtre dijelimo na:

- Nisko-propusne ili „low pass“ koji propuštaju određeni signal ispod granične frekvencije
- Visoko-propusne ili „high pass“ koji propuštaju određeni signal iznad granične frekvencije
- Pojasno-propusne ili „band pass“ koji propuštaju određeni frekvencijski pojas
- Pojasne brane ili „band stop“ koji propuštaju sve frekvencije osim karakterističnog pojasa

Na slici 1. Možemo vidjeti karakteristične veličine i područja jednog pojasno-propusnog filtra. Tako možemo vidjeti Glavno područje propuštanja koje je omeđeno s dvije granice, a to su donja i gornja granična frekvencija. Po definiciji granične frekvencije su one frekvencije za koje vrijednost signala opadne za $\sqrt{2}$ puta, tj. za 3dB. Uz pomoć dvije granične frekvencije možemo odrediti i centralnu frekvenciju našeg filtra po formuli (1).

$$f_{centralna} = \sqrt{f_{donja_granična} * f_{gornja_granična}} \quad (1)$$

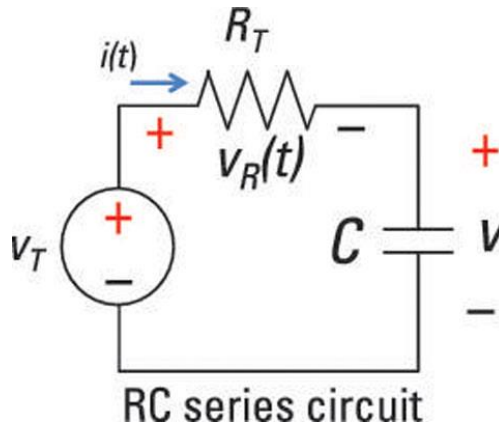


Slika 1. Osnovne oznake frekvencijske karakteristike filtra

1. Analiza osnovnih, pasivnih filtarskih oblika

1.1 RC mreža

RC mreža je jedan od najjednostavniji oblik filtra. Konfiguracija ovog filtra je vidljiva na slici 2.



Slika 2. Konfiguracija RC mreže

Kako bi mogli definirati prijenosnu funkciju prvo moramo definirati Laplaceovu transformaciju. Laplaceova transformacija definirana je s (2) gdje je $f(t)$ naš ulazni signal, tj. veličina u vremenskoj domeni.

$$F(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt \quad (2)$$

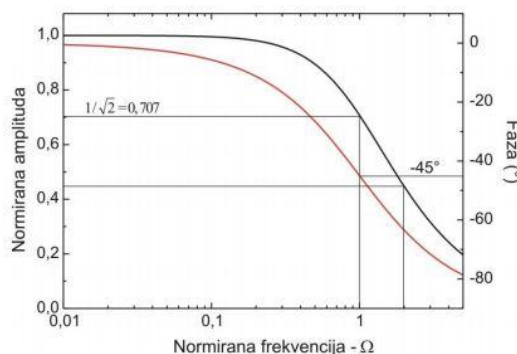
Pomoću Laplaceove transformacije možemo definirati prijenosnu funkciju signala u Laplaceovoj domeni. Prijenosna funkcija je dana kao omjer izlaznog signala i ulaznog signala, a u slučaju RC mreže izlazni signal je napon mjeran na kondenzatoru dok je ulazni signal onaj signal koji nam daje generator. Jednostavnim matematičkim računom, tj. djelilom napona dobiva se izraz (3) koji nam daje izraz prijenosne funkcije RC mreže. Ukoliko zamijenimo varijablu s sa varijablom $j\omega$ (4), gdje je ω kružna frekvencija definirana kao $\omega = 2\pi f$ možemo dobiti izraze (5) koji će nam specificirati i dati određenu amplitudnu i frekvencijsku karakteristiku danog filtra pri čemu je definirana $\omega_g = \frac{1}{RC}$.

$$A(s) = \frac{U_{izl}}{U_{ul}} = \frac{1}{1+sRC} \quad (3)$$

$$A(j\omega) = \frac{1}{1+j\omega RC} \quad (4)$$

$$|A(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1+(\frac{\omega}{\omega_g})^2}}, \quad \varphi(\omega) = -\arctan(\frac{\omega}{\omega_g}) \quad (5)$$

Na slici 3 možemo vidjeti amplitudnu i faznu karakteristiku RC mreže iz čega zaključujemo da je RC mreža nisko-propustni filter iz razloga što propušta sve frekvencije do određene granične gdje tada počinje blagi pad amplitude izlaznog signala.



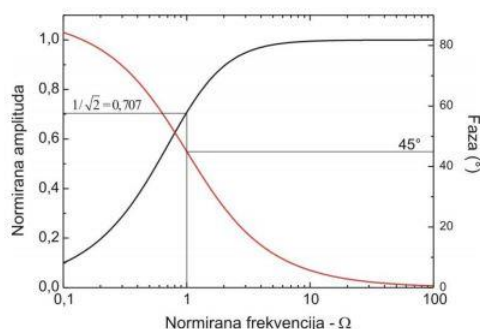
Slika 3. Modul i faza prijenosne karakteristike nisko-propusnog RC filtra (crna crta – modul; crvena crta – faza).

1.2 CR mreža

Na isti način na koji je opisan postupak za dobivanje prijenosne funkcije RC mreže moguće je dobiti CR mrežu zamjenom pozicija otpornika i kondenzatora u električnoj shemi. Rezultat toga je prijenosna funkcija (6).

$$|A| = \frac{\Omega}{\sqrt{1+\Omega^2}}, \varphi = -\arctan\left(\frac{1}{\Omega}\right) \quad (6)$$

Karakteristična amplitudno frekvencijska karakteristika CR filtra prikazana je na slici 4.



Slika 4. Modul (crna crta) i faza (crvena crta) prijenosne karakteristike visokopropusnog CR-filtra

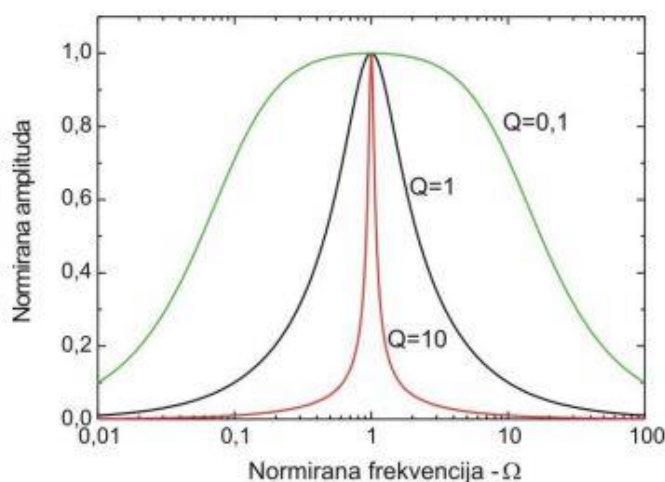
Vidljivo je da je CR mreža visoko-propusni filter, naime, nakon određene granične frekvencije, počinje propuštanje svih frekvencija početnog signala iznad te dane frekvencije.

1.3 Pojasno propusni filter

Spajanjem zavojnice, kondenzatora i otpornika u seriju možemo dobiti pojasno propusni filter. Naime amplitudna karakteristika je definirana s (7) gdje je izlazni napon, napon mjereno na otporniku. Pojasno propusni filter ima karakteristiku propuštanja signala između dvije granične frekvencije, a nama najpoznatiji ovakav filter je ljudsko uho.

$$|A| = \frac{\Omega \cdot \frac{1}{Q}}{\sqrt{(1-\Omega^2)^2 + \left(\Omega \frac{1}{Q}\right)^2}}, \quad \omega_0^2 = \frac{1}{LC}, \quad Q = \frac{\omega_0 \cdot L}{R}, \quad \Omega = \frac{\omega}{\omega_0} \quad (7)$$

Q faktor se zove još faktor dobrote, faktor kvalitete ili faktor prigušenja. Sa slike 5. može se vidjeti da upravo u amplitudnoj karakteristici, što je faktor kvalitete veći, što je posljedica što manjeg otpora R ili što većeg induktiviteta L zavojnice da se smanjuje područje propuštanja pojasno-propusnog filtra.



Slika 5. Amplitudna karakteristika serijske RLC mreže u ovisnosti o parametru Q i frekvenciji

Također kao izravna posljedica graničnih frekvencija Q faktor se može izračunati i kao

$$Q = \frac{f_0}{f_{gornja_granična} - f_{donja_granična}} \quad (8)$$

gdje su gornja i donja granična frekvencija definirane kao mjesta gdje amplituda signala padne za 3dB odnosno za $\sqrt{2}$ puta.

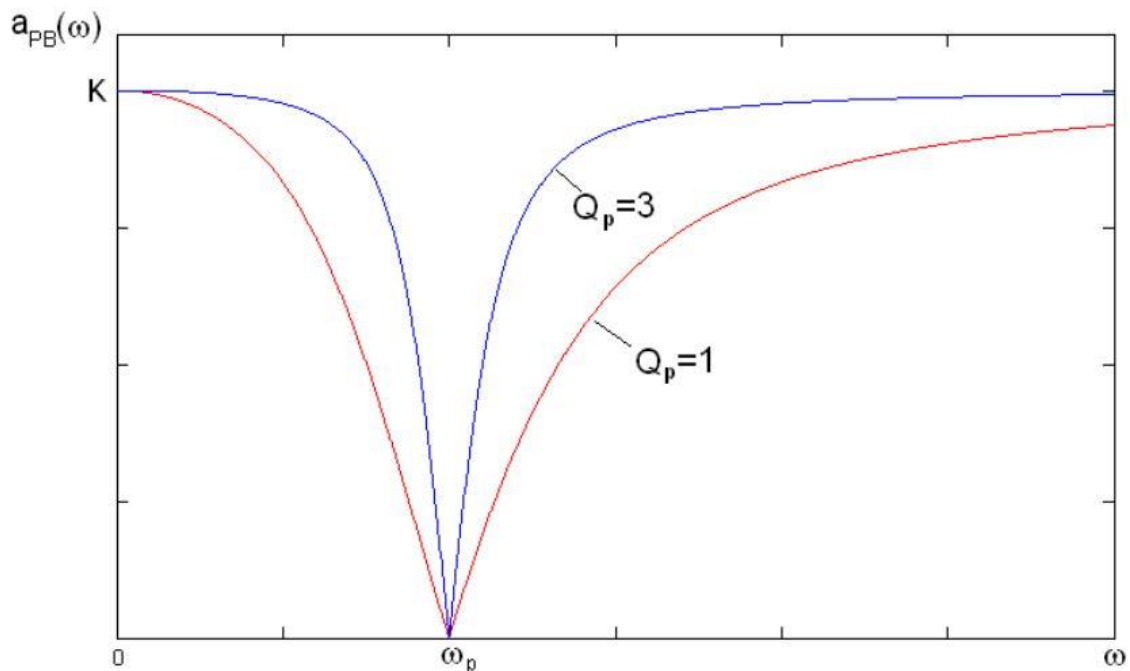
1.4 Pojasna brana

Pojasna brana nastaje spajanjem otpornika, zavojnice i kondenzatora u seriju, a izlazni mjereni napon u ovom slučaju je napon na kondenzatoru i zavojnici (dakle ne na otporniku kao kod pojasno-propusnog filtra).

Rezultat spajanja takvog sklopa je iduća prijenosna funkcija (9) :

$$H(s) = K * \frac{s^2 + \omega_p^2}{s^2 + s * \frac{\omega_p}{Q_p} + \omega_p^2} \quad (9)$$

Na slici 6 prikazana je amplitudna karakteristika jednog „band-stop“ filtra u ovisnosti o faktoru Q.



Slika 6. Amplitudna karakteristika pojasne brane u ovisnosti o faktoru Q.

Vidljivo je da je pojas propuštanja uži to što je faktor Q veći, dakle moguće je povući analogiju s pojasno propusnim filtrom. Kod pojasno propusnog filtra je , što je faktor prigušenja veći, pojas propuštanja je manji, a dok se kod pojasne brane povećanjem faktora smanjuje područje gušenja.

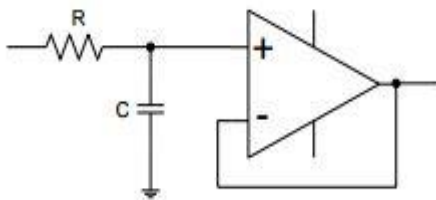
2 Aktivni električni filtri

2.1 Općenito o aktivnim električnim filterima

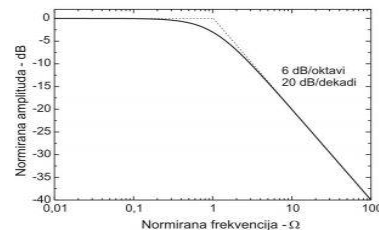
Aktivni električni filtri su oni filtri kojima se pojačanje propusnog dijela može namještati. Kod pasivnih filtera pojačanje je bilo 0 dB, a kod aktivnih mi to možemo regulirati postavljajući parametre. Nedostatak aktivnih električnih filtera i glavna razlika između aktivnih i pasivnih je ta što aktivni električni filtri zahtijevaju posebno napajanje iz razloga što su često izvedeni s operacijskim pojačalima, a također unose i šum u sklop na što moramo posebno paziti pri modeliranju filtra.

2.2 Izvedba

Najjednostavnija izvedba aktivnog filtra prikazana je na slici 7. Sastoji se od kombinacije otpornika i kondenzatora te operacijskog pojačala. Njegova prijenosna karakteristika je prikazana na slici 8. Ovaj filter je prvog reda, a pad iznosi 6dB/oktavi, tj. 20dB/dekadi.

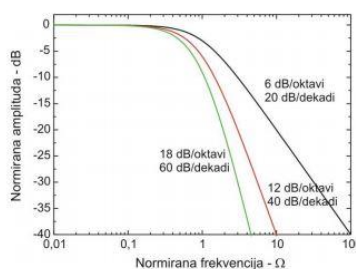


Slika 7. Izvedba aktivnog niskopropusnog RC filtra



Slika 8. Prijenosna karakteristika A-RC

Ako želimo povećati pad, odnosno rast (RC, CR) možemo staviti više takvih filtera u kaskadu. Postavljanjem više filtera u kaskadu dobivamo veći red filtra te na slici 9 možemo vidjeti amplitudno frekvencijsku karakteristiku RC mreže prvog, drugog i trećeg reda.



Slika 9. Prijenosne karakteristike filtera prvog, drugog i trećeg reda

Prijenosna funkcija spojenih RC filtera spojenih u kaskadu može se napisati kao :

$$A(s) = \frac{1}{(1 + \alpha_1 s) * (1 + \alpha_2 s) * (1 + \alpha_3 s) * ... * (1 + \alpha_n s)}$$

Promjenom koeficijenta α pojedinog filtra mogu se dobiti različite prijenosne karakteristike filtera, a one se mogu podijeliti na tri osnovna filtra, a to su Butterworth, Chebyshev i Bessel filtri.

3. Ekvalizatori

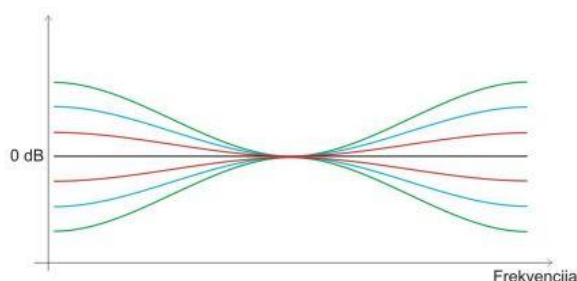
U audiotehnici se za namještanje frekvencija audio signala koristi ekvalizator. Ekvalizatori su zapravo skup filtara u nizu koji pokrivaju cijelo ili dio frekvencijskog područja. Jedan takav profesionalni ekvalizator možemo vidjeti na slici 10.



Slika 10. Ekvalizator

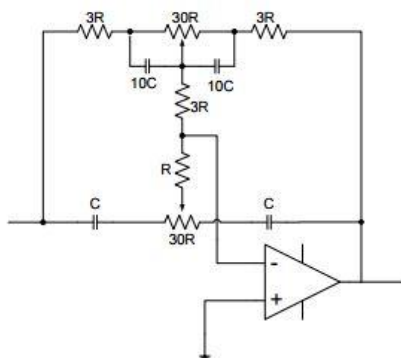
3.1 Regulator boje tona – shelving filter

Regulator boje tona je najjednostavniji ekvalizator koji se može naći u gotovo svim komercijalnim uređajima koji imaju nekakvu funkciju s audio signalima. Regulator boje tona omogućuje namještanje frekvencijske karakteristike signala samo na visokim i niskim frekvencijama, dok naprednije realizacije daju mogućnost regulacije razine srednjih frekvencija. Na slici 11 možemo vidjeti prijenosne frekvencijske karakteristike regulatora boje tona.



Slika 11. Prijenosna karakteristika regulatora boje tona s mogućnosti namještanja niskih i visokih frekvencija.

Strmina prijelaza iz jednog područja u drugo ovisi o izvedbi filtra, tj. redu filtra. Frekvencijska karakteristika je ravna u dva frekvencijska područja, jedno od njih je referentno - amplituda frekvencijskih komponenata ostaje ista. Shema regulatora boje tona je dana na slici 12. Okretanjem potencijometra regulira se pojačanje za određeno frekvencijsko područje.

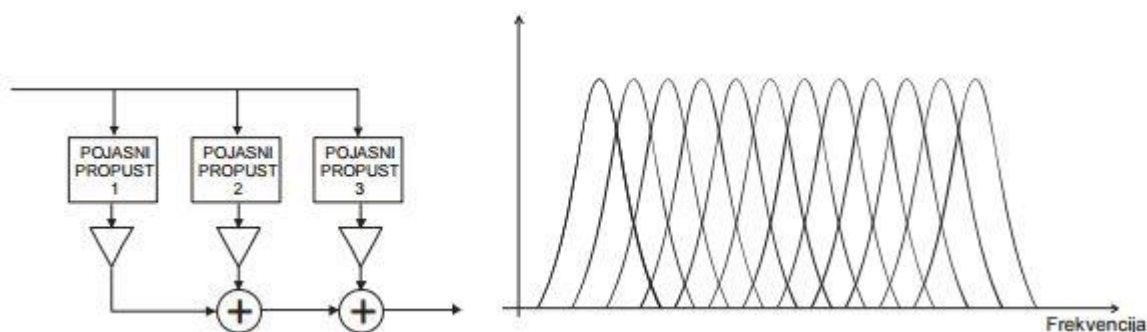


Slika 12. Shema regulatora boje tona

3.2 Grafički ekvalizator

Grafički ekvalizator sastoji se od niza filtara sa fiksnim frekvencijama, kojima se može namještati samo pojačanje ili gušenje određenog filtra. Kada se namjesti određena frekventijska karakteristika, položaj potenciometara odgovara grafičkom prikazu frekventijske karakteristike, pa je od tuda dobio i ime.

Izvedba ovog filtra je paralelna, što znači da su filtri u njemu spojeni u paralelan spoj prikazan na slici 13. U tom slučaju nema problema s promjenom faze signala, jer svaki filter ima jednaki pomak u fazi. Raspored frekvencija je logaritamski, a frekvencije su podijeljene na oktave, trećine oktava ili šestine oktava.



Slika 13. Shematski prikaz grafičkog ekvalizatora s prijenosnim karakteristikama.

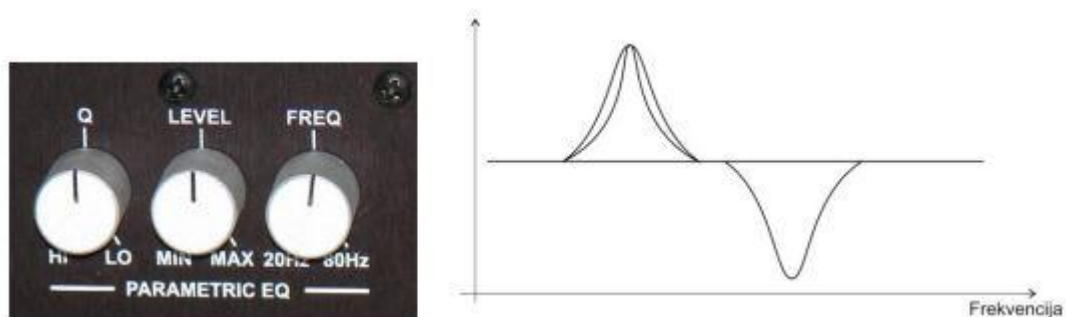
Na slici 14 možemo vidjeti jednu izvedbu grafičkog ekvalizatora kako ona izgleda u stvarnosti. Ukupna frekventijska karakteristika izgledom odgovara položajima klizača i zbog toga je dobio i ime.



Slika 14. Prikaz grafičkog ekvalizatora

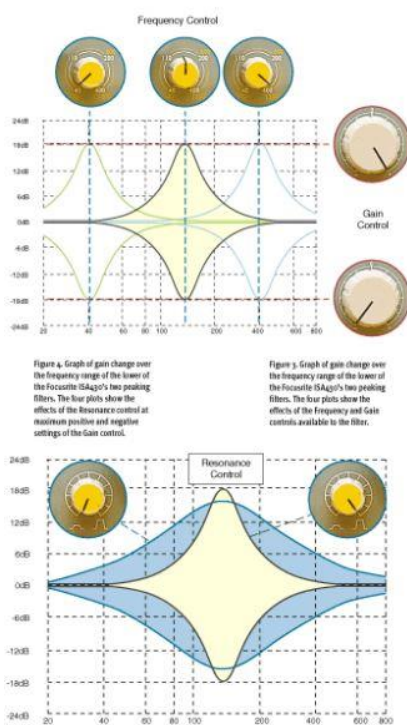
3.3 Parametarski ekvalizator

Parametarski ekvalizator je zapravo poseban filter koji omogućava namještanje svih osnovnih parametara filtra pa je prema tome dobio i svoje ime. Parametri koje možemo namještatati su pojačanje ili prigušenje, namještanje srednje frekvencije i širinu pojasa odnosno Q faktor. Na slici 15 i 16 možemo vidjeti jednu takvu izvedbu s pripadajućom prijenosnom karakteristikom.



Slika 15. Parametarski ekvalizator i prijenosna karakteristika

Frekvencijska karakteristika nije intuitivno vidljiva kao kod grafičkog ekvalizatora.



Slika 16. Parametarski ekvalizator i prijenosna karakteristika

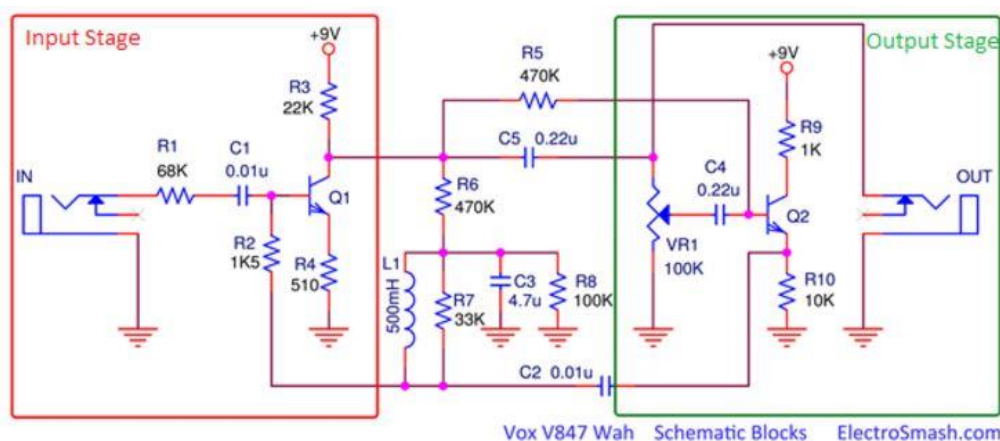
4. Wah-wah pedala

Wah-wah ili jednostavnije wah pedala je jedan od najpopularnijih gitarskih efekata. Glavna namjena ovog gitarskog efekta je pokušaj frekvencijske obrade audio signala tako da je izlazni signal što sličniji ljudskom glasu. Najpopularnija je za kreiranje posebnih „funky“ tonova koji se koriste svugdje u popularnoj glazbi

Jedna od danas na tržištu najpopularnijih i najpristupačnijih izvedbi je Vox V847.

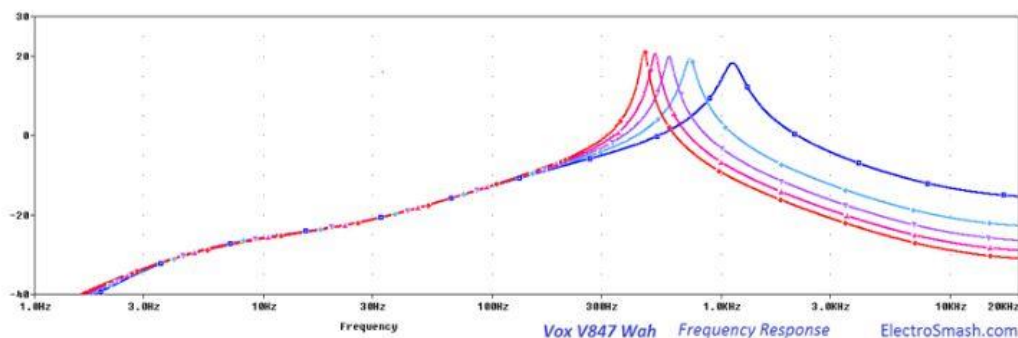
Električna shema je prikazana na slici 17. Možemo ju podijeliti u 3 dijela. Ulazni i izlazni dio te filtarski dio. U principu radi se o pojasno-propusnom filtru koji pojačava rezonantnu frekvenciju, a smanjuju više i niže harmonike. U električnoj shemi na ulazu možemo prepoznati pojačalo u spoju zajedničkog emitera s naponsko paralelnom povratnom vezom. Izlazni krug je izveden kao emiterko sljedilo.

Između njih nalazi se filtarski dio koji je parametrima određen pojasno-propusni filter.



Slika 17. Shema Vox V847

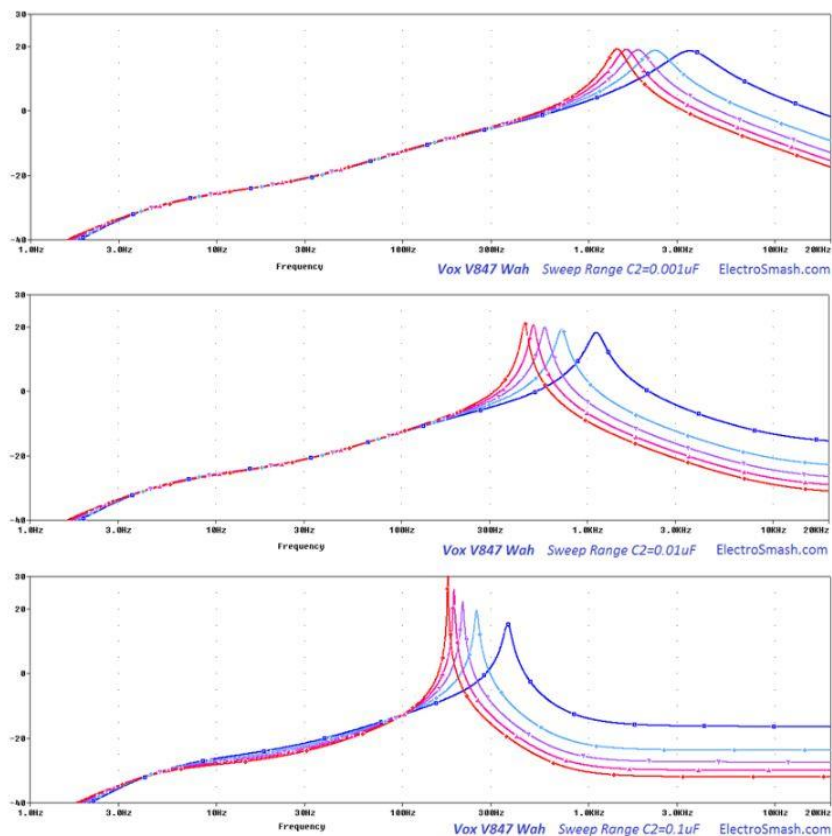
Na slici 18 možemo vidjeti frekvencijski odziv. Glavne frekvencije (rezonantne) su pojačane sve do 18dB dok su sve preostale prigušene.



Slika 18. Frekvencijski odziv Vox V847

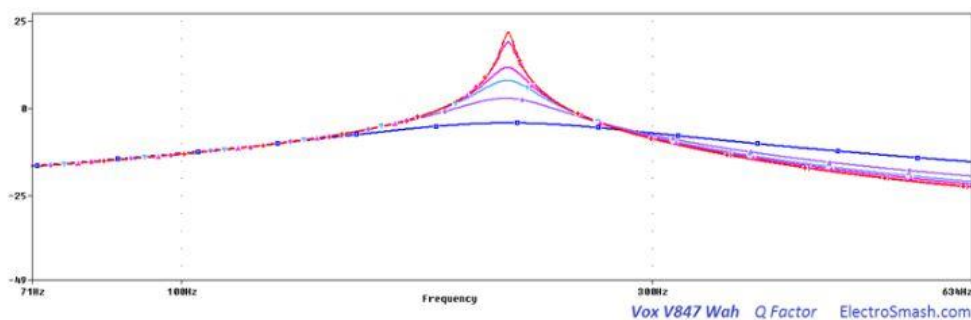
Wah je moguće naravno modificirati promjenom raznih parametara u električnoj shemi. Jedna takva modifikacija je promjena kondenzatora C2 od $0.1\mu\text{F}$, $0.01\mu\text{F}$ do $0.001\mu\text{F}$. To je prikazano na slici 19.

Promjenom se može pomaknuti „sweep range“ na više odnosno niže frekvencije.



Slika 19. Prikaz frekvencijskog odziva s obzirom na promjenu kondenzatora C2

Također, popularna modifikacija je modifikacija Q faktora koja se ostvaruje promjenom otpornika R7. Otpornik R7 namješta strminu rezonantnog vrha. Sve je vidljivo na slici 20. Povećanjem otpora R7 Q-faktor se smanjuje što znači da se strmina smanjuje te da je veći pojas propuštanja. „Zvono“ je šire.



Slika 20. Q faktor Vox V847

5. Zaključak

Frekvencijska obrada audio signala bitna je primjena teorijske obrade signala (uz dinamičku i faznu). Uz pasivne i aktivne diskretne komponentne konstruirani su električni krugovi tj. razni oblici električnih filtara, a kombinacijom filtara razni uređaji, primjerice ekvalizatori i wah pedala, koji se danas vrlo mnogo koriste u glazbenoj i komunikacijskoj industriji.

Kratki opis seminarskog rada

Seminarski rad u sebi sadrži opis i analizu frekvencijske obrade audio signala pomoću pasivnih te dijela aktivnih električnih filtara koji se danas koriste u glazbenoj i komunikacijskoj industriji. Nakon analize i uvoda u električne filtre opisani su i dan je pregled ekvalizatora i wah pedala, danas popularnih uređaja koji se koriste u glazbenoj i komunikacijskoj, reprodukcijskoj industriji.

Seminar je nastao kao rad u okviru predmeta Elektroakustika (34303) na Fakultetu Elektrotehnike i Računarstva u akademskoj godini 2016/2017.

Literatura:

Glavna korištena literatura za pisanje ovog seminarskog rada:

Skripta iz predmeta : AUDIOTEHNIKA, Autor : Ivan Đurek, Inačica 2.01

Preuzeto s : https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Audiotehnika_-_Skripta.pdf

Prezentacija 6. Frekvencijska obrada audio signala :

Snimanje i obrada zvuka (ak.god 2016/17).

Preuzeto s :

http://www.fer.unizg.hr/_download/repository/SOZ06_Frekvencijska_obrada_audio_signala_2016-17.pdf

Electro Smash : Vox V847 Wah-Wah analysis

Analiza Wah pedale Vox V847 s pripadajućim uputama za izradu

Preuzeto s : <http://www.electrosmash.com/vox-v847-analysis>

Sporedna literatura:

Električni filtri – Wikipedija

Osnovno o filtrima i njihova upotreba

Preuzeto s : https://hr.wikipedia.org/wiki/Elektri%C4%8Dni_filtri

Električni filtri – prezentacije iz predmeta : Električni krugovi

Preuzeto s : <https://www.fer.unizg.hr/predmet/elekru>

Izvedbe električni filtara, osnovno o filtrima te analogna i mješovita obrada signala

Dražen Jurišić ANALOGNA I MJESOVITA OBRADA SIGNALA – FILTRIRANJE, Zagreb, 2016.

Preuzeto s : https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/AMOS-FILTRIRANJE_Skripta_za_predavajna_2016.pdf