

High-End elektronkový předzesilovač EP 1

Karel Rochelt

Mnozí zájemci o kvalitní hifi poslech si koupili nebo vyrobili relativně velmi dobré koncové zesilovače, avšak přesto nejsou s jejich zvukem příliš spokojeni. Všeobecně soudí, že jejich vlastnosti nejsou takové, jaké byly inzerovány nebo jaké by měly být podle udávaných technických parametrů. V mnoha případech je však příčina méně kvalitního zvuku v absenci předzesilovacího stupně nebo v jeho velmi nízké kvalitě.

Největším zlem pro audiofila je jistě to, že musí propojit jednotlivé komponenty své audiosestavy propojovacími kabely. Navíc je zcela běžné, že výstupní díly zdrojů signálu, což jsou dnes především přehrávače CD, jsou tak ledabyle navrženy, že nejsou schopny dodávat dostatečně velký výstupní proud, který by byl schopen kvalitně budít další zařízení zpracovávající zvuk a ještě nabíjet kapacitu signálového propojovacího kabelu. To se následně projeví jak ve zkreslení typu sykavek a celkovém „zamlžení zvukového obrazu“, tak i pro méně znalé zkreslením, které není na první pohled patrné - vlivem zátěže a vlastností kabelu se mění frekvenční průběh přenosu.

Výsledný zvuk je omezen úbytkem na vysokých kmitočtech a také nedostatečným výkonem výstupního dílu zdroje signálu - zvuk potom postrádá energii v oblasti základních kmitočtů a basů. Nedostatek výkonu zdroje signálu je pro zvuk větší zlo než úbytek vysokých kmitočtů. Z nedostatků výstupních dílů zdrojů signálu pak těží výrobci propojovacích signálových kabelů, kteří dokáží jakýkoliv kabel, který relativně málo ovlivňuje průchozí

signál, vydávat za super kvalitu a k tomu přidají odpovídající cenu.

V praxi je však třeba odstranit příčiny a ne se snažit omezit příznaky.

Předzesilovač je vlastně převodník impedance - má poměrně velkou vstupní impedanci a přitom může být zatížen relativně malou impedancí na výstupu.

Volba koncepce předzesilovače

Jak bylo výše uvedeno, předzesilovač musí především poskytnout dostatečný výkon pro buzení dalšího zařízení a pro nabíjení kapacity dalších propojovacích kabelů. Pochopitelně musí mít i dostatečně dobré parametry, aby byl i zvukový výsledek na patřičné úrovni. Pokud jsme opravdu nároční, budeme jistě preferovat zapojení v „čisté“ třídě A, které vzhledem k tomu, že odstraňuje přechodové zkreslení, poskytuje zvukově nejlepší výsledky. Tady narazíme na první problémy - opravdu kvalitní zapojení jsou k dispozici jen velmi ojedinelé a když už jsou, vyskytují se v nich často velmi exotické součástky, které nejsou běžně k dostání a jsou zpravidla také značně drahé.

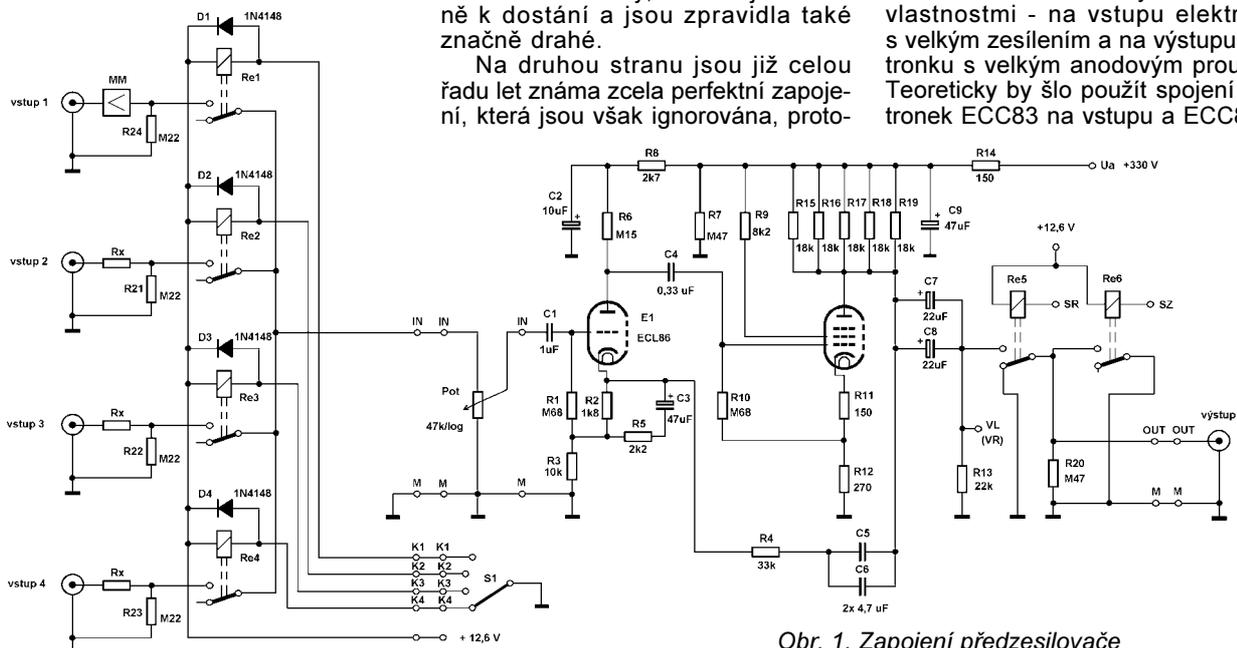
Na druhou stranu jsou již celou řadu let známa zcela perfektní zapojení, která jsou však ignorována, proto-

že používají pro řadu zájemců dnes již archaické aktivní součástky - elektronky. Myslím si však, že tyto součástky jsou pro řadu aplikací v audiotechnice přímo ideální, protože už z jejich běžných vlastností, jakými jsou velká vstupní impedance, malá vstupní kapacita, velmi široké přenášené pásmo, chování v limitaci a charakter zkreslení, plyne, že mohou nabídnout mnoho.

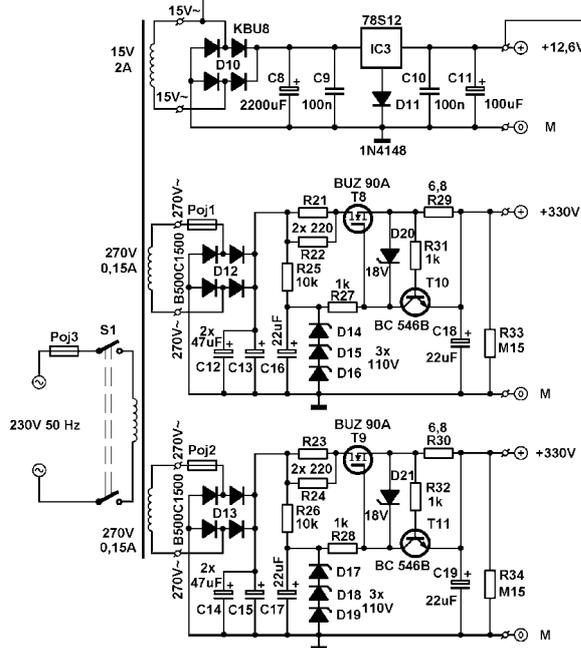
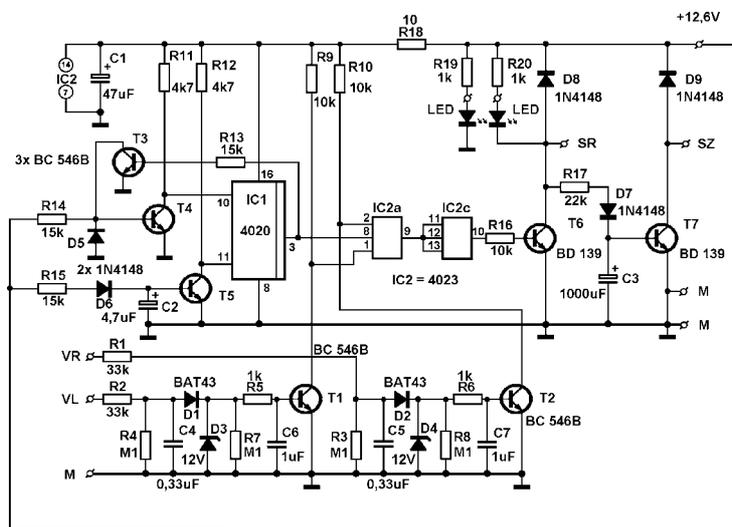
Ne každá elektronka je však vhodným kandidátem pro náš účel, pokud nemá být zapojení zbytečně složité a tím i drahé. Potřebujeme elektronku, která má velké zesílení a možný relativně velký anodový proud, abychom mohli vyrobit zesilovač s malou výstupní impedancí. Nejznámější elektronkou v „audiooblasti“ je jistě pro svůj velký zesilovací činitel ECC83. Ta má sice velké zesílení (100), ale její ideální anodový proud je 1 až 1,5 mA. To pro konstrukci zesilovače v třídě A není to pravé, protože nelze dosáhnout malé výstupní impedance ani při zapojení jako katodový sledovač. Ta by mohla teoreticky dosáhnout asi 620 Ω, avšak toto je pouze teoretická hodnota pro statický stav bez signálu a základní zapojení. Pokud zohledníme praktické zapojení celého předzesilovače, impedance běžně vzroste na asi 40 kΩ při plném vybuzení.

Dalšími elektronkami jsou ECC81 nebo ECC82. Jejich optimální anodový proud je kolem 10 mA, ale jejich zesílení je už pouze 10 a to je pro naše potřeby již málo. Dalším známým typem je ECC88, který se v poslední době často používá jednak pro možný anodový proud 15 mA, tak i hlavně pro malé pracovní napětí 90 V. I když tyto elektronky najdete v mnoha typech elektronkových předzesilovačů, jsou vhodné pouze tam, kde jejich zatěžovací impedance budou již značně velké - řádově od 100 kΩ výše, a to nebereme v úvahu vliv propojovacích kabelů.

Z předchozích řádek je patrné, že budeme muset použít v zesilovači minimálně dvě elektronky s rozdílnými vlastnostmi - na vstupu elektronku s velkým zesílením a na výstupu elektronku s velkým anodovým proudem. Teoreticky by šlo použít spojení elektronky ECC83 na vstupu a ECC81 na



Obr. 1. Zapojení předzesilovače



Obr. 2.
Zapojení
zdrojů a
ochrana

výstupu s tím, že bychom pro každý kanál použili z každé elektronky polovinu systému, a také se s tímto řešením ještě někdy setkáme. Pro opravdu vysoké nároky je to však špatné řešení, protože vlivem kapacitních vazeb mezi oběma systémy vzniknou v elektronce mezi stereofonními kanály značné přeslechy, které značně zhorší celkovou zvukovou kvalitu předzesilovače.

Pro náš účel je ideálním typem ECL86 - v jednom pouzdře je trioda ekvivalentní k ECC83 a výkonová pentoda umožňující vyrobit nf zesilovač o výkonu 4 W ve třídě AB. Pentoda může pracovat s anodovým proudem 36 mA. Spojením těchto dvou typů elektronek lze vyrobit zapojení, které částečně připomíná vlastnosti běžného integrovaného obvodu - má relativně velké zesílení, velkou vstupní impedanci a relativně nízkou výstupní impedanci. To vše v čisté třídě A.

Zapojení předzesilovače

Základní elektrické zapojení bylo inspirováno články v německém časopisu Elektor 6 až 9/2000 a 12/2000, ve kterém vyšel návod na elektronkový

linkový předzesilovač a elektronkový korekční zesilovač pro MM přenosku. Zapojení navrhl Gerhard Haas, známý konstruktér elektronkových zesilovačů a vedoucí firmy EXPERIENCE, vyrábějící velmi kvalitní výstupní převodníky pro elektronkové zesilovače. Mezi jeho největší úspěchy patří návrh elektronkového zesilovače pro elektrostatická sluchátka Sennheiser Orpheus, která jsou hodnocena mezi nejlepšími na světě.

Zapojení byla značně upravena tak, aby bylo možné dosáhnout opravdu parametrů High-End. Úpravy se týkají zejména ochrany před stejnosměrným napětím na výstupu, časovacího obvodu při spouštění předzesilovače a vlastního zapojení předzesilovače, ve kterém byla zkrácena zpětnovazební smyčka a nahrazeny elektrolytické kondenzátory v cestě signálu fóliovými typy. Zdroj byl upraven tak, že má každý kanál svůj napájecí zdroj k minimalizaci přeslechů, které s jedním společným zdrojem a původním zapojením ochrany dosahovaly pouze 84 dB/1 kHz a 63 dB/20 kHz. Po úpravě se tyto přeslechy zlepšily na 95 dB/1 kHz a 90 dB/20 kHz. Také byly navrženy zcela nové desky s plošnými spoji, které zohledňují provede-

né změny v zapojení a dostupnou součástkovou základnu.

Linkový předzesilovač

Na obr. 1 je zapojení linkového předzesilovače, na obr. 2 je zapojení zdrojové části a obvodu ochrany. Předzesilovačová část je v praxi rozdělena do dvou dílů - desky vstupů a desky vlastního předzesilovače (každý kanál je na samostatné desce). Přepínání vstupů je realizováno spínacími relé, pro jejich spínání je použito stabilizované napětí 12,6 V, které zároveň slouží pro žhavení elektronek a napájení ochranného obvodu. To umožní maximálně zkrátit signálové cesty, pokud umístíme potenciometr hlasitosti v blízkosti výstupu desky vstupů (s tím, že hřídel potenciometru protáhne na přední panel) a celková délka kabelů na cestě výstup z desky vstupů, potenciometr hlasitosti a vstup desky předzesilovače může být kratší než 15 cm.

Celou desku vstupů se vstupními a výstupními konektory je možné připevnit rovnou na zadní stěnu předzesilovače, pokud budete relé a ostatní součástky pájet ze strany spojů - pro tuto možnost byla deska navržena. Vstupy jsou maximálně čtyři. Na desce je pamatováno na to, že pokud využijete jeden vstup pro gramofonový předzesilovač, bude nutné přerušit plošný spoj a oddělit tak zemnicí plochu pro vstup pro gramofon, aby nemohly vznikat zemní smyčky, které by se projevíly zpravidla vyšším základním brumem.

Na desce je proto první zemnicí plochu vstupních konektorů možné oddělit přepilováním plošného spoje - měděná plocha je v ideálním místě již částečně přerušena.

Vstupy nejsou při vypnutém stavu zkratovány, můžeme proto pozorovat při přepnutí na vedlejší vstup a vytvočením potenciometru hlasitosti na maximum malé přeslechy vzniklé kapacitní vazbou. Ty se dají z velké části omezit zařazeným rezistorem mezi vstupní svorku a zem (zde R21 až R24). Odpor 220 kΩ lze ještě zmenšit (asi na 100 kΩ), záleží však na zdroji signálu, jestli bude dobře pracovat i při menší zatěžovací impedanci. Přeslechy jsou pak velmi malé (-95 dB/20 kHz, případně -115 dB/1 kHz). Zkratování vstupů nepovažují za vyslovené nutné, protože je stejně většinou signál pouze na vstupu, který chceme poslouchat (ostatní přístroje jsou vypnuté), a navíc někdy zkratování výstupu přináší problémy s lupanci při přepínání - to se však týká spíše připojených starších přístrojů, které neměly zrovna ideálně vyřešený výstupní díl.

Z desky vstupů je přiveden signál na potenciometr hlasitosti. Zde byl zvolen odpor 47 kΩ, který v podstatě určuje vstupní impedanci předzesilovače. Tato hodnota byla zvolena jako kompromis. Pokud by byl odpor menší, omezil by se sice vliv proudících kabelů, ale výstupní díly zdrojů signálu ne-

budou schopny dodávat potřebný výkon. V případě, že bude odpor větší, klesne zatížení zdrojů signálu, avšak vzroste vliv přírodních kabelů.

Z potenciometru jde signál přes C1 na řídicí mřížku triody. Na té je nastaveno velké zesílení při anodovém proudu 1 mA. Zesílený signál je veden přes oddělovací kondenzátor C4 na řídicí mřížku výkonové pentody. Oba systémy v elektronce nemají připojeny katodové rezistory a zemnicí rezistory řídicích mřížek přímo na zem, ale jejich společný bod je sveden ještě přes další rezistor s menším odporem (R3 a R12). Tím jsou nastaveny přesně pracovní body a omezují se tím výrobní tolerance elektronky. Zatěžovací odpor anody pentody je vytvořen paralelně zapojenými rezistory R15 až R19 s odporem 18 k Ω /2 W. Paralelní spojení je nutné z toho důvodu, že nelze běžně sehnat metalizované rezistory o větším výkonu než 2 W. Celková tepelná ztráta na těchto rezistorech je asi 7,4 W, při pájení do desky s plošnými spoji je vhodné je připájet asi 7 mm nad desku, aby se mohly lépe chladit. Metalizovaný typ na tomto místě je důležitý, jinak by se zhoršil odstup šumu od užitečného signálu vlivem vlastního termického šumu rezistorů.

Výstupní signál je vyveden přes dva paralelně spojené kondenzátory (C7, C8) 22 μ F. Mohl by tady být sice použit jeden kus 47 μ F, pokud ale použijeme dva kusy s menší kapacitou, výhodně tím zmenšíme vnitřní sériový odpor kondenzátoru a tím je umožněno lépe přenášet vysoké frekvence. Protože na tomto místě není možné použít jiný typ kondenzátoru než elektrolytický, je toto nanejvýš nutné opatření. Z anody je také vyvedena zpětná vazba přes R4 a C5 na katodu triody.

Tady se mohou někteří čtenáři domnívat, že by zapojení bez zpětné vazby mohlo přinést ještě další zlepšení. Je však nutné říci, že takové zapojení přináší celou řadu problémů. Především je to fakt, že by bylo nutné elektronky k sobě párovat na velikost zesílení. Protože se běžně vyrábějí elektronky se dvěma systémy v jednom pouzdře, nebylo by to zrovna jednoduché. Dále je tu fakt, že se zesílení elektronky mění v čase, jak se zhoršuje emisní schopnost katody. Není to sice po počátečním vyhrátí žádný dramatický jev, ale je zase pravdou, že u každé elektronky není pokles zesílení stejný u každého systému. Nutně by tedy vznikaly problémy s tím, že by každý kanál po čase zesiloval jinak. Rozumně velkou zpětnou vazbou se těchto problémů vyvarujeme a navíc omezíme celkové zkreslení. Také zapojení výstupní pentody jako trioda není zrovna ideální řešení. Oproti uvedenému zapojení se zvětší zkreslení druhou harmonickou asi třikrát a stane se již postřehnutelné. Pokud si někdo chce tuto variantu vyzkoušet, stačí přepojit R9 mezi stínicí mřížku a anodu pentody.

Kritickou součástí v tomto zapojení je kondenzátor C4. V původním

zapojení byl použit elektrolytický kondenzátor 2,2 μ F a 220 μ F ve zpětné vazbě, která byla navíc vyvedena až za výstupními kondenzátory (bod C7, C8 a R13). Takto velké kapacity byly nutné z toho důvodu, že by s menšími hodnotami vznikal pomaloběžný generátor s kmitočtem pod 1 Hz s amplitudou přes 50 V! Příliš velké kapacity kondenzátorů se ve zvuku však projeví zhoršeným přenosem vysokých kmitočtů.

C4 má největší vliv na celkovou kvalitu zvuku předzesilovače. I když také s elektrolytickými kondenzátory je zvuk předzesilovače na velmi nadprůměrné úrovni a v časopise *Elektr* byl velmi kladně hodnocen, změna použitého typu přinesla ještě další radikální zlepšení. Po několika zkouškách byl vybrán na místo C4 fóliový typ WIMA MKS 4 na 400 V s kapacitou 0,33 μ F. I s ní je na tomto místě spodní mezní kmitočet stále 1 Hz. Ne každý typ je vhodný, protože řada fóliových typů kondenzátorů se chová velmi špatně z hlediska přenosu nf signálu, pokud je k nim přiloženo také větší stejnosměrné napětí. Některé typy se chovají tak špatně, že zvuk je ještě mnohem horší než s elektrolytickými kondenzátory. Uvedený typ je tedy nutné dodržet. Také nedoporučuji kapacitu více zvětšovat - zvětšení se projeví ztrátou „jasnosti“ zvuku spojenou s menší „detailností“ (někdy to však může být výhoda u některých aparatur s příliš „agresivním“ zvukem). Další kritickou součástí jsou kondenzátory C5 a C6 ve zpětné vazbě. Také u nich je třeba dodržet uvedený typ a kapacitu, jinak se zhorší kvalita výsledného zvuku. Paralelní řazení těchto kondenzátorů je nutné z toho důvodu, že se větší kapacity typu MKP na napětí 400 V u nás nevyrábějí. Oproti původní verzi zapojení a nahrazením elektrolytických kondenzátorů fóliovými se určitě zmenšilo zkreslení a zvýšil horní mezní kmitočet předzesilovače, protože zvuk v upravené verzi je mnohem „průzračnější“ a „detailnější“ při zcela evidentním získání „živosti“.

Přivedené stabilizované napájecí napětí 330 V je přímo na desce předzesilovače ještě filtrováno přes rezistor R14 a kondenzátor C9, trioda má vzhledem k ještě větším nárokům na vyhlazené napětí svůj další člen RC R8 a C2. Tady bych chtěl upozornit na to, že není dobré k filtračním kondenzátorům C2 a C9 připojovat paralelně menší fóliové kondenzátory, jak je to známo z polovodičové praxe. Sice se tím zcela odstraní nepatrné zbytky napěťových špiček, které se mohou indukovat vlivem blízkosti magnetického pole, ale vlivem menší rychlosti zpětné vazby oproti řídicímu signálu vznikají překmity a zvuk se zřetelně zhorší.

Rezistor R7 slouží k vybíjení kondenzátorů ze zdroje, protože jinak by v nich mohl náboj přetrvávat i několik dní.

Předzesilovač je možné také používat jako vynikající zesilovač pro sluchátka. Tady je pouze omezení v tom, že připojená sluchátka musí mít minimální impedanci alespoň 200 Ω , aby

je dokázal zesilovač dostatečně vybudit. Myslím si, že pokud jste ještě neměli možnost slyšet hudbu ve sluchátkách přes elektronkový zesilovač, budete velmi překvapeni, jak mohou hrát.

Na výstupní části desky s konektory mohou být osazeny dva páry výstupních konektorů, které se propojí paralelně. Pak lze bez problémů realizovat zapojení reproduktorových soustav stylem „Bi-Amping“ se dvěma výkonovými zesilovači.

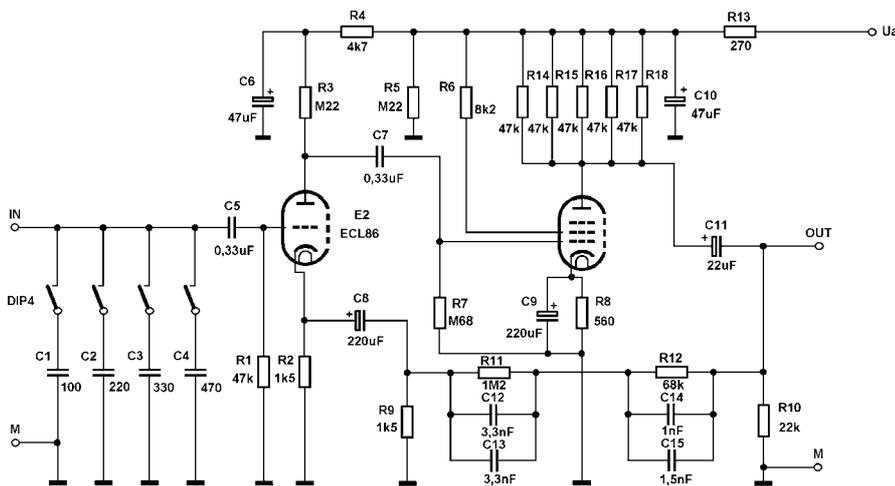
Ochranný obvod

Výstup předzesilovače je připojen zpožděně přes kontakt relé Re5. Zpoždění je nastaveno na přibližně 90 sekund. Toto opatření je nutné, aby se omezily různé rušivé jevy při zahřívání elektronky, při kterých se objevují na výstupu předzesilovače vysoká napětí vlivem nabíjení výstupních kondenzátorů. Ihned po zapnutí se objeví na výstupu C7, C8 napěťový ráz, odpovídající napájecímu napětí 330 V. Po nažhavení elektronky, když výstupní pentodou začíná téci proud, se na výstupu zase objeví záporné napětí asi minus 100 V. Pak se ještě asi třikrát objeví doznívající větší kladné a záporné rázy, než se nabijí všechny kondenzátory a ustálí se stav pracovních bodů. Nažhavení elektronky a uklidnění pracovních bodů trvá přibližně jednu minutu. Tyto rázy by mohly snadno poškodit připojený výkonový (polovodičový) zesilovač nebo sluchátka.

Také po vypnutí předzesilovače se vlivem vybíjení výstupních kondenzátorů objeví na výstupu velké záporné napětí. Proto jsou výstupy pomocí relé Re5 zpočátku odpojeny a připojují se až asi po 90 sekundách, když se napěťové poměry na výstupu bezpečně uklidní. Výstup navíc zkratuje relé Re6, které odpadá po asi jedné sekundě po sepnutí Re5. Výstup se tedy připojí nejprve do zkratu. Tak se zcela odstraní silné lupnutí, které by jinak vznikalo vybitím statického náboje kondenzátorů C7, C8 vlivem změny impedance na výstupu.

Re5 a Re6 jsou ovládána ochranným obvodem (viz obr. 2), který sleduje čtyři podmínky:

- Jak již bylo řečeno, zajišťuje zpoždění sepnutí signálu na výstupu předzesilovače. Zpoždění má na starost časovač vytvořený čítačem CMOS 4020. V původním zapojení byl obvod s 555 ve zcela běžném zapojení. Ten se však ukázal jako zcela nespolehlivý jak v délce časování, tak zejména v tom, že někdy náhodně sepnul ihned. To způsobilo, že výstupy byly také ihned připojeny k výkonovým zesilovačům a tak se vysoké napětí dostávalo na jejich vstupy. Tato situace nesmí nikdy nastat! Proto byl k časování zvolen čítač. I když i ten podle vlastností jednotlivého kusu sepne v rozmezí 70 až 120 sekund, nenastane situace, kdy by sepnul ihned. Po zapnutí přístroje se přes R15 a D6 téměř okamžitě nabije C2 a T5 sepne. Na nulovacím vstupu 11 se objeví log. 0 a čítač začne počítat. Přes R14 je přiveden na bázi T4 síťový kmitočet, který je tran-



Obr. 3. Zapojení korekčního předzesilovače

zistorem tvarován a přiveden na vstup 10 čítače. D5 potlačuje záporné půlvlny. Z výstupu časovače je pak přes R13 sepnut T3, který zkratuje vstupní signál, a čítač již dál nepočítá.

- Obvod kontroluje, zda je přiváděno napájecí napětí do zesilovače. To je zjištěno tím, že pokud přestane mít přístroj přívod napájecího střídavého napětí, C2 se velmi rychle vybije přes T5, ten přestane vést a výstup čítače se překlápí. Výstup je pak zapojen na hradlo CMOS 4023, u kterého musí být splněna podmínka tři stavů log. 1 na vstupu, aby se překlápilo. Pokud není podmínka splněna, relé Re5 téměř ihned odpadnou. Napěťový ráz při vypnutí předzesilovače se tedy nemůže dostat ven z předzesilovače na výstupní konektory. Po každém vypnutí tedy musí nastat celý časovací cyklus. Protože však mají vlastní malé zpoždění odtržení kontaktů, vznikne při vypnutí malý lupanec v reproduktorových soustavách, pokud je zapnutý výkonový zesilovač. Proto je vhodné vypínat koncový zesilovač první. Odstranění tohoto jevu by si vyžádalo další složitější zapojení, v praxi není příliš na závadu, a proto mu není již věnována další pozornost.

- Obvody s R1, R2 až k T1 a T2 vyhodnocují stav stejnosměrného napětí

na výstupech zesilovače. Každý kanál musí mít svůj oddělený vyhodnocovací obvod, aby se co nejvíce omezily přeslechly mezi kanály.

I když je to víceméně teoretická možnost, může se stát, že některý výstupní kondenzátor bude mít poruchu a vysoké stejnosměrné napětí z anody výstupní pentody (asi 200 V) se dostane na výstup zesilovače. To by mohlo snadno poškodit připojený výkonový zesilovač nebo sluchátka. Přes R1 a R2 se přivádějí signály z výstupů zesilovačů. Ty pak nabíjí kondenzátory C4 nebo C5. Pokud je vše v pořádku, na kondenzátory přichází pouze střídavé napětí a napětí na nich se pohybuje okolo 0 V. Pokud se však na vstupu objeví kladné stejnosměrné napětí vyšší než 1,3 V, toto okamžitě nabije kondenzátor, přes diodu se dostane napětí na tranzistor a ten sepne. Na vstupu IC2 se potom objeví log. 0, není splněna podmínka tři vstupních log. 1 a Re5 nesečne nebo odpadne. Re5 jsou umístěna přímo na deskách předzesilovačů a jsou spínána tranzistorem T6 z ochranného obvodu.

- Obvod s T7 a Re6 zajišťuje, že po sepnutí výstupních relé Re5 nevznikne na výstupu napěťový ráz. Po zapnutí přístroje není T6 sepnutý. Přes cívky Re5, R17 a D7 se nabije C3 a

T7 sepne. Výstup z předzesilovače je zkratován. Po sepnutí T6 se náboj z C3 vybíjí přes T7 a udržuje ho sepnutý asi jednu sekundu. To umožní vybití statického náboje výstupních kondenzátorů předzesilovače a na jeho výstupu se pak již neobjeví silný napěťový ráz vzniklý změnou impedance na výstupu.

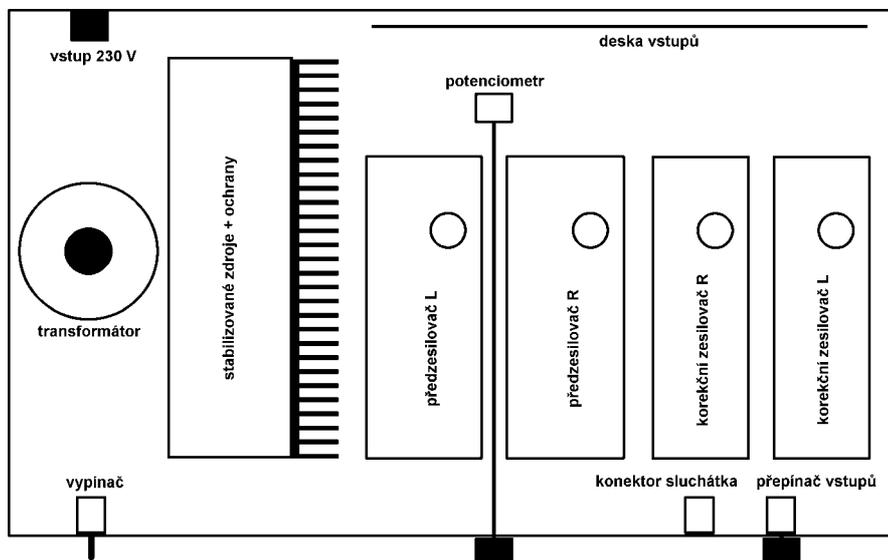
Zdrojová část

Aby bylo možné dosáhnout výborných odstupů kanálů mezi sebou, obsahuje zdrojová část pro každý kanál stabilizovaný zdroj anodového napětí 330 V s ochranou proti přetížení a stabilizovaný zdroj žhavicího napětí 12,6 V. Elektronky potřebují pro své žhavení napětí 6,3 V. Aby se však omezily tepelné ztráty na stabilizátoru, je výhodnější vyrobit stabilizované napětí 12,6 V a žhavicí vlákna elektronek zapojit vždy dvě do série. Výstupní stabilizované napětí vedeme tedy tak, že jednu polaritu vedeme na jednu desku předzesilovače a druhou polaritu na desku druhého kanálu předzesilovače. Volné vývody žhavení na deskách předzesilovačů pak propojíme. Na polaritě žhavení nezáleží. Stejným způsobem zapojíme žhavení u korekčního zesilovače, pokud ho použijeme. Stabilizaci zajišťuje jednoduchý monolitický stabilizátor 78S12, u kterého je zvýšeno výstupní napětí zařazením diody do zemnicího vývodu stabilizátoru.

Stabilizátory anodového napětí jsou jednoduchého typu. Referenční napětí pro řídicí elektrodu tranzistoru je získáváno pomocí Zenerových diod a filtrováno kondenzátorem (C16, C17). Jako výkonová součástka je tady použit tranzistor typu MOSFET, se kterým můžeme dosáhnout menších výkonových ztrát než s bipolárními typy. Na výstupu stabilizátoru je připojen tranzistor T10 (T11), který podle úbytku napětí na odporu 6,8 Ω omezuje výstupní proud stabilizátoru a funguje tak jako ochrana proti přetížení. I když je tento stabilizátor velmi jednoduchý, je pro toto zapojení zcela dostačující, a pokud budete mít problémy s brumem zesilovače, není brum způsoben nedostatečnou stabilizací, ale většinou zemními smyčkami a blízkostí silného magnetického pole transformátoru. Obvody stabilizátorů napájecích napětí jsou umístěny všechny na jedné desce s plošnými spoji, společně s obvodem ochrany. Výkonové tranzistory stabilizátorů a stabilizátor žhavicího napětí potřebují chlazení, na boční stranu desky s plošnými spoji se tedy připevní potřebný chladič, který je společný pro všechny tři součástky.

(Pokračování příště)

Případné dotazy ke stavbě: Karel Rochelt, Rochelt s. r. o., Příčná 647, 353 01 Mariánské Lázně, tel.: 0165/622 688. Dodáváme také originální desky s plošnými spoji, transformátory, elektronky atd. (viz naše inzertce).



Obr. 4. Doporučené rozmístění ve skříni předzesilovače

High-End elektronkový předzesilovač EP 1

Karel Rochelt

(Pokračování)

Korekční zesilovač pro MM přenosku

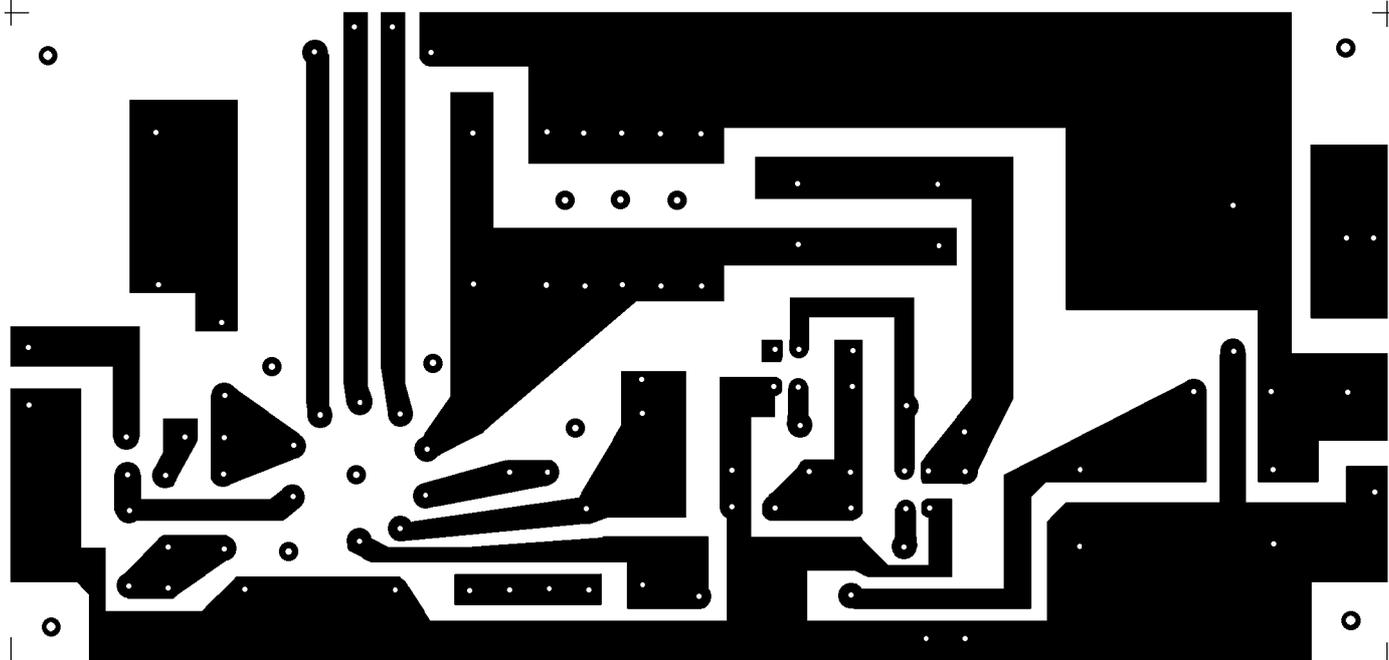
Základní zapojení je na první pohled v principu zcela triviální. V polovodičové praxi obdobné zapojení nikdy nesklidilo žádné ovace ani v provedení se dvěma tranzistory nebo nověji s jedním IC. Zde se však ukazuje, jaký

je propastný rozdíl mezi elektronkami a polovodiči. Zapojení těži z toho, že výstupní elektronka je relativně velmi výkonná, a proto se velmi dobře daří potlačit všechny negativní jevy, které toto zapojení přináší. Zvukově se tento korekční zesilovač jeví jako lepší než např. známý Actidamp 4 (AR 6/94). Zvuk se tolik „neztrácí“ ve zkreslení - je

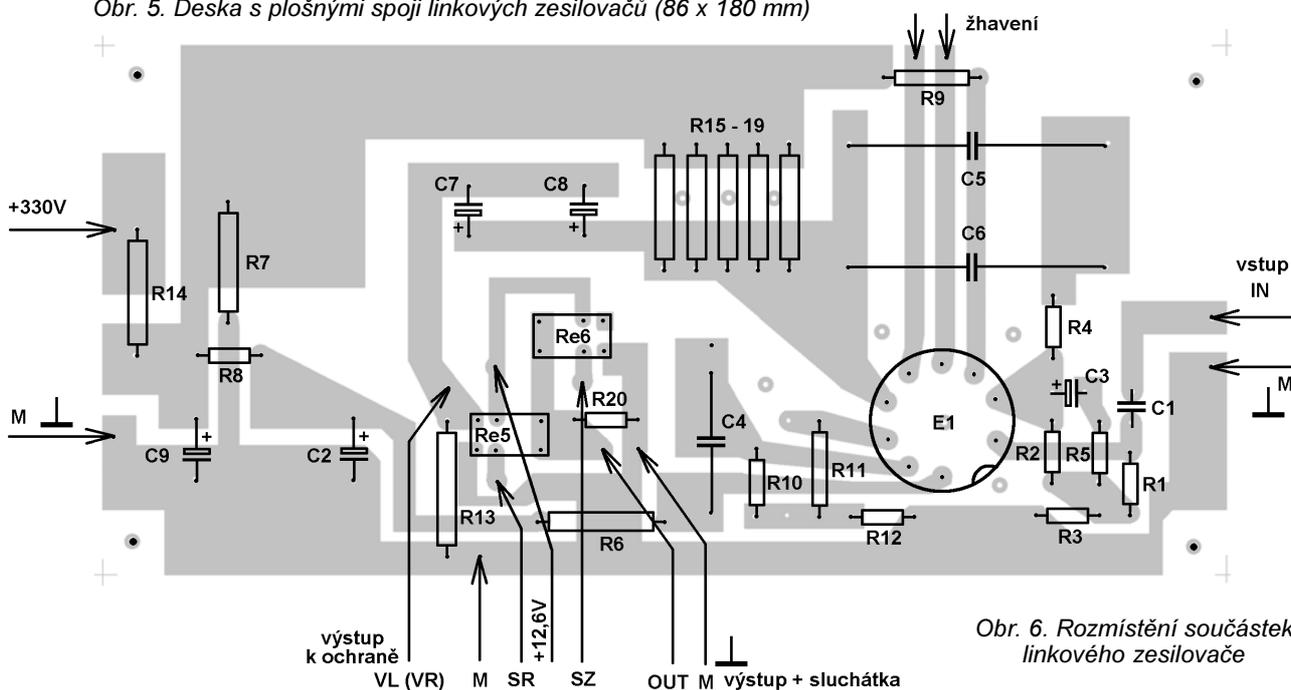
více oddělen od rušivých zvuků z povrchu desky. Zvuk je celkově „živější“ a uslyšíte více detailů, které lépe vytvoří prostorové zobrazení. I s relativně levnými přenoskami (asi 1500 Kč) se můžete dostat ke zvuku, který lze opravdu kvalitativně srovnávat se zvukem přehrávačů CD v cenové kategorii okolo 20 000 Kč. Pochopitelně, že nedosáhnete takového odstupu od šumu a ruchů plynoucích z nedokonalého povrchu vinylové desky, ale tyto nedostatky určitě nejsou to nejdůležitější ve zvuku.

Z hlediska vysokých nároků lze mít výhrady u tohoto korekčního předzesilovače pouze k poměrně malému odstupu od rušivých signálů (asi -76 dB s A-filtrem), který je však v praxi dostatečný, protože odstup rušivých signálů na vlastním nosiči může dosahovat v ideálním případě maximálně asi -70 dB.

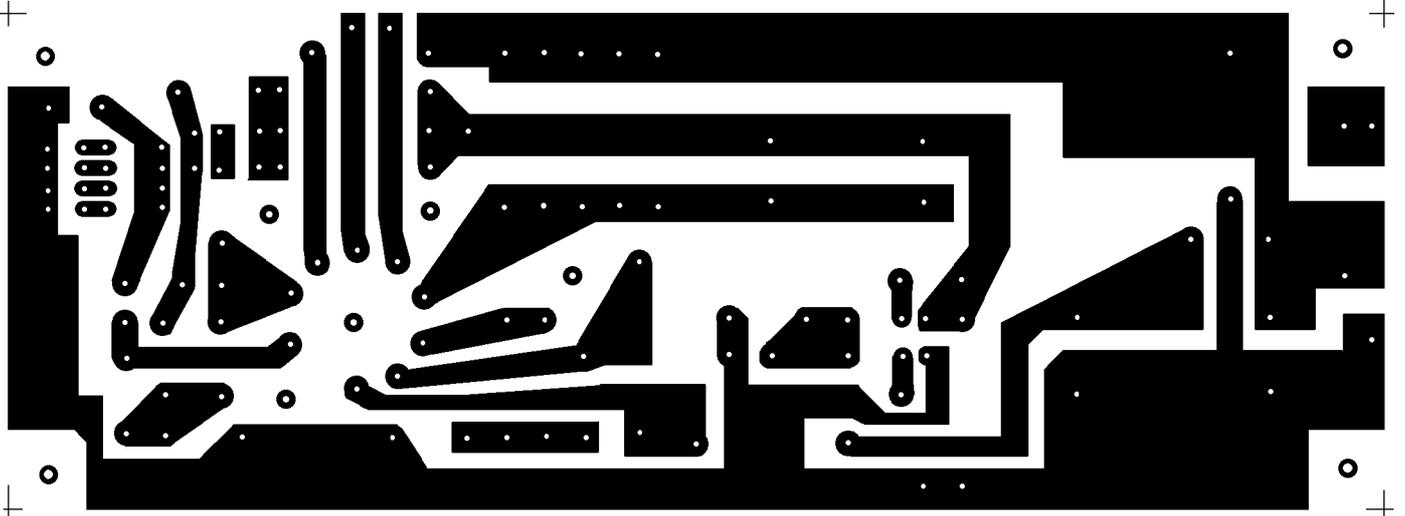
Schéma na obr. 3 vychází ze zapojení předzesilovače. Protože je nutné



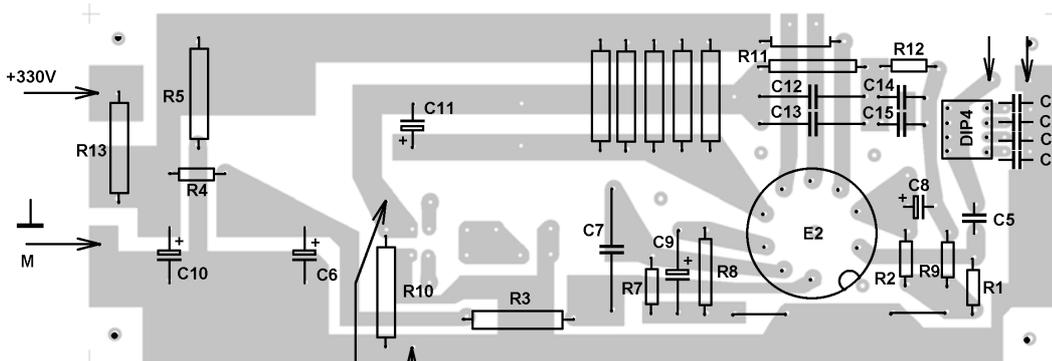
Obr. 5. Deska s plošnými spoji linkových zesilovačů (86 x 180 mm)



Obr. 6. Rozmístění součástek linkového zesilovače



Obr. 7. Deska s plošnými spoji korekčních zesilovačů (66 x 180 mm)



Obr. 8. Rozmístění součástek korekčního zesilovače

zajistit mnohem větší zesílení, bylo potřeba upravit zapojení. To se týká zejména obvodů katod obou elektronek. U triody byl vynechán R3, u pentody je katodový rezistor R8 přemostěn pro střídavé signály kondenzátorem C9. Teoreticky by bylo možné v tomto zapojení dosáhnout napěťového zesílení 76 dB. Protože je však třeba počítat také s výrobními tolerancemi elektronek a jejich stárnutím, bylo zvoleno základní zesílení 35 dB.

Na vstupu zesilovače je možné přepínačem DIP navolit optimální zatěžovací kapacitu pro přenosku. Ta je udávána výrobcem mezi 300 až 500 pF, moje osobní zkušenost je však ta, že 500 pF je spíše minimum a vyhovující kapacita je mezi 700 až 1000 pF, včetně propojovacích kabelů. Optimální nastavení se pozná velmi výrazným poklesem zkreslení, takže se velmi kvalitní „prostorové zobrazení hudebního obrazu“ a zvuk celkově získá na „konkrétnosti a síle“ v oblasti základních kmitočtů. Signál je dále veden přes kondenzátor C5 na řídicí mřížku vstupní triody. Kapacita 0,33 µF tvoří zároveň s R1 subsonický filtr s poklesem -3 dB na 10 Hz. Pokud potřebujete ještě více omezit spodní pásmo, lze použít také kapacitu 0,22 µF, se kterou je mezní kmitočet 15 Hz. Pokud nevyžadujete subsonický filtr, použijte kapacitu 1 µF. V praxi je však subsonický filtr potřeba téměř vždy, protože většina výlisků gramodesek není až tak dobrých, aby to nezpůsobovalo nekonečné „plandání“ membrán basových reproduktorů. Výstupní kondenzátor C11 je možné nahradit také dvěma kusy kondenzátorů 10 µF, aby se rozšířilo možné přenosové pásmo; protože se však předpokládá v tomto

případě minimální zatěžovací kapacita propojovacími kabely, není toto opatření až tak nutné.

Z výstupu je vyvedena zpětná vazba s korekčními členy na katodu triody. Tady jsou použity vždy dva paralelně spojené kondenzátory. Tím je možno snáze vybrat dvojici kondenzátorů, aby celková kapacita odpovídala potřebné toleranci 2,5 %. Rezistory lze jednoduše dostat s tolerancí 1 %, u kondenzátorů je však problém v těchto hodnotách dostat i 5 %. Typy kondenzátorů opět hrají svoji roli, velmi dobré jsou staré styroflexové typy nebo i běžné typy MKT nebo MKP.

Bylo by možné také změnit zapojení zpětné vazby tak, že se vyvede z anody výstupní pentody jako v případě linkového předzesilovače. Potom by však musely být použity kondenzátory ve zpětné vazbě na napětí min. 400 V, aby se neprorazily. Deska by se upravila tak, že by se oddělila část plošného spoje (spoj C12, C13 a R11 u anodových rezistorů R14 až R18) a ta by se spojila s plochou vedoucí k anodě pentody. Dá se předpokládat jisté menší zvukové zlepšení, je ale otázka, jestli by to při zvukových kvalitách přenosů a kvalitě výlisků gramofonových desek bylo vůbec poznat.

U vstupní triody byla zvětšena kapacita filtračního kondenzátoru C6 (zlepšení odstupu rušivých signálů). Protože je zajištěno stejnosměrné připojení k pracovní zemi přes R10, není již nutné osazovat na desce vstupů R24 (R24a). Pokud použijete pouze samotný korekční zesilovač pro MM přenosku, je vhodné doplnit také výstupní relé (Re5), aby se omezila možnost poškození dalšího připojeného

zařízení při startování zesilovače nebo při poruše výstupních kondenzátorů, stejně jako u linkové části.

Technické údaje

Pro nedostatek vhodné měřicí techniky - podle měření redakce Elektor:

Linková část

Odstup S/N:	-100 dB, A-filtr.
Odstup S/N:	- 87 dB, lineárně.
Zkreslení:	<0,05 %, lineárně.
Zkreslení:	<0,01 %, akustické pásmo.
IM zkreslení:	<0,02 %.
Přeslechy L/R:	-95 dB, 1 kHz.
Přeslechy L/R:	-90 dB, 20 kHz.
Výstupní impedance:	<200 Ω, akustické pásmo.
Zesílení:	3x (10 dB).
Frekvenční rozsah:	3,5 Hz až 500 kHz (-3 dB).

Korekční předzesilovač MM

Odstup S/N:	-76 dB, A-filtr.
Odstup S/N:	-65 dB, lineárně.
Zkreslení:	<0,06 %, lineárně.
Zkreslení:	<0,014 %, akustické pásmo.
Zesílení:	35 dB, 1 kHz.
Výstupní impedance:	2000 Ω, 20 Hz.
Výstupní impedance:	150 Ω, 1000 Hz.
Výstupní impedance:	25 Ω, 20 000 Hz.
Přesnost křivky RIAA:	+0,8 dB, -0,5 dB pro zátěž 47 kΩ.

(Dokončení příště)

Případné dotazy ke stavbě: Karel Rochelt, Rochelt s. r. o., Příčná 647, 353 01 Mariánské Lázně, tel.: 0165/622 688. Dodáváme také originální desky s plošnými spoji, transformátory, elektronky atd. (viz naše inzerce).

High-End elektronkový předzesilovač EP 1

Karel Rochelt

(Dokončení)

Stavba

Vzhledem k tomu, že se v tomto předzesilovači vyskytují životu nebezpečná napětí, budte při stavbě zesilovače maximálně opatrní a dodržujte všechny zásady bezpečnosti!!!

Celý předzesilovač, včetně korekčního zesilovače, je umístěn na šesti deskách s plošnými spoji. Stavba předpokládá umístění jednotlivých desek ve skříni vedle sebe s tím, že napájecí transformátor bude na straně zesilovače vedle desky zdrojů. Pouze deska vstupů bude umístěna přímo na zadní stěně skříňky nebo v její blízkosti - viz obr. 4. Skříň musí mít vnitřní výšku minimálně 11 cm a musí mít spodní a horní stěnu s dostatečným počtem větracích otvorů. Ideální je použití perforovaného plechu s malými kruhovými otvory na spodní i horní stěnu skříň. Celková tepelná ztráta v předzesilovači je přes 100 wattů, a je tedy třeba

dobře chladit vnitřní část skříň. Vlastní skříň musí mít pochopitelně také dostatečně vysoké nohy (2,5 cm), aby byla zajištěna dobrá cirkulace vzduchu vnitřkem skříň.

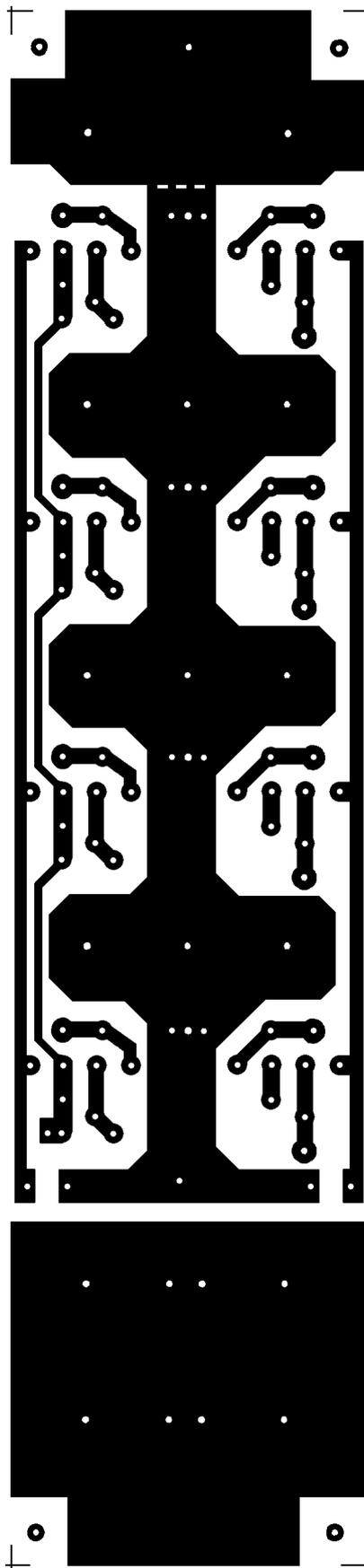
Pokud postavíte napájecí transformátor na výšku (v toroidním provedení) a použijete pouze linkové zesilovače, je možné vtěsnat celý přístroj do typizované šířky 43 cm, ale větší šířka nebude nikdy na škodu, pokud chceme dosáhnout velkých odstupů kanálů od sebe tím, že budou desky s plošnými spoji alespoň 15 mm od sebe. Desky zesilovačů lze také postavit na výšku po delší straně - elektronka je otočena tak, že se nebudou prověšovat žhavici vlákna a tím snižovat životnost.

Desky pro předzesilovač a korekční zesilovač jsou na obr. 5 a 7 a jejich osazení součástkami na obr. 6 a 8. Protože jsou zesilovače jednotlivých kanálů vždy na samostatné desce a každý kanál má svůj samostatný zdroj, lze dosáhnout vynikající odstup kanálů mezi sebou.

Desky vrtáme vrtákem 1,2 mm, otvory pro objímky elektronky je třeba vrtat vrtákem 1,6 mm a otvory pro velké elektrolytické kondenzátory s uchycením „Snap-in“ vyžadují vrták 2,5 mm. Otvory pro distanční sloupky a uchycení chladiče potřebují otvor 3,5 mm. Na deskách předzesilovačů jsou místa označená kroužky, která také provrtáme vrtákem 3,5 mm. Ta slouží k lepší cirkulaci vzduchu okolo elektronky. Otvory v místech vstupů kabelů jsou určeny pro pájecí „piny“, které umožní mnohem snazší připojení kabelů.

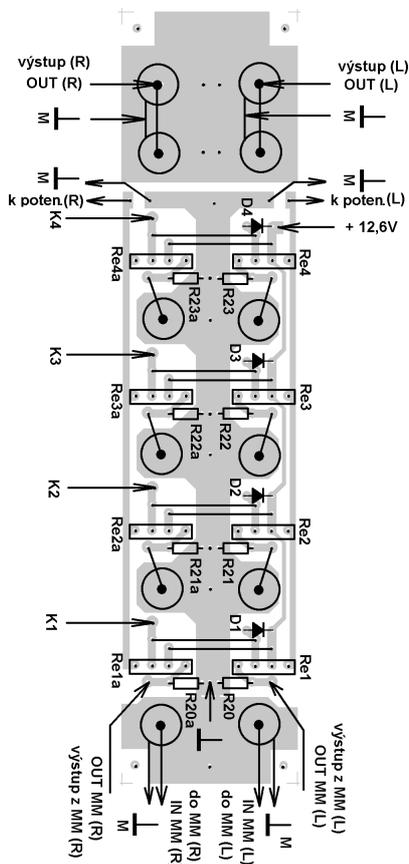
Na desce vstupů (obr. 9 a 10) vrtáme pouze otvory pro vstupní a výstupní cinch konektory a otvory pro připevnění, protože, jak už bylo zmíněno, využijeme-li tuto desku zároveň jako součást zadní desky skříňky, musí se součástky připevnět ze strany spojů. Na desce je místo pro dva páry výstupních konektorů pro případ zapojení „Bi-Amping“ - nemusí být pochopitelně využity oba.

Deska zdrojů (obr. 11 a 12) je poněkud složitější, protože je k ní třeba připevnit chladič na straně výkonových součástek třemi šroubky. Do chladiče je tedy nutné vyvrtat nejen otvory (vrták 2,5 mm) pro připevnění tranzistorů a stabilizátoru, ale i otvory pro připevnění chladiče k desce. Ve všech otvorech se pak vyříznou závity M3. Chladič se k desce s plošnými spoji přišroubuje tak, že konec chladiče

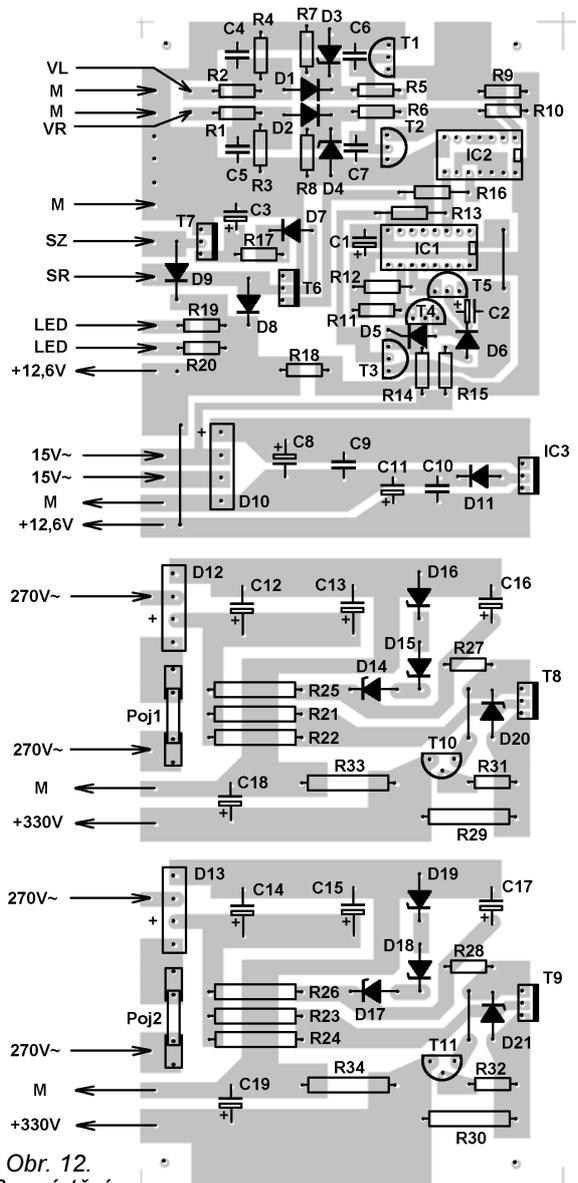
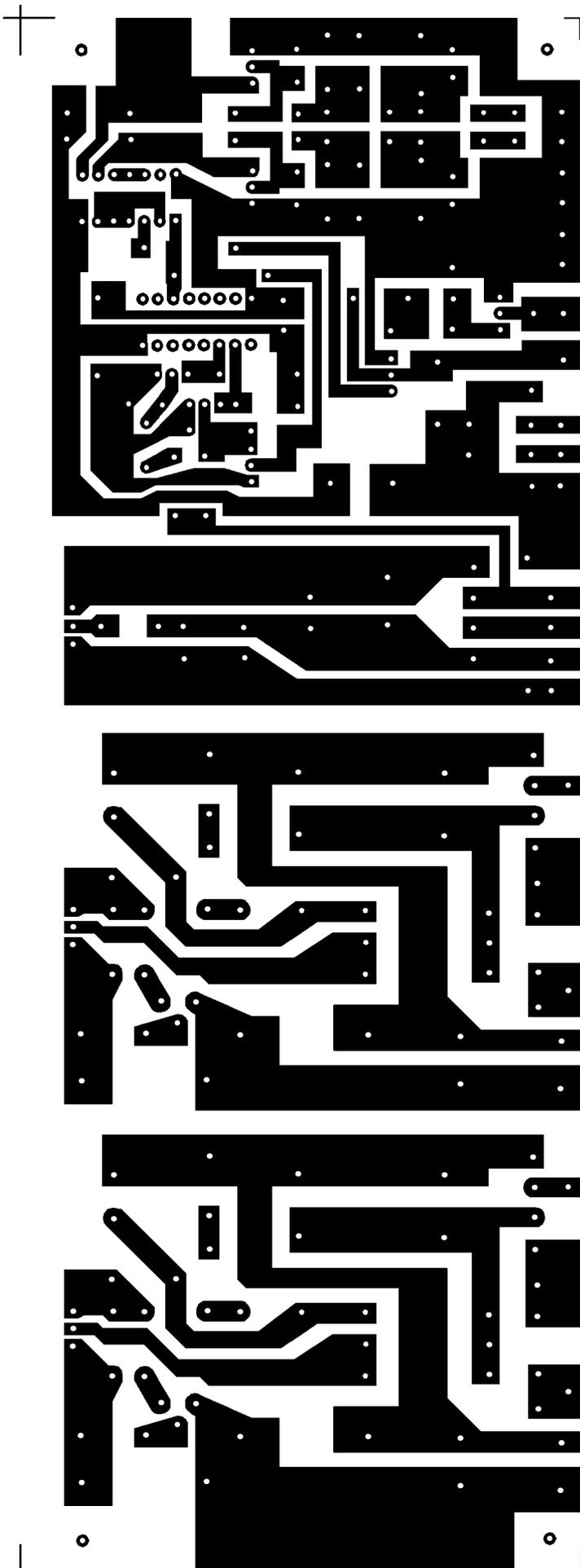


Obr. 10. Deska s plošnými spoji vstupů (230 x 52 mm)

bude zároveň s koncem desky na straně stabilizátoru. Díry pro připevnění chladiče jsou pak 4, 125 a 245 mm od této hrany. Díry se závity se vyvrtají v polovině nosného spojení chladičích žebek, tj. asi 3,5 mm od dlouhé hrany. Otvory pro přišroubování tranzistorů a stabilizátoru jsou pak ve vzdálenos-



Obr. 9. Rozmístění součástek desky vstupů



Obr. 12.
Rozmístění
součástek
desky zdrojů
a ochran

Obr. 11.
Deska
s plošnými
spoji zdrojů
a ochran
(90 x 252
mm)

tech 39, 104 a 152,5 mm od stejné hrany, jako jsou uvedeny kóty pro upevnění chladiče. Vzdálenost otvorů je pak 23 mm od desky spojů. Oba tranzistory i stabilizátor musí mít izolační

podložky pod styčnou plochu i plochu připevňovací šroubu. Chladič po vyvrtání přiložíme k desce spojů a překreslíme kóty pro připevňovací otvory. Ty potom vyvrtáme. Teprve po osaze-

ni připevníme lehce tranzistory a stabilizátor na chladič, aby s nimi šlo ještě hýbat, a můžeme připevnit chladič k desce. Po správném nasazení vývodů polovodičových součástek do otvorů v desce a přišroubování chladiče nezapomeňte dotáhnout jejich připevňovací šrouby, aby byl zajištěn dobrý převod tepla na chladič. Desky připevníme ke spodní desce skříně pomocí distančních sloupků 10 mm z plastické hmoty.

Můžeme přistoupit k propojení kabely. Nejprve připojíme napájecí transformátor. Ten by měl být v toroidním provedení, aby se omezilo magnetické vyzařování. Všechny propoje vedeme ohebnými lankami o vnitřním průřezu 0,5 mm², mimo vedení pro spínání vstupních relé, pro která použijeme svařeného svazku šesti kablíků používaných v počítačové technice. Skříň přístroje je nutné připojit k zemní sorce z bezpečnostních důvodů a pro dosažení lepšího odstínění před rušivými signály. Po připojení transformátoru překontrolujeme výstupní napětí na jednotlivých stabilizátorech. Pokud je vše v pořádku, propojíme nejprve všechny nulové svorky stabilizátorů a ochranného obvodu.

Tady pozor!!! Po každém zapnutí je třeba počkat, až se dostatečně vybijí kondenzátory ve stabilizátorech přes vybíjecí odpory - to je důležité zejména u napětí 330 V, které může být velmi nebezpečné. Napětí na výstupu raději vždy překontrolujte voltmetrem, než budete v práci pokračovat. Po jejich propojení zapojíme žhavení elektronek a vyzkoušíme, zda žhavi. Kabele napájecích napětí 330 V vedeme k jednotlivým deskám vždy tak, že pevně zkroutíme obě žíly k sobě, aby se omezila indukce rušivých signálů.

Protože jsou použity dva napájecí zdroje a jednotlivé kanály mají své samostatné desky, je vždy nutné správně propojit nulové svorky (pracovní země), aby se zamezilo vzniku zemních smyček a tím zvýšenému základnímu brumu. Většinou bývá výhodnější spojit všechny země pouze v jednom místě, někdy se však ukazuje lepší ta varianta, kdy se země propojí na více místech (u vstupů signálu, u vstupu napájecích napětí, na desce zdrojů atd.). Protože je však často výsledkem ovlivnění i konkrétní stavbou skříně, berte tuto část jako vodítko k dosažení potřebného cíle.

Dále kompletně připojíme ochranný obvod i s relé a vyzkoušíme, zda sepnou po asi 90 sekundách. Propoj výstupu k ochraně (VL + VR) vedeme stíněným nf kabelem. Nakonec propojíme signálové cesty (také stíněným nf kabelem - tady se velmi osvědčil běžný 6 mm kabel pro muzikanty od fy PROEL) od desky vstupů přes potenciometr hlasitosti k deskám zesilovačů, výstupní signál na výstupní konektory a výstup pro sluchátka, zapojení signálových cest do a z korekčního zesilovače. Také připojíme diody LED, jedna indikuje zapnutí přístroje a žhavení elektronek a druhá sepnutí výstupních relé (viz obr. 2).

Předzesilovač je tímto připraven k provozu. Po sepnutí výstupního relé by se neměl z reproduktorů ozývat zvýšený brum při zařazeném linkovém vstupu. Pouze při přepnutí na korekční předzesilovač se odstup rušivých signálů zhorší, neměl by však dosahovat výrazně rušivých hodnot. Pokud se objevuje výrazný brum, je třeba upravit propojení pracovní země tak, aby brum téměř zcela zmizel a ozýval se pouze šum.

Použití předzesilovače a jeho modifikace

Předzesilovač použijeme hlavně ve velmi kvalitních aparaturách domácího hifi jako předzesilovač pro polovodičový výkonový zesilovač. Tady je jeho přínos jasně největší. Koncové zesilovače dosahují v mnoha případech velmi slušných výsledků a jejich zvuk výrazně znehodnocují právě nepovedené předzesilovače. Pro elektronkové zesilovače, které jsou většinou koncipovány tak, že na vstupu je potenciometr hlasitosti a za ním již následuje vlastní výkonový zesilovač, nemá tento předzesilovač většinou žádný přínos. Pouze v případě, že potřebujeme budít vzdálené monobloky,

je tento předzesilovač správnou volbou. I s kabele dlouhými 10 m zůstává zvuk nezhoršený, pouze mohou nepatrně ubývat výšky.

Jako u všech velmi kvalitních přístrojů se může někdy „jevit zvuk tohoto předzesilovače jako s poněkud menším objemem basů a až agresivním podáním zvukového projevu“. To však mluví spíše o horší kvalitě použitých soustav nebo spíše ve většině případů o nedostatečném ztlumení posluchové místnosti.

Zvukové kvality tohoto předzesilovače jsou opravdu skvělé a myslím si, že jen málokdo je opravdu zcela bezzbytku využije. I s relativně levnými koncovými zesilovači můžete dosáhnout podstatného zlepšení zvuku, zejména co se týče prostorového podání, celkové srozumitelnosti a hlavně dynamického rozsahu, který bývá s běžnými polovodičovými předzesilovači žalostný.

Pokud by vám vyhovoval poněkud „teplejší“ zvuk, je možné zvětšit C4 až na původní velikost 2,2 μ F, zhorší se však podání prostoru a detailnost (zvětšuje se zkruslení).

Pro vaše potřeby pochopitelně není nutné stavět předzesilovač celý, ale můžete použít pouze jeho linkovou část nebo pouze korekční předzesilovač pro MM přenosku. V tomto případě lze použít transformátor s menšími výstupními proudy sekundárních napětí - 15 V/1 A, 270 V/0,1 A.

Použitá literatura

- [1] Röhren-Preamp. Elektor 6 až 9/2000.
[2] Röhren-Entzerrer-Vorverstärker. Elektor 12/2000.

Seznam součástek

Předzesilovač (jeden kanál)

<i>Rezistory (metalizované 0,6 W/1 %)</i>	
R1, R10	680 k Ω
R2	1,8 k Ω
R3	10 k Ω
R4	33 k Ω
R5	2,2 k Ω
R6	150 k Ω /2 W, 5 %
R7	470 k Ω /2 W, 5 %
R8	2,7 k Ω
R9	8,2 k Ω
R11	150 Ω
R12	270 Ω
R13	22 k Ω /2 W, 5 %
R14	150 Ω /2 W, 5 %
R15 až R19	18 k Ω /2 W, 5 %
R20	470 k Ω

<i>Kondenzátory (radiální)</i>	
C1	1 μ F, MKT 63 V, 5 mm
C2	10 μ F/450 V, elyt.
C3	47 μ F/50 V, elyt.
C4	0,33 μ F/400 V, WIMA MKS 4
C5, C6	4,7 μ F/400 V, MKP 382
C7, C8	22 μ F/450 V, elyt.
C9	47 μ F/450 V, elyt.
<i>Ostatní součástky</i>	
E1	ECL86
Re5, Re6	Omron G5V1-12V
objímka NOVAL do desky s plošnými spoji	

Deska vstupů (pro oba kanály)

R21 až R24, R21a až R24a	220 k Ω
D1, D2, D3, D4	1N4148
Re1 až Re4, Re1a až Re4a	S1A12-1K (jaz. relé, 1x spin., 12 V, 1 k Ω , 5 mm rozteče)
S1	přepínač, 4 polohy
Konektor cinch na panel, 10 nebo 12 ks	

Zesilovač pro MM přenosku (jeden kanál)

<i>Rezistory (metalizované 0,6 W/1 %)</i>	
R1	47 k Ω
R2, R9	1,5 k Ω
R3, R5	220 k Ω /2 W, 5 %
R4	4,7 k Ω
R6	8,2 k Ω
R7	680 k Ω
R8	560 Ω
R10	22 k Ω /2 W, 5 %
R11	1,2 M Ω
R12	68 k Ω
R13	270 Ω /2 W, 5 %
R14 až R18	47 k Ω /2 W, 5 %

<i>Kondenzátory (radiální)</i>	
C1	100 pF, ker.
C2	220 pF, ker.
C3	330 pF, ker.
C4	470 pF, ker.
C5	0,33 (0,22) μ F/100 V, MKT, MKP
C6, C10	47 μ F/450 V, elyt.
C7	0,33 μ F/400 V, WIMA MKS 4
C8, C9	220 μ F/50 V, elyt.
C11	22 μ F/450 V, elyt.
C12, C13	3,3 nF, MKT, MKP, styr. (min. 100 V) 2,5 %
C14	1 nF, MKT, MKP, styroflex (min. 100V) 2,5 %
C15	1,5 nF, MKT, MKP, styroflex (min. 100V) 2,5 %
<i>Ostatní součástky</i>	
E2	ECL86
objímka NOVAL do desky s plošnými spoji	

Deska zdrojů a ochrana

<i>Rezistory (metalizované 0,6 W/1 %)</i>	
R1, R2	33 k Ω
R3, R4, R7, R8	100 k Ω
R5, R6, R19, R20	
R27, R28, R31, R32	1 k Ω
R9, R10, R16	10 k Ω
R11, R12	4,7 k Ω
R13, R14, R15	15 k Ω
R17	22 k Ω
R18	10 Ω
R21 až R24	220 Ω /2 W, 5 %
R25, R26	10 k Ω /2 W, 5 %
R29, R30	6,8 Ω /2 W, 5 %
R33, R34	150 k Ω /2 W, 5 %

<i>Kondenzátory (radiální)</i>	
C1	47 μ F/16 V, elyt.
C2	4,7 μ F/50 V, elyt.
C3	1000 μ F/16 V, elyt.
C4, C5	330 nF, MKT, 63 V, 5 mm
C6, C7	1 μ F, MKT, 63 V, 5 mm
C8	2200 μ F/35 V, elyt.
C9, C10	100 nF/40 V, ker., MKT, 5 mm
C11	100 μ F/35 V, elyt.
C12 až C15	47 μ F/450 V, elyt.
C16 až C19	22 μ F/450 V, elyt.

<i>Polovodičové součástky</i>	
D1, D2	BAT43
D3, D4	12 V/1,3 W
D5 až D9, D11	1N4148
D10	KBU8 můstek ~~~+
D12, D13	B500C1500 můstek ~~~+
D14 až D19	110 V/1,3 W
D20, D21	18 V/1,3 W
T1 až T5, T10, T11	BC546B
T6, T7	BD139-16
T8, T9	BUZ90A
IC1	4020
IC2	4023
IC3	78S12, TO 220

Ostatní součástky
Držák pojistek do desky s ploš. spoji, 4 ks
Trubičková pojistka pomalá, 400 mA, 2 ks
Trubičková pojistka pomalá, 800 mA, 1 ks
Chladič V7495E (GES electronics), 1 ks
Podložky pod tranzistory TO 220, 3 ks
Izolované průchodky pod šroubky, 3 ks
Spínač dvoupólový 250 V/3 A AC, 1 ks
Síťový konektor s poj. pouzdem EURO, 1 ks
Transformátor, 1 ks, pr. vinutí 230 V, sek. vinutí: 270 V/0,15 A; 270 V/0,15 A; 15 V/2 A

Případné dotazy ke stavbě: Karel Rochelt, Rochelt s. r. o., Příčná 647, 353 01 Mariánské Lázně, tel.: 0165/622 688. Dodáváme také originální desky s plošnými spoji, transformátory, elektronky atd. (viz naše inzerce).