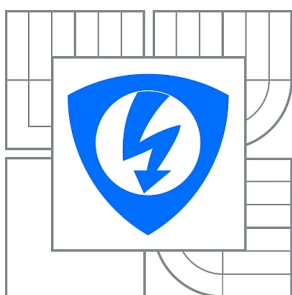




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

AUDIO VÝKONOVÝ ZESILOVAČ 2 X 500 W

AUDIO POWER AMPLIFIER 2 X 500 W

SEMESTRÁLNÍ PRÁCE

SEMESTRAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

FILIP PETRGÁL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ZDENĚK HRUBOŠ

BRNO 2011



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Filip Petrgál

ID: 125589

Ročník: 3

Akademický rok: 2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Audio výkonový zesilovač 2 x 500 W

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte audio výkonový zesilovač s výstupním výkonem přibližně 2 x 500 W. Zesilovač doplňte předzesilovačem s regulací hlasitosti, aktivním chlazením a možností přepnutí zesilovače do můstkového režimu. Současně navrhněte vhodnou napájecí jednotku i zapojení soft startu transformátoru. Vlastnosti jednotlivých navržených zapojení simulujte v programu PSpice.

Na základě získaných znalostí navrhněte desky plošných spojů jednotlivých částí zesilovače v programu Eagle. Proveďte kompletní konstrukci audio výkonového zesilovače s předepsanými vlastnostmi, včetně předzesilovače a napájecí jednotky. Zařízení oživte, proměřte základní charakteristiky a výsledky srovnajte s parametry očekávanými a získanými počítačovou simulací.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] WIRSUM, S. Abeceda nf techniky. Praha: BEN - technická literatura, 2003.

[2] KOTISA, Z. NF zesilovače 2 - integrované výkonové zesilovače. Praha: BEN - technická literatura, 2002.

Termín zadání: 6.2.2012

Termín odevzdání: 25.5.2012

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Hruboš

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa zaoberá nízkofrekvenčnými koncovými zosilňovačmi, ich rozdelením, dôležitými parametrami a zapojeniami. Ďalej sa zaoberá základným druhom predzosilňovačov, zdrojmi napájania, obvodmi ochrán zosilňovača a inými doplnkovými modulmi. Vypracovanie obsahuje odsimulované návrhy riešenia predzosilňovača, koncového stupňa výkonového zosilňovača ako aj obvodu ochrán v programe PSpice. Návrh zapojenia týchto modulov je zobrazený v podrobnej schéme s popisom súčiastok.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Nízkofrekvenčný zosilňovač, výkonový zosilňovač, predzosilňovač, softstart, napájací zdroj, ochranné obvody, simulácia, schéma.

ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with low frequency power amplifier, distribution, and involvement of important parameters. Furthermore, the second deals with the preamplifiers, power supplies, amplifier circuits protections and other additional modules. Elaboration includes simulated proposals to address preamp, power amplifier output stage as well as protection circuit in PSpice program. Proposes that these modules is shown in the detailed diagram describing the components.

KEYWORDS

Low-frequency amplifier, power amplifier, preamplifier, soft start, power supply, protection circuits, simulation scheme.

PETRGÁL, F. *Audio výkonový zosilňovač 2 x 500 W*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky,

2012. 43 s., 2 s. príloh. Bakalárska práca. Vedúci práce Ing. Zdeněk Hruboš.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému Výkonový nízkofrekvenčný zosilňovač som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, obzvlášť som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich zákona č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestneprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníku č. 40/2009 Sb.

V Brne dňa

.....

(podpis autora)

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Zdenkovi Hrubošovi za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní môjkej bakalárskej práce.

V Brne dňa

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	1
1 Nízkofrekvenčné zosilňovače	2
1.1 Definícia zosilňovačov	2
1.2 Triedy zosilňovačov	2
1.3 Obvodové riešenia triedy AB	5
1.3.1 Popis triedy B a zmena na triedu AB	5
1.3.2 Realizácia predpätia bázy	5
1.3.3 Teplotná stabilizácia kludového prúdu	5
1.3.4 Zapojenia koncových tranzistorov a komplementárne dvojice	6
1.3.5 Komplementárne Darlingtonove dvojice.....	6
1.3.6 Kvazikomplementárne zapojenie	7
1.4 Pomocné obvody zosilňovačov.....	7
1.4.1 Ochrana výkonových súčiastok proti preťaženiu a skratu	7
1.4.2 Ochrana proti prúdovému nárazu pri zapnutí zariadenia.....	7
1.4.3 Obvod ochrany reproduktorov	7
1.4.4 Ochana proti tepelnému preťaženiu	8
1.4.5 Stabilita pri vysokých frekvenciách	8
1.4.6 Predzosilňovač	8
2 Vlastné riešenie Zosilňovača	9
2.1 Bloková schéma navrhnutého riešenia	9
2.1.1 Legenda blokovej schémy	9
2.2 Predhovor k navrhnutému riešeniu	10
2.3 Softstart obvod	11
2.3.1 Popis zapojenia.....	11
2.3.2 Schéma zapojenia	11
2.3.3 Doska plošných spojov	11
2.3.4 Osadzovací výkres.....	12
2.3.5 Zoznam súčiastok softstart obvodu	12
2.3.6 Výsledok simulácii v programe v PSpice	13

2.4	Modul ochrán koncového zosilňovača	14
2.4.1	Funkcia modulu ochrán	14
2.4.2	Popis zapojenia.....	14
2.4.3	Schéma zapojenia.....	15
2.5	Napájací zdroj	16
2.5.1	Popis zapojenia.....	16
2.5.2	Výpočet filtračných kondenzátorov a napájania ventilátorov	16
2.5.3	Schéma zapojenia	17
2.5.4	Zoznam súčiastok napájacieho zdroja	17
2.5.5	Výsledok simulácie z programu PSpice	18
2.6	Predzosilňovač s DC offsetom.....	20
2.6.1	Popis zapojenia.....	20
2.6.2	Schéma zapojenia	20
2.7	Modul mostíkového prepájania.....	21
2.7.1	Popis mostíkového prepájania	21
2.7.2	Schéma zapojenia	21
2.8	Koncový zosilňovač	22
2.8.1	Schéma zapojenia koncového zosilňovača	22
2.8.2	Popis zapojenia.....	23
2.8.3	Predpokladané parametre zosilňovača	24
2.9	Kompletizovaný modul zosilňovača	25
2.9.1	Popis súčastí a osadenia.....	25
2.9.2	Schéma zapojenia kompletizovaného modulu pre výrobu DPS	25
2.9.3	DPS kompletizovaného modulu.....	26
2.9.4	Osadzovací výkres.....	27
2.9.5	Zoznam súčiastok jednej kompletizovanej DPS	27
3	Mechanické a konštrukčné riešenie	28
3.1	Transformátor	28
3.1.1	Vlastnosti	28
3.1.2	Fotografia transformátora	28
3.1.3	Výpočet parametrov transformátora.....	28
3.2	Prístrojová krabica	30
3.2.1	Vyhotovenie	30

3.2.2	Fotografie šasi 2U	30
3.3	Fotografie realizácie	31
4	Výsledky merania	33
4.1	Koncový zosilňovač	33
4.1.1	Frekvenčná charakteristika a skreslenie	33
4.1.2	Priebehy namerané na osciloskope	35
5	Záver	36
	Literatúra	37
	Zoznam obrázkov, tabuliek a grafov	38
	Zoznam Symbolov veličín a Skratiek	40
	Zoznam príloh	41

ÚVOD

Cieľom tejto bakalárskej práce bolo navrhnuť nízkofrekvenčný výkonový zosilňovač pre reproduktory za účelom ozvučenia verejných podujatí. Jeho využitie teda určilo pomienky spracovania, kde je požadované dodanie dostatočného výkonu (aspoň 200W na kanál do záťaže 4Ω) pre štyri odposluchy slúžiacich hudobníkom, DJ-om, kapelám, spevákom a i. Jeho návrh požadoval kvalitné spracovanie, nakoľko vlastné podanie reprodukováného zvuku pre samotného hudobníka musí byť dostatočne verné a kvalitné, aby ho mohol posúdiť či zlepšiť. Táto práca rieši kompletne zapojenie štvorkanálového zosilňovača a teda obsahuje rozbor jednotlivých blokov ako sú napájací zdroj, predzosilňovač, koncové zosilňovacie stupne ale i modul ochrán reproduktorov a zosilňovača.

1 NÍZKOFREKVENČNÉ ZOSILŇOVAČE

1.1 Definícia zosilňovačov

Zosilňovače sú elektronické zariadenia na zosilnenie signálov. Tvorí základné obvody vysielacích a prijímacích zariadení vysokofrekvenčnej techniky, elektroakustiky, meracích prístrojov, riadiacích a regulačných obvodov.

Rozdeľujú sa:

1. Podľa použitia zosilňovacích prvkov na elektrónkové, tranzistorové, výbojové, parametrické, kvantové.
2. Podľa veľkosti budiaceho signálu na zosilňovače veľkých, malých a veľmi malých signálov.
3. Podľa druhu budiaceho signálu na nízko- a vysokofrekvenčné, impulzové, jednosmerné.
4. Podľa šírky prenášaného pásma na širokopásmové a úzkopásmové.
5. Podľa zapojenia zosilňovacích prvkov na zosilňovače so spoločným emitorom, bázou, kolektorom.
6. Podľa spôsobu činnosti na jednočinné a dvojčinné.
7. Podľa väzby medzi zosilňovačmi - s impedančnou, priamou, transformátorovou väzbou.
8. Podľa pracovného režimu - na triedy A, AB, B, C, D, T atď.

Vlastnosti zosilňovača závisia predovšetkým od frekvencie budiaceho signálu, vyjadrujú sa frekvenčnými charakteristikami.

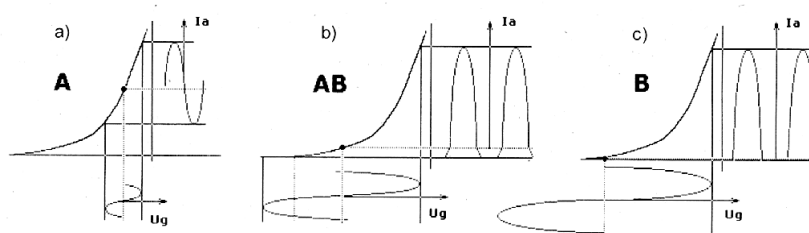
1.2 Triedy zosilňovačov

Trieda zosilňovača definuje buď pracovnú charakteristiku koncového stupňa výkonového zosilňovača alebo základný princíp činnosti celého zosilňovača.

Trieda A – výkonové súčiastky (či už bipolárne tranzistory, MOSFET, elektrónky a i.) v jednočinnom zapojení a nastaveným kludovým prúdom tak, aby boli stále vo vodivom (aktívnom) stave. Vďaka veľkému kludovému prúdu pracujú výkonové súčiastky zhruba uprostred svojej lineárnej pracovnej oblasti a majú najmenšie skreslenie signálu. Nevýhodou je malá energetická účinnosť, veľký príkon a jeho premena na teplo, teda veľké tepelné straty a nutnosť dostatočného chladenia výkonových súčiastok. Použitie býva v High-end zosilňovačoch.

Trieda B - výkonové súčiastky v dvojčinnom zapojení s nastaveným nulovým kľudovým prúdom. V jednej polovici koncového stupňa sú súčiastky aktívne len pri kladnej polovlne spracovávaného signálu, v druhej polovici naopak pri zápornej polovlne. Inak sú nevodivé a obe polovice koncového stupňa sa tak v závislosti na polarite signálu striedajú v činnosti (push-pull). Pri prechode z vodivého do nevodivého stavu sú súčiastky v oboch zapojeniach takmer nevodivé a vzniká nelineárne skreslenie signálu (prechodové skreslenie). Výhodou je vyššia účinnosť (viac ako 50%), nulový kľudový prúd, nevýhodou je vyššie uvedené skreslenie.

Trieda AB - kompromis medzi triedou A a B. Funkčne má ale bližšie k triede B, kedy je zavedený malý kľudový prúd, ktorý nepatrne zväčšuje spotrebu a znižuje účinnosť. Výhodou je podstatné zmenšenie prechodového skreslenia triedy B. Zjednodušene možno povedať, že pri malých úrovniach signálu pracuje zosilňovač v triede A a pri veľkých v triede B s dobrou účinnosťou a malým skreslením. Trieda AB je v konštrukcii bežných nf zosilňovačov najpoužívanější.

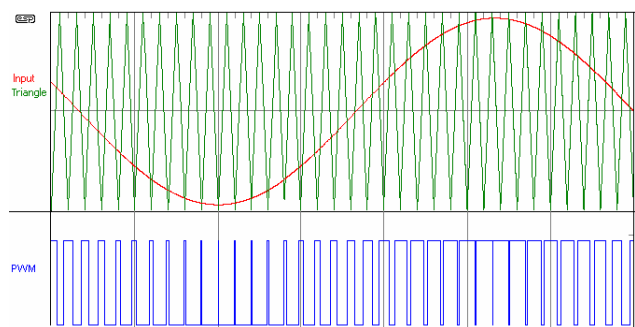


Obr. 1.1 Závislosť výstupného prúdu na vstupnom napätí pri výkonnej súčiastke pracujúcej v triede a) A, b) AB, c) B - ilustrácie sú charakteristiky výkonových elektrónok.

Trieda C - výkonové súčiastky majú nulový kľudový prúd a navyše zavedené predpätie, ktoré ich navyše zatvára. Prechádzajú z nevodivého do aktívneho stavu až v špičkách vstupného signálu, ktorých veľkosť dosahuje rádu desiatok percent napájacieho napätia. Skreslenie výstupného signálu je omnoho výraznejšie ako v triede B. V nf technike teda nepoužiteľné, vo vf technike použitie v jednočinnom alebo dvojčinnom zapojení vo vysielачoch.

Trieda D – táto trieda nepatrí do kategórie lineárnych zosilňovačov, pretože pre

spracovanie signálu používajú techniku pulzne šírkovú moduláciu PWM (Pulse Width Modulation) a je tiež označovaná ako trieda digitálna. Najväčšou prednosťou je ich veľmi vysoká účinnosť (zväčša 80% a viac), spôsobená použitím spínacieho režimu tranzistorov. Avšak nevýhodou je väčšie skreslenie v porovnaní s triedou A resp. AB.



Obr. 1.2 Sinusový vstupný signál je modulovaný pomocou trojuholníkového signálu s oveľa vyššou frekvenciou zpravidla minimálne 2krát väčšou ako vstupný signál a výsledný modulovaný obdĺžnikový signál výstupu zosilňovača triedy D pred filtráciou.

Trieda G – v tejto triede sa zpravidla používajú koncové stupne v triede AB, líšia sa však v spôsobe napájanie koncových tranzistorov, ktoré je dvoj alebo aj viacstupňové. Zjednodušene to znamená, že sa veľkosť napájacieho napätia prispôbuje veľkosti požadovaného výstupného výkonu. Pri menšom výkone pracuje zosilňovač s menším napájacím napätím, a keď výstupný výkon presiahne určitú nastavenú rozhodovaciu úroveň (veľkosť), pripojí sa vyššie napájacie napätie. Výhodou je zväčšená účinnosť oproti pracovnej triede AB a menšie konštrukčné rozmery zosilňovača, nevýhodou je však zložitejší návrh zapojenia.

Trieda H - zhodná s triedou G, len veľkosť napájacieho napätia sa nemení skokovo, ale presne sleduje veľkosť vstupného signálu. Napájacie napätie je tak presne na takej úrovni, aby bola zachovaná správna činnosť výkonových súčiastok s ohľadom na veľkosť požadovaného výstupného výkonu. Na výkonových súčiastkách zosilňovača je teda vždy konštantný úbytok napätia. Výhodou je ešte vyššia účinnosť oproti triede G, nevýhodou je ešte zložitejší návrh zapojenia.

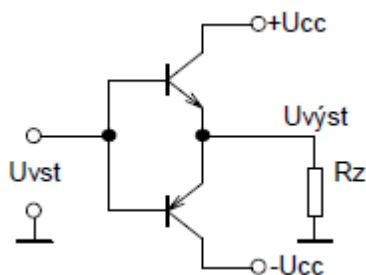
Trieda S - výkonové súčiastky sú spínané („digitálna“ trieda), od triedy D sa líši tým, že vďaka implementácii nových digitálnych metód spracovania už nepotrebujú na výstupe LC filter vo funkcii dolnej priepuste k potlačeniu spínacieho kmitočtu a ďalších parazitných produktov spínania.

Trieda T - tieto výkonové zosilňovače pracujú na podobnom princípe ako v triede D, ale s použitím vylepšeného a dobre prepracovaného algoritmu riadenia. Toto označenie triedy bolo zavedené firmou Tripathi. Výsledkom je účinnosť okolo 90% a vynikajúce zvukové parametre, skreslenie pod 0,1% či malé nároky na chladenie.

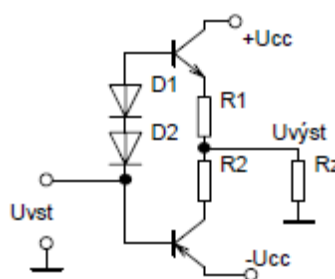
1.3 Obvodové riešenia triedy AB

1.3.1 Popis triedy B a zmena na triedu AB

Jedná sa o triedu, v ktorej dodávajú energiu do výstupu dva (pri paralelnom radení aj viac) výkonové prvky (Obr. 1.1), ktoré sa striedajú v činnosti a každý zosilňuje jednu polvlnu. Keďže sa tranzistory otvárajú až od napätia na báze cca 0,5V (U_{be}), prejavuje sa tu prechodové skreslenie, vďaka ktorému sa nezosilňujú malé signály alebo sú silne skreslené. Tento jav sa dá odstrániť tým, že medzi báze oboch výkonových prvkov dáme predpätie (Obr. 1.2 zaisťujú ho diódy D1 a D2), vďaka ktorému bude tranzistor neustále pootvorený a bude ním pretekať malý kľudový prúd. Tento malý prúd (rádovo desiatky až sto mA) práve odlišuje triedu AB od triedy B.



Obr. 1.3 Koncové tranzistory bez predpätia (tr.B)



Obr. 1.4 Konc.tran. s predpätím (tr.AB)

1.3.2 Realizácia predpätia bázy

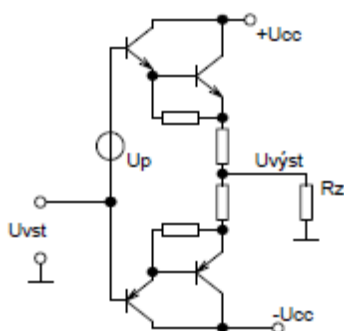
Ako zdroj predpätia bázy je možné použiť napríklad kremíkovú diódu (Obr. 1.4), ktorá sa vsadí do obvodu budiča koncových tranzistorov. Tá má v priepustnom smere rovnakú hodnotu priepustného napätia ako prechod BE a jej malý diferenciálny odpor takmer neovplyvní výstupný striedavý signál budiča. Ak je výstupný obvod realizovaný tranzistormi v Darlingtonovom zapojení, je potrebné použiť viac diód v sérii alebo Zenerovu diódu. Ďalšou možnosťou vytvorenia predpätia je použitie tranzistora, u ktorého sa predpätie reguluje deličom napätia na báze. Obvod sa potom chová ako Zenerova dióda s premenným napätím U_{AK} .

1.3.3 Teplotná stabilizácia kľudového prúdu

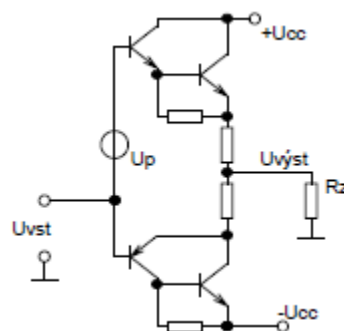
Kľudový prúd by mal byť v celom rozsahu pracovných teplôt konštantný. Keďže v zosilňovači funguje tzv. termická kladná spätná väzba, musíme so zvyšujúcou sa teplotou koncových tranzistorov znižovať predpätie na bázach, aby nedošlo k zničeniu zosilňovača. Termická sp.v. je spôsobená zvyšujúcim sa kľudovým prúdom pri vzraste teploty, tento prúd spôsobí ďalší nárast teploty až do deštrukcie výkonových prvkov. Stabilizácia sa vykonáva pomocou termistora, ktorý je zapojený miesto jedného z odporov v deliči u tranzistora, ktorý riadi predpätie. Ak nám zaisťujú predpätie diódy, potom by mali byť tepelne zviazané s chladičom (u kremíkových diód sa napätie U_{AK} znižuje sa vzrastom teploty). Podobne ako diódy možno použiť aj tranzistor, ktorý riadi predpätie. Tu sa využíva teplotnej zmeny napätia U_{be} . Ak je tepelne zviazaný s chladičom dokáže kľudový prúd udržať takmer konštantný.

1.3.4 Zapojenia koncových tranzistorov a komplementárne dvojice

Dvojčinný koncový stupeň možno zapojiť podľa niekoľkých rôznych typov základných zapojení. Podľa toho sa veľmi často používajú tzv. Komplementárne dvojice - sú to dva tranzistory zhodných parametrov ale rôzneho typu vodivosti (PNP a NPN). Tieto tranzistory pracujú proti sebe a každý je budený inou polaritou vstupného signálu. Tranzistory možno zapojiť so spoločným emitorom, alebo kolektorom. Najčastejšie sa používa zapojenie so spoločným kolektorom, ktoré zosilňuje len prúdovo. Preto je dôležité, aby mal budič rozkmit napätia čo najväčší (pokiaľ možno takmer celého napájacieho napätia, tzv. RAIL-TO-RAIL) a bol schopný dodať dostatočný prúd. Výhoda tohto zapojenia spočíva, že medzi bázami je iba predpätie (alebo sú spojené ak sa jedná o triedu B) a možno ich budiť z jedného budiča (jedným tranzistorom). Zapojenie so spoločným emitorom zosilňuje napätovo aj prúdovo, čo je jeho najväčšia výhoda. Ako nevýhoda je, že otáča fázou a napätie medzi bázami v dvojčinnom zapojení sa rovná takmer celému napájaciemu napätiu. Tieto zapojenia je možné realizovať s dvojčinným typom tranzistorov a to s bipolárnymi alebo unipolárnymi tranzistorami, kde každý typ koncového stupňa musí mať odlišné ako budenie tak reguláciu kľudového prúdu. Vlastné zapojenie koncového stupňa možno rozdeliť ďalej na komplementárne a kvazikomplementárne dvojice. Pre väčšie výkony sa používa výhodnejšie Darlingtonove zapojenie.



Obr. 1.5 Komplementárne Darlingtonove zapojenie



Obr. 1.6 Kvazikomplementárne zapojenie

1.3.5 Komplementárne Darlingtonove dvojice

Výkonové koncové tranzistory majú nízky prúdový zosilňovací činiteľ. Budič musíme mať dimenzovaný tak, aby bol schopný dodať do bázy koncových tranzistorov dostatočný prúd. Tento prúd sa môže blížiť až k jednotkám ampér pre vysoké výkony. Keďže budič pracuje v triede A, mal by pri tomto prúde veľký stratový výkon a teda by musel byť veľmi dobre chladený. Preto sa pre vyššie výkony používa zapojenie komplementárnych Darlingtonových dvojíc, ktoré je nakreslené na Obr. 1.5. Tá má prúdové zosilnenie rádovo v stovkách až tisíckach, teda budiaci stupeň nemusí mať tak veľký stály prúd. Nevýhodou je vyššie predpätie, ktoré musíme nastaviť (cca 1,8 V).

1.3.6 Kvazikomplementárne zapojenie

Jedná sa prakticky o koncový stupeň typu PUSH-PUSH, ktorý je budený komplementárnou dvojicou. Tzn. že oba tranzistory v koncovom stupni sú rovnakej vodivosti (PNP, NPN) a sú budené pomocou komplementárnej dvojice, ktorá je oveľa menšieho výkonu. Koncové tranzistory zosilňujú len prúd, ktorý prechádza predchádzajúcou komplementárnou dvojicou. Kvazikomplementárne zapojenie je zobrazené na Obr. 1.6.

1.4 Pomocné obvody zosilňovačov

1.4.1 Ochrana výkonových súšiasťok proti preťaženiu a skratu

Táto ochrana sa vkladá do samotného koncového stupňa. Obvod sníma úbytok na emitorových (zapojenie SC) odporoch a pri určitom napätí na týchto rezistoroch sa začnú otvárať pomocné tranzistory, ktoré majú za úlohu obmedziť prúd tečúci do bázy koncových tranzistorov, ktoré na to reagujú znížením výstupného prúdu do záťaže. Toto obmedzenie ochráni koncové tranzistory pred prúdom, ktorý by bol nad hranicu SOAR aby teda nedošlo k ich prerazeniu. Chráni hlavne pred pripojením nižšej impedancie ako je dovolená alebo pri skrate výstupných svoriek.

1.4.2 Ochrana proti prúdovému nárazu pri zapnutí zariadenia

Tiež nazývaná ako Softstart, je určená pre zosilňovače vyššieho výkonu, kde nárazový prúd po zapnutí transformátora má veľkosť niekoľko jednotiek až desiatok ampérov a vyhadzuje sieťové (domové) ističe či poistky. Toto zariadenie znižuje počiatkový náraz prúdu pri sýtení jadra transformátoru a nabíjaním filtračných kondenzátorov (napr. pomocou rezistora) a po určitej dobe sa tento rezistor premostí (napr. pomocou relé) a obvod pracuje v normálnom režime.

1.4.3 Obvod ochrany reproduktorov

Ochranou reproduktorov sa rozumie ochrana pred jednosmerným prúdom na výstupe zosilňovača. Obvod teda sleduje výstupné napätie a ak sa na ňom objaví jednosmerná zložka (napr. pri poruche), tento obvod odpojí reproduktory (záťaž) od zosilňovača a tým zabráni ich poškodeniu či zničeniu. Tento obvod by mal obsahovať aj oneskorené pripojenie záťaže, aby sa predišlo nepríjemným zvukom (tzv. lupaním a praskaním), ktoré sú spôsobené prechodovými javmi pri zapnutí zosilňovača.

1.4.4 Ochrana proti tepelnému preťaženiu

Výkonová strata koncového zosilňovača môže byť značná a vplyvom vysokej teploty PN prechodu môže dôjsť k lavínovému nárastu prúdu (prierazu) a tým k zničeniu koncových tranzistorov. Tomu sa dá predísť účinným chladením a dostatočnou dimenzáciou chladiča v kombinácii s elektronickou tepelnou ochranou, ktorá spočíva v stabilizácii kludového prúdu v kombinácii so snímaním teploty koncových tranzistorov (termistorom, diódou) a následným obmedzením výstupného výkonu pri prehriatí. U zosilňovačov s vyšším výkonom sa používajú tepelné poistky, ktoré odpájajú napájacie napätie, alebo zapínajú ventilátor. Pre snímanie teploty sa využíva závislosť priepustného napätia PN prechodu na teplote.

1.4.5 Stabilita pri vysokých frekvenciách

Vstup - používajú sa dolné priepuste tvorené RC články s medzným kmitočtom tak, aby neovplyvňoval prenášané pásmo, ale odrušoval prípadné rušenie v signále detegované na nelineárnych prvkoch (diódy, tranzistory).

Výstup - k potlačeniu prenikajúcich v signálov na výstupe sa používajú tlmivky s indukčnosťou (1 - 50 μ H) a pre potlačenie náchylnosti k rozkmitaniu sa ďalej používa tzv. Boucherotův člen RC na výstupe zosilňovača.

Vnútorne kompenzácie - pre zlepšenie stability zosilňovača sa obmedzuje prenášané frekvenčné pásmo integračnými kondenzátormi v spätných väzbách, v bázach tranzistorov alebo medzi prechodmi B-C.

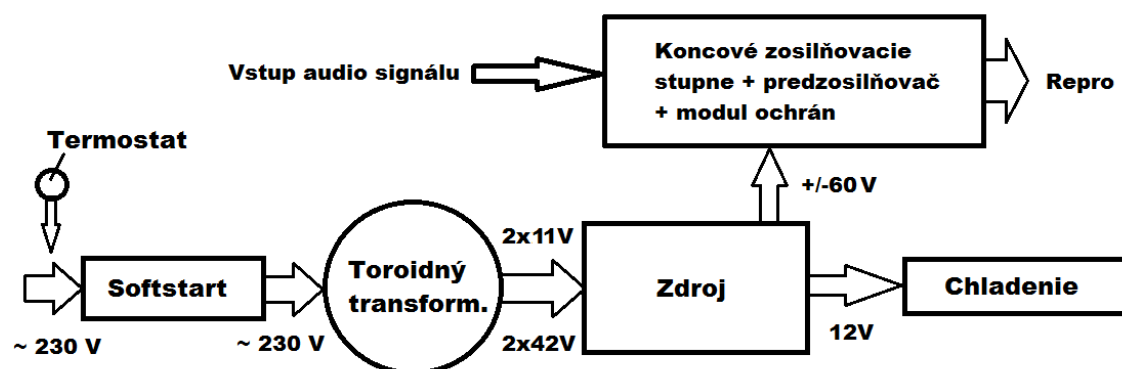
1.4.6 Predzosilňovač

Je vstupný článok zosilňovača ako celku. Jeho prvou funkciou je úrovňovo prispôbiť signál zo vstupu k požadovanej veľkosti signálu pre ďalší stupeň zosilňovača. Tento stupeň môže byť, ako korekčná časť, tak aj samotný koncový zosilňovač. Vstupné napätie do predzosilňovača je väčšinou normované podľa zdroja signálu (napr. prehrávač CD má normovaných $U_{výst} = 0,775$ V), a preto pri návrhu musíme počítať s akým zdrojom signálu daný stupeň použijeme. Pre tzv. univerzálny vstup používame väčšinou zosilňovač s nastaviteľným zosilnením, ten má ovládací prvok GAIN, ktorým sa nastavujeme vstupnú citlivosť. Ďalšou dôležitou činnosťou je impedančné prispôbenie. Každý zdroj má svoju výstupnú impedanciu a každý zosilňovač má svoju určitú vstupnú impedanciu a tieto impedancie sa musia prispôbiť tak, aby každý ďalší stupeň príliš nepreťažoval predchádzajúce. Vstupná impedancia by mala byť cca 10 krát vyššia, aby sa výstupná príliš neuplatňovala. Predzosilňovač môže mať aj frekvenčnú korekciu (napr. RIAA), ktorá uvádza signál, ktorý bol zmenený pri výrobe záznamu späť do pôvodného stavu (najlepšie rovnakého ako pôvodného). Predzosilňovač máva veľké zosilnenie, pretože zosilňuje najmenšiu úroveň signálu (ak ide o nízkoúrovňové signály) je najviac citlivý na svoj vlastný šum, ktorý zosilňuje ako on sám tak aj ďalšie stupne. Snažíme sa teda o čo najväčší možný odstup signál-šum, aby sme potlačili šum aj brum. Predzosilňovač musí mať možnosť relatívne veľkého prebudenia, aby limitácie pokiaľ možno vznikali len v koncovom zosilňovači a nie v predzosilňovači, aby teda koncový stupeň nezosilňoval už predtým skreslený signál.

Existuje mnoho ďalších pomocných obvodov, ktoré nie sú v tomto projekte opísané.

2 VLASTNÉ RIEŠENIE ZOSILŇOVAČA

2.1 Bloková schéma navrhnutého riešenia



Obr. 2.1 Blokové schéma navrhnutého riešenia zosilňovača

2.1.1 Legenda blokovej schémy

Termostat	-	ochana zosilňovača proti prehriatiu
Softstart	-	zaist'uje plynulý nábeh zdroja zosilňovača
Transformátor	-	transformuje sieťové napätie, na napätie vhodné pre zdroj
Zdroj	-	usmerňuje transformované napätie, filtruje ho a stabilizuje pre obvody predzosilňovača, koncového stupňa a ventilátory
Predzosilňovač	-	Spracováva vstupný signál pre prijatie koncovým stupňom
Konc. zosil.	-	výkonovo zosilňujú vstupný signál
Modul ochrán	-	chráni zosilňovač a repro pred poruchou a parazitami
Chladenie	-	zabezpečuj nepretržité chladenie koncového stupňa zosilňovača pomocou ventilátorov

2.2 Predhovor k navrhnutému riešeniu

Celkový návrh zosilňovača je rozdelený do niekoľkých častí, ktoré obsahujú popis, schému zapojenia, DPS, osadzovací plán, zoznam súčiastok či simuláciu.

Celkovo je zosilňovač rozdelený na štyri samostatné kanály, kde každý koncový stupeň má svoj jednoduchý predzosilňovač s ovládaním hlasitosti a modul ochrán spolu na jednej kompletizovanej DPS. Vždy dva bloky môžu zároveň pracovať v mostíkovom zapojení, kedy sa ich výsledný výkon spočítava.

Všetky koncové zosilňovacie stupne sú napájané z jedného výkonného zdroja, ktorý tým pádom musí obsahovať kvalitné a výkonovo prispôsobené súčiastky. Obsahuje časti napájania pre jednotlivé moduly zvlášť tak, aby sa navzájom neovplyvňovali. (napr. napájanie pre chladenie, predzosilňovače a koncové stupne)

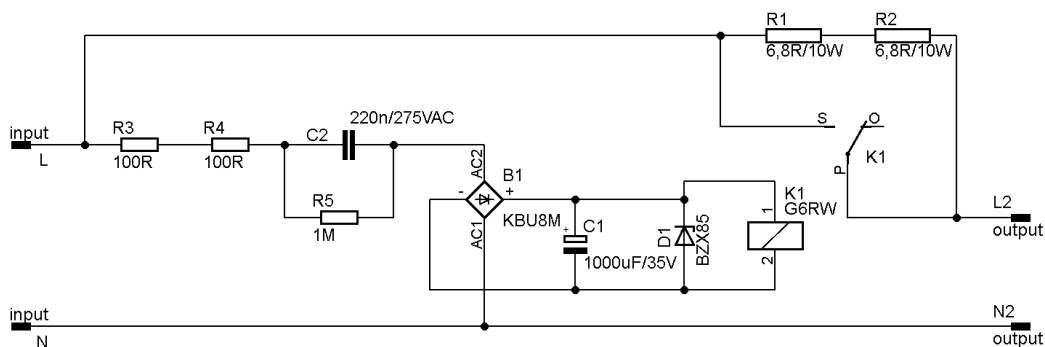
Projekt neobsahuje simuláciu navrhnutého koncového stupňa zosilňovača, nakoľko sa nepodarilo sprevádzkovať spoluprácu s programom pre simulácie, ktorý hlásil chyby ktoré som nevedel odstrániť a hlavnou príčinou bola veľká absencia modelov použitých koncových tranzistorov a pod.

2.3 Softstart obvod

2.3.1 Popis zapojenia

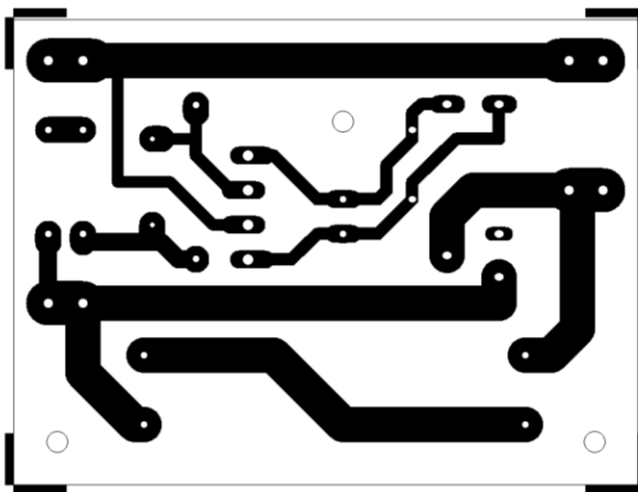
Pri zapnutí sieťového vypínača začne tiecť prúd cez rezistory R1 a R2, ktoré slúžia k prúdovému obmedzeniu pri zapnutí zosilňovača, kedy sa sýti jadro transformátora a nabíjajú sa veľké filtračné kondenzátory zdroja zosilňovača. Kondenzátor C2, ktorý plní funkciu filtrácie a je dimenzovaný na sieťové napätie 250-275V (typu CFAC). Napäťový deliaci pomer je daný rezistormi R3 až R5. Po usmernení napätia cez graetzov mostík sa nabíja kondenzátor C1 a po uplynutí tejto doby (cca 1,5-2s v závislosti na veľkosti kapacity kondenzátora) zopne relé, ktoré odpojí rezistory R1 a R2 a transformátor je potom napájaný normálnym režimom (viz. obr. 2.3). Tento obvod sa používa pre transformátory s výkonom viac ako 500VA. (prevzaté z [5] a upravené)

2.3.2 Schéma zapojenia



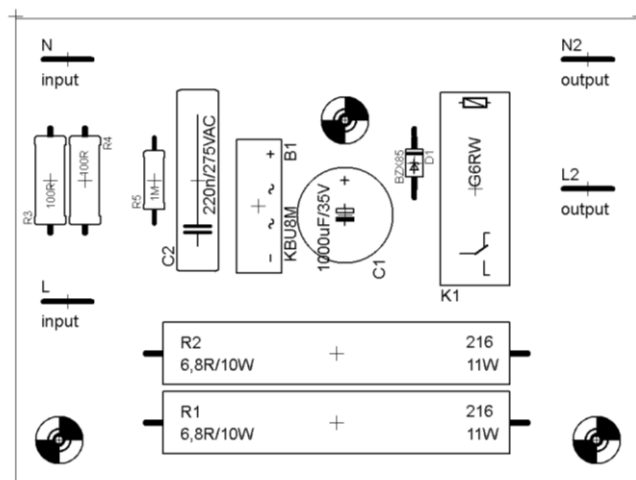
Obr. 2.2 Schéma zapojenia softstart obvodu pre výrobu DPS

2.3.3 Doska plošných spojov



Obr. 2.3 Spodná strana DPS softstart obvodu

2.3.4 Osadzovací výkres



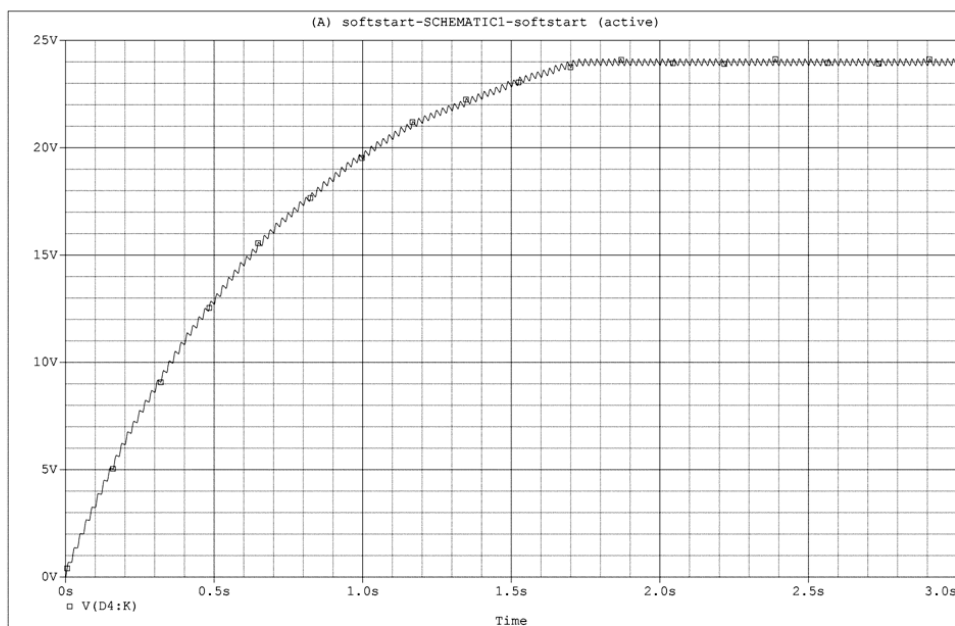
Obr. 2.4 Osadzovací výkres softstart obvodu

2.3.5 Zoznam súčiastok softstart obvodu

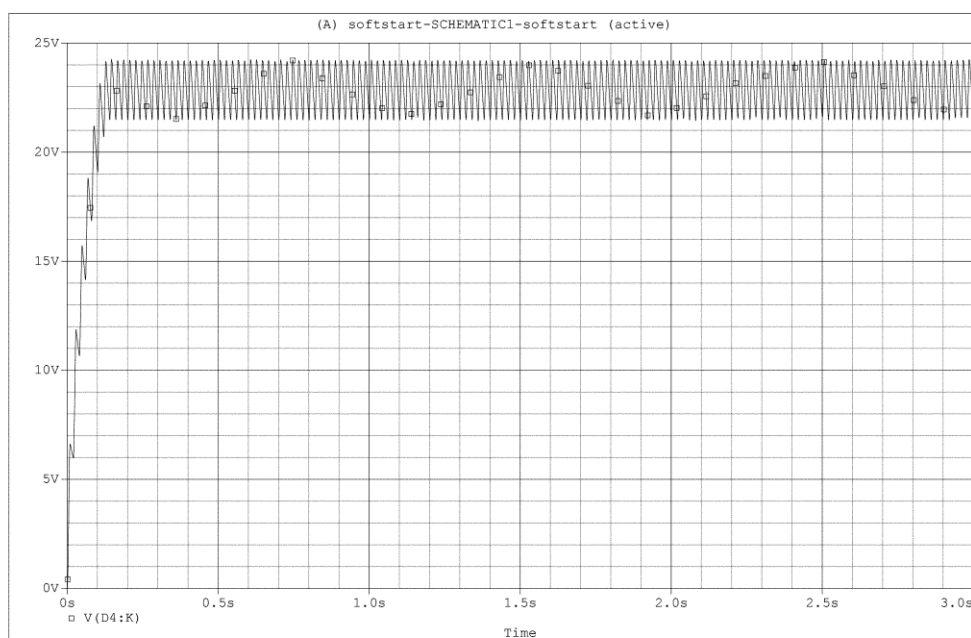
Názov	Hodnota	Označenie súčiastky	Počet
R1, R2	6,8 Ω /10W	RKH216-8	2
R3, R4	100 Ω /1W	R-EU_0613/15	2
R5	1 M Ω /0,6W	R-EU_0309/12	1
L, L2, N, N2	Faston 6,3mm	PIN2F061.100	4
D1	BZX85	BZX85	1
C1	1000uF/35V	CPOL-EUE5-13	1
C2	220n/275VAC	C-EU225-062X268	1
K1	G6RW	G6RW	1
B1	KBU8M	KBL	1

Tab. 1 Zoznam súčiastok softstart obvodu

2.3.6 Výsledok simulácii v programe v PSpice



Graf 1 Časová zmera zopnutia relé pre kondenzátor 10mF



Graf 2 Časová zmera zopnutia relé pre kondenzátor 1000uF

2.4 Modul ochrán koncového zosilňovača

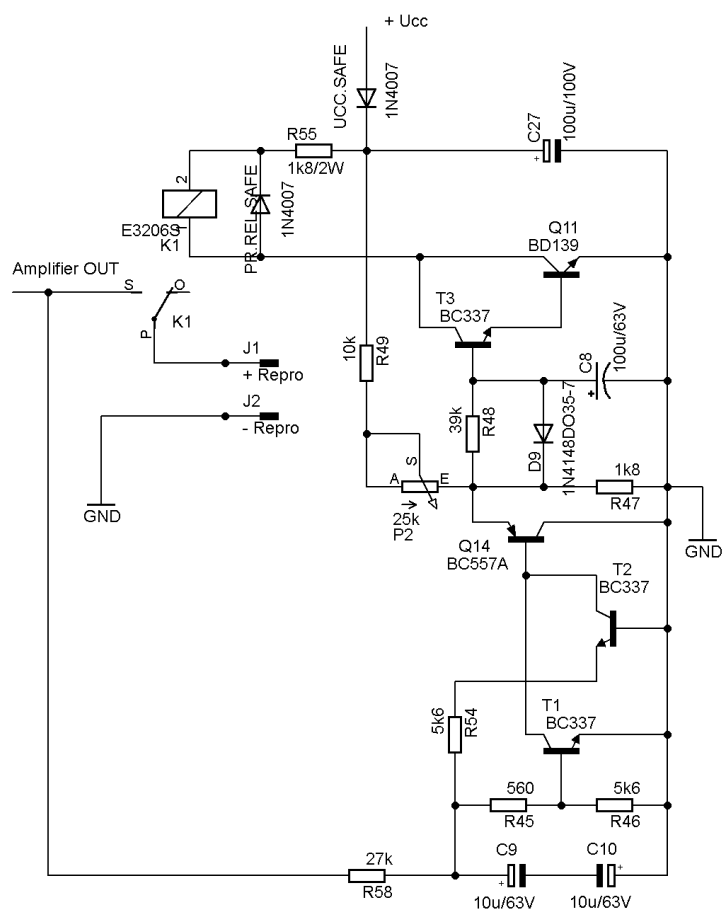
2.4.1 Funkcia modulu ochrán

Zariadenie pripája záťaž k výstupu zosilňovača až po ustálení napätia na kondenzátoroch a odpojuje ju okamžite pri vypnutí sieťového vypínača, odstraňuje teda nepríjemné “lupanie” pri zapnutí a vypnutí zosilňovača. Navyše chráni reproduktory tým, že ak sa na výstup zosilňovača dostane jednosmerné napätie o minimálnej veľkosti cca 2V, reproduktory sa odpoja do tej doby, pokiaľ na výstupe trvá jednosmerné napätie. To je užitočné ak sa napr. prerazí koncový stupeň zosilňovača (koncový tranzistor) a na výstup sa dostane napájacie napätie.

2.4.2 Popis zapojenia

Modul je napájaný priamo z kladnej vetvy zosilňovača ešte pred poistkou, pretože pri napájaní za sklopoistkou sa môže stať, napr. pri prerazení koncového tranzistora by s veľkou pravdepodobnosťou došlo k náhlemu nárastu odberu v danej vetve a tým sa prepáli poistka na DPS koncového zosilňovača a ochrany by tak prestali fungovať. Cez pomocnú diódu Ucc. SAFE sa vďaka malej kapacite kondenzátora C27 zaručí rýchle odpojenie reproduktora pri vypnutí zosilňovača. Naopak oneskorené pripojenie reproduktorov je spôsobené pomalým nabíjaním kondenzátora C8 cez rezistory R48, R49 a trimer P2, ktorým sa nastavuje požadovaná doba oneskorenia (resp. úbytok napätia v odporovej ceste). Jeho rýchle vybitie je zaistené diódou D9 cez tranzistor R47. Pokiaľ sa na výstupe zosilňovača objaví jednosmerné napätie, nabije sa kondenzátor C106, prípadne C75 (kladné alebo záporné napätie) a dôjde k otvoreniu tranzistoru Q165, príp. Q164 a následne Q166, ktorý cez diódu D106 vybijie kondenzátor C182 a tým dôjde k zatvoreniu dvojice tranzistorov Q163 a Q174 a odopnutiu relé U12.

2.4.3 Schéma zapojenia



Obr. 2.5 Schéma zapojenia modulu ochrán zosilňovača (prevzaté z [8] a upravené)

2.5 Napájací zdroj

2.5.1 Popis zapojenia

Napájací zdroj je realizovaný pomocou dvoch blokov napájaných z jedného transformátora s viacerými sekundárnymi vinutiami. Prvá časť napája štyri moduly koncových zosilňovačov. Je tvorená graetzovým usmerňovacím mostíkom B1, kondenzátormi C3 - C6 proti vľ zákmitom a kondenzátormi C1, C2 pre filtráciu zvlnenia usmerneného napätia. Vzhľadom na nenáročnosť použitia druhej časti (napájanie ventilátorov) je striedavé napätie odoberané z individuálnych sekundárnych vinutí usmernené pomocou dvoch výkonových diód D1 a D2 a obmedzené rezistormi R1 a R2 pre výsledné napätie 12V. Pre rozmiestnenie súčiastok bolo použité káblové spojenie a preto neexistuje pre napájací zdroj doska plošných spojov.

2.5.2 Výpočet filtračných kondenzátorov a napájania ventilátorov

$$C = \frac{k * I}{U_{BR}} = \frac{9 * 8000}{2,2} = 32727,27 \mu F$$

$$U_R = (U_{\sim} * \sqrt{2}) - U_D - U_{výst} = (11 * \sqrt{2}) - 0,7 - 12 = 2,8563 V$$

$$R_{1,2} = \frac{U_R}{I_{FAN}} = \frac{2,8563}{0,150} = 19,04 \doteq 20 \Omega$$

C – výsledná kapacita filtračných kondenzátorov [μF]

I – odoberaný prúd [mA]

U_{BR} – zvlnenie [V]

k = 9 – pre zvlnenie 5%

$U_{\sim}$ – striedavé napätie zo sekundárneho vinutia

U_R – požadovaný úbytok napätia na rezistore R_1 a R_2

U_D – úbytok napätia na usmerňovacej dióde

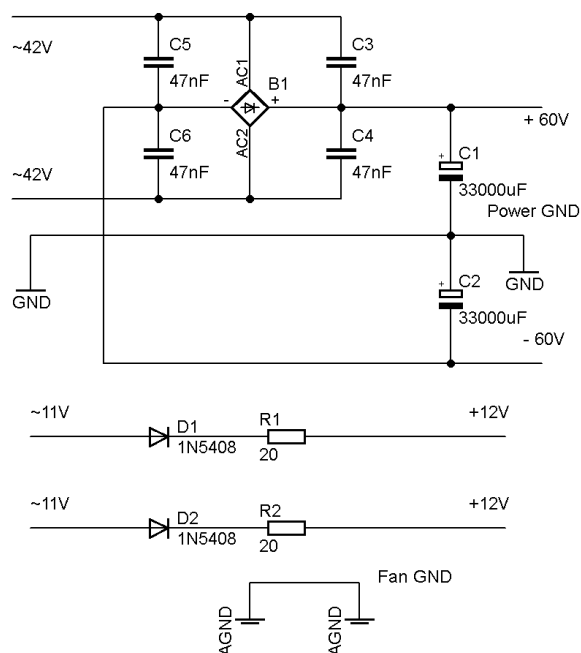
$U_{výst}$ – požadované výstupné napätie

I_{FAN} – prúd odoberaný ventilátorom

$R_{1,2}$ – hodnota obmedzovacích rezistorov R_1 a R_2

Chyba spôsobená zjednodušením výpočtu je menšia ako výrobná tolerancia elektrolytických kondenzátorov. Výpočet filtračných kondenzátorov prebraný z [9].

2.5.3 Schéma zapojenia



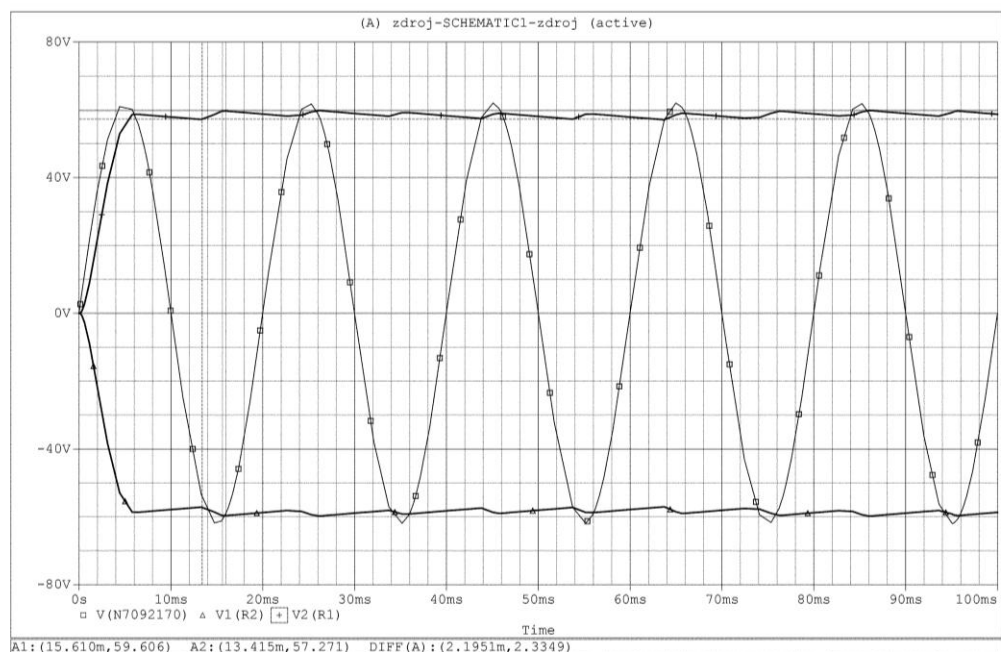
Obr. 2.6 Schéma zapojenia napájacieho zdroja zosilňovača a ventilátorov

2.5.4 Zoznam súčiastok napájacieho zdroja

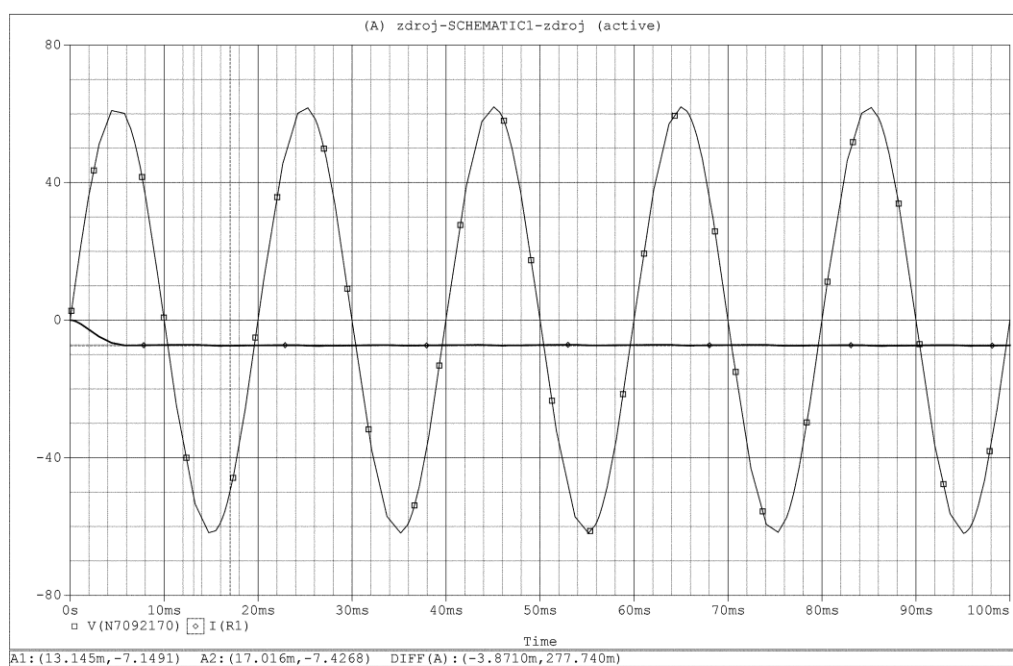
Názov	Hodnota	Označenie súčiastky	Počet
R1, R2	20 Ω /2W	R-EU_0411/15	2
D1, D2	1N5408	1N5408	2
B1	50A/1000V	FBM	1
C3, C4, C5, C6	47nF	C-EU025-024X044	4
C1, C2	33000 μ F	PEH169NT5330Q	2

Tab. 2 Zoznam súčiastok napájacieho zdroja

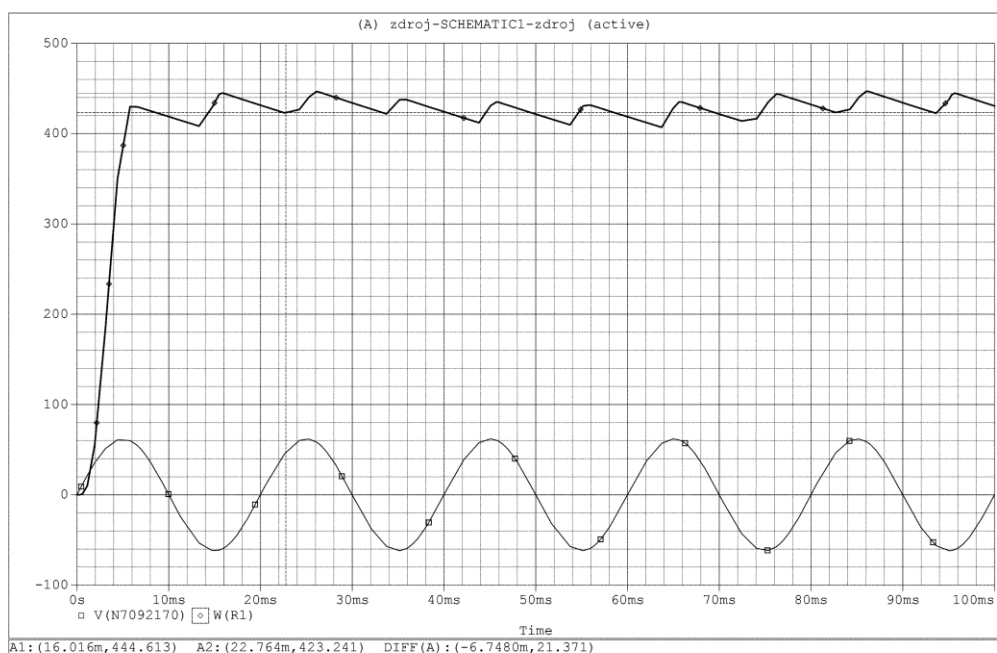
2.5.5 Výsledok simulácie z programu PSpice



Graf 3 Zvlnenie výstupného napätia zdroja



Graf 4 Zvlnenie výstupného prúdu zdroja



Graf 5 Výstupný výkon pre dvojicu zosilňovačov do záťaže 4+4ohm

Ku grafom: V spodnej časti každého grafu sú hodnoty zodpovedajúce polohám kurzorov v simulácii, kde sme sledovali zvlnenie výstupného napätia, prúdu či výkonu.

Napr. Zvlnenie výstupného napätia je cca 2,4V

Zvlnenie výstupného prúdu je cca 280mA

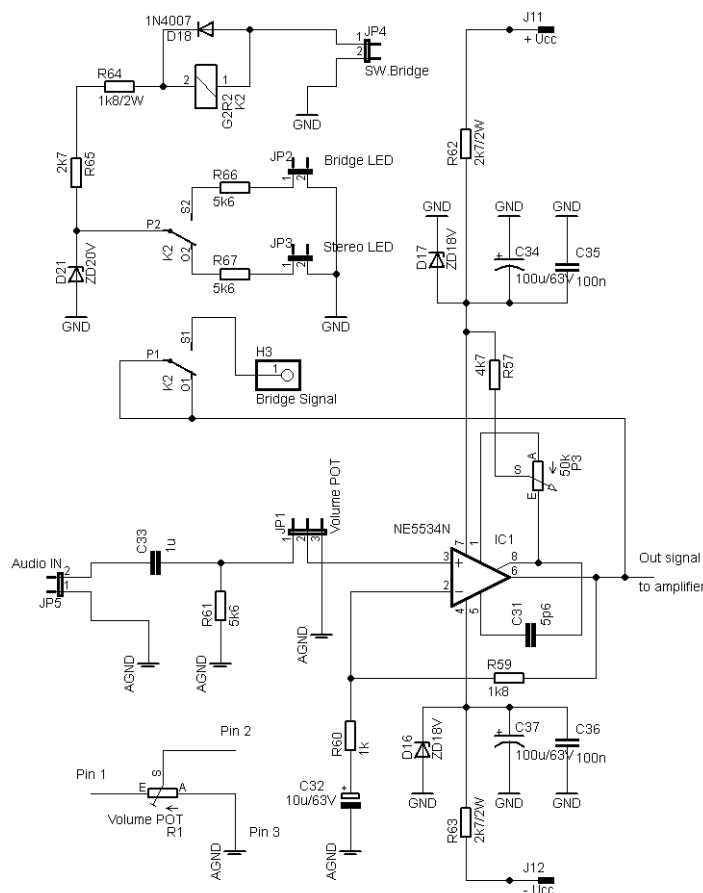
Výstupný výkon dosahoval hodnôt 420 až 450W pre dva kanály zosilňovača

2.6 Predzosilňovač s DC offsetom

2.6.1 Popis zapojenia

Zapojenie predzosilňovača je postavené na základe nízkošumového integrovaného obvodu NE5534, ktorý je doplnený vstupným filtrom C33, R61. Hlavným dôvodom zapojenia je predzosilniť vstupný signál pre budenie samotného koncového zosilňovača ale aj ako impedančné oddelenie vstupu. Spätná väzba tvorená R59 a R60 spolu s C32 nastavuje približne polovičnú hodnotu výstupného napätia OZ naspäť na invertujúci vstup. Odporovou cestou R57 a P3 je možné nastaviť (resp. vynulovať) DC posuv na výstupe. Ovládanie hlasitosti je regulované pomocou externe pripojeného logaritmického potenciometra R1. Pin s názvom Bridge Signal odoberá signál z výstupu OZ a privádza ho späť na invertujúci vstup druhého OZ pre druhý koncový modul zosilňovača, ktoré prepína relé a tým zabezpečuje mostíkové zapojenie vstupného signálu. Pre správny napäťový pomer na vstupe nasledujúceho OZ, je použitý s hodnotou 1k8, ktorý tvorí spolu s rezistorom spätnej väzby o hodnote 1k rovnaký deliaci pomer ako pri zapojení neinvertujúceho OZ prvého modulu zosilňovača. Bez použitia mostíkového zapojenia pracuje druhý blok predzosilňovača rovnako ako prvý blok s tým, že spracováva iný vstupný signál, privedený pomocou rovnakého konektora ako pre prvý blok ale prostredníctvom iného pinu.

2.6.2 Schéma zapojenia



Obr. 2.7 Schéma zapojenia predzosilňovača s DC offsetom

2.7 Modul mostíkového prepájania

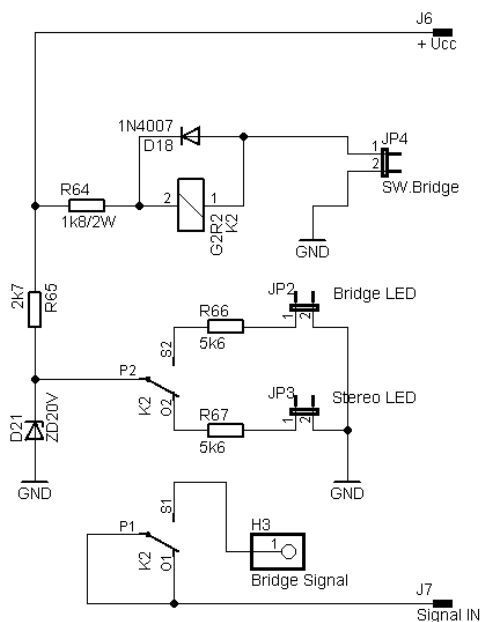
2.7.1 Popis mostíkového prepájania

Vyhotovenie je realizované v dvoch variáciách, nakoľko obvod pre prepínanie do mostíkového zapojenia je potrebný len jeden krát pre jeden pár kompletizovaných DPS.

Existuje teda DPS s mostíkovým prepínaním a DPS, ktorá prijíma vstupný audio signál pre mostíkové zapojenie. Pri tejto aplikácii je potrebné aby na vstupný konektor, bol privádzaný (rovnaký) monofónny signál. Zapojenie do mostíkovej prevádzky teda vykonáva vždy jeden pár koncových zosilňovačov. Je možné pracovať aj v dvojkanálovom režime, kedy sú oba páry v mostíkovom zapojení a ich výkon je dvojnásobný oproti výkonu jednej dosky koncového zosilňovača.

Prepínanie do mostíkového zapojenia zabezpečuje prepínač na zadnom paneli zosilňovača, pomocou ktorého sa zopne relé, ktoré prepája monofónny signál z prvého modulu a privádza ho na invertujúci vstup druhého kompletizovaného modulu zosilňovača a zabezpečuje rozsvietenie LED diódy zo Stereo na Bridge režim na prednom paneli zosilňovača.

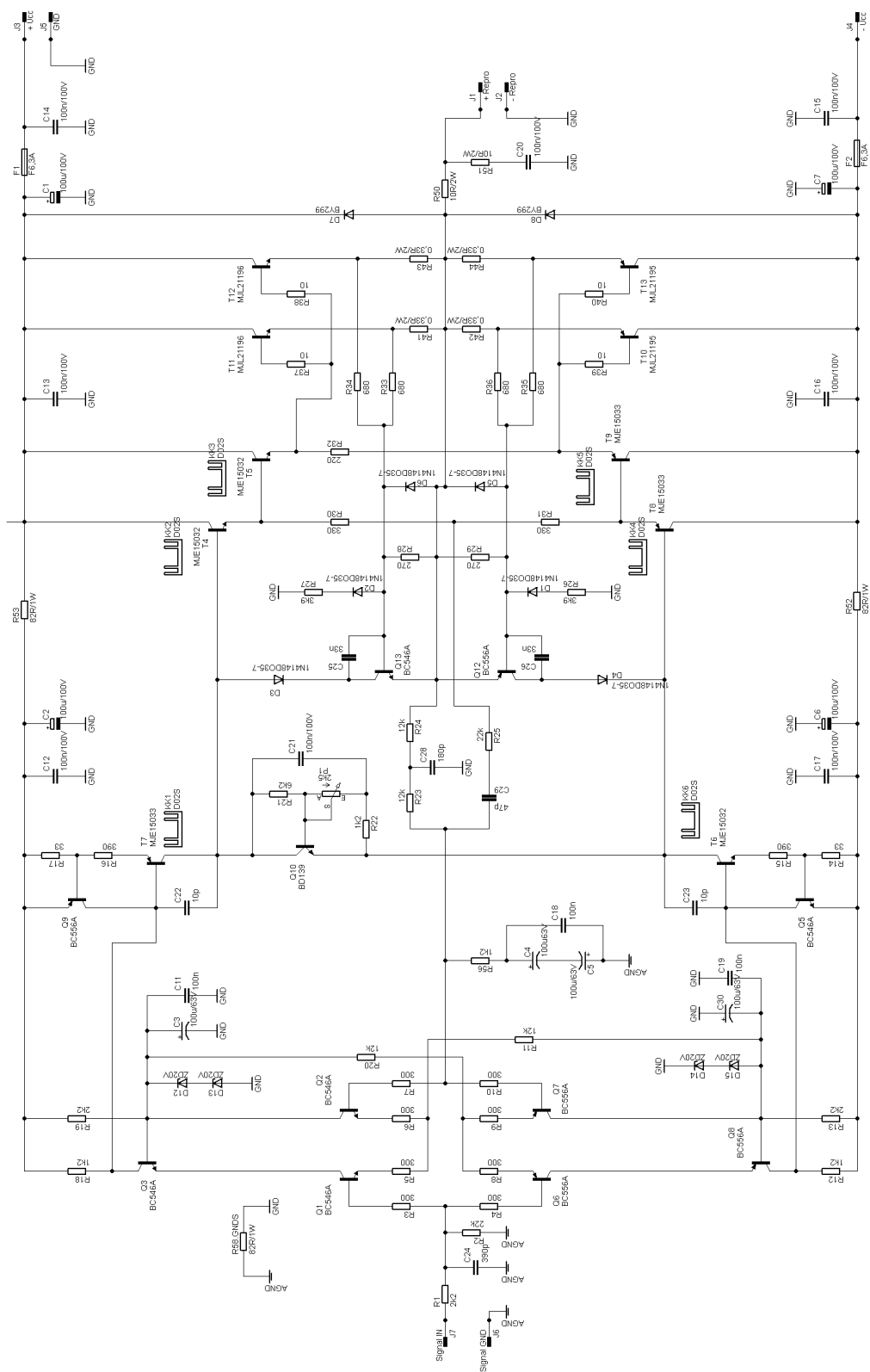
2.7.2 Schéma zapojenia



Obr. 2.8 Schéma zapojenia modulu mostíkového prepájania

2.8 Koncový zosilňovač

2.8.1 Schéma zapojenia koncového zosilňovača



Obr. 2.9 Schéma zapojenia koncového zosilňovača prevzatá z [6] a upravená

2.8.2 Popis zapojenia

Celkové napäťové zosilnenie A_u je určené odpormi rezistorov R17 až R19 v hlavnej slučke spätnej väzby a je cca 23 (zisk je teda 29dB). Zosilnenie je dané pomerom: $A_u = (R17 + R18 + R19) / R19$. Spätná väzba je rozdelená na dve vetvy – nad 150kHz je účinná vetva s C29 a R25 z budiča T4, T8 a prispieva tak k stabilite zosilňovača pri kapacitnej a komplexnej záťaži. Pre jednosmerné napätie a veľmi nízke kmitočty (podľa voľby veľkosti kapacity antiparalelne zapojených kondenzátorov C4 a C5) je spätná väzba kompletná a prispieva k jednosmernej stabilite zapojenia. Vstupnú impedanciu zosilňovača určuje rezistor R2 s hodnotou 22kOhm. Tento odpor nie je dobré príliš meniť, zosilňovač by sa „rozvážil“ a posunulo by sa kludové napätie na výstupe. Medzi vstupnú svorku a zosilňovač je zaradený integračný článok R1, C24 typu dolná priepusť, ktorá v signáli potlačuje nežiadúce kmitočty nad 200kHz. Vstupný signál sa privádza na bázy Q1 a Q6, signál spätnej väzby na bázy Q2 a Q7. V diferenčnom zosilňovači sa od vstupného signálu odčíta signál spätnej väzby a rozdiel sa prejavuje ako zmena kolektorového prúdu tranzistorov Q1 a Q6. Týmto kolektorovými prúdmi sú riadené ďalšie tranzistory Q3 a Q8 s uzemnenou bázou. Na ich kolektorových rezistoroch R12 a R18 sa potom objavuje napätie pre ďalší stupeň. Q3 a Q8 tiež znižujú kolektorové napätie tranzistorov Q1, Q2, Q6 a Q7 a zabraňujú ich prierazu. Bázy Q3 a Q8 sú pripojené na napätie +/- 40V, stabilizované dvojicami Zenerových diód D12 až D15. Dôležité sú emitorové rezistory R5, R6, R8, R9. Linearizujú vstupný zosilňovač a upravujú jeho zisk tak, aby nemohol byť prebudovaný signálom spätnej väzby a nemohlo tak vzniknúť prechodové intermodulačné skreslenie (tzv.TIM). K vylúčeniu TIM prispieva tiež integračný článok R1, C24, ktorý zo vstupného signálu odstraňuje kmitočty, na ktorých by mohlo vzniknúť TIM. Tranzistory T6 a T7 tvoria rozkmitový stupeň, ktorý napäťovo zosilňuje signál zo vstupného diferenčného zosilňovača. Pomocné tranzistory Q5 a Q9 obmedzujú maximálny prúd tranzistorov T6 a T7 pri aktivovaní ochranného obvodu koncových tranzistorov. Riešenie rozkmitového stupňa, rovnako ako aj ostatných stupňov je podrobne rozpísané a zdôvodnené na webových stránkach pôvodného autora (W. M. Leacha). Dôležitou súčasťou zosilňovača je obvod pre riadenie kludového prúdu koncových tranzistorov, ktorý je vyriešený s tranzistorom Q10 (BD139), kde je jeho báza ovládaná napätím z odporového deliča. Samotný tranzistor je tepelne viazaný s koncovými tranzistormi (je pripevnený na rovnakom chladiči ako koncové tranzistory) a tým môže sledovať teplotné zmeny a stabilizovať kludový prúd na požadovanú hodnotu. Po zahriatí sa mení priechodnosť tranzistoru Q10. Týmto sa udržiava približne kludový prúd koncových tranzistorov a jeho veľkosť je možné nastaviť trimrom P1. Budiace tranzistory T4, T5, T8, T9 a koncové tranzistory T10 až T13 posledných troch stupňov sú v Darlingtonovom zapojení so spoločným kolektorom. Koncové tranzistory tvoria paralelné dvojice. Rezistory R37 až R40 v sérii s bázami koncových tranzistorov zabraňujú parazitným osciláciám a linearizujú činnosť týchto tranzistorov. Kludový prúd doporučuje autor nastaviť pre celý zosilňovač okolo 100mA (tomu zodpovedá prúd asi 40 až 45mA každým tranzistorom). Tento prúd nemusí byť až tak veľký, keďže prechodové skreslenie sa stráca už pri celkovom odbere modulu, t.j. asi 30 až 40mA.

Koncové tranzistory sú chránené napäťovo a prúdovo citlivými obmedzovacími stupňami, ktorý obmedzuje ich maximálny prúd. Ochranný obvod obsahuje tranzistory Q12 a Q13, ktoré snímajú napätie na emitorových rezistoroch R41 až R44 koncových tranzistorov. V bežnej prevádzke sú tranzistory Q12 a Q13 nevodivé. Pri zvýšení prúdu napr. koncových tranzistorov T11 a T12 nad stanovenú hodnotu sa úbytkom napätia z R41 a R43 cez delič R28, R33 a R34 otvorí tranzistor Q12 a obmedzí budenie tranzistora T4 čím sa zmenší i budenie koncových tranzistorov. Obdobne funguje i tranzistor Q13 v dolnej vetve zosilňovača. Reakcia ochrany pri prechodových javoch je optimalizovaná kondenzátormi C25, C26 a zároveň slúžia na kompenzáciu prechodových javov prechodu B-C tranzistorov Q12 a Q13 a obmedzenie šírky prenášaného pásma. Diódy D7 a D8 chránia koncové tranzistory proti prechodnému napätiu opačnej polarita, napr. pri indukčnej záťaži. Zosilňovač poskytuje prepokladaný výkon 200W

do záťaže minimálne 4Ohm, pri záťaži o impedancií 2Ohm už začína reagovať prúdová ochrana. Celkovo tak znesie i veľkú kapacitnú záťaž čo je vhodné pri spojení s niektorými typmi reproduktorových výhybiek. (viz. Obr. 2.6)

Vyššie ovedený popis zapojenia je prevzatý z [7] a upravený.

2.8.3 Predpokladané parametre zosilňovača

Zosilňovač je navrhnutý tak, aby bolo minimalizované TIM. V emitoroch vstupných diferenčných stupňov sú rezistory o odpore 300Ohm a šírka pásma zosilňovača s otvorenou slučkou spätnej väzby je upravená kondenzátormi C22 a C23 v rozkmitovom stupni a kondenzátorom C29 v spätnej väzbe medzi budičom a vstupom. Zosilňovač má teoretický výkon min. 200W do 4 ohm, harmonické skreslenie typicky 0,01%, výkonovú šírku pásma okolo 8,5MHz a rýchlosť priebehu 60V/μs.

2.9 Kompletizovaný modul zosilňovača

2.9.1 Popis súčastí a osadenia

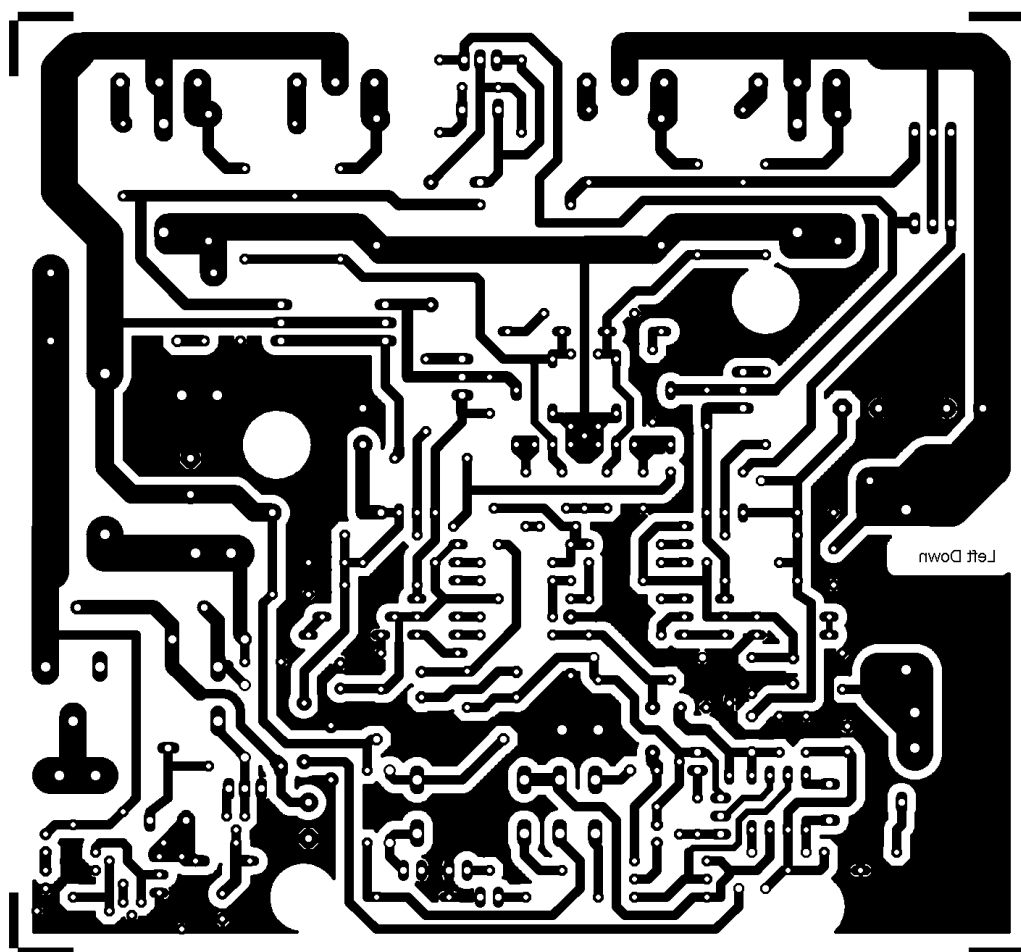
V tejto kompletizovanej verzii je zlúčený na jednej doske plošných spojov koncový zosilňovač, predzosilňovač s DC offsetom, modul ochrán zosilňovača a obvod pre mostíkové zapojenie dvoch koncových modulov.

Navrhnutá DPS je kvôli jednoduchosti a absencii zložitejších integrovaných obvodov jednostranná s niekoľkými drátovými prepojmami na strane súčiastok a vodivé prepoje boli navrhnuté s ohľadom na ich použitie. Všetky súčiastky boli osadené s čo najkratšími vývodmi tak, aby zodpovedali svojmu účelu, teda napr. výkonové resistory sú osadené vo väčšej vzdialenosti od DPS kvôli ich zahrievaniu. Výkonové tranzistory sú tepelne zviazané s chladičom pomocou teplovodivých silikónových podložiek, ktoré zároveň izolujú účinnú chladiacu plochu tranzistorov od chladiča a tým zamedzujú ich vzájomnému skratu. Tranzistory rozkmitového stupňa a budičov koncových tranzistorov sú chladené individuálnymi chladičmi malých rozmerov. Všetky potrebné kondenzátory boli osadené vo fóliovom prevedení, nakoľko majú lepšie vlastnosti ako kondenzátory keramické, tie boli použité len v prípadoch kedy šlo o VF filtráciu a pod. Napájanie DPS a výstup koncového zosilňovača je riešený pomocou konektorov Faston 6,3mm. Na privedenie vstupného signálu, odvedenie signálu pre mostíkové zapojenie, signalizačných LED či potenciometra, kde nieje požiadavka na prechod veľkých prúdov, boli použité jednoduché Jumper konektory. Relé na výstupe koncového zosilňovača je dimenzované na prúd 10A čo plne postačuje pre správnu a bezchybnú prevádzku.

2.9.2 Schéma zapojenia kompletizovaného modulu pre výrobu DPS

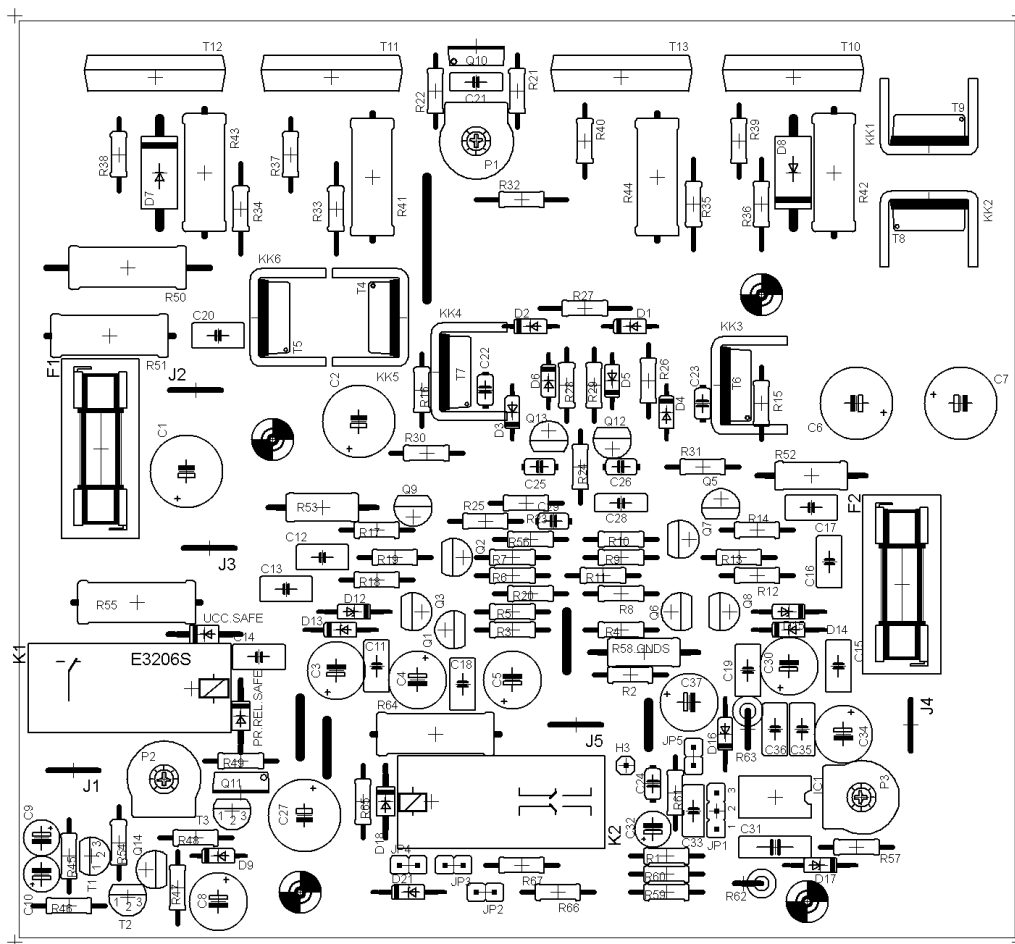
Viz. príloha č. 1

2.9.3 DPS kompletizovaného modulu



Obr. 2.11 Spodná strana dosky plošných spojov s mostíkovým prepájaním

2.9.4 Osadzovací výkres



Obr. 2.12 Osadzovací plán kompletizovaného modulu s mostíkovým prepájaním

2.9.5 Zoznam súčiastok jednej kompletizovanej DPS

Tab. 7 Zoznam súčiastok kompletizovaného modulu zosilňovača – V prílohe

3 MECHANICKÉ A KONŠTRUKČNÉ RIEŠNIE

3.1 Transformátor

3.1.1 Vlastnosti

V tejto práci bol použitý starší toroidný transformátor vybratý z experimentálneho továrenského zosilňovača Tesla MOS-FET 1000W. Jeho primárne vinutie je určené pre 230V~ a sekundárne vinutia majú výstupné napätie 2x42V~ (ako odbočka) a 2x11V~ resp. 2x53V~ plné vinutie s vyvedeným stredom. Jeho primárne vinutie je navinuté z 1mm medenného drôtu a sekundár je navinutý 2,5mm medenným drôtom. Jeho výkon je min. cca 1500W.

3.1.2 Fotografia transformátora



Obr. 3.1 Fotografia toroidného transformátora

3.1.3 Výpočet parametrov transformátora

Výpočet napätia a prúdu koncového zosilňovača, podľa [10]:

$$U = \sqrt{8 * P_{out} * R_z + 2 * U_{zb}}$$

$$U = \sqrt{8 * 280 * 4 + 2 * 11}$$

$$U = 116,657$$

U_{zb} zvolené podľa merania

$U_{ss} = U/2 = 58,32V$ (Pre symetrické napájanie)

Pre napätie U_{tr} je zvolená rezerva cca 5÷10% pro ztráty na usmerňovači a vinutí.

$$U_{vinutia} = (1,1 * U_{ss}) / \sqrt{2} = 1,1 * 58,328 / \sqrt{2} = 45,36V$$

$$I_{str} = (\sqrt{2 * P / R}) / \pi$$

$$I_{str} = (\sqrt{2 * 280 / 4}) / \pi$$

$$I_{str} = 3,766A$$

Prúd transformátoru bude v prípade štyroch koncových stupňov štvornásobný.

Pomocné vinutia, pro jednu vetvu:

12V pre ventilátory + 0,7V úbytok na usmerňovačej dióde $/\sqrt{2} = 8,98V$.. cca 9V

Sekundárne vinutia transformátora:

2 x 45V/16A

2 x 9V/0,5A

Výkon transformátoru:

$$S = 2 \cdot U_{\text{vinutia}} \cdot I_{\text{str}} + 2 \cdot U_{\text{vinutia 2}} \cdot I_{\text{str}} = 2 \cdot 45 \cdot 7 + 2 \cdot 9 \cdot 0,5 = 1442 \text{ VA}$$

3.2 Prístrojová krabica

3.2.1 Vyhotovenie

Ako prístrojová krabica bolo použité šasi o rozmere 2U (1U = 44mm na výšku) z nefunkčného záložného zdroja pre PC. Všetky vnútorné periférie boli odstránené tak, aby bolo získané čo najviac miesta pre uloženie stávajúceho zosilňovača. Tým sa ušetrili náklady za celkové vyhotovenie zosilňovača, avšak je možné zakúpenie obdobného nového a prázdneho Racku o rozmeroch 1, 2 či 3U.

3.2.2 Fotografie šasi 2U



Obr. 3.2 Pohľad na šasi zhora

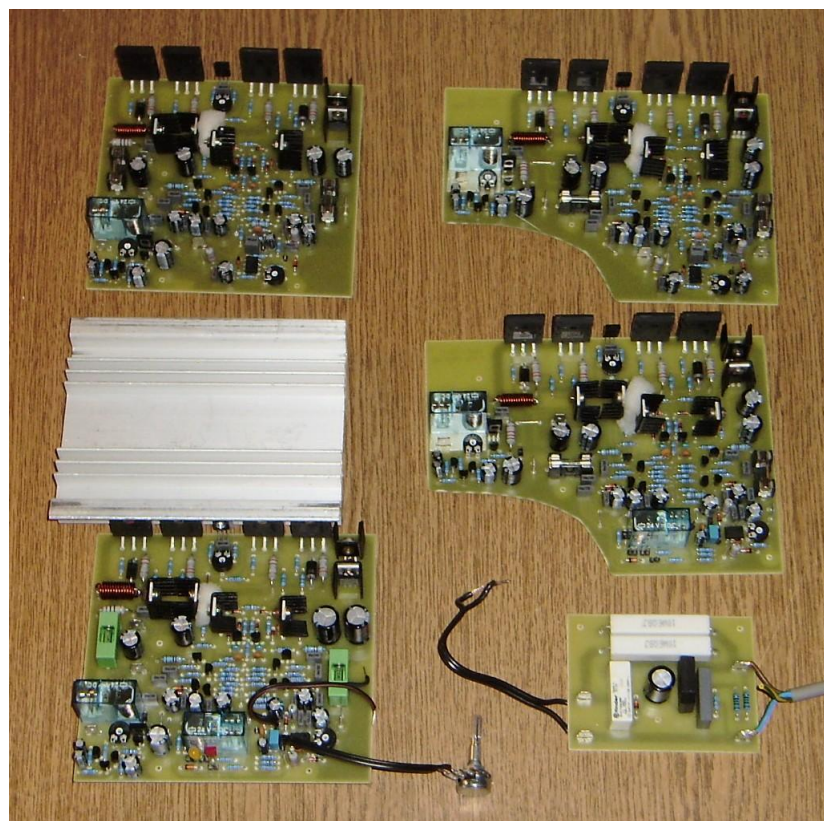


Obr. 3.3 Pohľad na šasi spredu bez predného panelu

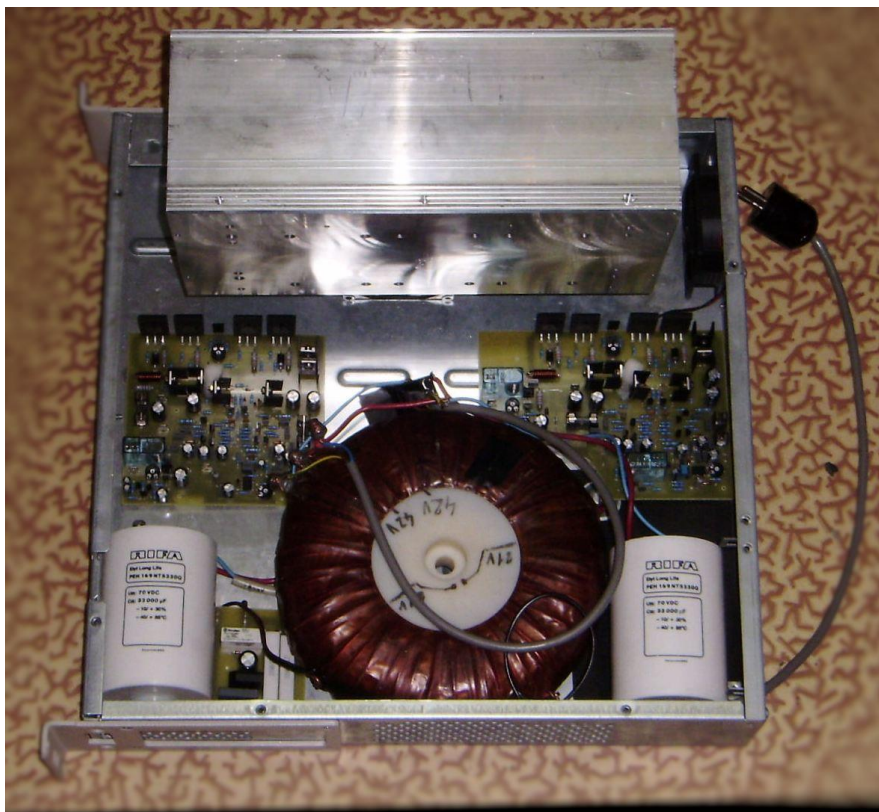
3.3 Fotografie realizácie



Obr. 3.4 Filtračné kondenzátory hlavného napájacieho zdroja



Obr. 3.5 Vyhotovenie kompletizovaných DPS a obvod softstartu



Obr. 3.6 Navrhnuté rozloženie jednotlivých komponentov v prístrojovej krabici

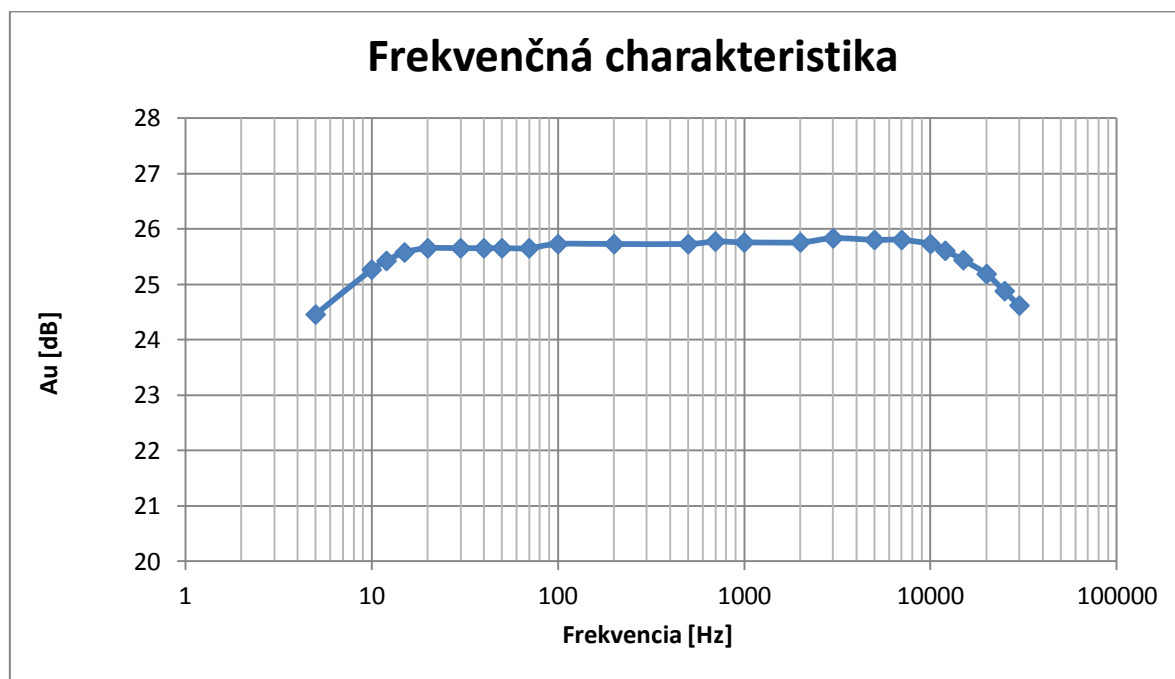
4 VÝSLEDKY MERANIA

4.1 Koncový zosilňovač

4.1.1 Frekvenčná charakteristika a skreslenie

f [Hz]	5	10	12	15	20	30	40	50	70
U _{výst} [V]	5,010	5,50	5,60	5,70	5,75	5,75	5,75	5,75	5,75
Au [-]	16,700	18,333	18,667	19,000	19,167	19,167	19,167	19,167	19,167
Au [dB]	24,454	25,265	25,421	25,575	25,651	25,651	25,651	25,651	25,651
f [Hz]	100	200	500	700	1000	2000	3000	5000	7000
U _{výst} [V]	5,80	5,80	5,80	5,83	5,82	5,82	5,87	5,85	5,85
Au [-]	19,333	19,333	19,333	19,433	19,400	19,400	19,567	19,500	19,500
Au [dB]	25,726	25,726	25,726	25,771	25,756	25,756	25,830	25,801	25,801
f [Hz]	10000	12000	15000	20000	25000	30000	-	-	-
U _{výst} [V]	5,80	5,72	5,61	5,45	5,26	5,105	-		
Au [-]	5,800	5,720	5,610	5,450	5,260	5,105		-	
Au [dB]	19,333	19,067	18,700	18,167	17,533	17,017			-

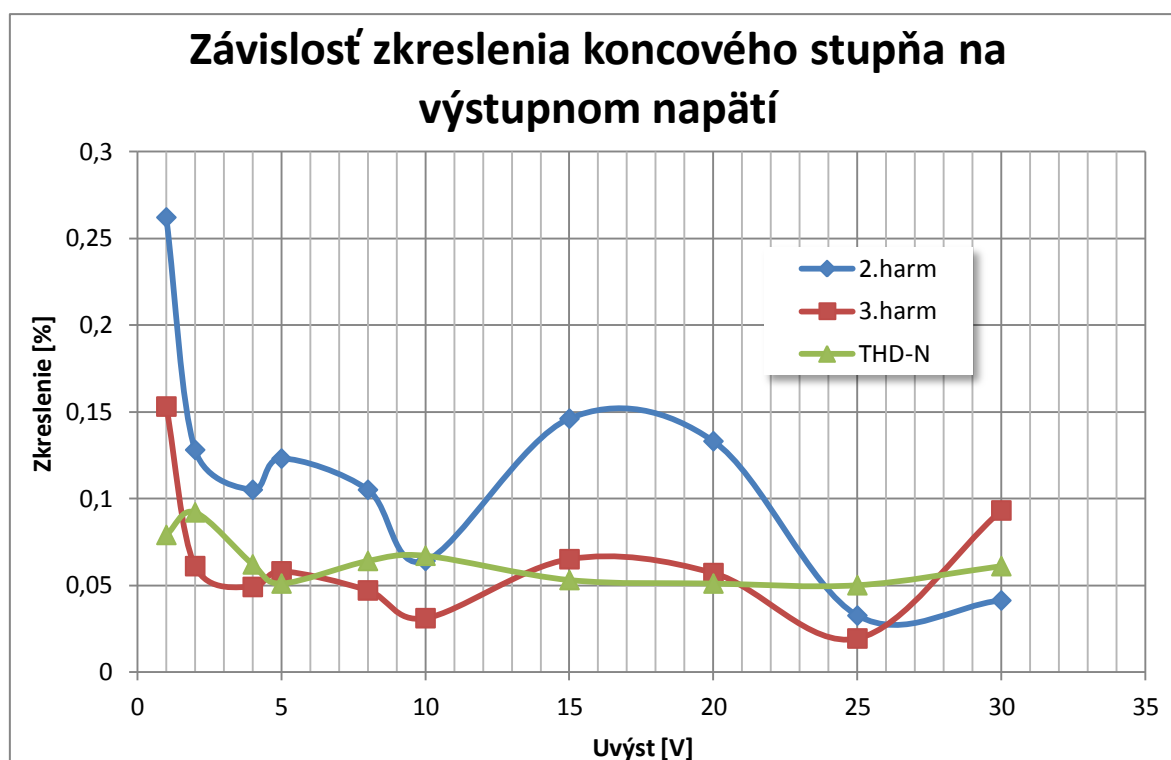
Tab. 4 Frekvenčná charakteristika koncového stupňa



Graf 6 Frekvenčná charakteristika pre $U_{vst} = 300\text{mV}$

Uvýst [V]	1	2	4	5	8	10	15	20	25	30
2.harm [%]	0,262	0,128	0,105	0,123	0,105	0,064	0,146	0,133	0,0325	0,0412
3.harm [%]	0,153	0,061	0,049	0,058	0,047	0,031	0,065	0,057	0,0193	0,0931
THD-N [%]	0,079	0,092	0,062	0,051	0,064	0,067	0,053	0,051	0,05	0,061

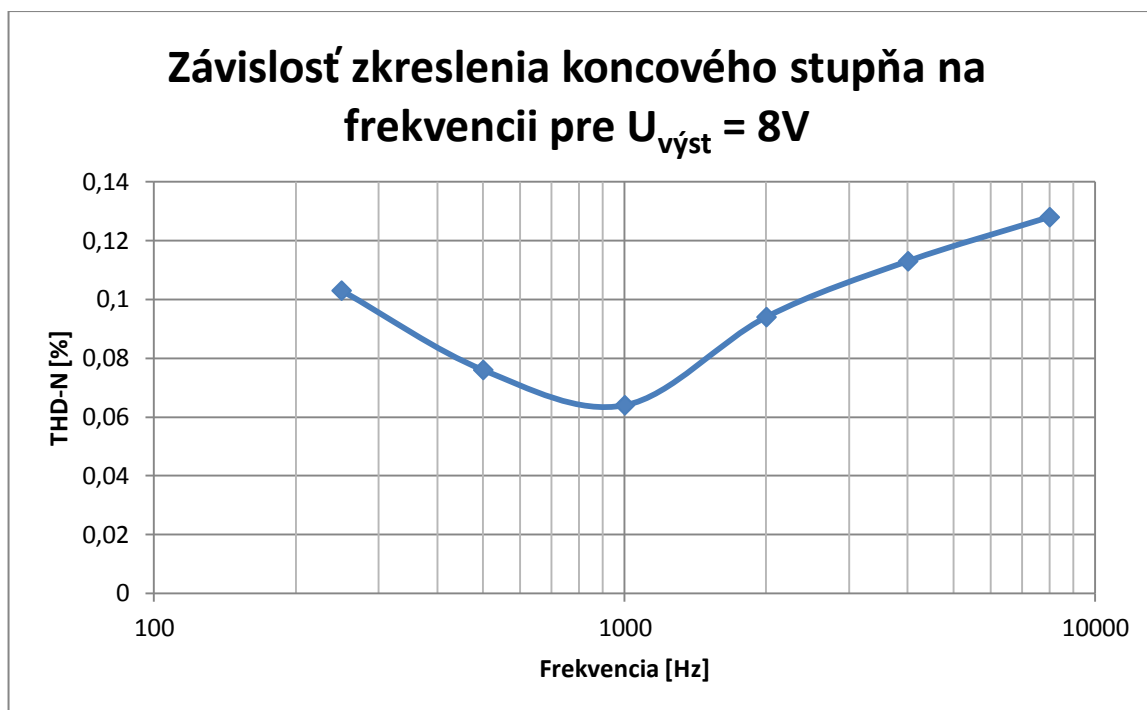
Tab. 5 Závislosť zkreslenia koncového stupňa na výstupnom napätí



Graf 7 Závislosť zkreslenia koncového stupňa na výstupnom napätí

F [Hz]	f	250	500	1000	2000	4000	8000
THD-N [%]	thd-n	0,103	0,076	0,064	0,094	0,113	0,128

Tab. 6 Závislosť zkreslenia koncového stupňa na frekvencii



Graf 8 Závislosť zkreslenia koncového stupňa na frekvencii

4.1.2 Priebehy namerané na osciloskope

Rýchlosť prebehu:

Zostupná hrana: $1,46\mu s$ pre $U = 84,22V$ $SR = \frac{U}{t} = \frac{84,22}{1,46} = 57,68V/s$

Nástupná hrana: $1,74\mu s$ pre $U = 91,37V$ $SR = \frac{U}{t} = \frac{91,37}{1,74} = 52,5V/s$

5 ZÁVER

Pre kompletný zosilňovač boli navrhnuté obvody softstartu, napájacieho zdroja, predzosilňovača modulu ochrán a obvody koncového stupňa. Pri ich návrh boli využité znalosti získané počas troj ročného štúdia na VUT Brno Fakulte elektrotechniky a informačných technológií i počas premetu BB2E a BBCE. Všetky obvodové časti boli navrhnuté tak aby zodpovedali vopred daným požiadavkám, teda ako štvorkanálový zosilňovač pre odposluchy v PA aplikáciách pri ozvučovaní so samostatnou reguláciou hlasitosti jednotlivých kanálov, bez ďalších doplnkov ako sú ekvalizér a pod.

Projekt obsahuje len čiastočné simulácie a výpočty jednotlivých častí navrhnutého riešenia nakoľko sa nepodarilo nájsť príslušné modely súčiastok k navrhovanému zapojeniu. Zapojenie však po malých úpravách funguje. Jeho oživovanie bolo jednoduchšie ale vyskytli sa aj komplikácie, ktoré som dokázal odstrániť. Celkovo zosilňovač spĺňa moje podmienky.

LITERATÚRA

- [1] Internetové stránky W. Marshalla Leacha: <http://users.ece.gatech.edu/~mleach/lowtim/>
- [2] Přednáška BNFE č. 3. bnfe_prednaska_3.pdf. Ing. Tomáš Kratochvíl, VUT FEKT Brno, 2006
Přednáška BNFE č. 5. bnfe_prednaska_5.pdf. Ing. Tomáš Kratochvíl, VUT FEKT Brno, 2006
- [3] Soft Start for power supply units. 2008. Dostupné na: <http://www.eleccircuit.com/soft-start-for-power-supply-units/>
- [4] WIRSUM, Siegfried. Abeceda NF techniky. BEN – technická literatura, 1997. 191 s. ISBN 0071341196
- [5] Internetové stránky: <http://www.audioweb.cz>
- [6] Internetové stránky: <http://zosilnovace.eu/Zosilnovac250Wv4.htm>
- [7] Koncový zesilňovač LEACH AMP 200W/ 4Ohm. zawin, 2007. Dostupné na: <http://svetelektro.com/clanky/koncovy-zosilnovac-leach-amp-200w-4ohm-171.html>. [cit.30.12.2011].
- [8] Internetové stránky: <http://www.foto-milan.ic.cz>. [cit.30.12.2011].
- [9] Internetové stránky: <http://www.dmaster.wz.cz/postupy/filtr/filtr.htm>
- [10] ČERMÁK,J., JURKOVIČ,K. Návrh a konstrukce nízkofrekvenčních tranzistorových zesilovačů: STNL, 1974. 374s.

Zoznam použitých obrázkov

Obr. 1.1	Závislosť výstupného prúdu na vstupnom napätí pri výkonnej súčiastky pracujúce v triede a) A, b) AB, c) B - ilustrácie sú charakteristiky výkonových elektrónok.
Obr. 1.2	Sínusový vstupný signál je modulovaný pomocou trojuholníkového signálu s oveľa vyššou frekvenciou zpravidla minimálne 2krát väčšou ako vstupný signál a výsledný modulovaný obdĺžnikový signál výstupu zosilňovača triedy D pred filtráciou.
Obr. 1.3	Koncové tranzistory bez predpätia (tr.B)
Obr. 1.4	Konc.tran. s predpätím (tr.AB)
Obr. 1.5	Komplementárne Darlingtonove zapojenie
Obr. 1.6	Kvazikomplementárne zapojenie
Obr. 2.1	Blokové schéma navrhnutého riešenia zosilňovača
Obr. 2.2	Schéma zapojenia softstart obvodu pre výrobu DPS
Obr. 2.3	Spodná strana DPS softstart obvodu
Obr. 2.4	Osadzovací výkres softstart obvodu
Obr. 2.5	Schéma zapojenia modulu ochrán zosilňovača (prevzaté z [8] a upravené)
Obr. 2.6	Schéma zapojenia napájacieho zdroja zosilňovača a ventilátorov
Obr. 2.7	Schéma zapojenia predzosilňovača s DC offsetom
Obr. 2.8	Schéma zapojenia modulu mostíkového prepájania
Obr. 2.9	Schéma zapojenia koncového zosilňovača prevzatá z [6] a upravená
Obr. 2.10	Schéma zapojenia s prepojením do mostíkového zapojenia
Obr. 2.11	Spodná strana dosky plošných spojov s mostíkovým prepájaním
Obr. 2.12	Osadzovací plán kompletizovaného modulu s mostíkovým prepájaním
Obr. 3.1	Fotografia toroidného transformátora
Obr. 3.2	Pohľad na šasi zhora
Obr. 3.3	Pohľad na šasi spredu bez predného panelu
Obr. 3.4	Filtračné kondenzátory hlavného napájacieho zdroja
Obr. 3.5	Vyhotovenie kompletizovaných DPS a obvod softstartu
Obr. 3.6	Navrhnuté rozloženie jednotlivých komponentov v prístrojovej krabici

Zoznam tabuliek

Tab. 1	Zoznam súčiastok softstart obvodu
Tab. 2	Zoznam súčiastok napájacieho zdroja
Tab. 3	Zoznam súčiastok kompletizovaného modulu zosilňovača
Tab. 4	Frekvenčná charakteristika koncového stupňa
Tab. 5	Závislosť zkrútenia koncového stupňa na výstupnom napätí
Tab. 6	Závislosť zkrútenia koncového stupňa na frekvencii
Tab. 7	Zoznam súčiastok kompletizovaného modulu zosilňovača – V prílohe

Zoznam grafov

Graf 1	Časová zmera zopnutia relé pre kondenzátor 10mF
Graf 2	Časová zmera zopnutia relé pre kondenzátor 1000uF
Graf 3	Zvlnenie výstupného napätia zdroja
Graf 4	Zvlnenie výstupného prúdu zdroja
Graf 5	Výstupný výkon pre dvojicu zosilňovačov do záťaže 4+4ohm
Graf 6	Frekvenčná charakteristika pre $U_{vst} = 300\text{mV}$
Graf 7	Závislosť zkrútenia koncového stupňa na výstupnom napätí
Graf 8	Závislosť zkrútenia koncového stupňa na frekvencii

ZOZNAM SYMBOLOV VELIČÍN A SKRATIEK

f	frekvencia
vf	vysokofrekvenčný
nf	nízko-frekvenčný
SOAR	bezpečná pracovná oblasť čipu (napr. tranzistora)
TIM	prechodové intermodulačné skreslenie
Au	zosilnenie
PA	public adress (ozvučenie pre verejnosť)

ZOZNAM PRÍLOH

P.1 Schéma zapojenia s prepojením do mostíkového zapojenia	28
P.2 Zoznam súčiastok kompletizovanej DPS	30