

Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za elektrotehniko

Robert Medvešek

# **Ojačevalnik na elektronke**

Seminarska naloga

pri predmetu  
Elektronska vezja

V Ljubljani, oktober 2005

## UVOD

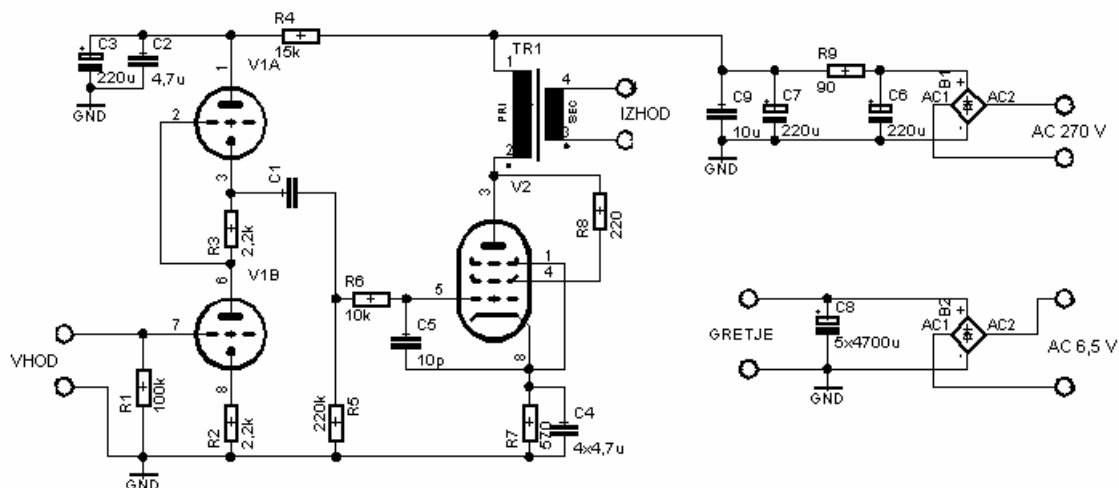
Že v srednji šoli sem začel graditi ojačevalnike za poslušanje glasbe. Prvi je baziral na integriranem vezju LM3886 s cca. 60W po kanalu, sledili so razni tranzistorski predojačevalniki in končne stopnje. Potem pa sem odkril elektronke in se odločil, da naredim najprej predojačevalnik in nato še močnostno stopnjo. Predstavil bom samo močnostni del, ki lahko funkcionira tudi brez predstopnje, če bi mu vgradil potenciometer.

Vezje ni izdelano na tiskanini, kot je to običaj pri modernih (tranzistorskih in čip) aplikacijah ampak v tako imenovani »point to point« tehniki, ki velja za eno najbolj ortodoksnih (nožico enega elementa se prispajka na nožico drugega). Prednost take vezave je minimalno število spojev in možnost prostorske postavitve elementov (tri dimenzionalno- pri tiskanem vezju imamo možnosti postavljati elemente le v dveh dimenzijah. Uporabljeni so bili zelo kvalitetni materiali (izhodni transformatorji Hajdinjak Labs, kondenzatorji Wima, žice iz srebra,...) z razlogom, da se doseže čim boljši zvok.

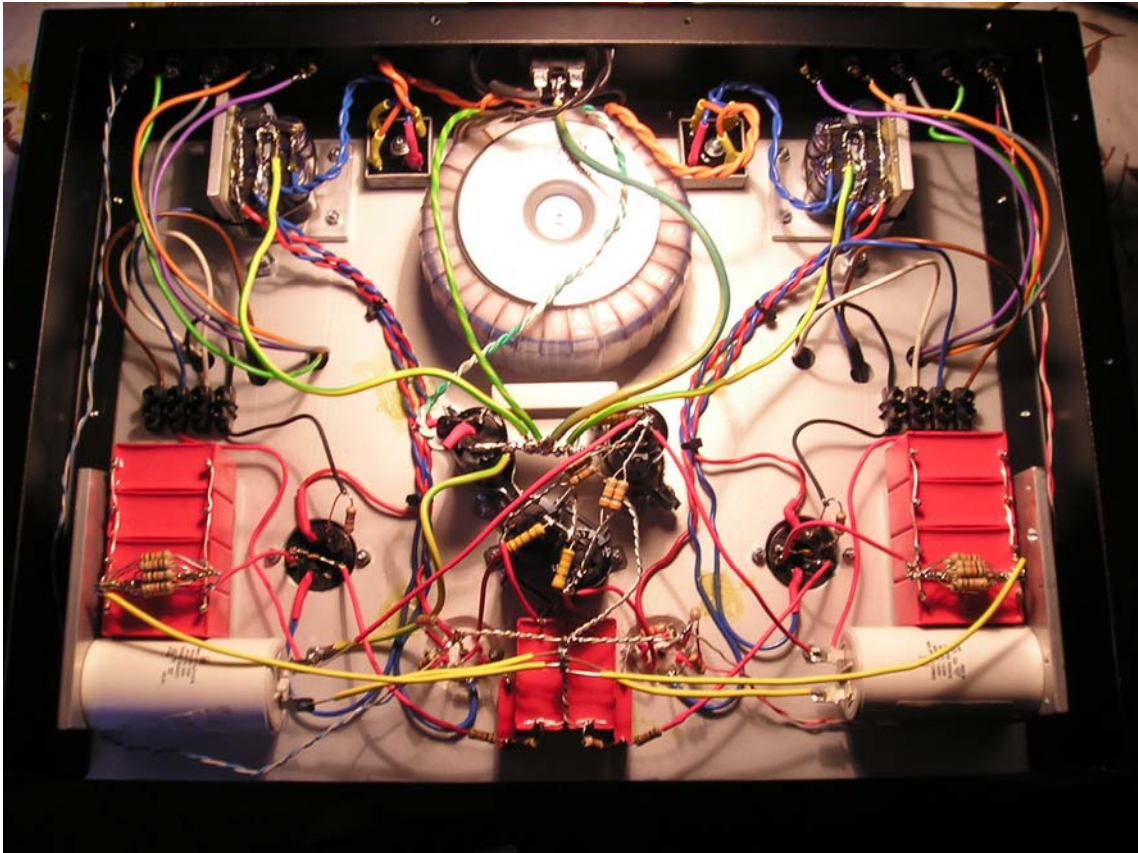


## OPIS VEZJA IN MERITVE

### Načrt:



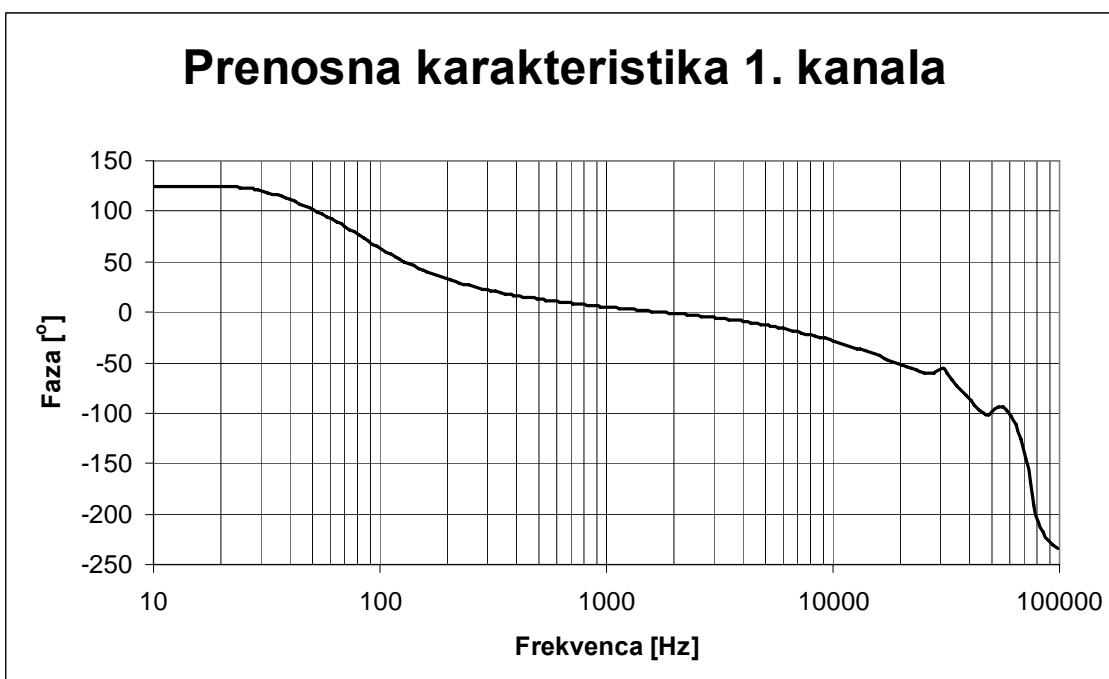
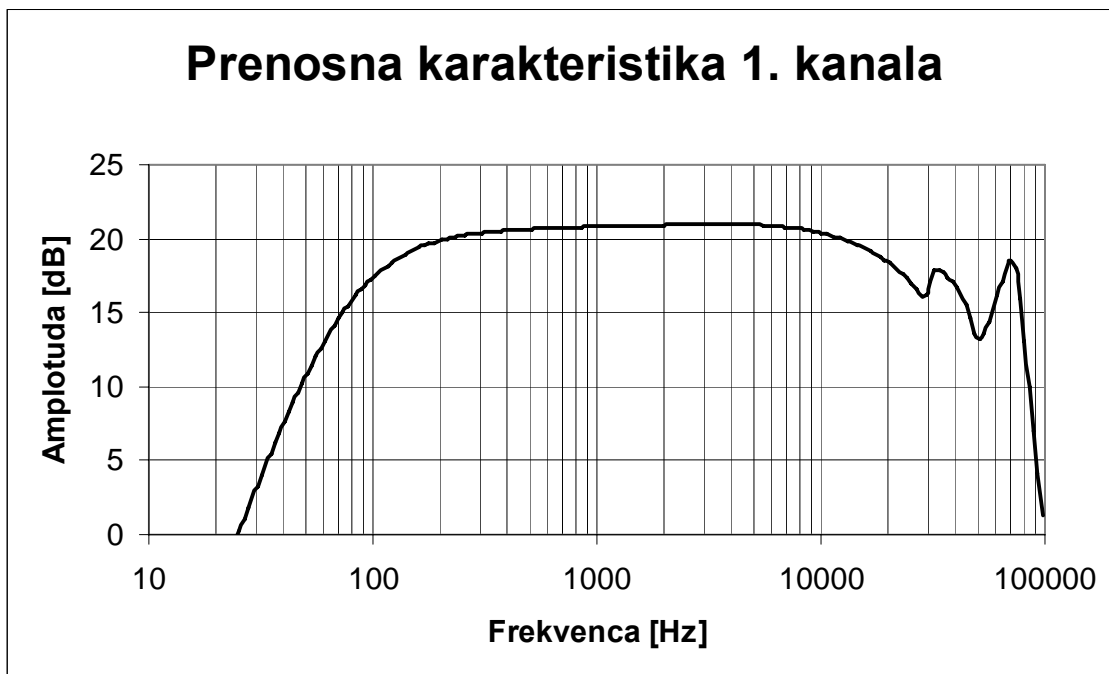
Vežje je enostavno in sestoji iz dveh klasičnih gradnikov audio ojačevalnikov na elektronke. Vhodna stopnja je SRPP oz. kaskadni ojačevalnik, ki ga sestavlja dvojna trioda ECC83(V1A in V1B), R1, R2 in R3. C1 in R5 sestavljata visoko prepustni filter. S tem izločimo enosmerno napetost prve stopnje. Močnostni del sestoji iz elektronke EL34, R7, C4 in TR1. R6 in C5 skrbita za stabilno delovanje in varujeta pred morebitnimi oscilacijami. Upor R8 veže mrežico 2 na anodo in s tem poskrbi za kvazitrioden način delovanja pentode. Napajalnik je klasični C-R-C (C6, R9 C7 in C9) za močnostni del in R4, C2, C3 za "driverski" del. Kondenzatorja C2 in C9 sta folijska in "pohitrita" napajalnik v visokih in srednjih tonih. Tonska transformatorja nista običajna (E-I jedro ali pa dvojno C jedro; oba z zračno režo) ampak toroid brez zračne reže. Ker teče skozi transformator enosmeren tok načeloma obstaja možnost, da bi prišel v nasičenje, vendar je jedro dovolj veliko (dimenzionirano za preko 100W), da ostane globoko v linearnem delu. Tako primar, kot sekundar imata po tri odcepe in s tem možnost prilagoditve na breme. Gretje je izvedeno nekoliko neobičajno, saj sta obe elektroni greti z enosmerno napetostjo. Praviloma se močnostne elektrone grejejo izmenično zaradi velike tokovne porabe (1,5A v tem primeru).

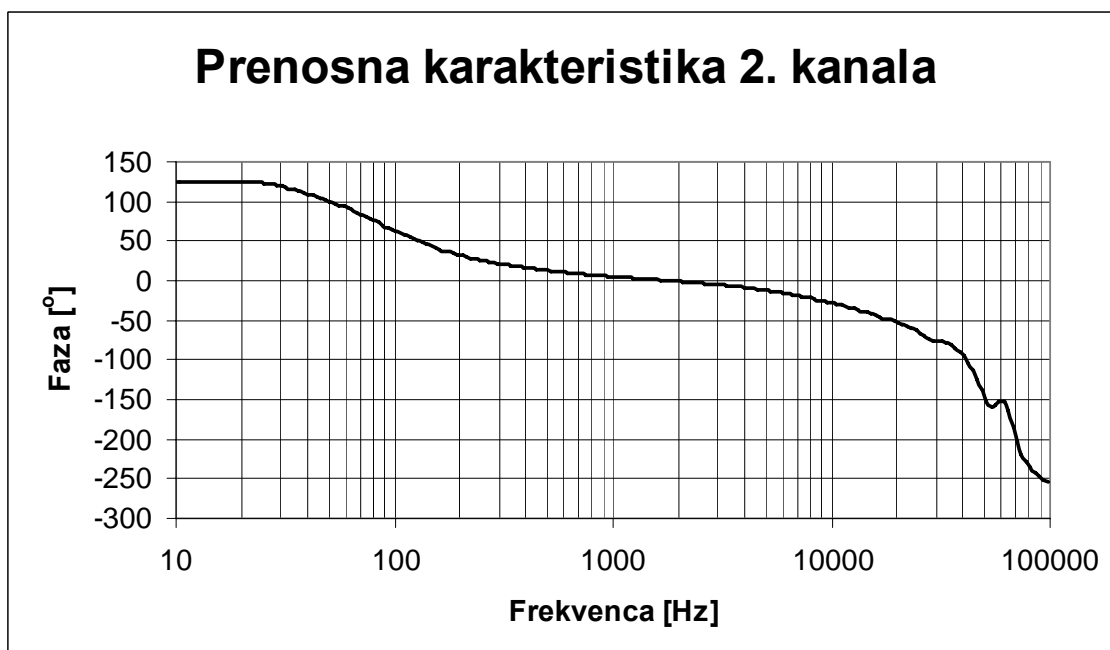
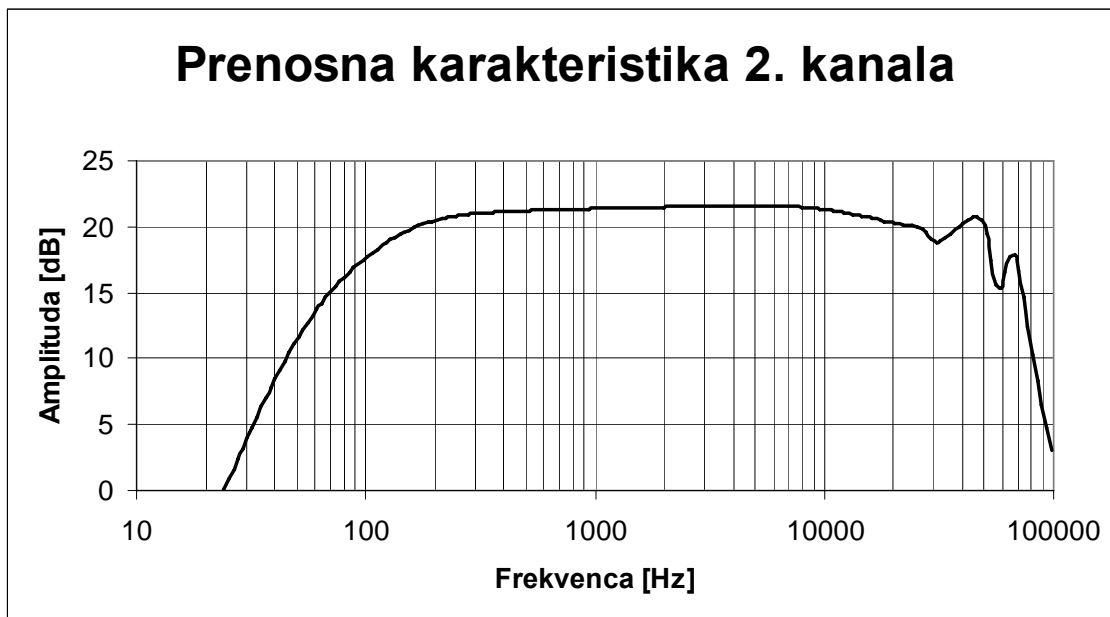


### ***Rezultati meritev:***

Pri vseh meritvah je bila kot breme uporabljena uporovna dekada  $10\Omega$ . Merilni inštrument je bil spektralni analizator SRS Systems SR780 FFT Network Analyser.

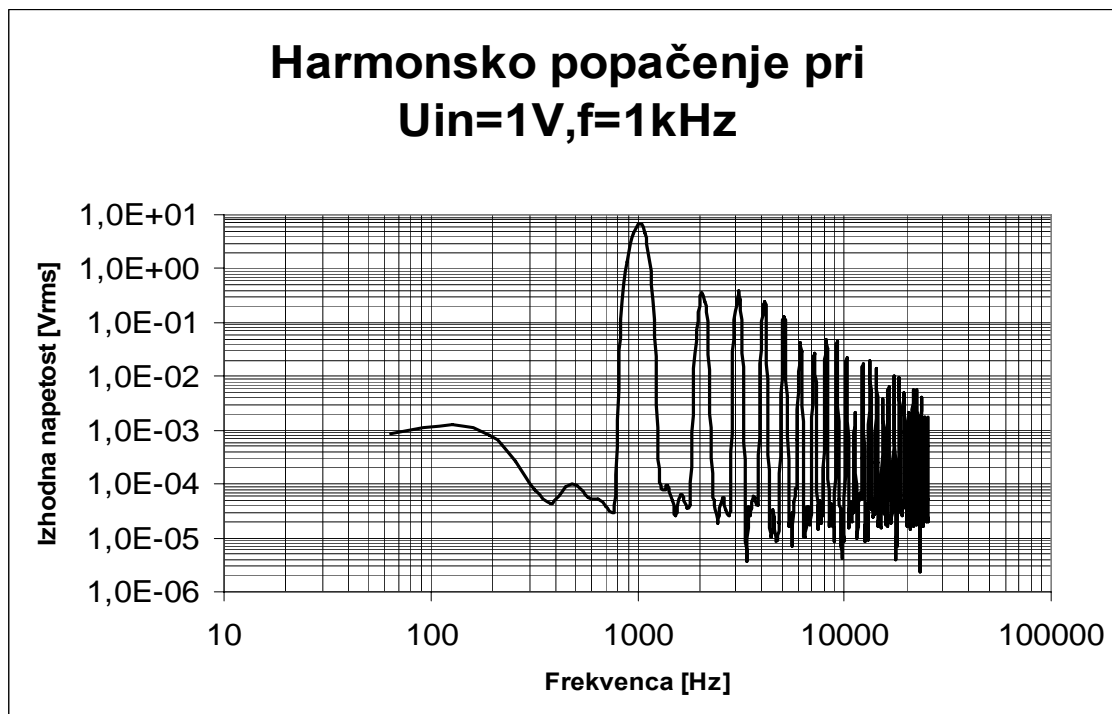
- Prenosna karakteristika:



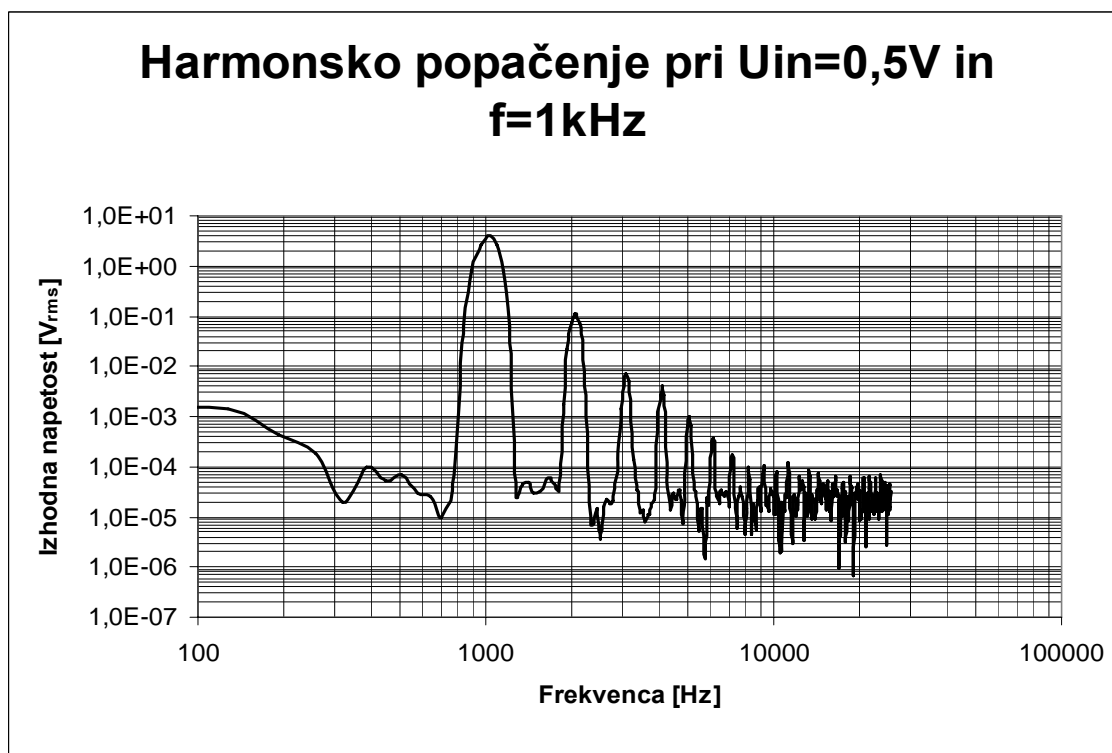


$U_{vh}=0,5V$   
 $f_{sp}=100Hz$   
 $f_{zg}=21kHz$

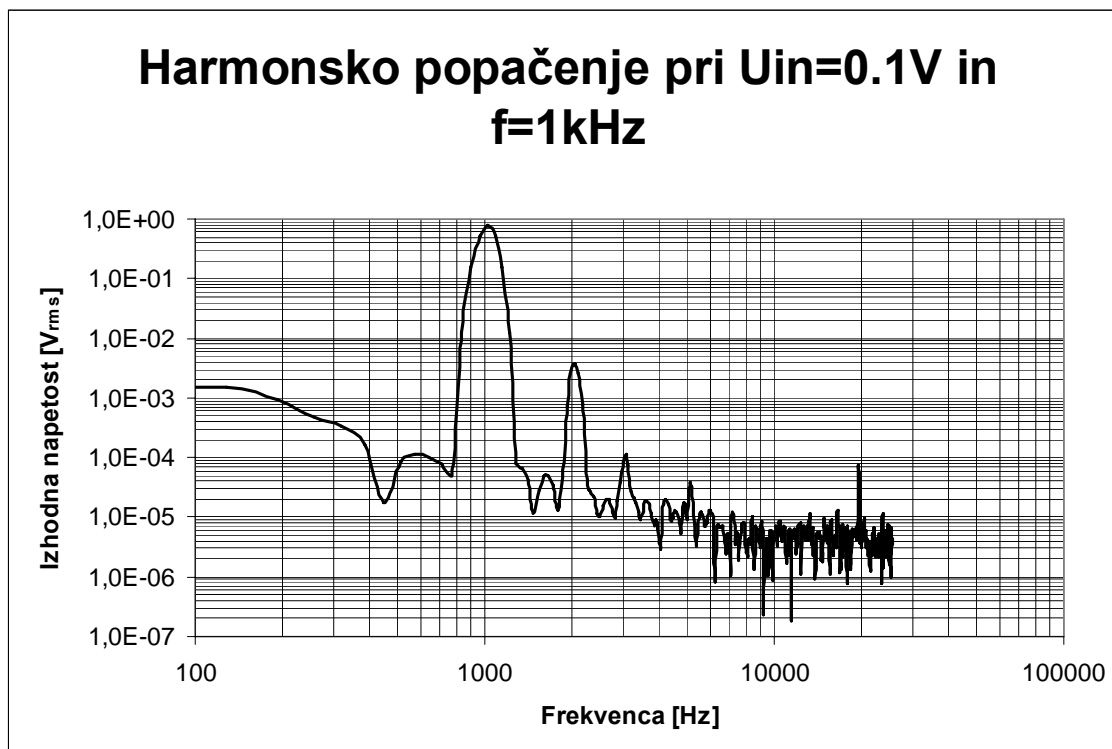
- Popačenje:



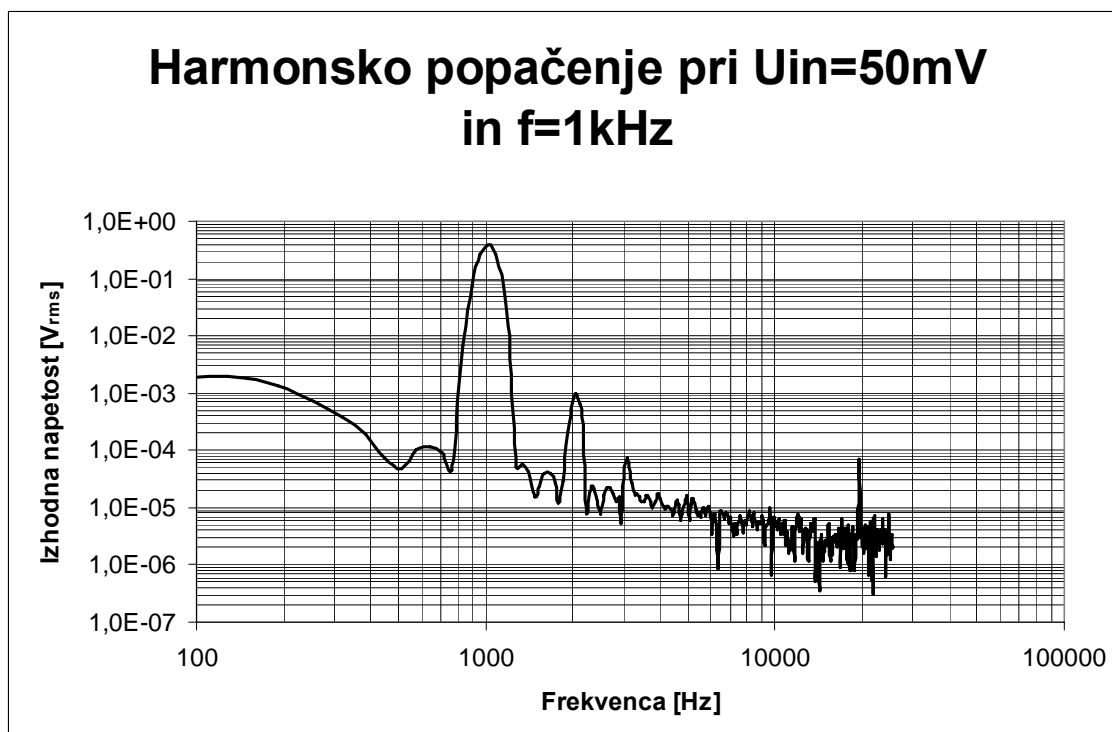
THD=8,9%  $U_{izh}=8,9V$   $P_{izh}=3,96W$



THD=2,8%  $U_{izh}=5,57V$   $P_{izh}=1,55W$

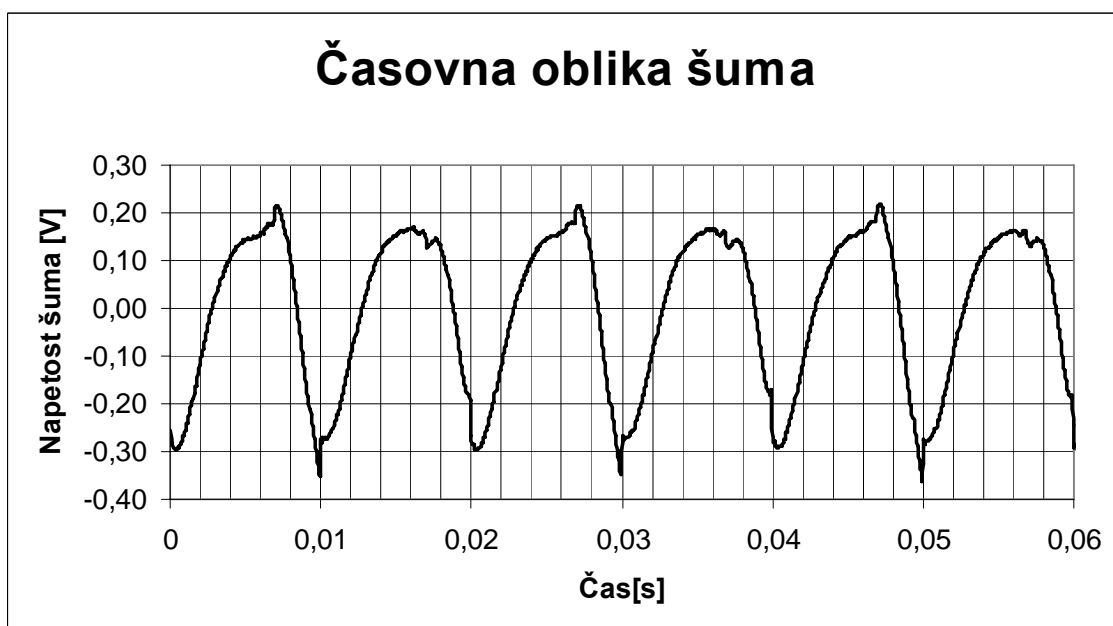
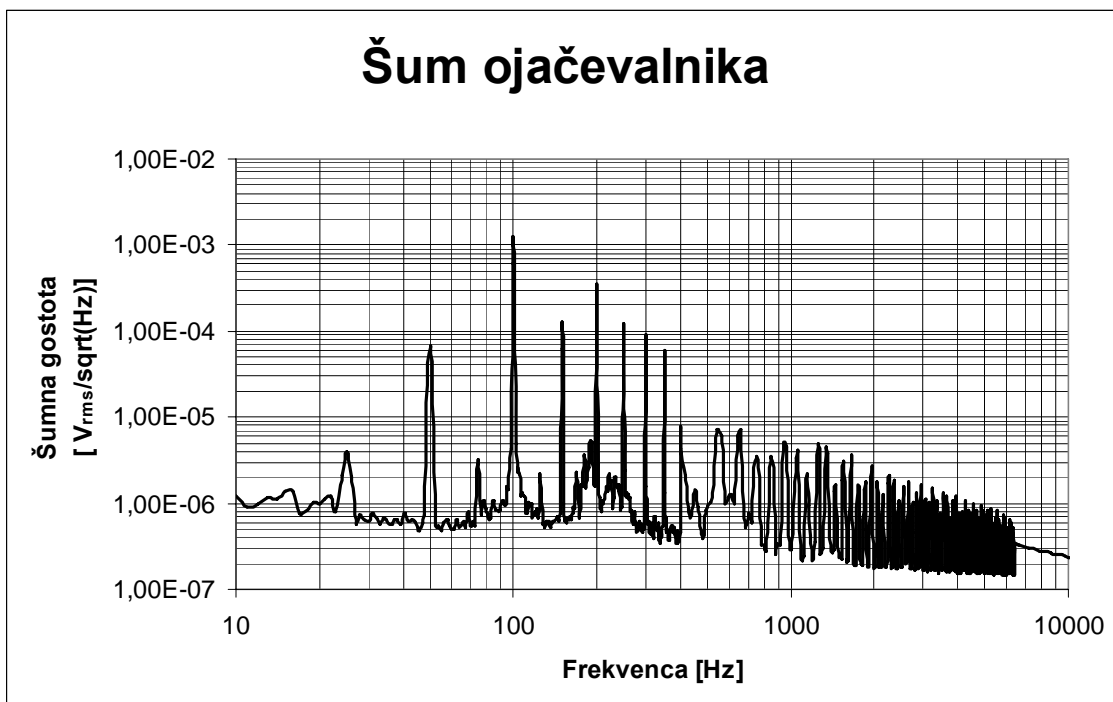


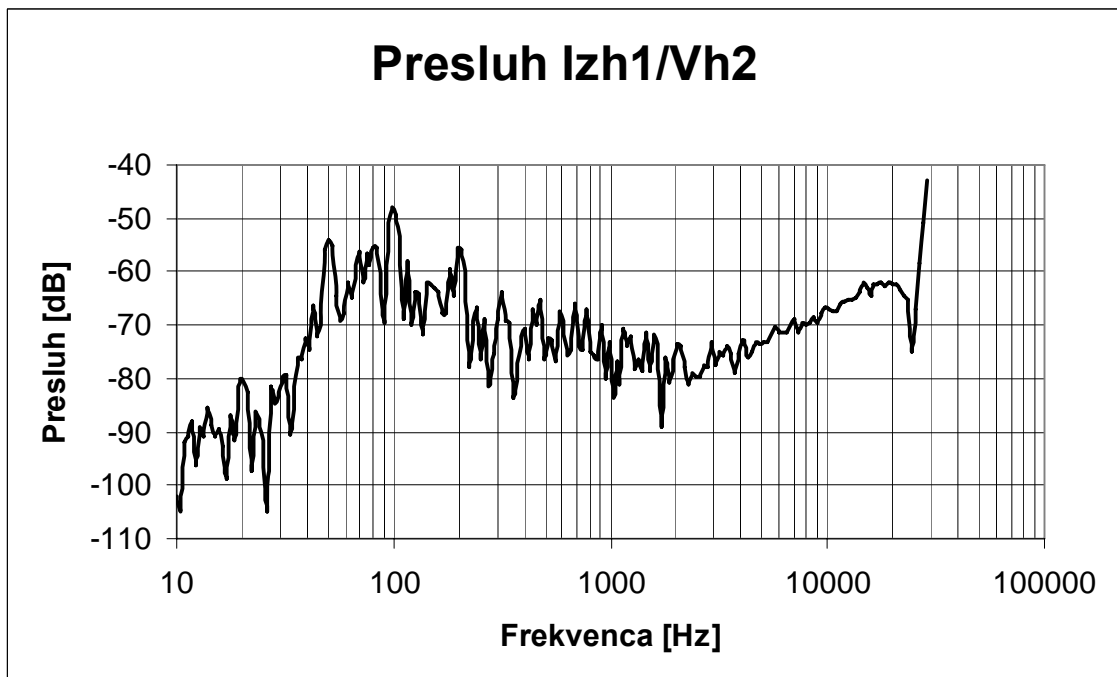
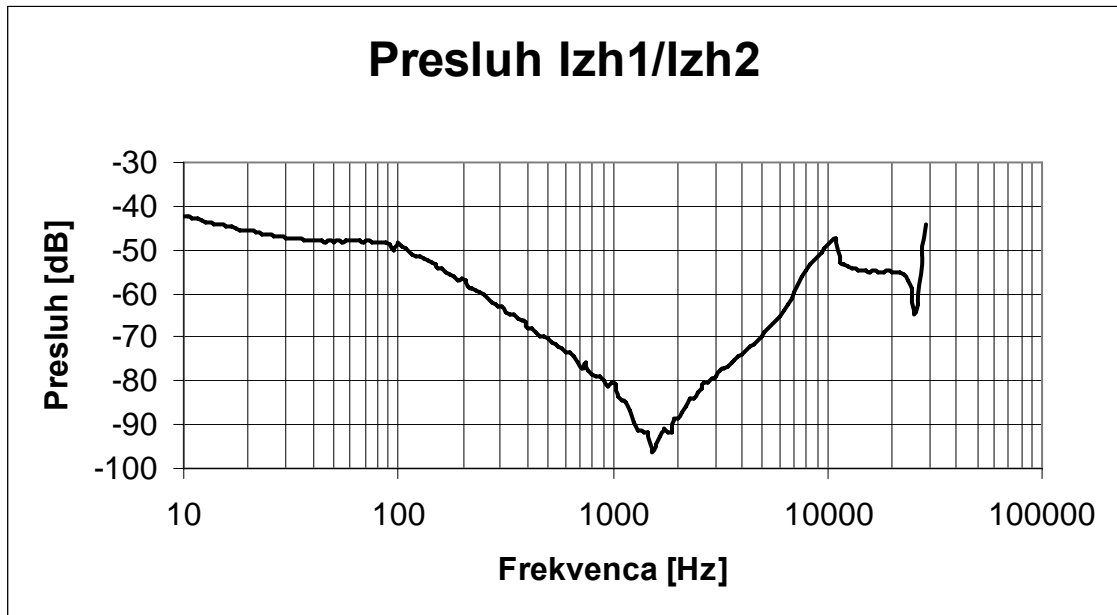
THD=0,49%  $U_{izh}=1,1V$   $P_{izh}=0,061W$



THD=0,024%  $U_{izh}=0,55V$   $P_{izh}=0,015W$







## ZAKLJUČEK

Prva pomanjkljivost, ki jo opazimo je spodnja frekvenčna meja. Zadeva se da popraviti na dva načina. Lahko povečamo katodni "bypass" kondenzator, vendar če hočemo večjo vrednost potrebujemo veliko folijskih kondenzatorjev (prostorski problem) ali pa en elektrolit (zvokovno neustrezen). Drugi način pa je ta, da bi namesto avtomatskega "biasa" (nastavitev delovne točke) uporabil fiksni. Tu se kombinacija katodnega upora in kondenzatorja zamenja z uporom cca.  $10\Omega$  in naj pripeljemo enosmerno napetost cca. 25V.

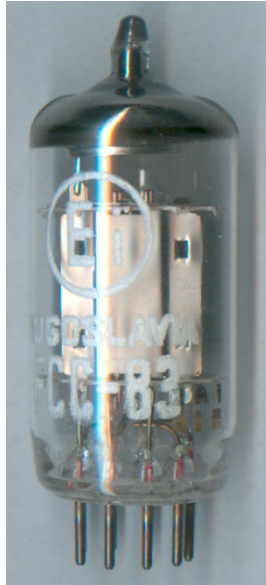
Pri karakteristikah popačenja vidimo, da ojačevalnik ni ravno močan, vendar mi za normalno poslušanje na zvočnikih 90dB/W/m povsem zadošča. "Zmanjka" ga le, če bi hotel malo priviti glasnost. Sicer pa so single-ended konstrukcije namenjene zvočnim omaram z občutljivostjo 100dB/W/m. Opazne so tudi tako sode kot lihe harmonske komponente, kar naj bi po mnenju nekaterih botrovalo toplemu "lampaškemu" zvoku, za razliko od tranzistorjev, ki ponavadi ojačujejo le lihe harmonike.

V šumnem spektru je opazna komponenta 50Hz, ki se inducira iz omrežja (preko stresanja omrežnega transformatorja) ter 100Hz, ki pride iz usmernika. Le-to bi bilo možno zmanjšati z zamenjavo upora v C-R-C napajalniku iz  $90\Omega$  na  $1k\dots 3k\Omega$  oz. s povečanjem gladilnih elektrolitskih kondenzatorjev, ki pa so zaradi visokih napetosti (400V) težko dobavljivi.

Na koncu sta še grafa presluha. Ta je do neke mere v audio aplikacijah morda celo zaželen, zaradi lepše zvočne slike.

Zahvalil bi se rad Marku Jankovcu, ki mi je pomagal narediti meritve.

**ECC83 is A.F. Double Triode**



#### Quick reference data

- Anode current  $I_a = 1,2\text{mA}$
- Transconductance  $S = 1,6\text{mA/V}$
- Amplification  $\mu = 100$

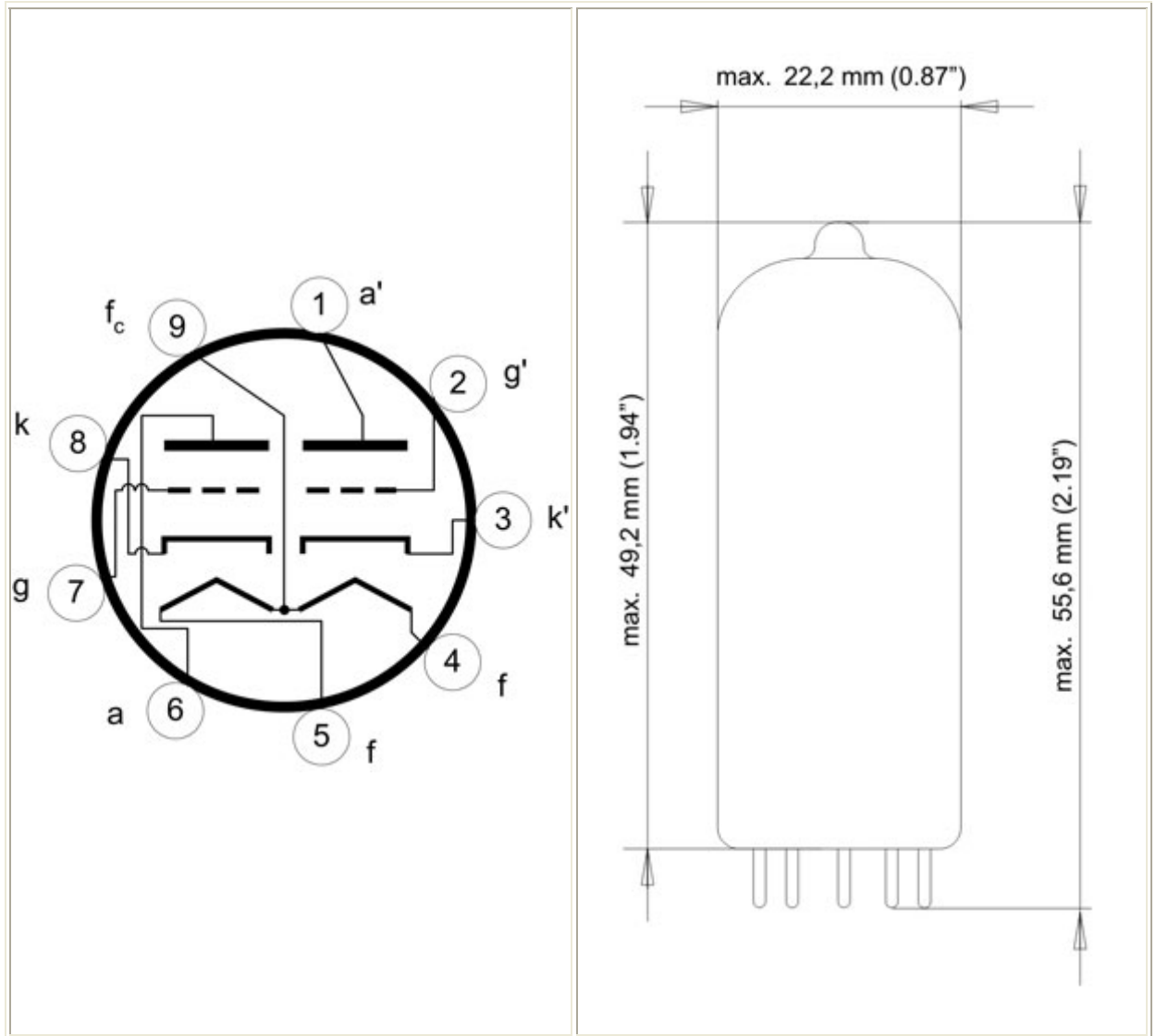
#### Heating

Heating is indirect by AC or DC, with serial or parallel supply.

Heater voltage	$V_f$	6,3	12,6	(V)
Heater current	$I_f$	300	150	(mA)
pins		9-(4+5)	4-5	

## Dimensions and connections

Base: Noval



Note: With  $V_f$  applied to pins 4+5 and 9, and center tap of the heater transformer connected to the ground, the more favourable triode section of the tube (regarding to hum) is the section connected to pins 6, 7, and 8.

**Typical characteristics and operating conditions**

Anode voltage	$V_a$	100	250	(V)
Grid voltage	$V_g$	-1	-2	(V)
Anode current	$I_a$	0,5	1,2	(mA)
Transconductance	$S$	1,25	1,6	(mA/V)
Amplification	$\mu$	100	100	
Internal resistance	$R_i$	80	62,5	(k $\Omega$ )

**Limiting - maximal values (design center rating system)**

Anode voltage	$V_{ao}$	550	(V)
	$V_a$	300	
Anode dissipation	$W_a$	1	(W)
Cathode current	$I_k$	8	(mA)
Grid voltage	$V_g$	-50	(V)
Grid resistor (automatic bias)	$R_g$	2	(M $\Omega$ )
Cathode to heater voltage	$V_{kf}$	180	(V)
Cathode to heater circuit resistance in phase splitting circuits	$R_{kf}$	150	(k $\Omega$ )

**Application note:**

This tube can be used without precautions against microphony in equipment which is characterized by  $V_i \geq 10\text{mV}$  for an output of 50mW (or  $V_i \geq 100\text{mV}$  for 5W output), provided that average acceleration of the tube is not greater than indicated in the Section "Microphonic effect" from the "Application directions". In this case the disturbance level for hum and noise will be better than -60dB when the center tap of the heater has been grounded,  $R_g < 0,5\text{M}\Omega$  and  $R_k$  is sufficiently decoupled.

**EL34 is A.F. Output Pentode suitable for use in power amplification**



### Quick reference data

Anode current  $I_a=100\text{mA}$

Transconductance  $S=12,5\text{mA/V}$

Amplification  $\mu_{g2g1}=11$

Output power, Class B  $W_O=100\text{W}$

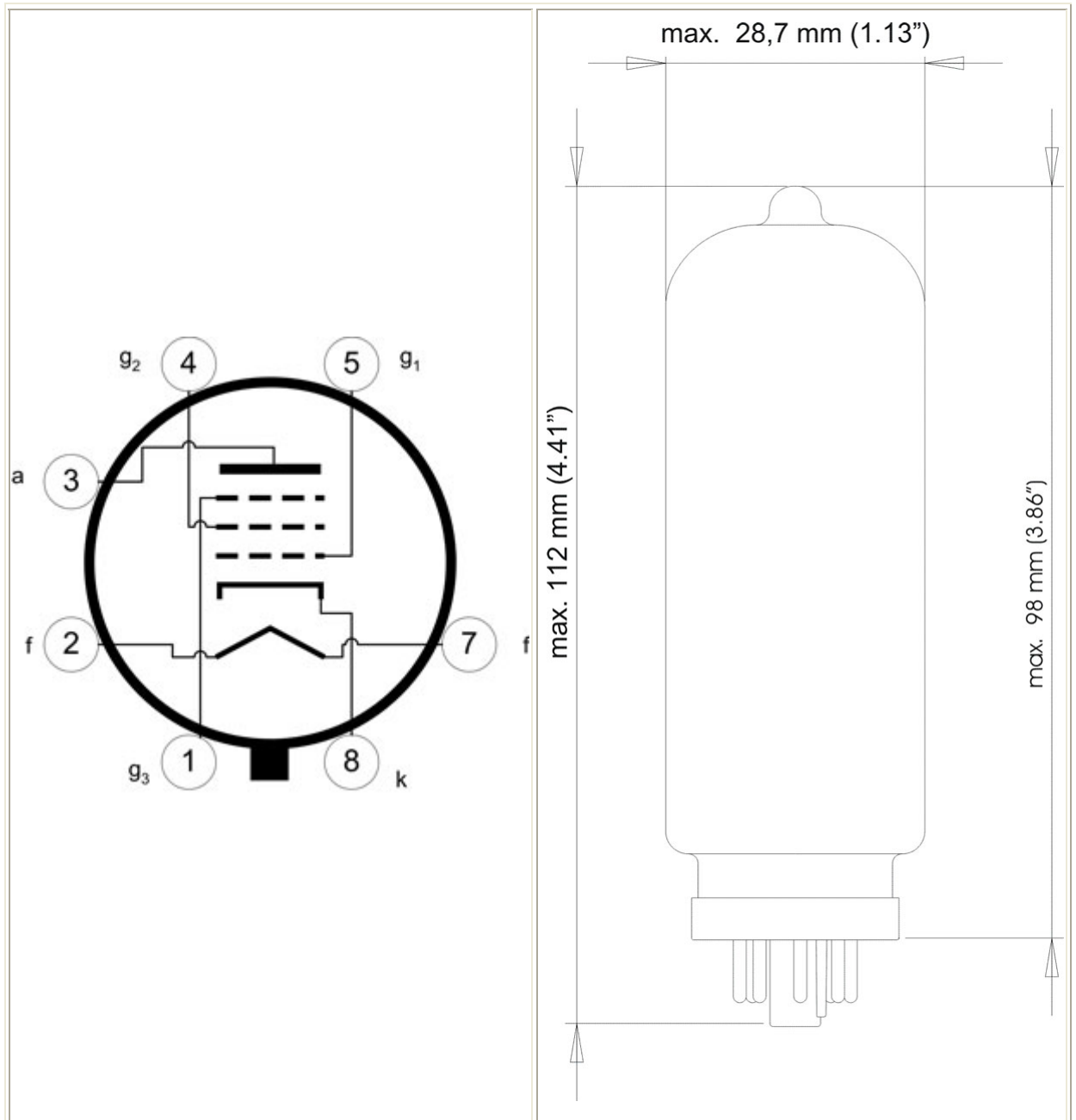
### Heating

Heating is indirect by AC or DC, with parallel supply.

Heater voltage	$V_f$	6,3	(V)
Heater current	$I_f$	1,5	(A)

## Dimensions and connections

Base: Octal





## Operating characteristics

### Class A

Supply voltage	$V_b$	265	265	(V)
Anode voltage	$V_a$	250	250	(V)
Grid No. 2 series resistor	$R_{g2}$	2	0	(k $\Omega$ )
Grid No. 3 voltage	$V_{g3}$	0	0	(V)
Grid No 1 . voltage	$V_{g1}$	-14,5	-13,5	(V)
Anode current	$I_a$	70	100	(mA)
Grid No. 2 current	$I_{g2}$	10	14,9	(mA)
Transconductance	$S$	11	12,5	(mA/V)
Amplification factor	$\mu_{g2g1}$	11	11	
Internal resistance	$R_i$	20	17	(k $\Omega$ )
Load resistance	$R_{aa}$	3	2	(k $\Omega$ )
Grid No. 1 driving voltage	$V_i$	9,3	8,7	(V <sub>RMS</sub> )
Output Power	$W_O$	8	11	(W)
Distortion	$d_{tot}$	10	10	(%)
Grid No. 1 driving voltage for $W_O = 50$ mW	$V_i$	0.65	0,5	(V <sub>RMS</sub> )

### Class B, two tubes in push-pull

Common grid No.2 series resistor (non decoupled)	$R_{g2}$	1000			470			( $\Omega$ )
Grid No.1 voltage	$V_{g1}$	-38			-32			(V)
Grid No. 3 voltage	$V_{g3}$	0			0			(V)
Grid No. 1 driving voltage	$V_i$	0	27	27	0	22,7	22,7	(V <sub>RMS</sub> )
Load resistance	$R_{aa}$		3,4	4		2,8	3,8	(k $\Omega$ )
Stupply voltage	$V_b$	425	425	400	375	375	350	(V)
Anode voltage	$V_a$	420	400	375	370	350	325	(V)
Anode current	$I_a$	2x30	2x120	2x100	2x35	2x120	2x93	(mA)
Grid No. 2 current	$I_{g2}$	2x4,4	2x25	2x25	2x4.7	2x25	2x25	(mA)
Output power	$W_O$	0	55	45	0	44	36	(W)
Distortion	$d_{tot}$		5	6		5	6	(%)

Common grid No.2 series resistor (non decoupled)	$R_{g2}$	750			750			( $\Omega$ )
Grid No.1 voltage	$V_{g1}$	-36			-39			(V)
Grid No. 3 voltage	$V_{g3}$	0			0			(V)
Grid No. 1 driving voltage	$V_i$	0	25,8	25,8	0	23,4	23,4	( $V_{RMS}$ )
Load resistance	$R_{aa}$		4	5		11	11	( $k\Omega$ )
Stupply voltage	$V_b$	500	500	475	800	800	750	(V)
Anode voltage	$V_a$	495	475	450	795	775	725	(V)
Anode current	$I_a$	2x30	2x125	2x102	2x25	2x91	2x84	(mA)
Grid No. 2 current	$I_{g2}$	2x4	2x25	2x25	2x3	2x19	2x19	(mA)
Output power	$W_O$	0	75	58	0	100	90	(W)
Distortion	$d_{tot}$		5	6		5	6	(%)

## Class AB, two tubes in push-pull

Load resistance	$R_{aa}$	3,4						( $k\Omega$ )
Common grid No.2 series resistor (non decoupled)	$R_{g2}$	470						( $\Omega$ )
Common cathode resistor	$R_k$	130						( $\Omega$ )
Grid No. 3 voltage	$V_{g3}$	0						(V)
Grid No. 1 driving voltage	$V_i$	0		21				(V)
Stupply voltage	$V_b$	375		375				(V)
Anode to earth voltage	$V_a+V_{Rk}$	355		350				(V)
Anode current	$I_a$	2x75		2x95				(mA)
Grid No. 2 current	$I_{g2}$	2x11.5		2x22.5				(mA)
Output power	$W_O$	0		35				(W)
Distortion	$d_{tot}$			5				(%)

## Limiting - maximal values (design center rating system)

Anode voltage	$V_{ao}$	2000	(V)
	$V_a$	800	

Grid No. 2 voltage	$V_{g2o}$	800	(V)
	$V_{g2}$	500	
Anode dissipation	$W_a(V_i=0)$	25	(W)
	$W_a(V_i>0)$	27,5	
Grid No. 2 dissipation	$W_{g2}$	8	(W)
Cathode current	$I_k$	150	(mA)
Grid No. 1 resistor	$R_{g1}(\text{Class A \& AB})$	0,7	(M $\Omega$ )
	$R_{g1}(\text{Class B})$	0,5	
Cathode to heater voltage	$V_{kf}$	100	(V)

Več informacij na: <http://www.eierc.com/rc/Default.htm>