

Jednočinný elektrónkový zosilňovač 6C33C SEA

Autor zapojenia: Peter Füle

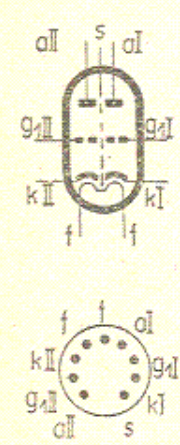
Popis zapojenia

Elektrónkový zosilňovač 6C33C SEA je navrhnutý ako jednočinný zosilňovač bez celkovej spätnej väzby pracujúci v čistej triede A. Jeho konštrukcia je dual mono. To znamená, že od sieťových transformátorov až po výstupné prevodníky je každý kanál vedený samostatne a má vlastnú dosku plošných spojov.

Vstupná časť zosilňovača je osadená elektrónkou E88CC (**dvojitá trióda**) a vychádza z katalógového zapojenia tejto elektrónky. Jedná sa o vylepšenú verziu základného typu ECC88/6922/6DJ8. Táto elektrónka má vyššiu životnosť, je vyrobená v užších toleranciách a má väčšiu otrasuvzdornosť. **Oproti ECC88 má aj dovolené vyššie pracovné napätie na anóde. Prvý systém elektrónky je zapojený ako vstupný napäťový zosilňovač na ktorý naväzuje druhý systém elektrónky s kapacitnou väzbou zapojený ako napäťový budič výkonovej triódy 6C33C.** Jej **napäťové** zosilnenie je dostatočne veľké pre vybudenie výstupnej výkonovej elektrónky. Na použitie v tomto zosilňovači ju predurčuje jej nízke napájacie napätie obdobné ako pri koncovej elektrónke, vysoká strmosť, relatívne vysoký anódový prúd $I_a=15\text{mA}$ i zosilnenie $\mu=33$.

Katalógové údaje

Typ Použití	Rozměry Patice	Žhavení		Provozní hodnoty		Mezní hodnoty	
		Statické hodnoty					
E88CC	Velikost N 2	U_f	$3,3\text{ V} \pm 5\%$	U_{b1}	100 V	U_{a0}	550 V
		I_f	0,3 A	U_{bg1}	+9 V	U_a	220 V
		nepřímé žhavení		R_{g1}	100 Ω	U_{a1} ($W_a = 0,8\text{ W}$)	250 V
		U_{ba}	100 V	R_k	680 Ω	W_a	1,5 W
		U_{g1}	+9 V	I_a	15 mA	$-U_{g1}$	-100 V
		R_k	680 Ω	S	12,5 mA/V	$-U_{g1\text{ sp } 2)}$	-200 V
		I_a	$15 \pm 0,8$ mA	μ	33	W_{g1}	0,03 W
		S	$12,5 \pm 2,5$ mA/V	R_f	2,6 k Ω	I_k	20 mA
			-2	R_{clv} ($f = 45\text{ Mc/s}$)	300 Ω	$I_{k\text{ sp } 2)}$	100 mA
		μ	33 ± 5	Kapacity:		R_{g1}	1 M Ω
		R_{ekv}	300 Ω	$C_a / k f +s$	$1,75 \pm 0,2$ pF	$U+k f $	120 V
		F	4,6 dB	$C_a / f +f$	$0,5 \pm 0,1$ pF	$U-k f +$	60 V
				$C_a / k f +f+s$	$1,65 \pm 0,2$ pF	R_k / f	20 k Ω
				$C_a / k f +f$	$0,4 \pm 0,1$ pF	T_b	170 $^{\circ}\text{C}$
				$C_{g1} / k f +s$	$3,1 \pm 0,6$ pF	2) Puls max 10% periody, max 0,2 ms	
				C_{g1} / a	$1,4 \pm 0,2$ pF		



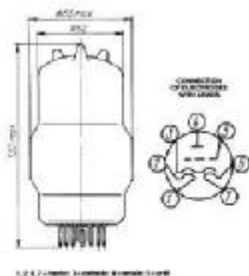
dvojitá trióda
s oddělenými katodami
vkv kaskádní zesilovač

Ako výkonová elektrónka je použitá ruská výkonová trióda 6S33S. Táto elektrónka je preslávená najmä svojím použitím v sovietskych stihacích letúnoch MIG-25. Elektrónka bola primárne určená na použitie v napäťových regulátoroch v mobilných i stacionárnych zariadeniach. Po rokoch od jej vzniku ju objavili aj audiofili a začali ju používať v hifi a highend zosilňovačoch. Táto elektrónka sa vyznačuje už napohľad masívnym prevedením. V sklenej banke sú umiestnené dva spriahnuté triódové systémy. Katódy sú dve a každá má samostatné žhavenie, čo umožňuje jeden systém nechať vypnutý, prípadne ho používať ako záložný. V tomto zosilňovači sú ale samozrejme zapojené obidva systémy, aby sme využili maximálnu anódovú stratu $W_a=60W$.

Zapojenie elektrónky v tomto zosilňovači vychádza so zapojenia použitého v zosilňovači A15W SE od Erna Borbelyho. Nastavenie pracovnej oblasti elektrónky je riadené záporným predpäťm na mriežke, jedná sa o tzv. fixný bias. Pri správnom nastavení pracovného bodu tečie elektrónkou kľudový prúd 200mA pri anódovom napätí $U_a=220V$. Na elektrónke tak vzniká trvalá výkonová strata $P_a=44W$.

Katalógové údaje:

Envelope and base:



Base	Septar 7
Pin	Electrode
1	Heater Filament A - 1
2	Heater Filament A - 2
3	Cathode
4	Plate
5	Grid
6	Heater Filament B - 1
7	Heater Filament B - 2

Typical operating data:

Filament Current	
Serial heater connection - filament voltage 12.6 V	3.3 ± 0.3 A
Parallel heater connection - filament voltage 6.3 V	6.6 ± 0.6 A
Typical Operation	
Plate voltage	120V
Cathode resistor for cathode bias	35 Ohms
Warm-up time to steady state	≥ 600 s ¹
Plate current	550 ± 80 mA ²

¹ Warm-up time to 80% emission ≥ 120 s.
² Older versions and 6S33C/6S33S 500mA ± 10 mA.

Rated Service Life	750 h (average reliability)		3000 h (high reliability) ^{1,2}	
	One triode	Both triodes	One triode	Both triodes
Plate dissipation				
Plate voltage $\leq 250V$	45 W	60 W	35 W	45 W
Plate voltage $> 250V$	30 W	30 W	25 W	30 W
Plate current (avg.)	350 mA	600 mA	250 mA	450 mA
Plate current (peak)	700 mA	1200 mA	500 mA	900 mA
Envelope temperature				
Ambient $\theta = 20^\circ C$	260° C		200° C	
Ambient $\theta = 100^\circ C$ ^{1,2}	300° C		200° C	
Ambient $\theta = 150^\circ C$	320° C		Not recommended	

Transconductance	
Filament voltage 6.3/12.6V-	40 ± 10 μS (= mA/V) ¹
Filament voltage 5.7/11.3V-	≥ 24 mS (= mA/V)
Internal resistance R_p	$80 \cdot 10^3$ ²
Amplification factor μ_{int}	2.7 (2.5-4)
Reverse grid current	≤ 5 μA ($U_g = -0.5$ V)
Leakage currents:	
between plate and all other electrodes	≤ 30 μA
between grid and all other electrodes	≤ 20 μA
between cathode and heater filaments	≤ 150 μA
<i>(leakage measured at maximum envelope temperature)</i>	
Vibration-induced noise voltage (plate load 2 kOhm, vibration 10g 10-300 Hz)	≤ 500 mV
Internal inter-electrode capacitances	
Input (C _{in})	30 ± 7 pF
Output (C _{out})	10.5 ± 1 pF
Transfer (C _{gr})	31 ± 7 pF
Cathode to heater	≤ 60 pF ³
Rated Service Life under above operating conditions	≥ 750 h ^{1,2}
<i>Criteria for End of Service Life:</i>	
Reverse grid current	≥ 15 μA
Plate current	≤ 340 mA
Reduction of emission compared to new valve	≥ 30 %

Filament voltage	
Serial connection of heater filaments	11.3 V .. 13.0 V
Parallel connection of heater filaments	5.7 V .. 6.9 V
Plate voltage	
Dissipation ≥ 30 W	250 V
Dissipation ≤ 30 W	450 V
Zero Current at power-up	600 V
Negative grid voltage	-0.5 V .. -150 V
Grid circuit resistance	200 kOhm ¹
Voltage between cathode and heater	± 300 V
Envelope temperature (θ)	
Ambient $\theta = 20^\circ C$	320° C
Ambient $\theta = 100^\circ C$	300° C ¹
Ambient $\theta = 150^\circ C$	320° C ^{2,3}
Plate current	
One triode operating	350 mA
Both triodes operating	600 mA
Plate dissipation	
One triode operating	45 W
Both triodes operating	60 W

Výstupné transformátory

V tomto zosilňovači je možné použiť výstupné transformátory rôznych výrobcov, je však potrebné aby svojimi vlastnosťami boli určené na prácu v A triede, t.j. mal jadro so vzduchovou medzerou **pre stejnosmerný prúd anódou 200mA**.

Požadované parametre prevodníka:

Ra.....600R

Minimálny prenášaný výkon.....20W

Maximálne U primárneho vinutia.....min.450V (stačí 350V)

Frekvenčný rozsah.....20-20000Hz(-0,2dB/1W) ,**tento parameter je zbytočne prísny postačovať bude (- 0,5dB/1W)**

Výber konkrétneho transformátora okrem požadovaných parametrov určí už len množstvo financií, ktoré ste ochotný investovať. Osobnú skúsenosť máme s transformátormi firmy Experience-electronics(DE), typ A-6C33. Tieto transformátory majú C jadrá s vysokokvalitnými plechmi. Vinutia sú vákuovo impregnované izolačným lakom. Sú to naozaj veľmi kvalitné transformátory, o čom svedčí aj ich pomerne vysoká cena. Ako možná úspornejšia alternatíva je možné použiť výstupné transformátory firmy INDEL(PL). Táto firma ma vo svojej ponuke typ OTR-20W-2. Jadro je klasické s EI plechov. Menší nedostatok tohto transformátora je v tom, že nemá výstup pre 4 ohmovú impedanciu reprosústav a jeho primárne vinutie má $R_{prim}=1130R$. Pre nás to znamená nižší výstupný výkon pri zapojení 8 ohmových reprosústav (cca12W), pri zapojení 4 ohmových reprosústav dosiahneme výkon cca15W ako pri použití transformátora A-6C33. Napriek tomu sa však aj s OTR-20W-2 dajú dosiahnuť vynikajúce zvukové výsledky, pomer výkon/cena je tu vynikajúci.

Napájací zdroj a sieťový transformátor

Zosilňovač je koncipovaný ako dual mono, čo sa samozrejme týka aj zdroja. Každý kanál má samostatný sieťový transformátor. Doporučujeme prevedenie pre audio. Takýto transformátor má predimenzované jadro, zaliaty stred a tienenie. Kvalitné transformátory robí napr. firma BV elektronik. Transformátor obsahuje sekundárne vinutie pre napájanie, žhavenie E88CC, žhavenie 6S33S a vinutie pre výrobu predpätia pre bias.

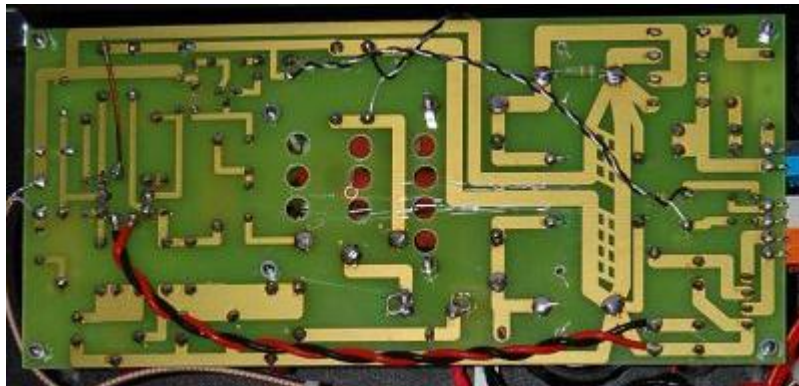
Napájací zdroj zosilňovača používa rýchle usmerňovacie diódy, za nimi nasleduje pí článok skladajúci sa z dvoch veľkých filtračných kondenzátorov a výkonového rezistoru. Žhavenie 6S33S je realizované striedavým napätím priamo zo sekundárneho vinutia, musí byť dostatočne nadimenzované, pretože žhaviaci prúd tejto elektrónky je až 3,3A (42W) pri sériovom zapojení žhavenia. Žhavenie E88CC je realizované jednosmerným vyfiltrovaným napätím. Zdroj predpätia je nastavený trimrom a úbytkom napätia na zenerovej dióde.

Napájacie transformátory majú dosť veľký výkon a môžu spôsobovať, že pri zapojení zosilňovača budú vyhadzovať sieťový istič. Ideálne je použiť nejaký aspoň jednoduchý obvod pomalého nábehu.

Stavba zosilňovača

Plošné spoje sú koncipované tak, aby pri ideálnom rozmiestnení boli minimalizované signálové cesty. Všetky káblové prívody je potrebné postáčať do tzv. twistovaných dvojíc, aby čo najlepšie odolávali zdrojom rušenia a neovplyvňovali sa aj navzájom.

Zo spodnej strany plošného spoja sú vedené drôtové prepojky. Jedna slúži na prívod žhaviaceho napätia na elektrónku E88CC, druhá na prívod záporného napätia na reguláciu predpätia. Tieto prívody treba viesť tak, aby boli stočené. Tretia prepojka slúži na uzemnenie tienenia v elektrónke E88CC.



Päťicu pre triódu 6S33S je vhodné namontovať na distančné stĺpiky, pretože je zdrojom dosť vysokého tepla. Taktiež výkonové odpory je vhodné naspájkovať niekoľko milimetrov nad úroveň plošného spoja, aby sa príliš neohrieval. Týka sa to hlavne odporu 150R/20W. Tento je možné aj vyskladať napr. z troch kusov 47R/15W. Výkonová strata sa na jednotlivých odporoch rozdelí a tým poklesne ich povrchová teplota.

Hlavné filtračné kondenzátory môžete od rôznych výrobcov, treba len konkrétnemu typu prispôbiť plošný spoj. Vyskúšané máme kondenzátory od Siemensu, dnešný EPCOS. Pri takejto hodnote je už problém nájsť kondenzátory na 105C v rozumných rozmeroch a cene. Potrebné je si hlavne všímať hlavne životnosť uvedenú v katológu výrobcu, pretože tieto kondenzátory sú vystavené teplu z výkonových elektróniek a trochu sa ohrievajú.

Treba tiež myslieť na to, že výstupné transformátory musia byť dostatočne vzdialené od sieťových transformátorov, aby sa zamedzilo neželanému indukovaniu sieťového brumu do výstupných transformátorov či obvodov samotného zosilňovača.

Zosilňovač môžete riešiť ako samostatný koncový zosilňovač alebo ako integrovaný zosilňovač s použitím regulácie hlasitosti či možnosťou prepínania viacerých vstupov. Ako reguláciu hlasitosti doporučujeme použiť kvalitný potenciometer (modrý ALPS) hodnoty 10K/N

Na stavbu zosilňovača používajte výhradne kvalitné značkové súčiastky!

V dnešnej dobe existuje viacero profesionálnych výrobcov skriniek na hifi prístroje. Najznámejšia a cenovo dostupná je asi firma modushop (Italy), ktorú aj mi doporučujeme. Výber je však samozrejme na každom jednotlivcovi podľa možností. Zosilňovač môže byť

prevedený ako čiastočne odkrytý alebo úplne uzavretý. V prvom prípade elektrónky, výstupné a príp. napájacie transformátory či veľké elyty sú odhalené na vrchnej strane skrinky. Toto riešenie je esteticky zaujímavé, avšak pri umiestňovaní zosilňovača treba brať väčší ohľad na zabezpečenie zosilňovača voči stretu s okolím. Druhá možnosť je zosilňovač spraviť komplet zakrytovaný. Hlavne pri zakrytovanom prevedení treba myslieť na to, že elektrónky sú dosť významný zdroj tepla, ktoré sa musí dostatočne odvádzať mimo vnútro zosilňovača. Povrchová teplota 6S33S dosahuje až 260 stupňov Celzia!

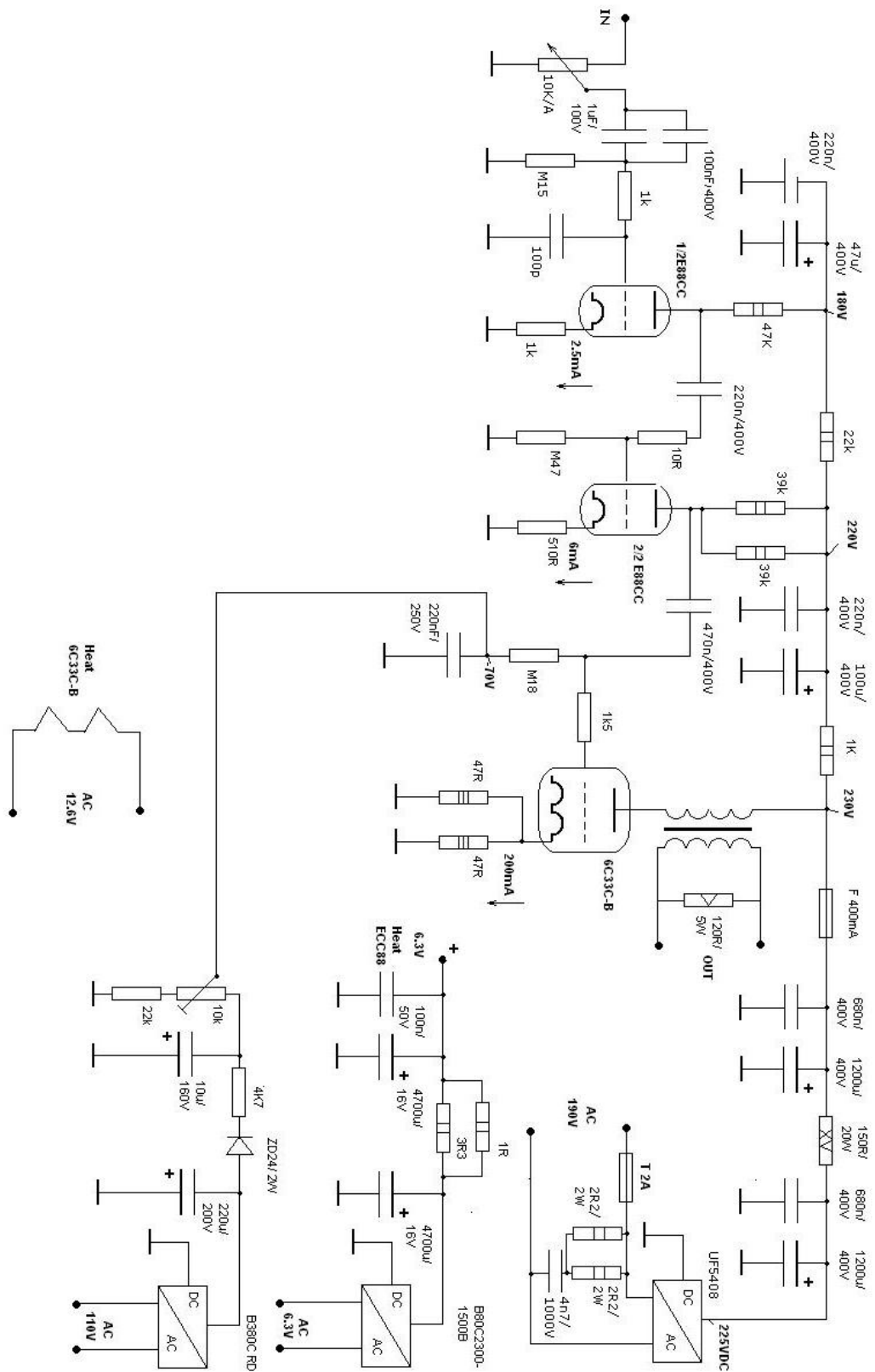
Nastavenie zosilňovača

Nastavenie zosilňovača spočíva vlastne iba v nastavení pracovného bodu 6S33S tak, aby pracovala v triede A a využili sme jej výkonový potenciál. Pri správnom nastavení tečie elektrónkou pri napätí $U_a=220V$ prúd $I_a=200mA$. Na elektrónke máme potom výkonovú stratu $P_{tot}=44W$ Výstupný výkon je potom cca 15W. Pri väčšej výkonovej strate začne výrazne klesať životnosť výkonovej elektrónky! Pracovný bod elektrónky má tendenciu „uchádzať“ a môže spôsobiť až preťaženie a poškodenie elektrónky! Vyšší kľudový prúd alebo vyššie anódové napätie teda nie je želané. Kľudový prúd sa nastavuje trimrom 10K. Meria sa ako úbytok napätia na katódových odporoch 6S33S. Pri nastavení môže vzniknúť problém, že nám nebude dostačovať regulačný rozsah trimra. Potom je nutné vymeniť Zenerovu diodu 24V za inú hodnotu, podľa toho, ktorým smerom nás regulácia nepustí. Pokiaľ by bol kľudový prúd nižší, treba vymeniť Zenerovu diódu za hodnotu na vyššie napätie, t.j 36V, príp 42V. Sériový odpor 4k7 zväčšíme potom na 10k. Pri vyššom kľudovom prúde postupujeme opačne. Pokiaľ by bolo vysoké či nízke anódové napätie na výkonovej elektrónke, môže sa mierne zmeniť hodnota rezistoru vo filtračnej časti zdroja. Tá by mala byť 150R pri použití doporučeného transformátora.

Záver

Jednočinný zosilňovač 6C33C SEA patrí medzi vysoko kvalitné zosilňovače. Jeho devízou je čistý, neutrálny zvuk a vynikajúce priestorové zobrazenie hudobnej scény. Jeho nevýhoda je menší výkon, preto je vhodné používať k nemu skôr reprosústavy s vyššou citlivosťou, t.j. aspoň 87dB.

Schéma zapojenia:



Schema zapojenia 6C33C SEA

Zoznam súčiastok:

Zoznam súčiastok pre koncový zosilňovač 6C33C-B SE (pre oba kanály)	
Rezistory	
1R /2W	2ks
2R2 /2W	2ks
3R3 /2W	2ks
47R /3W	4ks
150R /20W drôtový keramiký s veľkým telieskom kvôli vysokým záťažovým špičkám	2ks
120R /5W drôtový keramiký	2ks
2k2 /2W	2ks
22k /2W	2ks
39k /2W	4ks
47k /2W	2ks
M47 /2W	4ks
10R /0,6W	2ks
470R/ 0,6W	2ks
1k /0,6W	4ks
1k5 /0,6W	2ks
4k7 /0,6W	2ks
22k /0,6W	2ks
M15 /0,6W	2ks
M18 /0,6W	2ks
M47 /0,6W	2ks
10K trimer na 64Y viacotáčkový cermetový	
Kondenzátory	
47uF /400V elektrolytický 105C	2ks
100uF /400V elektrolytický 105C	2ks
4700 /16V elektrolytický 105C	4ks
220uF /200V elektrolytický 105C	2ks
10uF /160V elektrolytický 105C	2ks
220nF /400V MKP WIMA	6ks
100nF /400V MKP WIMA	2ks
100pF /100V MKP WIMA	2ks
2,2uF /100V MKP WIMA	2ks
33nF /100V MKP WIMA	2ks
100nF /50V keramika	2ks
470nF /400V MKP WIMA	2ks
680nF/ 400V MKP WIMA	4ks
1200uF/350V elektrolytický Siemens, EPCOS vid' text	
4,7-10nF/ 1000V FKP2 WIMA	2ks
Polovodiče	
UF5408	8ks
B80C2300-1500B	2ks
B380C RD	2ks
ZD 24V, 2W ,vid'. Text	2ks
Iné súčiastky	
F 400mA	2ks
T 2A	2ks
Tr audio prevedenie, tep. poistka, prim 230V/210VA sek1 190V/0,6A sek2 12,6V/6A sek3 6.3V/1A sek4 110V/0.1A	2ks
OTR-20W-2 výstupný transformátor INDEL, vid' text	2ks
Elektrónka 6S33S alebo 6S33S-V+ päťica	2ks
Elektrónka ECC88 alebo E88CC+ päťica	2ks

