

NF ZOSILŇOVAČ

M50-2



maduda.radoslav@gmail.com

ÚVOD

Po odskúšaní si rôznych jednoduchých verzií NF zosilňovačov v diskretnom prevedení som sa odhodlal na niečo vlastné. Aj keď som nič nové v podstate nevymyslel, dospel som k uspokojivým výsledkom, o čom svedčia aj samotné merania. Teraz ponúkam možnosť podeliť sa o nadobudnuté vedomosti počas stavby tohto modulu. Modul mi bol nápomocný pri overovaní si funkcie prúdovej poistky (teória – prax). Čerpal som z kníh Audio Power Amplifiers Design Handbook od Douglasa SELFA a Design Audio Power Amplifiers od Boba CORDELLA. Overil som si funkciu prúdovej poistky a jednotlivých častí zosilňovača, zmeral som pracovné body (prúdy a napätia). Teoretické znalosti som potom porovnával s reálnymi výsledkami a meraniami. Po takmer 2 rokoch fungovania a laborovania predkladám plne funkčné zapojenie, ktoré je možné ďalej zdokonaľiť, upraviť si ho podľa vlastných potrieb (dorobiť zdroj, DC ochrany, a pod.) alebo iba používať ako plnohodnotný NF zosilňovač s výkonom 50W RMS a popri prípade tak zužitkovať staršie zásoby polovodičov.

POPIS ZAPOJENIA

Vstupný NF signál, privedený na dvojpinový konektor J1 (MOLEX) prechádza kondenzátorom C1, ktorý slúži na jednosmerné oddelenie zosilňovača od predchádzajúceho stupňa. Rezistor R1 spolu s kondenzátorom C2 tvoria dolnopriepustný filter, chrániaci zosilňovač pred prienikom VF signálu (rádiový signál) do obvodu. Rezistor R2 tvorí vstupnú impedanciu a jeho hodnota môže byť v rozsahu od 15k do 47k. Tranzistory T1 a T2 tvoria diferenčný zosilňovač. Tieto tranzistory je vhodné spárovať na čo najzhodnejšiu betu (jednosmerný prúdový zosilňovací činiteľ h_{21e}). Trimer R23 slúži na vynulovanie DC offsetu na výstupe zosilňovača. Prijateľná hodnota je 20-30mV. Pri párovaní všetkých tranzistorov (aj koncových) je možné dosiahnuť offset iba pár mV. Na trimeri R23 a rezistore R3 sa prechodom prúdu vytvára úbytok napätia, ktorý sa zosilňuje v ďalšom stupni (VAS) tranzistorom T4. Aby nebolo potrebné merať U_{ce} použitých tranzistorov, rozhodol som sa pre maximálne napájacie napätie zosilňovača +/- 32V. Nedôjde tak k prekročeniu žiadneho katalógom udávaného parametra tranzistora. Transformátorov so sekundárnym napätím 2x24V prípadne 2x25V je na trhu dostatok v širokej výkonovej škále. Pre dosiahnutie výstupného výkonu cca 50W RMS je takýto transformátor dostatočný (ja som nameral výkon až 90W na 4R s transformátorom 2x25VAC/120VA). Samozrejme, že výstupný výkon je ovplyvnený aj tvrdosťou zdroja (dimenzovanie výkonu transformátora, použitie dostatočnej kapacity filtračných kondenzátorov a pod.).

Zdroje prúdu (T3,5) pre diferenčný zosilňovač (T1,2) a VAS (T4) majú spoločnú napäťovú referenciu - zelenú LED diódu. Prúd LED diódou je nastavený na 1mA (podľa odporúčania v uvedenej literatúre). Na pozíciu LED1 je potrebné osadiť takú zelenú LED diódu, na ktorej vznikne pri prúde 1mA úbytok napätia 1,75V. Túto hodnotu je potrebné dodržať čo najpresnejšie - sám som si meraním overil, že tento parameter dosť kolíše (od 1,45 do 1,9V).

Diódy je možné merať dvomi spôsobmi. Ja som do série s LED diódou zapojil 100 ohmový rezistor a na tomto rezistore som meral úbytok napätia, pri súčasnom zvyšovaní napätia na zdroji. Nameraný úbytok napätia na rezistore 100mV znamená, že diódou preteká presne 1mA. Následne som zmeral napätie na LED dióde. Jednoduchším spôsobom je priame meranie napätia na LED v obvode s konštantným napätím. K LED dióde pripojíme do série rezistor 10k a tento obvod napájame zo stabilizovaného zdroja 12V.

Prúd diferenčným zosilňovačom je nastavený na 4mA. To znamená, že každým tranzistorom T1 a T2 tečie prúd 2mA. Hodnotu R4 je potrebné dodržať čo najpresnejšie.

Na stabilizáciu kľudového prúdu zosilňovača je použité zapojenie amplifikovanej diódy, častejšie nazývané násobič U_{be} , tvorené tranzistorom T6 a rezistormi R9, R11 a trimrom R10. Trimrom R10 nastavíme kľudový prúd zosilňovača nasledovne:

- 1) Tí, ktorí majú doma osciloskop a generátor – zapnite zosilňovač a nechajte ho zahriať na pracovnú teplotu. Čím väčší chladič, tým to bude trvať dlhšie. Na vstup pripojte signál 10kHz s amplitúdou 50mV. Na výstup pripojte osciloskop. Prechodové skreslenie odstráňte otáčaním trimru R10.
- 2) Tí, ktorí nemajú generátor a osciloskop, nech nastaví kľudový prúd na 60-65mA meraný ampérmetrom na mieste poistky F1

Paralelne k násobiču U_{be} je pripojený kondenzátor C13, ktorého kapacita môže byť od 100nF do 1μF bez zmeny parametrov. Tento kondenzátor zlepšuje dynamické chovanie zosilňovača a je v prevedení MKT (fóliový).

Tranzistory T7 a T8 tvoria prúdovú (protiskratovú) poistku. Toto zapojenie používa väčšina zosilňovačov. Na emitorovom rezistore R19 sa sníma veľkosť úbytku napätia, ktoré je závislé od prúdu pretekajúceho koncovým tranzistorom. V okamžiku kedy veľkosť tohto úbytku dosiahne cca 0,65V, dôjde k otvoreniu tranzistora T7, čo následne spôsobí „vyskratovanie“ budenia tranzistora T9 (cez oddeľovaciu diódu D1). Tranzistor T9 sa uzavrie a následne aj T11, čím dôjde k poklesu prúdu koncovým tranzistorom. Kondenzátor C8 slúži na časové oneskorenie, aby prúdová poistka nereagovala na krátkodobé špičky signálu a nespôsobovala skresľovanie signálu. Rezistor R13 spolu s D3 posúva oblasť záberu prúdovej poistky a kopíruje SOA charakteristiku použitého koncového tranzistoru. Podobný typ prúdovej poistky nájdete v spomínanej literatúre (spolu s ďalšími - zložitejšími) pod názvom Single-Slope.

Kondenzátory C10 a C11 sú blokovacie. Rezistory R19 a R20 sú na zaťaženie 5W. Nepoužívajte biele kocky v keramickom puzdre (GME), nakoľko im pri impulznom zaťažení môže prasknúť teliesko. Mnou použité tenké 5W rezistory (na obrázku) sú vhodné na impulzné zaťaženie (viď datasheety

spomínaných rezistorov). Diódy D5 a D6 sú rekuperačné a slúžia na orezanie nežiaducich napäťových špičiek, vznikajúcich pri práci zosilňovača do indukčnej záťaže (cievka reproduktora + tlmivka). Na menšie výkony plne postačuje dióda 1N4007. Na výstupe zosilňovača je použitý Boucherotov člen (R22 a C12). Ten predstavuje skrat pre nežiadúce frekvencie v nadakustickom pásme. Ďalej sa na výstupe nachádza cievka L1 a paralelne k nej zapojený rezistor R21, ktorý znižuje jej akosť (Q). Odporúčam nevkladať tento rezistor do vnútra cievky – kovový materiál použitý pri výrobe rezistora by sa mohol v cievke uplatňovať ako jadro, čím by dochádzalo k skresleniu výstupného signálu v závislosti od prechádzajúceho prúdu.

Na ochranu zosilňovača sú v napájaní použité dve rýchle poistky 3,15AF. Počas testov zosilňovača (pri hraničných prevádzkových podmienkach) pri budení sínusovým signálom do záťaže 4 ohmy došlo k pretaveniu 2,5AF poistky, preto som použil 3,15AF (pri max výkonoch s frekvenciou 50kHz nevydržali ani tie). V bežnej prevádzke je plne dostačujúca aj hodnota 2,5AF, pri ich použití sa iba zvýši rýchlosť reakcie na prípadný skrat na výstupe zosilňovača.

Napájacie a výstupné konektory som použil typu Faston 0,8x6,3mm (priame do DPS). Je to jednoduchý, výkonný, lacný konektor, ktorý má malý prechodový odpor, vysokú prúdovú zaťažiteľnosť a dobrú mechanickú pevnosť i odolnosť.

TOPOLOGIA DPS

Snažil som sa používať čo najkratšie spoje a zbytočne ich „nekrútiť“. Zemnenie je vedené do jedného bodu, čo pomáha eliminovať vznik prípadných zemných slučiek. Spätnoväzobný rezistor, Boucherotov člen, cievka a R21 sú vyvedené do spoločného bodu tak ako sa to odporúča v literatúre. Na základe kladného ohlasu na moje dávnejšie zverejnené konštrukcie, som aj v tomto zapojení použil väčšie pady ako býva zvykom. Pady s priemerom 2,54 mm uľahčujú prácu (spájkovanie) najmä začiatovníkom a menej šikovným. Poistkové púzdro má rozteč pinov 22mm.

Koncové tranzistory sú použité v puzdre TO247. Z takto veľkého puzdra sa lepšie odvádza teplo, je robustnejšie a lepšie znáša krátkodobé ale aj dlhodobé tepelné namáhanie. V mojom prípade som použil zásoby 2SC5200/2SA1943. Budiče a koncové tranzistory sú prichytené na spoločnom chladiči spolu s tranzistorom T6, slúžiacim na snímanie teploty koncových tranzistorov. S obľubou na tomto mieste používam púzdro TO126 v celoplastovom prevedení, zjednoduší sa tým manipulácia - netreba používať sľudové podložky. Trošku pomalšia odozva/reakcia na zmenu teploty v takomto zapojení vôbec nevádi. Prevod tepla na chladič zaobstaráva hliníkové L-ko. Odporúčam použiť s hrúbkou minimálne 4mm! Ani samotné L-ko nestačí na uchladenie zosilňovača. Celkový rozmer DPS je 9,4x9,6cm. Vznikol tak malý kompaktný 50-80W zosilňovač.

POUŽITÉ SÚČIASTKY

Zámerne som použil fotku, na ktorej je vidno modul osadený tým, čo som našiel doma. Z meraní vyplýva, že zosilňovač pracuje korektne a je tak možné dosiahnuť relatívne veľa kvalitnej muziky za málo peňazí. Celý modul ma stál asi 2€, nakoľko som takmer všetko potrebné mal doma (určite nie som jediný s takýmito zásobami).

ZDROJ

Dôvody pre použitie transformátora so sekundárnym vinutím 2x24V poprípadе 2x25V som uviedol vyššie. Vzhľadom na účinnosť zosilňovača v triede AB cca 60 %, odporúčam použiť transformátor s príkonom aspoň 100VA pre jeden kanál. Pre dualmono alebo stereo verziu buď dva samostatné 100VA transformátory, alebo ak jeden spoločný, tak s príkonom aspoň 200VA. Je možné použiť toroidné alebo transformátory typu EI. Výhody toroidného transformátora sú jeho nižšia hmotnosť, rozmery, je tvrdším zdrojom napätia a má menšie rozptylové elektromagnetické pole, je však v porovnaní s transformátorom EI drahší.

Filtračné kondenzátory odporúčam s kapacitou 2x10mF minimálne na 40V na kanál (v stereo verzii teda 4x10mF). V krajnom prípade postačí aj 2x4,7mF na kanál. Viac určite neuškodí a prejaví sa to na dynamike zvuku.

Ako vhodný usmerňovací mostík je dobré použiť „kocku“ 35A. Možno sa niekomu bude zdať, že je to zbytočne veľká hodnota, no treba počítať s veľkými nabíjacími prúdmi pri zapnutí transformátoru.

CHLADENIE

Je možné použiť pasívne, alebo aktívne. Ja osobne som za použitie pasívneho chladenia. Takýto výkon sa dá uchladiť bez problémov. Aktívne chladenie iba ruší okolie hukotom ventilátora, zanáša do konštrukcie prach a víri ho v blízkom okolí zosilňovača. Dimenzovanie chladiča je závislé od veľkosti nastaveného kľudového prúdu koncovými tranzistormi a od toho, ako budeme zosilňovač používať/zatážovať. Ten, kto bude používať 4 ohmové reproduktory, bude potrebovať lepšie chladenie, lebo zosilňovač bude pracovať s vyššími prúdmi. Nebudem sa zaoberať podrobným popisom vypočítania veľkosti chladiča. Na internete je takýchto návrhov dostatok, kto chce nájde. Moje odporúčanie je, aby tepelný odpor chladiča nebol viac ako 3°C/W alebo 3K/W. Menej byť môže, nie však viac. Takýto chladič bude plne dostačujúci aj pre najvýkonnejší variant. Všetky tranzistory je nutné izolovať od chladiča a použiť sľudové alebo teflónové

podložky. Styčné plochy potrieť teplovodivou pastou. Kto sa rozhodne používať zosilňovač ako 100W, odporúčam chladič s teplotným koeficientom $1,5^{\circ}\text{C}/\text{W}$.

OŽIVENIE

Ideálnou pomôckou pri oživovaní je symetrický regulovateľný zdroj s prúdovou poistkou. Kto takúto možnosť nemá, nech použije autotransformátor. No a tomu, kto nemá ani takúto možnosť, odporúčam použiť namiesto poistiek 20-30 ohmové rezistory na zaťaženie aspoň 5W. V prípade nesprávneho osadenia väčšinou tieto rezistory zachránia oživované zariadenie. Pred prvým zapojením treba opticky skontrolovať DPS na prípadné cínové mostíky, správnosť osadenia súčiastok, ohmicky skontrolovať, či sú všetky tranzistory odizolované. Zosilňovač začne fungovať od napätia cca $\pm 10\text{ V}$, samozrejme že s malým výkonom. Pred prvým pripojením zosilňovača k napájaciemu zdroju je potrebné nastaviť trimmer R10 na čo najväčší odpor. Ak je odber menší ako 60mA, je pravdepodobné, že zosilňovač funguje správne. Teraz môžeme vybrať ochranné rezistory a zapojiť poistky. Kľudový prúd nastavíme podľa postupu uvedeného vyššie. Potom skontrolujeme DC ofset na výstupe a prípadný rozdiel doladíme trimrom R23. Následne je zosilňovač pripravený na prevádzku a používanie. Kto chce môže skontrolovať funkciu prúdovej poistky, ale odporúčam robiť to na zdroji s obmedzením prúdu, alebo za pomoci autotransformátora. V prípade chybného osadenia to pravdepodobne nevydržia koncové tranzistory.

NAMERANÉ HODNOTY

Zosilnenie: 24x

Výkon: 90W_{rms} pri 4R

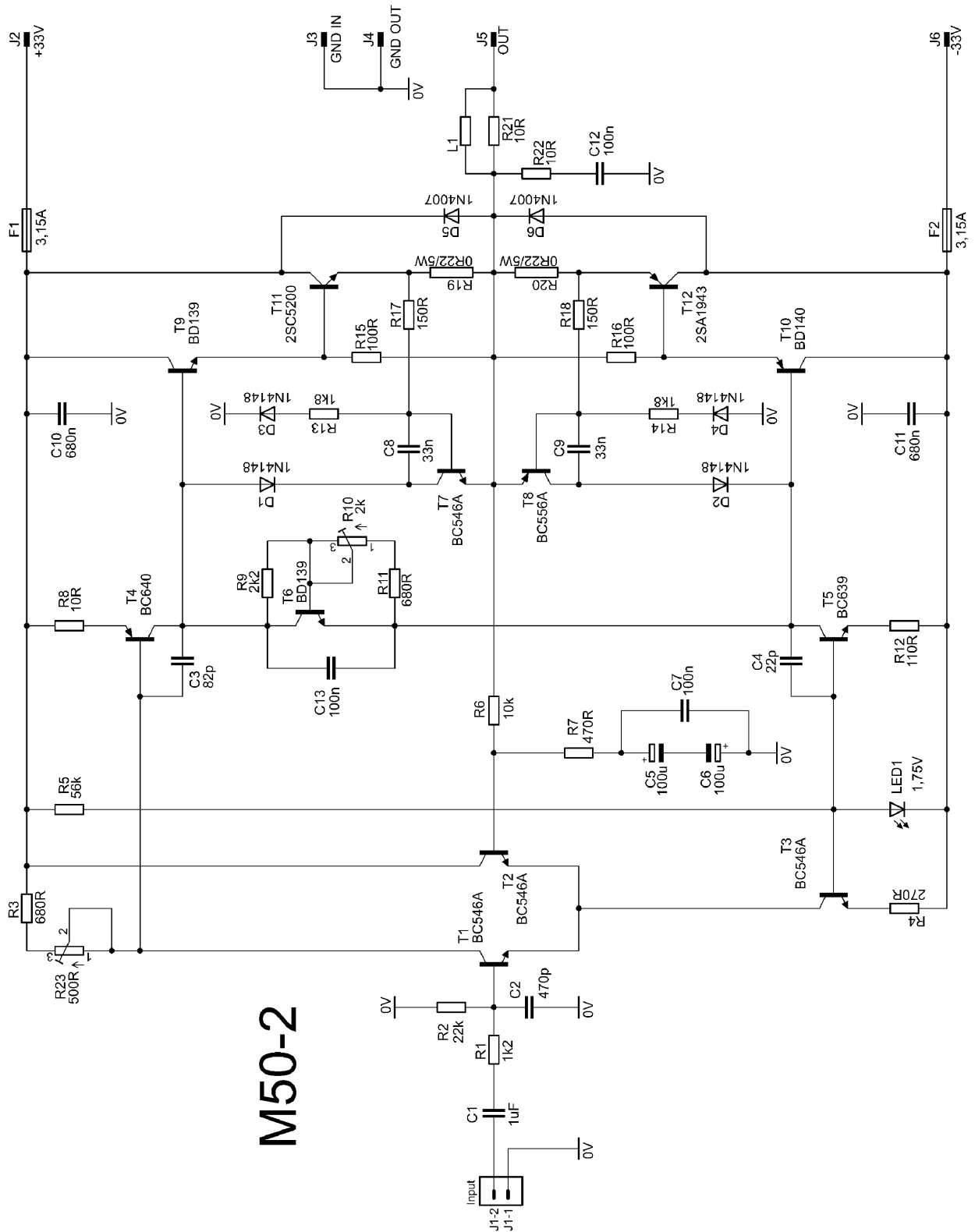
SR: 22V/ μs

Vstupná citlivosť: 750mV RMS

ZÁVER

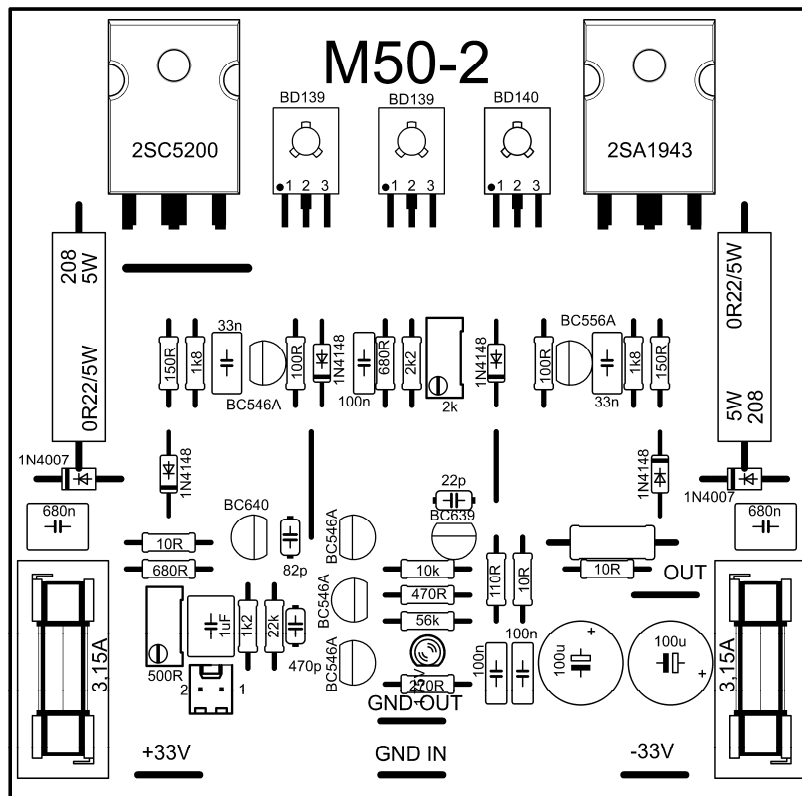
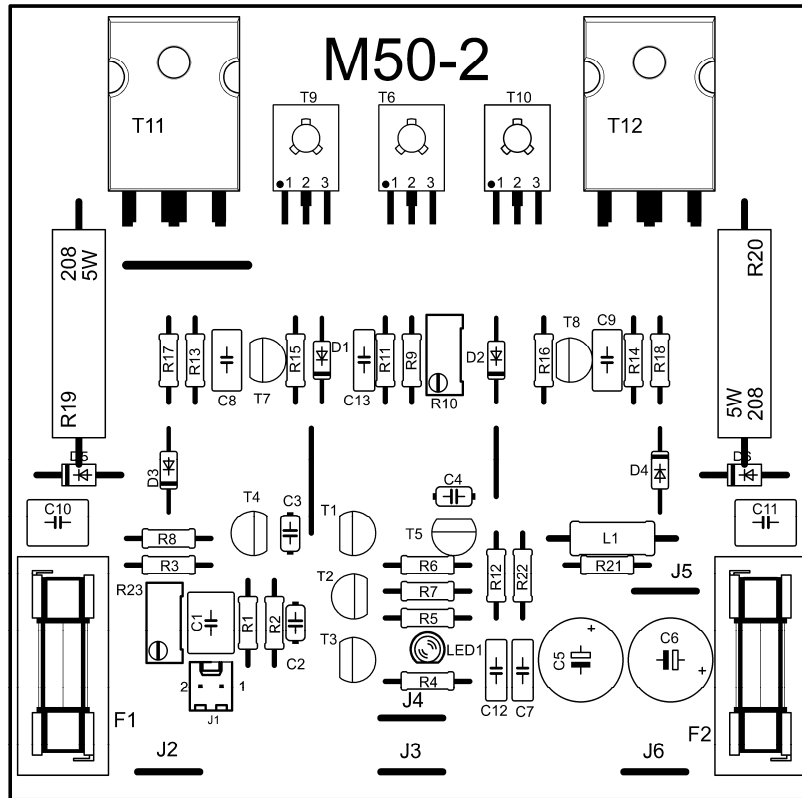
Týmto modulom som chcel ukázať, že sa aj za málo peňazí dá postaviť zosilňovač slušných parametrov. Kto chce, môže ďalej laborovať, skúšať, upravovať si zapojenie, alebo iba používať. Chcem sa poďakovať môjmu kamarátovi (on vie o koho ide) za poskytnutie literatúry a „obkec okolo“. Dúfam, že so zapojením nebudete mať žiadne problémy a všetko bude fungovať na prvé zapojenie, tak ako mne.

Schéma zapojenia

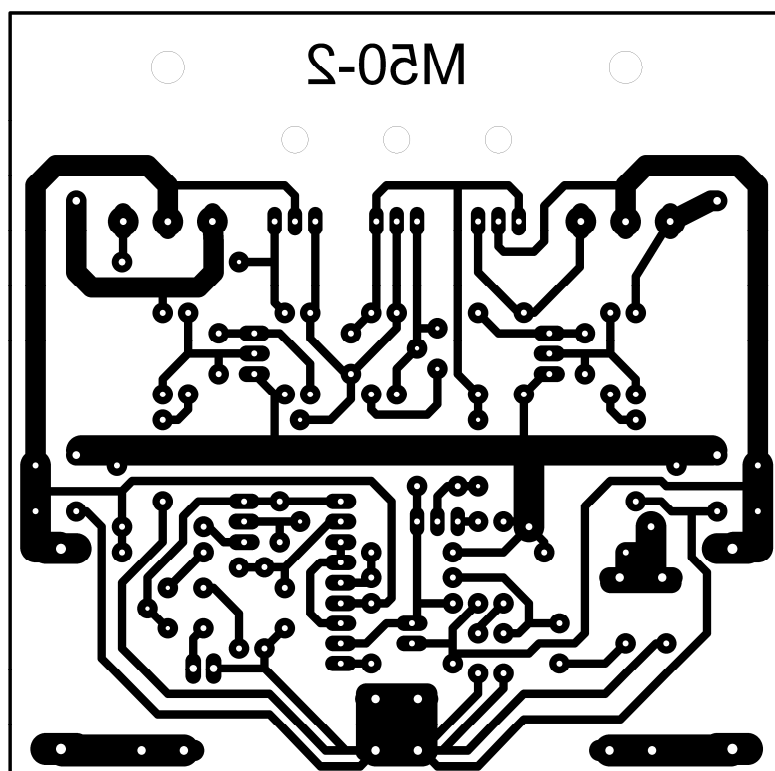


M50-2

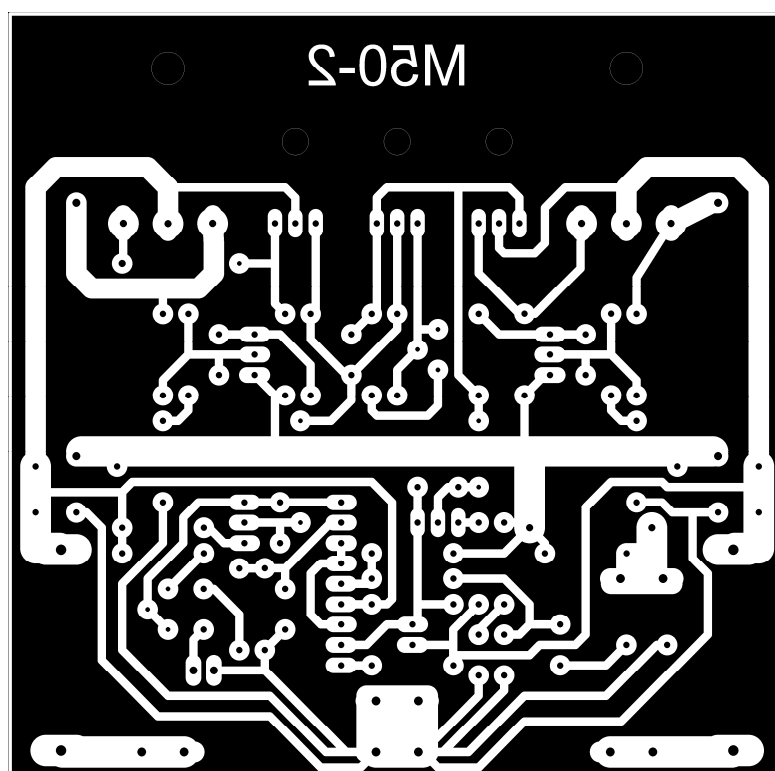
Osadenie DPS



Predloha pozitív 1:1



Predloha negatív 1:1



Meranie

Podmienky merania:

generátor: UNI-T UTG9003C

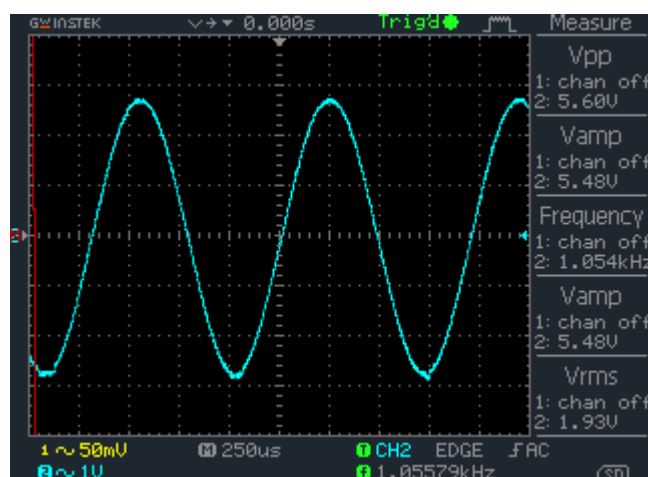
osciloskop: GDS 1022

sonda: X/10

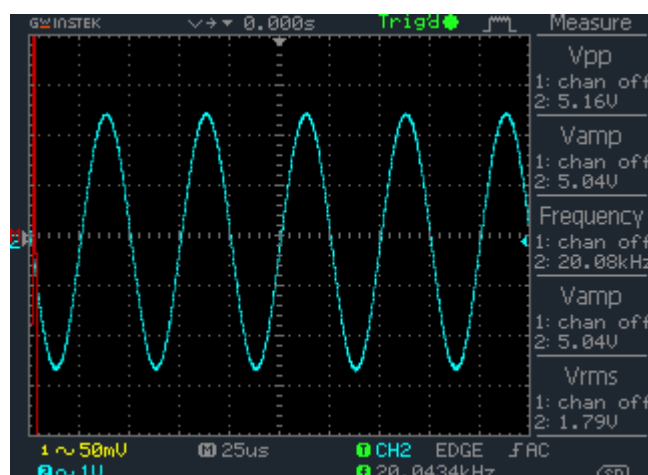
zát'az: 4R/200W

napájanie: 2x25VAC/120VA toroidný transformátor

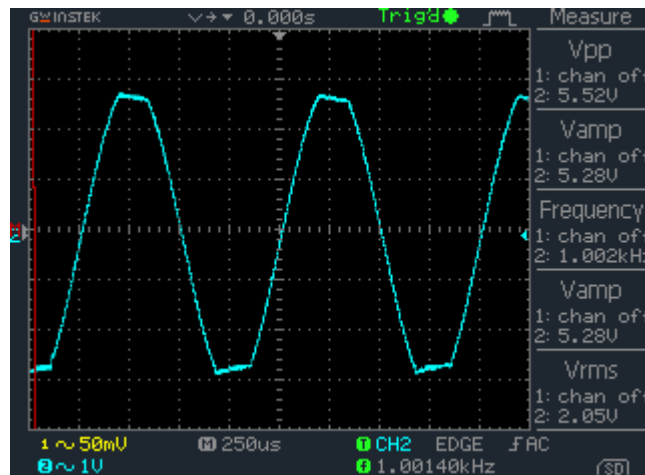
filtrácia: 2x10mF



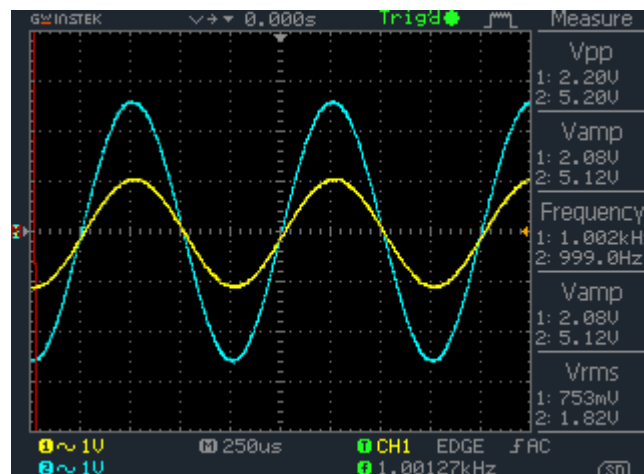
$$56V_{pp} = 19,3V_{rms}$$
$$93W_{rms} / 4R / 1kHz$$



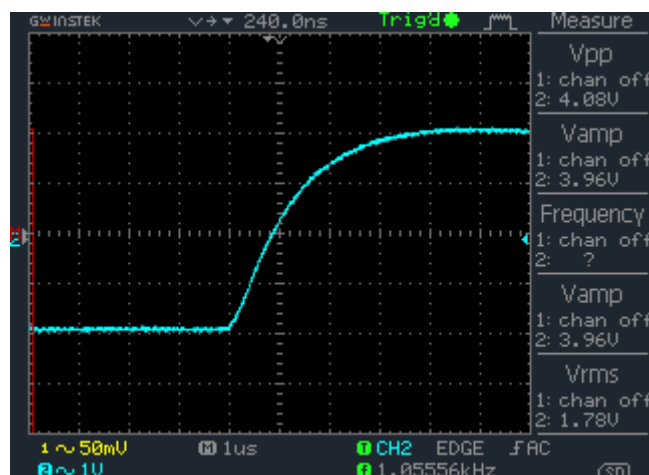
$$51,6V_{pp} = 17,9V_{rms}$$
$$80W_{rms} / 4R / 20kHz$$



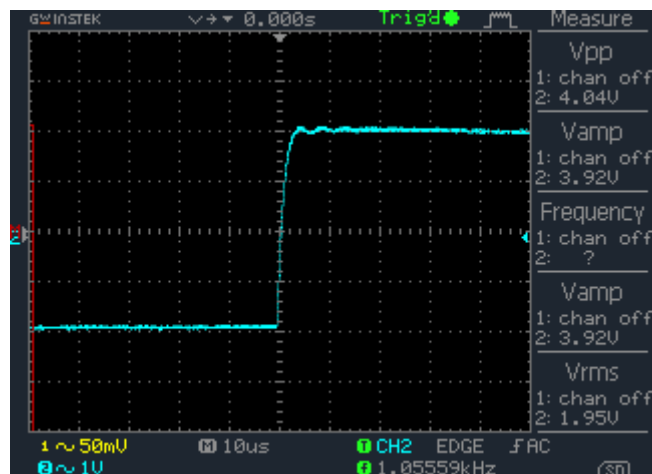
$55,2V_{pp}=20,5V_{rms}$
Symetrická limitácia pri 4R a 1kHz



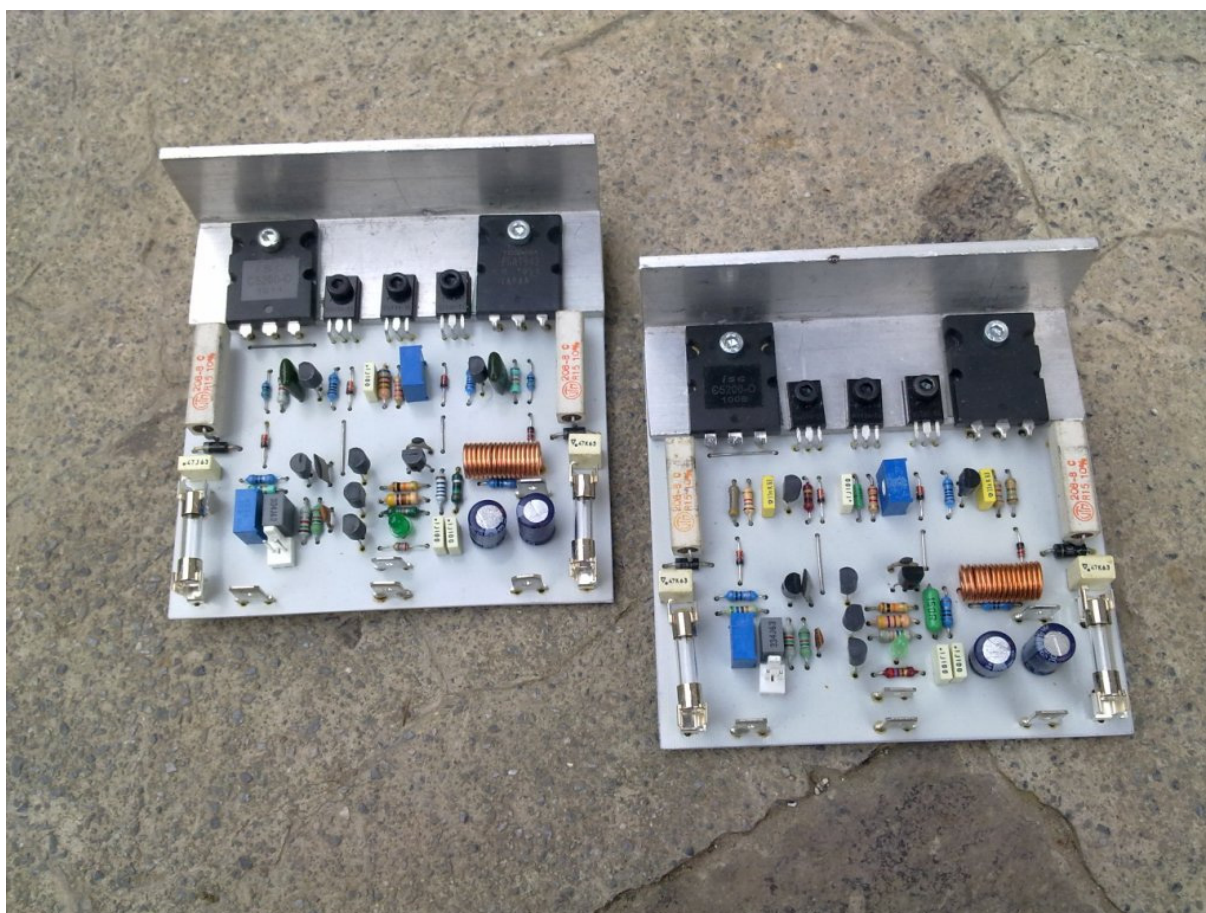
Porovnanie vstupného a výstupného signálu



$SR=22V/\mu s$



Detail hrany obdĺžniku pri výkone 95W/4R



Zoznam súčiastok

počet ks		označenie	hodnota	RM	typ	poznámka
mono	stereo					
1	2	R1	1k2	10	0207	
2	4	R3, R11	680R	10	0207	
1	2	R4	270R	10	0207	
1	2	R5	56k	10	0207	
1	2	R6	10k	10	0207	
1	2	R7	470R	10	0207	
3	6	R8, R21, R22	10R	10	0207	
1	2	R9	2k2	10	0207	
1	2	R12	110R	10	0207	
2	4	R13, R14	1k8	10	0207	
2	4	R15, R16	100R	10	0207	
2	4	R17, R18	150R	10	0207	
2	4	R19, R20	0R22	22	5W	
1	2	R10	2k		64Y	trimer viacotáčkový
1	2	R23	500R		64Y	trimer viacotáčkový
1	2	R23	15-47k	10	0207	viď text
1	2	C1	1uF	5	MKT	
1	2	C2	470pF	5	MKT	
1	2	C3	82pF	5		keramický na 500V
1	2	C4	22pF	5		keramický na 500V
2	4	C5, C6	100uF	5	Ø10	elektolit min. na 35V
2	4	C7, C12	100nF	5	MKT	min. na 50V
2	4	C8, C9	33nF	5	5	min. na 50V
2	4	C10, C11	100-680nF	5	MKT	min. na 50V
4	8	D1, D2, D3, D4	1N4148	10		
2	4	D5, D6	1N4007	10		
1	2	Led 1	zelená	2,5	3mm	1,75V pri 1mA
4	8	T1, T2, T3, T4	BC546A		TO92	
1	2	T8	BC556A		TO92	
1	2	T5	BC639		TO92	
1	2	T4	BC640		TO92	
2	4	T6, T9	BD139		TO126	
1	2	T10	BD140		TO126	
1	2	T11	2SC5200		TO247	
1	2	T12	2SA1943		TO247	
1	2	J1	Molex			2 pinový
5	10	J2, J3, J4, J5, J6	FastOn			6,3x0,8mm
2	4	F1, F2	3,15A			rýchla
2	4	SHH		22		poistkový držiak
1	2	L1	15 závitov	trn	Ø6mm	drôt Ø0,8mm