

Úpravy koncového zesilovače s tranzistorem IGBT z AR 11/98

Na první pohled poměrně jednoduchá konstrukce, která upoutala spoustu amatérů, toužících postavit si levně koncový zesilovač většího výkonu. Rozhodnutí ke stavbě pak ještě bylo umocněno zjištěním, že je skutečně zesilovač relativně jednoduchý, osazení levné, do domácích podmínek má i slušný výkon, ostatní parametry téměř excelentní, integrovány obvody ochrany přímo na desce zesilovače a součástí stavebního návodu bylo i klišé spojů a napájecí zdroj. IGBT tranzistory téměř omračujících kvalit a za rozumnou cenu byly tehdy relativně dobře dostupné a kromě nich už zesilovač obsahuje jen „trochu šrotu okolo“, ze kterého je nejspíše nejdražší součástí výstupní relé v ceně okolo 60Kč, nepočítám-li zdrojové elyty. Pokud někdo zakoupil v GESu apod. filtrační elyty Hitano, šrot od Pavlíka Meca či něco podobného, vyšly levně i kondenzátory. Zatím.

Schéma zesilovače bylo převzato z časopisu ELEKTOR, ve kterém se toto zapojení s proudovou zpětnou vazbou střídalo v mnoha mutacích – s koncovými tranzistorem HEXFET firmy IR, s laterálními polem řízenými tranzistorem Hitachi, s mosfety Toshiba rodu 2SK1530 až po poslední verze, které byly osazeny jinými budicími tranzistorem, buďč poněkud jinak zapojen a jako koncové tranzistorem byly osazeny legendární 2SA1302/2SC3281 pro výkon asi 130W.

Netuším, jaké vzdělání a zkušenosti měl autor původního zapojení – domnívám se však, že bylo patrně z poněkud jiného elektrotechnického směru a že jde o produkt nějaké elektronicko-inženýrsko-návrhářské rychlokvašky, která v pekelně drahém návrhářsko-simulačním programu navrhla zesilovač, další podobná rychlokvaška za pomoci návrhového programu pro DPS se zapnutým autorouterem navrhla desku a zesilovač byl hotov a uveřejněn. Je absolutně vyloučeno, že by někdo alespoň v jednom vzorku zesilovač vyrobil a odzkoušel – došel by totiž ke krutému zjištění, že zapojení tak, jak jej navrhl, jako zesilovač fungovat nemůže. Může ovšem fungovat jako poměrně výkonná středovlnná až krátkovlnná rušička, dokonce s vlastním buzením. O to smutnější je, že zmíněnou konstrukci z ELEKTORu převzalo Amatérské Radio, se všemi chybami a nechtostmi v zapojení. Namísto původního, velmi zjednodušeného obvodu pro zpožděné připojení zátěže byl s dobrým úmyslem přistavěn účelný a vlastně komplexní obvod ochrany včetně tepelné. Bohužel i v tomto přidaném obvodu ochrany se vyskytlo několik chyb.

Tyto chyby, násobeny zásadními chybami v koncovém zesilovači měly při prvním zapnutí za výsledek masivní rozkmitání zesilovače, většinou také došlo k destrukci rozkmitového i budicího stupně, případně zničení připojené zátěže. Zarazila mě jen jedna věc - na obálce některého čísla AR byla osazená deska tohoto zesilovače vyfotografována – k testování zřejmě už nedošlo, jinak by testující vzteky vyletěl ze své laboratoře jako Faust komínem.

Tento příklad berte prosím jako memento a varování před „slepým“ přejímáním konstrukcí, případně bezmyšlenkovitému skládání sad součástek nebo stavebnic či osazování jen podle dokumentace a to nejen z amatérských časopisů, ale hlavně z internetu. Koneckonců jsou to většinou konstrukce, určené k „bastlení“ a „vymazlení“, i když se na první pohled tváří jako hotový, téměř poloprofesionální modul. Záruku na to, že se součástkami z Vašeho šuplíku /nebo od mizerného prodejce/ to bude fungovat naprosto shodně jako redakční vzorek /pokud byl postaven a testován/ Vám bohužel nikdo nedá a ani to dost dobře nejde, prakticky jen ty největší a bohaté firmy mají možnost ve svých laboratořích některá zapojení vyzkoušet.

Jako odstrašující příklad chování našich prodejců součástek /samozřejmě ne všech/ lze uvést legendární causy „červená Toshiba 2N3773“ nebo „Motorola“ MJ15003/MJ15004. V tomto směru má přímo odstrašující chování plzeňský GES, kde se mi svého času podařilo koupit asi 50ks tranzistorů BD317, které měly sloužit jako náhrady tranzistorů Tesla KD503 při opravách rozhlasových modulů AUJ637. Zmíněné tranzistorem z GESu se později ukázaly být nepoužitelné ani jako náplň do praku. GES je vůbec banda grázlů s velmi podivnou praxí : skoro nepoužitelné kopie 2N3773 se prodávají jako normální „standardní“ materiál, originály 2N3773 od firmy ON Semiconductor označuje GES jako „průmyslové typy“ s minimálním odběrem 100ks a velmi předražené.

Kondenzátory Hitano, prodávané GESem, jsou šmejd skutečně těžkého kalibru s životností kolem 500-800 hodin, přitom ceny některých druhů převyšují ceny velmi podstatně lepších kondenzátorů Jamicon.

Tak jsem si vyžil srdíčko a teď tedy zpět k dotyčnému zesilovači.

Nejzajímavější je, že při úpravách a ožívání několika modulů – řekněme jim IGBT 150 - se mi nikdy nepodařilo „odprásknout“ koncové tranzistorem – možná díky elektronickému jistění mého zdroje. IGBT je kombinace mosfetu a bipolárního tranzistoru, má ovládací elektrodu-gate-vlastně oddělenou od výstupní bipolární struktury, takže i při „hladkém průstřelu“ rozkmitového a budicího stupně vlivem masivního rozkmitání zůstala bipolární a kupodivu i mosfetová struktura netknuté. Toť nejspíše jediná výhoda tohoto druhu tranzistorů.

Téměř všechny následující poznatky byly získány praxí a v případě posledních dvou modulů nepřetržitou, přibližně patnáctihodinovou prací na laboratorním stole, tedy střídavými úpravami a měřeními.

Nyní konečně k úpravám.

V dalším textu budu předpokládat, že máte modul či moduly již hotovy a buď nejste spokojeni s jejich činností, chovají se nevypočitatelně, případně „něco furt odchází“ Zvolená terminologie bude tedy odpovídat tomuto stavu. Těm, kteří o stavbě teprve uvažují, bych vřele doporučil akceptovat navržené úpravy již při osazování. Dokonce ještě nějakou tu korunu ušetříte.

Nejprve je třeba upravit obvod ochran tak, aby fungoval, jak má – tzn. při zapnutí zdroje relé přitáhlo s definovaným zpožděním, při vypnutí relé OKAMŽITĚ odpadlo a při krátké prodlevě mezi zapnutím-vypnutím-zapnutím zesilovače /nějaký debil si hraje s vypínačem nebo zhoupnutí sítě/ se nestalo, že relé „řukne“, případně přitáhne okamžitě. V původním zapojení k těmto hazardním stavům docházelo pravidelně, výsledkem byly rány z reproduktorů nebo přepalování pojistek. Když jsme u těch pojistek : vzhledem k tomu, že se na desce zesilovače nacházejí v napájecích větvích dosti velké kapacity a jsou bohužel zapojeny až za pojistkami, je nezbytné používat pojistky zpožděného typu, tedy T, o hodnotě nejméně T4A.

Pozor: deska v Amatérském Radiu je navržena na nestandardně zapojené relé, které má spínací kontakt blíže k vývodům cívky-nikoli opačně, jak je obvyklé. Je proto nutné při instalaci standardního relé /např. VSB12STB, Finder 4051-12 ap./ tyto dva „vnitřní“ piny odškrábnout od výstupu z koncového stupně a kouskem drátu výstup koncového stupně zapojit na „venkovní“ pár pinů. Střední dvojice pinů relé je výstupem z desky, zde se nic nemění.

Relé Takamisawa VSB12STB /zakoupené u firmy ECOM/ je vůbec nějak podezřele odolné relé-nepodařilo se mi jej upálit ani svařit v situacích, kdy se na výstupu objevilo +43V ss a byla připojena 4Ω zátěž a to několikrát po sobě. V tomto ohledu patří k naprostému šrotu relé Gavazzi, Millionspot, Relpol a další. Lze je upálit ve stejné situaci hned napoprvé, kdy jsou nucena odpojit zátěž pod ss napětím-charakteristické údaje a údajně i materiál kontaktů mají přitom shodné či lepší, než zmíněné relé Takamisawa.Jsou však výrazně levnější...To je napínání, že? :-)))

Úpravy obvodu ochran zesilovače :

1. odpojit drátěnou propojkou kombinaci R43+D5 od napětí +43V
2. R43 vyměnit za 10k
3. D5 vyměnit za BAT48 nebo jinou Schottky diodu 0,2-0,5A/60V
4. R44 vyměnit za 12k
5. C12 vyměnit za kvalitní značkový typ /Nippon KMF, KMG/ 330uF/16V, v nouzi i 220uF/16-25V
6. C13, C23 a C24 vypájet bez náhrady
7. C11 a C25 musí být 100uF, alespoň na 35V, lépe na 50V.
8. volný konec kombinace R43+D5 připojit kouskem drátu na napětí +12V /např. přímo na pin, na který se připojují přívody od zdroje nebo na některý nejbližší spoj, na kterém je +12V/
9. pozor na IO LM324, bývá odstřelený, je vhodné instalovat precizní patici a nasadit novou LM324, koupenou u dobrého obchodníka
10. pozor na původní diodu D5, bývá proražená
11. zkontrolovat diodu D6 a její Zenerovo napětí, mělo by být v toleranci 4,9 – 5,2V /zenerovy diody, prodávané darebáckými obchodníky se šmejdovým zbožím, bývají „ujeté“ až hrůza/

Úpravy originálního dvojitého výkonového a pomocného zdroje zesilovače :

1. vypájet filtrační elyty C21 a C22 1000u/25V ve zdrojích +/-12V a nahradit takto : v kladné větvi na místo C21 vsadit kondenzátor 220u/35V, v záporné větvi na místo C22 vsadit hodnotu 100u/35V
2. vypájet C31 a C32 bez náhrady
3. pomocné vinutí na transformátoru by mělo dávat o něco více, než jen 2x12V stř, ideální je 2x15V stř.
4. zdroj vyzkoušíme, zda v obou větvích dává správná napětí +/-12V
5. u výkonových částí zdrojů je třeba cca 1,5mm drátem zesílit a propájet spoj od fastonu „GND4 a GND7“ na společnou rozlitou zemní plochu /spojené póly filtračních kondenzátorů/ v obou zdrojích +/-43V

Propojíme zdroj s deskou zesilovače **pouze** přívodními svorkami napětí pro ochrany a vyzkoušíme. Za předpokladu, že vše ostatní v obvodech ochrany je osazeno správně a nic dalšího není odstřeleno, musí po zapnutí transformátoru na síť relé přitáhnout se zpožděním cca 2,5s. Po odpojení transformátoru od sítě **MUSÍ RELÉ OKAMŽITĚ ODPADNOUT**, ihned po odpadu relé transformátor znovu zapojíme do sítě a vyzkoušíme tak reakci na rychlé zapnutí-vypnutí. Relé musí **VŽDY** přitáhnout se značným zpožděním /byť o malinko kratším/, nesmí náhodně cvaknout či okamžitě přitáhnout a opět odpadnout krátce po zapnutí.

Úpravy vlastních obvodů koncového zesilovače :

Pokud byl zesilovač nucen přežít několik destrukcí nebo proudových rázů, preventivně vyměníme celé polovodičové osazení kromě koncových tranzistorů. Těch pár tranzistorů BC a BD i ve značkovém provedení /doporučuji zakoupit u firmy Aldax/ stojí jen pár korun a je to rozhodně jednodušší a bezpečnější, než pracně testovat jeden tranzistor po druhém, zda „není načatý“. Pokud budete měnit tranzistory T7, T9, T10 a T11, doporučuji jejich náhradu typy MJE340/350, podstatně se zmenší zkreslení na vysokých kmitočtech. Upravíme výstup a vývody relé dle textu nahoře, výstupní tlumivku vytvoříme z většího metaloxidového odporu 3R3/3-4W /vhodný by byl TR225/ a ovinutím celého jeho povrchu /cca 13-15 závitů/ smalt. drátem 1,25mm silným, konce vinutí připájíme co nejbližší čepičkám odporu a jako celek tento RL člen zapájíme místo odporu R35. Tranzistory T7 a T9 je z bezpečnostních i jiných důvodů lépe od jejich chladičů odizolovat slídovými nebo keramickými podložkami. Tolik „mechanické“ úpravy. Elektrické úpravy :

1. bez náhrady vypájet R13+C4, R14+C5
2. přímo na pájecí body tranzistorů T7 a T9 zespodu desky je třeba mezi jejich kolektor a bázi připájet co nejkratšími vývody keramické kondenzátory 47-68p na napětí min. 250V, lépe 500V. V případě použití tranzistorů MJE340/350 stačí kapacita 22-27pF/500V.
3. pokud jste už podle „dobrých rad“ různých chytráků experimentovali s kondenzátorem C6 a zvětšovali jej třeba až na 1000pF, tak jej nahradte zpět hodnotou 220-330pF za předpokladu, že se jedná o keramický typ na napětí 500V /ECOM/. Na tomto místě nedoporučuji používat cokoli jiného, ani např. žluté svitky WIMA FKC na jakékoli napětí. Nedoporučuji zde používat běžné keramické kondenzátory na 50V, jsou na této pozici napěťově velmi namáhány a jejich proražení způsobí zničení prakticky celého koncového stupně.
4. jako odpory R32 a R33 nepoužívejte běžné levné bílé keramické 5W „kostky“-přepalují se, případně záhadně mění hodnotu i přesto, že jsou drátového provedení. Použijte např. 7W velmi kvalitní drátové odpory G204 z firmy ECOM, na vyhrazené místo se pohodlně vejdou.
5. odpor R17 nahradte hodnotou 82R. S touto hodnotou bude vstupní citlivost koncového stupně téměř přesně 1V pro výstupní napětí 24,5V na zátěži 4Ω, tedy výkon 150W.
6. odpor R21 nahradte hodnotou 1k2, trimr P2 nahradte kvalitním, nejlépe víceotáčkovým cermetovým typem s hodnotou 500R, nebo 1k.
7. pro snadnější nastavení výstupního DC offsetu nahradte trimr P1 opět nejlépe kvalitním, víceotáčkovým cermetovým typem s hodnotou 5k nebo i 10k, přeškrábněte spoje ke krajním přívodům trimru a přes přeškrábnutá místa připájejte smd odpory, nebo odpory 0204 takto : do kladného přívodu trimru odpor 27k, do záporného přívodu trimru 47-56k. Podle kvality spárování tranzistorů ve vstupním diferenčním zesilovači bude možná nutné vyměnit odpor v záporném přívodu trimru P1 za hodnoty 27-68k. Je samozřejmě možné použít i běžné odpory velikosti např. 0207, ale vypadají ze strany spojů tak blbě, že každého napadne, že jsou tam „dobastleny“. SMD odpor 0805 vypadá jna těchto místech tak, jako že tam má být :-)))
Současně nahradte odpory R1 a R2 hodnotou 1M. Po tomto zásahu bude možno výstupní DC offset vynulovat podstatně snadněji a přesněji, nastavení není „tak citlivé“ jako v originálním zapojení. Původní odpory s hodnotou 10M jsou již tak teplotně závislé a „háklivé“, že se na ně stačí jen křivě podívat a výstupní DC offset Vám ujede o

30mV, zvláště, pokud se jedná o zcela běžné metalové odpory velikosti 0204.

Současně vyměňte kondenzátor C3 za hodnotu 100n libovolného kvalitního typu na napětí min. 50V.

8. je vhodné /ale nikoli nezbytně nutné/ vyměnit odpor R4 za hodnotu 22K, případně i 10k.
9. vypájejte ven kondenzátory C19 a C20 a nahraďte je kvalitními radiálními svitkovými typy s hodnotou 220-470n na napětí alespoň 63, lépe 100V.
10. vypájejte ven kondenzátor C10 a nahraďte jej kvalitním MKT typem se stejnou hodnotou na napětí 160-250V.
11. vypájejte odpor R34 a nahraďte jej dobrým **drátovým** druhem /např. G202 ECOM/ s hodnotou 4R7.
12. měděným **izolovaným** elektroinstalačním vodičem o průřezu 4-6mm², případně lankem stejného průřezu propojte co nejkratší cestou /souběžně s deskou/ kladný pól kondenzátoru C17 a záporný pól kondenzátoru C15. Vodič musí být izolovaný a nesmí se dotýkat průběžného zemního spoje nikde jinde, než právě jen na pólech /pájecích bodech/ těchto kondenzátorů. Páječkou s větším výkonem tyto spoje dobře propájejte. Dobře se pracuje s tímto vodičem „vysvlečeným“ z původní PVC izolace a navlečeným do silikonové nebo teflonové bužírky přiměřeného průměru. Je samozřejmě možné rovnou použít silikonové nebo teflonové pocínované či postříbřené lanko potřebného průřezu, máte-li jej. Po této úpravě se zlepšil odstup rušivých napětí celého zesilovače /hlavně 100Hz brum/ o téměř 30dB z původní mizerné hodnoty cca -70dB. Naprosto nevhodné vedení zemních spojů /zvláště v okolí vstupního diferenčního zesilovače/ a brum 100Hz na výstupu nebuzeného zesilovače se zkratovaným i otevřeným vstupem mě jen utvrdily v přesvědčení, že NIKDO zapojení na této desce ani nezkoušel – zjistil by totiž, jak hloupě je navržena hlavně po stránce vedení zemních /GND/ spojů.
13. tepelná ochrana zesilovače má sice poměrně široký rozsah nastavení, ale také dosti velkou hysterezi /neplést s hysteresí/, tedy rozdíl mezi vypínací a opětně zapínací teplotou. Ta s originálními součástkami v obvodu tepelné ochrany činí asi 50°C, což znamená, že zesilovač „vytopený“ na 90°C Vám opětně zapne až téměř studený. Takové vychládání může při pasivním způsobu chlazení trvat dosti dlouho. Odpor R51 v rozsahu hodnot 47 – 470k je možno hysterezi tepelné pojistky měnit téměř libovolně, ideální hodnota hystereze z hlediska tepelného namáhání polovodičových součástek je cca 30°C. Protože dva moduly, které jsem naposledy takto umravňoval, měly aktivní chlazení výkonnými ventilátory, s tímto obvodem jsem neexperimentoval. Dle mých vlastních zkušeností bude stačit odpor R51 vyměnit za 330k a hystereze se dostane do rozumných mezí.

Po všech těchto zásazích se tento zesilovač začne chovat jako zesilovač a to dokonce jako dobrý zesilovač. Chování v limitaci je velmi podobné elektronickým zesilovačům, limitace sinusového průběhu není ostrá a strmá, jako u běžných koncových zesilovačů se silnou zápornou zpětnou vazbou, ale dosti pozvolná. Nelimitovaný obdélníkový signál 20kHz zesilovač přenáší s perfektně ostrými hranami, bez překmitů. Subjektivně má zesilovač velmi příjemný měkký zvuk, který velmi připomíná reprodukci elektronických zesilovačů. Samozřejmě ne každému takový zvuk vyhovuje, záleží na vkusu, věku a druhu poslouchané hudby.

Přechodové zkreslení, pozorované při výstupní amplitudě 0,3V_{ef} a kmitočtu 20kHz mizí již při klidovém proudu 10mA koncovými tranzistory, je zcela zbytečné a neúčelné klidový proud trimrem P2 zbytečně zvětšovat například na 100mA. Zcela bohatě postačí kompromisní hodnota 50mA. Klidový proud koncových tranzistorů neměřte v přívodu /např. na kladném pojistkovém pouzdru při vyjmuté pojistce/, ale např. na odporu R33. Před nastavováním klidového proudu je nutné co nejpečlivěji vynulovat výstupní ss napětí /DC offset/. Regulace klidového proudu je po úpravách nyní velmi pohodlná, bez zbytečných strmých nárůstů proudu koncovým stupněm. Klidovému proudu 10mA odpovídá napěťový úbytek 1mV na odporu R33 nebo i R32.

Bohužel tranzistory IGBT typu 20GD101 a 20GD201 již zmizely z trhu, vede je pouze jako velmi předražené jistá brněnská firma, nikde jinde jsem je nezahledl. Bylo by možno zkusit nahradit druh IGBT tranzistory HEXFET typu IRFP250/9250 či podobnými, se kterými by zesilovač po úpravě kompenzačních kapacit fungoval jistě velmi dobře, zvláště po doplnění diodových omezovačů do řídicích elektrod HEXFETů.