

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za elektrotehniko

Luka Bogataj

CEVNI OJAČEVALNIK

Seminarska naloga
pri predmetu
Elektronska vezja

V Ljubljani, september 2010

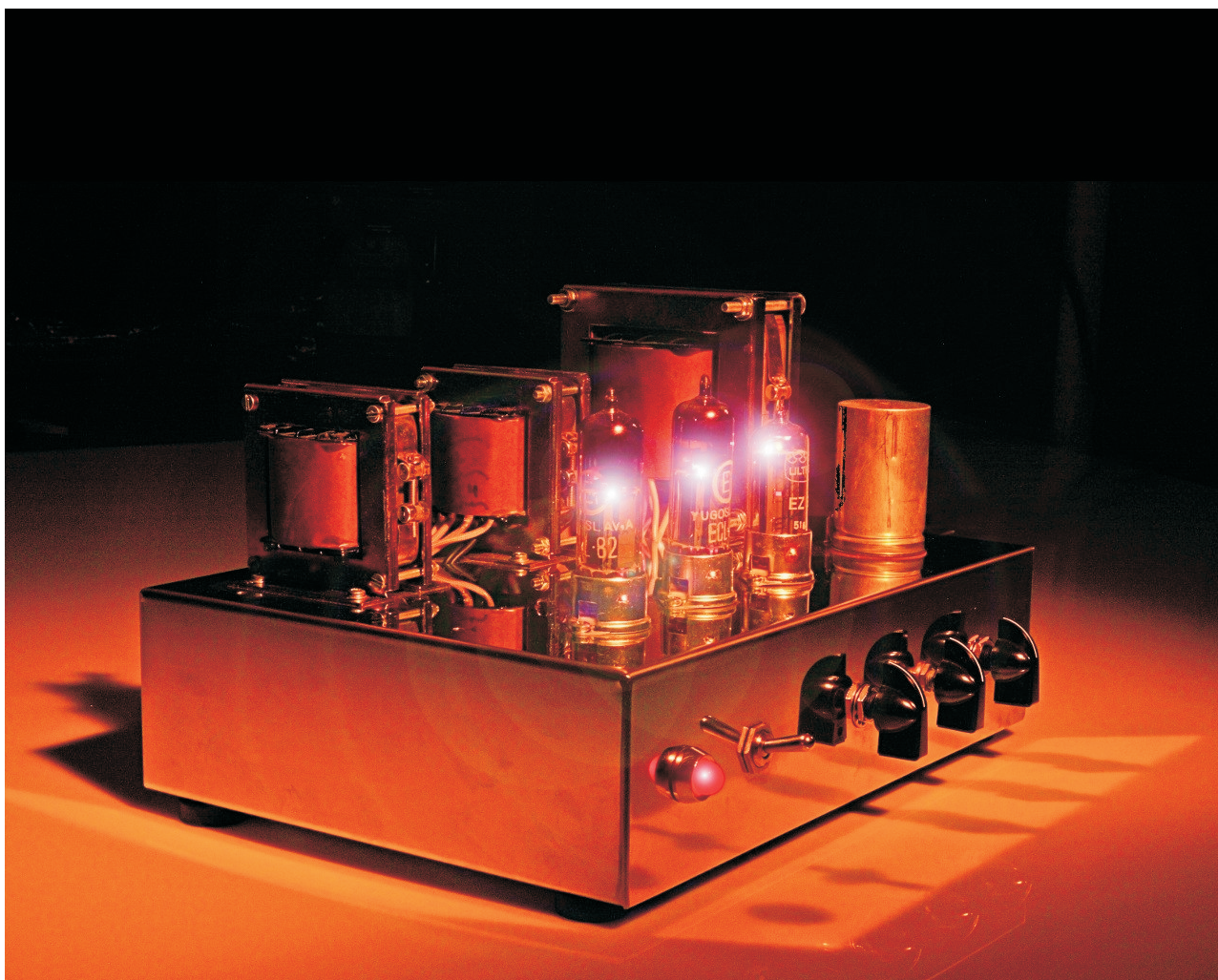
Kazalo vsebine

UVOD.....	2
Motivacija.....	2
Funkcionalni opis vezja.....	3
OPIS OJAČEVALNIKA.....	4
Opis delovanja podsklopov.....	4
Vhodna stopnja.....	4
Izhodna stopnja.....	4
Napajanje.....	5
Konstrukcija/izbira elementov	5
Meritve.....	6
Prenosna karakteristika.....	6
Šum.....	7
Popačenje.....	8
ZAKLJUČEK.....	10
VIRI.....	11
PRILOGE.....	12

UVOD

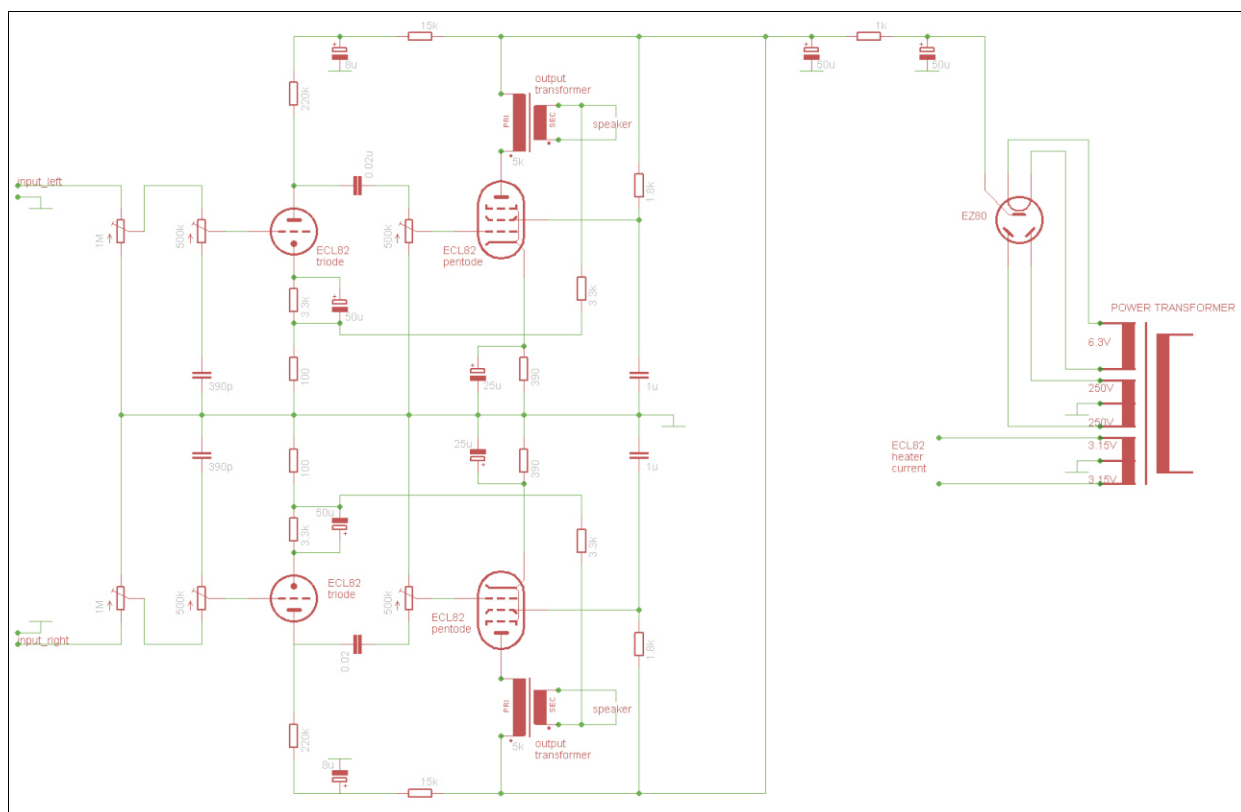
Motivacija

Za gradnjo ojačevalnika sem se odločil, ker me zanima reprodukcija in produkcija glasbe. Izbral sem si cevni ojačevalnik, saj so elektronke oziroma "lampe" še posebej zanimive tako s stališča opreme, ki danes ni več v množični uporabi, kot tudi dejstva, da naj bi bil zvok, ki ga proizvaja cevni ojačevalnik, bolj prijeten od "solid-state" oziroma tranzistorskega ojačevalnika. Izdelal sem ojačevalnik v A razredu, to pa predvsem zaradi pomankanja izkušenj pri samogradnji takih naprav. A razred pa je enostavne zgradbe, kar je primerna lastnost za učenje in preizkušanje.



Slika izdelanega audio ojačevalnika

Funkcionalni opis vezja



Shema cevnega ojačevalnika v A razredu

Ojačevalnik je sestavljen iz dveh vakuumskih cevi tipa ECL82 (vsaka za en kanal stereo ojačevalnika). To je trioda in pentoda v enem ohišju. Vhodna stopnja vsebuje triodo, izhodna pa pentodo. Za ustrezno impedančno prilagoditev med zvočniki in ojačevalcem poskrbi izhodni transformator, vezan med anodo pentode in napajalno napetost. Za ustrezno napajalno napetost poskrbi vakuumaska usmerjevalka EZ80. Na vohodu je še preprost filter za atenuacijo visokih frekvenc in potenciometer za uravnavanje glasnosti. Nazivna moč ojačevalca je 2W na kanal.



ECL82



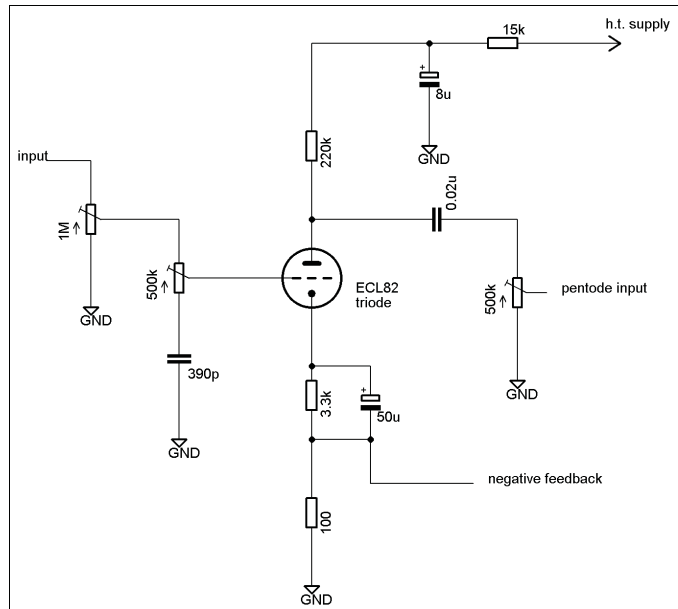
EZ80 - usmerjevalka

OPIS OJAČEVALNIKA

Opis delovanja podsklopov

Vhodna stopnja

Vhodna stopnja ojačevalnika je sestavljena iz triodnega dela ECL82. Za določanje glasnosti ojačevalnika skrbi potenciometer $1M\Omega$. Filter, sestavljen iz potenciometra $500k\Omega$ in kondenzatorja 390 pF , skrbi za željeno atenuacijo visokih tonov. Upor $15k\Omega$ in elektrolitski kondenzator $8\mu\text{F}$ poskrbita za ustrezno napetost na bremenskem upor $220k\Omega$. Upora $3,3k\Omega$ in 100Ω v katodni veji določata ustrezno delovno točko, elektrolitski kondenzator $50\mu\text{F}$ pa skrbi, da za izmenične signale ni upora $3,3k\Omega$ in tako ne pride do dodatnega slabljenja. Upor 100Ω ima funkcijo negativne povratne vezave. V vezju obstaja tudi globalna povratna vezava iz izhoda ojačevalnika na upor 100Ω . Kondenzator 20 nF skrbi za povezavo med stopnjama.

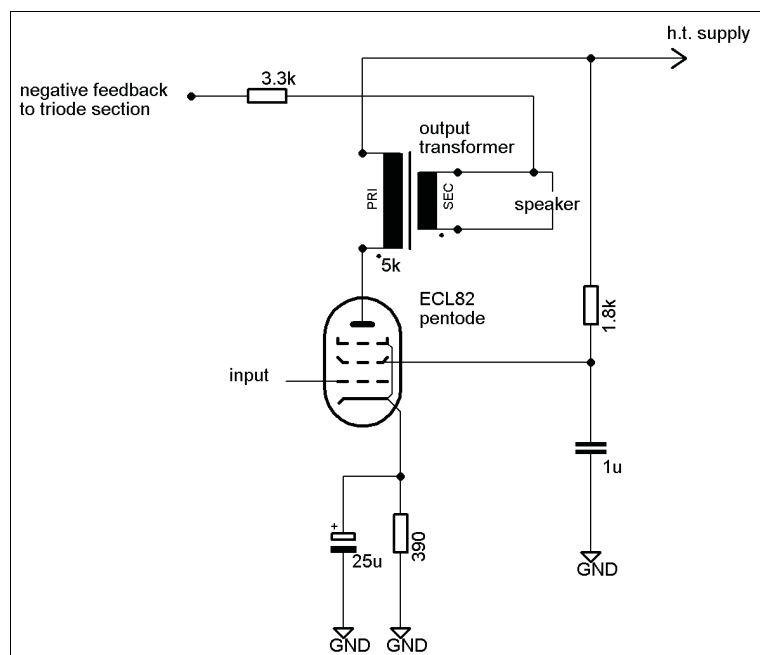


Vhodna stopnja

S potenciometrom $500k\Omega$ na izhodu vhodne stopnje nastavimo enakost glasnosti obeh kanalov. Karakteristike elektronk istega tipa se namreč lahko zelo razlikujejo.

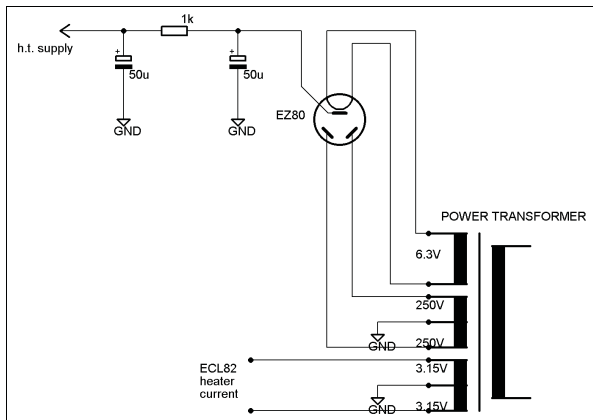
Izhodna stopnja

Sestavljena je iz pentodnega dela ECL82. Med anodo pentode in "h.t. supply" je vezan izhodni transformator. Impedanca njegovega primarnega navitja mora biti $5\text{ k}\Omega$. Upor $1,8\text{ k}\Omega$ in kondenzator $1\mu\text{F}$ tvorita nizkoprepusten filter in skrbita za stabilizacijo anodne napetosti na "screen grid" mrežici. Potencial mrežice "suppressor grid" mora biti enak kot potencial katode. Upor 390Ω poskrbi za ustrezno delovno točko, kondenzator $25\mu\text{F}$ pa za ozemljitev izmeničnih signalov.



Izhodna stopnja

Napajanje



Napajalni del

Za usmerjanje izmenične napetosti je uporabljena vakuumška usmerjevalka EZ80. Na anodnih priključkih moramo zagotoviti napetost 500V. Datasheet usmerjevalke podaja priporočene vrednosti kondenzatorjev in upora glede na upornost navitja transformatorja in želeno enosmerno napetost.

Ojačevalnik napaja enosmerna napetost 220V. Napajalni transformator ima tako 3 sekundarna navitja. Dve navitji zagotavljata tok za gretje katod elektronkam, eno pa ustrezno napetost za usmerjevalko. Mirovni tok ojačevalnika je 80 mA. Pomembno je, da ima sekundarno navitje, namenjeno gretju elektronk ECL82, srednji

odcep. Če bi bila napetost plavajoča, bi bil šum ojačevalnika znatno večji.

Konstrukcija/izbira elementov

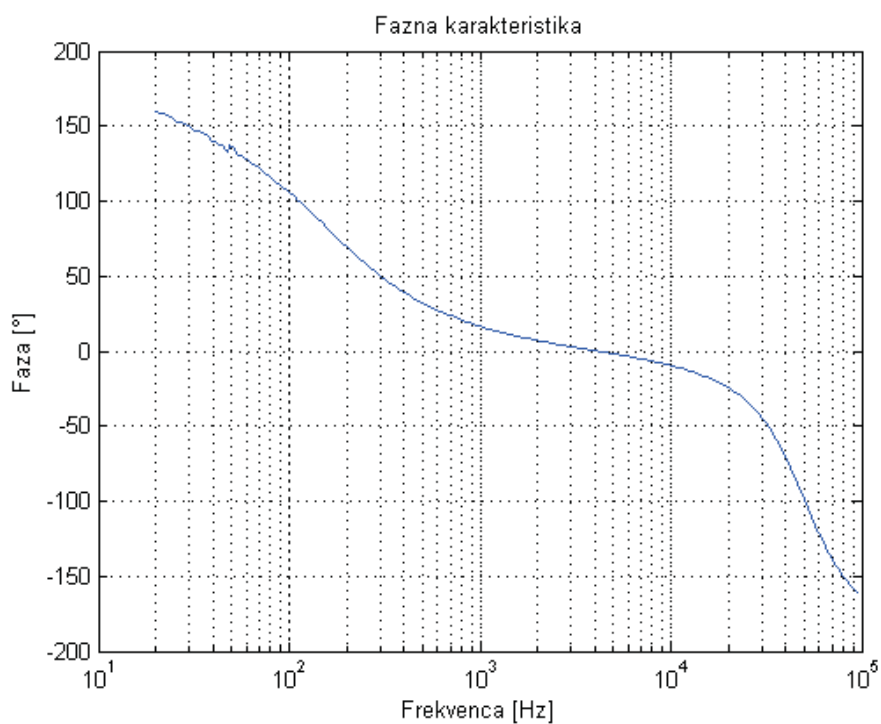
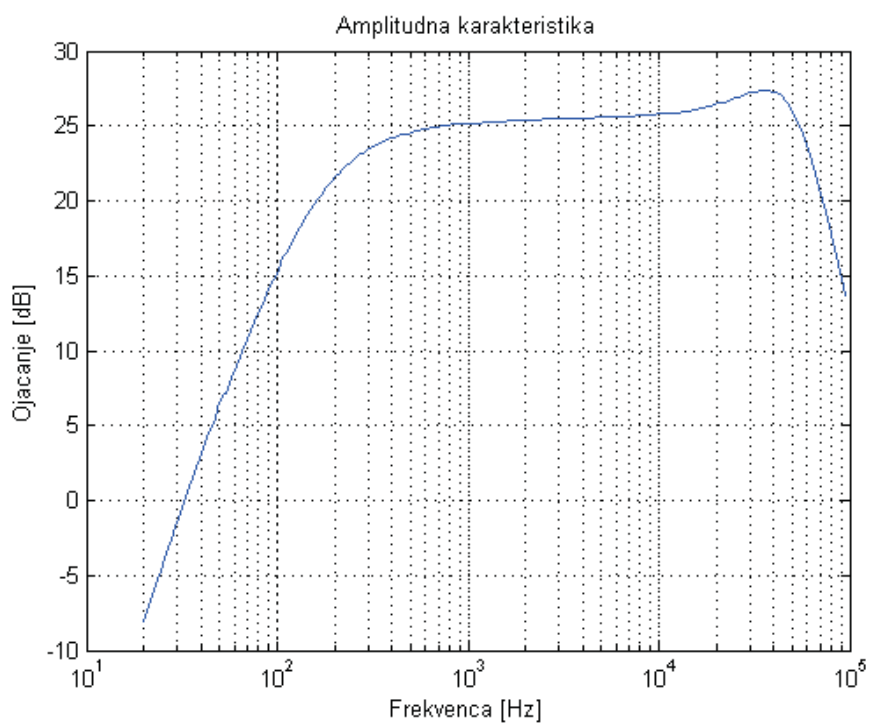
Ojačevalnik je sestavljen po pricipu "point-to-point" konstrukcije. Ker gre za preprost dizajn, je takšna konstrukcija mogoča. Da sem minimiziral šum, sem vse ozemljitve vezal v "zvezdo".

Izbira elektronk (trioda na vhodni stopnji in pentoda na izhodni) je povezana z dejstvom, da je zvok triode bolj prijeten kot pentode, vendar pa je s triodo težje doseči visoke izhodne moči. Zato v izhodni stopnji uporabimo pentodo. Slednje imajo karakteristiko zelo podobno karakteristiki bipolarnega tranzistorja. Popačenje, ki ga generira pentoda, je sestavljeno predvsem iz lihih harmonskih komponent, kar pa je neugodno, saj je človeško uho veliko bolj občutljivo za tako popačenje.

Meritve

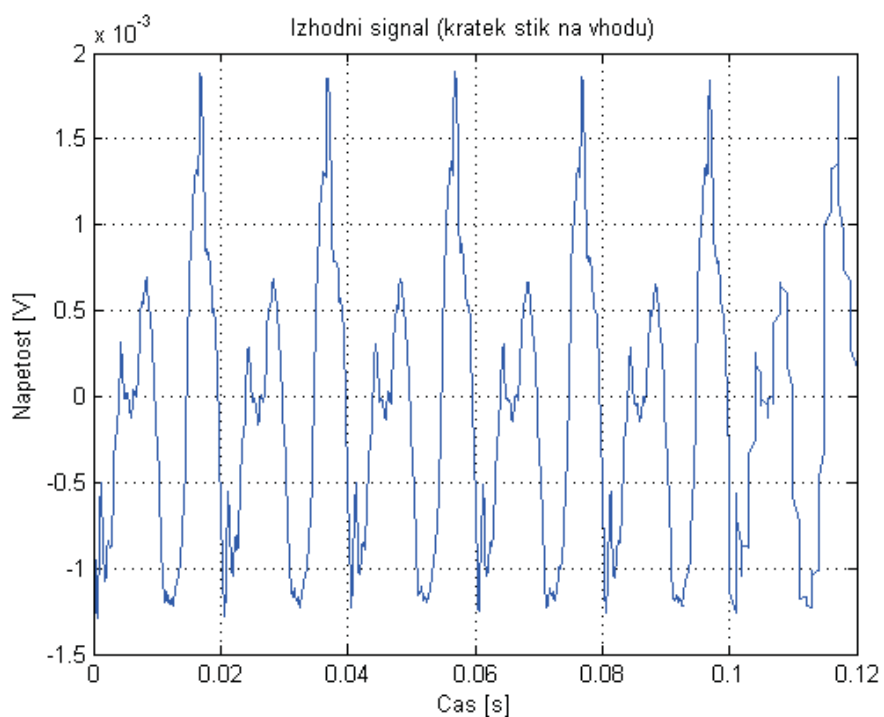
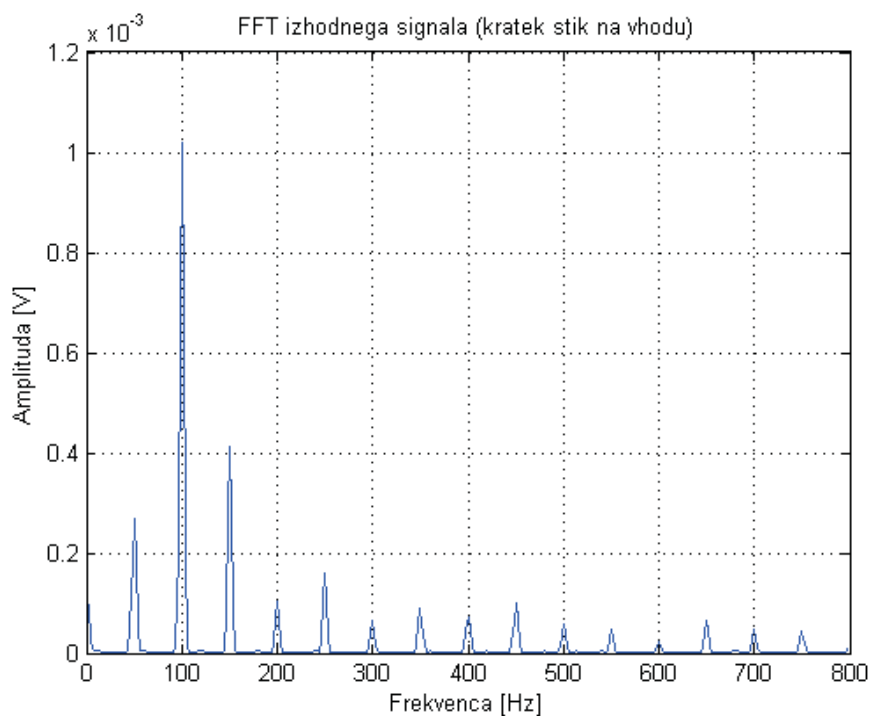
Prenosna karakteristika

Spodnja frekvenčna meja je 220 Hz. Kar je glede na frekvenčni obseg človeškega ušesa in moderne glasbe preveč.



Šum

Iz spektralne analize izhodnega signala pri kratko sklenjenem vhodu se opazi, da največji delež k šumu prispeva komponenta 100 Hz, kar je frekvenca usmerjene omrežne napetosti. Celotna vrednost šuma je $840 \mu\text{V}_{\text{rms}}$.



Popačenje

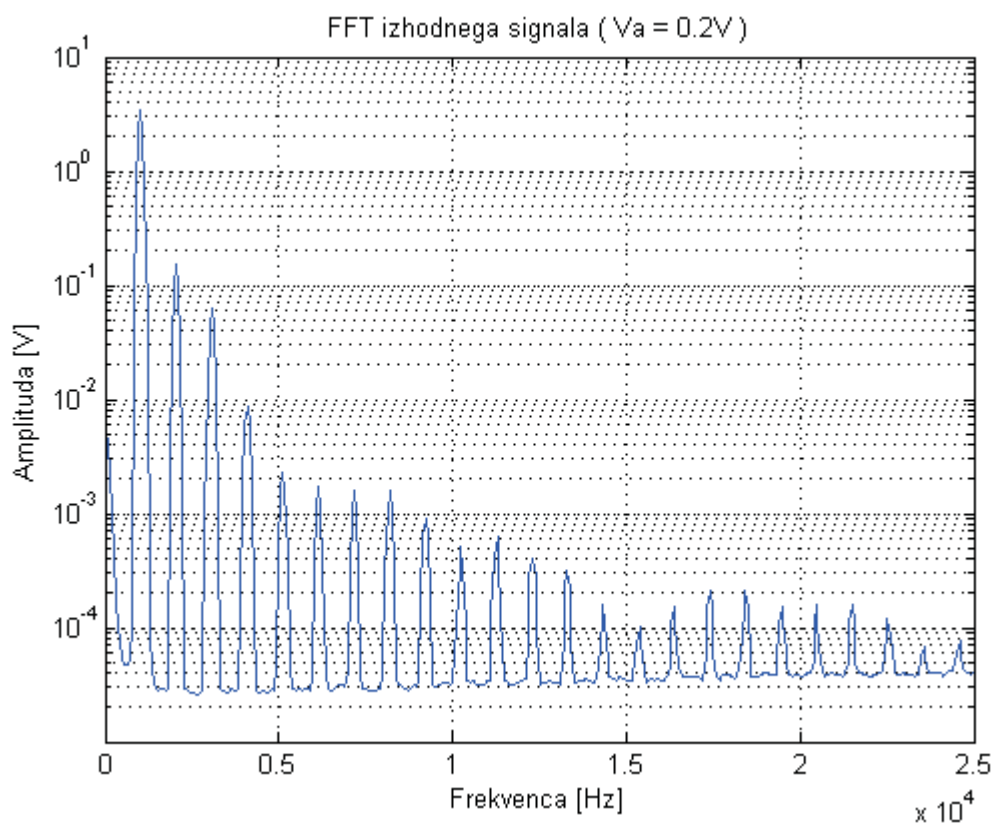
Vhodni signal:

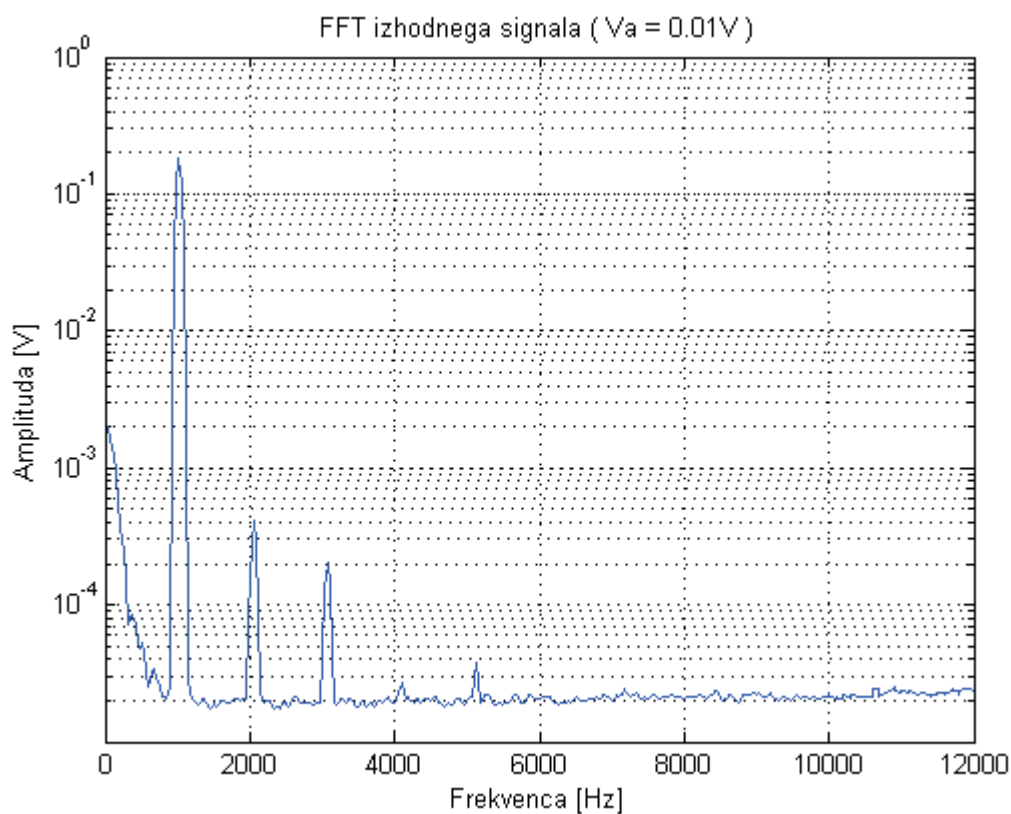
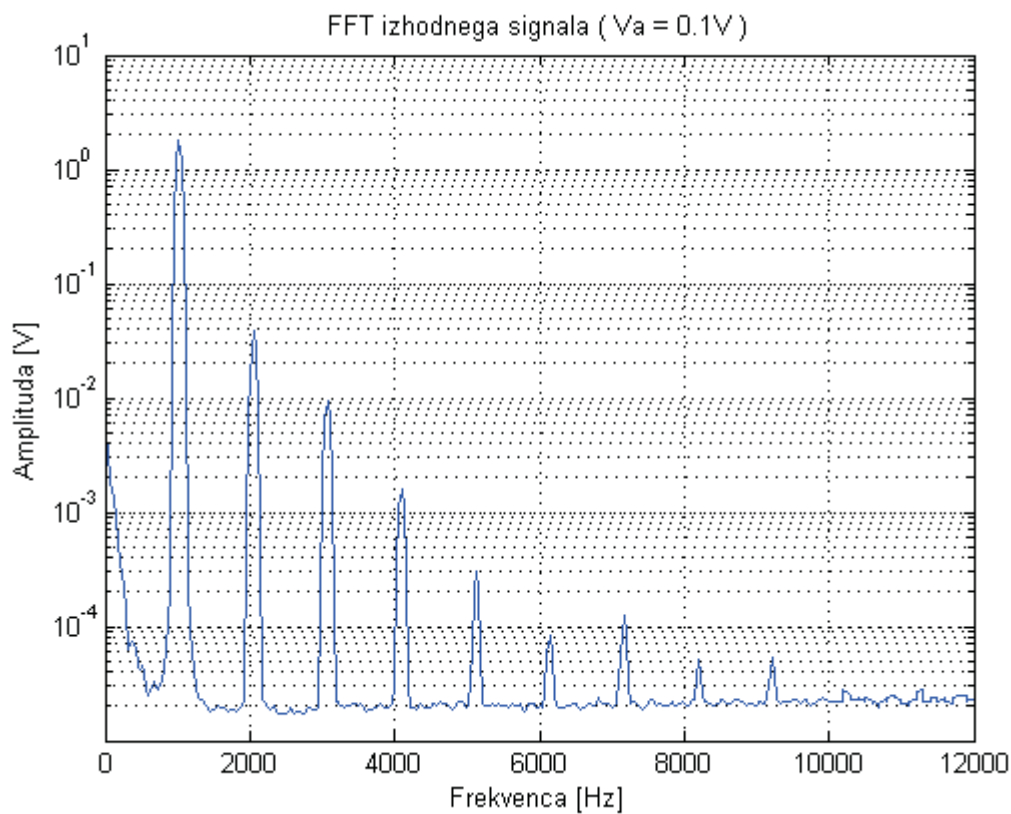
- frekvenca: 1 kHz

- amplituda: 0.2V, 0.1V, 0.01V

Popačenje v odvisnosti od amplitude vhodnega signala:

vhodni signal [f=1kHz] amplituda [V]	izhodni signal amplituda [V]	ojačanje	ojačanje [dB]	THD
0.2V	3.4V	17	24.6	4.74%
0.1V	1.8V	18	25	2.24%
0.01V	0.18V	18	25	0.26%





ZAKLJUČEK

Izdelan ojačevalnik nima najboljših lastnosti. Problem je popačenje in spodnja frekvenčna meja. Popačenje je pri višjih glasnostih precej moteče, neprijetna pa je tudi odsotnost nižjih frekvenc. V prihodnosti imam namen ti dve lastnosti izboljšati. Predvsem z menjavo kondenzatorjev za ustrežnejše in popravilom izhodnih transformatorjev, saj pri single-ended ojačevalnikih izhodni transformator močno vpliva na zvok.

Kljub vsem napakam in slabostim pa ojačevalnik pod določenimi pogoji deluje odlično. V kombinaciji z glasbo, ki se "giblje" predvsem v srednjem audio frekvenčnem območju in zvočniki z istega obdobja, kot je dizajn ojačevalnika, je rezultat neverjeten.

VIRI

- Circuits for audio amplifiers. 1st ed. Audio Amateur Press, 1993
- JONES, M.: Valve amplifiers. 2nd ed. Newnes, 1999

PRILOGE

- Datasheet ECL82
- Datasheet EZ80

TRIODE-OUTPUT PENTODE

The triode section is intended for use as frame oscillator and A.F. amplifier. The pentode section is intended for use as frame output tube and A.F. power amplifier.

QUICK REFERENCE DATA			
<u>Triode section</u>			
Anode current	I_a	3.5	mA
Transconductance	S	2.2	mA/V
Amplification factor	μ	70	-
<u>Pentode section</u>			
Anode peak voltage	V_{ap}	max. 2.5	kV
Anode current	I_a	41	mA
Transconductance	S	7.5	mA/V
Amplification factor	$\mu_{g_2g_1}$	9.5	-
Output power	W_o	3.5	W

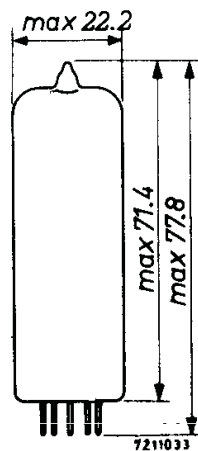
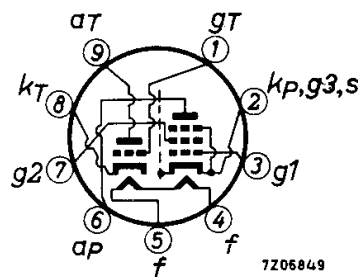
HEATING: Indirect by A.C. or D.C.; parallel supply

Heater voltage	V_f	6.3	V
Heater current	I_f	780	mA

DIMENSIONS AND CONNECTIONS

Dimensions in mm

Base: Noval



ECL82

CAPACITANCES

Triode section

Anode to all except grid	$C_{a(g)}$	4.3	pF
Grid to all except anode	$C_{g(a)}$	2.7	pF
Anode to grid	C_{ag}	4.4	pF
Grid to heater	C_{gf}	max. 0.1	pF

Pentode section

Anode to all except grid No.1	$C_{a(g_1)}$	8.0	pF
Grid No.1 to all except anode	$C_{g_1(a)}$	9.3	pF
Anode to grid No.1	C_{ag_1}	max. 0.3	pF
Grid No.1 to heater	C_{g_1f}	max. 0.3	pF

Between triode and pentode sections

Anode triode to grid No.1 pentode	C_{aTg_1P}	max. 0.02	pF
Grid triode to anode pentode	C_{gTaP}	max. 0.02	pF
Grid triode to grid No.1 pentode	C_{gTg_1P}	max. 0.025	pF
Anode triode to anode pentode	C_{aTaP}	max. 0.25	pF

TYPICAL CHARACTERISTICS

Triode section

Anode voltage	V_a	100	V
Grid voltage	V_g	0	V
Anode current	I_a	3.5	mA
Transconductance	S	2.2	mA/V
Amplification factor	μ	70	-

Pentode section

Anode voltage	V_a	170	V
Grid No.2 voltage	V_{g_2}	170	V
Grid No.1 voltage	V_{g_1}	-11.5	V
Anode current	I_a	41	mA
Grid No.2 current	I_{g_2}	9	mA
Transconductance	S	7.5	mA/V
Amplification factor	$\mu_{g_2g_1}$	9.5	-
Internal resistance	R_i	16	k Ω

OPERATING CHARACTERISTICS

Triode section as A.F. amplifier

A. Signal source resistance	R_s	0.22			$M\Omega$
Grid resistor	R_g	3			$M\Omega$
Grid resistor of next stage	R_g	0.68			$M\Omega$
Supply voltage	V_b	200	170	V	
Cathode resistor	R_k	2.2	2.7	$k\Omega$	
Anode resistor	R_a	220	220	$k\Omega$	
Anode current	I_a	0.52	0.43	mA	
Voltage gain	V_o/V_i ¹⁾	52	51	-	
Max. output voltage	V_o max	26	25	V_{RMS}	
Distortion	d_{tot} ²⁾	1.6	2.3	%	
<hr/>					
B. Signal source resistance	R_s	0.22			$M\Omega$
Grid resistor	R_g	22			$M\Omega$
Grid resistor of next stage	R_g'	0.68			$M\Omega$
Supply voltage	V_b	200	200	170	170 V
Cathode resistor	R_k	0	0	0	0 Ω
Anode resistor	R_a	100	220	100	220 $k\Omega$
Anode current	I_a	1.05	0.61	0.86	0.50 $M\Omega$
Voltage gain	V_o/V_i ¹⁾	50	55	49	53 -
Max. output voltage	V_o max	24	25	19	20 V_{RMS}
Distortion	d_{tot} ³⁾	1.5	1.4	1.4	1.4 %

MICROPHONY AND HUM

The triode section can be used without special precautions against microphony and hum in circuits in which an input voltage of minimum 10 mVRMS is required for an output of 50 mW of the output stage. $Z_g(50 \text{ Hz}) = 0.25 M\Omega$.

¹⁾ Measured at small input voltage.

²⁾ At lower output voltages the distortion is proportionally lower.

³⁾ At lower output voltages down to 5 VRMS the distortion is approximately constant. At values below 5 VRMS the distortion is approximately proportional to V_o .

OPERATING CHARACTERISTICS

Pentode section

A.F. power amplifier, class A (measured with V_k constant)

Supply voltage	$V_{ba} = V_{bg2}$	200	272	V
Grid No.2 series resistor (non-decoupled)	R_{g2}	470	2200	Ω
Cathode resistor	R_k	330	650	Ω
Load resistance	$R_{a\sim}$	4.5	8	k Ω
Grid No.1 driving voltage	V_i	0 0.66 6.7	0 0.9 9.5	V_{RMS}
Anode current	I_a	35 37	28 27	mA
Grid No.2 current	I_{g2}	7.8 13.3	6.5 10.8	mA
Output power	W_o	0 0.05 3.3	0 0.05 3.5	W
Distortion	d_{tot}	- - 10	- - 10	%

A.F. power amplifier, class AB, two tubes in push-pull

Anode supply voltage	V_{ba}	200	250	V
Grid No.2 supply voltage	V_{bg2}	200	200	V
Common cathode resistor	R_k	170	220	Ω
Load resistance	$R_{aa'\sim}$	4.5	10	k Ω
Grid No.1 driving voltage	V_i	0 14.2	0 12.5	V_{RMS}
Anode current	I_a	2x35 2x42.5	2x28 2x31	mA
Grid No.2 current	I_{g2}	2x8 2x16.5	2x5.8 2x13	mA
Output power	W_o	0 9.3	0 10.5	W
Distortion	d_{tot}	- 6.3	- 4.8	%

Frame output application

The circuit should operate satisfactorily with a peak anode current $I_{ap} = 85$ mA at $V_a = 50$ V, $V_{g2} = 170$ V, $V_f = 6.3$ V. The minimum available I_{ap} at end of life is;

70 mA at $V_a = 50$ V, $V_{g2} = 170$ V, $V_f = 5.5$ V
 80 mA at $V_a = 50$ V, $V_{g2} = 190$ V, $V_f = 5.5$ V.

LIMITING VALUES (Design centre rating system)Triode section

Anode voltage	V_{a0}	max. 550 V
	V_a	max. 300 V
Anode peak voltage	V_{ap}	max. 600 V ¹⁾
Anode dissipation	W_a	max. 1 W
Cathode current, average	I_k	max. 15 mA
peak	I_{kp}	max. 100 mA ¹⁾
Grid resistor for fixed bias	R_g	max. 1 M Ω
for automatic bias	R_g	max. 3 M Ω
Grid impedance at 50 Hz	Z_g	max. 0.5 M Ω
Cathode to heater voltage	V_{kf}	max. 100 V

Pentode section

Anode voltage	V_{a0}	max. 550 V
	V_a	max. 300 V
Anode peak voltage, positive	V_{ap}	max. 2.5 kV ¹⁾
negative	$-V_{ap}$	max. 500 V
Anode dissipation for frame output application	W_a	max. 5 W
for A.F. output application	W_a	max. 7 W
Grid No.2 voltage	V_{g20}	max. 550 V
	V_{g2}	max. 300 V
Grid No.2 dissipation, average	W_{g2}	max. 2 W
peak	W_{g2p}	max. 3.2 W
Cathode current	I_k	max. 50 mA
Grid No.1 resistor for fixed bias	R_{g1}	max. 1 M Ω
for automatic bias	R_{g1}	max. 2 M Ω
Cathode to heater voltage	V_{kf}	max. 150 V

For curves of the ECL82 please refer to PCL82

¹⁾ Max. pulse duration 4% of a cycle with a maximum of 0.8 msec.

PHILIPS

EZ 80

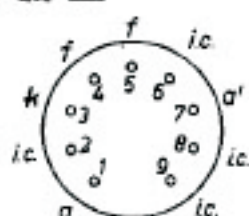
High-vacuum FULL-WAVE RECTIFIER
REDRESSEUR BIPLAQUE à vide poussé
Hochvakuum VOLLWEGGLEICHRICHTER

Heating : indirect by A.C.
parallel supply
Chauffage: indirect par C.A.
alimentation- parallèle
Heizung : indirekt durch Wechsel-
strom; Parallelspeisung

$V_f = 6,3 \text{ V}$

$I_f = 0,6 \text{ A}$

Dimensions in mm
Dimensions en mm
Abmessungen in mm



Base, culot, Sockel: Noval

Operating characteristics and limiting values
Caractéristiques d'utilisation et caractéristiques
limites

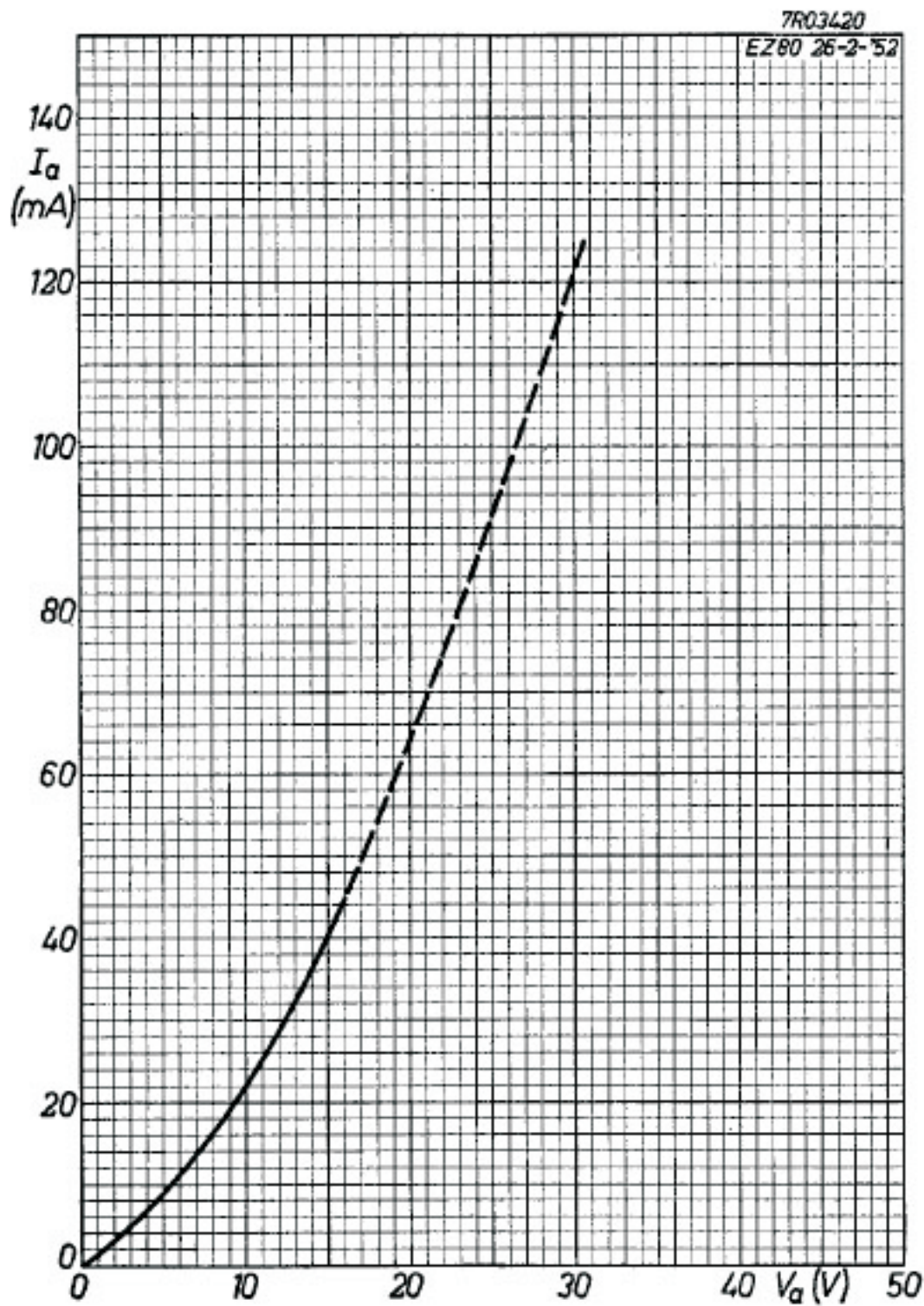
Betriebs- und Grenzdaten

V_{tr}	=	2x250	2x275 V_{eff}
I_o	= max.	90	max. 90 mA
I_{ap}	= max.	270	max. 270 mA
R_t	= min.	2x125	min. 2x175 Ω
C_{filt}	= max.	50	max. 50 μF
V_{kfp}	= max.	500	max. 500 V

V_{tr}	=	2x300	max. 2x350 V_{eff}
I_o	= max.	90	max. 90 mA
I_{ap}	= max.	270	max. 270 mA
R_t	= min.	2x215	min. 2x300 Ω
C_{filt}	= max.	50	max. 50 μF
V_{kfp}	= max.	500	max. 500 V

PHILIPS

EZ 80



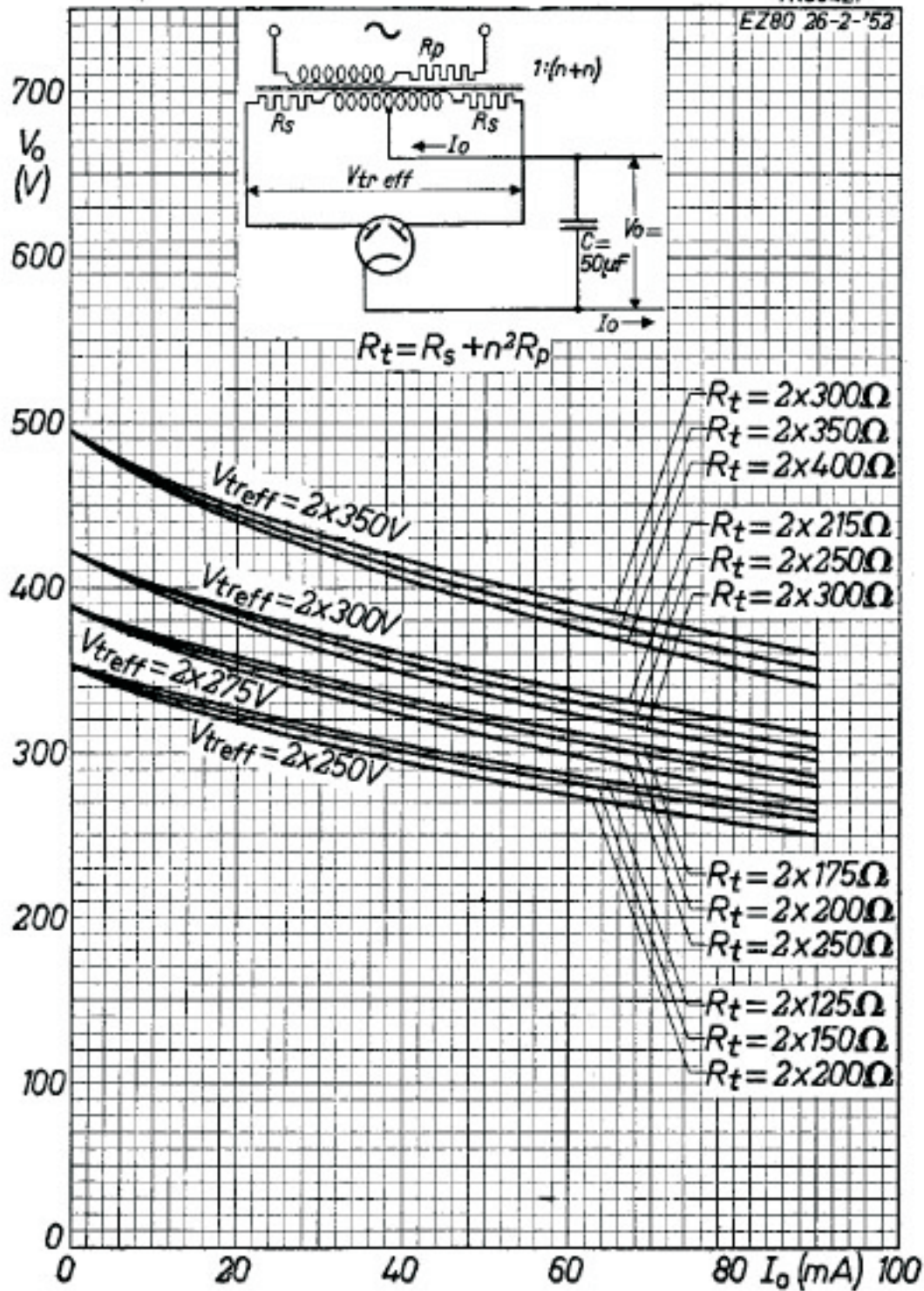
4.4.1952

A

EZ80**PHILIPS**

7R03421

EZ80 26-2-'52



B