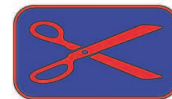


Nf zesilovač 200 W s komplementárními tranzistory

VYBRALI JSME NA



OBÁLKU

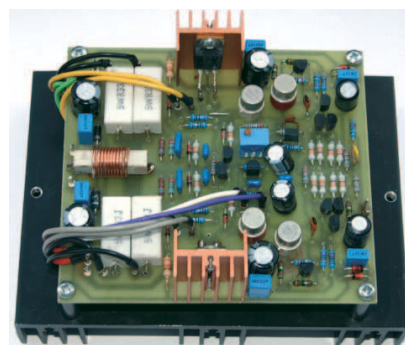
M. Leach; V. Voráček, OK1XVV

Na internetové adrese www.users.ece.gatech.edu/~mleach/lowtim jsem našel celkem propracované schéma a podrobný popis vyzkoušeného (studenty) nf zesilovače, který je vhodný pro amatérskou stavbu. Zesilovač může sloužit např. vestavěný v malém kombi, v odposlechovém monitoru, či v „domácí“ aktivní reproduktorové soustavě, několik těchto modulů lze použít třeba jako základ zesilovače k počítači nebo přehrávači DVD pro reprodukci vícekanálového zvuku. Jelikož se mi zesilovač osvědčil, předkládám s laskavým souhlasem autora zapojení M. Leacha čtenářům stavební návod, zkušenosti se stavbou a praktické výsledky.

Parametry zesilovače

Zesilovač (schéma na obr. 1) je moderně koncipován, používá plně symetrické a komplementární zapojení a poměrně rychlé polovodičové součástky. Není přehnaně složitý, a přesto (nebo právě proto) jsou jeho parametry velmi dobré - především rychlost přeběhu, výkonová šířka pásma a zkreslení. Nemá cenu je ani udávat, odpovídají současným standardům této kategorie

zesilovačů a vyhoví jistě všem. Zesilovač rozhodně nebude nejslabším článkem elektroakustické sestavy. Odstup signálu závisí hlavně na mechanické koncepci zesilovače - pokud použijeme promyšlenou konstrukci a toroidní síťový transformátor, brum jistě nebude v předpokládané aplikaci rušivý. Vstupní citlivost zesilovače pro plně vybuzení je asi 1,5 V a lze ji poněkud upravit změnou odporu rezistoru R19 bez nebezpečí vzniku oscilací.



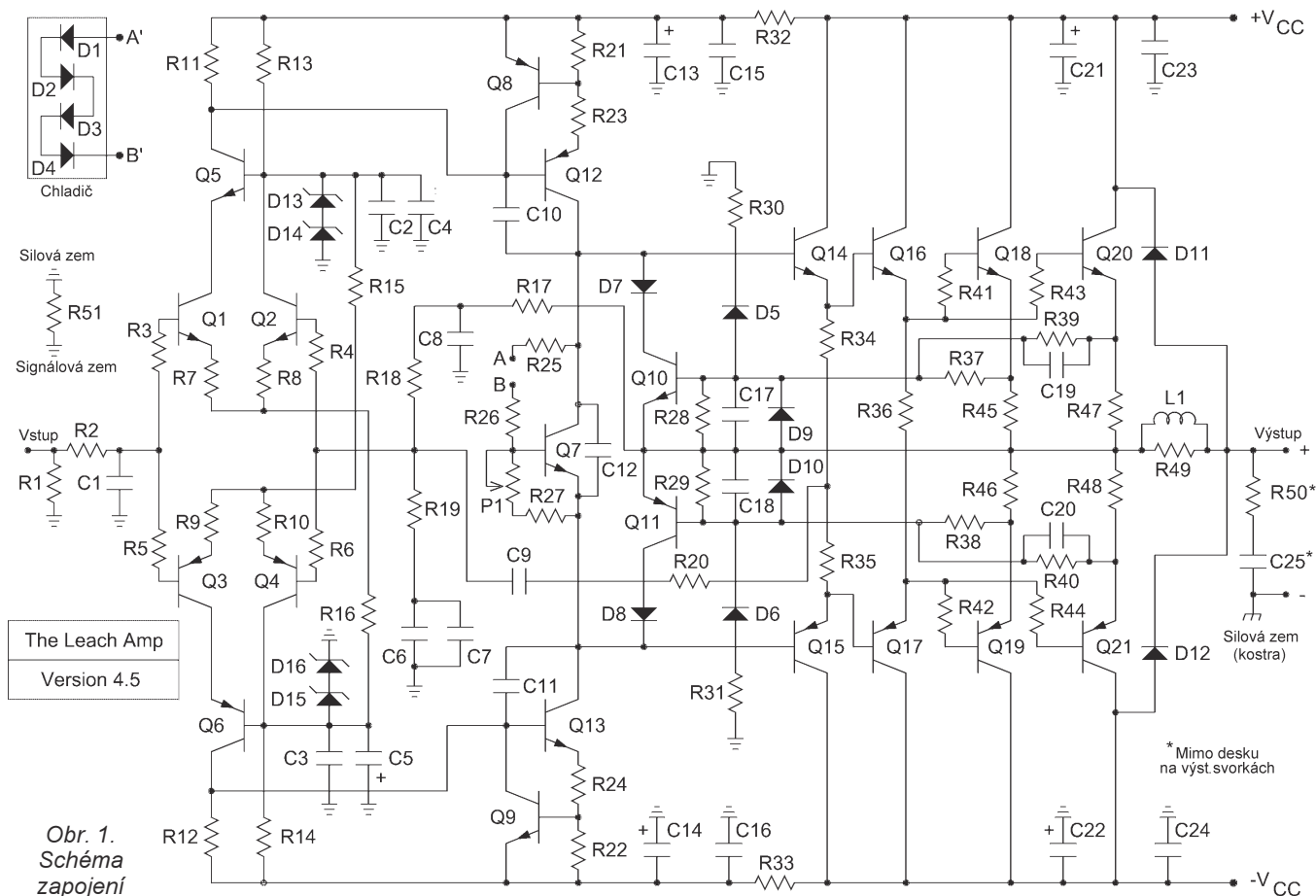
Dosažitelný výstupní výkon

Pro zesilovač je rozumné použít napájecí napětí maximálně $U_b = \pm 60$ V naprázdno. Podle „tvrlosti“ napájecího zdroje lze pak dosáhnout výkonu kolem 200 W/4 Ω nebo 160 W/8 Ω .

Výkon lze určit přibližně ze vzorce:

$$P = ((2 \times U_b - 10 \text{ V}) / 2,8)^2 : R_z,$$

kde U_b je skutečné napájecí napětí jedné větve při vybuzení zatíženého zesilovače a R_z je jeho zatěžovací impedance, 10 V je přibližný úbytek na tranzistorech a na emitorových rezistorch při plném vybuzení těsně před limi-



The Leach Amp
Version 4.5

Obr. 1.
Schéma
zapojení

taci. Samozřejmě je tato hodnota závislá na zatěžovací impedanci atd., avšak prakticky naměřené výsledky vzorci odpovídají s dostatečnou přesností.

Zesilovač má dobře vyřešeno snímání teploty chladiče a regulaci klidového proudu pomocí čtveřice sériově zapojených diod umístěných v otvorech chladiče s dobrým teplotním kontaktem. Přesto odpovídající chlazení koncových tranzistorů je samozřejmě nutností.

Pokud je modul zesilovače umístěn např. v reproduktorové soustavě, je vhodné připevnit chladič vně na její zadní stěnu. Když napájecí napětí snížíme, dosáhneme menšího výstupního výkonu. Nezapomeňte však, že výkon je závislý na druhé mocnině napětí. Proto např. při napájení ± 35 V lze dosáhnout výkonu jen asi 100 W do zátěže 4 Ω nebo 60 W do zátěže 8 Ω . Autor doporučuje při nižším napájecím napětí zmenšit odpor R13 a R14. Uvádí pro jejich výpočet vzorec:

$$R13 = R14 = (U - 38,2)/5,42;$$

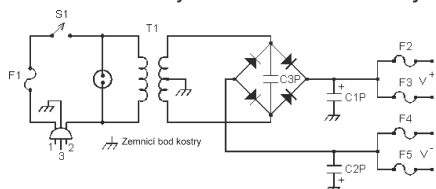
kde U je napájecí napětí jedné větve. Pak pro napájení 57,7 V vychází odpor rezistoru 3,6 k Ω . Myslím si však, že tak přesný výpočet patří spíše opravdu do školních lavic a hodnota $R13 = R14 = 2,2$ k Ω nebo 2,7 k Ω jistě vyhoví vždy. Vzorek zesilovače mi pracoval již od napájení asi ± 12 V, samozřejmě s malým výkonem.

Napájení zesilovače

Napájecí zdroj může být nejjednodušší se symetrickým výstupním napětím. Takže transformátor se sekundárním vinutím s odbočkou uprostřed, čtveřice diod nebo kompaktní můstkový usměrňovač a hlavně „pořádné“ filtrační kondenzátory. Schéma takového zdroje je na obr. 2.

Jako síťový transformátor je ideální toroidní typ s napětím asi 2x 42 V naprázdno pro výkon asi 200 W na jeden modul zesilovače. Lze si také nechat navinout primární vinutí nejen pro 230 V, ale i pro asi 280 V a tuto odbočku používat tehdy, když nepožadujeme plný výstupní výkon zesilovače. Ušetří se tak energie a zlepši spolehlivost.

Na filtračních kondenzátorech nešetřete, pro 2 kanály vyhoví 2x 10 000, raději však 2x 20 000 μ F/63 V, pro více kanálů 40 000 μ F/63 V i více. Víím, že je to spolu s transformátorem drahá záležitost, ale pátrejte po burzách, občas se něco najde z rozebraných zařízení. Ve velkých kondenzátorech je



Obr. 2. Schéma zapojení zdroje

pak dostatečná rezerva náboje nutná pro krytí špiček odběru při reprodukci např. elektronicky generovaných zvuků z PC a bicích nástrojů. Nabíjecímu proudu kondenzátorů musí odpovídat i dovolené impulsní proudové zatížení usměrňovače - používám můstkový usměrňovač pro proud min. 40 A. Možná, že ještě někdo sežene nebo má můstkové usměrňovače ČKD řady MU, v nich jsou použity systémy průmyslových diod pro stovky ampér, které proudový impuls určitě vydrží. Pokud zajistíme měkký start po zapnutí síťového spínače např. termistorem vhodným pro tyto účely nebo jiným zpožďovacím obvodem náběhového proudu, lze použít i menší usměrňovač a navíc při zapnutí zesilovače nebudou žárovky v bytě tak pohasínat.

Poznámky ke stavbě a k použitým součástkám

Zesilovač je postaven na jedné desce s plošnými spoji o rozměrech 97 x 107 mm (viz obr. 3). Koncové tranzistory jsou umístěny mimo desku, což je výhoda i nevýhoda. Výhoda, protože můžeme použít hotový předvrtaný chladič z nějakého přístroje a můžeme použít koncové tranzistory v různých pouzdrech. Nevýhoda, protože tranzistory musíme s deskou propojit drátovými propojkami (použijte vždy „licnu“ a propojky upevněte, jinak se dráty uklepují, vlastní zkušenost z profesionálního komba). Na desce jsou označeny příslušné připojovací body vývodů tranzistorů a diod D1 až D4. Úbytek napětí na sériově zapojených snímacích diodách D1 až D4 určuje klidový proud zesilovače. Proto musí být diody umístěny v dobrém tepelném kontaktu s chladičem a ve správné polaritě připojeny do bodů A a B na desce - další dva vodiče.

Výstupní článek RC R50 a C25 je umístěn přímo na výstupním konektoru - autor použil pérové kontaktní svorky. Lze použít i šroubovací (většinou zlacené) svorky nebo konektory Speakon atd. Zem desky je vyvedena dvakrát - výkonová u výstupu a signálová u vstupu, vzájemně jsou na desce propojeny přes rezistor R51. Je to obvyklá praxe u podobných zapojení a zmenší se tak vliv případné zemní smyčky. Vstupní zem je zapojena na vstupní konektor, na výkonovou zem je připojen do společného bodu střed napájení, výstupní konektor, výstupní článek RC, výkonová zem zesilovače a mechanická kostera zesilovače.

Deska s plošnými spoji je vytvořena metodou spojových čar, pájecí body pro součástky jsou v návrhu poměrně malé, což je bohužel dost častý (zlo)zvyk konstruktérů. Předpokládá to vrtání nejmenším možným vrtákem (max. 0,8 mm) a kvalitní materiál desky. Avšak autor pro některé kondenzátory použil dvojí rozteč vývodů, což dává větší volnost

při nákupu součástek. Na desce je jedna drátová propojka označená J, nezapomeňte na ní. Použité součástky jsou celkem běžné. Zenerovy diody jsou složeny ze dvou kusů po 20 V v sérii vzhledem k nedostatku diod pro 40 V v USA a možná i vzhledem k lepšímu rozložení tepla. Kondenzátor ve smyčce zpětné vazby C6 je správně složen ze dvou „antisériově“ zapojených kusů C6A a C6B asi 330 μ F, protože v USA nejsou asi snadno k sehnání ani bipolární kondenzátory. Kdo bipolární kondenzátor sežene a použije (kolem 220 μ F), musí propojit zbývající otvory pro polovinu C6 propojkou.

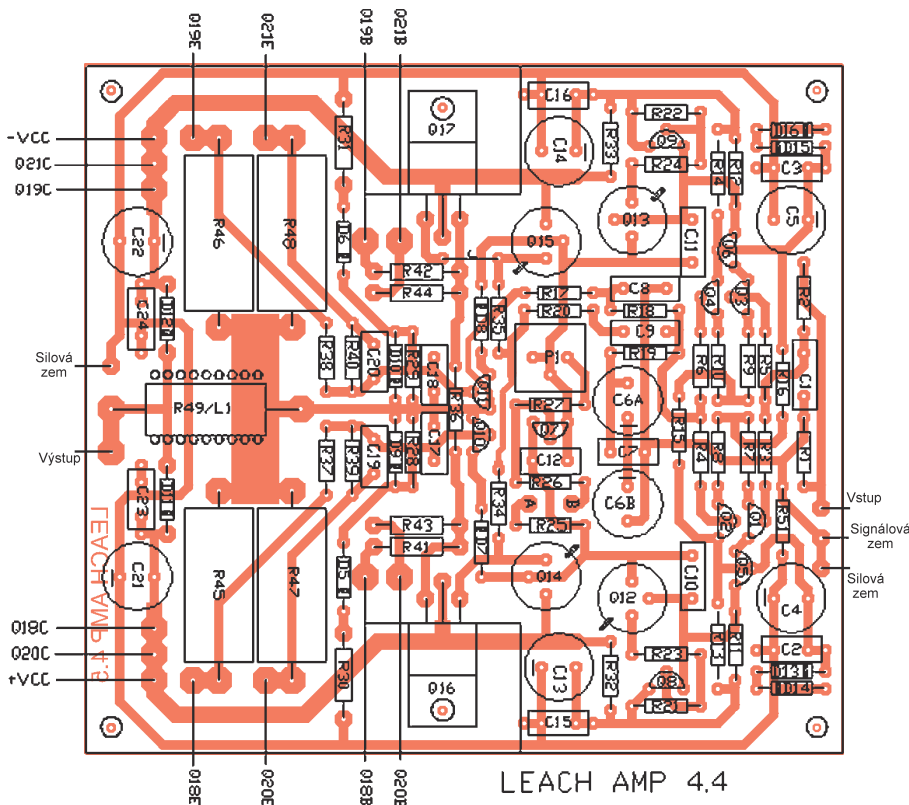
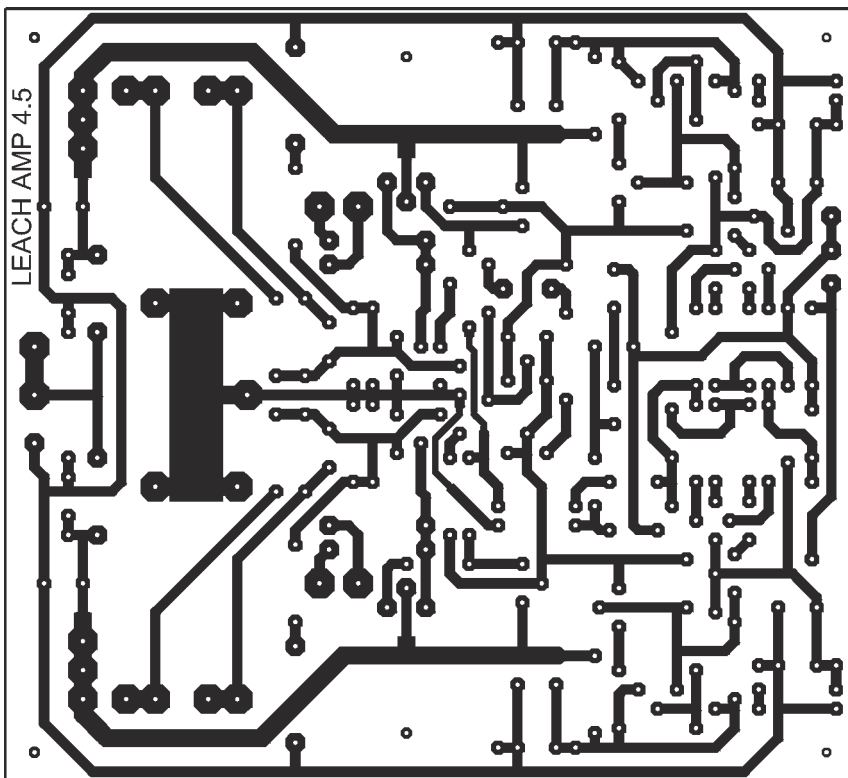
Pozor při případné náhradě tranzistorů v plastovém pouzdře TO92! Na pozici tranzistorů Q1 až Q11 použil autor u nás poněkud méně běžné typy řady MPSA... Ty však mají vývody orientovány jinak než v Evropě běžnější řady BC546 a 556, které jsou v podstatě jejich ekvivalenty. Pokud použijeme tranzistory řady BC, musíme vyhnout vývod báze opačně, než je na osazovacím plánu - do „protisměru“. Tranzistory řady BC jsou pak osazeny do desky „bříšky“ naopak.

Jako Q1, Q2, Q5, Q7, Q9 a Q10 lze použít třeba typ BC546B (nnp, 80 V, 0,1 A), jako Q3, Q4, Q6, Q8 a Q11 lze použít BC556B (pnp). Autorem použité a doporučené původní tranzistory MPSA06 a MPSA56 atd. má sice v katalogu např. GES, ale skladem v létě 2002 většinou nebyly. Pokoušel jsem se sice najít si čas pro úpravu spojové desky pro řadu BC, avšak méně práce dá asi koupit typy MPSA nebo použít BC a vývody ohnout.

Jako Q13, Q14 použijte opravdu předepsaný 2N3439 nebo 2N3440, podobně jako na pozici Q12 a Q15 2N5415 nebo 2N5416. Náhrada „bývalou“ řadou TESLA KF508/KF517 nebo KFY46/KFY18 svádí vzhledem ke shodnosti pouzdra, ale předpokládá to změnit závěrné napětí a vybrat typy s napětím U_{ce0} kolem 140 V. Mně se to ze zbytku šuplíkových zásob „káefek“ nepodařilo. Někteří tuzemští výrobci stavebnic zesilovačů mají asi štěstí větší, protože tranzistory KF ze zrušených skladů bývají v dodávaných sadách součástek.

Doporučené tranzistory 2N... však v prodejnách součástek občas bývají. I když asi ne vždy, neboť mám takovou zkušenost, že součástky, které se nepoužívají v počítačích nebo v mobilních telefonech, jsou mnohem hůře dostupné a relativně dražší. Jako by se na světě nevyrobělo nic jiného!

Ostatní tranzistory - buďče MJE 15030/31 a paralelně do dvojice spojené koncové MJ15003/1504 jsou celkem běžně dostupné. Jako koncové tranzistory jsem do vzorku použil typy MJ15022 a MJ15023, protože jsem je měl v „šuplíku“. Určitě lze použít i jiné typy, ale dodržte závěrné napětí U_{ce} min. 140 V, proud kolektoru 10 A a



Obr. 3. Deska s plošnými spoji

více a pouzdro schopné uchládit systém. Koncové tranzistory jsou poměrně drahé, proto při oživování dejte pozor a před osazením raději všechny součástky změřte a spoje zkontrolujte! Budiče Q16 a Q17 jsou podle doporučení autora umístěny na chladiči, který je upevněn přímo na desce. Použil jsem téměř dokonale odpovídající typizovaný chladič označený V7142A a s ním jsou tranzistory za provozu téměř studené.

Tranzistory Q12 až Q15 v kovovém pouzdru poněkud hřejí, ale osazovat je chladičem není nutné a vzhledem k nedostatku místa nelze ani standardní chladič použít. Pozor při testování teploty prstem - tranzistory „tloučou“!

Zato na chladiči koncových tranzistorů nešetřete! Pokud nevdá hluk ventilátoru (např. v kombi), můžete jeho použitím ušetřit rozměry a hmotnost chladiče. Na chladič v tomto případě raději připevněte termostatickou rozpo-

javací pojistku s vypinací teplotou kolem 90 °C (původem z pračky nebo myčky), která rozpojí napájení při poruše ventilátoru a následném přehřátí chladiče!

Ve vzorku jsem použil kus černěného chladičního profilu z nějakého rozebraného výrobku; při přirozeném chlazení je sice poddimenzovaný, ale s ventilátorem ze zdroje z PC je vše v pořádku - i při dlouhodobé zátěži 150 W se zesilovač uchládl.

K chladiči byla přímo umístěna deska zesilovače a celek lze vestavět do skříně. Znovu upozorňuji na nutnost dobrého tepelného kontaktu snímáček diod D1 až D4 s chladičem! Můj chladič z taženého profilu měl žlábek v celé délce původně určený pro přišroubování, do kterého jsem sériově spájené diody těsně vsunul. Jinak lze do chladiče vyvrtat 4 samostatné otvory a do nich diody těsně zasunout, případně ještě použít tepelně vodivou silikonovou pastu. U některých konstrukcí je problém stability pracovního bodu koncových tranzistorů zanedbáván a v provozu při ohřátí se mohou zničit klidovým proudem, který se po ohřátí zvětší až na jednotky ampér. To samozřejmě s napájecím napětím dává velkou tepelnou ztrátu na tranzistorech, klidový proud se dále přibližuje až k destrukční hodnotě, pokud to nezachrání pojistky.

Pojistky v obou větvích napájení rozhodně nevynechejte a jejich hodnotu je nejlepší vyzkoušet až v provozu. Měly by být tak kolem 3,15 až 5 A na kanál, podle impedance reproduktoru a využití zesilovače. Raději začněte na menší hodnotě a použijte rychlé typy pojistek označené F.

Výstupní článek RC R50/C25 je umístěn až na konektoru pro reproduktor. Při reálné zátěži není ani potřeba, ale protože reproduktorové soustavy mohou mít průběh impedance velmi obecný, raději ho použijte.

Oživení zesilovače

Pokud jste vy a výrobci součástek pracovali bez chyb, jistě se podaří zesilovač snadno zprovoznit. Před připojením napájení nastavte trimr P1 na maximální odpor (běžec k bázi Q7). Tim tranzistor více otevřete a bude menší klidový proud. Na vstup připojte nf generátor, na výstup osciloskop. Pokud máte měřič zkreslení a další přístroje, můžete je využít (použil jsem kombinovaný přístroj CMS-50 Rohde & Schwarz, ale ten je schopen měřit zkreslení až od 0,1 %, takže neukazoval v pracovní oblasti zesilovače nic). Přes pomocné rezistory asi 15 Ω/10 W připojte napájení. Nejprve raději nižší, nejlepší se mi jeví použít regulační autotransformátor a napětí postupně přidávat. Výstupní ss napětí by mělo být v klidu přibližně nulové nebo „pár“ mV, pokud není, je někde v konstrukci chyba a hledejte.

U mého vzorku nebyl posun výstupu od nuly téměř patrný - méně než 1 mV, na úrovni šumu, a to v celém rozsahu napájecích napětí. Je-li v zapojení chyba, obvykle se i rozžhaví pomocné rezistory, které zachrání koncové tranzistory.

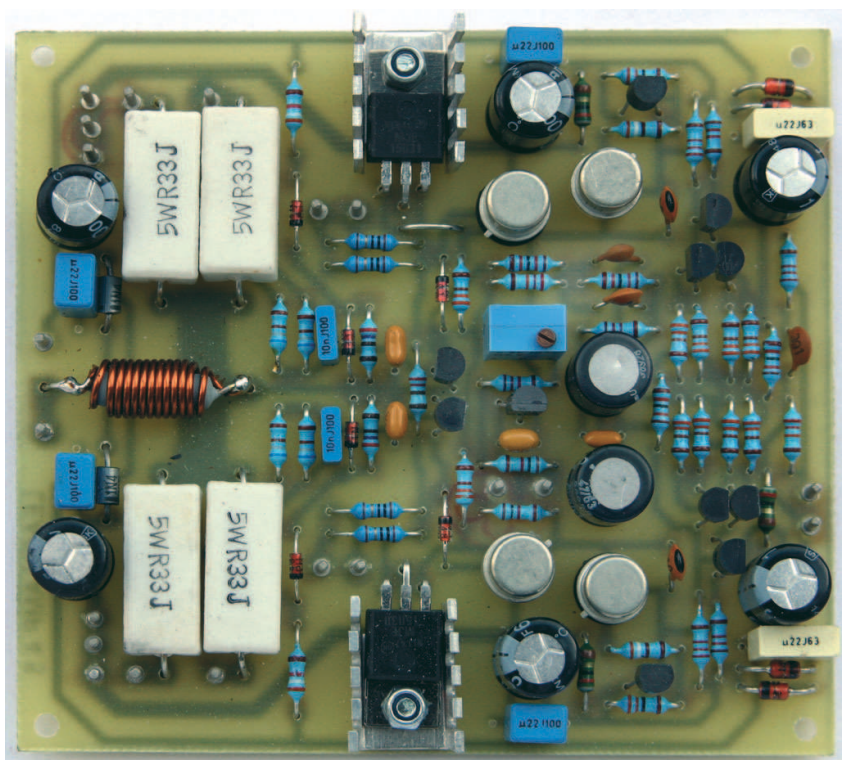
Jistě však bude vše v pořádku a můžeme zesilovač pomocí generátoru vyzkoušet při chodu naprázdno. Zkontrolujte klidový odběr. Měl by se zvětšovat s natáčením P1, autor doporučuje nastavit klidový proud na 100 mA. Lepší je však nastavovat klidový proud při současném pozorování přechodového zkreslení. Připojte zatěžovací rezistor na výstup a při malém výstupním napětí kolem 100 mV a při kmitočtu asi 20 až 30 kHz nastavte opatrně klidový proud na nepozorovatelné tvarové zkreslení signálu. Vhodné je použít dvoukanálový osciloskop, jeden kanál připojit na vstup zesilovače, druhý na jeho výstup a pak nastavit správný „zákrytí“ „sinusovek“. Mně u vzorku zesilovače stačil klidový proud asi 50 mA, při kterém již přechodové zkreslení nebylo patrné.

Je-li vše v pořádku, můžete přikročit k „ostrým“ zkouškám. Pomocné rezistory v napájení nahradte pojistkami F3, 15 A, připojte zatěžovací odpor 8 Ω/200 W (kde byste ho vzali, udělejte to raději jako já - třeba právě ty pomocné rezistory 2x 15 Ω/10 W paralelně ve sklenici s vodou). Ověřte symetrii limitace a změřte dosažený sinusový výkon. Doporučuji kontrolovat zvláště teplotu chladiče, oscilace, chování zesilovače v limitaci a po ohřátí znovu klidový proud!

Pokud je i nyní vše v pořádku a zesilovač zkoušky přežil, můžete oživený modul vestavět do zařízení.

Ještě poznámka - zesilovač pracuje od velmi nízkých kmitočtů, což je zbytečné. Proto je možná lepší raději použít menší kapacitu kondenzátoru C6 (stačí 33 μF) a do série se vstupem zapojit oddělovací kondenzátor 0,1 μF. Záleží samozřejmě na tom, co bude zařazeno před tímto stupněm. Avšak přenášet kmitočty jednotek Hz je zbytečné a namáhá to jak reproduktory, tak tranzistory.

Při ožívání se můj vzorek zesilovače choval „jako z čítanky“, žádné kmitání apod. A to i bez výstupního článku. Je vidět, že se vyplácí např. blokovat elektrolytické kondenzátory typu s malou indukčností a ESR. Klidový proud lze snadno nastavit a je stabilní s oteplením chladiče, zesilovač nezakmitává ani v limitaci, limituje symetricky, o zkreslení a kmitočtové charakteristice asi nemá cenu se zmiňovat. Dosáhl jsem snadno výkonu hodně přes 200 W, ale to je spíš otázka napájecího zdroje, chladiče a odvahy, kam až „jít“ s napájecím napětím. V originálním článku, v schématu a v osazovacím plánu nejsou chyby, proto směle vzhůru do stavby.



Použité součástky

Rezistory - všechny běžné 0,5 W, metalizované nebo uhlíkové („hifisti“ tvrdí, že uhlíkové prý mají lepší zvuk), není-li uvedeno jinak. Původní hodnoty jsou upravené podle evropských vyklostí.

R1	22 kΩ
R2	2,2 kΩ
R3 až R10, R34, R35	330 Ω
R11, R12, R27	1,2 kΩ
R13, R14	2,2 kΩ
R15, R16, R17, R18	12 kΩ
R19	1,2 kΩ
R20	22 kΩ
R21, R22	33 Ω
R23, R24	390 Ω
R25, R26	1 kΩ
R28, R29	270 Ω
R30, R31	3,9 kΩ
R32, R33, R51	82 Ω
R36	220 Ω
R37 až R40	680 Ω
R41 až R44	10 Ω
R45 až R48	0,33 Ω, 5 W, drátové
R49, R50	10 Ω, 2 W
P1	2,2 kΩ, trimr 10ot.

Kondenzátory

C1	390 pF, keram.
C2, C3, C15, C16,	
C23, C24, C25	100 nF/100 V, fóliové, rozteč 5 nebo 10 mm
C7, C12, C17, C18	100 nF/50 V, fóliové, rozteč 5 nebo 10 mm
C4, C5, C13, C14,	
C21, C22	100 μF/63 V radiální, rozteč 5 mm
C6 viz text,	bipolární 50 až 200 μF
C8	180 pF, keram.
C9	47 pF, keram.
C10, C11	10 pF, keram.
C19, C20	10 nF/50 V fóliové nebo keramické, rozteč 5 mm

Polovodičové součástky

D1, D2, D3,	
D4, D11, D12	1N4002(1N4007)
D5 až D10	1N4148
D13 až D16	ZD 20 V/min. 0,5 W
Q1, Q2, Q5,	
Q7, Q9, Q10	MPSA06, MPS8099 (i BC546 - viz text)
Q3, Q4, Q6,	
Q8, Q11	MPSA56, MPS8599 (i BC556 - viz text)
Q13, Q14	2N3439, 2N3440 (min. 160 V/1 A/1 W, npn)
Q12, Q15	2N5415, 2N5416 (min. 160 V/1 A/1 W, pnp)
Q16	MJE15030 nebo jiný 150 V/8 A/50 W/30 MHz, npn
Q17	MJE15031 nebo jiný 150 V/8 A/50 W/30 MHz, pnp
Q18, Q20	MJ15003, MJ15001 nebo jiný min. 140 V/15 A/2 MHz, npn
Q19, Q21	MJ15004, MJ15002 nebo jiný min. 140 V/15 A/2 MHz, pnp

Nedoporučuji používat náhrady koncových tranzistorů v plastovém pouzdru TO-220.

Ostatní součástky

L1 10 až 12 závitů drátem o Ø asi 1 mm, navinuto na R49
 Pojistky F 3, 15 A, 2 kusy
 Transformátor 230 V/2x 42 V - výkon podle potřeby od 200 W.
 Kondenzátory do zdroje 10 000 až 40 000 μF/63 V
 Můstkový usměrňovač min. 30 A/200 V

Upravenou a zdokonalenou desku s plošnými spoji s nepájivou maskou, sadu součástek, popřípadě celé profesionálně osazené a oživené desky tohoto zesilovače dodává firma ELMECHANIK, Vlastimil Srba, tel. 602 368 486.