

**Stavba  
elektronkového  
stereo zesilovače  
ve třídě B  
4x 5881WXT  
2x ECC 803S  
1x ECC 82**

# **Mensa gymnázium**

## **Seminární práce z fyziky**

**Stavba elektronkového stereo zesilovače ve třídě B**

**4x 5881WXT**

**2x ECC 803S**

**1x ECC 82**

**Matyáš Kosík, kvinta**

**školní rok 2010/2011**

**Vedoucí práce: doc. RNDr. Zdeněk Drozd, Ph.D.**

**Poděkování za pomoc:**

**RNDr. Peter Žilavý, Ph.D.**

**Vladimír Bareš**

**Petr Fajrajzl**

**František Hlava**

## **Obsah:**

<b>1. Úvod .....</b>	<b>4</b>
<b>2. Proč elektronky? .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Princip funkce tříd zesilovačů – A, AB, B .....</b>	<b>5</b>
<b>4. Volba součástek .....</b>	<b>7</b>
<b>4.1 Odpory .....</b>	<b>8</b>
<b>4.2 Kondensátory .....</b>	<b>9</b>
<b>4.3 Trafa .....</b>	<b>10</b>
<b>4.4 Filtrační tlumivka .....</b>	<b>10</b>
<b>4.5 Potenciometry .....</b>	<b>10</b>
<b>4.6 Elektronky .....</b>	<b>11</b>
<b>5. Mechanické uspořádání .....</b>	<b>11</b>
<b>6. Poslech .....</b>	<b>12</b>
<b>7. Teorie .....</b>	<b>12</b>
<b>8. Závěr .....</b>	<b>14</b>

# 1. Úvod

Proč stavím zesilovač v dnešní době, kdy je všeho dostatek a každý má doma minimálně několik rádií, o cd přehrávačích, mobilech a počítačích nemluvě? Jestliže se takhle ptáte, mám já jednu otázku na Vás. Slyšeli jste někdy hrát elektronkový zesilovač nebo alespoň staré elektronkové rádio? Jestliže ne, měli byste tuto chybu napravit. Elektronkový zesilovač nebo rádio se opravdu s tranzistorovými nedá srovnávat – má totiž mnohem lepší zvuk. Ale to se těžko vysvětluje a dokud ho neuslyšíte na vlastní uši, nepochopíte. Elektronkové zesilovače se dnes také prodávají, ale za ceny, ze kterých se normálnímu člověku zatočí hlava. Přitom koupě jednotlivých součástí a stavba vyjde mnohem levněji a člověk se při ní leccemu přiučí. Avšak existuje mnoho věcí, které mohou nejen ovlivnit výsledný zvuk zesilovače, ale dokonce ovlivnit i jeho funkčnost. Protože není zrovna jednoduché takové věci zjistit – či spíše rozmotat změř informací: „10 lidí, 20 názorů“, rozhodl jsem se udělat návod či soupis rad pro případné zájemce o stavbu elektronkého zesilovače. Chtěl bych upozornit, že zvukové hodnocení je subjektivní – dobrý zvuk se nedá změřit, jde jediné slyšet.

## 2. Proč elektronky?

Historii elektronek jsem podrobně popsal ve své první seminární práci z primy (2006/7). Takže budu psát jen o jejich přenosových výhodách proti polovodičům. Když pomínu různé jiné výhody jako krásný vzhled a to, že dnes jde (bohužel) o „snobárnu“, mají elektronky výhodu menšího zkreslení – o tom píše níže. Vnitřní šum elektronek je nejen nižší, ale navíc je na neslyšitelných frekvencích (infrazvuk), a jelikož reproduktory infrazvuk stejně nedokáží přenést, zmizí šum z poslechu (samozřejmě záleží na konkrétním typu). Další výhodou je jiný poměr harmonických frekvencí ve zvuku. Harmonické frekvence jsou celým násobkem původní frekvence. Existují sudé (např. dvojnásobek, čtyřnásobek) a liché (trojnásobek, pětinásobek). Lidskému uchu jsou příjemnější nízké sudé harmonické, které u elektronek převládají. Obecně platí, že čím menší počet mřížek u elektronek, tím více sudých harmonických. Proto audio-nadšenci většinou propagují triodový zvuk jako „nejlepší a nejpříjemnější“ pro převážný podíl druhé harmonické. Samozřejmě si člověk musí sám určit, který zvuk je mu příjemnější na tu kterou hudbu - jestli použít triody nebo pentody – například kytaristé naopak zkreslení často využívají. Pentodu lze také zapojit jako triodu spojením druhé – stínící – mřížky s anodou (a třetí – brzdící – s katodou, pokud již spoj třetí mřížky s katodou není proveden uvnitř elektronek).

U elektronek se nesetkáte s jevem známým u tranzistorových zesilovačů, které při vytočení hlasitosti na maximum jednak kvůli tepelnému šumu, jednak kvůli ostrému náběhu zkreslení začnou silně šumět. U elektronkových zesilovačů může být problémem spíše síťový brum, který se ovšem neprojeví, pokud je síťový zdroj – dodávající napětí do zesilovače – dobře navržen a má dostatečnou kapacitu vyhlazovacích kondensátorů, vhodnou tlumivku (někdy nahrazenou odporem), případně stabilizaci (to znamená, že dodává v ideálním případě čistě stejnosměrné, nezvlněné napětí). Často bývá zdrojem brumu žhavení, u nepřímožhavených elektronek však obvykle postačí zapojit mezi oba póly potenciometr 220R 3W s uzeměným běžcem a nastavit nejnižší brum.

Ale zpět ke zvuku: tranzistory mají proti elektronkám prakticky úplné zastoupení lichých harmonických a plochý (především u starších „tranzistoráků“ z šedesátých a sedmdesátých let), ostrý a „rozšuměný“ zvuk. Dnes se tyto nevýhody častokrát kompenzují zvýšeným počtem součástek. Ovšem počet součástek (jdoucích i do několika set), které stojí v cestě signálu, velmi zřetelně potlačuje živost, opravdovost a dynamiku zvuku – především

se ztrácí jemné tóny, takže „zjednodušuje“ promyšlenější hudbu. Na to existuje další trik: do zesilovače se zařadí tzv. buffer, který má zvuk jakoby „nafouknout“ a dát mu chybějící dynamiku. Ovšem pak jde už jen o „padělek“ původního zvuku, details mu nevrátí a to je při pozornějším poslechu opravdu hodně znát. Velmi složité zesilovače také mají velmi složité zkreslení, a ačkoli může být malé, vadí uchu více než nějaké to procento 2. harmonické.

Ještě pár slov k tomu, proč toto u elektronkových zesilovačů není. Elektronka je přenosově a výkonově mnohem lepší součástka než tranzistor, a proto jich v zesilovači stačí málo, stejně tak, jako stačí malé množství ostatních součástek. Ale zkuste si postavit zesilovač se 2 tranzistory, vyjde vám provizorní chraštítko. Pokud k elektronkám ještě vybereme kvalitní i ostatní součástky (obzvláště ty, které stojí přímo v cestě signálu), dostaneme velice živý a kvalitní zvuk, který nepotřebuje ani ekvalizér (tj. tónové korekce – regulace výšek a basů atd...). Dobrý zvuk získáme také díky malému počtu součástek, které stojí v cestě zvukovému signálu. V mém zesilovači jich bude osm. U nejkvalitnějších, ale méně výkonných (pro jeden citlivý reproduktor) zesilovačů mohou být jen čtyři.

U vysílačů se dodnes využívají výkonné vysílací elektronky, neboť jedině ty jsou schopny dodávat výkon až stovky kW při frekvencích až stovky MHz – to dosud s žádným tranzistorem nelze.

Opravdu – jestli máte rádi hudbu, tak si zkuste elektronkový zesilovač postavit. Ten zvuk mohu jedině doporučit.

Ale pozor na kvalitu záznamu – co nahrávka neobsahuje, ani nejlepší zesilovač nevrátí – více v „kultuře poslechu hudby“.

### **3. Princip funkce tříd zesilovačů – A, AB, B**

Druhy zesilovačů jsou tři: zesilovač napětí, zesilovač proudu a zesilovač výkonu. Elektronkové zesilovače mají charakteristiku blíže k zesilovači proudu – rozkmitem napětí na řídicí mřížce se mění anodový proud – a na koncovém stupni se setkáme se zesilovačem výkonu. Pokud kombinujeme v cestě signálu polovodiče a elektronky, musíme si uvědomit, že tranzistory se budí proudem do báze při napětí pouhých 0,7V (platí pro křemík), zatímco elektronky se budí záporným předpětím (rozkmitem napětí) na první (řídicí) mřížce, přičemž mřížkou neteče proud. Tato odlišnost může činit problémy při připojení elektronkového stupně před tranzistorový koncový zesilovač – elektronkový předzesilovač poskytuje obvykle rozkmit napětí až několik V, což může ohrozit báze tranzistorů. Protože první mřížkou elektronky prakticky neteče proud, je i vstupní impedance elektronkových zesilovačů velmi vysoká a bývá příčinou snazšího pronikání síťového brumu do zesilovače, proto musíme dbát na pečlivou konstrukci zesilovače. Podobně je tomu u unipolárních tranzistorů (FET), jenž mají také vysokou vstupní impedanci (a jejich zvuk se prý podobá elektronkovému).

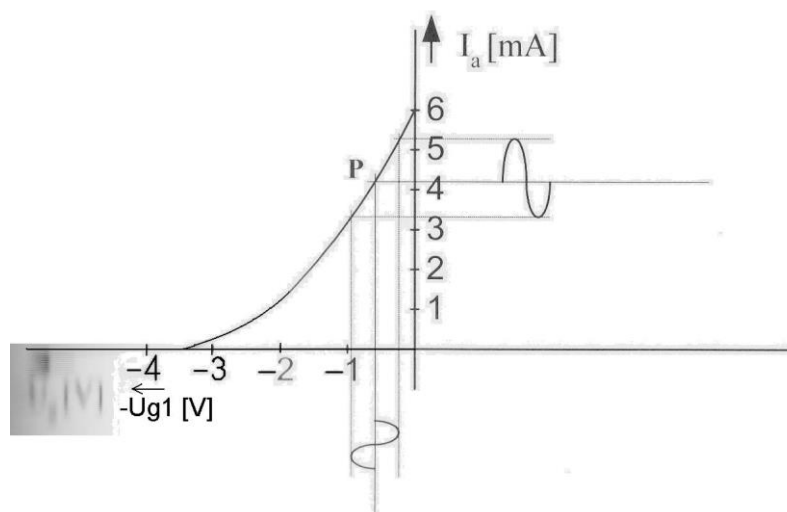
U koncových audio zesilovačů jsou však podstatné třídy provozu - ty se určují nastavením pracovního bodu (na obrázcích označených P), tedy mřížkového předpětí při nulovém signálu (zkratovaném vstupu).

## Třída A

Jednočinné A zesilovače se používaly ve většině starých rádií (kromě nejluxusnějších, které měly zesilovače dvojčinné) pro svou jednoduchost jak schematickou, tak konstrukční. Zesilovače patří do třídy A, pokud se u nich mřížkové předpětí nastaví tak, aby byl celý vstupní signál v lineární části zesilovací charakteristiky elektronky („držátka hokejky“). Pak bude výstupní průběh napětí bez zřejmého zkreslení, navíc jde jen o harmonické zkreslení, které lidské ucho nevnímá příliš intenzivně. Toho se využívá v domácích hi-end zesilovačích. V tomto zapojení obě půlvlny zpracovává jedna elektronka. Nevýhodou je to, že i v klidovém stavu bez signálu koncovým stupněm protéká proud (odpovídající nastavenému klidovému pracovnímu bodu). To snižuje účinnost zesilovače – ta je pouze 15-30% , takže se nehodí pro vyšší výkony. Výhodou je dosažení velmi dobré linearity a nízkého zkreslení. Ovšem tato výhoda může být pochybná, protože leckdo hodnotí jako nejlepší dvojčinné zesilovače třídy A nebo AB pro jejich větší výkon = větší rezervu = lepší dynamiku. Zaleží ovšem na citlivosti použitých reprobeden. Zesilovače třídy A se staví jak jednočinné s jednou elektronkou, tak dvojčinné se dvěma elektronkami (o dvojčinných zapojeních níže).

U jednočinných je nevýhodou potřeba citlivých reprobeden a větší náchylnost k brumění vlivem nesymetrie a s tím související potřeba velkých filtračních kondensátorů, případně i stabilizovaného žhavení. Tato náchylnost je u dvojčinných zapojení odstraněna, neboť se brum v obou polovinách primárního vinutí výstupního trafo navzájem odečte.

Harmonické zkreslení je u obvyklých pentod asi 5-10%, ale lidské ucho jej příliš nevnímá. Existují i speciální velmi lineární elektronky jako známá trioda 300B, či různé ještě lepší – u těch může být zkreslení i jen 0,05% (např. PX25).



Obr. 1 : Třída A

## Třída AB

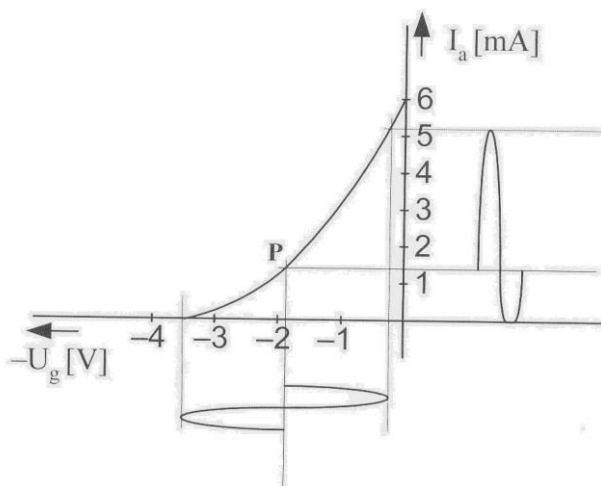
Nastavíme-li větší hodnotu předpětí  $g_1$  („více minus voltů“), stane se, že se část sinusoidy vstupního signálu dostane do zakřivené části zesilovací charakteristiky elektronky („ohyb hokejky“), pročež bude spodní půlvlna signálu velmi zkreslená, a proto je třeba zapojit ještě druhou elektronku zpracovávající spodní půlvlnu. Do zesilovače tedy přibude ještě invertor obracející signál pro druhou elektronku o  $180^\circ$ . Dvojčinné zapojení harmonické zkreslení sníží na nízkou hodnotu (cca. 1-5%).

Výhodná je vyšší účinnost – 30-50%. Zesilovače třídy AB již dosahují poměrně větších výkonů dostačujících i pro normální reprobedny.

Tyto zesilovače se staví jen dvojčinné, protože se vyruší zkreslení pomocí symetrie.

V jednočinném zapojení je třída AB v podstatě nepoužitelná.

Třída AB je opravdu kombinací tříd A a B - při nízkých hlasitostech zesilovač ještě pracuje ve třídě A, při vysokých ve třídě B – to je výhodný kompromis mezi účinností a zkreslením při nižších hlasitostech.



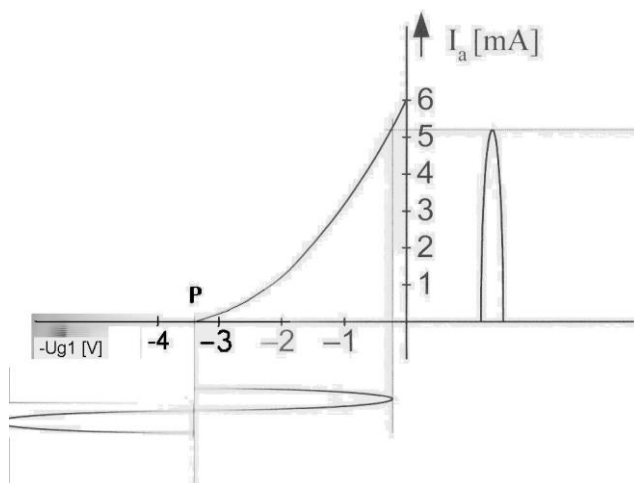
Obr. 2 : Třída AB

### Třída B

Pokud se klidový pracovní bod nastaví tak, že je klidový anodový proud téměř nulový, zesilovač bude zesilovat jen jednu půlvlnu vstupního signálu. Protože je klidový proud téměř nulový, dosahuje se vyšších účinností – 70-80% a největších výkonů (i pro kytarová komba a „rozehraje“ i velmi málo citlivé reprobedny). Nevýhodou je větší zkreslení, zvláště při nízkých hlasitostech. Z tohoto zkreslení je špatné především zkreslení přechodové, které nastává kolem nulového vstupního napětí (konec jedné a začátek druhé půlvlny), kdy si elektronky „předávají štafetu zesilování“.

U třídy B je ovšem právě díky „předávání štafety“ možné elektronky více zatížit, protože zesilují jen polovinu času a tu druhou „odpočívají“. Těmto zesilovačům „to jde“ až při vyšších hlasitostech, při nichž mají docela malé zkreslení (cca. 5%).

O třídě B platí to samé co o AB – používá se jen ve dvojčinném zapojení.



Obr. 3 : Třída B

## 4. Volba součástek

Výběr součástek je skoro nejpodstatnější ze všeho – dobrými součástkami se podpoří kvalitní zvuk, ovšem špatnými se může zkazit...

Proto uvádím druhy součástek, které jsou vhodné do zesilovačů:

## 4.1 Odpory

Běžně dostupných odporů jsou 4 druhy: uhlíkové, metaloxidové, drátové a metalizované – každý má jiný vliv na zvuk a je tedy vhodné věnovat pozornost jejich výběru. To ovšem není potřeba přehánět – jeden audiofil „extrémista“ používá značkové odpory dvojnásobné hodnoty antiparalelně zapojené, „aby se vyrušilo nesymetrické zkreslení“. To je opravdu příliš.

### Uhlíkové

Uhlíkové jsou tvořeny keramickou tyčkou omotanou vrstvou uhlíku potřebné tvrdosti (tvrdost určuje odpor) v několika málo plochých závitech. Tento typ se hojně používal ve starých rádiích, dnes se používá také velmi často obzvláště v levnějších výrobcích nebo na šumově/zvukově nenáročných místech. Střední frekvence přenesou dobře, zkreslují však konce pásma a vnáší šum a prokazatelné zkreslení druhou harmonickou do obvodu. Nejsou příliš vhodné do cesty signálu v zesilovači, do zdroje se použít mohou. Obvykle to však není nutné. Z vlastní zkušenosti mohu říci (pokud se poslechu elektronkových rádií s původními součástkami přes nový reproduktor dá říkat zkušenost), že v cestě signálu způsobují trochu „zahalený zvuk“.

I dnes jde o nejběžnější druh odporů. Obvykle se pozná se podle béžové barvy.

Nejčastější wattáže (rozumí se tím výkonová zatížitelnost – pro stručnost používám tento výraz i dále v textu) jsou 0,125W, 0,6W, 1W.

Někteří audiofilové tvrdí, že uhlíkové odpory Allen Bradley, které jsou více než desetkrát dražší než běžné odpory, jsou do zesilovače nejlepší, ovšem ve skutečnosti také způsobují šum a zkreslení druhou harmonickou (což způsobuje „sladký“ zvuk). Jsou nevhodné do předzesilovače, protože pracuje s velmi malými úrovněmi signálu a ty šum může zásadním způsobem ohrozit na kvalitě.

### Metaloxidové

Metaloxidové odpory jsou (jak název napoví) tvořeny vrstvou oxidu kovu na keramickém válečku. Podle audiofilů mají tyto odpory drsný nehezký zvuk, který „nemá tu správnou náladu“, moje zkušenost je „stejná“. Otázkou ovšem je, jestli jsem si horší zvuk nezpůsobil špatně navrženým zesilovačem. Do zesilovače je nepoužívám, ani to obvykle není potřeba. Poznají se zpravidla podle matného povrchu většinou šedomodré, někdy šedorůžové barvy. Nejvíce se vyskytují ve wattáži 2W (nebo 1W)

### Drátové

Drátový odpor je vlastně cívka z odporového drátu (s kruhovým průřezem) navinutého v desítkách či stovkách nebo i více závitech na keramickém tělísku. Právě proto, že jde o cívku, mají tyto odpory velkou indukčnost a i tím pádem vyšší impedanci pro vysoké frekvence. Čím větší hodnota odporu, tím více se tato vlastnost projevuje. To vzhledem k obvyklému zapojení odporů v zesilovačích potlačuje výšky. Do zesilovače se také nehodí (s výjimkou napájecího obvodu a míst, kde je nevyhnutelná vysoká tepelná ztráta na odporu - katodové odpory apod.).

V ČR se prodávají ve wattáži 5 a více W.

Jsou velmi odolné, vydrží veliké krátkodobé přetížení (jednou se mi povedlo omylem pustit do 100R 10W TESLA drátového odporu 230V – ztráta tedy byla přes 500W, rozžhvil se, ale přežil to bez poškození).



### **Metalizované**

Metalizované odpory se do zesilovače hodí nejvíce – obzvláště do cesty signálu. Mají velmi malé zkreslení a neovlivňují zvuk. Profesionální stavitelé doporučují značku Caddock, ovšem v praxi plně postačí ty levné z elektra, např. z GESu. Jsou tvořeny kovovým filmem na keramické tyčce.

V levné čínské elektronice jich není mnoho.

Běžně jsou dostupné ve wattážích 0,6W a 0,125W. Poznají se podle modré barvy.

## **4.2 Kondensátory**

V zesilovači se kondensátory v podstatě dělí na dvě skupiny: filtrační (vyhlazovací) a vazební.

**Filtrační kondensátory** bývají v naprosté většině případů elektrolytické (neboli ellyty) s velkou kapacitou. Měly by být na vyšší teplotu – znamená to delší životnost při stejné provozní teplotě (např. ellyt na 105°C vydrží 4x déle než ellyt na 85°C). Ale pozor! Důležité je jaká životnost se k teplotě vztahuje – tak například nekvalitní ellyt s životností 1000h při 105°C je horší než poctivý 10000h při 85°C.

Někteří audiofilové stavící drahé zesilovače zastávají názor, že ellyty musí být jediné od fy. Rubycon série „Black Gate“ nebo od fy. Elna s cerafinovým (keramickým) dielektrikem. Lidé zabývající se opravami počítačů prosazují značku SamXon a konečně leckterí čeští audiofilové mají v oblibě klasické ellyty Tesla. Bohatší audiofilové zase říkají, že jediné dobré jsou papírolejové svitkové bloky (tedy ne ellyty). Jedni druhým jejich kondensátory pomlouvají a je z toho zmatek.

Obecně to není třeba s kapacitou vyhlazovacích ellytů přehánět, dle zkušeností stavitele zesilovačů pro kytary platí, že čím je větší, tím tvrdší je zvuk (pravděpodobně bude pokles napětí na nižší kapacitě fungovat jako nelineární kompresor – to ovšem není vhodné pro hi-end zesilovače). Pro 2x55W zesilovač ve třídě B, jaký jsem postavil, bohatě stačí 300  $\mu$ F – příčinou brumu bude spíše střídavé žhavení. Větším problémem je to u jednočinných zesilovačů, tam je vhodný vícestupňový filtr, kde se napětí pro anody odebírá až z druhého kondensátoru. Jak jsem již zmiňoval, u dvojčinných zesilovačů to není důležité – nejsou náchylné k brumení a další stupně filtru jsou nutné až pro předzesilovací stupně, kde je již malý proud.

**Vazební kondensátory** jsou ovšem potřeba opravdu kvalitní s dobrým dielektrikem.

V ŽÁDNÉM PŘÍPADĚ nesmí mít svod, protože pokud propouští na g1 elektronky kladné napětí, vzroste její anodový proud a elektronka se ničí!

Nejvhodnější jsou polyesterové s malou hodnotou  $\Delta$  (ztráta - zkreslení), např. zdejší ESO (Elektronické součástky Ostrava), které nejsou až tak drahé a jsou velmi kvalitní. Navíc se vyrábí i v axiálním provedení s vývody na koncích.

Mnoho stavitelů zesilovačů doporučuje polypropylénové (MKP), ovšem podle kytaristů jsou nejlepší polyesterové (MKT) - dodávají prý živější zvuk – polypropylénové mají podle nich příliš sterilní zvuk.

Bohatší audiofilové (zabývající se jednočinnými zesilovači v A tř.) opět prohlašují za nejlepší papírolejové, voskem zalité svitky nebo naprosto bezindukční (a drahé) svitky VISHAY.

Moje zkušenost se starými netěsněnými (asfaltem zalitými) papírovými svitky ze starých rádií je taková, že vlhnou a jsou proto po těch 50 letech vždy do určité míry vadné. Po výměně za polyesterové se zvuk mírně zlepší. Hermetické (těsněné) papírové svitky neboli pakotropy tímto netrpí.

Pokus:

U elektronkového rádia Tesla 612A jsem při opravě (s připojeným reproduktorem Tesla ARO589 40 $\Omega$  na překližkové desce) zkoušel přepínat mezi vazebním svítkem 22n 630V MKT208 ESO (polyester.) a 22n 1600V MKP385S ESO (polypropylén.) – rozdíl nebyl slyšitelný, možná MKP měl naprosto nepatrně horší výšky. Zdroj signálu byla poctivě nahraná mp3 (já vím, není to dobrá kvalita, ale gramofon zrovna nebyl po ruce).

Takže mohu říct: rozdíl zvuku MKT a MKP je jen legenda. Zatížení kondensátorů je zřejmě opravdu tak malé, že se rozdíl v kvalitě dielektrika neprojeví. Zajímavé by bylo vyzkoušet porovnat nějaký exkluzivní svítek a MKT na lepší sestavě.

## 4.3 Trafa

Trafa bývají nejdražší (i nejtěžší) součástí zesilovače, výstupní trafa i součástí nejdůležitější – neměly by proto být šizené.

Snad jen že síťový transformátor by měl být dost tvrdý a měl by mít výkonovou rezervu asi 50VA – jeho napětí nesmí při zátěži klesat, jinak dojde k hučení a dunění na basech.

Samozřejmě by měl být impregnovaný a jeho jádro svařené, aby samotná konstrukce transformátoru nehučela.

Dobré trafa vyrábí např. firma Eximet, síťový transformátor od nich je celkem tichý i namontovaný na chassis.

Výroba kvalitních „výstupáků“ je v ČR spíše soukromou záležitostí (v zahraničí však existují firmy zabývající se jejich výrobou). Ty moje vyráběl pan Hlava.

Další možností je výstupní trafo nepoužít – postavit zesilovač OTL (output transformer less). Potom je třeba použít elektronky s velkým max. katodovým proudem (PL509, 6C33C) a stejně bude výkon dosti malý při ohromném příkonu (asi 4x větší než u klasického zesilovače při stejném výkonu), obzvláště na žhavení velikých katod. Odpadne tím ovšem tvarové zkreslení signálu ve výstupním trafu.

## 4.4 Filtrační tlumivka

Filtrační tlumivka se dá vymontovat z vraku starého přístroje (říkám vraku, starého přístroje v opravitelném stavu by byla škoda!!), vyrobit nebo objednat (např. opět u fy. Eximet)

## 4.5 Potenciometry

Potenciometr použijeme nový nebo starší vyčištěný, aby „nechrastil“. Důležitý je souběh dvou drah stereopotenciometru – udává se v dB a určuje o kolik se maximálně bude lišit hlasitost jednotlivých kanálů (6dB je rozdíl 50%). Obvykle je to 3dB (25%), u lepších jen 1dB (cca. 8%) - při nižších hlasitostech je ale rozdíl větší.

Údajně jsou nejlepší potenciometry drahé modré ALPS.

Vyplatí se koupit kvalitnější, neboť u levného a vyčvachtaného plastového, který jsem koupil v GESu, pořád vypadává pravý kanál a při nižších hlasitostech je levý kanál znatelně tišší než pravý.

Potenciometr jsem poté vyměnil za 2x50k log. (větší hodnoty bohužel nemají) z GMe – jde o nejlevnější typ s kovovou osou za pouhých 13,- Kč. Kupodivu je však mechanicky dosti pevný a má i dobrý souběh.

## 4.6 Elektronky

Co k tomuto říci? Můžete se podívat do datasheetu a vybrat si typ s nejlepší linearitou, nebo vyzkoušet jaký vám zní nejlépe (někteří kytaristé mají například v oblibě ECC82 zn. RFT pro „milé zkreslení“). Pokud si neumíte navrhnout vlastní schéma, záleží také na tom pro jaké elektronky schéma seženete. Některé typy elektronek navíc nejsou k sehnání (třeba stará trioda KC3) nebo jsou drahé (pár 300B stojí cca. od 5.000,- do 20.000,- Kč). Také záleží na výběru komponent k sobě, což nám dává naprosto hrozné množství kombinací. Chce to vyzkoušet – a člověk jednou začne a už nikdy nepřestane. Vždy bude co zlepšovat.

Jako nejpříjemnější způsob srovnání se mi zdá koupě otočného prepínače 2x6 poloh, 2 pakety, na který lze připojit 6 elektronek, nastavit u všech pomocí osciloskopu stejně hlasitý výstup a za provozu je přepínat (jsou neustále žhaveny). To je jediné věrohodné srovnání – lidské ucho nepozná ani tolik zkreslení, jako spíše změnu zkreslení – jestli se zhoršila či zlepšila ta která vlastnost zvuku.

## 5. Mechanické uspořádání

Musí být co nejpřehlednější a nejpečlivější! Vždy stavíme na pevné ocelové chassis, jinak si říkáme o neúspěch! Dráty je dobré vést pravoúhle (viz. přílohy) nad sebou, nedělat z nich změt. Tím se zbavíme většiny parazitních kapacit a indukčností zhoršujících zvuk. Navíc ve změti kabelů se lehce někde nachytá brum, který se těžko odstraňuje. Já s tím problémem neměl, snad právě díky pečlivému zapojování a vyhýbání se jakýmkoli zemním smyčkám.

Sít'ové trafo se má natočit o 90° proti výstupním, aby se do nich nepřenesl brum.

Objímky elektronek pokud možno natáčíme takto: g1 blíže k počátku zesilovací cesty, anoda blíže k výstupu. Bude se to lépe zapojovat.

Signál vedeme co nejkratší cestou, delší signálové spoje vedeme stíněným kabelem. Každý stíněný kabel ale má svou kapacitu, která oslabuje výšky! Proto nemají být ani tyto spoje zbytečně dlouhé.

Je také dobré myslet na madla k uchopení při přenášení, protože v mém případě celý zesilovač váží asi 17kg, někdy je to i více.

U mého zesilovače byl problém s objímkami elektronek – do nových objímek jdou elektronky zasunout velmi ztuha (avšak jejich odolnost je oproti starým nižší). Obával jsem se o celoskleněné patice malých elektronek (noval) a kolíky patic koncových elektronek (oktal), a proto jsem objímky formoval hřebíkem. U oktálových to zlehčilo zasouvání, u novalových se však kontakty rozevřely příliš a elektronky ztrácely kontakt. Všechny tři novalové objímky jsem musel vyměnit, což je u hotového zesilovače se součástkami opřeny právě o objímky krajně nepříjemné. Při formování objímek je tedy nutné postupovat opatrně, noval objímky je lepší neformovat vůbec a spíše opatrně zasouvat elektronky kolmo, aby nepraskly (což se může stát při „viklání“).

## 6. Poslech

### pozor, hodnocení je subjektivní !

První poslech: klidový katodový proud 5881 zatím nastaven na cca. 30mA (třída AB?)  
reprobedny: dvoukomorové, dvoupásmové : 25l basová komora na stěnách tlumená ovčí vlnou s 72mm bassreflexem – repro TVM ARN-188-03/8 s citlivostí 85dB/W.m, výšková komora také vylumená, repro TVM ARV-104-04/8 s citlivostí 91dB/W.m. Výhybka Lautsprecher-Systeme z Conradu, dělicí f: 2,5kHz  
kabely repro: dvojlinka 2x2mm<sup>2</sup>  
kabely signálové : tasker C129, konektory zlacené CINCH  
CD přehrávač Technics SL-PS740A (nijak zvukově úžasný)

Velmi živý zvuk – i CD přehrávané obyčejným přehrávačem zní skoro jako gramodeska na normálním zesilovači. I když myslím, že je trochu slyšet zkreslení, zvuk je jakoby hlubší (co do prostoru) a živější (co do hudebního zážitku).

Obzvláště klavírní nahrávky zní úžasně čistě, zesilovač totiž ani v tichu vůbec nešumí na rozdíl od „tranzistoráků“. Brum není vůbec slyšet.

Basy jsou velmi přesné, ne hučivé jako u tranzistorových zesilovačů.

Zpočátku jsem si myslel, že nepřiliš silné basy jsou způsobeny reproduktorem s nižší citlivostí ve spojení s tím, že přehrávač nemá ekvalizér a že zesilovač na tom nemá podíl. Později se ale zesilovač „rozehrál“ a basy zesílily.

Pomocí programu gensig (Marchandův funkční generátor) jsem zkoušel rozsah zesilovače – dokáže přenést zvuk o frekvenci několik Hz (který je už spíše vidět než slyšet) až po cca. 18 kHz, což je přibližně hranice po kterou je zvuk slyšet. S největší pravděpodobností funguje ještě mnohem dále, ale tak vysoké frekvence nejsou přímo slyšet (spíše ovlivňují pocit z hudby), průkazně se dají jen změřit na osciloskopu.

### 2. Poslech

Klidový proud nastaven přesněji na 33,3mA (stále třída AB), katodové 10R odpory jsou nyní metalizované s tolerancí 1%. Vyměněny vstupní konektory, CBGI-PB a CBGI PR z GESu se rozpadly (jsou dost nekvalitní). Ostatní zůstalo stejné.

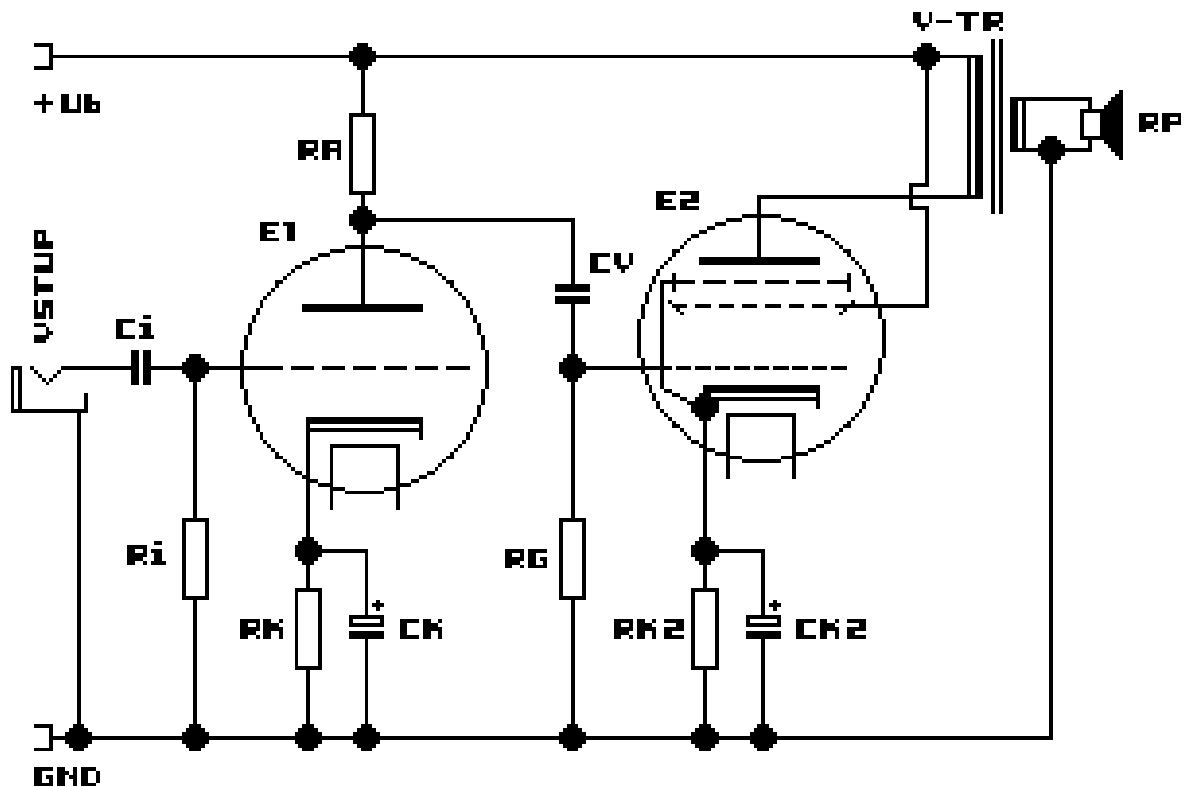
Zesilovač nepotřebuje ekvalizér. U minisystémů bylo vždy třeba přidat výšky a basy, aby byl zvuk „věrný“. U tohoto zesilovače je to zbytečné! Tím odpadá možné zkreslení v korekcích. Ještě jednou musím říci, že zvuk je úžasně přesný a čistý. Chvillemi mizí aparatura i s místností a před posluchačem se otvírá prostor koncertu.

Později se opotřebovaly i nové konektory, takže jsem přešel od CINCH na mono jack 6,3mm. Ten vydrží i mnohonásobné zasunutí konektoru – je používán i kytaristy.

## 7. Teorie

Obvyklým problémem začínajícího konstruktéra zesilovačů je to, že neví, jak navrhnout vlastní zesilovač (především hodnoty součátek pro elektronky, které zamýšlí použít). Informace je těžké sehnat, a ještě těžší je umět výpočty správně použít. V této kapitole se tedy pokusím trochu osvětlit postup navrhování elektronkového audio zesilovače.

Začneme tím nejjednodušším: jednočinným zesilovačem ve třídě A



Návrh prvního stupně (odporový zesilovač) je dobře popsán na odkazu [7].

Katodový a vazební kondensátor vypočteme takto:  $1/(2\pi \cdot f \cdot R)$  –  $f$  je minimální frekvence, která má procházet.  $R$  je katodový odpor u katodového kondensátoru, nebo mřížkový odpor u vazebního kondensátoru. Obvykle vyjde hodnota  $C_k$  a  $C_{k2}$  v jednotkách až stovkách  $\mu F$ ,  $C_v$  a  $C_i$  v desítkách až stovkách  $nF$ .

Hodnoty  $R_k$  vychází pro první stupeň v  $k\Omega$ , pro druhý v desítkách až stovkách  $\Omega$ .

Mřížkové odpory  $R_i$  a  $R_g$  použijeme „vhodné“, tj. kolem  $100k\Omega$  (menší hodnota sice snižuje pravděpodobnost vnikání rušení, ale může přetěžovat slabší zdroje signálu – pro slabší elektronku  $E1$  použijeme  $R_g$  kolem  $0,5M\Omega$ )

Elektronka  $E2$  musí mít poměrně velkou povolenou anodovou ztrátu (asi  $5W$  a více) a proud desítky až stovky  $mA$  (samozřejmě to nemusí být pentoda, při použití triody pouze odpadá připojení 2. mřížky).

$R_{k2}$  spočítáme takto: podíváme se na charakteristiku vybrané elektronky při použitím napájecím napětí a vybereme bod uprostřed „rovné“ části charakteristiky (avšak takový, že v klidu není překročena povolená anodová ztráta – spočítáme jako  $U_a \cdot I_a = P_a$  – a ani při vybuzení zesilovači není překročen maximální katodový proud). Poté se podíváme, jaké předpětí první mřížky je třeba pro zvolený pracovní bod a jaký je v něm anodový proud.  $R_{k2}$  spočítáme jako  $-U_{g1} \text{ klidový} / I_a \text{ klidový}$  a zaokrouhlíme na sehnatelnou hodnotu. Ztráta na odporu bude  $R_{k2} \cdot (I \text{ klidový})^2 = P_R$ .

Výpočet výstupního transformátoru je také popsán na odkaze [7].

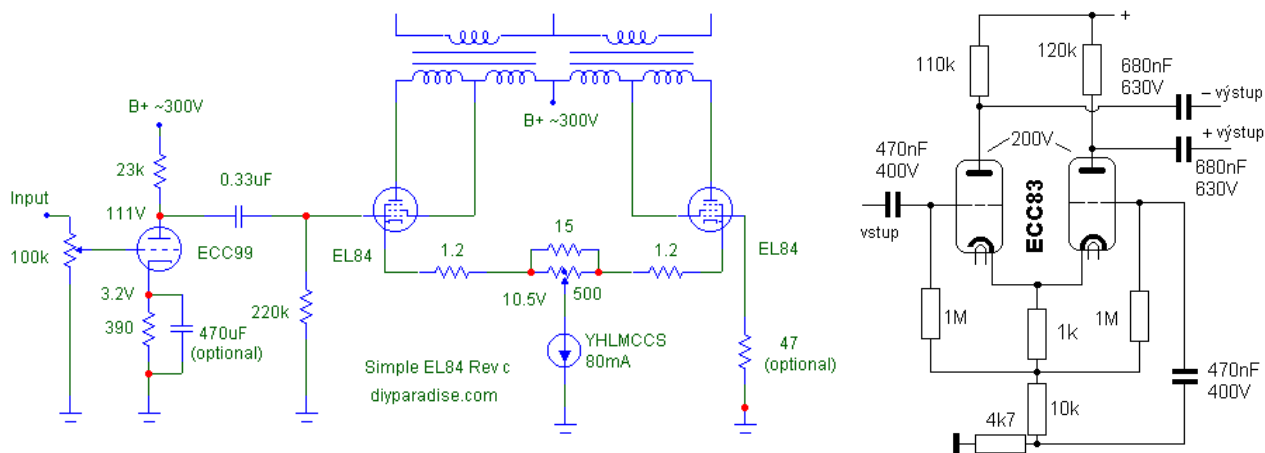
Hodnotu vhodné impedance traťky nejlépe pro dané podmínky zjistíme z datasheetu, nebo ji můžeme odvodit od  $R_i$  (vnitřního odporu elektronky) – pro triodu je  $R_a$  dvojnásobek až trojnásobek  $R_i$ , pro tetrodu/pentodu čtvrtinou až pětinou.

Výstupní výkon se obvykle rovná čtvrtině až necelé polovině anodové ztráty.

Napětí na primáru výstupního traťky samozřejmě nemůže překročit napájecí napětí, takže pokud vyjde nesmyslná hodnota, je někde chyba.

Vhodnou impedanci výstupního trafo lze též změřit – zapojit místo něj výkonový reostat a měřit největší výkon na reostatu. Výkon se spočítá jako  $P = (U_{st})^2/R_r$ , kde  $R_r$  je odpor reostatu v daném okamžiku a  $U_{st}$  je střídavé napětí na reostatu (k měření je třeba osciloskop se sondou pro větší napětí).

Pro dvojitý zesilovač můžeme výše zmíněné výpočty použít také, v zesilovači ještě přibude invertor. Ten funguje takto: první elektronka funguje jako odporový zesilovač, druhá má první mřížku přes kondensátor na zem a katodu spojenou s katodou první elektronky. Pokud přivedeme na první mřížku první elektronky kladný signál, zvětší se její anodový proud. Také se zvětší úbytek na katodovém odporu. Druhá elektronka má první mřížku napevno na zem a jelikož má katodu spojenou s katodou první elektronky, při zvýšení napětí na katodě se z pohledu druhé elektronky sníží napětí na její první mřížce – a klesne anodový proud. Signál je tedy o 180° otočen. Zapojení se někdy vylepšuje dalšími součástkami. Příklady zapojení jsou zde:



Na schematu vlevo dochází k převracení signálu až v koncovém stupni, čímž se ušetří 1 sekce elektronky – schema je z odkazu [8].

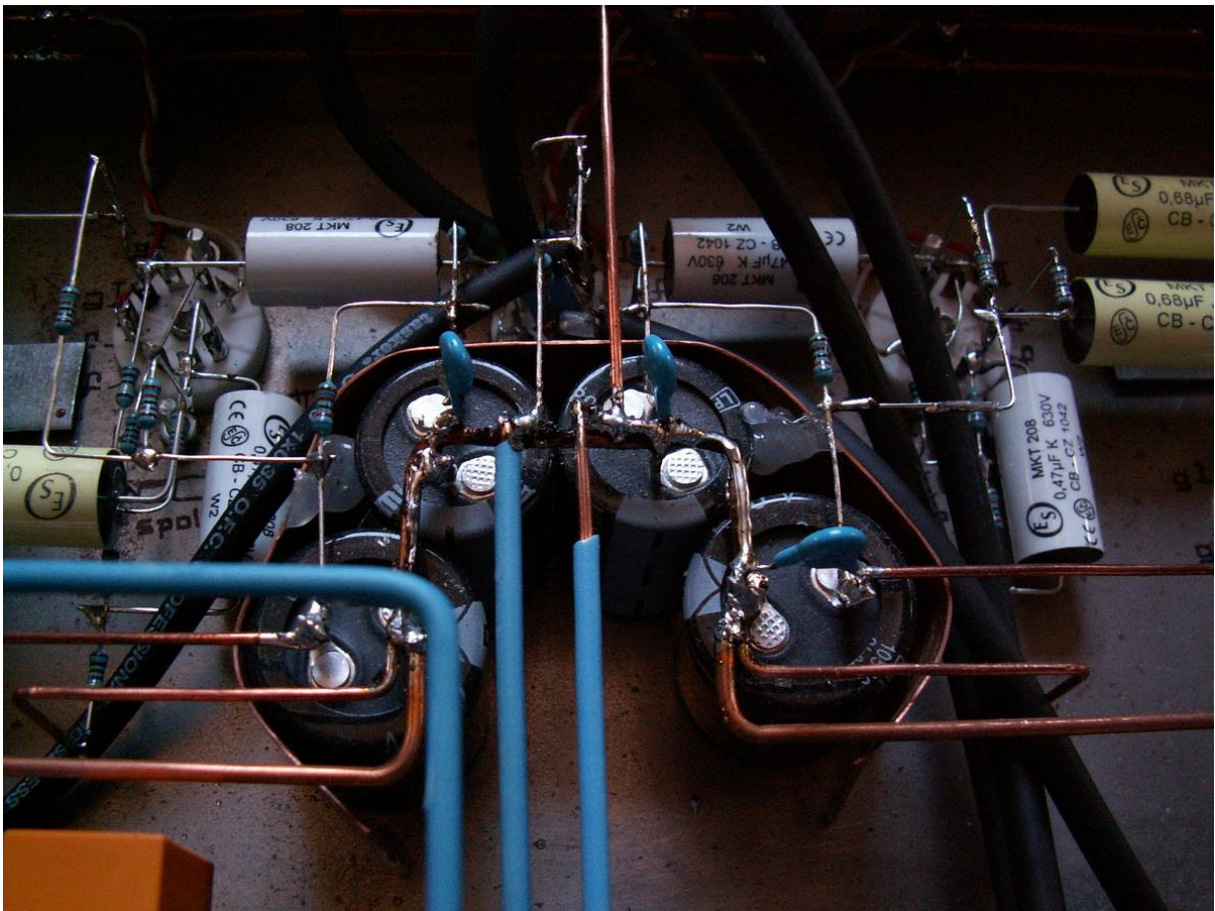
Schema vpravo je výřez ze schematu z odkazu [1] – jde o klasický invertor s ECC83. Je třeba podotknout, že hodnota kondenzátoru 470n je až zbytečně veliká (pro minimální  $f$  0,33Hz).

## 8. Závěr

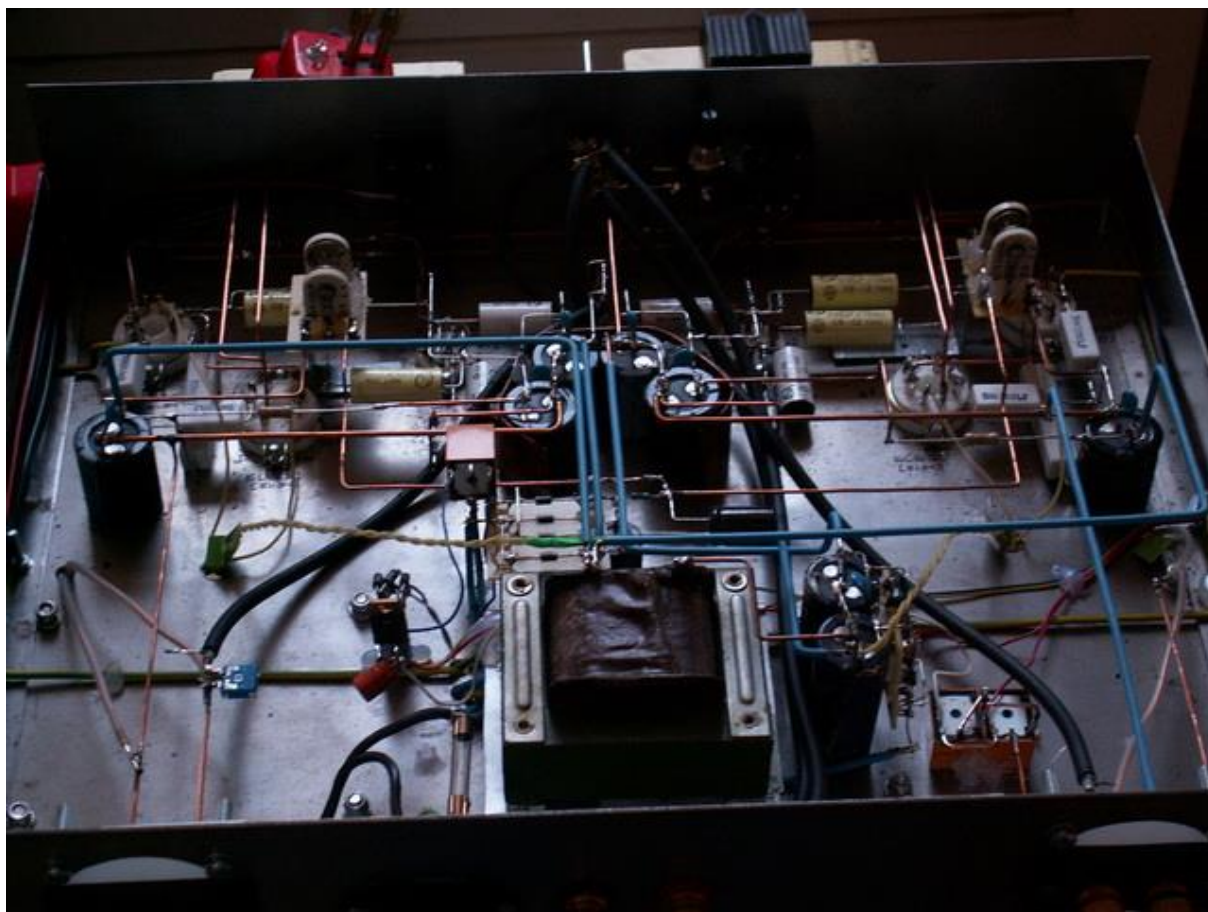
Spoření na zesilovač se vyplatilo! Je to spolehlivý, těžký a hezký přístroj s velmi dobrým zvukem. Doufám, že případným zájemcům tato práce usnadní orientaci v pojmech a stavbu zesilovače a umožní jim vyhnout se problémům. Netvrdím, že tento zesilovač je „mistr světa“, ale pro normální reprobedny je výborný (hi-end zesilovače mívají menší výkon, někdy i jen 0,4W a potřebují lepší a citlivější reprobedny – horny). Použité součástky jsou běžně dostupné a dnes vyráběné.

## 9. Přílohy:









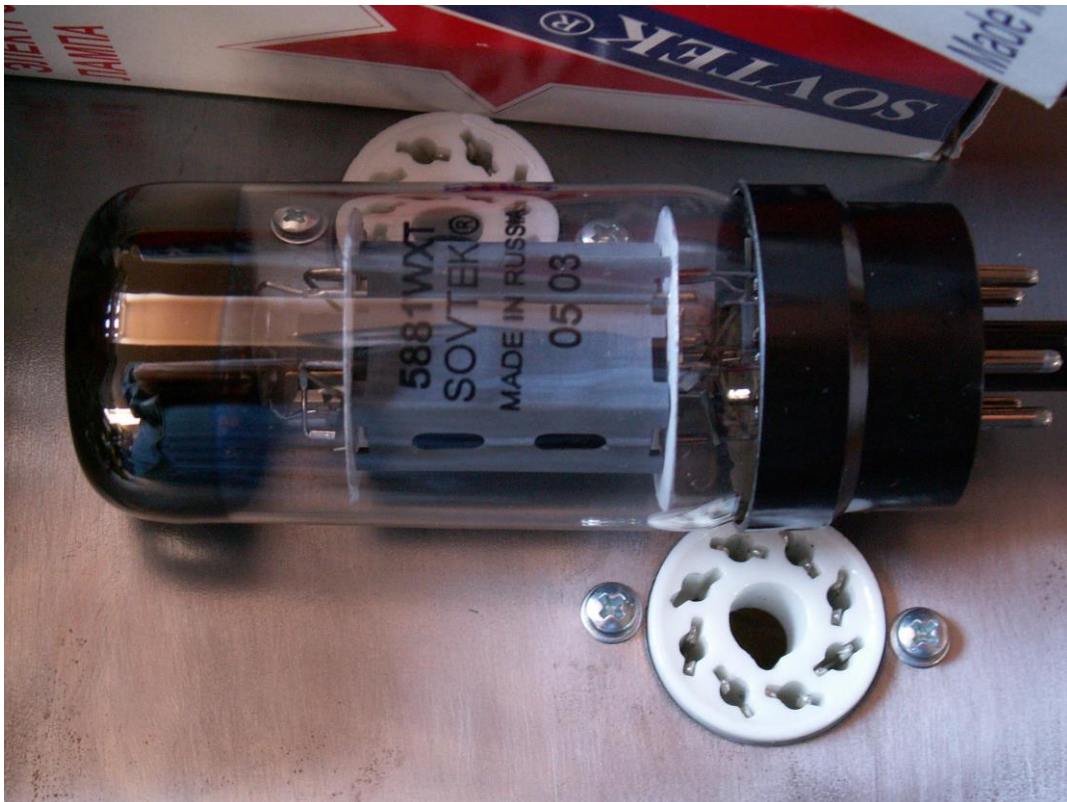
**Při propojování jednotlivých součástek jsem se snažil o úhlednost.**

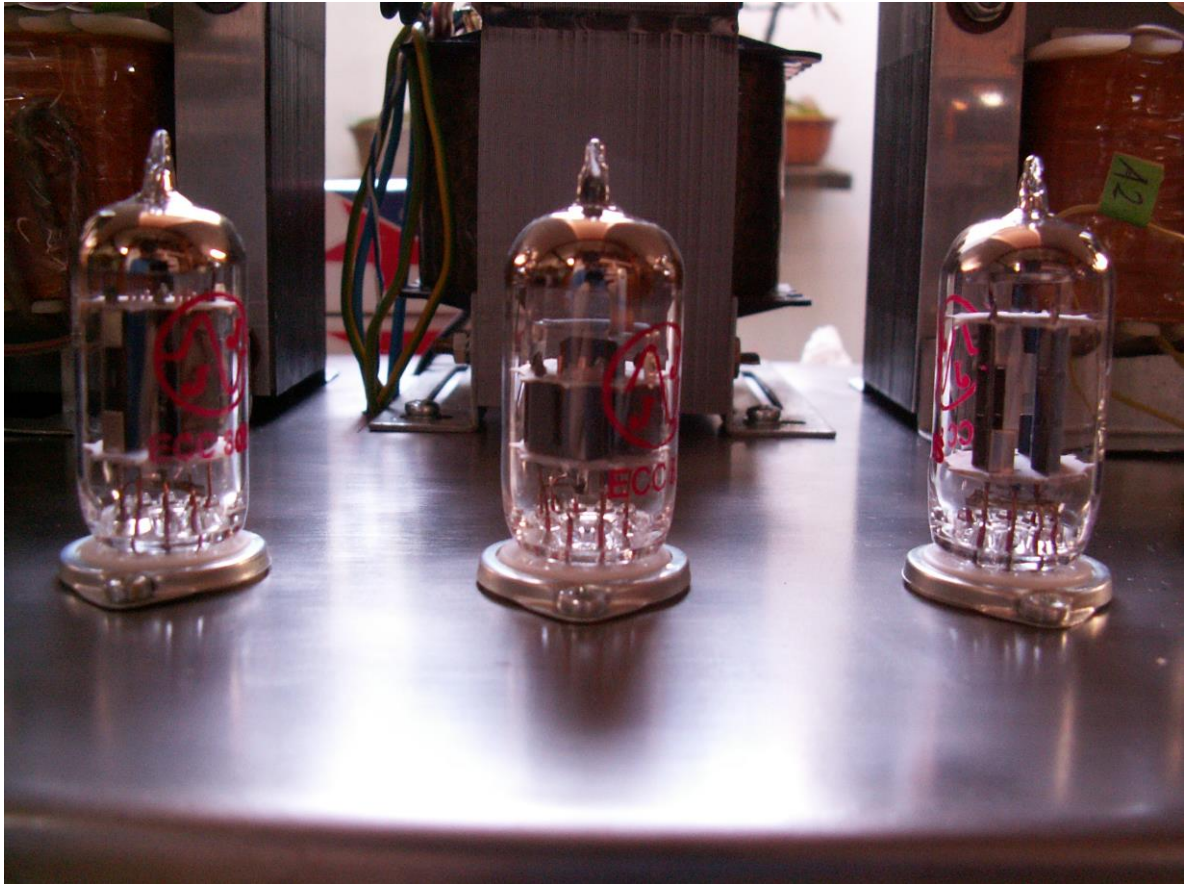


**Předzesilovací elektronky – nalevo ECC803S, napravo ECC82.**



**Koncové elektronky – 5881WXT.**





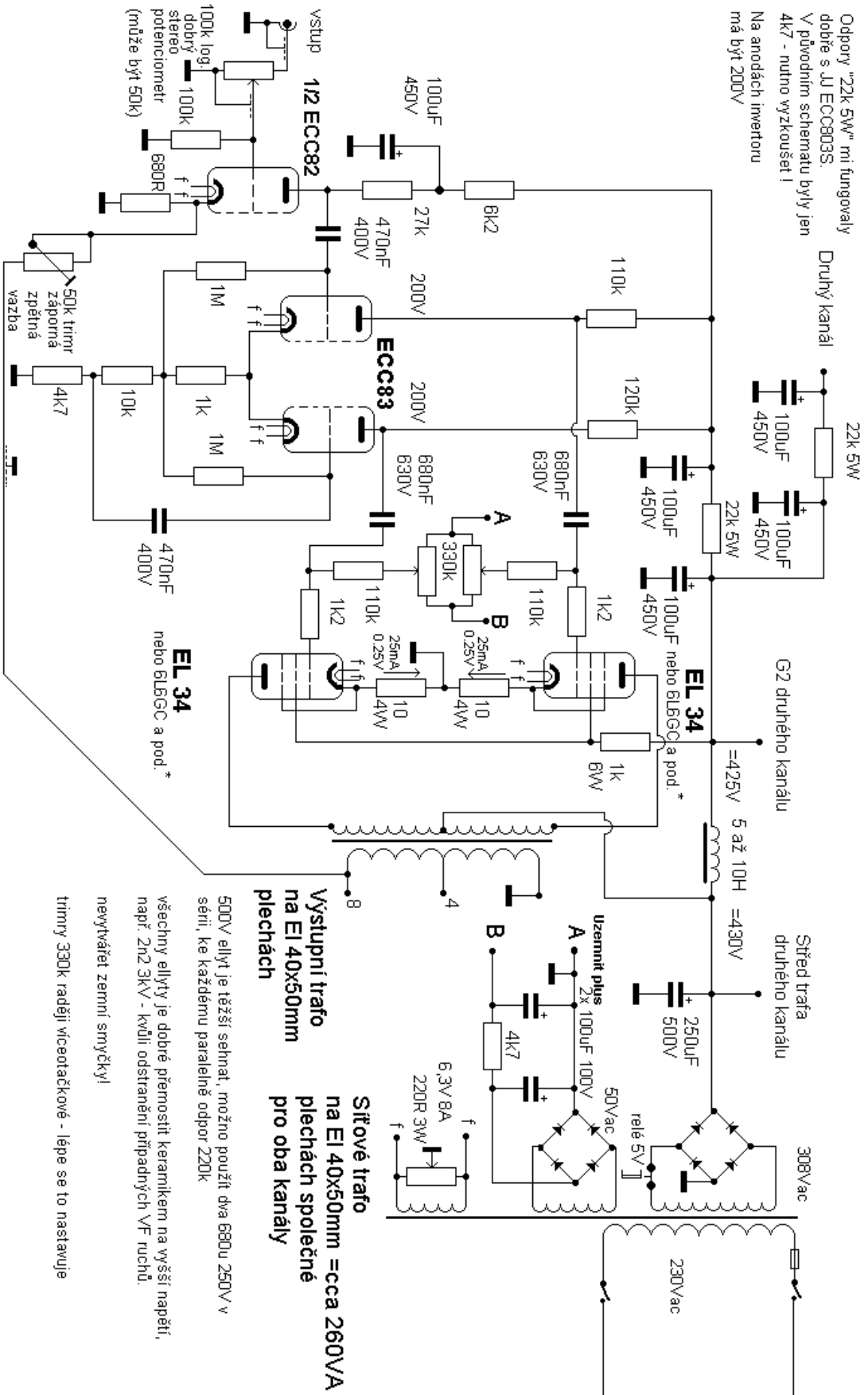
**Předzesilovací elektronky.**



**Hotový zesilovač ještě s potenciometrem ESO (býv. Tesla), který mi pak ulomil tatínek při přenášení.**

## 2x50W ve dvojitěnné B tř. s EL34 pentodami

Odpory "22k 5W" mi fungovaly dobře s J1 ECC83B3S. V původním schématu byly jen 4k7 - nutno vyzkoušet! Na anodách invertoru má být 200V



Trimrem pro zpět.vazbu nastavít charakteristiku zesilovače

Všechny odpory 0,6W 1% kromě uvedených

Autor schématu F.Hlavá

\* jiný klidový proud - já použil 33,3mA

Relé napájím přes usměrňovač s kondenzátorem a 7805 (sou v PC zdrojích)  
Mám tedy 2 vypínače - nejlépe zapnu síť (žhavení) a až po 1/2 min. anodové napětí -  
prodlužuje se životnost elektronek

Zpřesnění  
Matyáš Kosík

Podle tohoto schématu jsem postavil svůj zesilovač. Jde až na pár detailů o schema z [1].

## Zdroje:

### Literatura:

[A] Matyáš Kosík, Stavba elektronkového rádia (Volně podle návodu „Stavební návod a popis 2-Monodyn B), seminární práce v primě, vedoucí práce Mgr. Vojtěch Komenda, Osmileté gymnázium Buďánka, 2006/7

[B] Jaroslav Vlach – Lampárna aneb co to zkusit s elektronkami? Technická literatura BEN, 2005

[C] Zbyněk Madej - Avantic, stavební návod a popis - svazek č. 31. Ve vydavatelství obchodu vydal podnik Domací potřeby – Praha.

### Internet:

[1] <http://hlava.webpark.cz/>

Moc pěkné stránky o zesilovačích, mám odtamtud i schéma co jsem použil. Pan Hlava mi také navíjel výstupní transformátory.

[2] <http://www.hornstudio.cz>

Stránky o hornových reprobednách. Trochu fanatické

[3] <http://vt52.com/>

Jednočinné triodové zesilovače se starými elektronkami.

[4] <http://www.volous.cz/>

Hi-end

[5] <http://www.triodedick.com/>

Zesilovače, testy elektronek atd.

[6] <http://home.tiscali.cz/flashedbrain/tubeamp/>

Dvojčinný elektronkový zesilovač v A tř.

[7] <http://tubeguitaramp.de/>

Výborně popsaná teorie (alespoň část).

[8]

[http://diyparadise.com/web/index.php?option=com\\_content&task=view&id=124&Itemid=1](http://diyparadise.com/web/index.php?option=com_content&task=view&id=124&Itemid=1)

Schema jednoduchého dvojčinného zesilovače s ECC99 a EL84.