

# Zesilovač 150W – Zdeněk Kotisa

V nakladatelství BEN vyšla v roce 2003 útlá brožurka, nazvaná „Nf zesilovače-tranzistorové výkonové zesilovače“ autora Zdeňka Kotisy.

Není účelem ani úkolem tohoto článku rozpitvávat obsah knihy. Tento článek se zabývá pouze komentářem a úpravami koncového zesilovače 150W, uveřejněného v této knize. Z časových důvodů nebylo možno kontrolovat všechna zapojení a správnost návrhů desek s plošnými spoji, uveřejněných v této knize. To měl především udělat sám autor, případně odborný lektor.

Jeden exemplář tohoto koncového zesilovače mi poslal jistý Michal, kterému jsem na jedné webové konferenci nabídl jeho zprovoznění – byl jsem totiž velmi zvědavý, co všechno zapříčinilo nefunkčnost zapojení. Překvapení bylo více.

Jediným Michalovým štěstím v neštěstí bylo, že dodržel v knize doporučený postup „oživování“ s ochrannými odpory místo tavných pojistek. Na DPS i ve vlastním zapojení jsou totiž velmi vážné závady, které způsobí po připojení napájecího napětí okamžitě a masivní rozkmitání zesilovače na velmi vysokém kmitočtu. Bez ochranných odporů v napájecích větvích by došlo téměř okamžitě k destrukci prakticky celého polovodičového osazení zesilovače.

Mladý, nezkušený amatér tedy zírá na kouřící ochranné odpory a usilovně přemýšlí, co udělal špatně...

V tomto případě nic, bohužel Černý Petr je v ruce pana Kotisy.

Nechávám na úvaze čtenářům tohoto článku, co je lepší : zda publikovat špatně dimenzovaná kmitající zapojení s nevyhovujícími součástkami, případně s mizernou ss stabilitou, nebo raději nic. Jako polehčující okolnost uvedme, že pan Kotisa mně i některým dalším tazatelům prozradil, že zapojení je staženo z internetu, že jej před zveřejněním ani nezkoušel a že jej tedy ti méně zkušenější nemají raději stavět.

K vlastnímu zapojení:

## **Vážná závada č. 1:**

Absence sériového odporu s kondenzátorem C13, které spolu jinak tvoří tzv. Boucherotův člen. Zesilovač je v tomto případě zbytečně kapacitně zatížen, v případě rozkmitání zesilovače např. kmitočtem 1MHz představuje tento kondenzátor pro zesilovač prakticky zkrat, celý výkon zesilovače je soustředěn do MKT kondenzátoru, který se po několika sekundách roztaví nebo exploduje. Mimoto je tento kondenzátor zapojen až za výstupní tlumivkou, což ještě situaci dále zhoršuje.

I kdyby –hypoteticky- k rozkmitání zesilovače nedošlo, je kondenzátor C13 na kmitočtu např. 15kHz při plném výkonu zesilovače zatížen výkonovou ztrátou asi 9W, což opět omezuje jeho životnost na několik sekund. Mimoto má tento kondenzátor zcela zbytečně velkou kapacitu, není uvedena napěťová velikost tohoto kondenzátoru, která by měla být nejméně 160V, lépe 250V.

## **Vážná závada č. 2:**

Špatná kmitočtová kompenzace rozkmitového stupně zesilovače, zesilovač je s uvedenými součástkami nestabilní, silně zakmitává.

## **Vážná závada č. 3:**

Špatné nastavení zdroje proudu pro vstupní diferenční zesilovač, s uvedenými součástkami je proud kolektorem každého z tranzistorů T2-T3 pouze necelých 0,3mA, což má za následek velmi špatnou linearitu, malé zesílení a malou rychlost tohoto stupně.

## **Vážná závada č. 4:**

Absolutně nevhodné použití tranzistorů MJE340-350 jako budicích tranzistorů pro koncové páry TIP2955/3055. Ty mají při středních kolektorových proudech poměrně malé proudové zesílení cca 20 i méně – vyžadují tedy poměrně velký budicí proud. Potřeba značného budicího proudu dále vzrůstá zvláště při vyšších kmitočtech, uvedené budicí tranzistory jej ale nejsou schopny bez brzkého poškození dodat. MJE340-350 mají dovolen při napětí 50V a při respektování jejich max. kolektorové ztráty maximální kolektorový proud 400mA, který je nutno snížit ještě asi o 0,2W na každý 1°C teploty nad 20°C. Při ohřátí zesilovače např. na 70°C je tedy jejich maximální výkonová ztráta jen cca 10W a maximální kolektorový proud jen cca 200mA. Tato hodnota je ale při buzení teplého zesilovače na plný výkon značně překročena a po krátké době dojde k průrazu jak budicích, tak sekundárně i výkonových tranzistorů. Mimoto jsou MJE340-350 jako budicí tranzistory relativně pomalé /mají nízký Ft, jen kolem 10MHz/.

## **Vážná závada č. 5:**

Použití tranzistorů TIP2955/3055 jako koncových. Zesilovač má pro deklarovaný výkon 200W do zátěže 4 ohm stanoveno napájecí napětí +/- 50V. Platí ovšem bezezbytku ono pravidlo, že dovolené napětí Uceo KAŽDÉHO z výkonových tranzistorů koncového stupně musí být vyšší, než celkové napájecí napětí zesilovače, které je v tomto případě 100V. Zaručované napětí Uceo výkonových tranzistorů by tedy mělo být vyšší, než 100V, optimální rezerva

je 25-50%, dovolené  $U_{ceo}$  výkonových tranzistorů by se tedy mělo při napájení napětím +/- 50V a tento zesilovač pohybovat v rozmezí 120-140V.

Katalogovým listem výrobce je ale pro tranzistory TIP2955/TIP3055 zaručováno  $U_{ceo}$  pouze 60V !!!

Napětí  $U_{cbo}=100V$  je u těchto tranzistorů zaručováno pouze pro specifické pracovní podmínky, které ovšem v případě takto zapojeného nf zesilovače nejsou splněny!

Tranzistory TIP2955/3055 a podobné se sice vyrábějí s jistou rezervou  $U_{ceo}$ , ale na tyto rezervy nelze v žádném případě spoléhat - v případě výroby těchto tranzistorů alternativními výrobci z Číny a Indie na tyto rezervy nelze spoléhat vůbec! Může se tak proto klidně stát, že po zapnutí zesilovače s připojenou zátěží dojde k průrazu výkonových tranzistorů téměř okamžitě. Protože ale zesilovač postrádá jakoukoliv ochranu proti ss napětí na výstupu, téměř jistě dojde i k poškození připojených reproduktorů – které mohou být i několikrát dražší, než celý zesilovač.

#### **Vážná závada č. 6:**

Absence rychlých ochranných diod paralelně k výkonovým tranzistorům. Při práci zesilovače do komplexní zátěže /reproduktorová výhybka/ vznikají na této zátěži značné napěťové špičky opačné polarity, které svou energií mohou způsobit průraz výkonových tranzistorů. Rychlé ochranné diody s přiměřenou proudovou zatížitelností jsou schopny tyto napěťové špičky převést zpět do elektrolytických kondenzátorů zdroje, někdy jsou tyto diody proto nazývány jako rekuperační. Tato závada vystupuje do popředí zvláště v tomto případě, kdy jsou výkonové tranzistory používány na hranici, nebo za hranici dovolených katalogových parametrů.

#### **Vážná závada č. 7:**

Je přímo na obrázci plošného spoje. Blokovací kondenzátor C10 není svým jedním pólem připojen ke kolektoru T12, jak je nakresleno ve schématu, ale na desce je bohužel připojen k jeho emitoru. Právě tato „maličkost“ způsobí prvotní silné rozkmitání zesilovače po připojení k napájecímu napětí. Rozkmitání je velmi masivní, zapojení kmitá s výstupním napětím asi 30Všš, pokud by byla k výstupu připojena zátěž a kondenzátor C13, došlo by během několika stovek ms k průrazu celého koncového stupně zkratem a k poškození zátěže.

Oživování zesilovačů s ochrannými odpory v napájecích větvích lze provádět pouze tehdy, jsou-li napájecí větve na desce zesilovače blokovány elektrolytickými kondenzátory přiměřených kapacit. Jinak totiž zařazení ochranných odporů způsobí podstatné zvětšení impedance napájecích větví a tím jsou vytvořeny ideální podmínky pro vznik další nestability. Proto byly některé součástky na desku přidány, aby bylo usnadněno oživení.

## **Navržené a realizované úpravy :**

#### **K závadě č. 1:**

Kondenzátor C13 je třeba vypájet z původní pozice, místo něj použijte kvalitní MKT kondenzátor 68-100n/160V v sérii s drátovým odporem 6R8/2W a tuto sériovou kombinaci zapojte jedním koncem před výstupní tlumivku, druhým koncem na původní GND bývalého C13. Umístění je vidět na detailu fotografie. Výstupní tlumivka musí být pro uvedený výkon zesilovače navinuta silnějším vodičem. Použijte vodič 1,2-1,4mm, počet závitů cca 20 vinutých na průměru asi 10mm. V dutině výstupní tlumivky je souose umístěn tlumicí odpor R26, jehož hodnota se mění na 4R7 pro zatížení 2W a který by měl být metaloxidového provedení.

#### **K závadě č. 2:**

Mezi kolektor a bázi T4 připájejte ze strany spojů co nejkratšími přívody keramický kondenzátor 68pF/500V, na stejné napětí by měl být dimenzován i keramický kondenzátor C5.

Další keramický kondenzátor 33pF/500V byl zapojen mezi kolektor a bázi T6, ovšem po úpravě pracovního proudu vstupního diferenčního zesilovače, výměně budících tranzistorů a blokování napájecích větví se tento přidaný kondenzátor neukázal jako nezbytně nutný. Zdůrazňuji nutnost použití keramických kondenzátorů pro napětí 500V.

#### **K závadě č. 3:**

Odpor R4 vyměňte za 22k/0,6W, odpor R5 vyměňte za 560R a odpor R6 vyměňte za 10k.

#### **K závadě č. 4:**

Budící tranzistory MJE340-350 je třeba vyměnit za výkonnější typy s přibližně těmito vlastnostmi :  $U_{ceo}=120 - 150V$ ,  $I_c=1,5 - 2A$ ,  $P_c=20 - 25W$  a  $F_t=100 - 150MHz$ , pouzdro TO126. Z dostupných typů je možno použít např. tranzistory Hitachi 2SB649A /npn/ a 2SD669A /npn/, případně tranzistory BD441/BD442. Tranzistory Hitachi byly při realizované úpravě s plným úspěchem použity.

#### **K závadě č. 5:**

Pokud se přece jen rozhodnete tento zesilovač stavět, použijte jako koncové tranzistory typy BD249C/BD250C, případně TIP35C/TIP36C, koupené u dobrého obchodníka. Pokud už máte tento zesilovač postaven a nemáte možnost dobře měřit  $U_{ce0}$  použitých tranzistorů, vyměňte z bezpečnostních důvodů původní typy TIP2955/TIP3055 za výše navržené typy BD. V daném konkrétním případě byly dodané tranzistory změřeny, zjištěna dostatečná napěťová rezerva a proto byly v zesilovači zcela výjimečně ponechány.

Jak již bylo ale uvedeno, na tyto rezervy výrobce nelze v žádném případě spoléhat. Nechcete-li riskovat zničení zesilovače i reproduktorových soustav /které jsou vždy mnohem dražší, než celý zesilovač/, použijte doporučené náhrady.

#### **K závadě č. 6:**

Mezi výstup zesilovače a napájecí větve připojte rychlé ochranné diody BA157 - BA159, případně BY299 podle schématu.

#### **K závadě č. 7:**

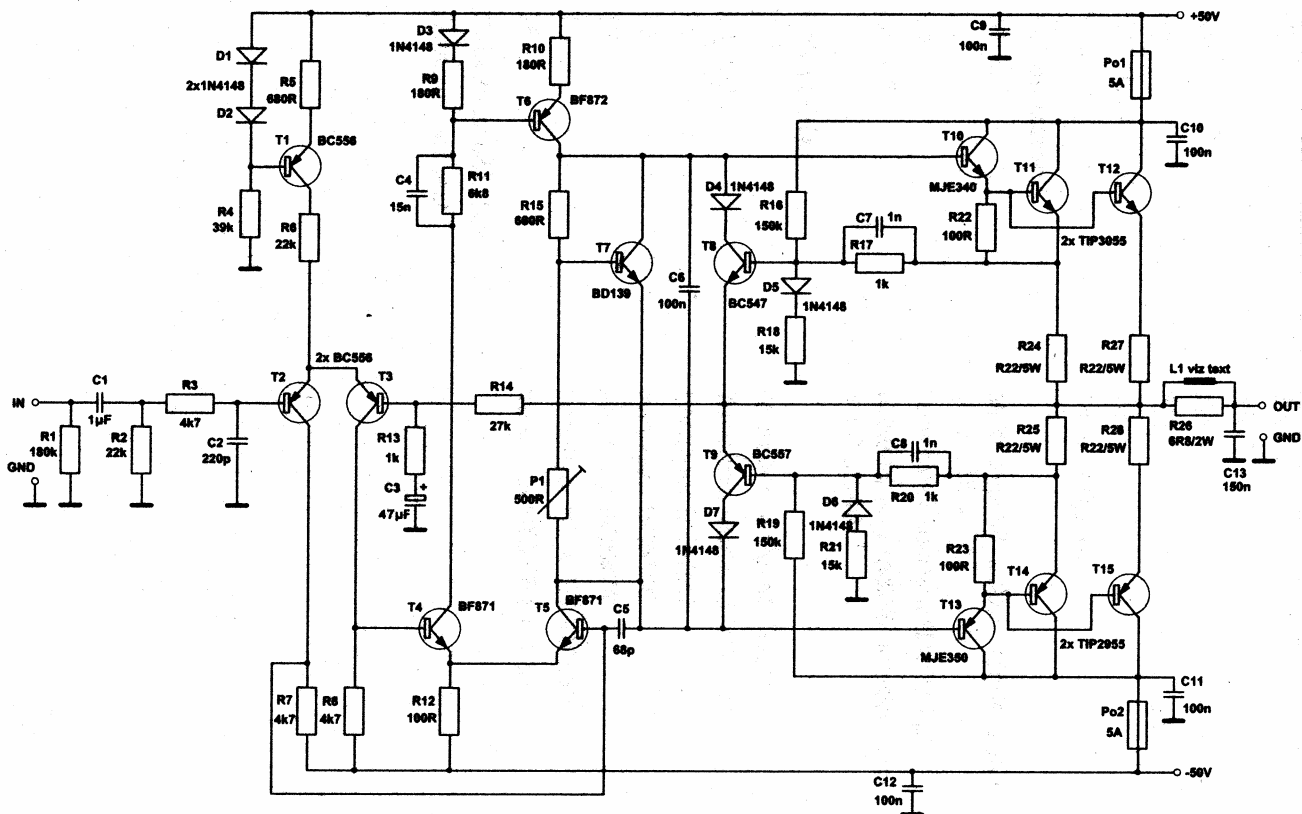
Kondenzátor C10 vypájejte a připojte jej správně, tj. jedním koncem ke GND a druhým koncem ke spoji pojistky a kolektorů T12 a T11. Pohodlné je použít axiální kondenzátor MKT206.

Kondenzátory C9 a C12 vypájejte a nahraďte kvalitními elektrolytickými o hodnotě alespoň 47 $\mu$ F/63V, raději i 100 $\mu$ F/63V, pokud budou mít vnější průměr do 8mm. Pozor na polaritu ! Původní MKT kondenzátory 100n můžete k vývodům elektrolytů připájet ze strany spojů, ale není to nezbytně nutné.

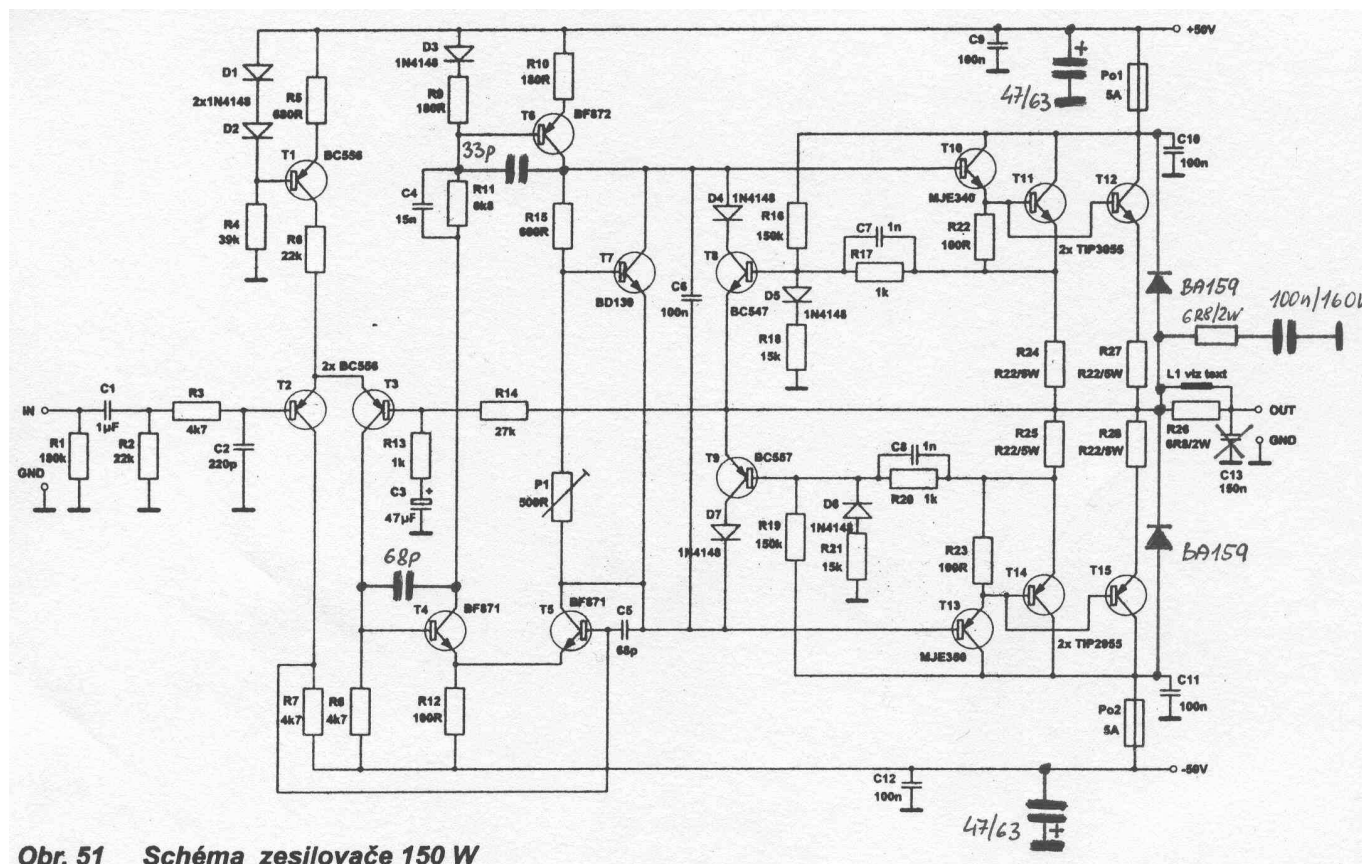
#### **Konstrukční poznámky:**

1. Hliníkový úhelník použijte tloušťky nejméně 3mm, raději 4mm.
2. Odporů v emitorech koncových tranzistorů netřeba spojovat paralelně, vyhoví po jednom 5W keramickém odporu R22 do každého emitoru..
3. Vstupní kondenzátor C1 použijte axiální MKT205 s hodnotou 1 $\mu$ F/100V. Pohodlně se na vyhrazené místo vejde. Elektrolytický kondenzátor na tomto místě není vůbec vhodný.
4. Kondenzátor C2 vyhoví i malý keramický na 50V.
5. Kondenzátor C3 by měl mít dovolené napětí nejméně 35V.
6. Místo tranzistorů BF871 lze použít rovněž 2SD669A, nebo i KF469 či BF471, místo BF872 lze použít 2SB649A, případně KF470 či BF472. Tyto náhradní typy opatřete malými chladicími křídélky pro tento typ pouzdra.
7. Klidový proud koncového stupně nastavujte při jmenovitém napájecím napětí, připojené zátěži a se zkratovaným vstupem zesilovače. Klidový proud nastavujte pomocí měření úbytku napětí na odporu R27 nebo R28. Doporučený klidový proud je asi 20 - 25mA na 1 pár koncových tranzistorů, na odporech R27 nebo R28 /0,22R/ musíte tedy naměřit úbytek napětí od 4mV do cca 6mV. Trimrem klidového proudu P1 otáčejte velmi pomalu a opatrně, nárůst klidového proudu je za polovinou dráhy trimru velmi strmý.
8. Vstupní citlivost zesilovače /napětí na vstupu pro vybuzení na plný výkon/ je možno v jistých mezích měnit výměnou odporu R13. Menší hodnota odporu znamená vyšší vstupní citlivost a opačně, nedoporučuji ale vybočovat z rozmezí hodnot 680R – 1k5. Optimální hodnota je 1k.
9. Zbytkové ss výstupní napětí na výstupu /ss offset/ by nemělo překročit hodnotu +/- 20mV, vyšší hodnota signalizuje velký rozdíl proudových zesilovacích činitelů tranzistorů T2 a T3. Doporučuji tedy při případné stavbě vybrat kusy alespoň se shodným H21e /tzv. beta/ a tranzistory T2 a T3 tepelně svázat např. kouskem smršťovací bužírky.

Původní schéma zesilovače



Obr. 51 Schéma zesilovače 150 W



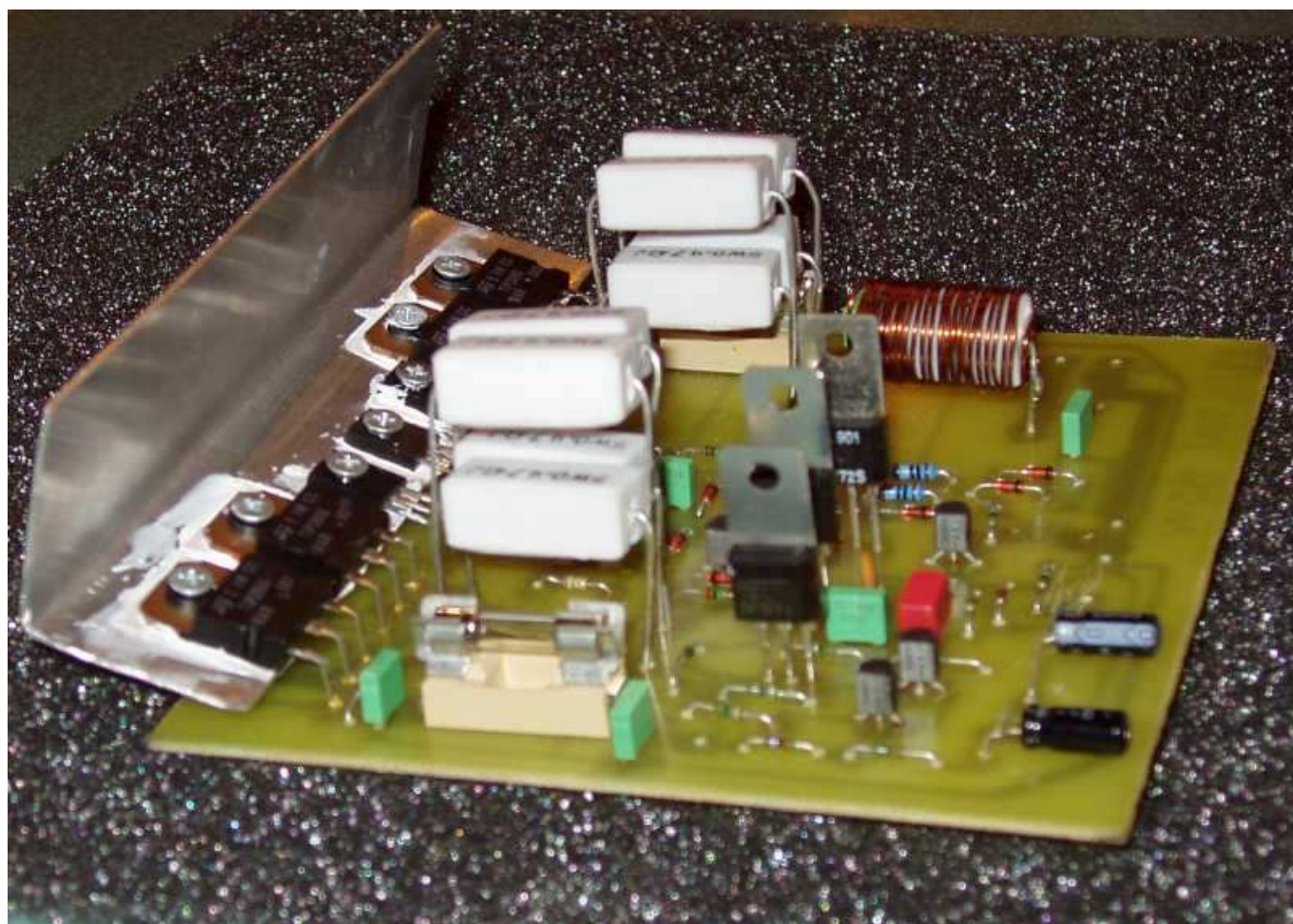
Obr. 51 Schéma zesilovače 150 W

Způsob připojení ochranných diod, Boucherotova členu, kompenzačních a blokovacích kondenzátorů

Záchrana odfláknuté amatérské konstrukce - zde původní stav :



Ještě jednou původní stav konstrukce :



Zde foto po úpravách, fotografie plně funkčního zesilovače :



Poslední foto funkčního modulu :

