

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko



Audio grafični equalizer

**Seminarska naloga pri predmetu
komunikacijska vezja**

Marko Grohar
Marko.grohar@siol.net

Brezje pri Tržiču, 3.3.2003

Kazalo

1.	<i>UVOD</i>	1
2.	<i>ANALIZA VEZJA</i>	1
2.1	Nizke frekvence	2
2.2	Srednje frekvence	4
2.3	Visoke frekvence	5
3.	<i>MERITVE</i>	6
4.	<i>VIRI</i>	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.

Kazalo slik

<i>Slika 1: Načrt vezja</i>	1
<i>Slika 2: Poenostavljeno vezje pri nizkih frekvencah</i>	2
<i>Slika 3: A_{oz} in T pri nizkih frekvencah</i>	3
<i>Slika 4: Poenostavljeno vezje pri srednjih frekvencah</i>	4
<i>Slika 5: A_{oz} in T pri srednjih frekvencah</i>	4
<i>Slika 6: Poenostavljeno vezje pri visokih frekvencah</i>	5
<i>Slika 7: A_{oz} in T pri visokih frekvencah</i>	5

Kazalo tabel

<i>Tabela 1: Elementi vezja</i>	2
<i>Tabela 2: Meritve</i>	6

Kazalo enačb

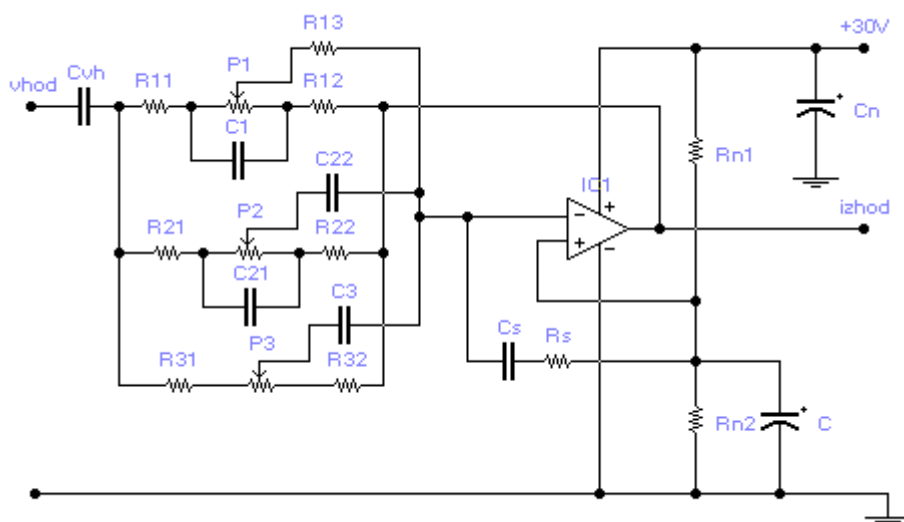
<i>Enačba 1: Izračun ojačenja</i>	3
<i>Enačba 2: Ojačenje pri NF</i>	3
<i>Enačba 3: Skrajni vrednosti ojačenja za NF</i>	3
<i>Enačba 4: Mejna frekvenca nizkofrekvenčnega območja</i>	3

1. Uvod

Equalizer (izravnalnik) je naprava, ki spreminja – izravna frekvenčni odziv danega signala. Pričujoči equalizer se uporablja v audio tehniki kot par ojačevalniku, za izravnavo frekvenčne karakteristike. Idealni audio ojačevalnik bi moral imeti v slišnem frekvenčnem pasu (približno 10Hz do 20kHz) čim bolj ravno karakteristiko. Ker to ne drži so posamezni frekvenčni pasovi različno ojačeni, kar vpliva na kvaliteto zvoka. Za izravnanje karakteristike uporabimo equalizer, ki mora imeti ravno obratno karakteristiko, kot ojačevalnik (equalizerju lahko potek karakteristike nastavljamo). Torej težimo k temu, da je skupna karakteristika equalizer+ojačevalnik čim bolj izravnana.

Pričujoči equalizer je tristopenjski grafični. Tristopenjski pomeni, da lahko spreminjamo ojačenje trem različnim frekvenčnim pasovom: nizkotonski pas, srednjetonski pas, visokotonski pas. Grafični pomeni, da so posamezni frekvenčni pasovi prednastavljeni, v našem primeru z izbranimi elektronskimi elementi, in jih ne moremo poljubno izbirati. Obstaja tudi parametrični izravnalnik, pri katerem lahko poljubno izbiramo frekvence, katere želimo izravnati.

2. Analiza vezja



Slika 1: Načrt vezja

Vežje je sestavljeno kot tropasovni aktivni filter. Aktivni element je operacijski ojačevalnik LF351, lahko pa vzamemo tudi podobnega. Pogoj je le da ima primerno ojačenje v dovolj širokem frekvenčnem pasu. Za napajanje operacijskega ojačevalnika potrebujemo simetrično napajanje $\pm 15V$, lahko pa tudi manj, kar pa potem vpliva na dinamiko izravnave. Če nimamo simetričnega

napajanja ga lahko izvedemo z delilnikom napetosti – upora R_{n1} in R_{n2} , ki morata biti enaka in dovolj velika, da skozi njiju teče majhen tok.

Različne frekvenčne pasove določajo tri različne povratne vezave, ojačenje posameznega pasu pa potenciometri, ki so v teh povratnih vezavah. Najlažje je, če vezje obravnavamo v treh različnih frekvenčnih pasovih: Pri nizkih frekvencah, pri srednjih frekvencah in pri visokih frekvencah.

Elementi vezja:

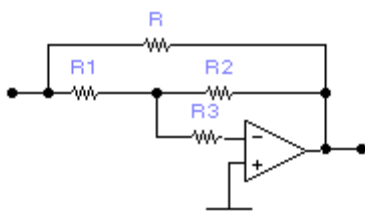
Upori:	Kondenzatorji:	Potenciometri:	IC
$R_{11}=10k\Omega$	$C_{vh}=1\mu F$	$P_1=100k\Omega$	$IC_1=LF351$
$R_{12}=10k\Omega$	$C_1=47nF$	$P_2=100k\Omega$	
$R_{13}=10k\Omega$	$C_{21}=4,7nF$	$P_3=470k\Omega$	
$R_{21}=3,3k\Omega$	$C_{22}=22nF$		
$R_{22}=3,3k\Omega$	$C_3=4,7nF$		
$R_{31}=1,8k\Omega$	$C_s=1nF$		
$R_{32}=1,8k\Omega$	$C_n=100\mu F$		
$R_s=270\Omega$	$C=33\mu F$		
$R_{n1}=10k\Omega$			
$R_{n2}=10k\Omega$			

Tabela 1: Elementi vezja

2.1 Nizke frekvence

Pri nizkih frekvencah je aktivna le prva povratna vezava, saj kondenzatorja C_{22} in C_3 predstavljata odprte sponke. Odprte sponke predstavlja tudi kondenzator C_1 . V tem frekvenčnem pasu torej druga in tretja povratna vezava nimata bistvenega vpliva. Ojačenje nastavljam s potenciometrom P_1 in sicer od -20dB do +20 dB.

Vežje za nizke frekvence lahko poenostavimo:



$$R_1 = R_{11} + R_x$$

$$R_2 = R_{12} + (P_1 - R_x)$$

$$R_3 = R_{13}$$

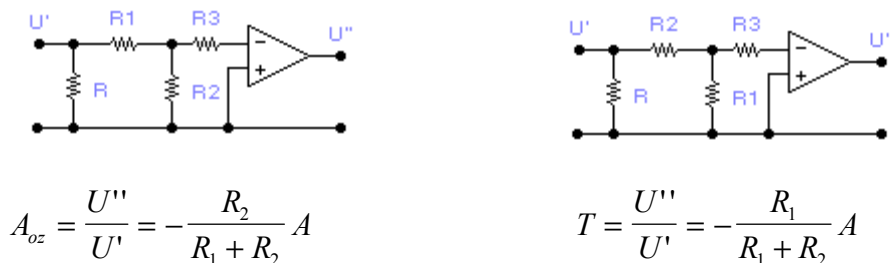
$$R = (R_{21} + R_{22} + P_2) \parallel (R_{31} + R_{32} + P_3)$$

Slika 2: Poenostavljeno vezje pri nizkih frekvencah

Ojačenje lahko izračunamo z naslednjo enačbo:

$$A_{\beta} = \frac{A_{oz}}{1 + T}$$

Enačba 1: Izračun ojačenja



Slika 3: A_{oz} in T pri nizkih frekvencah

Ojačenje je torej:

$$A_{\beta} = \frac{A_{oz}}{1 + T} = \frac{-\frac{R_2}{R_1 + R_2} A}{1 - \frac{R_1}{R_1 + R_2} A} = -\frac{R_2 A}{R_1 A - R_1 - R_2}$$

Enačba 2: Ojačenje pri NF

Ojačenje pri nizkih frekvencah je odvisno od položaja potenciometra. Skrajni ojačenji dosežemo, ko je potenciometer v enem ali drugem skrajnem položaju:

$A_{\beta \max}$:

$$R_2 = R_{12} + P$$

$$R_1 = R_{11}$$

$$A_{\beta \max} = -11$$

$$A_{\beta \max \text{ dB}} = 20 \log |A_{\beta \max}| = 20,8 \text{ dB}$$

$A_{\beta \min}$:

$$R_2 = R_{12}$$

$$R_1 = R_{11} + P$$

$$A_{\beta \min} = -0,091$$

$$A_{\beta \min \text{ dB}} = 20 \log |A_{\beta \min}| = -20,8 \text{ dB}$$

Enačba 3: Skrajni vrednosti ojačenja za NF

Iz izračunov vidimo, da pri nizkih frekvencah lahko dosežemo ojačenje od -20dB do 20dB.

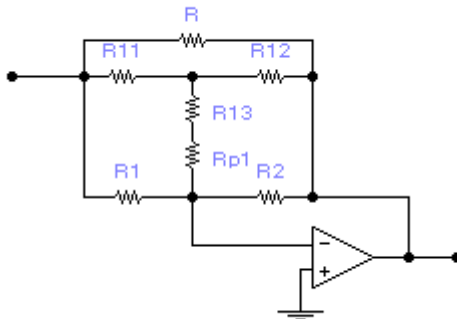
Sedaj nam preostane samo še določitev frekvenčne meje, do katere velja ta izračun. To mejo določata P_1 in C_1 , saj pri višjih frekvencah predstavlja C_1 kratek stik. Takrat je ojačenje zaradi prve povratne vezave 1, ne glede na položaj P_1 , ki je takrat v kratkem stiku. Mejna frekvenca je tako:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{P_1 C_1}$$

Enačba 4: Mejna frekvenca nizkofrekvenčnega območja

2.2 Srednje frekvence

Pri srednjih frekvencah predstavljata kondenzatorja C_1 in C_{22} kratek stik, C_{21} in C_3 pa odprte sponke. Poenostavljena vezava zglada takole:



$$R = R_{31} + R_{32} + P_3$$

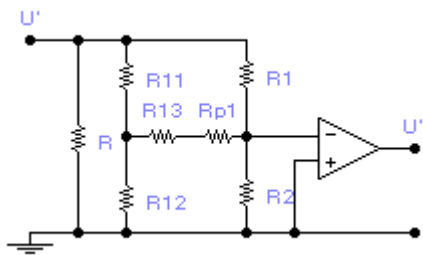
$$R_1 = R_{21} + R_x$$

$$R_2 = R_{22} + P_2 - R_x$$

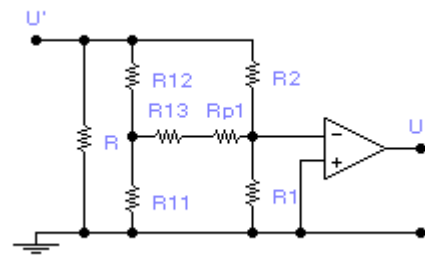
$$R_{p1} = 0 \div P_1 / 4$$

Slika 4: Poenostavljeno vezje pri srednjih frekvencah

Če hočemo zračunati ojačenje, moramo najprej določiti A_{oz} in T :



$$A_{oz} = \frac{U''}{U'}$$



$$T = \frac{U''}{U'}$$

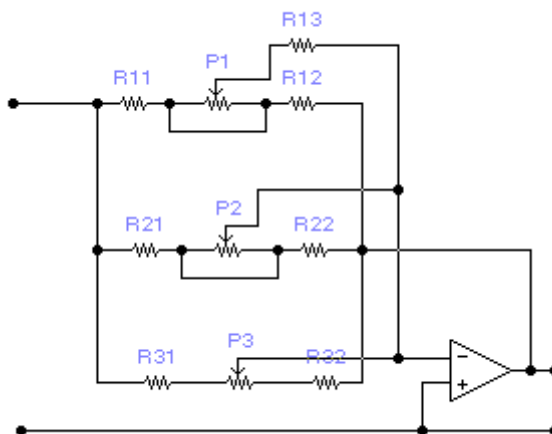
$$A_{\beta} = \frac{A_{oz}}{1 + T}$$

Slika 5: A_{oz} in T pri srednjih frekvencah

Tu je potrebna nekaj več računanja, kot pri nizkih frekvencah. Za razmerje U''/U' je potrebno določiti napetost na uporu R_2 (določimo A_{oz}) oziroma R_1 (določimo T). Naloge se lotimo tako, da uporabimo eno izmed metod za reševanje linearnih vezij. Jaz sem uporabil metodo zračnih tokov. Po končanem računu sem dobil, da je ojačenje pri srednjih frekvencah $+23\text{dB}$. To ojačenje je odvisno tudi od položaja potenciometra P_1 . Upornost R_{p1} , ki je upornosti R_{13} vezana zaporedno ima vrednost $0 \div 25\text{k}\Omega$. Najvišjo vrednost doseže, ko je P_1 v sredinskem položaju, 0Ω pa v enem ali drugem skrajnem položaju.

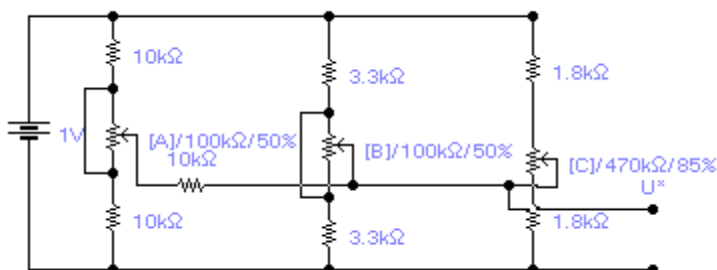
2.3 Visoke frekvence

Pri visokih frekvencah predstavljajo kondenzatorji C_1 , C_{21} , C_{22} in C_3 kratek stik.



Slika 6: Poenostavljeno vezje pri visokih frekvencah

Na ojačenje vplivata poleg potenciometra P_3 tudi potenciometra P_1 in P_2 . Ojačenje določimo podobno kot v prejšnjih dveh primerih. Ker je vezje že kar precej nepregledno, sem si pomagal s programom Electronics Workbench. S programom sem določil le napetost na vhodu v ojačevalnik, tako da sem lahko določil T in A_{oz} .



Slika 7: A_{oz} in T pri visokih frekvencah

Glede na položaj potenciometrov sem dobil ojačenje $+25\text{dB}$ pri položaju P_1 in P_2 v središčnih legah in $+8,4\text{dB}$ pri položaju P_1 in P_2 v skrajnih legah.

Končne pasovne širine ojačevalnika ne omejuje tretja povratna vezava, ampak sam operacijski ojačevalnik. Za nas je zanimivo frekvenčno področje do okoli 20kHz .

3. Meritve

Prvi preizkus sem naredil kar doma, ko sem vezje sestavil. Vezje sem preiskoval tako, da sem na vhod pripeljal radijski audio izhod za slušalke, na izhod pa sem priklopil slušalko. Tak preizkus ni najbolj zanesljiv, ugotovil pa sem vsaj da vezje deluje. Pri glasnejši glasbi je prišlo do prekrmljenja, kar se je slišalo kot hreščanje. To je povsem normalno, saj moramo equalizer dati pred končno močnostno ojačevalno stopnjo, saj ne zagotavlja velikih izhodnih moči.

Sledi še meritev frekvenčnega poteka pri različnih položajih potenciometrov, za kar pa je potrebna laboratorijska oprema.

f[Hz]	P ₂ in P ₃ v sred. pol.		P ₁ in P ₃ v sred. pol.		P ₁ in P ₂ v sred. pol.	
	P _{1max}	P _{1min}	P _{2max}	P _{2min}	P _{3max}	P _{3min}
	A _{max} [dB]	A _{min} [dB]	A _{max} [dB]	A _{min} [dB]	A _{max} [dB]	A _{min} [dB]
10	9	-20	0	0	0	0
20	15	-19	0	0	0	0
30	16	-16	0	0	0	0
60	12	-12	2	-1	0	0
100	8	-8	4	-3	0	-1
200	4	-4	6	-7	0	-2
300	2	-1	8	-10	0	-2
600	1	0	14	-15	2	-3
1k	0	0	18	-20	3	-4
2k	0	0	16	-16	4	-6
3k	0	0	12	-14	9	-10
6k	0	0	7	-6	14	-14
10k	0	0	3	-3	18	-17
20k	0	0	1	-1	21	-21
30k	0	0	0	0	23	-23
60k	0	0	0	0	24	-23

Tabela 2: Meritve

