

V TOMTO SEŠITĚ

Dějiny přenosu zpráv na dálku 1

PRAKTICKÉ KONSTRUKCE Z ANALOGOVÉ TECHNIKY

Nízkofrekvenční technika	3
Monofonní předzesilovač	3
Předzesilovač s ekvalizérem	4
Stereofonní směšovací jednotka	5
Předzesilovač s ekvalizérem	7
Devítipásmový ekvalizér	10
Koncový zesilovač s LM3886T	11
Koncový zesilovač 2x 30 až 100 W	13
Indikátor vybuzení	15
Stereofonní indikátor vybuzení	16
Analýzátor spektra	17
Pseudokvadrofonní adaptér	17
Přístroje pro domácí dílnu	20
Páječka s regulátorem teploty V99	20
Napájecí zdroj s L200	29
Laboratorní zdroj	34
Indikátor napětí autobaterie + falešný alarm	39

KONSTRUKČNÍ ELEKTRONIKA A RADIO

Vydavatel: AMARO spol. s r. o.

Redakce: Radlická 2, 150 00 Praha 5,
tel.: (02) 57 31 73 11, tel./fax: (02) 57 31 73 10.

Šéfredaktor ing. Josef Kellner, sekretárka
redakce Eva Keláková, tel. 543 825, l. 268.
Ročně vychází 6 čísel. Cena výtisku 30 Kč.
Celoroční předplatné 180 Kč.

Rozšiřuje PNS a. s. (viz str. 40), Transpress
s. r. o., Mediaprint a Kapa, soukromí distri-
butoři, informace o předplatném podá a ob-
jednávky přijímá Amaro s. r. o., Radlická 2,
150 00 Praha 5, tel./fax (02) 57 31 73 13,
PNS, pošta, doručovatel.

Objednávky a předplatné v Slovenskej re-
publike vybavuje MAGNET-PRESS Slovakia s.
r. o., P. O. BOX 169, 830 00 Bratislava 3, tel./
fax (07) 44454559 - předplatné, (07) 44454628 -
administrativa, e-mail: magnet@press.sk
Předplatné na rok 222,- SK.

Podávání novinových zásilek povolila Česká
pošta s. p., OZ Praha (č. nov 6028/96 ze dne 1.
2. 1996).

Inzerce přijímá redakce ARadio, Radlická 2,
150 00 Praha 5, tel.: (02) 57 31 73 11, tel./fax:
57 31 73 10.

Inzerce v SR vyřizuje MAGNET-PRESS Slova-
kia s. r. o., Teslova 12, 821 02 Bratislava, tel./
fax (07) 44450693.

Za původnost a správnost příspěvků odpovídá
autor. Nevyžádané rukopisy nevracíme.

Internet: <http://www.aradio.cz>

E-mail: a-radio@mbox.inet.cz; a-radio@login.cz

ISSN 1211-3557, MKČR 7443

© AMARO spol. s r. o.

Dějiny přenosu zpráv na dálku

Augusto Righi

V oblasti vývoje bezdrátového přenosu zpráv jsou v podstatě známy jména jako Marconi nebo Popov, ovšem k tomu, aby tito vědci mohli dospět ke svým objevům, bylo zapotřebí trnité cesty přes dílčí objevy, které byly do jisté míry nezastupitelné pro pokrok v dané oblasti.

Jedním z významných fyziků, jehož bádání přispělo při budoucím rozvoji rádiové techniky, byl dnes většině lidí neznámý Augusto Righi. Narodil se 27. srpna 1850 v severní Itálii, v Bologni, kde také nakonec studoval fyziku na univerzitě. Po absolvování tohoto studia přešel na technický institut v Bologni, kde započal svou výzkumnou dráhu významnými poznatky v oblasti stereoskopie a polarizace světla. Těmito otázkami se zabýval kolem roku 1875.

V letech 1880 až 1889 byl jmenován profesorem fyziky na univerzitě v Palermu a Padově. Tam dále pokračoval ve svých výzkumech v oblasti světla. V roce 1883 objevil tzv. Hallův efekt a o rok později jako první popsal dvojloem elektrických vln. Svými experimenty v roce 1886 prokázal souvislost mezi elektromagnetickým a světelným vlněním. Také přišel na to, že magnetické a odporové vlastnosti vizmutu spolu souvisejí a věnoval se odrazovým vlastnostem kovů na elektromagnetické vlnění. Jako profesor experimentální fyziky se vrátil zpět do rodné Bologne a tam se ponořil do výzkumů elektromagnetického vlnění, vlastností různých dielektrik a vodivosti plynů.

Ze známých a později využívaných jeho objevů lze jmenovat např. vylepšený uhlíkový mikrofon a v roce 1892 objev kulového rezonátoru pro oscilátor, využitelný v oblasti centimetrových vln. Tímto vyzbrojen opakoval pokusy Heinricha Hertze (jedním z jeho učenlivých žáků byl Guglielmo Marconi).

Righi mnoho publikoval, a to prakticky až do své smrti 8. 6. 1920, takže na jeho poznatcích mohli bezprostředně stavět další experimentátoři. Dožil se toho, že i v Itálii se začal rozvíjet rozhlas, kterému svými objevy pomohl na svět.

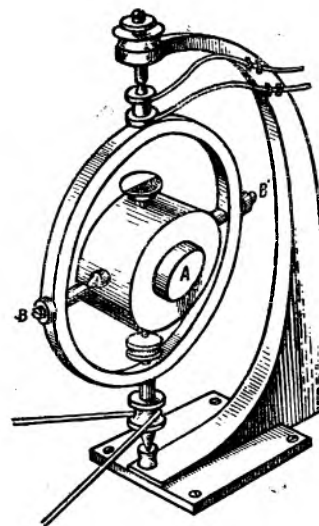
James Clerk Maxwell

Narodil se v bohaté, pokrokové a vzdělané skotské rodině v Edinburhu 13. července 1831. Měl nesporně talent k bádání a rozvinuté teoretické myšlení, neboť již v 15 letech předložil

Edinburské královské společnosti svou první vědeckou práci „O mechanickém kreslení oválů“. Studoval matematiku a fyziku na univerzitě v Edinburhu a studia zakončil v Cambridgi v roce 1854. Další léta strávil jako soukromý učitel, finančně byl zajištěn majetkem rodiny. V letech 1856 až 1860 získal profesuru na vysoké škole v Aberdeenu a od roku 1860 působil na Královské koleji v Londýně jako vysokoškolský profesor fyziky a astronomie.

Léta londýnského působení patřila v jeho životě k neplodnějším. Pracoval teoreticky a experimentoval ve dvou oblastech. Zkoumal zbarvení fyziologických látek a mechanickou teorii tepla.

Těžké onemocnění v roce 1865 jeho vědeckou práci na delší dobu přerušilo. Nepřestává však psát, vydává svou známou práci „Pojednání o elektřině a magnetismu“, navrhl mechanický model elektrického pole a napsal také svou nejvýznamnější práci, nazvanou „Dynamická teorie elektromagnetického pole“, ve které geniálně matematicky zformuloval (Maxwellovy rovnice) teorii elektromagnetického pole. Tato teorie je platná dodnes a zasahuje, jak se později ukázalo, dokonce i oblast světelných vln. Je s podivem, že dokázal o celé čtvrtstoletí teoreticky předstihnout pozdější objevy v této oblasti.



Jeden z Maxwellových pokusů. A je elektromagnet, spojnice B a B' je horizontální osa, takže elektromagnet se může volně otáčet. Celý kruhový rám se může otáčet podle vertikální osy. Proud je na elektromagnet přiveden přes dva vodiče, dvě třetí plošky, vodiče v kruhovém rámu a hroty na horizontální ose. Pokud se rám roztočí, elektromagnet se vychýlí, což je důkaz Maxwellových výpočtů.

Stále větší přibližování vědy praxi znamenalo, že bylo potřebné vybudovat na univerzitě v Cambridgi laboratoř, a tím byl Maxwell pověřen. Pracoval velmi usilovně, ale zkrátka se jeho již beztak podlomené zdraví začalo rapidně zhoršovat a 5. listopadu 1879 tento vynikající vědec - teoretik a vyjimečná postava mezi tehdejšími fyziky - zemřel.

Jeho význam vystihl J. J. Thomson (1850 až 1940), který jako mladý kolega prohlásil: „Musíme být hrdi na ohromné Maxwellovo dědictví, které nám zanechal. Jak je velké, to budeme ještě dlouho po jeho smrti objevovat“.

Heinrich Rudolf Hertz

Poznatky tohoto německého fyzika sloužily jako základ pro pozdější objevy, jejichž výsledkem je dnešní rozvinutá rozhlasová technika.

Narodil se 22. února 1857 jako syn advokáta v Hamburku. Své první vědomosti získával na soukromé škole a zkoušku dospělosti složil při návštěvě hamburského Johannea.

Své mimořádné nadání pro matematiku, přírodní vědy, řeči a rukodělnou zručnost využíval hlavně při neustálém rozšiřování svých znalostí. V době, kdy studoval řeči, se též vyučil truhlářství.

Ve Frankfurtu n. M. pak Hertz pracoval nějakou dobu v kanceláři jako architekt. Tam se služebně dostal do styku s problémy, které jej přivedly ke studiu přírodních věd. S tímto studiem začal v roce 1876 na technické vysoké škole v Drážďanech. Po prvním semestru byl ale povolán na jednoroční vojenskou službu u berlínského železničního pluku. Přitom však opět studoval, a to v Mnichově, a tam začal projevoval stále větší a větší zájem o matematiku a fyziku, takže roku 1878 přešel na berlínskou univerzitu, aby mohl svá studia dokončit.

K jeho učitelům patřili např. Gustav Robert Kirchhoff (1824 až 1887) a Hermann von Helmholtz (1821 až 1894). Poslední čas na univerzitě strávil v laboratoři, kde si sám postavil nelehký úkol - dokázat teorii, kterou popsal James Clerk Maxwell (1831 až 1878). Univerzitu dokončil se zlatou medailí.

Studia pak dokončil vědeckou prací „O indukci v rotující kouli“, a na jejím základě získal doktorát v roce 1880. Další dva roky pracoval u Helmholtze jako asistent na fyzikálním institutu berlínské univerzity, pak se stal soukromým docentem na univerzitě v Kielu. Po habilitaci tam byl jmenován profesorem fyziky na technické vysoké škole v Karlsruhe. Zabýval se řešením mechanických a optických úloh a zkoumal průchod proudů ve zředěných plynech. V roce 1886 dělá pokusy, na jejichž základě se stal světoznámou osobností.

Geniální Maxwellova teorie o elektromagnetickém poli měla jeden nedostatek. Podle této teorie totiž mimo světla musí existovat ještě jiné, neviditelné, elektromagnetické vlnění, které má

obdobné vlastnosti jako světlo. Do té doby známými prostředky však toto nebylo možné dokázat.

Hertz dělal pokusy s vysokofrekvenčním napětím na otevřené cívce a zjistil, že se kolem tvoří elektromagnetické pole a šíří se prostorem. Pozdější experimenty jej dovedly až k základní formě dodnes používané dipólové antény.

Jako pokračovatel Rudolfa Juliusa Emanuela Clausiuse (1822 až 1888) přešel v roce 1889 na univerzitu v Bonnu. Zemřel však záhy, ve věku pouhých 37 let na následky zánětu dásní 1. ledna 1894 v Bonnu.

Hertzovy významné zásluhy byly oceněny pojmenováním jednotku kmitočtu jako 1 Hertz (Hz).

Alexandr Stěpanovič Popov

Narodil se na Urale dne 16. března 1859. Od dětství se zajímal o matematiku a přírodní vědy vůbec. Studoval v Petrohradě na univerzitě fyziku a matematiku, a tam se seznámil s pracemi Maxwella, který matematicky zdůvodnil Faradayovy pokusy o vztahu elektřiny a magnetizmu, a s objevem telefonu Bella.

Po dokončení studií se stal učitelem fyziky na vojenské škole v Kronštadu. Když se dozvěděl o úspěšném Hertzově pokusu, kterým prokázal šíření elektromagnetických vln, a krátce nato byl znovuobjeven pro tyto účely koherer, dostal Popov podnět k vlastním zkouškám.

Pokusy se mu dařily a on sám o nich referoval 25. dubna 1895 (podle dnešního kalendáře 7. 5.) na zasedání Ruské fyzikálně chemické společnosti v Petrohradě. Tam předvedl nový, velmi citlivý přijímač s kohererem, který měl samočinné roztřásání kovového prášku a dokázal již přijímat tečky a čárky, takže byl vhodný k přenosu telegrafní abecedy. V závěru své přednášky uvedl, že tento objev lze využít pro přenos zpráv na větší vzdálenost.

Povšimněte si, jak šly významné objevy z oblasti přenosu signálů rychle za sebou. V roce 1876 byl patentován telefon a ještě osm let poté, kdy už existovaly i mincovní automaty, se stala kuriozní historka, která se dokonce dostala do novin. V Kalifornii přišel na poštovní úřad farmář, který chtěl odeslat vzkaz. Napsal jej na kus papíru a ten nacpal do trychtýře mluvítko tužkou, takže dokonce zničil mikrofon. Když marně čekal na odpověď, strčil papír se zprávou přímo do otvoru na mince. Když ani potom se odpovědi nedočkal, rozzloben na nefungující techniku odešel. A hle, za dalších deset let se již lidé zajímají dokonce o bezdrátový přenos zpráv.

V létě roku 1895 sestavil Popov přijímač k záznamu atmosférických poruch a zaznamenával tak bližící se bouře. O rok později již předvedl telegrafování na větší vzdálenost, když vysílač s Ruhmkorffovým induktorem byl v jiné budově a prvním radiogramem, můžeme-li to tak označit, byl přenos

těchto dvou slov: „Heinrich Hertz“.

Poté se věnoval zkouškám přenosu i na moři, vylepšoval vysílače, objevil význam antény a jejího naladění do rezonance pro lepší přenos energie. Když v roce 1899 ztroskotala křižník Admirál Aparskin, bylo třeba zřídit mezi ostrovem Hogland, na jehož skaliska křižník najel, a městem Kotkou telegrafní spojení v délce asi 60 km. Cena za vybudování drátové trasy byla 50 000 rublů, Popov slíbil, že zřídí bezdrátové spojení za pouhých 10 000 rublů.

Bezdrátové spojení se skutečně podařilo, Popov slavil úspěch a v roce 1900 vydalo ruské námořní velitelství rozkaz zřídit jiskrové přístroje na válečných lodích. Věnoval se ovšem také výcviku telegrafistů. Zachoval se dokonce program kurzu telegrafie z doby před 100 lety - z 24. 4. 1900.

V roce 1901 byl Popov jmenován profesorem fyziky na Petrohradském elektrotechnickém institutu.

Popov však umírá relativně v mladém věku 31. 12. 1905 (v jiných pramenech udávané datum 13. 1. 1906 je podle dnešního kalendáře), takže na dalším vylepšování jím zkonstruovaných přístrojů se již neopodílel.



Popovův diplom inženýra elektřiny z roku 1902

Literatura

- [1] Arenberg, A. G.: Genrich Gerc. Znanie, Moskva 1957.
- [2] Bublejnikov, F. D.: Džems Maksvell. Znanie, Moskva 1960.
- [3] Radovskij, M. I.: Aleksandr Stepanovič Popov. Nakladatelství AV SSSR, Moskva 1956.
- [4] Bielov, D.: Popow vynalezca radia. Nakladatelství ministerstva obrany, Varšava 1952.
- [5] Antique Radio č. 30. Maser 1999.

Ing. Jiří Peček, OK2QX

přichytíme k přednímu panelu přístroje.

V případě náchylnosti k vf oscilacím doporučuji paralelně k C7 a C8 připojit kondenzátory o kapacitě 100 nF a paralelně k R10 připojit kondenzátor o kapacitě 10 až 22 pF.

Seznam součástek

R1	1,2 kΩ
R2	4,7 kΩ
R3	4,7 kΩ
R4	10 kΩ
R5	4,7 kΩ
R6	4,7 kΩ
R7	120 kΩ
R8	120 kΩ
R9	120 kΩ
R10	1,2 MΩ
R11	4,7 kΩ
R12	1,2 kΩ
R13	viz text
R14	viz text
R15	viz text
C1	22 μF/25 V
C2	33 nF
C3	33 nF
C4	4,7 μF/25 V
C5	100 nF
C6	4,7 μF/25 V
C7	100 až 470 μF/35 až 63 V
C8	100 až 470 μF/35 až 63 V
C9	100 až 470 μF/35 až 63 V
C10	100 až 470 μF/35 až 63 V
Cx	220 nF
D1	Zenerova dioda 30 V
D2	LED 5mm
OZ1	1/2 TL072
OZ2	1/2 TL072
OZ3	TL071 (MAB356)
P1	100 kΩ/G, potenciometr logaritmický
P2	100 kΩ/N, potenciometr lineární
P3	100 kΩ/N, potenciometr lineární

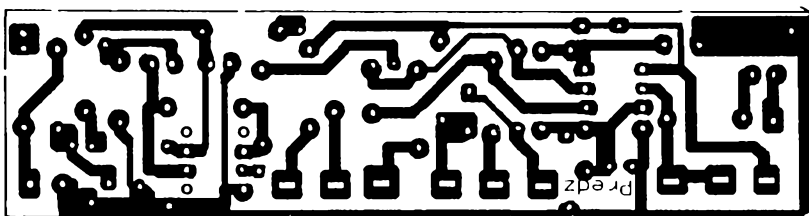
Předzesilovač s elektronickými potenciometry

Moderní integrované obvody umožňují realizovat kvalitní stereofonní předzesilovač s jednoduchými potenciometry. Integrovaný předzesilovač se řídí stejnosměrným napětím z potenciometrů P1 až P4, kterými se ovládá hlasitost, symetrie, basy a výšky.

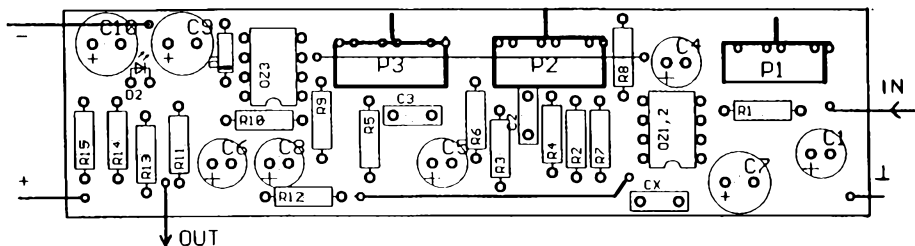
Jedná se o perspektivní zapojení. Potenciometry totiž nemohou „chrastit“, protože signál přes ně neprochází. Mohou být od integrovaného obvodu libovolně daleko, což dává možnost dálkového ovládání. Je možná i tlačítková volba funkcí či automatického řízení. Rovněž odpadá obtížné shánění tandemových potenciometrů.

Dále uvádím zapojení takového obvodu - TDA1524, včetně desky s plošnými spoji.

Schéma předzesilovače s elektronickými potenciometry je na obr. 5.



Obr. 3. Obrazec plošných spojů monofonního předzesilovače (1:1)



Obr. 4. Rozmístění součástek na desce monofonního předzesilovače

Zapojení je převzato z katalogu výrobce, a jak vidíte, je velmi jednoduché. Kondenzátory C1, C11 a C4, C14 oděluji obvod TDA1524 od vstupních a výstupních svorek. C2, C12 a C3, C13 mají vliv na přenos basů a výšek. Rezistor R2 určuje maximální hlasitost (a minimální vstupní odpor). Odpor R2 můžeme případně upravit v návaznosti na vstupní napětí a zisk koncového stupně. Rezistory R1 a R11 zajišťují konstantní a malou výstupní impedanci (ochrana proti indukci rušivých napětí) a případně je můžeme vynechat.

Protože při řídicím napětí menším než 0,5 V je hlasitost již nulová, je zde zapojen rezistor R5, aby byl rozsah potenciometru P1 lépe využit.

Napájecí napětí musí být stabilizované. Rezistor R4 se dělí se stabilizátorem IO2 o výkonovou ztrátu při stabilizaci a chrání jej před přehřátím.

Při delších přívodech, např. je-li regulátor hlasitosti umístěn samostatně (při dálkovém ovládání), je vhodné řídicí napětí blokovat kondenzátorem o kapacitě 100 nF až 1 μF.

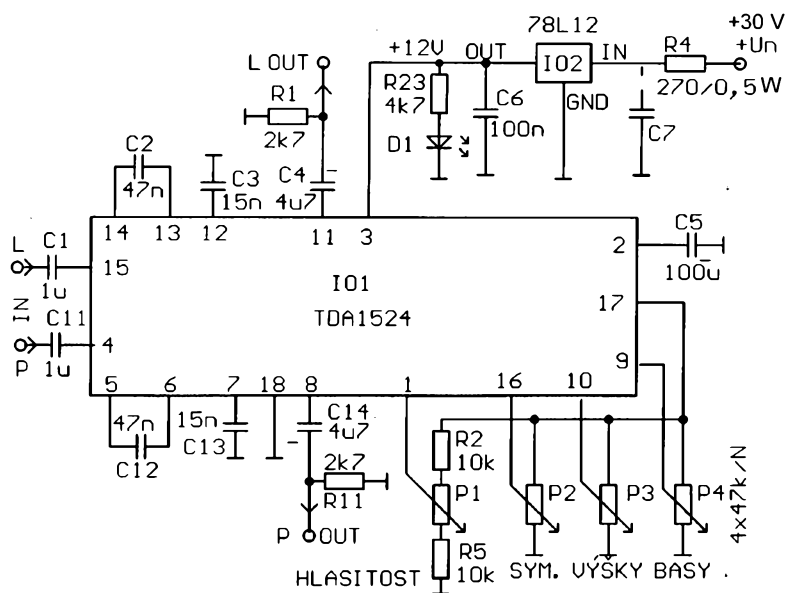
Nejdůležitější parametry obvodu TDA1524

Napájecí napětí:	7,5 až 16,5 V.
Odběr proudu:	35 mA.
Vstupní odpor:	10 až 160 kΩ,
	závisí na zisku podle vztahu $R_{vst} = 160/(1 + G_v)$.
Odstup s/š:	70 dB.
Regulace hlasitosti:	75 až 80 dB.
Maximální zesílení:	12x.
Rozsah regulace basů a výšek:	±15 dB.

Vstupní proud vývodů 9, 10, 1 a 16:	5 μA.
Výstupní odpor:	300 Ω.
Referenční napětí U_{17} :	3,5 až 4 V,
	stabilizované, zatížitelnost max. 1,5 mA, korekce jsou v nule při polovině tohoto napětí.

Všechny součástky předzesilovače s elektronickými potenciometry jsou umístěny na desce s plošnými spoji. Obrazec spojů je na obr. 6, rozmístění součástek na desce je na obr. 7.

Potenciometry P1 až P4 je nutné odizolovat od desky podložkou (např.



Obr. 5. Předzesilovač s elektronickými potenciometry

mezikružím z tvrdého papíru), protože prostor pod nimi je využit pro plošné spoje.

Deska s plošnými spoji může být pomocí dvou šroubů a distančních sloupků přišroubována k přednímu panelu.

Seznam součástek

R1	2,7 kΩ
R2	10 kΩ
R3	2,7 kΩ
R4	270 Ω/0,5 W (pro $+U_n = 30$ V)
R5	10 kΩ
R11	2,7 kΩ
C1	1 μF/16 V
C2	47 nF
C3	15 nF
C4	4,7 μF/16 V
C5	100 μF/16 V
C6	100 nF
C11	1 μF/16 V
C12	47 nF
C13	15 nF
C14	4,7 μF/16 V
D1	LED, zel., 5mm
IO1	TDA 1524
IO2	78L12
P1	47 kΩ/N, potenciometr lineární
P2	47 kΩ/N, potenciometr lineární
P3	47 kΩ/N, potenciometr lineární
P4	47 kΩ/N, potenciometr lineární
plastový přístrojový knoflík - 4 ks	

Stereofonní směšovací jednotka

Následující obvod slouží ke směšování dvou stereofonních signálů (magnetofon, CD, video) a dvou monofonních signálů (mikrofon, snímač). Je možno jej využít např. při diskotékách nebo k vytváření komentáře k pořadům video a hudebním nahrávkám.

Signály z monofonních vstupů M1 a M2 jsou nejprve pomocí zesilovačů s OZ1 a OZ2 zesíleny na úroveň vhodnou k dalšímu zpracování (min. 100 mV). Zesílení např. prvního zesilovače je dáno poměrem:

$$A_u = k \cdot P3/R5,$$

kde $k = 0$ až 1 (k vyjadřuje natočení hřídele potenciometru P3).

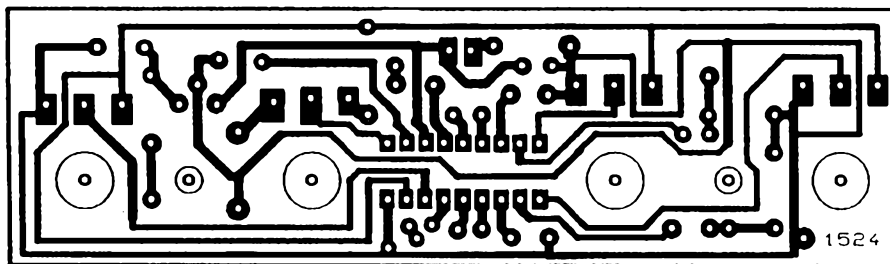
Vstupní odpor zesilovače se rovná odporu R5.

Signál ze stereofonních vstupů (typicky o napětí 200 až 250 mV) je regulován tandemovými potenciometry P1 a P2.

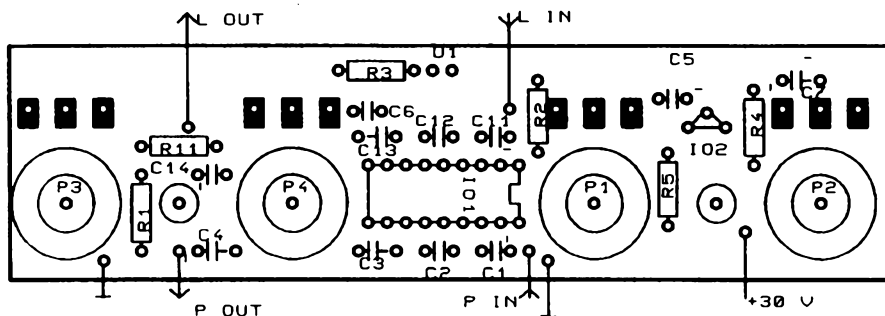
K vlastnímu směšování slouží OZ3 a OZ4, které jsou zapojeny jako sumátory. Mezi jednotlivými kanály nevzniká přeslech. Zesílení např. prvního sumátoru je dáno vztahem:

$$A_u = R12/R3 \quad (R12/R9, R12/R11).$$

Celkové zesílení můžeme měnit změnou R12 a R13 podle vstupní citli-



Obr. 6. Obrazec spojů předzesilovače s elektronickými potenciometry (1:1)



Obr. 7. Rozmístění součástek na desce předzesilovače s elektronickými potenciometry

vosti následujícího zesilovače. Vzájemný poměr jednotlivých signálů závisí nejen na nastavení potenciometrů, ale i na poměru odporů R1 až R4 ku odporům R8 až R11.

Kondenzátory C1 až C10 stejnosměrně oddělují jednotlivé obvody. Na jejich kapacitách závisí dolní mezní kmitočet, který volíme okolo 20 Hz.

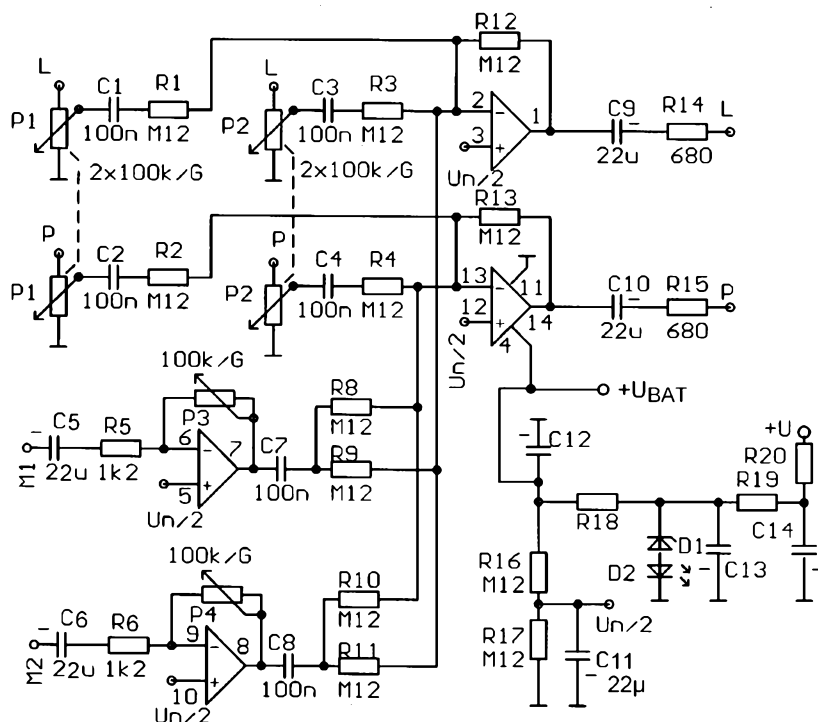
S hodnotami součástek, uvedenými ve schématu, je výstupní napětí přibližně stejné jako vstupní napětí stereofonních vstupů, což je vhodné pro připojení k běžnému zesilovači. Na výstup směšovací jednotky můžeme

samozřejmě připojit předzesilovač, ekvalizér a koncový stupeň, které jsou v tomto čísle rovněž popsány.

Operační zesilovače OZ jsou napájeny nesymetricky, na všech vstupech a výstupech musíme v klidovém stavu naměřit polovinu napájecího napětí.

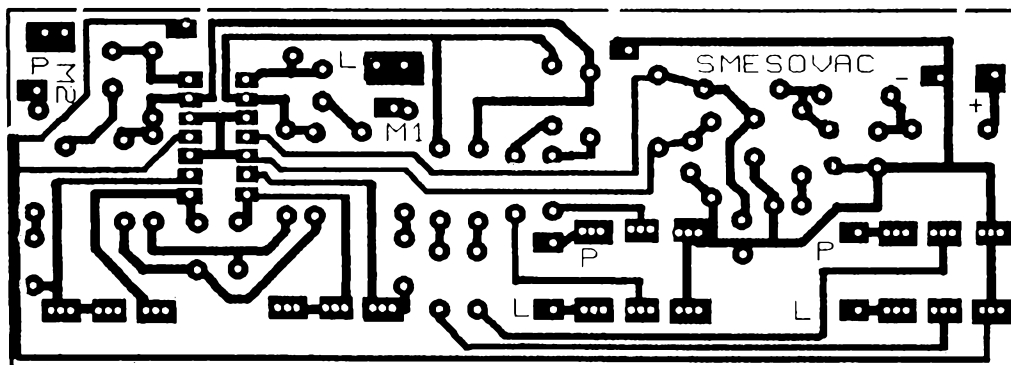
Minimální napájecí napětí $+U$ je 9 V, doporučuji ale napětí větší, aby při přebuzení nebyl zpracováván signál omezen. Maximální povolené napájecí napětí OZ je 36 V.

Obvod může být napájen z baterie (v tom případě vynecháme součástky



Obr. 8. Stereofonní směšovací jednotka

Obr. 9.
Obrazec
plošných
spojů
stereofonní
směšovací
jednotky
(1:1)



R19, R20, C13 a C14 a baterii zapojíme mezi R18 a R16). Při vhodné volbě Zenerova napětí Zenerovy diody D1 bude LED D2 indikovat stav baterie.

Další možností, jak směšovací jednotku napájet, je použít síťový adaptér (13 až 15 V) nebo využít napájecí napětí z dalšího zesilovacího stupně. Potom je nutné zvolit odpory R18 až R20 co možná největší, aby se vyfiltroval brum, a aby se předešlo zákmitům na velmi nízkých kmitočtech, které by mohly být způsobeny kladnou zpětnou vazbou přes napájecí zdroj.

Zenerovu diodu D1 musíme použít pouze tehdy, je-li vstupní napájecí napětí větší než 36 V.

Výpočet napájecího filtru si ukážeme na následujícím příkladu.

K dispozici je adaptér, který poskytuje napětí $+U = 15$ V. Odběr napájecího proudu I_N operačních zesilovačů OZ1 až OZ4 je $I_N = 6$ mA. Použijeme LED D2 s větší svítivostí (odběr $I_{D2} = 2$ mA, úbytek napětí $U_{D2} = 1,6$ V). Jako D1 použijeme Zenerovu diodu s $U_Z = 10$ V. Součet odporů R19 a R20 vypočteme podle Ohmova zákona:

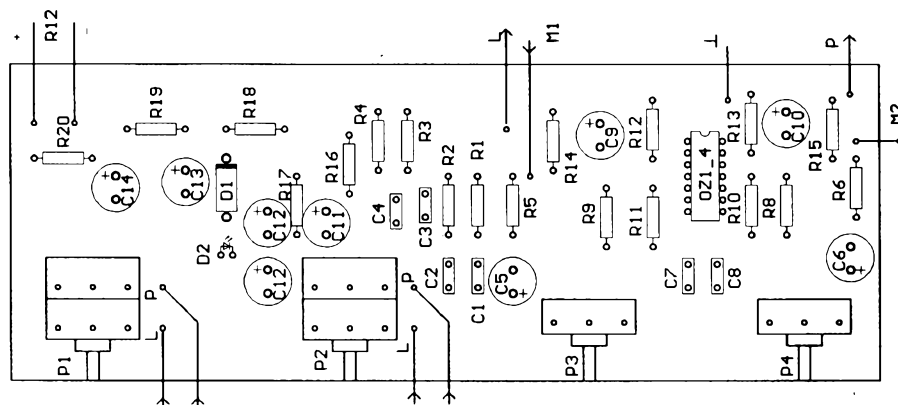
$$R19 + R20 = \frac{(+U - U_Z - U_{D2})}{(I_N + I_{D2})} = \frac{(15 - 10 - 1,6)}{(6 + 2)} = 0,425 \text{ k}\Omega.$$

Odpory R19 a R20 volíme stejně velké, každý 200 až 220 Ω , odpor R18 zvolíme přibližně stejný.

Kapacity kondenzátorů C12, C13 a C14 volíme stejně velké v rozmezí 220 až 470 μ F. V případě brumu nebo zákmitů musíme kapacitu kondenzátorů zvětšit nebo zvětšit počet filtračních článků RC. (Zkušenost z praxe ukazuje, že filtračních kondenzátorů není nikdy dost. Ať jsme jich navrhli původně sebevíce, vždy musíme do hotového zařízení alespoň jeden přidat).

Pokud chceme ve směšovací jednotce zpracovávat signál z gramofonu s magnetodynamickou přenoskou, musíme signál nejprve zesílit korekčním předzesilovačem.

Všechny součástky stereofonní směšovací jednotky jsou umístěny na



Obr. 10. Rozmístění součástek na desce stereofonní směšovací jednotky

desce s plošnými spoji. Obrazec spojů je na obr. 9, rozmístění součástek na desce je na obr. 10.

Deska s plošnými spoji je navržena pro použití otočných potenciometrů TP 160 a TP 169 (malé rozměry, jednoduchá mechanická konstrukce).

Zapojenou desku vestavíme do krabičky U6, ve které je ještě dostatek místa navíc.

V žádném případě nedoporučuji do této krabičky současně umístit síťový transformátor, odstup od brumu by se jistě zhoršil.

Při výrobě desky nejprve přišroubujeme potenciometry k subpanelu (obr. 11) a potom je teprve zapájíme do desky. Osy potenciometrů musíme předem zkrátit. Vývody LED D2 opatříme izolací, aby se nemohly spojit se subpanelem.

Subpanel s celou deskou přišroubujeme dvěma šroubky ke krabičce. Na zadní straně krabičky je dost místa pro jakékoliv konektory.

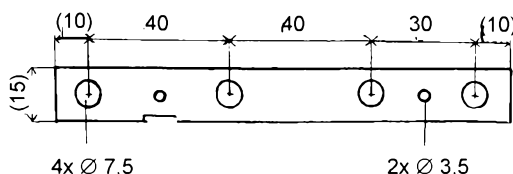
Seznam součástek

R1	120 k Ω
R2	120 k Ω

R3	120 k Ω
R4	120 k Ω
R5	1,2 k Ω
R6	1,2 k Ω
R8	120 k Ω
R9	120 k Ω
R10	120 k Ω
R11	120 k Ω
R12	120 k Ω
R13	120 k Ω
R14	680 Ω
R15	680 Ω
R16	120 k Ω
R17	120 k Ω
C1	100 nF
C2	100 nF
C3	100 nF
C4	100 nF
C5	22 μ F/35 V
C6	22 μ F/35 V
C7	100 nF
C8	100 nF
C9	22 μ F/35 V
C10	22 μ F/35 V
C11	22 μ F/35 V
P1	2x 100 k Ω /G, TP 169
P2	2x 100 k Ω /G, TP 169
P3	100 k Ω /G, TP 160
P4	100 k Ω /G, TP 160
D1	viz text
D2	LED
OZ1 až OZ4	TL074

pětipólový konektor - 5 ks
přístrojový knoflík - 4 ks
krabička U6 - 1 ks
subpanel - 1 ks
další součástky viz text

Obr. 11. Subpanel stereofonní směšovací jednotky



Předzesilovač s ekvalizérem

Následující zapojení je určeno těm, kteří se nechtějí spokojit s nejjednodušším zapojením a chtějí přístroj s více ovládacími prvky.

Pomocí ekvalizéru je možné upravovat kmitočtovou charakteristiku signálu, čili měnit barvu zvuku. Je možné jím částečně zkorigovat např. špatný přenos vysokých kmitočtů u magnetofonu nebo nevýrazné basy u malých reproduktorových soustav.

Ekvalizér je potřebný k úpravě signálu z mikrofonů a kytarových snímačů. Bývá proto součástí mixážních pultů a je nezbytný při kvalitním ozvučování větších sálů.

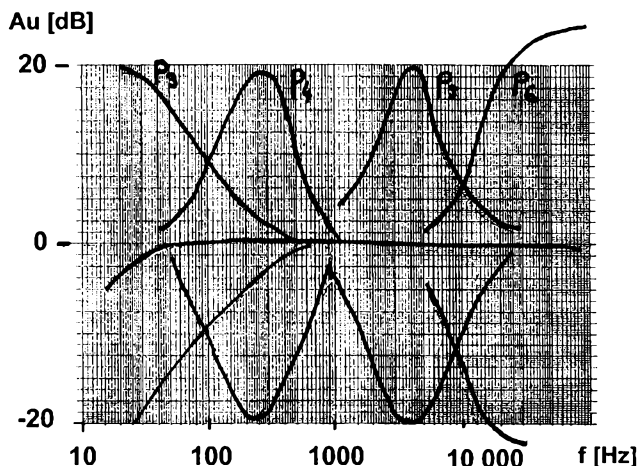
Amplitudová charakteristika popísaného ekvalizéru je na obr. 12.

Popisovaná konstrukce obsahuje velmi jednoduchý čtyřpásmový ekvalizér. Počet pásem byl volen s ohledem na rozměry krabičky KM 85.

Jako selektivní obvody se používají Wienovy články. Existují však i vícepásmové ekvalizéry (sedm a více pásem), ve kterých se používají cívky nebo syntetické indukčnosti, realizované pomocí operačních zesilovačů.

Operační zesilovač IO1b pracuje jako invertující zesilovač, jehož zesile-

Obr. 12.
Kmitočtová
(amplitudová)
charakteristika
ekvalizéru



ni A_u se mění podle nastavení potenciometrů. Např. pro P_4 platí:

$$A_{u\text{MAX}} = (R_{11} + P_4)/R_{10},$$

$$A_{u\text{MIN}} = R_{11}/(P_4 + R_{10}).$$

Wienův článek propouští pouze určité pásmo kmitočtů, ve kterém se proto vliv příslušného potenciometru uplatňuje. Potenciometry musí být lineární, jejich odpor není kritický. Náhrada předepsaného potenciometru potenciometrem s jiným odporem je po úpravě hodnot ostatních součástek možná.

Mezní kmitočet Wienova článku (střed přenášeného pásma) vypočítáme podle vzorce:

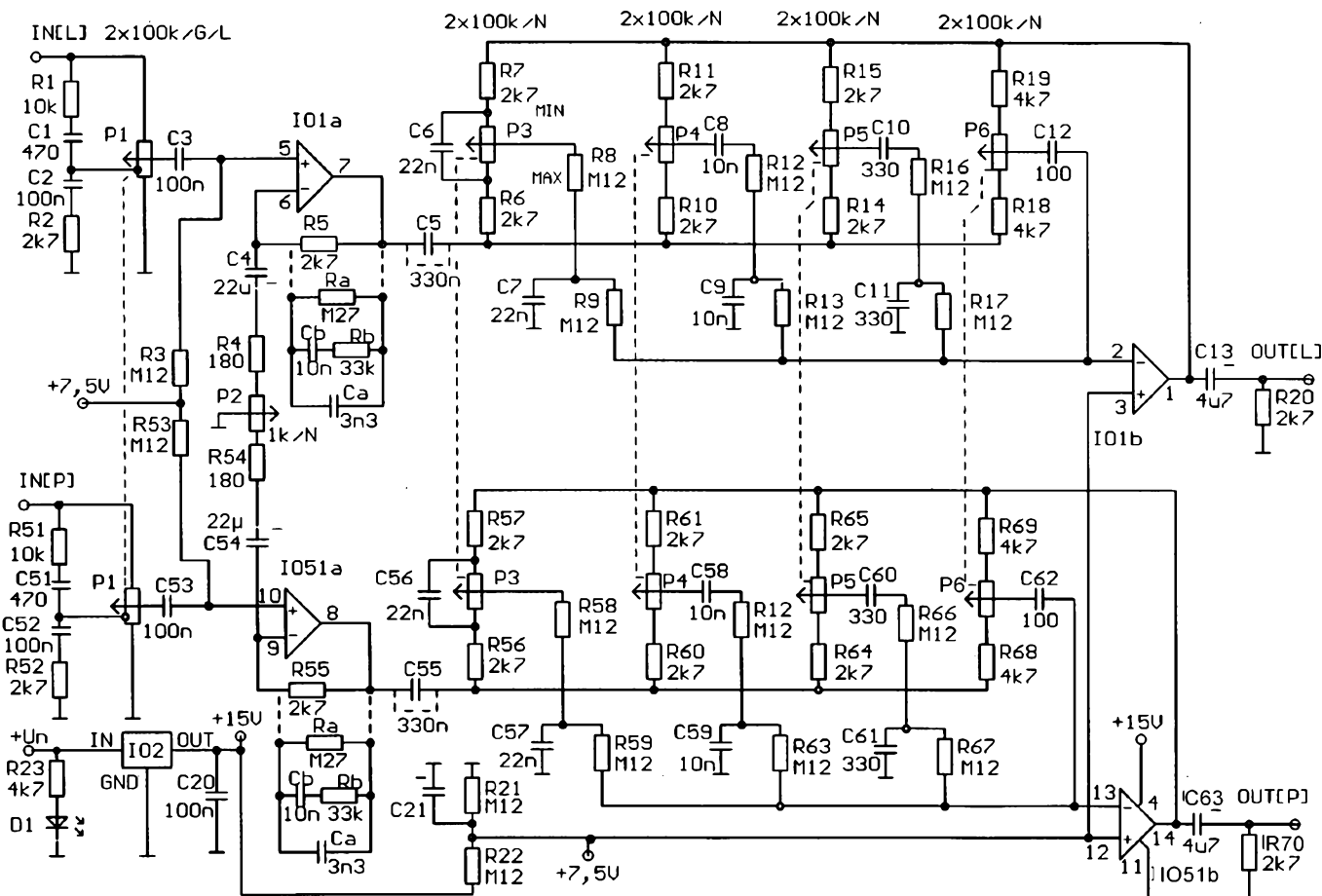
$$f_M = 1/(2 \cdot \pi \cdot R \cdot C),$$

kde dosadíme např. za R odpor R_{12} a za C kapacitu C_8 .

Wienovými články můžeme realizovat maximálně pětipásmový až šestipásmový korektor. Při větším počtu pásem by se jednotlivá pásma překrývala, protože selektivita Wienových článků není příliš velká. Doplnit popisované zapojení o páté pásmo (1 kHz) by jistě nebyl žádný problém ($C = 1,5 \text{ nF}$).

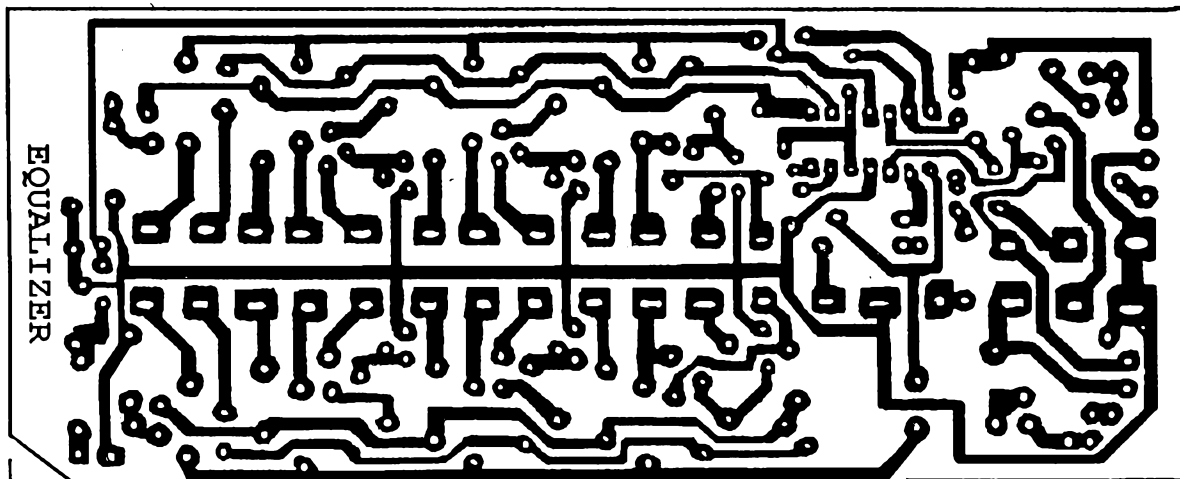
Komu se zdá zdvih regulace potenciometru P_6 příliš velký, může zvětšit odpory R_{18} a R_{19} na $10 \text{ k}\Omega$.

Pro zvětšení stability se někdy doporučuje zapojit mezi invertující vstup a výstup výstupního OZ kondenzátor o kapacitě 10 pF .

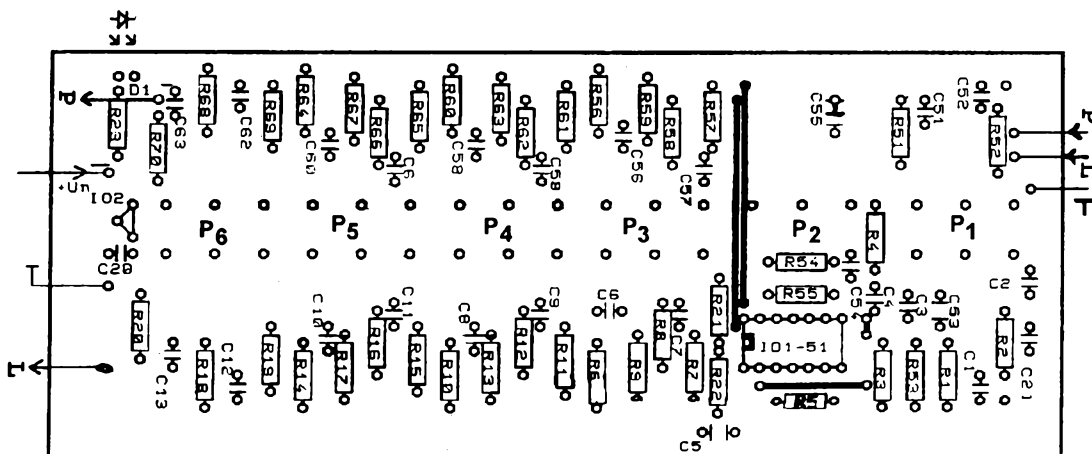


Obr. 13. Předzesilovač s ekvalizérem (součástky pravého kanálu mají číslo o 50 větší)

Obr. 14.
Obrazec
plošných
spojů
předze-
silovače
s ekva-
lizérem
(1:1)



Obr. 15.
Rozmístění
součástek
na desce
před-
zesilovače
s ekvalizé-
rem



Vstupní zesilovač má fyziologickou regulaci hlasitosti, která je umístěna na vstupu, aby se zesilovač nemohl přebudit příliš silným vstupním signálem.

Napájecí napětí $+U_n$ pro předzesilovač zpravidla vezmeme z koncového stupně. Volíme jej podle možnosti (abychom měli dostatečnou rezervu na jeho stabilizaci) v rozsahu 17 až 30 V. Čím větší je napájecí napětí po stabilizaci, tím lepší je přebuditelnost zesilovače (ani při vysoké úrovni není výstupní signál omezován).

Potenciometr P2 nastavuje symetrii stereofonního signálu současnou regulací zesílení obou vstupních zesilovačů. Např. zesílení A_U zesilovače s IO1a je dáno vztahem:

$$A_U = 1 + R5/(R4 + k \cdot P2),$$

kde k odpovídá natočení potenciometru P2 a je $k = 0$ až 1.

V zapojení je použit čtyřnásobný operační zesilovač OZ. Z hlediska ceny a úspory místa je to ideální konstrukční prvek. Tím, že jsou všechny OZ v jednom pouzdře, se zjednoduší napájení a návrh plošného spoje.

OZ musí mít malý šum (vhodný je OZ s tranzistory J-FET na vstupu). Kondenzátory C3 a C4 oddělují OZ IO1a od vstupu a od země a mají rovněž potlačit signály o kmitočtu nižším než je mezni kmitočet $f_M = 20$ Hz. Pro f_M platí vztahy:

$$f_M = 1/(2 \cdot \pi \cdot R3 \cdot C3) \text{ a } f_M = 1/(2 \cdot \pi \cdot R4 \cdot C4).$$

Kondenzátor C5 o kapacitě 220 až 330 nF použijeme pouze při velkém zesílení IO1a (použitím pro gramofon, mikrofon apod.). Tehdy může vstupní napěťová nesymetrie OZ IO1a ovlivnit při vytočení potenciometru P3 na maximum stejnosměrné napětí na výstupu IO1b. Při malém zesílení IO1a nahradíme C5 zkratem.

Kondenzátor C13 odděluje stejnosměrně operační zesilovač od výstupu, rezistor R20 zajišťuje konstantní a malou výstupní impedanci (ochrana proti indukci rušivých napětí). R20 můžeme případně vynechat.

Deska s plošnými spoji je navržena tak, aby na ní mohly být umístěny všechny součástky včetně potenciometru a LED, a aby ji bylo možno vestavět do krabice KM 85.

Obrazec plošných spojů je na obr. 14, rozmístění součástek na desce je na obr. 15.

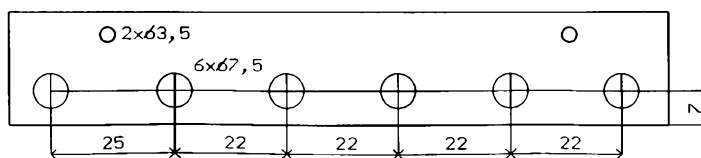
Při zapojování desky s plošnými spoji nejprve přišroubujeme potenciometry k subpanelu (obr. 16) a potom je teprve zapájíme do desky. Osy potenciometrů musí být dostatečně dlou-

hé (min. 25 mm) a jejich délku musíme předem podle potřeby upravit.

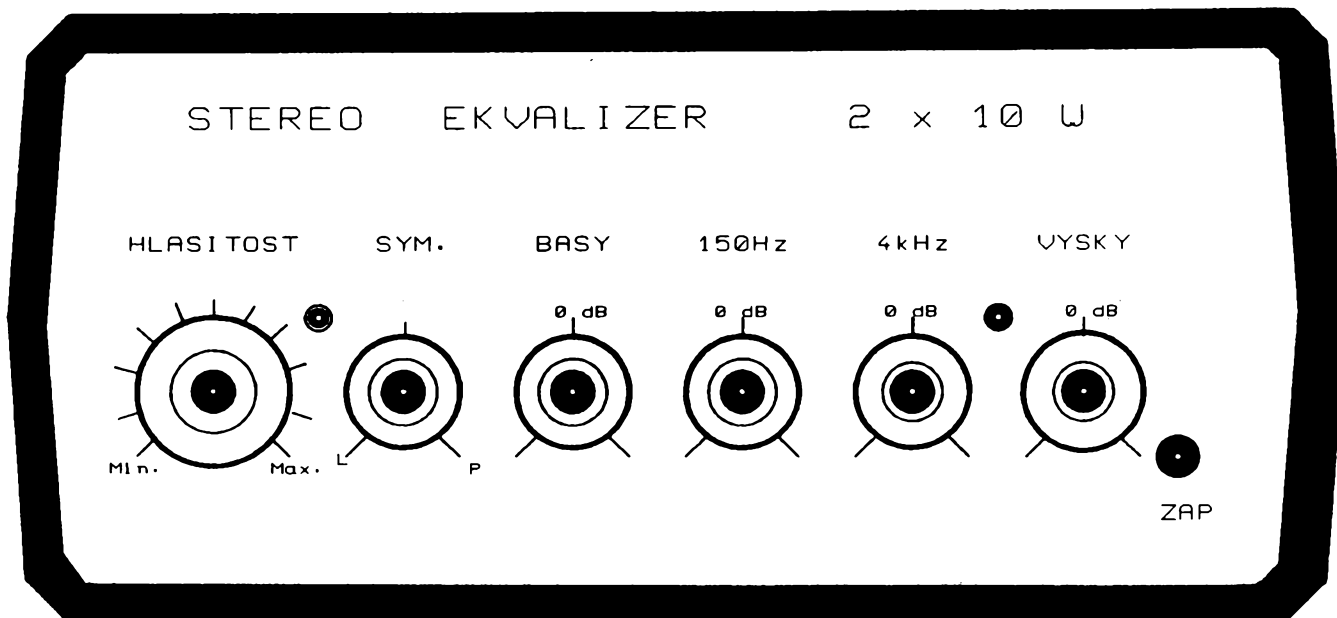
Subpanel s deskou přišroubujeme pomocí distančních sloupků na přední panel krabice KM 85. Návrh štítku s popisem předního panelu je na obr. 17.

Při oživování předzesilovače s ekvalizérem musíme na výstupech všech OZ naměřit polovinu napájecího napětí. Odběr proudu je minimální (10 mA). Pokud by tomu tak nebylo, zkontrolujeme napětí na vstupech všech OZ (na všech vstupech musí být stejné napětí). **Napětí, které přivedeme na neinvertující vstup z obvodu umělé nuly, musí být na invertující vstupu i na výstupu.** Pokud tomu tak není, je pravděpodobně rozpojená smyčka zpětné vazby. **Tato zásada platí pro všechna zapojení nf předzesilovačů s OZ s nesymetrickým napájením.**

Pokud chceme předzesilovač použít pro gramofon s magnetodynamickou přenoskou, je nutné doplnit zpětnovazební smyčky zesilovačů s IO1a a IO51a součástkami Ra, Rb, Ca a Cb



Obr. 16. Subpanel předzesilovače s ekvalizérem



Obr. 17. Návrh štítku s popisem předního panelu předzesilovače s ekvalizérem

pro korekci kmitočtové charakteristiky přenosky. Pro uvedené součástky však není na desce s plošnými spoji rezervováno místo. Dále by se regulátor hlasitosti (P1) musel přemístit až za ekvalizér.

Další varianty zapojení

Předzesilovač s ekvalizérem je možné postavit v **monofonním** nebo **stereofonním** provedení s **otočnými** nebo **tahovými potenciometry**. Ovládání tahovými potenciometry je sice přehlednější, mechanická konstrukce však není bez problémů.

Popisovaný předzesilovač nemusí sloužit pouze pro pasivní poslech reprodukováné hudby, ale můžeme ho též použít pro aktivní práci s audiosignálem.

Pokud zkombinujeme předzesilovač s ekvalizérem se stereofonní směšovací jednotkou, můžeme s takovým zařízením vytvářet plynulé přechody od jednoho signálu k druhému, komentáře k hudbě a velmi jednoduše můžeme směšovat několika signálů (z mikrofону, kytarového snímáče, gramofonu, přehraivače CD, magnetofonu atd.)

Předzesilovač s ekvalizérem může být také výstupním obvodem **mixážního pultu**. Potom ale potřebujeme nejvíce korigovat pásmo středních kmitočtů (pásmo 200 až 1000 Hz, ve

kterém se nachází rezonanční kmitočet sálu). V takovém případě proto doporučuji jednotlivé mezní kmitočty ekvalizéru upravit.

Zapojení **nejjednoduššího směšovače signálů**, kterým můžeme doplnit předzesilovač s ekvalizérem, je na obr. 18.

Napětové zesílení A_U vstupního zesilovače směšovače je možné plynule regulovat v rozmezí:

$$A_U = k \cdot P2 / (R1 + m \cdot P1),$$

kde k a m vyjadřují natočení potenciometrů P2 a P1 a pohybují se v intervalu 0 až 1.

Vstupní odpor R_{VST} nejjednoduššího směšovače je dán vztahem:

$$R_{VST} = R1 + m \cdot P1.$$

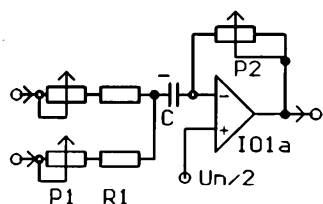
Nejjednodušší směšovač může směšovat i více signálů, použijeme-li více rezistorů R1 a potenciometrů P1 na jeho vstupu. Jednotlivé vstupy se vzájemně nebudou ovlivňovat.

Má-li mít směšovač vstupní odpor jednotky kΩ a citlivost jednotky mV při výstupním napětí alespoň 0,25 V (jak je to zapotřebí pro zpracování signálu z mikrofónů nebo kytarových snímačů), jsou doporučené hodnoty součástek směšovače (obr. 18): $R1 = 1 \text{ k}\Omega$, $P1 = 10 \text{ k}\Omega/\text{G}$ (logaritmický), $P2 = 250 \text{ k}\Omega/\text{G}$ (logaritmický) a $C = 10 \mu\text{F}/25 \text{ V}$.

Seznam součástek

R1, R51	10 kΩ
R2, R52	2,7 kΩ
R3, R53	120 kΩ
R4, R54	180 Ω
R5, R55	2,7 kΩ
R6, R56	2,7 kΩ
R7, R57	2,7 kΩ
R8, R58	120 kΩ
R9, R59	120 kΩ
R10, R60	2,7 kΩ

R11, R61	2,7 kΩ
R12, R62	120 kΩ
R13, R63	120 kΩ
R14, R64	2,7 kΩ
R15, R65	2,7 kΩ
R16, R66	120 kΩ
R17, R67	120 kΩ
R18, R68	4,7 kΩ
R19, R69	4,7 kΩ
R20, R70	2,7 kΩ, viz text
R21	120 kΩ
R22	120 kΩ
R23	4,7 kΩ
P1	2x 100 kΩ/G/L, tandemový logaritmický potenciometr s odbočkou 1 kΩ/N, lineární potenciometr
P2	2x 100 kΩ/N, tandemový lineární potenciometr
P3	2x 100 kΩ/N, tandemový lineární potenciometr
P4	2x 100 kΩ/N, tandemový lineární potenciometr
P5	2x 100 kΩ/N, tandemový lineární potenciometr
P6	2x 100 kΩ/N, tandemový lineární potenciometr
C1, C51	470 pF
C2, C52	100 nF
C3, C53	100 nF
C4, C54	22 μF/25 V
C5, C55	330 nF, viz text
C6, C56	22 nF
C7, C57	22 nF
C8, C58	10 nF
C9, C59	10 nF
C10, C60	330 pF
C11, C61	330 pF
C12, C62	100 pF
C13, C63	4,7 μF/25 V
C20	100 nF
C21	47 μF/25 V
D1	LED 5 mm, zelená
IO1	TL074
IO2	78L15
plastový přístrojový knoflík - 6 ks	
krabíčka KM 85 - 1 ks	



Obr. 18. Zapojení nejjednoduššího směšovače signálů

Devítipásmový ekvalizér

Ekvalizér slouží k úpravě kmitočtové charakteristiky tím lépe, čím větší má počet pásem. Je potřebný pro hudebníky, může být ale i součástí domácí aparatury pro poslech hudby.

Náročnější zájemci zpravidla požadují rozdíl dělicích kmitočtů jednu oktavu. Jednotlivá pásma se nesmí příliš překrývat. Selektivita Wienových článků těmto požadavkům nevyhovuje, musíme proto používat rezonanční obvody s indukčnostmi.

Realizace klasických cívek pro kmitočty v akustickém pásmu je pracná, drahá a rozměrově náročná, vyžaduje použití hrníčkových feritových jader. Naštěstí můžeme cívku nahradit syntetickou indukčností, tvořenou operačním zesilovačem.

Na obr. 19 jsou porovnány sériové rezonanční obvody s klasickou a se syntetickou indukčností. Hodnoty součástek obou obvodů lze vzájemně přepočíst podle vzorců:

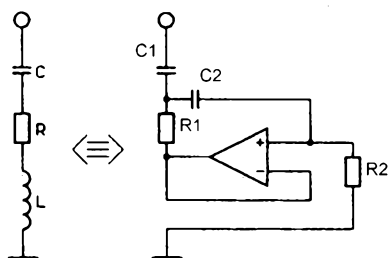
$$C = C_1, \quad R = R_1,$$

$$L = C_2 \cdot R_1 \cdot R_2 \quad \text{pro } R_1 \ll R_2.$$

Schéma ekvalizéru je na obr. 20. Sériové rezonanční obvody RLC jsou v ekvalizéru zapojeny do zpětnovazební smyčky neinvertujícího operačního zesilovače OZ2 přes potenciometry, kterými lze regulovat zesílení OZ na rezonančním kmitočtu každého obvodu RLC.

Obvod RLC má na svém rezonančním kmitočtu minimální odpor. Pokud ho tedy připojíme na neinvertující vstup OZ (jezdec potenciometru je nahoře), působí jako součást děliče napětí na vstupu OZ a tím na daném kmitočtu zmenšuje amplitudu signálu. Pokud obvod RLC připojíme na invertující vstup OZ (jezdec potenciometru je dole), působí obvod jako součást děliče napětí v záporné vazbě a tím vlastně na výstupu OZ dostáváme na daném kmitočtu větší amplitudu signálu. Potenciometry pak umožní plynulou regulaci mezi těmito dvěma stavy.

Vlivy všech obvodů RLC se sčítají, takže na výstupu ekvalizéru dostáváme signál na různých kmitočtech různě zesílený podle polohy potenciometrů P10 až P90.



Obr. 19. Sériové rezonanční obvody s klasickou a se syntetickou indukčností

Rezonanční kmitočet f_R použitých rezonátorů RLC je dána vztahem:

$$f_R = 1/(2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}).$$

Hodnoty všech součástek jsou vypočteny s ohledem na co nejvyrovnanější kmitočtovou charakteristiku při potenciometrech v krajní poloze a na zdvih jednotlivých pásem o 15 dB.

S hodnotami součástek, které jsou uvedeny v seznamu, jsou rezonanční kmitočty jednotlivých rezonátorů RLC ekvalizéru 50, 110, 230, 500, 900, 1300, 2800, 6100 a 13000 Hz.

Přesnost těchto kmitočtů je dána tolerancí hodnot součástek, náročnějším zájemcům doporučuji použít přesnější typy kondenzátorů nebo rezonátory doladit s použitím tónového generátoru a osciloskopu (zvětšením kapacity se sníží rezonanční kmitočet).

Zdvih pásem je ovlivněn odpory rezistorů R2 a R3 (při zvětšení odporů se zdvih zmenší). Odpory potenciometrů P10 až P90 nejsou příliš kritické. Pokud však mají potenciometry větší odpor (100 kΩ a více), není regulace plynulá a uprostřed odporové dráhy je oblast necitlivosti.

Na vstupu ekvalizéru je invertující vstupní zesilovač s OZ1 a s potenciometrem P1 pro regulaci hlasitosti. Vstupní odpor zesilovače je přizpůsoben pro kytarový snímač nebo mikrofon. Maximální zesílení vstupního zesilovače je asi 100.

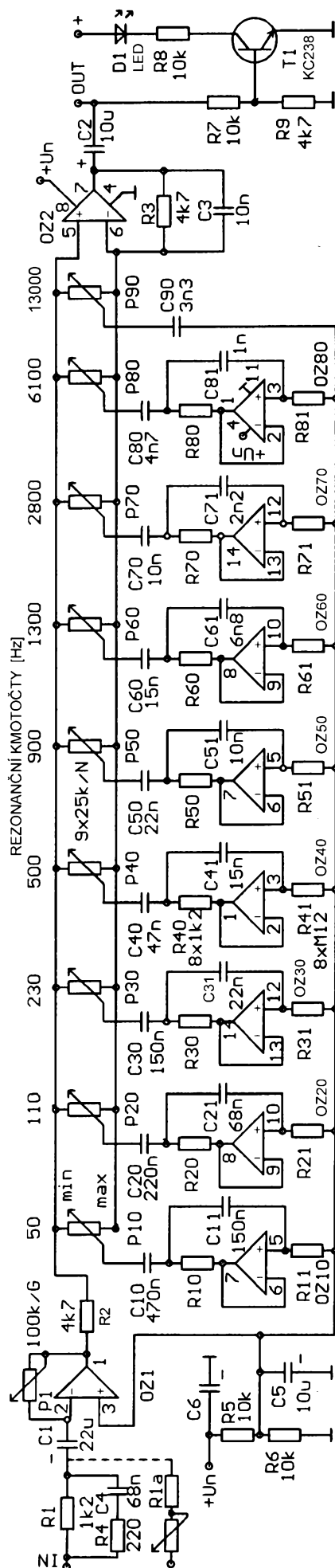
Přes rezistor R1a a případný další potenciometr může být ke vstupu připojen ještě jeden zdroj signálu. Bude-li zdrojem signálu magnetofon nebo přehrávač CD, zvětšíme odpor R1 na 100 kΩ. ($C1 = 100$ nF, $R4 = 22$ kΩ, $C4 = 680$ pF).

Na výstupu ekvalizéru je zapojen indikátor přebuzení s tranzistorem T1, který začíná pracovat při vstupním napětí přibližně 1,5 V. Odběr indikátoru má být co možná nejmenší, proto použijeme LED D1 s větší svítivostí. Pozor na zpětnou vazbu mezi indikátorem a ekvalizérem přes napájecí zdroj! Nejvhodnější je napájet indikátor z odděleného zdroje.

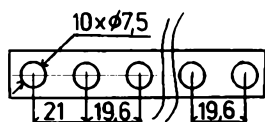
Všechny OZ jsou s malým šumem, dvojnásobné a čtyřnásobné. Aby se zlepšil odstup signálu od šumu, můžeme navíc na vstupu kondenzátorem C4 zdůraznit kmitočty vyšší než 2 kHz (preemfáze). Rezistor R4 omezuje zisk v nadakustickém pásmu kmitočtů. Na výstupu ekvalizéru kondenzátorem C3 kmitočty vyšší než 2 kHz opět potlačíme spolu s šumem, vzniklým uvnitř ekvalizéru (deemfáze).

Napájení všech OZ v ekvalizéru je nesymetrické, při ožiování musíme na vstupech i výstupech všech OZ naměřit polovinu napájecího napětí $+U_n$. Optimální velikost napájecího napětí je 30 V. Může být i menší, ale vždy musí být dobře filtrované. Filtraci napájecího napětí zlepšuje kondenzátor C6.

Všechny součástky ekvalizéru jsou umístěny na desce s plošnými spoji.



Obr. 20. Devítipásmový ekvalizér



Obr. 21. Subpanel devítipásmového ekvalizéru. Okótovány jsou pouze důležité rozměry - rozteče potenciometrů

Rozměry desky odpovídají přístrojové skříňce KP 16, do které jsem vestavěl i mixážní pult (viz [5]).

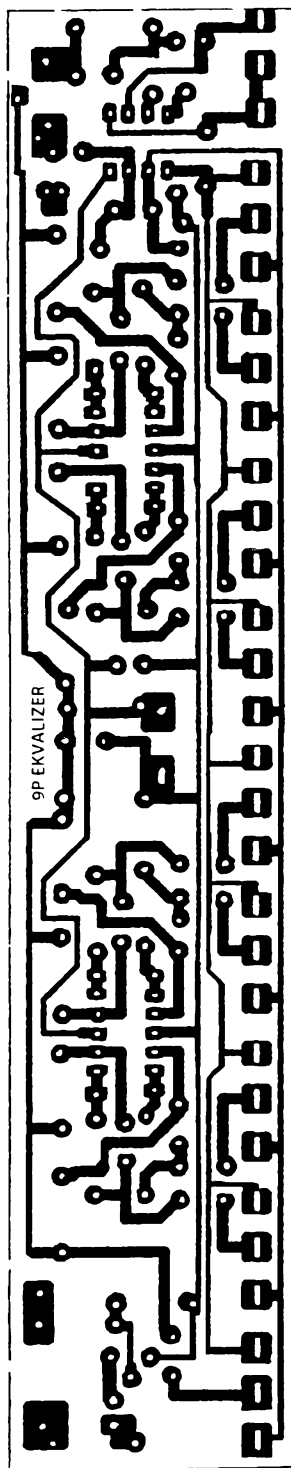
Obrazec plošných spojů je na obr. 22, rozmístění součástek na desce je na obr. 23.

Všechny potenciometry jsou typu TP 160. Potenciometry jsou zapájeny v desce s plošnými spoji a současně jsou přišroubovány k subpanelu (obr. 21). Bude-li použita indikační LED D1, musí být její vývody dostatečně dlouhé.

Ekvalizér může být použit v mixážním pultu buď jako vstupní nebo jako výstupní modul (mezi pultem a koncovým stupněm). Samostatně poslouží např. i jako předzesilovač pro kytaru. Dvojice ekvalizérů (umístěných nad sebou, se společným tandemovým regulátorem hlasitosti) též vytvoří stereofonní předzesilovač pro náročný domácí poslech.

Seznam součástek

R1	1,2 kΩ
R2	4,7 kΩ
R3	4,7 kΩ
R4	220 Ω
R5	10 kΩ
R6	10 kΩ
R7	10 kΩ
R8	10 kΩ
R9	4,7 kΩ
R10 až R80	1,2 kΩ (8 ks)
R11 až R81	120 kΩ (8 ks)
P1	100 kΩ/G, logaritmický potenciometr
P10 až P90	25 kΩ/N, lineární potenciometr (8 ks)
C1	22 μF/25 V
C2	1 μF/25 V
C3	10 nF
C4	68 nF
C5	10 μF/25 V
C10	470 nF
C11	150 nF
C20	220 nF
C21	68 nF
C30	150 nF
C31	22 nF
C40	47 nF
C41	15 nF
C50	22 nF
C51	10 nF
C60	15 nF
C61	6,8 nF
C70	10 nF
C71	2,2 nF
C80	4,7 nF
C81	1 nF
C90	3,3 nF
D1	LED s větší svítivostí
T1	KC238 (libovolný NPN)



Obr. 22. Obrazec plošných spojů devítipásmového ekvalizéru (1:1)

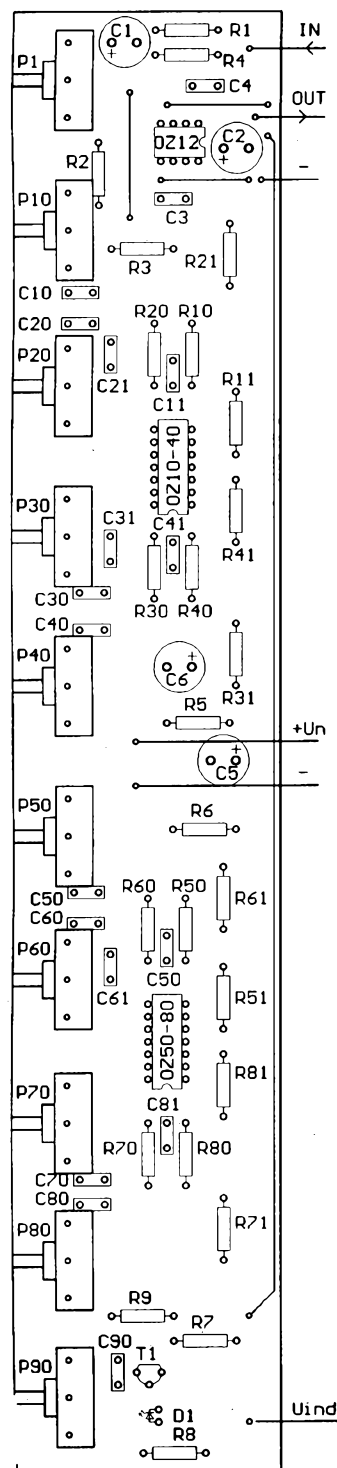
OZ1	1/2 TL072
OZ2	1/2 TL072
OZ10	
až OZ80	TL074 (2 ks)

plastový přístrojový knoflík - 10 ks

Koncový zesilovač s LM3886T

Moderní technika usnadňuje i konstrukci zesilovačů větších výkonů.

V koncovém zesilovači má výkonný integrovaný obvod LM3886T vůči diskretním tranzistorům řadu výhod:



Obr. 23. Rozmístění součástek na desce devítipásmového ekvalizéru

- Jednodušší montáž (pouzdro integrovaného obvodu je elektricky izolované od vnitřních obvodů).
 - Menší harmonické zkreslení (IO má zkreslení řádově 0,01 až 0,1 %).
 - Teplotní pojistka (je možné zmenšit rozměry vnějšího chladiče, který nemusí mít příliš velkou rezervu).
 - Ochrana proti zkratu na výstupu IO i proti přepětí.
 - Možnost dálkového vypínání zesilovače a pomalý náběh výstupního signálu při zapnutí (funkce MUTE).
- Nevýhodou výkonového IO je jeho vyšší cena a obtížnější dostupnost.

Výstupní výkon obvodu LM3886T je pochopitelně závislý na napájecím napětí a na impedanci zátěže. Výrobce udává sinusový výkon 68 W do zátěže 4 Ω při napájecím napětí 56 V, 38 W do zátěže 8 Ω při napájecím napětí 56 V a 50 W do zátěže 8 Ω při napájecím napětí 70 V. Maximální špičkový výkon obvodu je 135 W.

Napájecí napětí doporučuji zvolit v návaznosti na impedanci zátěže. Maximální povolené napájecí napětí obvodu LM3886T je 92 V bez signálu, 84 V se signálem, klidový proud obvodu je 40 až 50 mA.

Napájení výkonového IO může být buď symetrické nebo nesymetrické. Při volbě druhé možnosti odpadá nutnost ochrany reproduktorů a síťový transformátor napájecího zdroje může mít pouze jedno sekundární vinutí. Proto jsem v popisovaném zapojení zvolil nesymetrické napájení. Při nesymetrickém napájení je nutné použít obvod umělé nuly, který poskytuje předpětí pro výkonový IO. Optimální velikost předpětí je rovna polovině napájecího napětí.

Schéma koncového zesilovače s obvodom LM3886T (IO1) je na obr. 24. Obvod IO1 je svojí funkcí podobný pravému operačnímu zesilovači.

Napěťové zesílení A_U koncového zesilovače je dáno vztahem:

$$A_{11} = (R5/R4) + 1.$$

Funkce MUTE se zapíná tím, že se rezistor R8 odpojí od země. Kondenzátor C8 zpožďuje zapnutí a vypnutí této funkce. Funkce MUTE umožňuje automaticky zapínat a vypínat zesilovač přítomnosti signálu apod.

Hlavním problémem koncových zesilovačů je jejich stabilita. Ke stabilitě popisovaného zesilovače přispívají kondenzátory C4 a C5, které omezují zesílení v nadakustickém pásmu. Článek R9, C10 brání tomu, aby vf signál rozhlasových stanic pronikal do vstupního obvodu, a aby se koncový zesilovač nerozkmital po připojení předzesilovače. Svůj význam pro stabilitu

maji i články L1, R7 a R6, C7. Na schématu jsou doporučené hodnoty součástek těchto článků. Požadované indukčnosti $L1 = 0,7 \mu\text{H}$ odpovídá vzduchová válcová cívka o vnitřním průměru 10 mm, která obsahuje 10 závitů měděného drátu o průměru 1 mm s lakovou izolací. Případná změna hodnot součástek článků L1, R7 a R6, C7 v závislosti na vlastnostech zátěže je možná.

V zapojení, doporučeném výrobcem obvodu LM3886T, jsou použity odpory $R5 = 20 \text{ k}\Omega$ a $R4 = 1 \text{ k}\Omega$, takže zesilovač by měl napětově zesilovat 21x.

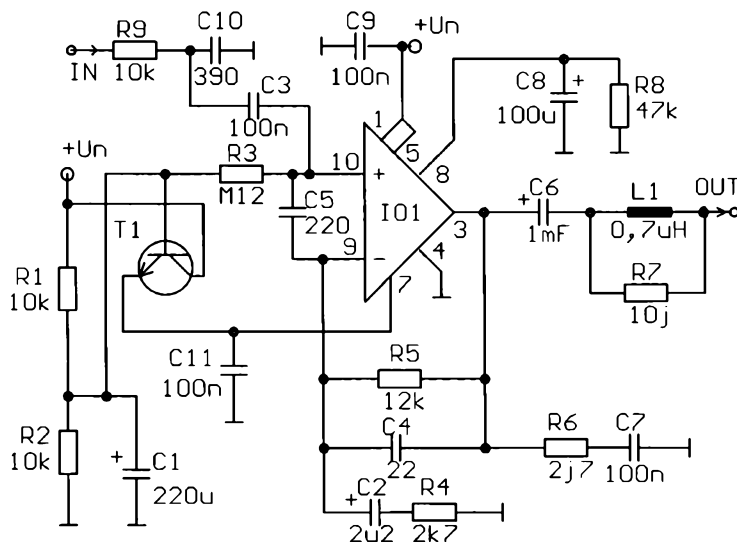
V popisovaném koncovém zesilovači jsem zvolil zesílení menší (asi 5,4x) a zvětšil jsem zesílení předzesilovače, který je napájen dobře filtrovaným napětím. Tím se zlepšil odstup užitečného signálu od brumu. Napájecí napětí koncového zesilovače je totiž vždy poněkud zvlněné. Kapacitu C5 jsem použil podle doporučení výrobce, kapacitu C4 jsem experimentálně odzkoušel (pomocí osciloskopu).

Obvod umělé nuly musí mít velmi malý vnitřní odpor, a proto musí být zapojen s oddělovacím tranzistorem T1 (emitorovým sledovačem), jinak by se zesilovač rozkmital na nízkém kmitočtu (proudový odběr vývodu 7 IO1 není zanedbatelný).

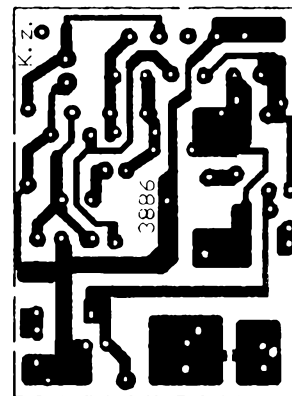
Odpor rezistoru R8 v obvodu MUTE volíme tak, aby jím tekla proud větší než 0,5 mA.

Nf signál se v zesilovači přenáší řadou vazebních článků RC (C3, R3; C2, R4 a C6, R2), které oddělují stejnoměrně složku signálu. Mezní kmitočet f_N těchto článků musí být menší než 20 Hz ($f_N = 1/(2 \cdot \pi \cdot R \cdot C)$).

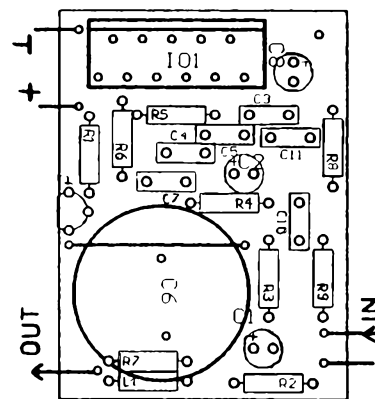
Všechny součástky koncového zesilovače s LM3886T jsou umístěny na desce s plošnými spoji. Obrazec plošných spojů je na obr. 25, rozmístění součástek na desce je na obr. 26. Výkonový obvod IO1 musí být opatřen příměřeným chladičem, a to i při ožiování desky.



Obr. 24. Koncový zesilovač s LM3886T



Obr. 25. Obrázek plošných spojů
koncového zesilovače s LM3886T (1:1)

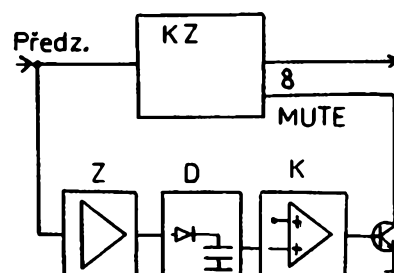


Obr. 26. Rozmístění součástek na desce koncového zesilovače s LM3886T

Blokové schéma obvodu, který umožňuje využít vstup MUTE k automatickému odpojení koncového zesilovače při nepřítomnosti vstupního signálu je na obr. 27.

Vstupní signál se zesiluje pomocným zesilovačem Z a usměrňuje se detektorem D. Pokud není amplituda vstupního signálu dostatečná (na vstupu je pouze šum a brum), komparátor K vypne tranzistor a ten odpojí vstup MUTE obvodu LM3886T od země. Tím se uvede koncový zesilovač KZ do klidového stavu, ve kterém má minimální proudový odběr.

Časová konstanta detektoru musí být vhodně zvolena, aby obvod nereagoval na krátké prodlevy ve vstupním signálu (pauzy mezi skladbami). Komparační úroveň a zesílení pomocného



Obr. 27. Blokové schéma obvodu pro automatické odpojování koncového zesilovače s LM3886T

zesilovače musí zajistit spolehlivé zapnutí koncového zesilovače i při slabší úrovni vstupního signálu a zároveň necitlivost vůči šumu a brumu.

Seznam součástí

R1	10 kΩ
R2	10 kΩ
R3	120 kΩ
R4	2,7 kΩ
R5	12 kΩ
R6	2,7 kΩ
R7	10 Ω
R8	47 kΩ
R9	10 kΩ
C1	220 μF/35 V
C2	2,2 μF/35 V
C3	100 nF
C4	22 pF
C5	220 pF
C6	1000 až 2000 μF/35 V
C7	100 nF
C8	100 μF/35 V
C9	100 nF
C10	390 pF
C11	100 nF
L1	0,7 μH
T1	BC337
IO1	LM3886T

Koncový zesilovač 2x 30 až 2x 100 W

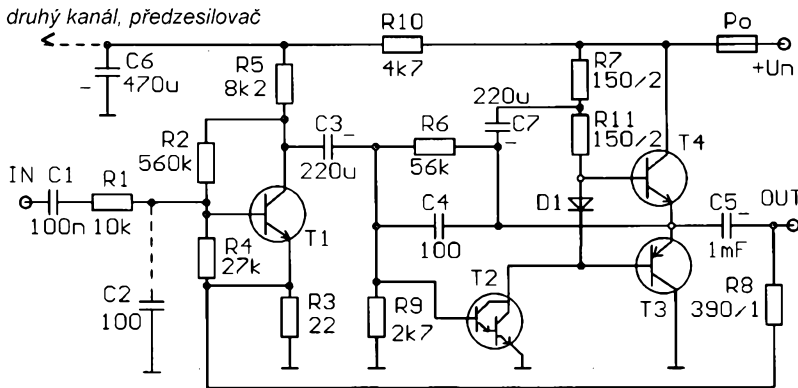
S běžnými a levnými typy integrovaných obvodů je zpravidla možné dosáhnout bez problému výkonu 20 W při napájecím napětí do 40 V. Můstkovým zapojením výkon případně zdvojnásobíme. Reproduktoř pak ale nebude oddělen kondenzátorem od zesilovače, což přináší další problémy. Pro větší výkony vychází stále poněkud levněji zapojení s tranzistorem.

Následující zapojení se dříve velmi často používalo v zesilovačích TW 40, TW 120, TW 140. Bylo spolehlivé a pro svoji jednoduchost oblíbené mezi amatérskými konstruktéry. Myslím, že by nemělo upadnout v zapomnění a že stojí za to jej přizpůsobit moderní součástkové základně.

Schéma jednoho kanálu koncového zesilovače s hodnotami součástí pro výkon 50 W je na obr. 28.

Vstupní signál je nejprve zesílen tranzistorem T1. Pro optimální funkci T1 má být zhruba stejné napětí mezi kolektorem a emitorem T1 (U_{CE}) jako je napětí na rezistoru R5, což zajišťuje dělič napětí R2, R4. Zvětšením odporu R2 se zvětší napětí U_{CE} a naopak. Rezistor R1 spolu s C2 potlačují vstupní vf signály.

Tranzistor T2 dále zesiluje zpracovávaný signál a na jeho kolektoru je napětí s rozkmitem téměř od nuly (potenciálu země) do plného napájecího napětí U_n . T2 pracuje ve třídě A (zesiluje obě půlvlny střídavého napětí). Klidový proud T2 je 0,1 A a tento proud trvale zatěžuje rezistory R7 a R11. Na kolektoru T2 má být v klidovém stavu asi polovina napájecího



Obr. 28. Schéma jednoho kanálu koncového zesilovače s hodnotami součástek pro výkon 50 W

napětí (případně o 1 až 2 V méně). Potom je dosaženo maximálního výkonu, obě půlvlny zpracovávaného signálu se při přebuzení omezují současně. Ve skutečnosti je tranzistor T2 tvořen dvěma tranzistory v Darlingtonově zapojení, má zesílení přibližně 1000 a na jeho bázi naměříme proti zemi napětí asi 1,2 V. Požadované klidové kolektorové napětí T2 nastavuje dělič R6, R9, kterým se z poloviny napájecího napětí vytváří předpětí 1,2 V pro bázi T2 (proud do báze T2 je mnohonásobně menší než proud děličem).

Koncové tranzistory T3 a T4 pracují jako sledovače napětí. To znamená, že zesilují výstupní proud a zajišťují malou výstupní impedanci. T3 a T4 jsou komplementární (PNP a NPN) a pracují ve třídě AB. To znamená, že v klidovém stavu jimi teče poměrně malý proud. Dioda D1 kompenzuje prahové napětí U_{BE} koncových tranzistorů. Při průchodu signálu nulou se tak zmenšuje přechodové zkreslení zesilovače.

Kondenzátor C4 zajišťuje stabilitu zesilovače. Kondenzátor C7 zvětšuje rozkmit výstupního napětí.

Kondenzátor C5 stejnosměrně od-
děljuje reproduktor od koncového zesilovače. Nesymetrické napájení koncového zesilovače zajišťuje stoprocentní ochranu reproduktorů v případě poškození zesilovače. Konstrukce napájecího zdroje je rovněž jednodušší, nepotřebujeme transformátor se symetrickým sekundárním vinutím. Myslím, že u amatérských konstrukcí tyto výhody bohatě vyváží jeho jedinou nevýhodu - lupnutí v reproduktoru při zapnutí napájecího napětí.

Dělič R8, R3 vytváří zápornou zpětnou vazbu (podobně jako u OZ). Napětové zesílení koncového zesilovače je přibližně určeno poměrem R8/R3. Při rozpojené smyčce zpětné vazby je zesílení přibližně 80 dB. Záporná zpětná vazba výrazně zmenšuje zkreslení, zvětšuje vstupní a zmenšuje výstupní odpor. Zpětná vazba také zvětšuje odolnost koncového zesilovače vůči brumu, takže zesilovač může pracovat i při malé kapacitě fil-

tračního kondenzátoru a velkém zvl-
nění napájecího napětí.

Tranzistory T2, T3, T4 jsou připevněny k chladiči. Abychom je nepoškodili, musíme při jejich montáži pracovat velmi pečlivě. Kontaktní plochy tranzistorů zvlhčíme vazelínou, T2 a T4 musí být od chladiče, který je spojen se zemí, izolovány slidovou podložkou. Izolaci tranzistorů zkontrolujeme před prvním zapnutím ohmetrem.

Koncový zesilovač může pracovat do zátěže s impedancí $4\ \Omega$ a větší. Vstupní odpor zesilovače je $100\ \text{k}\Omega$. Při malém vybuzení zesilovače je jeho zkreslení $0,2$ až $0,3\ \%$.

Stabilita zesilovače je velmi dobrá, stejně jako jeho odolnost vůči změnám hodnot součástek.

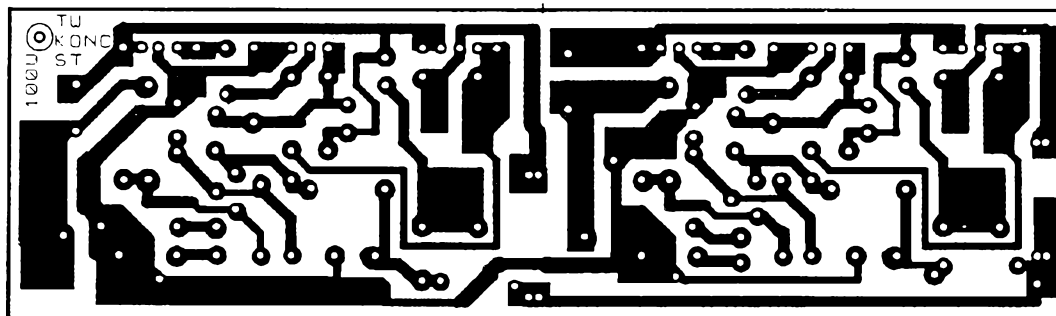
Oživení zesilovače je proto poměrně snadné, vystačíme při něm pouze s univerzálním multimetrem. Místo pojistky Po zapojíme rezistor 100 až 200 Ω pro zatížení 2 až 6 W.

Přesvědčíme se, že na výstupu zesilovače před C5 je přibližně polovina napájecího napětí. Na rezistoru, který je zapojen místo pojistky, je úbytek napětí 10 až 20 V. Je-li vše v pořádku, připojíme reproduktor. Když se prstem dotkneme vstupu, musí se ozvat brum. Potom připojíme pojistku, zkontrolujeme napětí na emitorech T3 a T4 a případně upravíme odpor R6 tak, aby na emitorech T3 a T4 byla polovina napájecího napětí. Zvětšením odporu R6 se napětí zvětší a naopak.

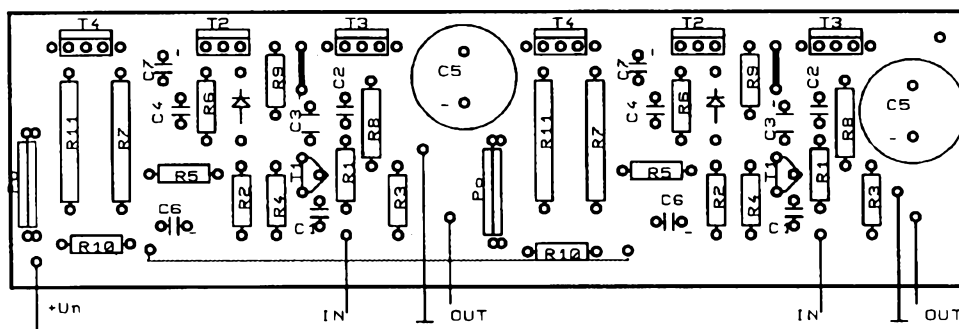
Výkon zesilovače závisí hlavně na napájecím napětí a na výkonu síťového transformátoru. Pokud vezmeme v úvahu průměrné úbytky napětí na vinutí transformátoru, na diodách a na výkonových tranzistorech, můžeme předpokládat, že napájecímu napětí $U_n = 45 \text{ V}$ odpovídá výkon 25 W, napájecímu napětí $U_n = 60 \text{ V}$ odpovídá výkon 60 W a napájecímu napětí $U_n = 80 \text{ V}$ odpovídá výkon 100 W (do zátěže $4 \text{ } \Omega$). Jmenovitý výkon transformátoru se dá využít zhruba ze dvou třetin, zbytek se převážně v koncových tranzistorech přeměňuje na teplo.

Aby se dosáhlo dobré spolehlivosti, musí být chladič zesilovače dostatečně dimenzován. Uvedené zapojení nemá žádnou tepelnou ochranu (její

Obr. 29. Obrazec plošných spojů koncového zesilovače 2x 30 až 2x 100 W (1:1)



Obr. 30. Rozmístění součástek na desce koncového zesilovače 2x 30 až 2x 100 W. Součástky v obou kanálech mají stejné označení



realizace s tranzistory by byla příliš složitá). Ztrátový výkon tvoří polovinu užitečného výkonu. Na každých 20 W ztrátového výkonu je zapotřebí minimálně 1 dm² (raději více) plochy svislého černěného chladiče.

Součástky dvou zcela shodných kanálů koncového zesilovače jsou umístěny na desce s plošnými spoji. Obrazec spojů je na obr. 29, rozmístění součástek na desce je na obr. 30.

Deska je navržena tak, aby bylo možné oba kanály oddělit. Pro oba kanály mohou být rezistor R10 a kondenzátor C6 společné.

Výkonové tranzistory musí být v každém případě připojeny přímo do desky s plošnými spoji (bez prodlužovacích vodičů), jinak by zesilovač nemusel být stabilní. V obvodech, kterými protékají velké proudy, musí být vodiče co nejkratší a nejsilnější (plošné spoje silně pocínovat). Desku spojíme malými úhelníky s chladičem tak, aby s ním tvořila jeden konstrukční celek.

Seznam součástek

(pro jeden kanál, napájecí napětí $U_n = 63$ V a výkon 50 W)

R1	10 k Ω
R2	560 k Ω (viz text)
R3	22 Ω
R4	27 k Ω
R5	8,2 k Ω
R6	56 k Ω
R7	150 Ω /2 W
R8	390 Ω /0,5 (1) W
R9	2,7 k Ω
R10	4,7 k Ω (pro oba kanály)
R11	150 Ω /2 W
C1	100 nF
C2	100 pF
C3	220 μ F/35 V
C4	100 pF
C5	1000 až 2000 μ F/50 V
C6	470 μ F/50 V (pro oba kanály)

C7	220 μ F/35 V
Po	pojistka, F 3,15 A
T1	BC547B
T2	TIP122 (121), Darling-
	tonův tranzistor
T3	BD912 (810, 712)
T4	BD911 (809, 711)

Napájecí zdroj

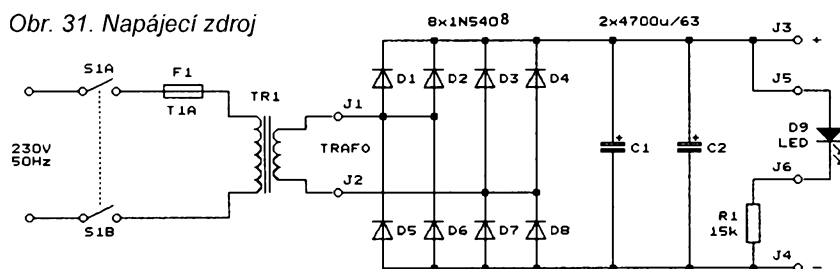
Schéma napájecího zdroje pro dvoukanalový koncový zesilovač je na obr. 31. Zdroj je tvořen síťovým transformátorem TR1 s jedním sekundárním vinutím, můstkovým usměrňovačem se čtyřmi diodami (D1, D3, D5 a D7) typu 1N5408 (při větším výkonu

zesilovače je možno diody zdvojit), dvěma filtračními kondenzátory C1 a C2 o kapacitě 4700 μ F/63 V a zelenou indikační LED D1 s předřadným rezistorem R1 o odporu 15 k Ω pro zatížení 0,25 W.

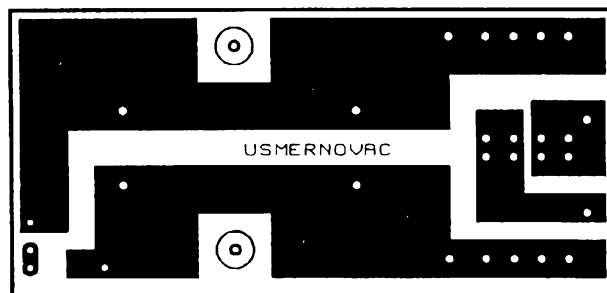
Čím větší bude kapacita filtračních kondenzátorů, tím větší bude špičkový (hudební) výkon zesilovače. Minimální kapacitu filtračních kondenzátorů doporučuji 2000 μ F.

Pro výkon 2x 50 W je potřebný síťový transformátor o výkonu 160 W s primárním napětím 230 V a sekundárním napětím 46 V. Do přívodu sítě k primárnímu vinutí transformátoru

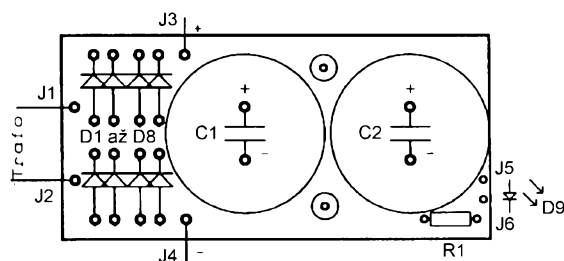
Obr. 31. Napájecí zdroj



Obr. 32. Obrazec plošných spojů napájecího zdroje (1:1)



Obr. 33. Rozmístění součástek na desce napájecího zdroje



musí být zařazen dvoupólový síťový spínač a tavná pojistka T 1 A (pomalá, o jmenovitém proudu 1 A).

Většina součástek napájecího zdroje je umístěna na zvláštní desce s plošnými spoji. Obrázec spojů je na obr. 32, rozmístění součástek na desce je na obr. 33.

Síťový spínač a indikační LED umístíme na přední panel skříňky zesilovače.

S dostatečně velkým chladičem a se síťovým transformátorem o výkonu 300 W může mít zesilovač výkon až 2x 100 W.

Seznam součástek napájecího zdroje pro zesilovač 2x 50 W

R1	15 k Ω /0,25 W
C1	4700 μ F/63 V
C2	4700 μ F/63 V
D1 až D8	1N5408 (4 ks, případně 8 ks, viz text)
D9	LED, zelená, 5 mm
F1	pojistka, T 1 A
TR1	transformátor, 230 V/46 V/160 W
S1	síťový spínač, dvoupólový

Indikátor vybuzení se čtyřnásobným OZ

Zapojení na obr. 34 nám ukazuje princip takového obvodu. Počet svítivých diod (LED) můžeme volit libovolně.

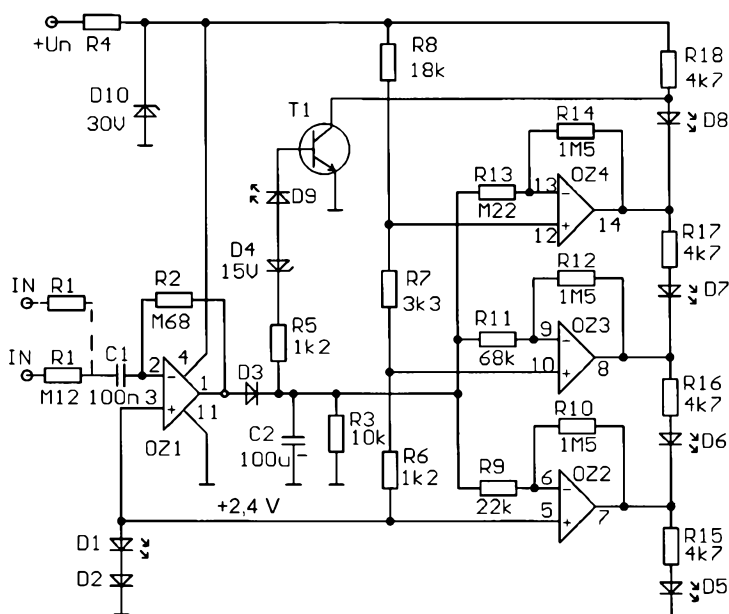
Základní indikátor je integrovaný obvod TL074 (IO1), který obsahuje čtveřici operačních zesilovačů OZ1 až OZ4. Diody LED se v popisovaném indikátoru rozsvěcejí plynule, protože vnitřní obvody indikátoru jsou zapojeny jako lineární.

Když je na vstupu indikátoru vybuzení nulové napětí, svítí pouze D5, při vzrůstajícím napětí svítí D5 a D6, potom D5, D6 a D7 atd. Přidáním dalších operačních zesilovačů k OZ2 až OZ4 je možno zvětšit počet rozhodovacích úrovní a počet indikačních LED.

Operační zesilovač OZ1 zesiluje kladnou půlvlnu signálu a přes diodu D3 nabíjí kondenzátor C2.

Bez signálu je na C2 napětí přibližně 1,8 V vůči zemi. Pokud bychom vynechali rezistory R10, R12, R14 a zkratovali R9, R11 a R13, pracovaly by operační zesilovače OZ2 až OZ4 jako komparátory, které porovnávají vstupní napětí s referenčním a LED D6 až D8 by se rozsvěcovaly skokově. Komparační napětí jsou určena odpory rezistorů R6 až R8. Pro OZ2 je komparační napětí 0 V, pro OZ3 je komparační napětí přibližně 1,5 V a pro OZ4 je komparační napětí přibližně 5,5 V. Tato napětí jsou vztažena k úrovni 2,4 V, což je součet prahových napětí diod D1 a D2.

Diody D1 a D2 vytvářejí „umělou nulu“ pro OZ1. Protože zpracováváme



Obr. 34. Indikátor vybuzení se čtyřnásobným OZ

pouze jednu půlvlnu signálu, volíme napětí „umělé nuly“ co nejbližší k nule (k potenciálu země), ale tak, aby operační zesilovače pracovaly v aktivním režimu.

Počítáme zde s úbytkem napětí 0,6 V na diodě D3, o který musí být úroveň signálu na výstupu OZ1 větší, aby se rozsvítily příslušné LED.

Volba komparačních napětí souvisí s požadovaným logaritmickým průběhem indikace.

Aby se LED rozsvěcovaly plynule, jsou OZ2 až OZ4 zapojeny jako zesilovače, jejichž zesílení je dáno poměrem odporů $R10/R9$, $R12/R11$ a $R14/R13$.

Odpory R9, R11 a R13 musí být větší než R3, protože určují vstupní odpor zesilovačů s OZ2 až OZ4. Časová konstanta C2/R3 určuje setrvačnost obvodu.

Tranzistor T1 umožňuje přidat ještě jednu indikační LED navíc. Zvětší-li se vrcholové napětí na výstupu OZ1 na 17 V (což při sinusovém průběhu odpovídá efektivnímu napětí asi 12 V), otevře se T1, rozsvítí se D9 a zhasne D8.

Počet indikačních LED také můžeme zvětšit potom, když přidáme za OZ4 další OZ a vhodně zvolíme jejich referenční napětí.

Poměr odporů $R2/R1$ určuje zesílení zesilovače s OZ1 a tím i citlivost

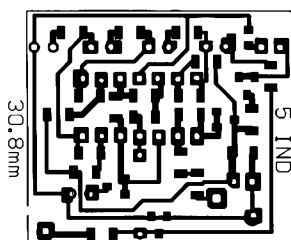
celého indikátoru. Chceme-li např., aby výkonu 1 W na zátěži o odporu 4 Ω (na zátěži je efektivní napětí 2 V a vrcholové napětí zhruba 3V) bylo na výstupu OZ1 vrcholové napětí 12 V, bude poměr $R2/R1 = 4$. Vypočtený poměr raději trochu zvětšíme, abychom vykompenzovali vliv vybíjení kondenzátoru C2 přes rezistor R3.

Když přidáme další rezistor R1, můžeme indikovat součet napětí dvou vstupních signálů, aniž se budou tyto signály vzájemně ovlivňovat (např. ve stereofonním zesilovači).

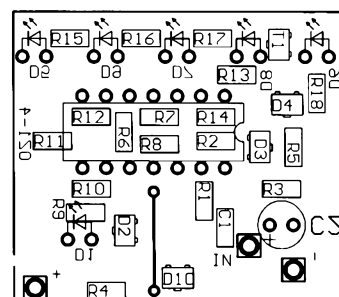
Předpokládané napájecí napětí U_n indikátoru je 30 V. Při použití tohoto napájecího napětí vynecháme rezistor R4 a Zenerovu diodu D10.

Pokud je přiváděné napájecí napětí U_n větší než 30 V, mohla by být překročena povolená velikost napájecího napětí integrovaného obvodu IO1 a také indikované úrovně signálu by nebyly přesné. V takovém případě zmenšíme a stabilizujeme součástkami R4 a D10 vnitřní napájecí napětí na 30 V. Odpor R4 vypočítáme ze skutečné velikosti napájecího napětí U_n a z napájecího proudu indikátoru, který je asi 12 mA.

Napájecí napětí můžeme použít i menší než 30 V, ale pak musíme upravit odpory R15 až R18 a případně vynechat obvod s tranzistorem.



Obr. 35. Obrazec plošných spojů indikátoru vybuzení (1:1)



Obr. 36. Rozmístění součástek na desce indikátoru vybuzení

Indikátor vybuzení je zkonstruován s použitím technologie povrchové montáže. Ukázalo se však účelné použít všechny diody LED, integrovaný obvod IO1 a elektrolytický kondenzátor C2 v klasickém vývodovém provedení. Všechny ostatní součástky jsou v provedení SMD, rezistory a kondenzátory mají velikost 1206.

Součástky indikátoru jsou připájeny na desce s plošnými spoji. Obrázek spojů je na obr. 35, rozmístění součástek na desce je na obr. 36.

Obr. 36 je pohled na stranu spojů, tj. na stranu, na které jsou umístěny součástky SMD. Součástky vývodové jsou umístěny na druhé straně desky, a proto jsou jejich označení zrcadlově převrácená.

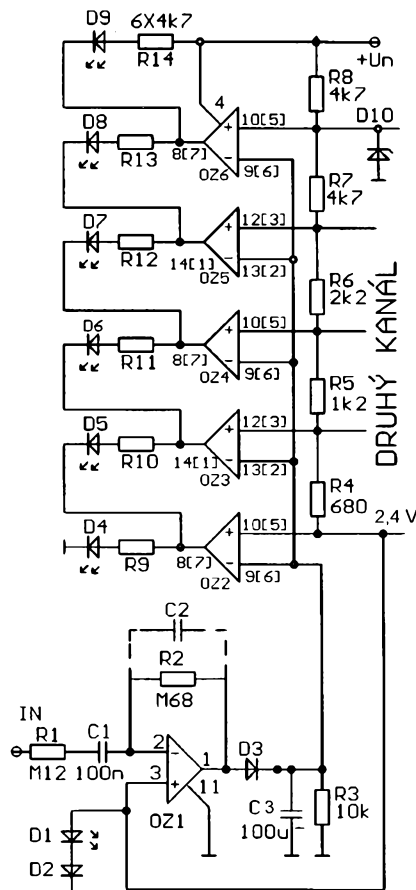
Seznam součástek

R1	120 kΩ	SMD 1206
R2	680 kΩ	SMD 1206
R3	10 kΩ	SMD 1206
R4	(viz text)	SMD 1206
R5	1,2 kΩ	SMD 1206
R6	1,2 kΩ	SMD 1206
R7	3,3 kΩ	SMD 1206
R8	18 kΩ	SMD 1206
R9	22 kΩ	SMD 1206
R10	1,5 MΩ	SMD 1206
R11	68 kΩ	SMD 1206
R12	1,5 MΩ	SMD 1206
R13	220 kΩ	SMD 1206
R14	1,5 MΩ	SMD 1206
R15	4,7 kΩ	SMD 1206
R16	4,7 kΩ	SMD 1206
R17	4,7 kΩ	SMD 1206
R18	4,7 kΩ	SMD 1206
C1	100 nF	SMD 1206
C2	100 µF/25 V	
D1	LED různých barev	
D2	BAS16, SMD (A6)	
D3	BAS16, SMD (A6)	
D4	BZX84C15, SMD	
D5	LED různých barev	
D6	LED různých barev	
D7	LED různých barev	
D8	LED různých barev	
D9	LED různých barev	
D10	BZX84C30, SMD	
T1	BC847B, SMD (1F)	
IO1	TL074	

Stereofonní indikátor vybuzení

Předcházející zapojení indikátoru vybuzení můžeme samozřejmě realizovat ve stereofonní verzi. Schéma stereofonního indikátoru se dvěma indikačními kanály je na obr. 37. Obvody referenčních zdrojů napětí (D1, D2, R4 až R8, D10) jsou společné pro oba kanály.

Součástky prvního kanálu jsou číslovány od jedničky, součástky druhého kanálu mají čísla o 50 vyšší, čísla vývodů příslušných OZ jsou v závorce. V každém kanálu je použito šest operačních zesilovačů (OZ). V zájmu jednoduchého návrhu plošných spojů jsou OZ obou kanálů (celkem 12 OZ)



Obr. 37. Stereofonní indikátor vybuzení

sduženy po čtyřech ve třech integrovaných obvodech IO1 až IO3 typu TL074.

V každém kanálu je jeden OZ použit jako vstupní zesilovač, ostatní OZ slouží jako komparátory. Komparátory spínají 6 indikačních LED. První LED svítí bez signálu a indikuje zapnutý stav.

Porovnávací napětí, které přivádíme do komparátorů z odporového děliče, se postupně zvětšují tak, že každý následující komparátor má dvakrát větší porovnávací napětí než předchozí komparátor. Nejmenší porovnávací napětí je 0,6 V (prahové napětí D3 je 0,6 V), další porovnávací napětí je 1,35 V (0,75 V plus prahové napětí D3), třetí porovnávací napětí je 2,65 V (2,05 V plus 0,6 V) atd. Tato napětí jsou vztažena k opěrnému napětí 2,4 V.

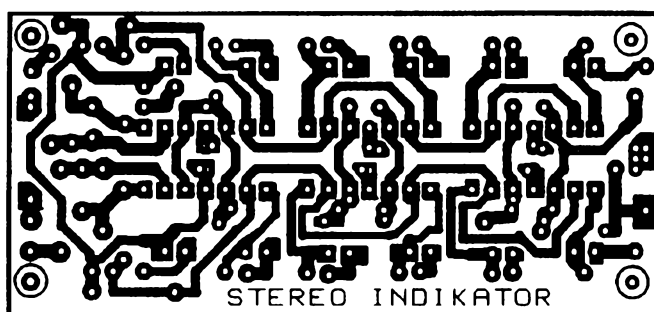
Zenerova dioda D10 spolu s R8 stabilizuje porovnávací napětí. Velikost odporu R8 závisí na napájecím napětí U_n , odpor R8, uvedený v seznamu součástek, platí pro napájecí napětí $U_n = 30$ V.

Stereofonní indikátor vybuzení je zkonstruován s klasickými vývodovými součástkami, které jsou umístěny na desce s plošnými spoji. Obrázek spojů je na obr. 38, rozmístění součástek na desce je na obr. 39.

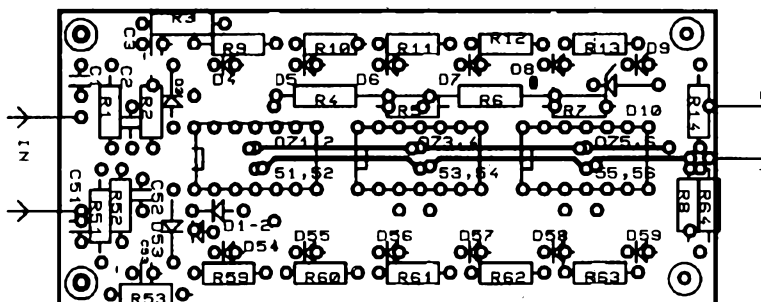
Napájecí napětí je do IO1 až IO3 zavedeno drátovými propojkami, které jsou pro úsporu místa vedeny pod pouzdry integrovaných obvodů. Propojky zhotovíme velmi pečlivě jako první krok při osazování desky.

Seznam součástek

R1, R51	120 kΩ
R2, R52	680 kΩ
R3, R53	10 kΩ
R4, R54	680 Ω
R5, R55	1,2 kΩ
R6, R56	2,2 kΩ
R7, R57	4,7 kΩ
R8, R58	4,7 kΩ
R9, R59	4,7 kΩ
R10, R60	4,7 kΩ
R11, R61	4,7 kΩ
R12, R62	4,7 kΩ



Obr. 38. Obrázek plošných spojů stereofonního indikátoru vybuzení (1:1)



Obr. 36. Rozmístění součástek na desce stereofonního indikátoru vybuzení

R13, R63	4,7 kΩ
R14, R64	4,7 kΩ
C1, C51	100 nF
C2, C52	(viz následující text)
C3, C53	100 μF/25 V
D1	1N4007 (libovolný typ)
D2	LED různých barev
D3, D53	1N4007 (libovolný typ)
D4, D54	LED různých barev
D5, D55	LED různých barev
D6, D56	LED různých barev
D7, D57	LED různých barev
D8, D58	LED různých barev
D9, D59	LED různých barev
D10	Zenerova dioda, $U_z = 12 \text{ V}$
IO1 (OZ1, OZ2, OZ51, OZ52)	TL074
IO2 (OZ3, OZ4, OZ53, OZ54)	TL074
IO3 (OZ5, OZ6, OZ55, OZ56)	TL074

Analyzátor spektra

Deska stereofonního indikátoru je navržena tak, aby ji bylo zároveň možné použít ke konstrukci **analyzátoru spektra signálu**.

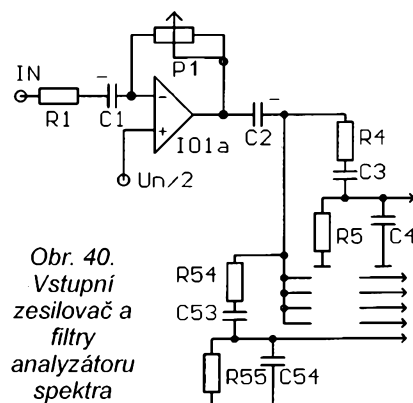
Jedná se o velmi atraktivní doplněk zesilovače, který pomocí sloupců LED indikuje přítomnost jednotlivých kmitočtových pásem ve spektru audiosignálu.

Analýzátor spektra se skládá ze vstupního zesilovače s regulací zesílení, z filtrů, které rozdělují signál do šesti kmitočtových pásem, a ze třech stereofonních indikátorů vybuzení. Každý kanál indikátoru je využit pro jedno kmitočtové pásmo. Pro zobrazení spektra stereofonního signálu musíme mít dva popisované analyzáto - pro každý kanál jeden.

Analýzátor spektra připojíme na vstup předzesilovače poslechového zařízení, ještě před regulátor hlasitosti. Optimální citlivost analyzátoru nastavíme trimrem P1, kterým se reguluje citlivost vstupního zesilovače analyzátoru.

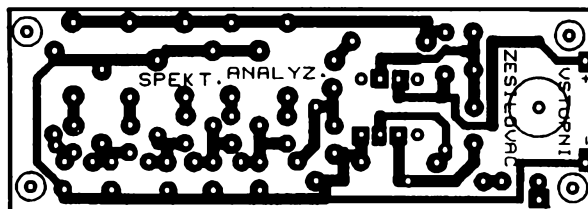
Pokud by byl analyzátor připojen až za korekční obvody a za regulátor hlasitosti, museli bychom použít k ovládní citlivosti analyzátoru jako P1 potenciometr, protože rozsah regulace hlasitosti zesilovače je mnohem větší než dynamický rozsah indikátoru.

Schéma vstupního zesilovače analyzátoru a filtrů pro rozdělení spektra je na obr. 40.

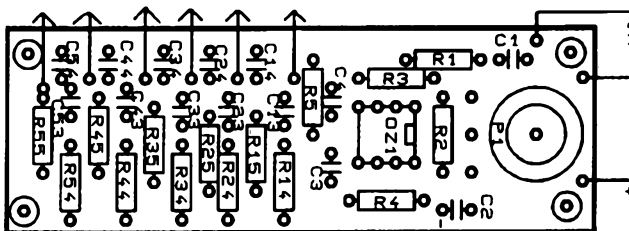


Obr. 40.
Vstupní
zesilovač a
filtry
analyzátoru
spektra

Obr. 41.
Obrazec
plošných spojů
vstupního
zesilovače a
filtrů analyzátoru
spektra (1:1)



Obr. 42.
Rozmístění
součástek na
desce vstupního
zesilovače a
filtrů analyzátoru
spektra



Jako filtry jsou použity Wienovy články s mezním kmitočtem f_m , který je dán vztahem:

$$f_m = 1/(2 \cdot \pi \cdot R \cdot C).$$

Mezní kmitočty filtrů by měly rovnoměrně pokrývat celé akustické pásmo (např. $f_m = 50, 125, 300, 750, 2000, 5000 \text{ Hz}$).

Odporu R ve vztahu pro mezní kmitočty Wienova článku odpovídají odpory R_4, R_5 až R_{54}, R_{55} na obr. 40. V praxi volíme všechny odpory shodné o velikosti minimálně $4,7 \text{ k}\Omega$ (tj. $R = R_4 = R_5 = \dots = R_{54} = R_{55} = 4,7 \text{ k}\Omega$), abychom nepořídili výstup IO1a a nezkrátili signál. Rovněž kapacity kondenzátorů v jednotlivých člancích se používají shodné (tj. $C_3 = C_4, \dots, C_{53} = C_{54}$). Kapacity kondenzátorů v jednotlivých člancích odpovídají kapacitě C ve vztahu pro mezní kmitočty Wienova článku a vypočteme je z tohoto vztahu po dosažení zvolených R a f_m .

Selektivitu celého zapojení můžeme zvětšit vhodnou volbou kapacity kondenzátoru C_1 ve vstupním zesilovači analyzátoru a přidáním kondenzátoru C_2 do každého stereofonního indikátoru vybuzení (viz schéma indikátoru na obr. 37).

Při volbě odporů R_4 až R_{55} musíme též vzít v úvahu, že tyto odpory musí být několikanásobně menší než odpor R_1 na vstupu stereofonního indikátoru vybuzení (Wienovy články musí pracovat jako nezátížené). Pouze při splnění uvedené podmínky se nebudou obvody vzájemně příliš ovlivňovat a vzorec pro mezní kmitočty Wienova článku bude platit v nejjednodušším tvaru.

Vstupní zesilovač (s IO1a) analyzátoru spektra a vstupní zesilovače (s OZ1) indikátorů vybuzení by měly mít dohromady zesílení minimálně 100. Tomu odpovídá při požadovaném napětí $U_{\text{výst}} = 7 \text{ V}$ na výstupu OZ1 a při přenosu Wienova článku, který je maximálně $1/3$, citlivost analyzátoru asi 200 mV .

V úvahu musíme vzít i skutečnost, že amplituda signálu klesá s rostoucím kmitočtem. Zesílení vyšších kmi-

točtů v indikátorech proto musí být větší.

Napájecí napětí analyzátoru spektra doporučuji zvolit 15 až 30 V .

Popsaný analyzátor spektra je pochopitelně určen jako dekorace, profesionální zařízení by bylo podstatně složitější.

Analýzátor spektra je určen zkušenějším zájemcům, kteří si hodnoty součástek podle vlastních požadavků spočítají sami.

Součástky analyzátoru spektra jsou umístěny na desce s plošnými spoji. Obrazec spojů je na obr. 41, rozmístění součástek na desce je na obr. 42.

Vývody z desky, označené šipkami, se připojí na vstupy stereofonních indikátorů vybuzení.

Pro zapojení všech typů indikátorů platí: **Blikající LED mohou být zdrojem rušení, které se šíří po sběrnici napájecího napětí.** Proto indikátory napájíme z koncového stupně přes filtry RC nebo přes stabilizátor. **Napájení indikátorů nesmí být nikdy společné s napájením předzesilovače.**

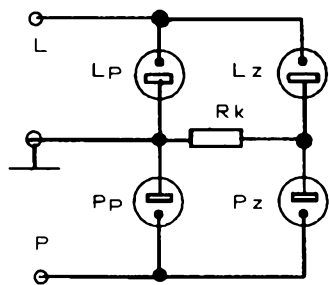
Pseudokvadrofonní adaptér

Vícekanálový přenos zvuku (kvadrofonie, domácí kino)

Současná doba je charakterizována rozvojem **multimédií** - spojováním techniky audio, video a výpočetní techniky v jeden celek.

Při ozvučování filmů vznikla potřeba vytvořit **dokonalé prostorové ozvučení**. Obvykle je zvuk vyzářován z pěti reproduktorových soustav (tři soustavy jsou vpředu, dvě vzadu). Ze zakódovaného signálu pravého a levého kanálu je vytvořeno pět samostatných kanálů pomocí speciálního dekodéru. Nejznámější je systém Dolby Surround Pro Logic.

Každý kanál má svůj koncový zesilovač, výkon zadních reproduktorových soustav bývá menší než předních. Taková aparatura se nazývá **domácí kino**. Nevýhodou je zatím



Obr. 43. Doplnění předních reproduktorových soustav (Lp, Pp) zadními soustavami (Lz, Pz)

omezený počet takto kódovaných nahrávek a vysoká pořizovací cena zařízení (desítky tisíc Kč).

V následujícím článku chci popsat zapojení pseudokvadrofonního adaptéru, který pracuje na jiném principu, avšak dosahuje podobného efektu při zlepšení prostorového vjemu. Adaptér je použitelný u každé stereofonní nahrávky a jeho pořizovací cena je minimální.

Ještě jednodušeji lze prostorový vjem zlepšit přidáním zadních reproduktorových soustav (Lz, Pz) k předním reproduktorovým soustavám (Lp, Pp) běžného stereofonního zařízení, jak je naznačeno na obr. 43. Reproduktové soustavy Lz a Pz jsou napájeny rozdílovými složkami signálů levého a pravého kanálu a částečně signálem levého a pravého kanálu přes rezistor Rk (o odporu asi 10 Ω).

Změnou odporu rezistoru Rk je možné nastavit optimální poměr hlasitosti předních a zadních reproduktorů. Zadní reproduktorové soustavy mohou být jednopásmové (středotónový reproduktor) nebo dvoupásmové, o minimálním objemu a výkonu. Nelze-li umístit reproduktory zezadu, je možné je umístit ze stran. I tak bude výsledný efekt stát za to.

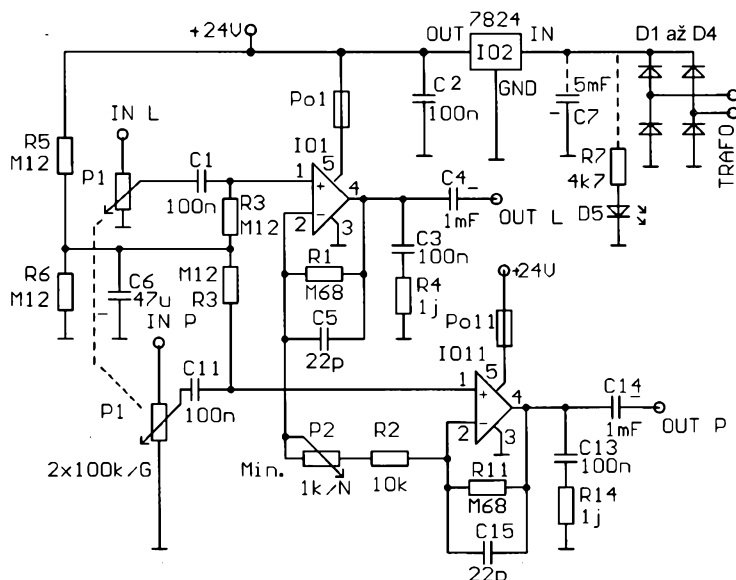
Popis pseudokvadrofonního adaptéru

Schéma pseudokvadrofonního adaptéru je na obr. 44. Toto zapojení, na rozdíl od předcházejícího nejjednoduššího řešení s jedním rezistorem, umožňuje zvýraznit rozdílové složky pravého a levého kanálu a nastavit v širokém rozsahu hlasitost zadních reproduktorových soustav.

Adaptér obsahuje dva koncové zesilovače s IO1 a IO11 (TDA2030) pro zadní reproduktorové soustavy, které se připojují k výstupům OUT L a OUT P adaptéru. Na vstupy IN L a IN P adaptéru se přivádí stereofonní signál ze stávajícího stereofonního zařízení, jehož reproduktorové soustavy jsou použity jako přední soustavy.

Adaptér zdůrazňuje rozdílové složky levého a pravého kanálu. Oba koncové zesilovače jsou proto zapojeny jako rozdílové.

Pro signál, který je stejný v obou kanálech (L = P), je přenos rovný jedné. Propojení obou kanálů přes poten-



Obr. 44. Pseudokvadrofonní adaptér

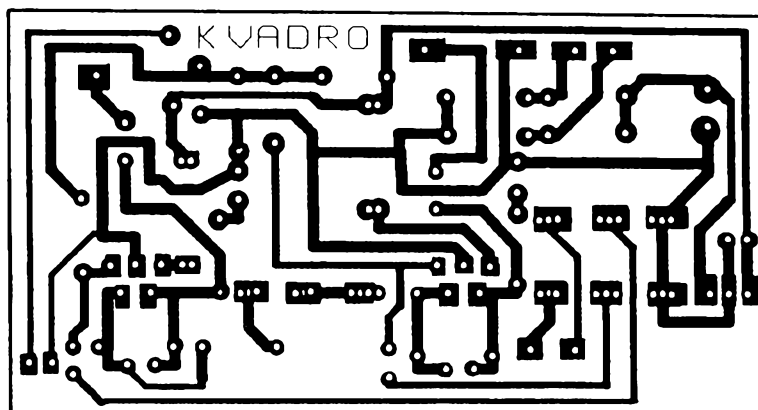
ciometr P2 a rezistor R2 se neuplatní, protože na všech vývodech obou integrovaných obvodů je stejné napětí.

Zesílení rozdílových signálů je dáno poměrem $R1/(R2 + k \cdot P2)$ a můžeme je potenciometrem P2 měnit ($k = 0$ až 1).

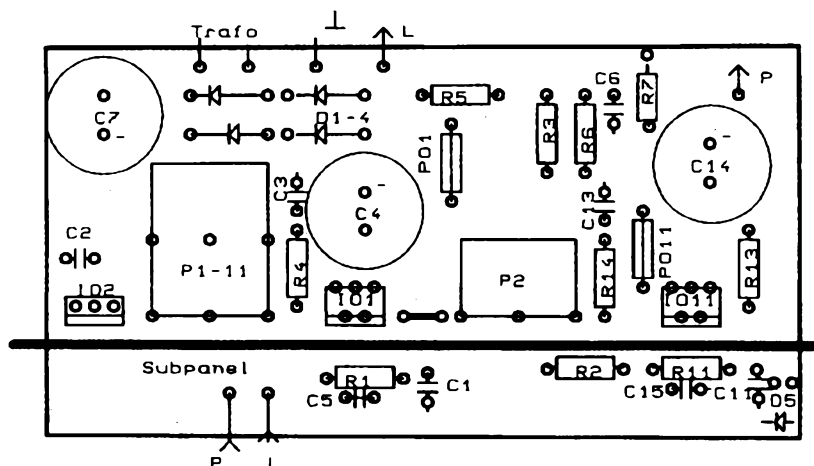
Tandemový potenciometr P1 + P11 určuje citlivost adaptéru. Hlasitost zadních reproduktorových soustav můžeme tedy nastavit dvěma ovládacími prvky - potenciometrem P2 a P1 + P11. Relativním natočením obou potenciometrů lze optimálně určit veli-

kost rozdílových složek a nastavit tak subjektivně nejlepší efekt.

Zapojení samotných koncových stupňů s IO1 a IO11 bylo v odborné literatuře mnohokrát popsáno. Článek R4, C3 představuje tzv. Boucherotův člen, který zajišťuje stabilitu zesilovače. Pro zlepšení stability je zde zapojen i kondenzátor C5. Oba obvody IO1 i IO11 mají společnou „umělou“ nulu. Při ožiování nebo pro snadnější vyhledání případné závady doporučuji rozpojit drátovou propojku mezi poten-



Obr. 45. Obrazec plošných spojů pseudokvadrofonního adaptéru (1:1)



Obr. 46. Rozmístění součástek na desce pseudokvadrofonního adaptéru

ciometrem P2 a invertujícím vstupem obvodu IO1. Na všech vstupech i výstupech obou obvodů IO1 i IO11 musí být v klidovém stavu polovina napájecího napětí.

Adaptér je napájen z vlastního síťového zdroje stabilizovaným napětím 24 V. Sekundární napětí ze síťového transformátoru TR1 (TR1 není nakreslen na schématu) je dvoucestně usměrněno můstkem z diod D1 až D4, vyhlazeno kondenzátorem C7 a stabilizováno třisvorkovým stabilizátorem IO2. Pro výkon 2x 5 W koncových zesilovačů adaptéru musí být transformátor TR1 dimenzován na výkon alespoň 20 W a musí mít sekundární napětí 24 V.

Stabilizátor je použit především pro potlačení brumu, protože navzdory teoretickým předpokladům (rozdílový zesilovač nezesiluje součtové signály) je adaptér málo odolný vůči zvlnění napájecího napětí.

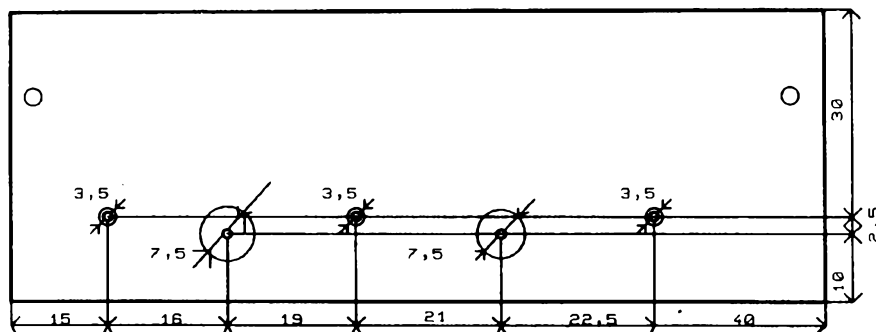
Mechanická konstrukce adaptéru je taková, aby přístroj tvořil jeden konstrukční celek.

Deska z hliníkového plechu o tloušťce asi 2 mm je současně chladičem integrovaných výkonových zesilovačů a stabilizátoru i subpanelem, ke kterému jsou přišroubovány potenciometry. Subpanel je dvěma šrouby připevněn k přednímu panelu.

Hlasitost zadních reproduktorových soustav bývá zpravidla menší než předních, ztrátový výkon koncových zesilovačů rovněž. Chladič (subpanel) proto nemusí mít příliš velké rozměry (postačí plocha 0,5 dm²). Výkres subpanelu je na obr. 47.

Všechna součástky adaptéru jsou připájeny na desce s plošnými spoji. Obrazec spoju je na obr. 45, rozmístění součástek na desce je na obr. 46. Subpanel je postaven kolmo k desce v místě tlusté čáry na obr. 46. Integrované obvody IO1, IO2, IO11 a oba potenciometry doporučuji nejprve přišroubovat k subpanelu a potom teprve připájet do desky. Integrované obvody musí být od subpanelu izolovány (slidovou podložkou).

Adaptér můžeme vestavět do skříňky KM85 (i s transformátorem TR1) nebo do skříňky U6 (transformátor umístíme vně skříňky). Návrh štítku



Obr. 47. Subpanel pseudokvadrofonního adaptéru

s popisem předního panelu adaptéru je na obr. 48. Na předním panelu umístíme též LED D5, která indikuje zapnutí adaptéru. Na zadním panelu jsou konektory pro připojení zadních reproduktorových soustav a panelem prochází i síťová šňůra.

Přívod síťového napětí je výhodné zapojit tak, aby adaptér nemusel mít vlastní síťový spínač a zapínal se společně s hlavním zesilovačem stereofonního zařízení.

Vhodný výkon adaptéru je 2x 5 W, avšak postačí i menší. Pro menší výkon můžeme použít i slabší síťový transformátor s menším sekundárním napětím (15 V). Při menším napájecím napětí použijeme stabilizátor IO2 s menším výstupním napětím.

Vstup adaptéru připojíme k zesilovači do výstupu pro sluchátka, abychom nemuseli do zesilovače zasahovat. S největší pravděpodobností zde bude dostatečné napětí, aby vybudilo náš adaptér.

Pokud by bylo napětí na konektoru pro sluchátka příliš malé, připojíme vstup adaptéru paralelně k předním reproduktorovým soustavám (skříňka adaptéru by potom mohla zároveň tvořit jakýsi rozbočovač signálu).

Citlivost adaptéru též můžeme zvětšit předzesilovačem.

Pokud bude adaptér součástí nějakého zesilovače vlastní výroby, budeme ho napájet z tohoto zesilovače a vynecháme součástky D1 až D4, D5, R7 a C7. Vstup adaptéru pak zapojíme na výstup koncových zesilovačů předních kanálů.

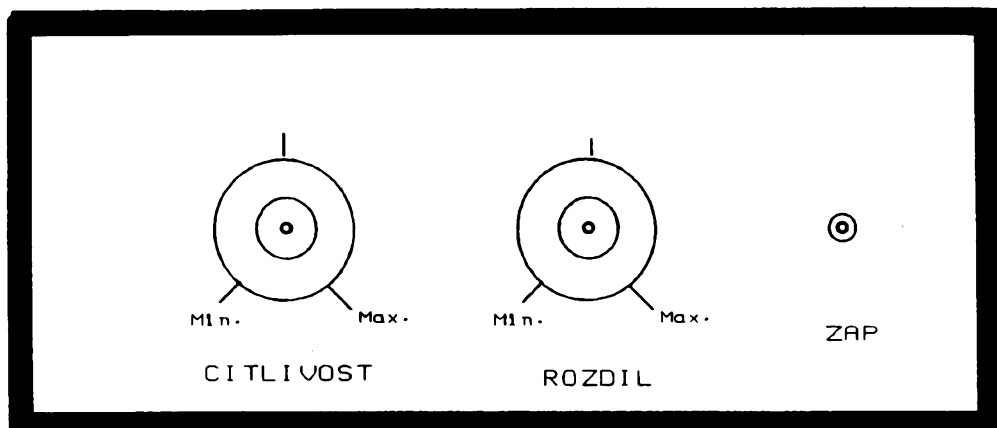
Při průchodu signálu přes kaskádu dvou koncových zesilovačů se

může mírně zvětšit zkreslení a zhoršit odstup užitečného signálu od šumu a brumu. Tyto změny by měly zůstat pod hranicí poznatelnosti. Z tohoto hlediska je lepší připojit adaptér na výstup předzesilovače, paralelně ke vstupům koncových zesilovačů, které jsou určeny pro přední reproduktorové soustavy. Podmínkou je však dostatečné výstupní napětí (1 až 2 V) předzesilovače.

Seznam součástek

R1, R11	680 kΩ
R2	10 kΩ
R3, R13	120 kΩ
R4, R14	1 Ω (4,7 Ω)
R5	120 kΩ
R6	120 kΩ
R7	4,7 kΩ
P1	2x 100 kΩ/G, tandemový logaritmický potenciometr
P2	25 kΩ/G, logaritmický potenciometr
C1, C11	100 nF
C2	100 nF
C3, C13	100 nF
C4, C14	1000 μF/25 V
C5, C15	22 pF
C6	47 μF/25 V
C7	5000 (4700) μF/35 V
D1	1N4007
D2	1N4007
D3	1N4007
D4	1N4007
D5	LED, zelená
IO1	TDA2030
IO2	MA7824
IO11	TDA2030
Po1, Po11	pojistka, F 1 A
	reproduktorové konektory (2 ks)

Obr. 48. Návrh štítku s popisem předního panelu pseudo-kvadrofonního adaptéru



Přístroje pro domácí dílnu

Páječka s elektronickým regulátorem teploty V99

Pájení součástek SMD

Technologie povrchové montáže (SMT – Surface Mount Technology) se v profesionální elektrotechnice již stala samozřejmostí. Umožnila několikanásobně **zmenšit rozměry**, výrazně **snížit výrobní náklady** a **zvýšit spolehlivost** přístrojů. Pájecí plošky se přes sito pokryjí pájecí pastou. Pasta obsahuje cín a současně má lepicí účinky. Osazovací automat na plošky položí součástky a v peci se pak součástky připájejí. Oproti klasické technologii odpadá vrtání děr a nemusí se stříhat vývody. Další výhodou je dobrý odvod tepla ze součástek. Odpadá rovněž indukčnost přívodů, což má svůj význam i ve vf obvodech.

Opravitelnost je rovněž lepší než u klasické technologie. I přes malé rozměry součástek je při dobrém vybavení a pečlivé práci jejich výměna snadnější než u klasických součástek. Při výměně se součástky ani spoje nepoškodují. Pájecí plošky snesou i několikanásobnou výměnu součástek. „Bastlení“ je proto snazší, deska si stále udržuje dobrý vzhled, nevytváří se „vrabčí hnízdo“.

Plocha desky se často využívá dvakrát. Z jedné strany se osazují součástky SMD (Surface Mounted Devices – součástky pro povrchovou montáž), z druhé strany klasické součástky větších rozměrů, které se potom pájejí ručně. Kvalitní technologie umožňují osadit desky součástkami SMD z obou stran. U vf obvodů tvoří druhá strana desky nejčastěji souvislou zemní plochu.

Pro ilustraci jsou na obr. 49 běžně používaná pouzdra součástek SMD (0805, 1206 – rezistory a kondenzátory, SOT23 – tranzistory).

Údaj o odporu rezistorů se značí třímístným nebo čtyřmístným číslem. První dvě až tři číslice udávají mantisu, poslední číslice znamená exponent desítkového násobitele. Např. označení 473 znamená $47 \cdot 10^3 = 47 \text{ k}\Omega$.

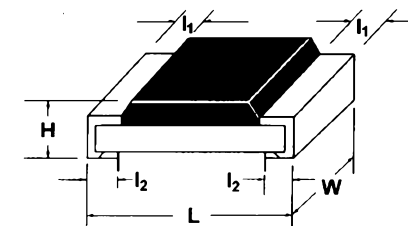
Kondenzátory (kromě elektrolytických) nejsou bohužel nijak značeny,

musíme je nakupovat a skladovat tak, aby se navzájem nezaměnily.

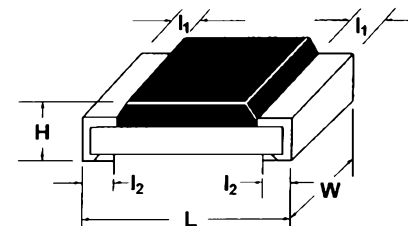
Domnívám se, že zvládnutí technologie SMT je v současné době nezbytností pro všechny, kteří chtějí držet krok s dobou. Mezi mnoha radioamatéry však panují v tomto směru určité předsudky, které bych chtěl tímto článkem rozptýlit. Zvyknout si na menší rozměry součástek není obtížné. Výhodou je snazší výměna rezistorů a kondenzátorů. Odměnou za překonanou námahu při zvládnutí nových postupů jsou výrazně menší rozměry realizovaného obvodu oproti klasické technologii. Domnívám se, že stojí za to překonat některé problémy s dostupností součástek, věřím, že se situace na trhu bude postupně zlepšovat.

Práce se součástkami SMD se však neobejde bez odpovídajícího vybavení a správných pracovních návyků.

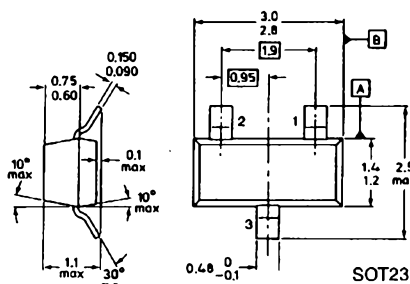
K pájení používáme nejčastěji cínovou trubičkovou pájku o průměru 0,8 mm. Pájecí plošky nejprve lehce pocínujeme. Potom na ně přiložíme příslušnou součástku. Držíme ji pinzetou a připájíme ji tak, aby nemohla vypadnout. Nakonec vezmeme do ruky cín, přiložíme jej k ploškám společně s hrotem páječky a zapájíme načisto všechny vývody. Kalafunu používáme jen výjimečně a v malém množství, v trubičkové pájce je totiž obsažená.



TYP	L	W	H	l ₁	l ₂
0805	2.00 ± 0.1	1.25 ± 0.1	0.50 ± 0.1	0.40 ± 0.2	0.40 ± 0.2



TYP	L	W	H	l ₁	l ₂
1206	3.20 ± 0.2	1.60 ± 0.1	0.55 ± 0.1	0.45 ± 0.2	0.40 ± 0.2



Obr. 49. Běžně používaná pouzdra součástek SMD (0805, 1206 a SOT23)

Při výměně rezistoru nebo kondenzátoru nejprve přidáme na oba konce více cínu. Potom střídavě zahříváme oba konce za současného tlaku pinzety z boku, až se součástka uvolní. Tak postupujeme, pokud nemáme speciální hrot, kterým zahřejeme oba vývody současně.

Po vypájení součástky odsajeme cín z pájecích plošek. K tomu použijeme jakýkoliv měděný kablík, složený z mnoha tenkých drátků.

Pokud jsou spoje vedeny pod součástkami (pod pouzdem 1206 lze vést pouze jeden spoj) a deska není chráněna nepájivou maskou, doporučuji izolovat kritická místa (průchody pod součástkami) barvou nebo lakem.

Některé z konstrukčních návodů, uveřejněných v tomto časopise, využívají technologie SMT. Na nich si můžeme názorně ukázat výhody SMD, především výrazné zmenšení rozměrů desek. To je důležité zvláště u obvodů, které umísťujeme do již hotových zařízení. Odpadají starosti s mechanickým uspořádáním, celý obvod může držet na diodě LED, upevněné objímkou k přednímu panelu.

Takové obvody jsou díky své jednoduchosti ideální k **vyzkoušení nových pracovních postupů**.

Aby změna nebyla zase příliš náhlá, jsou v popisovaných konstrukcích použity integrované obvody, LED a elektrolytické kondenzátory v klasickém provedení. LED v provedení SMD jsou příliš drahé, totéž platí o elektrolytických (tantalových) kondenzátorech. Pájení integrovaných obvodů SMD by napoprvé a třeba bez odpovídajícího vybavení nemuselo dopadnout dobře. Případná výměna integrovaného obvodu SMD vyžaduje speciální pájecí hroty, kterými je možné ohřát všechny vývody pouzdra obvodu současně.

Při technologii SMT se jako horní strana (top) desky považuje strana spojů se součástkami SMD. Klasické součástky jsou umístěny na spodní straně (bottom) desky a na osazovacím plánu jsou proto kresleny zrcadlově. Součástky SMD doporučuji osadit na desku jako první.

Teorie elektronické regulace teploty páječky

Kvalitní práci se součástkami SMD si nelze představit bez mikropáječky.

Transformátorová páječka, která patří ke standardnímu vybavení většiny radioamatérů, není pro tyto práce vhodná. Pro jemnou práci je příliš těžká a teplotu hrotu nelze regulovat. Příliš velké množství tepla potom může poškodit drobné součástky i plošné spoje.

Následující návod je určen těm, kteří si chtějí kvalitní mikropáječku pořídit svépomocí za vynaložení minimálních nákladů. Stačí totiž koupit pájecí pero s držákem. Zdroj napětí s re-

gulačným obvodem není obtížné si zhotovit svépomoci.

Vhodné je **pájecí pero PP 530**, které dodává spol. Diametral. Pero má maximální výkon 48 W při maximálním napětí 24 V. Pero obsahuje topné tělísko a termočlánek, které jsou vzájemně elektricky odděleny. Z pera vychází šňůra se čtyřmi vodiči, zakončená pětikolíkovou vidlicí.

Na kolíky 1 a 2 vidlice je připojeno topné tělísko, na kolík 4 je připojen záporný pól termočláneku a na kolík 5 kladný pól termočláneku. Kolík 5 je také elektricky spojen s hrotem.

Pomocí termočláneku se měří teplota pájecího hrotu. Termočlánek je v podstatě svar dvou drátů z různých kovů. Při zahřátí vzniká na rozhraní dvou kovů termoelektrické napětí. Termoelektrické napětí se zvětšuje lineárně s rostoucí teplotou. Tato závislost je dána fyzikálními zákony a nemá tedy žádné výrobní tolerance.

Podle údajů výrobce je při teplotě 37 °C termoelektrické napětí 0,8 mV, při teplotě 160 °C je termoelektrické napětí 5,7 mV a při teplotě 370 °C je termoelektrické napětí 14 mV. Proložíme-li těmito body přímkou, získáme závislost termoelektrického napětí na teplotě, kterou budeme dále používat při návrhu regulačního obvodu. Graf závislosti termoelektrického napětí U_t na teplotě je na obr. 50.

Chci tímto poděkovat spol. Diametral s. r. o. za poskytnutí technických údajů k pájecímu peru a za konzultaci ohledně problematiky pájení a mikropáječek.

Pro pájení se standardně používá pájka, složená ze 60 % cínu a 40 % olova (Sn60Pb). Pro různé speciální aplikace se ale mohou používat i jiné typy pájek (větší poměr množství cínu ku množství olova zvyšuje teplotu tání).

Ve vf technice se k pájení někdy používá slitina cínu s přídavkem india, protože lépe „drží“ na pozlacených plochách.

Běžná pájka se taví při 190 °C, doporučená teplota pájení je 270 až 330 °C. Při pájení např. stínících krytů nebo některých typů konektorů a přepínačů je z páječky značně odváděno teplo. K důkladnému prohřátí spoje je proto potřeba vyšší teplota hrotu. Pro-

Tab. 1. Závislost teploty hrotu na velikosti napájecího napětí

U_n [V]	9,6	10,0	10,5	10,8	11,6	12,3	12,6	13,6
U_t [mV]	9,5	10,2	10,3	11,8	12,2	12,6	13,7	15,3
T [°C]	255	267	280	285	308	325	332	357

Tab. 2. Časový průběh teploty hrotu po zapnutí napájecího napětí $U_n = 12,6$ V

Čas [min]	0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,5	5,5
U_t [mV]	0,4	2,9	4,7	6,0	7,1	8,2	9,2	10,7	11,7
T [°C]	25	86	132	167	196	223	245	285	310

Tab. 3. Časový průběh teploty hrotu po vypnutí napájecího napětí

Čas [min]	0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,5	6,0	8,0
U_t [mV]	11,8	10,8	9,6	8,5	7,4	5,8	4,4	3,2	2,2
T [°C]	313	290	256	230	202	162	122	92	67

to kvalitní mikropáječky umožňují nastavit teplotu hrotu až 450 °C.

Je možno říci, že pro většinu aplikací není teplota pájecího hrotu příliš kritická, rozdíly do 50 °C oproti nastavené teplotě jsou přijatelné.

Abychom posoudili správnost pájení, musíme kontrolovat vzhled spoje. Dobrý spoj musí být lesklý. Při příliš nízkých teplotách vzniká tzv. studený spoj, při příliš vysokých teplotách se pájka přepaluje, krystalizuje, spoj je matný a zkracuje se jeho životnost.

Pro návrh elektronického obvodu pro regulaci teploty pájecího hrotu je nutné zjistit závislost teploty T na napájecím napětí U_n . Pájecí pero připojíme ke zdroji napětí, které může být stejnosměrné i střídavé. Zdroj musí být schopen dodávat proud minimálně 1 A. Postupně po krocích zvětšujeme napětí zdroje, měříme termoelektrické napětí U_t a z něj podle grafu na obr. 50 určíme teplotu T pájecího hrotu. Naměřené hodnoty jsou v tab. 1.

Pro návrh regulačního obvodu je též nutné znát závislost teploty pájecího hrotu na čase při zapnutí a vypnutí napájecího napětí. Při měření této závislosti opět určujeme teplotu hrotu na základě termoelektrického napětí.

V tab. 2 je časový průběh teploty hrotu po zapnutí napájecího napětí $U_n = 12,6$ V. Zajímá nás především rozsah teplot 250 až 400 (max. 450) °C. Graf závislosti teploty hrotu na čase po zapnutí napájecího napětí je na obr. 51.

V tab. 3 je časový průběh teploty hrotu po vypnutí napájecího napětí $U_n = 12,6$ V. Graf tohoto průběhu je na obr. 52.

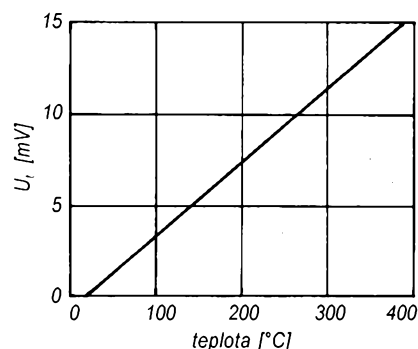
Při napájecím napětí $U_n = 12,6$ V odebírá topné tělísko pájecího hrotu proud 0,95 A. Napájecí proudy při jiných napájecích napětích můžeme přibližně vypočítat podle Ohmova zákona (změnu odporu topného tělíska v závislosti na teplotě zanedbáme).

Nejjednodušší mikropáječku vytvoříme tak, že připojíme topné tělísko ke zdroji stejnosměrného napětí. Napájecí napětí by mělo být regulovatelné a stabilizované, aby se neprojevovalo kolísání síťového napětí.

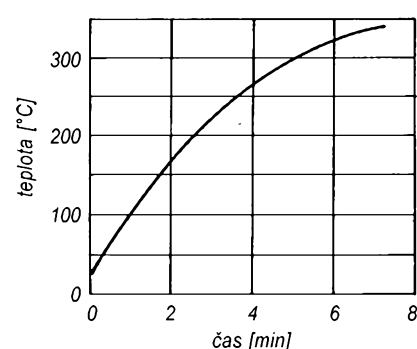
Případně můžeme použít střídavé napětí, zvolit vhodný typ transformátoru a správnou teplotu hrotu nastavovat přepínáním odboček vinutí nebo předřadným rezistorem (o odporu jednotek Ω , pro zatížení jednotkami W). Na takovém rezistoru by ale vznikala velká výkonová ztráta.

Nevýhodou tak jednoduchého zapojení by byla dlouhá doba ohřevu hrotu. Po zapnutí se výkon spotřebovává na zahřátí topného tělíska a teplota hrotu se exponenciálně blíží ustálené velikosti. Ustálené teploty se dosáhne, když elektrický příkon se rovná vyzářenému tepelnému výkonu. Při zapnutí a vypnutí páječky nastává přechodový jev, který připomíná nabíjení a vybíjení kondenzátoru přes rezistor.

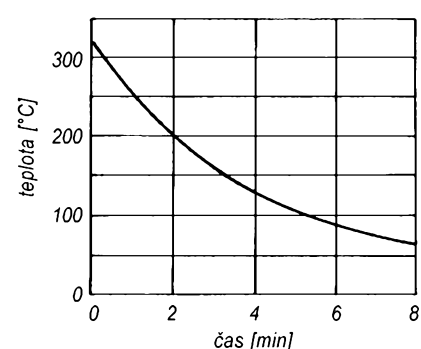
Při popsání způsobu napájení by teplota hrotu kolísala v závislosti



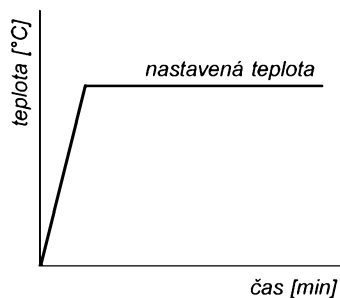
Obr. 50. Závislost termoelektrického napětí na teplotě



Obr. 51. Časový průběh teploty hrotu po zapnutí napájecího napětí $U_n = 12,6$ V



Obr. 52. Časový průběh teploty hrotu po vypnutí napájecího napětí



Obr. 53. Časový průběh teploty hrotu po připojení ke zdroji proměnného napětí s dostatečnou rezervou výkonu (ideální průběh regulace)

na způsobu práce s ním. Je-li hrot v kontaktu s dalšími předměty (např. při pájení stínících krytů nebo při rychlém a soustavném pájení), odvádí se z hrotu teplo a jeho teplota poklesne. To je jeden z důvodů, proč potřebujeme mít teplotu hrotu stabilizovanou pomocí zpětné vazby, jak bude dále popsáno.

Máme-li k dispozici regulovatelný zdroj s dostatečnou rezervou napětí a proudu (a tím i výkonu), můžeme dobu „nažhavení“ hrotu zkrátit. Po zapnutí připojíme větší napětí, počkáme až teplota hrotu dosáhne požadované velikosti a pak napětí zmenšíme tak, aby tato teplota zůstala zachována.

Průběh teploty hrotu v závislosti na čase po připojení ke zdroji proměnného napětí s dostatečnou rezervou výkonu (ideální průběh) je na obr. 53.

Ovládat velikost napájecího napětí hrotu ručně by nebylo pohodlné ani přesné. Můžeme si proto postavit jednoduchý regulátor, který tuto činnost provádí automaticky.

Schéma **jednoduchého regulátoru** je na obr. 54. Teplotu hrotu snímáme termočlánekem, kterým ji převedeme na napětí. Napětí z termočlátku potom upravíme operačním zesilovačem OZ1 a porovnáme komparátorem OZ2 s přednastaveným referenčním napětím. Po dosažení správné teploty se topení vypne.

K regulaci použijeme tranzistor ve spínacím režimu. Spojitý regulátor není zapotřebí, měl by zbytečně velký ztrátový výkon a bylo by jej nutno chladit velkým chladičem. K udržení konstantní teploty musí být hystereze

regulačního obvodu minimální. Jako porovnávací obvod použijeme operační zesilovač bez záporné zpětné vazby (jako komparátor), kdy je jeho citlivost maximální.

Jako spínací prvek použijeme tranzistor MOSFET BUZ10, i když je dražší než odpovídající bipolární tranzistor. Výhodou tranzistoru BUZ10 je jeho **malý odpor v sepnutém stavu**. Proto je na něm za provozu malý úbytek napětí a malá výkonová ztráta. BUZ10 neubírá páječce výkon a ušetříme chladič, který by zbytečně zvětšoval velikost přístroje a působil problémy při montáži do krabičky.

Uvedeme si nyní (pro snazší pochopení funkce) postup návrhu jednoduchého regulátoru.

Zesílení A_u zesilovače s OZ1 je dáno vztahem:

$$A_u = 1 + (R4/R3).$$

Zesílení A_u volíme co možná největší (minimálně $A_u = 100$), abychom v dalším stupni nemuseli kompenzovat vstupní napětíovou nesymetrii komparátoru s OZ2, a aby hystereze obvodu nemusela být příliš velká (bude vysvětleno dále). K R3 musíme přičíst paralelní kombinaci odporů R1 a R2 (viz. Theveninova věta). **Vstupní napětíovou nesymetrii OZ1, která má řádově velikost 1 mV, musíme kompenzovat trimrem P1.**

Děličem z rezistorů R1, R2, R10, R11 vytvoříme **umělou nulu**, tj. předpětí, které je rovné polovině napájecího napětí (případně může být poněkud menší). Odpory R10, R11 musí být zhruba 1000 krát menší než odpory R1 a R2, abychom trimrem P1 měnili napětí řádu jednotek mV. Odpor trimru P1 není kritický, ale měl by být co nejmenší, abychom jej mohli zanedbat při výpočtu zesílení OZ1 (volíme $P1 = 100 \Omega$). Odpory R1 a R2 volíme rovněž co možná nejmenší (s ohledem na odběr proudu), řádově 1 k Ω , aby byly menší než součet odporů $P2 + R6 + R7$.

Pokud napájíme topné těleso páječního hrotu ze zdroje střídavého nebo usměrněného a nevyhlazeného napětí, nesmíme zapomenout, že společně s malým stejnosměrným napětím z termočlátku prochází stejnou šňůrou velký proud o kmitočtu 50 nebo

100 Hz. Rušivé napětí, které se díky tomu indukuje do přívodních vodičů termočlátku, je potlačováno integračními články R4, C4 a R5, C5. Mezní kmitočet f_m článků je dán vztahem:

$$f_m = 1/(2 \cdot \pi \cdot R \cdot C).$$

V praxi volíme $f_m = 1$ až 10 Hz. Pokud napájíme topné těleso filtrovaným napětím, můžeme rezistor R5 nahradit zkratem a C5 vynechat.

Z obr. 50 přečteme závislost napětí termočlátku na teplotě, vynásobíme ji zesílením zesilovače s OZ1 a zjistíme tak závislost výstupního napětí OZ1 na teplotě.

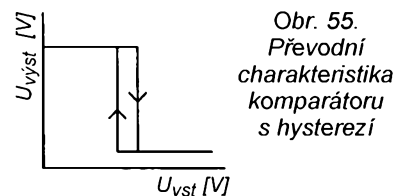
Pak navrhujeme dělič z rezistorů R6, R7 a potenciometru P2 tak, aby nejnižší požadovaná teplota (např. 250 °C) odpovídala minimálnímu nastavení P2 a nejvyšší požadovaná teplota (např. 400 °C) odpovídala maximálnímu nastavení P2. Případně můžeme rozsah nastavovaných teplot volit užší.

Zapojíme-li OZ2 jako **komparátor bez hystereze** (vynecháme R9), čeká nás nepříjemné překvapení. Obvod kmitá, což výrazně zvětšuje výkon, který se rozptyluje na spínacím tranzistoru T1. Spínací tranzistor bychom potom museli opatřit chladičem (o ploše 10 až 20 cm²), což by zvětšovalo rozměry celého regulátoru. Zapojit na výstup OZ2 kondenzátor o kapacitě 10 μ F proti zemi nebo zapojit kondenzátor o kapacitě 100 nF mezi výstup a invertující vstup OZ příliš nepomůže. Nezbyvá proto, než zapojit rezistor R9 (o odporu 1,5 M Ω), aby měl komparátor hysterezi. Hystereze však způsobuje kolísání teploty hrotu, které je tím větší, čím je větší hystereze.

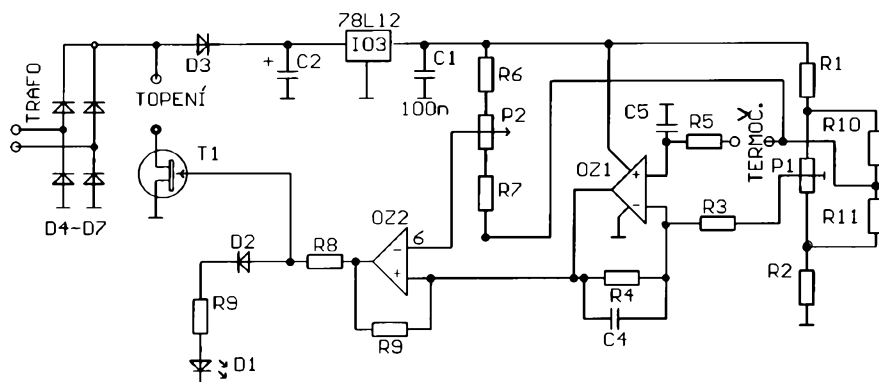
Převodní charakteristika komparátoru s hysterezí je na obr. 55.

Když jednoduchý regulátor podle obr. 54 testujeme, zjistíme, že průběh regulace teploty (viz obr. 56) není zrovna ideální.

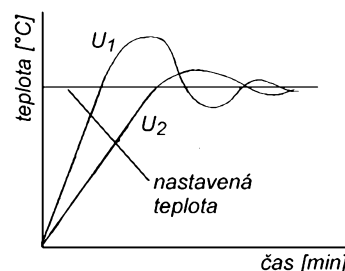
Jednotlivé dily páječního pera mají totiž určitou **tepelnou setrvačnost** a při přenosu tepla od topného tělesa



Obr. 55. Převodní charakteristika komparátoru s hysterezí



Obr. 54. Jednoduchý regulátor



Obr. 56. Časový průběh teploty u regulátoru podle obr. 54 při různých napájecích napětích U_1 a U_2

k termočlánu nastává tzv. **dopravní zpoždění**.

Jedná se o soustavu, kterou popisujeme diferenciální rovnicí 2. řádu. V tomto článku se chci obejít bez vyšší matematiky a dívat se na celý problém pouze z praktické stránky. K matematické analýze bychom potřebovali znát více technologických údajů.

Při napájecím napětí topného tělíska 23 V se hrot ohřeje na 300 °C velmi rychle, asi za 40 s. Vlivem setrvačnosti a zpoždění se však hrot přehřeje a trvá zhruba jednu až dvě minuty, než zchladne natolik, aby nastal další ohřev. Další ohřevy trvají vždy jen velmi krátce a mezi nimi je pauza zhruba jedna minuta. Zjistit přesně, jak při popsaném ději kolísá teplota hrotu, jsem neměl možnost.

Bylo by třeba měřit teplotu hrotu kontaktním teploměrem. Z průběhu napětí na hrotu při chladnutí snadno odhadneme, že krátce po zapnutí se hrot přehřeje až o 100 °C vzhledem k nastavené teplotě, takže jeho teplota kolísá o více než 50 °C. Vůči pistolové páječce je to sice změna k lepšímu, ale k profesionální kvalitě má takový regulátor daleko.

Při napájecím napětí topného tělíska 17 V trvá ohřev 90 až 110 s. První překmit trvá zhruba 1 minutu. Další překmity trvají 40 až 50 s. To odpovídá kolísání teploty hrotu přibližně o 30 až 40 °C.

Existují pájecí pera s mnohem menší setrvačností a s dobou ohřevu několik sekund. Jejich cena je však příliš vysoká.

Z uvedených skutečností vyplývá, že **jednoduchým regulačním obvodem nelze splnit všechny požadavky v potřebné kvalitě současně.**

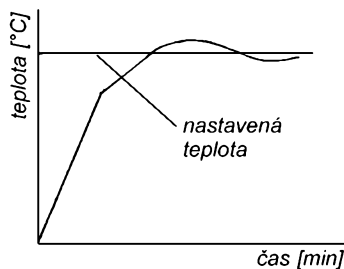
Při menším napájecím napětí (13 až 17 V) bude teplota hrotu kolísat jen málo, ale hrot se bude déle ohřívat a bude mít malý tepelný výkon.

Při větším napájecím napětí se bude hrot ohřívat rychle a bude mít velký tepelný výkon, ale jeho teplota bude značně kolísat.

Napájecí napětí pro řídicí obvod musíme filtrovat kondenzátorem C2 a doporučuji je stabilizovat monolitickým stabilizátorem IO3. Když přivádíme na napájecí svorky TRAFU střídavé napětí menší než 12 V nebo stejnosměrné napětí menší než 16 V, doporučuji použít stabilizátor 78L10, aby byla dostatečná rezerva velikosti vstupního napětí stabilizátoru.

Vidíme, že nejjednodušší a nejlevnější řešení řídicího obvodu nemusí být vždy kvalitní, ať už si páječku koupíme, nebo sami vyrobíme. Vždy se vyplácí dát přednost dokonalejšímu výrobku nebo zapojení.

Měl jsem možnost posuzovat několik různých typů mikropáječek. Myslím, že české výrobky jsou dostatečně kvalitní a plně se vyrovnají výrobkům renomovaných zahraničních firem.

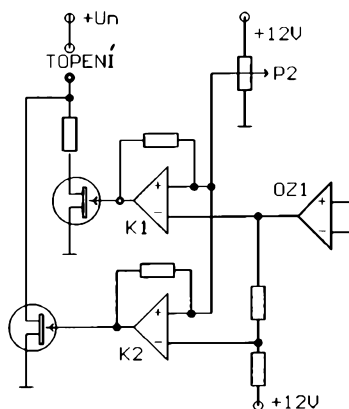


Obr. 57. Časový průběh teploty při dvoustupňové regulaci

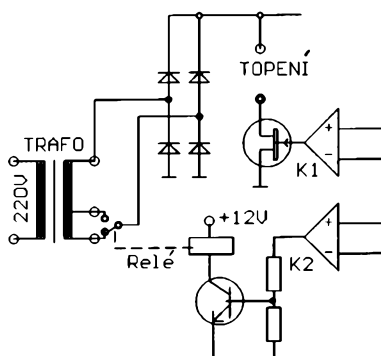
Nyní si ukážeme různé další principy zapojení regulátorů. Věnuji jim zde více místa, protože jsou zajímavé z teoretického hlediska, a protože je můžeme využít i v jiných aplikacích, jako např. při regulaci teploty v místnosti nebo při regulaci jiných neelektrických veličin.

Součet výhod, které poskytuje napájení hrotu velkým a malým napětím, získáme použitím **dvoustupňového regulátoru**. Po zapnutí se hrot rychle ohřeje velkým výkonem při velkém napájecím napětí. Po dosažení teploty např. o 50 °C menší, než je teplota nastavená (podle napětí na termočlánu), se dodávaný výkon zmenší, např. přepnutím na menší napájecí napětí. Tím se minimalizuje překmit teploty hrotu a omezí kolísání teploty hrotu.

K realizaci dvoustupňového regulátoru musíme použít dva komparátory, které ovládají dva spínací prvky. Vstupní obvod je stejný jako v před-



Obr. 58. Princip zapojení dvoustupňového regulátoru



Obr. 59. Dvoustupňový regulátor s přepínáním vinutí transformátoru

chozím případě. Vstupní napětí pro druhý komparátor zvětšíme např. odporovým děličem, na který zavedeme kladné napájecí napětí.

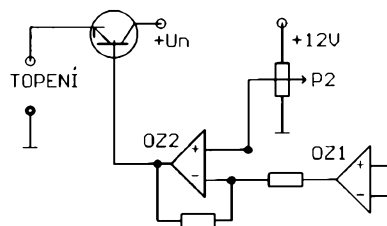
Výkon topného tělíska zmenšíme buď přidáním rezistoru do série s tělískem (na rezistoru se rozptýluje výkon zhruba 5 W) nebo přepnutím vinutí transformátoru (je nutno použít přepínací relé).

Další variantou řešení je **spojitý regulátor**. Na rozdíl od původního zapojení je OZ2 zapojen jako rozdílový zesilovač s konečným zesílením.

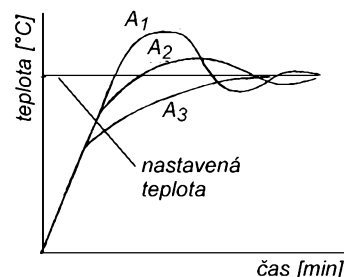
Principiální schéma zapojení spojitěho regulátoru je na obr. 60. Pokud je teplota hrotu výrazně nižší než nastavená teplota, je na výstupu OZ2 maximální napětí a topné tělísko má maximální výkon. S rostoucí teplotou se výstupní napětí OZ2 zmenšuje, a tím se zmenšuje i výkon tělíska. V ustáleném stavu je teplota hrotu konstantní.

Tranzistor, přes který se přivádí proud do tělíska, pracuje jako proměnný odpor a dělí se s topným tělískem o výkon (podobně jako u stabilizátoru napětí). Při napájecím napětí $U_n = 24$ V bude na tranzistoru úbytek napětí přibližně 12 V a při proudu tělískem asi 1 A bude výkonová ztráta tranzistoru asi 12 W. K rozptýlení takového výkonu je nutný chladič o ploše 0,8 až 1 dm², chladič musí být černěný a umístěn ve svislé poloze. Mechanická konstrukce takového obvodu by jistě nebyla bez problémů.

Chování spojitěho regulátoru po zapnutí napájecího napětí závisí (kromě na dalších parametrech, které nemůžeme ovlivnit) na zesílení operačních zesilovačů OZ1 a OZ2. Časové průběhy teploty při spojitě regulaci jsou pro různé zesílení OZ1 a OZ2 na obr. 61.



Obr. 60. Princip spojitěho regulátoru



Obr. 61. Časové průběhy teploty při spojitě regulaci a při různém zesílení OZ1 a OZ2. A1 - velké zesílení, A2 - optimální zesílení (kritické tlumení) a A3 - malé zesílení

Při velkém zesilení ve smyčce teplota hrotu po zapnutí napájecího napětí překmitne (obvod se chová podobně jako komparátor) - viz průběh A1 na obr. 61, při malém zesilení je náběh teploty pomalý - viz průběh A3. Nejrychlejší náběh teploty s minimálním překmitem (teoreticky bez překmitu) je při optimálním zesilení - viz průběh A2.

Optimální zesilení můžeme zjistit buď experimentálně (zesilení plynule měníme tak, až najdeme minimální překmit a minimální dobu ustálení), nebo použijeme následující úvahu.

Uvážíme, že v obvodu s komparátorem je překmit teploty asi 100 °C a zjistíme, jaká změna napětí na vstupu OZ1 odpovídá tomuto překmitu. Pak vypočítáme zesilení OZ1 tak, aby OZ1 přešel z oblasti saturace do aktivní oblasti při teplotě o 100 °C nižší, než je nastavená požadovaná teplota.

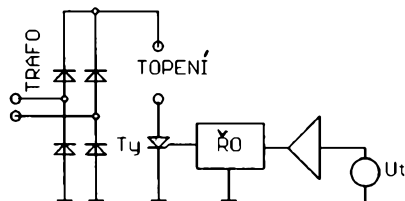
Využití výhodu spojitého regulátoru (konstantní teplota hrotu) a odstranění jeho nevýhodu (velká výkonová ztráta regulačního tranzistoru) umí regulátor s **fázovým řízením výkonu**.

Blokové schéma fázového regulátoru s tyristorem je na obr. 62a, blokové schéma fázového regulátoru s trikem je na obr. 62b.

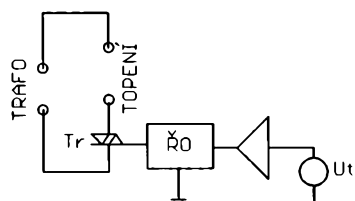
Topné tělísko připojujeme k napájecímu napětí přes tyristor (pokud je napětí usměrněné můstkovým usměrňovačem) nebo přes triak (pokud je napětí střídavé). Řídicí obvod otvírá tyristor nebo triak po dobu části periody síťového napětí. Doba otevření určuje řídicí obvod na základě napětí z termočlánku tak, aby teplota hrotu byla konstantní.

Průběhy napětí na zátěži při fázovém řízení výkonu tyristorem nebo trikem jsou na obr. 63a a obr. 63b.

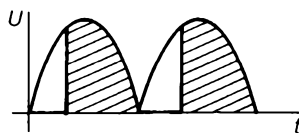
U regulátorů s fázovým řízením výkonu si však musíme dát pozor na rušení, jehož příčinou jsou strmé náběžné hrany napětí a proudu topného tělíska. Abychom rušení odstranili, musíme do napájecího přívodu zařadit filtr LC. Rušení (v pásmu kmitočtů nad



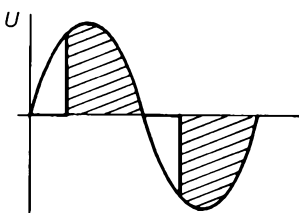
Obr. 62a. Blokové schéma fázového regulátoru s tyristorem



Obr. 62b. Blokové schéma fázového regulátoru s trikem



Obr. 63a. Napětí na zátěži při fázovém řízení výkonu tyristorem



Obr. 63b. Napětí na zátěži při fázovém řízení výkonu trikem

100 kHz) však může vyzařovat i topné tělísko. Každý výrobek by měl mít zařazenou tzv. elektromagnetickou kompatibilitu (EMC). Měření v oboru EMC je však náročné na vybavení měřicími přístroji.

Zkouška přístroje z hlediska odrušení stojí ve státní zkušebně (EZÚ) od 10 000 Kč výše. Je tedy pro amatéry nedostupná. Částka za zkoušku rovněž přesahuje finanční možnosti většiny autorů konstrukčních návodů (honoráře za publikační činnost jsou mnohem nižší). Nelze se proto automaticky spolehat, že uveřejněné návody tohoto typu jsou z hlediska odrušení v pořádku.

Rušivé napětí by v regulátoru pro páječku bylo sice částečně potlačeno v transformátoru, přesto si myslím, že by zapojení tohoto typu měla být používána jen v profesionálních výrobcích. Amatérům, kteří jsou jiného názoru a používají zapojení s fázovým řízením výkonu (např. regulátor výkonu žárovky, vrtáčky apod.) chci dát dvě rady:

- 1) Odrušovací tlumivky a kondenzátory není nikdy dost.
- 2) Je nutné vyzkoušet odrušení alespoň pomocí rozhlasového přijímače. Rušení se nejvíce projevuje na rozsazích DV a SV.

Regulátor s fázovým řízením výkonu má pro nás ještě jednu nevýhodu. Není univerzální, takže jej nelze napájet ze zdroje stejnosměrného napětí. Tyristor a triak se totiž vypínají pouze při průchodu napájecího napětí nulou.

Problémům s rušením se vyhneme, postavíme-li triakový (tyristorový) regulátor se **spínáním v nule**. Takový regulátor pustí do zátěže buď celou nebo žádnou půlvlnu střídavého napětí. Rušení tak vůbec nemůže vzniknout, páječku můžeme používat i v blízkosti vf obvodů.

Jako spínací prvek můžeme využít optotriak se spínáním v nule, který však má vůči běžným typům tranzistorů nebo tyristorů poněkud vyšší cenu.

Páječku s tímto typem regulace vyrábí česká společnost Diametral pod názvem **SLB 530.1A**.

Nejdokonalejší regulátor postavíme s využitím **mikroprocesoru**. Blokové schéma regulátoru s mikroprocesorem je na obr. 64.

Zesílené napětí z termočlánku a pomocné napětí z potenciometru P2, které odpovídá nastavené teplotě hrotu, se vede přes multiplexer MPX a převodník A/D do mikroprocesoru μP . Mikroprocesor na základě řídicího programu spíná spínač S tak, aby byl vykompenzován vliv zpoždění a tepelné setrvačnosti hrotu.

S dobrým programem lze dosáhnout ideálního průběhu regulace (viz obr. 53). Nastavenou a skutečnou teplotu hrotu zobrazíme na displeji.

Regulátor s mikroprocesorem je nejdokonalejší typ regulátoru. Při amatérské realizaci tohoto typu bych doporučoval použít mikroprocesor PIC16C71, který v sobě obsahuje osmibitový převodník A/D s čtyřnásobným multiplexerem. Nevýhodou je nezanedbatelná cena mikroprocesoru a nutnost jej naprogramovat. Vývoj programu není rovněž snadný. Kvalitní programy jsou schopné se „učit“, tzn. zjistit vlastnosti prostředí a přizpůsobit mu průběh regulace. Amatérská realizace takového regulátoru není snadná ani levná.

Popis regulátoru V99 teploty mikropáječky

Většinu typů regulátorů jsem v předchozím textu popsal z teoretických důvodů, nikoliv jako návody k realizaci.

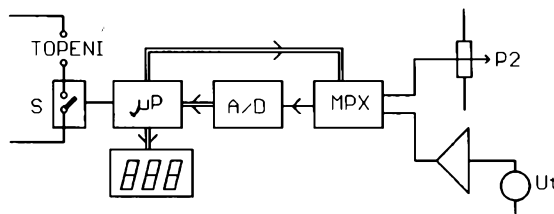
Pro potřeby radioamatérů jsem vyvinul kvalitní regulátor V99 pro mikropáječku s co možná nejjednodušším zapojením, s minimálními pořizovacími náklady, s malými rozměry a s jednoduchým nastavením.

Blokové schéma regulátoru V99 je na obr. 65.

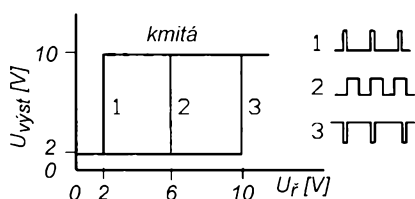
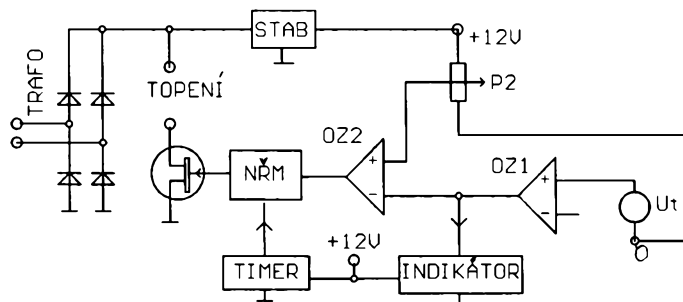
V tomto zapojení je **spínací tranzistor buzen z napětím řízeného multivibrátoru (NRM) s OZ3**. Kmitočtový multivibrátor je ovládán řídicím napětím z výstupu operačního zesilovače OZ2.

Řídicímu napětí přibližně +2 V odpovídá nízké saturační napětí (asi +2 V) na výstupu OZ3, při kterém je spínací tranzistor (MOSFET) vypnut. Při řídicím napětí asi 10 až 11 V je výstup OZ3 ve vysoké saturaci. Na vý-

Obr. 64. Blokové schéma regulátoru s mikroprocesorem



Obr. 65.
Blokové
schéma
regulátoru
V99



Obr. 66. Průběh napětí na výstupu
napětím řízeného multivibrátoru
v závislosti na řídicím napětí

stupu OZ3 je saturační napětí 10 až 11 V a spínací tranzistor je sepnut.

Když je na výstupu OZ2 řídicí napětí asi 6 V, je na výstupu NŘM obdélníkové napětí o kmitočtech přibližně 1 Hz se střídou 1:1. Při zvětšování řídicího napětí se mění střída kmitání a prodlužuje se doba sepnutí tranzistoru. Při zmenšování řídicího napětí se naopak zkracuje doba sepnutí tranzistoru. Průběh napětí U_{vyst} na výstupu NŘM v závislosti na řídicím napětí U_f je na obr. 66.

Schéma regulátoru V99 je na obr. 67, schéma indikátoru teploty, který je součástí regulátoru, je na obr. 68.

Zapojení vstupního zesilovače přibližně odpovídá popisu jednoduchého regulátoru na str. 22.

Operační zesilovač OZ2 je zapojen jako zesilovač spojitého signálu. Při nízké teplotě hrotu je na výstupu OZ2, a tím i na výstupu NŘM s OZ3, vysoká úroveň napětí, tranzistor je otevřen a ohřev probíhá s maximální rychlostí.

Přiblíží-li se teplota termočlánku nastavené hodnotě (teplota hrotu je o něco vyšší) napětí na výstupu OZ2 se zmenší. NŘM s OZ3 začne kmitat a výkon se omezi. Perioda NŘM je přibližně 10x kratší než časová konstanta tepelné setrvačnosti pájecího pera. Proto při tomto způsobu regulace teploty hrotu nekolísá. Střída kmitání multivibrátoru se sama nastaví tak, aby se vytvořil stav rovnováhy.

Na výstupu NŘM je zapojena LED D3, abychom stav regulátoru mohli kontrolovat.

Při napájení regulátoru střídavým napětím 23 V ze síťového transformátoru o výkonu 30 W je v rovnovážném stavu na výstupu OZ2 typické napětí -3,6 V oproti středu napájecího napětí.

Regulátor V99 nemá nevýhody těch typů regulátorů, které byly uvedeny v kapitole o teorii elektronické regulace teploty páječky.

Výkon, rozptýlovaný spínacím tranzistorem regulátoru V99 je minimální, chlazení tranzistoru proto není zapotřebí. Na výstupu multivibrátoru nemůže být neurčitá úroveň napětí. Kmitočet multivibrátoru je natolik nízký, že případné rušení je zanedbatelné. Pro jistotu je možné přidat filtrační kondenzátor C8, aby se omezily proudové nárazy do sítě. To vše je dosaženo při minimálních nákladech.

Domnívám se že **každá mikropáječka by měla důrazným způsobem indikovat zapnutý stav.** Jinak ji při práci zapomeneme vypínat, což nám bude zkracovat její životnost a zvětšovat spotřebu elektřiny. **Zapomenutá zapnutá páječka může být i příčinou úrazu nebo požáru.**

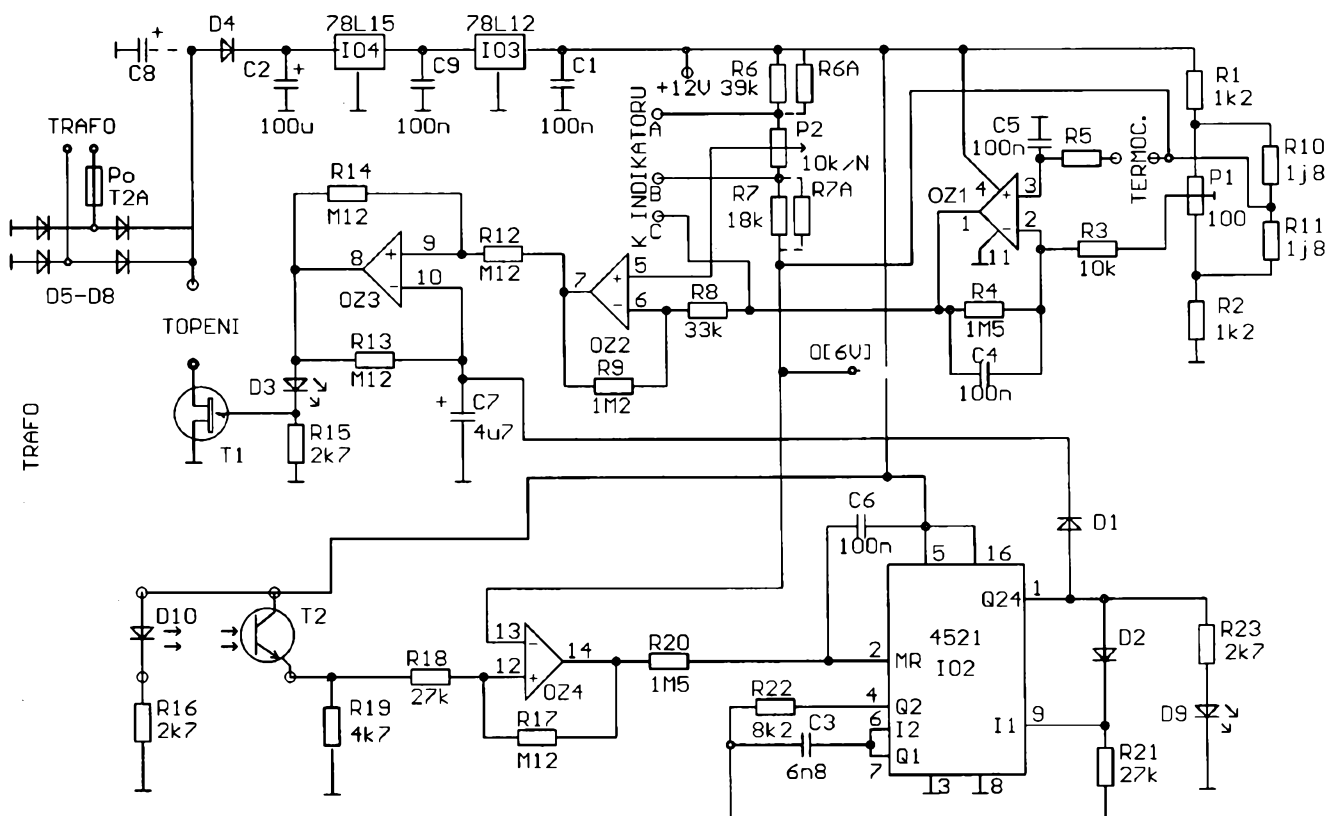
U mnoha továrně vyráběných páječek není problém indikace zapnutého stavu uspokojivě vyřešen. Jedinou indikací zapnutí je LED, která svítí pouze při zapnutém topení.

Vyřešit tento problém můžeme různými způsoby, které byly v literatuře mnohokrát popsány. Proto způsoby řešení jen stručně připomenou.

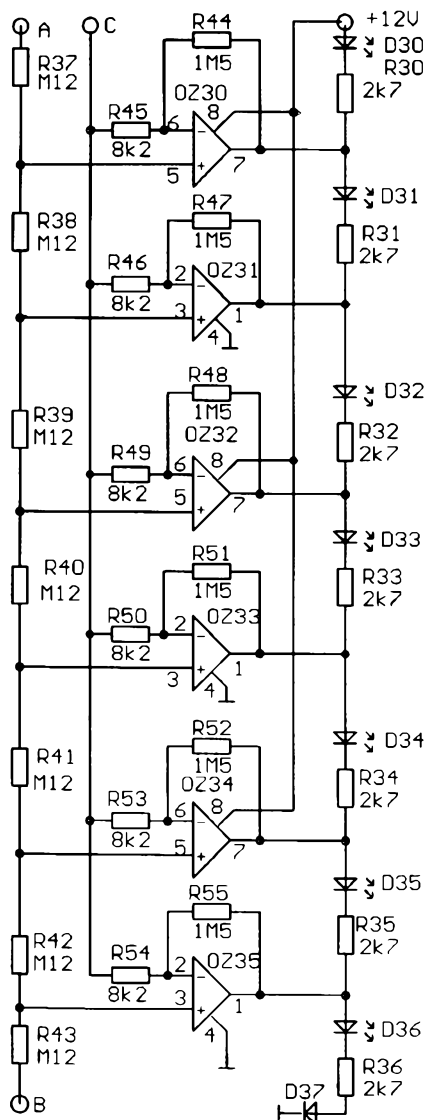
Stav zapnutí můžeme např. indikovat diodou BLIK.

K indikaci můžeme použít též blikáč s obvodem 555 v základním zapojení s diodou LED (viz lit. [1]).

Jako indikační blikáč můžeme zapojit volný operační zesilovač, který zbývá v pouzdru čtyřnásobného OZ.



Obr. 67. Regulátor V99 teploty mikropáječky



Obr. 68. Indikátor teploty k regulátoru V99

Schéma blikáče je shodné se zapojením NRM s OZ3 na obr. 67. Rezistor v blikáči, odpovídající rezistoru R12 v NRM, připojíme na polovinu napájecího napětí.

V [1] je publikováno zapojení metronomu s NE 556, které po malé úpravě může generovat každou minutu krátké pípnutí.

V regulátoru V99 je, stejně jako u nejkvalitnějších profesionálních výrobků, použito **automatické vypínání páječky**, pokud není pájecí pero po dobu 5 až 10 minut vyjmuto ze stojánku.

Příkladem výrobku s automatickým vypínáním je mikropáječka SBL 530.1B, kde však automatické vypínání pracuje na jiném principu, než dále popisují.

V regulátoru V99 využívám časovače CMOS 4521 (IO2), který obsahuje oscilátor a dvacetitýřustupový binární čítač (dělič kmitočtu).

Po zapnutí napájecího napětí je čítač vynulován úrovní H na vstupu MR (vývod 2) impulsem přes C6. Pokud není pájecí hrot ve stojánku, je obvod nulován přes OZ4 úrovní H. Pokud je

hrot ve stojánku, oscilátor a čítač běží. Kmitočet oscilátoru je dán vzorcem:

$$f = 1/(2,3 \cdot R22 \cdot C3).$$

Objevi-li se na výstupu Q24 časovače (na vývodu 1 IO2) úroveň H, zablokuje se přes D2 oscilátor časovače a čítání skončí. Zároveň se vypne topení a rozsvítí se LED D9.

Pokud např. chceme, aby se na výstupu Q24 objevila úroveň H po pěti minutách (tomu odpovídá perioda $T = 10 \text{ min.} = 600 \text{ s}$ a z periody odvozený kmitočet $f = 0,00166 \text{ Hz}$), musí být při dělicím poměru $2^{24} = 16772216$ kmitočet oscilátoru časovače 28 kHz. V oscilátoru zvolíme odpor R22 řádu desítek kΩ a dopočítáme kapacitu kondenzátoru C3.

K detekci polohy pájecího pera je použita optická závora s fototranzistorem T2 a LED D10 (T2 i D10 musí pracovat na stejné vlnové délce záření, nejlépe v infračerveném pásmu).

Součástky T2 a D10 jsou zasunuty každá do jednoho konce kovové trubičky. Trubička je upevněna ke stojánku tak, aby se pájecí hrot o ni opíral. V místě doteku s pájecím perem je trubička opatrně naříznuta (nesmí se zlomit). Pájecí hrot při zasunutí do stojánku prochází trubičkou a přerušuje paprsek mezi LED a fototranzistorem.

Při přerušení paprsku se fototranzistor uzavře a na výstupu OZ4 bude úroveň L. Operační zesilovač OZ4 je zapojen jako komparátor s hysterezí, aby na jeho výstupu byla vždy definovaná úroveň H nebo L (na vstup obvodu CMOS se nesmí přivést po delší dobu polovina napájecího napětí, potom vzrůstá odběr proudu a hrozí, že se obvod poškodí).

Pozor! Pájecí pero je vodivé spojeno s termočlánekem. Aby obvod správně fungoval, musí být LED D10 i fototranzistor dobře izolovány od trubičky. Trubička musí mít vnitřní průměr minimálně 6 mm. Pájecí pero se smí dotýkat pouze hrany trubičky, aby se trubička příliš nezahřívala, a aby se LED nebo fototranzistor nepoškodily.

Trubička (optická závora) ve stojánku drží i bez přichycení, po odzkoušení ji můžeme upevnit např. kous-

kem vázacího drátu (trubičku na obou koncích provrtáme tenkým vrtákem a drát upevníme ke stojánku např. epoxydovou pryskyřicí).

Součástí regulátoru V99 je indikátor teploty hrotu (obr. 68), který je tvořen řadou LED. Počet LED si můžeme zvolit prakticky libovolně s ohledem na rozměry krabičky, do které chceme obvod umístit.

V popisovaném indikátoru jsou OZ zapojeny jako spojitě zesilovače (nikoli komparátory), na které se přivádí zesílené napětí z termočlánu (z výstupu OZ1 regulátoru) a referenční napětí z odporového děliče R6, P2, R7 regulátoru. Když dosáhnou napětí na obou vstupech jednotlivých OZ indikátoru shodné velikosti, svítí současně obě LED, zapojené k příslušnému OZ. Počet indikovaných úrovní teploty se tak při stejném počtu LED zvětší téměř dvojnásobně. Velikosti odporů R30 až R36 na obr. 68 jsou vhodné pro LED s větší účinností.

Použitý způsob indikace teploty je rozměrově i finančně méně náročný než číslíková indikace teploty.

Pro větší přehlednost jsou součástky indikátoru očíslovány čísly od třiceti výše.

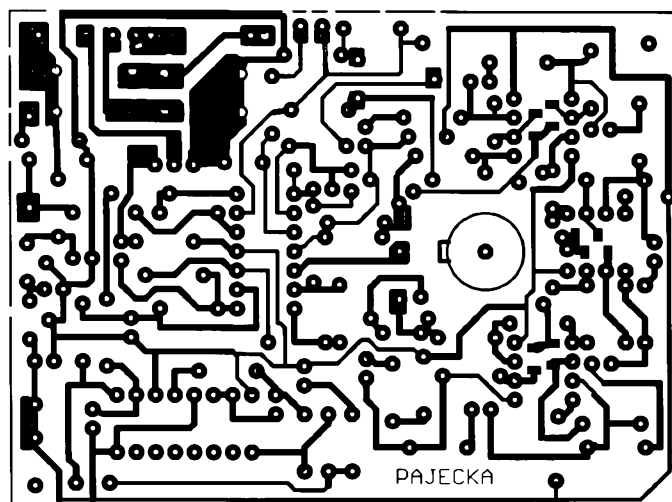
Stavba regulátoru V99

Všechny součástky regulátoru V99 včetně indikátoru teploty hrotu jsou umístěny na desce s plošnými spoji. Obrázec plošných spojů je na obr. 69, rozmístění součástek na desce je na obr. 70, rozmístění součástek SMD na desce na straně spojů je na obr. 71.

Věřím, že ti, kteří si tento přístroj budou stavět, se nebudou bát používat součástky SMD. Proto jsem je v této konstrukci v několika případech použil. Integrované obvody, kondenzátory, diody a většina rezistorů je pro jistotu v klasickém provedení.

Rozměry desky jsou poměrně malé i při rozumné hustotě součástek a větší šířce spojů. Žádné spoje nevedou mezi nožičkami integrovaných obvodů, ani mezi ploškami součástek SMD. Pouze několik rezistorů bude nutno zapájet nastojato nebo jim bude nutno

Obr. 69. Obrázec plošných spojů regulátoru V99 (1:1)



ohnout vývody. I bez použití nepájivé masky proto bude pro většinu zájemců osazování desky jistě bez problémů. Potenciometr P2 a všechny LED jsou umístěny přímo na desce.

Součástky můžeme na desku pájet pájecím perem, které připojíme ke zdroji konstantního napětí.

Rozměry desky jsou navrženy pro vestavění do skříňky U6, ve které je navíc dostatek místa pro síťový transformátor. K vrtání děr do předního panelu skříňky použijeme vrtací šablonu, která je na obr. 72. Na přední panel nalepíme štítek s popisem, návrh štítku je na obr. 73.

Deska regulátoru má velmi malé rozměry a s použitím dvou distančních trubiček ji můžeme přišroubovat i do jakékoliv jiné vhodné skříňky, třeba i do již hotového napájecího zdroje. I zde využijeme vrtací šablonu z obr. 72 a návrh štítku s popisem na obr. 73.

Konstrukce optické závory, umístěné na odkládacím stojánku pro pájecí pero, je zřejmá z popisu funkce optické závory a obvodu pro automatické vypínání páječky. Náčrtek optické závory je na obr. 74.

Na desce regulátoru je místo i pro usměrňovač, takže regulátor můžeme připojit přímo k sekundárnímu vinutí vhodného transformátoru. Filtrovat stačí pouze napětí pro řídicí obvod (k tomu slouží dioda D4 a kondenzátor C2), do topného tělíska můžeme pouštět pulzující napětí.

Páječku můžeme napájet i z jiného přístroje (laboratorní zdroj napětí, nabíječka, zesilovač), pokud z něj můžeme odebírat proud alespoň 1,5 A (minimálně 1 A, nejlépe 2 A, dosažitelný proud má vliv na dobu ohřevu a na vyzařovaný tepelný výkon hrotu).

Síťový transformátor pro páječku by měl mít sekundární napětí maximálně 24 V a měl by být pro výkon 50 W. Menší napětí a výkon nejsou na závadu (postačí sekundární napětí 13 V a výkon 15 W), prodlouží se však doba ohřevu páječky.

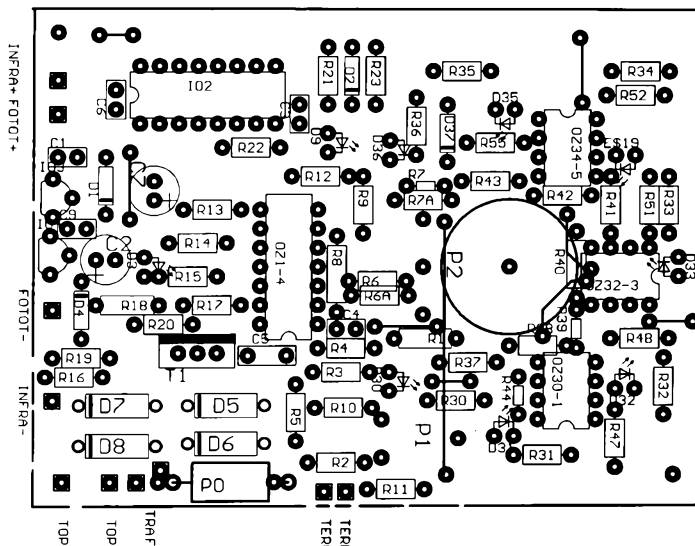
Do skříňky U6 je možné umístit transformátor s výkonem 30 až 40 W, do skříňky U61 (stejná jako U6, ale vypouklý spodní kryt má z plastické hmoty) se vejde transformátor ještě o něco větší...

Do skříňky je nutno umístit douplový síťový spínač a dva pětipólové konektory. Připojení k síti doporučuji provést třížilovou šňůrou, ochranný vodič se spojí se záporným pólem napájecího napětí (ochrana před statickým napětím).

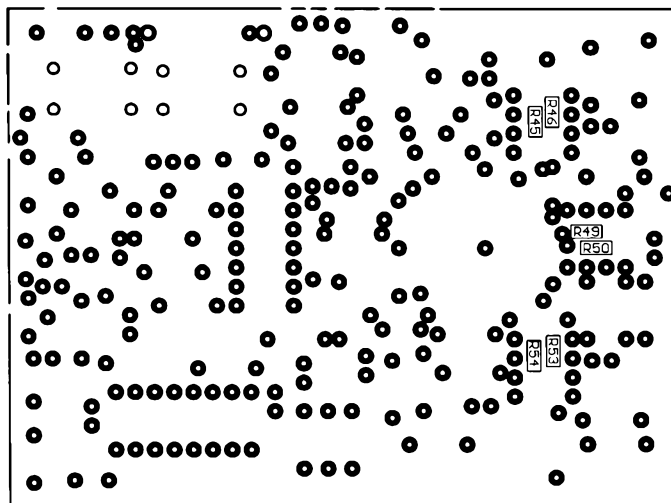
Transformátor, který jsem použil, a který bude součástí dodávané stavebnice, má výstupní napětí naprázdno 23 V. Při zatížení topným tělískem se napětí transformátoru zmenší na 20 V a doba ohřevu se tak prodlouží asi o 30 s.

Regulátor V99 je vhodný i pro použití ve školních dílnách, kde je zpravidla vybudován rozvod napětí 24 V.

Obr. 70.
Rozmístění
součástek
na desce
regulátoru
V99
- pohled
na stranu
součástek



Obr. 71.
Rozmístění
součástek
SMD
na desce
regulátoru
V99
- pohled
na stranu
spojů



Oživení regulátoru V99

Osazenou desku důkladně překontrolujeme.

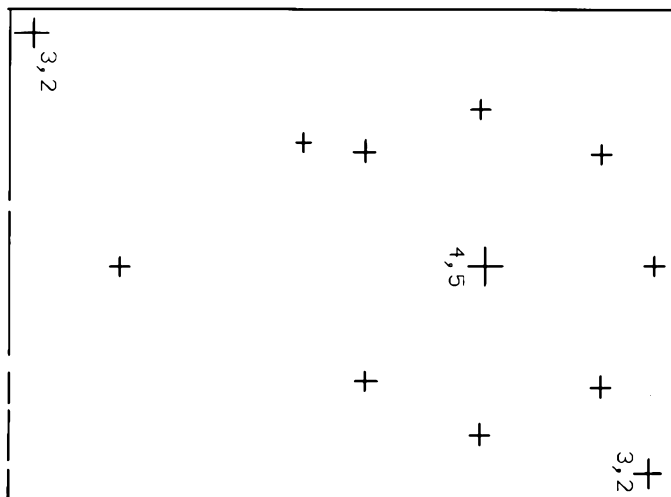
Pak k desce opatrně připojíme stejnosměrné napájecí napětí z regulovaného zdroje s proudovou pojistkou (napětí postupně zvětšujeme od nuly).

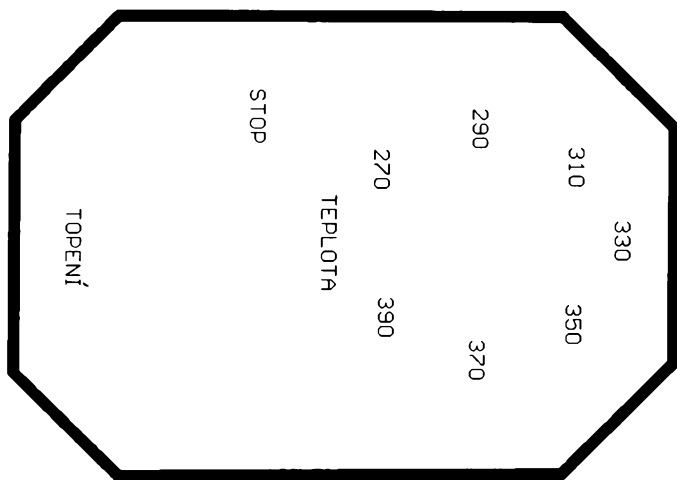
Topné tělísko necháme nejprve nezapojené, aby jeho teplota byla stejná, jako teplota okolí. Trimrem P1 nastavíme nulové napětí na výstupu

OZ1 vůči polovině napájecího napětí z děliče R10 a R11. Ověříme vypočtené velikosti napětí na děliči pro indikatory a na potenciometru. Měříme-li napětí na na neinvertujících vstupech OZ30 až OZ36, je měření zatíženo značnou chybou i při použití moderního měřicího přístroje s velkým vstupním odporem.

Připojíme topné tělísko a zkontrolujeme funkci obvodu. Měřením ověříme, zda zesílení OZ1 odpovídá vypočtené hodnotě.

Obr. 72.
Vrtací
šablona
pro přední
panel
regulátoru
V99





Obr. 73.
Návrh štítku
s popisem
předního
panelu
regulátoru
V99

Změříme napětí na R19 a případně upravíme odpor R19 tak, aby OZ4 při vkládání pájecího pera do držáku spolehlivě překlápěl. Pokud je pájecí pero v držáku, mělo by být napětí na R19 výrazně větší než +6 V (polovina napájecího napětí), při vytažení pera z držáku musí být napětí na R19 výrazně menší než +6 V.

Při případných úpravách časovače můžeme pro úsporu času měřit napětí na výstupu Q18 obvodu IO2, časový interval je pak 64x menší.

Výpočet součástek

Zvolíme odpory R1 a R2 co možná nejmenší ($R1 = R2 = 1,2 \text{ k}\Omega$). R10 a R11 zvolíme o tři řády menší než R1 a R2 ($R10 = R11 = 1,8 \Omega$). Odpor potenciometru P1 zvolíme minimální ($P1 = 100 \Omega$).

Odpor R4 zvolíme řádu jednotek M Ω ($R4 = 1,5 \text{ M}\Omega$). Určíme odpor R3 tak, aby se při změnách teploty pájecího hrotu v požadovaném rozsahu teplot (250 až 450 °C) pohybovalo napětí na výstupu OZ1 v rozmezí +7 až +10 V. Při výpočtu zesílení zesilovače s OZ1 musíme vzít v úvahu, že k odporu R3 musíme přičíst vnitřní odpor děliče s R1, P1 a R2.

Určíme-li $R3 = 10 \text{ k}\Omega$ (ostatní rezistory mají odpor podle seznamu součástek), má zesilovač s OZ1 nepřetřené zesílení $A_v = 144$. V tom případě je na výstupu OZ1 při teplotě hrotu 250 °C napětí 7,333 V, při teplotě 300 °C napětí 7,617 V, při teplotě 350 °C napětí 7,902 V, při tep-

lotě 400 °C napětí 8,186 V a při teplotě 450 °C napětí 8,471 V.

Zvolíme rozsah regulace teploty (270 až 390 °C) a vypočítáme odpovídající odpory R6, R7 a P2 ($R6 = 39 \text{ k}\Omega$, $R7 = 18 \text{ k}\Omega$ a $P2 = 10 \text{ k}\Omega$). Potenciometr P2 použijeme lineární.

Pokud by neplatila podmínka, že $R1 \ll R6 + R7 + P2$, museli bychom R1 zmenšit tak, aby v bodě „0“ byla polovina napájecího napětí (+6 V).

Zesílení zesilovače s OZ2 zvolíme tak, aby se při změně teploty o 30 až 40 °C změnilo výstupní napětí OZ2 o 4,2 V (což je postačující na to, aby se zastavlo kmitání NRM s OZ3).

Kmitočet NRM s OZ3 můžeme zmenšit zvětšením časové konstanty R13, C7.

Odpor R19 zvolíme tak, aby při zvednutí pájecího pera ze stojánku byla změna napětí na emitoru fototranzistoru T2 co možná největší.

Dobu, za kterou se páječka automaticky vypne, můžeme prodloužit zvětšením časové konstanty R22, C3.

Kondenzátor C6 nuluje čítač v IO2 při zapnutí napájecího napětí.

Diody LED D30 až D36, které jsou uspořádány na kružnici okolo potenciometru P2, tvoří zároveň stupnici tohoto potenciometru.

Operační zesilovače, které řídí LED D30 až D36, pracují v lineárním režimu. Pokud jsou napětí na obou vstupech kteréhokoliv z OZ30 až OZ35 shodná, svítí vždy obě LED, připojené k výstupu příslušného OZ. Zvolíme přiměřená zesílení OZ30 až OZ35 tak, aby při malé změně teploty (o 4 °C) jedna LED zhasla. Zesílení OZ30 až OZ35 musí být proto takové, aby požadované změně teploty pájecího hrotu (20 °C) odpovídala změna výstupního napětí o 4 V (z 6 V na 2 V nebo z 6 V na 10 V). Jednotlivá porovnávací napětí vytváří dělič R37 až R43.

Vstupní napěťová nesymetrie operačních zesilovačů OZ30 až OZ35, která je řádu jednotek mV, ovlivní poněkud přesnost indikace (přesnost indikace zhorší i nepřesnost ostatních součástek). Doplňuji se, že tato malá chyba indikace teploty (jednotky

°C) nebude pro většinu uživatelů podstatná.

Protože největší toleranci odporu má potenciometr P2, doporučuji nastavit napětí 1,6 V a 2,5 V na krajních vývodech potenciometru P2 změnou odporů R6 a R7 (připojením rezistorů R6A a R7A paralelně k R6 a k R7).

Správnou velikost zesílení zesilovače s OZ1 musíme ověřit měřením jeho vstupního a výstupního napětí (vstupní napětí měříme před R5).

Na základě předchozího popisu by jistě nebyl žádný problém upravit zapojení v případě potřeby, např. změnit počet LED v indikátoru, rozsah teplot pájecího hrotu nebo odpor potenciometru P2.

Je třeba upozornit i na možné nepřesnosti při indikaci teploty. Při zapnutí proudu do topného těliska se značně zmenší napětí na vyhlazovacím kondenzátoru C2 (o jednotky V), což způsobí změnu napájecího napětí na výstupu stabilizátoru IO3 v řádu jednotek mV. Vzhledem k velkému zesílení kaskády zesilovačů OZ1 a OZ30 až OZ35 (zesílení je asi 27 000) by se tato změna napájecího napětí projevila na indikátoru podstatným způsobem.

Částečně se tento problém podařilo odstranit kaskádním zapojením dvou monolitických stabilizátorů IO3 a IO4. Předřadit před IO3 stabilizátor se Zenerovou diodou nestačilo. Použitím IO4 se také zmenšila výkonová ztráta na IO3.

Měřením kontaktním teploměrem jsem zjistil, že na špičce pájecího hrotu je teplota o 40 °C nižší než uvedená vypočtené hodnoty. Popis předního panelu bere tuto skutečnost v úvahu.

Teplotu pájecího pera můžeme pro kontrolu velmi přibližně odhadnout z jeho barvy. Sundáme pájecí hrot a díváme se dovnitř pájecího pera. Při teplotě 220 °C začneme uvnitř vidět červený proužek, který se s rostoucí teplotou rozšiřuje. Při teplotě 400 °C je pájecí pero již rozžhaveno do červena tak, že je to vidět i zvenčí.

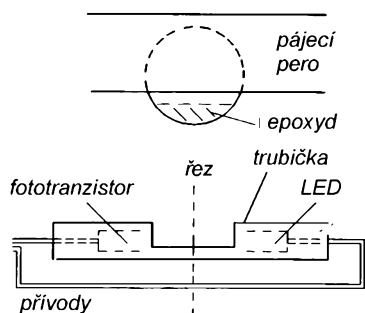
Většina zájemců, kteří se rozhodnou si tento přístroj postavit, nebude mít možnost teplotu hrotu přesně změřit. Je ale možné měřit napětí na termočlátku a zkontrolovat funkci obvodu.

I když třeba nastavený údaj absolutní velikosti teploty nebude přesně odpovídat skutečnosti (odchylka o 30 až 50 °C je přijatelná), máme vždy zajištěnou stabilitu teploty, kterou můžeme kontrolovat indikátorem.

Potom není problém nastavit optimální teplotu tak, aby spoje byly kvalitní a v případě potřeby (při větším odvodu tepla z pájeného spoje) ji zvýšit.

Seznam součástek

R1	1,2 k Ω
R2	1,2 k Ω
R3	10 k $\Omega \pm 1 \%$



Obr. 74. Mechanické provedení optické závory

R4	1,5 MΩ ± 1 %
R5	220 kΩ
R6	39 kΩ
R7	18 kΩ
R8	33 kΩ
R9	680 kΩ
R10	1,8 Ω
R11	1,8 Ω
R12	120 kΩ
R13	120 kΩ
R14	120 kΩ
R15	2,7 kΩ
R16	2,7 kΩ
R17	120 kΩ
R18	27 kΩ
R19	4,7 kΩ
R20	1,5 MΩ
R21	27 kΩ
R22	15 kΩ
R23	2,7 kΩ
R30	1,2 kΩ (2,7 kΩ)
R31	1,2 kΩ (2,7 kΩ)
R32	1,2 kΩ (2,7 kΩ)
R33	1,2 kΩ (2,7 kΩ)
R34	1,2 kΩ (2,7 kΩ)
R35	1,2 kΩ (2,7 kΩ)
R36	1,2 kΩ (2,7 kΩ)
R37	120 kΩ
R38	120 kΩ
R39	120 kΩ
R40	120 kΩ
R41	120 kΩ
R42	120 kΩ
R43	120 kΩ
R44	1,5 MΩ
R45	8,2 kΩ
R46	8,2 kΩ
R47	1,5 MΩ
R48	1,5 MΩ
R49	8,2 kΩ
R50	8,2 kΩ
R51	1,5 MΩ
R52	1,5 MΩ
R53	8,2 kΩ
R54	8,2 kΩ
R55	1,5 MΩ
P1	100 Ω, trimr
P2	10 kΩ/N, potenciometr lineární
C1	100 nF
C2	100 μF/35 V
C3	10 nF
C4	100 nF
C5	100 nF
C7	4,7 μF/16 V
C8	100 μF/35 V
C9	100 nF
D1	1N4007 (KA136)
D2	1N4007 (KA136)
D3	LED, zelená
D4	1N4007 (KA136)
D5 až D8	1N5408
D9	LED, červená
D10	IRS 5
D30	LED (s větší účinností)
D31	LED (s větší účinností)
D32	LED (s větší účinností)
D33	LED (s větší účinností)
D34	LED (s větší účinností)
D35	LED (s větší účinností)
D36	LED (s větší účinností)
D37	1N4007 (KA136)
T1	BUZ10
Z1	IRE 5
OZ1 až OZ4	TL074

IO2	CMOS 4521
IO3	78L12
IO4	78L15
OZ30, OZ31	TL072
OZ32, OZ33	TL072
OZ34, OZ35	TL072
Po	pojistka, T 2 A
siťový transformátor	230 V/2x 11,5 V/ 30 W
skříňka	U61
pájecí pero	PP 530
stojánek na pájecí pero	
deska s plošnými spoji „PAJECKA“	

Díly páječky s elektronickým regulátorem teploty V99 je možné zakoupit od autora - viz str. 40.

V knize [14] je popsán jednoduchý regulátor s levnějším pájecím perem CSI 40 (viz foto na obálce).

Napájecí zdroj s L200

Něco o napájecích zdrojích

Napájecí zdroj patří k základnímu vybavení každé elektrotechnické dílny.

Každý, kdo se o elektroniku vážně zajímá, by měl mít napájecí zdroj, u kterého je možné **regulovat výstupní napětí** v rozsahu od 0 až 2 V do 15 až 30 V.

Velmi důležité je, aby napájecí zdroj měl **proudovou pojistku** (automatické omezení výstupního proudu), která by měla být nastavitelná v rozsahu proudů od 20 až 50 mA výše.

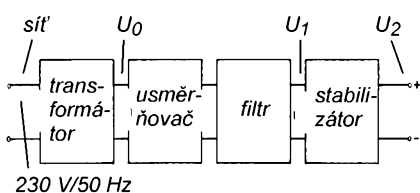
V případě chybného zapojení je ožiováný obvod chráněn proudovou pojistkou před poškozením. To má význam hlavně pro začátečníky.

Maximální velikost výstupního proudu zdroje není tak důležitá. Nejčastěji se ze zdroje odebírají proudy menší než 100 mA. Profesionální zdroje většinou dodávají maximální proud 0,5 až 1 A.

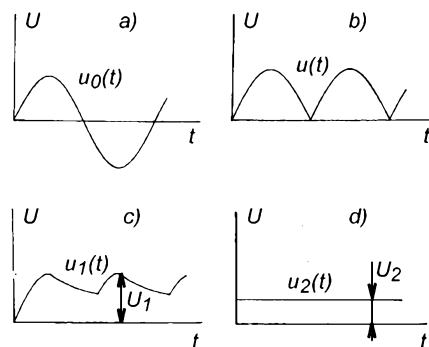
Používání běžných zdrojů napětí, jako např. baterie, akumulátor nebo síťový adaptér k ožiování výrobků je nouzovým řešením. Zkratový proud takových zdrojů může v případě jakékoliv chyby způsobit velké škody.

Napájecí zdroj obsahuje vždy **transformátor, usměrňovač, filtrační kondenzátor a stabilizátor**. Blokové schéma zdroje je na obr. 75.

Síťové napětí 230 V/50 Hz se **transformuje** síťovým transformátorem na požadovanou velikost U_0 . Časový průběh napětí $u_0(t)$ na sekundárním vinutí transformátoru je na obr. 76a.



Obr. 75. Blokové schéma napájecího zdroje



Obr. 76. Časový průběh napětí: a) na sekundárním vinutí transformátoru, b) na výstupu usměrňovače, není-li zapojen filtrační kondenzátor, c) na filtračním kondenzátoru, d) na výstupu stabilizátoru

Transformované napětí se **usměrňuje** nejčastěji **můstkovým** (Graetzovým) **usměrňovačem** (obráz. 76b) a **filtruje** se filtračním kondenzátorem (obráz. 76c). Vrcholové napětí na filtračním kondenzátoru označíme U_1 . Vyfiltrované ss napětí se případně stabilizuje na velikost U_2 (obráz. 76d).

Mezi U_0 a U_1 platí vztah:

$$U_1 = (U_0 \cdot \sqrt{2}) - 1,4 \quad [\text{V}].$$

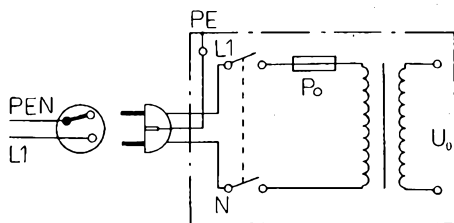
Uvedený vztah vyplývá ze skutečnosti, že U_0 je **efektivní** napětí, zatímco filtrační kondenzátor se nabíjí na **maximální** napětí. Menší 1,4 V představuje **úbytek napětí na usměrňovači**, ve kterém pracují vždy dvě křemíkové diody v sérii.

Aby bylo napětí na filtračním kondenzátoru co nejméně zvládnuté, musí mít filtrační kondenzátor dostatečně velkou kapacitu. Slouží nám totiž jako akumulátor elektrické energie v době, kdy síťové napětí prochází nulou.

Potřebná **kapacita filtračního kondenzátoru je závislá na proudovém odběru**. Čím větší potřebujeme odebírat proud, tím větší filtrační kondenzátor potřebujeme. Doporučená kapacita filtračního kondenzátoru je asi **2000 μF (= 2 mF) na každý ampér odebraného proudu**. Použití větší kapacity není na závadu.

Stabilizátor si můžeme představit jako proměnný rezistor, který automaticky nastavuje svůj odpor tak, že **výstupní napětí je vždy konstantní**. Změny odběru proudu a kolísání síťového napětí se automaticky vyrovnávají. Ke spolehlivé funkci stabilizátoru potřebujeme, aby mezi vstupním a výstupním napětím stabilizátoru byl **rozdílní minimálně 2 V**, podle možnosti raději o něco více (až 5 V). Příliš velký úbytek napětí na stabilizátoru však **zvětšuje tepelnou ztrátu** stabilizátoru a zmenšuje jeho účinnost.

Zapojení síťové části běžného zdroje je na obr. 77. Součástí každého elektrického přístroje musí být **tavná pojistka (Po)**, která chrání především transformátor před případným poškozením, a kterou z bezpečnostních důvodů nesmíme vynechat.



Obr. 77. Zapojení síťové části běžného zdroje

Pojistka musí být dimenzována na maximální odběr proudu a měla by být typu T (pomalá), aby se nepřepálila při zapnutí zdroje, kdy se velkým proudem nabíjí filtrační kondenzátor. Tento kondenzátor se totiž krátce po zapnutí chová jako zkrat. Správně má být jištěn primární obvod transformátoru.

Každý přístroj by měl dále obsahovat dvoupólový síťový spínač (výjimku tvoří síťové adaptéry.)

Zapnutí zdroje by mělo být indikováno, nejlépe diodou LED zelené barvy. Indikační LED je nejčastěji zapojena v obvodu filtračního kondenzátoru.

Při zapojování obvodu se síťovým napětím 230 V doporučuji **maximální pečlivost**. Živé části přístroje, což jsou vodiče se síťovým napětím (kontakty síťového spínače, pojistka, primární vinutí transformátoru), musí být **chráněny** (nejlépe izolací), aby nebylo možné se jich náhodně dotknout, a aby tak nemohl být způsoben úraz elektrickým proudem.

Má-li skříňka přístroje **kovové části**, musí být tyto části **nulovány** (spoj-

ny s ochranným vodičem PE síťového rozvodu, přístroj musí mít třížilovou síťovou šňůru, přechodový odpor tohoto propojení může být maximálně 0,1 Ω).

Transformátor je nejlépe koupit hotový. Ten, kdo by si jej chtěl navinout sám, musí zajistit bezpečné oddělení primárního a sekundárního vinutí (3 vrstvy prokladového papíru, elektrická pevnost 2,5 kV).

Nemá-li skříňka přístroje žádné kovové části a přístroj má dvojitou izolaci, můžeme použít pro přívod síťového napětí dvoužilovou síťovou šňůru.

Síťový přívod musí být v místě výstupu ze skříňky vždy **zajištěn proti poškození** a proti vytržení (průchodkou nebo bužirkou).

Začátečníkům doporučujeme pracovat se síťovým napětím pouze pod odborným dozorem.

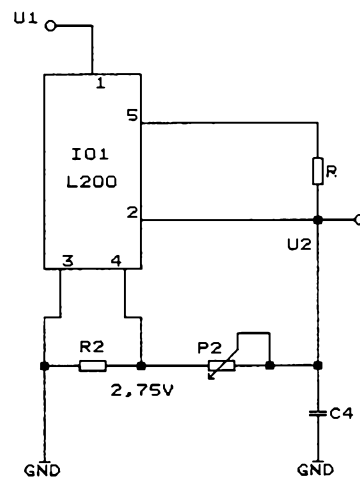
Popis zdroje se stabilizátorem L200

Následující návod je určen všem, kteří si chtějí postavit kvalitní napájecí zdroj podle výše uvedených požadavků. Zdroj má plynule regulovatelné výstupní napětí 0 až 27 V, nastavitelný maximální výstupní proud 10 až 1000 mA a indikaci přetížení.

Zdroj může být vybaven i jemnou regulací výstupního napětí a případně měřicím přístrojem (analogovým nebo digitálním) pro měření výstupního napětí a proudu. Při malém odběru proudu (do 10 mA) může zdroj poskytovat i symetrické výstupní napětí.

Základem zdroje je monolitický stabilizátor L200, se kterým je možné v základním zapojení dosáhnout výstupního napětí 2,75 až 36 V, a který má vnitřní proudovou pojistku nastavenou na proud 2 A.

Schéma základního zapojení stabilizátoru L200 je na obr. 78. Výstupní napětí je přes odporový dělič P2, R2 přivedeno na vývod 4 (REFERENCE) stabilizátoru, kde je porovnáváno



Obr. 78. Základního zapojení stabilizátoru L200

s vnitřním **referenčním** (porovnávacím) **napětím 2,75 V** (2,64 až 2,86 V). Každá případná odchylka výstupního napětí od požadované velikosti se automaticky vyrovná.

Rezistor R2 a potenciometr P2 tvoří dělič napětí. Nastavením odporu potenciometru P2 určujeme výstupní napětí U_2 podle vzorce:

$$U_2 = 2,75 \cdot (1 + k \cdot P2/R2),$$

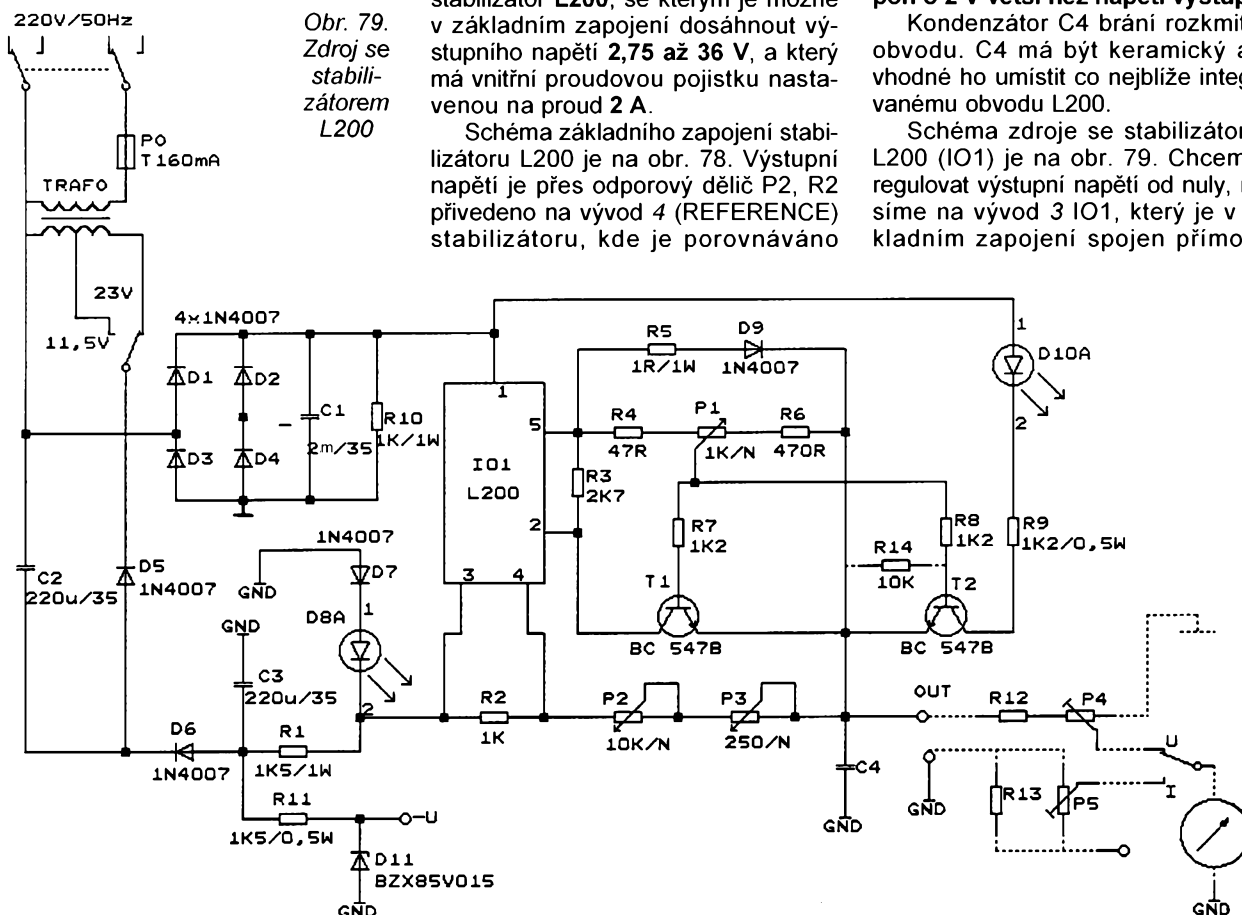
kde k představuje relativní natočení potenciometru P2. Součinitel k se pohybuje v intervalu 0 až 1.

Mezi vývodem 3 (GND) a vývodem 4 (REFERENCE) je vždy **konstantní napětí 2,75 V**.

Aby uvedený vzorec skutečně platil, musí být **vstupní napětí U_1 , alespoň o 2 V větší než napětí výstupní**.

Kondenzátor C4 brání rozkmitání obvodu. C4 má být keramický a je vhodné ho umístit co nejblíže integrovanému obvodu L200.

Schéma zdroje se stabilizátorem L200 je na obr. 79. Chceme-li regulovat výstupní napětí od nuly, musíme na vývod 3 IO1, který je v základním zapojení spojen přímo se



Obr. 79. Zdroj se stabilizátorem L200

zemí (GND), přivést záporné napětí přibližně -2,75 V.

Záporné napětí vytvoříme pomocným usměrňovačem s diodami D5, D6 a kondenzátory C2, C3. Kondenzátor C2 se v jedné půlperiodě nabije přes diodu D5 a ve druhé půlperiodě se z něj nabije kondenzátor C3 přes diodu D6. Záporné napětí tak získáme velmi snadno (nepotřebujeme více vinutí na transformátoru), ale můžeme odebírat jen malý proud (desítky mA). Velikost tohoto proudu je závislá na kapacitě kondenzátorů C2 a C3. Záporné napětí stabilizujeme diodami D7 a D8 na velikost asi -2,4 V, což přibližně odpovídá referenčnímu napětí obvodu L200 (úbytek napětí na diodách D7 a D8 je 0,6 V a 1,8 V).

Kondenzátor C3 se nabíjí na maximální (vrcholové) sekundární napětí, které je poněkud zmenšeno úbytkem napětí na diodách D5 a D6. Při efektivním napětí 23 V na sekundárním vinutí transformátoru je vrcholové sekundární napětí $U_v = 23 \cdot \sqrt{2} = 32,5$ V a na kondenzátoru C3 je tak asi 29 V. Aby se popsaným obvodem vytvořilo ve zdroji záporné napětí, musíme zdroj napájet vždy střídavým napětím z transformátoru.

Odpor rezistoru R1, přes který zavádíme záporné napětí na stabilizační diody D7 a D8 volíme tak, aby jím tekla proud asi 15 mA. Z vývodu 3 IO1 teče proud přibližně 4 mA. Pokud použijeme transformátor s menším sekundárním napětím než 23 V, musíme zmenšit odpor R1.

Záporné napětí můžeme stabilizovat Zenerovou diodou D11 a rezistorem R11 a vyvést je na výstupní svorku (-U) pro další využití (např. pro práci s operačními zesilovači). Parametry D11 a R11 musíme volit tak, aby případný zkrat zdroje záporného napětí neovlivnil napětí na vývodu 3 IO1. S hodnotami součástek podle obr. 79 je možné odebírat ze svorky -U proud max. 10 mA.

LED D8 je použita k indikaci provozu přístroje. Její zhasnutí za provozu by signalizovalo přetížení záporného zdroje napětí.

Odběr proudu ze záporné větve usměrňovače nesmí být větší než odběr proudu z kladné větve, proto musíme mít bezpodmínečně zapojen rezistor R10. Jinak by se napětí na filtračním kondenzátoru C1 mohlo zvětšit až nad 40 V a mohl by se poškodit IO1. Rezistor R10 současně chrání stabilizátor před napětími špičkami, které vznikají při opakovaném zapnutí a vypnutí zdroje síťovým spínačem při malém odběru proudu.

Výstupní napětí U_2 zdroje (při nastaveném nulovém odporu potenciometru P3) vypočítáme podle vztahu:

$$U_2 = 2,75 \cdot k \cdot P2/R2 \text{ (vztaženo k nule),}$$

kde k představuje relativní natočení potenciometru P2. Součinitel k se pohybuje v intervalu 0 až 1.

Maximální velikost výstupního proudu zdroje můžeme nastavit potenciometrem P1 od asi 10 mA až do 1 A. K omezení výstupního proudu zdroje je využit obvod pro omezení výstupního proudu (proudová pojistka) samotného stabilizátoru L200.

Proudová pojistka stabilizátoru L200 začíná pracovat, dosáhne-li napětí na bočniku R (viz základní zapojení na obr. 78), zapojeném mezi vývody 5 IO1 (OUTPUT) a 2 IO1 (LIMITING), velikosti 0,45 V. Výstupní proud I_{OUT} z vývodu 5 IO1 je možné určit ze vztahu:

$$I_{OUT} = 0,45/R,$$

kde R je odpor bočniku R.

V základním zapojení je možné regulovat maximální velikost výstupního proudu změnou odporu bočniku R. Zapojit na místo bočniku přímo potenciometr však není možné, protože běžné typy potenciometrů nejsou stavěny pro větší výkonové zatížení než 0,25 W.

Nahradíme-li bočník R zkratem, začne proudová pojistka pracovat při výstupním proudu 2 A a zkratový proud je 3,6 A.

V našem zdroji potřebujeme plynule nastavovat maximální výstupní proud od 10 až 20 mA až do 1 A. Proto je použita jako bočník místo samotného rezistoru R sériová kombinace rezistoru R5 a diody D9. Na diodě D9 i při malém výstupním proudu vznikne dostatečně velký úbytek napětí pro to, aby obvod pro omezování výstupního proudu mohl fungovat.

Část úbytku napětí z R5 a D9 je přiváděna přes potenciometr P2 na báze tranzistorů T1 a T2.

Je-li mezi bází a emitorem tranzistoru T1 napětí 0,65 V, otevře se tranzistor T1, napětí na vývodu 2 IO1 se zmenší a tím se zmenší výstupní napětí zdroje. Zmenšením výstupního napětí se omezuje výstupní proud.

Současně s T1 se otevře i tranzistor T2 a rozsvítí se LED D10. Tím je indikováno omezování výstupního proudu (činnost proudové pojistky). Při omezování proudu je výstupní napětí menší než je výstupní napětí nezátíženého zdroje, které jsme nastavili potenciometrem P2.

Tranzistory T1 a T2 (NPN) by měly být stejné a měly by mít větší zesilovací činitel proudu.

Rezistor R9 omezuje proud I_d , který protéká diodou LED D10 a tranzistorem T2. Doporučuji zvolit proud $I_d = 20$ mA při výstupním napětí $U_2 = 5$ V (není kritické). Odpor R9 vypočítáme podle vzorce:

$$R9 = (U_1 - U_2 - U_d)/I_d,$$

kde U_d je asi 2 V a I_d je 20 mA.

Protože proud a jas LED D10 je závislý na výstupním napětí, doporučuji použít LED s velkou svítivostí.

Rezistory R7 a R8 od sebe oddělují báze tranzistorů T1 a T2. Odpory R7 a R8 nejsou kritické, musí však být stej-

né. Rovněž odpor R3 můžeme volit v širokých mezích.

Odpor R5 volíme tak, aby byl na rezistoru R5 při maximálním výstupním proudu úbytek napětí přibližně 1 V. Odpor potenciometru P2 volíme co možná nejmenší, ale takový, aby se nezahřival. Při maximálním výstupním proudu by mělo být na R6 napětí 0,6 V. Proto bude $P1/R6$ v poměru 1,2/0,6. Úbytek napětí na D9 a R5 se bude podle odebíraného proudu pohybovat v rozmezí od 0,6 do 1,8 V. Rezistor R4 zajišťuje, aby proudová pojistka při krajní poloze potenciometru P2 pracovala až od proudu většího než 10 mA.

Diody D3, D4, D1 a D2 tvoří můstkový (Graetzův) usměrňovač, který přeměňuje střídavé napětí na stejnosměrné. Stejnoseměrné napětí z usměrňovače je filtrováno kondenzátorem C1. Při použití diod se jmenovitým proudem 1 A je možné z usměrňovače odebírat proud až 2 A (při přepnutí vinutí transformátoru pro nabíjení autobaterie). Plošné spoje pod diodami a pod dalšími součástkami, které se zahřívají, jsou proto širší, aby odváděly teplo. Při větším odběru proudu je lépe použít diody o jmenovitém proudu 3 A (1N5408), pro které je na desce místo.

Integrovaný obvod IO1 se za provozu zahřívá a je nutné jej přišroubovat k chladiči. Ztrátový výkon P_z vypočítáme podle vzorce:

$$P_z = (U_1 - U_2) \cdot I_2.$$

Po dosazení nejnejpříznivějších hodnot získáme maximální ztrátový výkon, pro který dimenzujeme chladič. Přibližně platí, že na každý W ztrátového výkonu potřebujeme plochu 10 cm² chladiče (platí pro lesklý hliníkový plech nebo profil, černěný má dvojnásobnou účinnost).

Protože dlouhodobé využití mezních hodnot (minimální výstupní napětí a současně maximální výstupní proud) je velmi nepravděpodobné, můžeme z konstrukčních důvodů použít chladič s menší plochou. Obvod L200 je totiž, tak jako většina podobných integrovaných obvodů, vybaven tepelnou pojistkou, která v případě přehřátí sama omezí výstupní proud a nedovolí, aby se obvod zničil.

Tepelné ztráty můžeme také omezit zmenšením vstupního napětí tím, že přepínáme vinutí transformátoru.

Deska s plošnými spoji je navržena tak, aby k ní bylo možné přišroubovat dostatečně velký chladič.

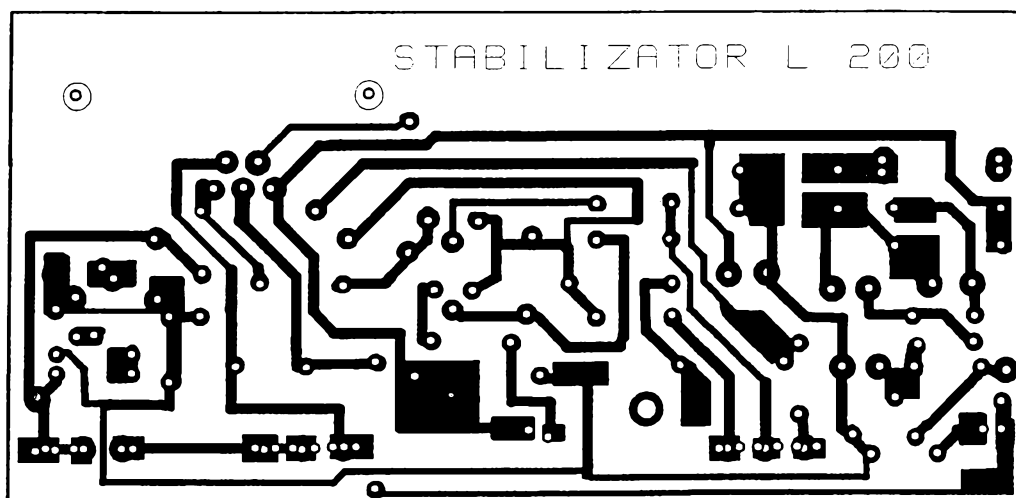
Podle vztahů, které byly uvedeny, je možné stabilizátor navrhnout. Nutné je předem vědět, jaký transformátor je k dispozici.

Předpokládejme, že transformátor poskytuje na sekundárním vinutí efektivní napětí U_0 .

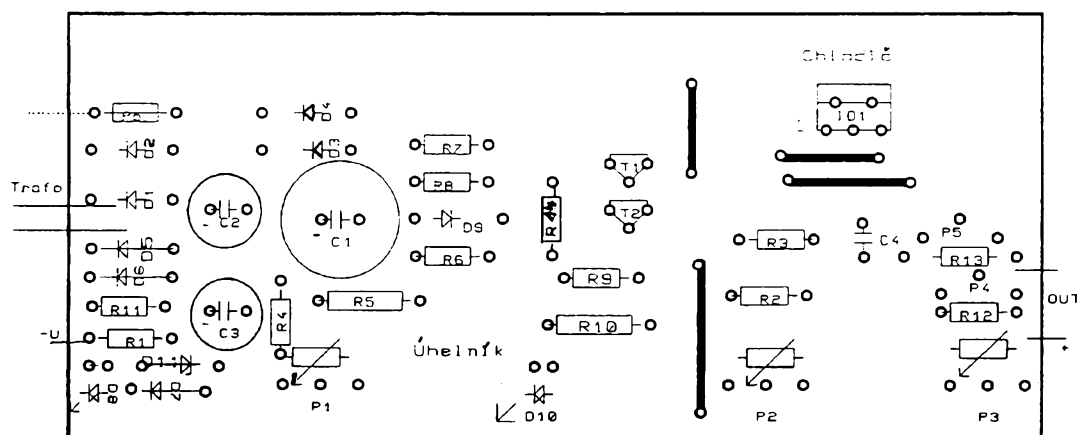
Nejprve vypočítáme vrcholové napětí U_1 na filtračním kondenzátoru C1:

$$U_1 = (U_0 \cdot \sqrt{2}) - 1,4.$$

Obr. 80. Obrazec plošných spojů zdroje s L200 (1:1)



Obr. 81. Rozmístění součástek na desce zdroje s L200



Maximální výstupní napětí U_{2M} zvolíme o 3 až 5 V menší než je U_1 , vybereme vhodný odpor potenciometru P2 (5 až 10 k Ω) a vypočítáme odpor R2.

Podle výkonu transformátoru zvolíme maximální výstupní proud a odpor R5 (při maximálním výstupním proudu má být na R5 úbytek napětí přibližně 1 V). Hodnoty ostatních součástek mohou zůstat takové, jaké jsou uvedeny na obr. 79.

Zdroj záporného napětí je případně možné vynechat, pak ovšem nebude možné regulovat výstupní napětí od nuly.

Náročnější zájemci budou určitě požadovat jemnou regulaci výstupního napětí. V profesionálních zdrojích se k tomu účelu používají víceotáčkové potenciometry. Nevýhodou je jejich vysoká cena a nemožnost ocejchovat jejich stupnici. Výstupní napětí potom musíme měřit ručkovým nebo číslicovým měřicím přístrojem. Levnější je jistě použít dva potenciometry, P2 pro hrubé nastavení napětí (s ocejchovanou stupnicí) a P3 pro jemnou regulaci. Odpor P3 by měl činit asi 5 % odporu P2.

Ke zdroji je možné připojit i měřicí přístroj pro měření výstupního napětí a proudu (který je popsán v kapitole „Laboratorní zdroj“), což patří ke komfortnímu vybavení.

Pro součástky, upravující citlivost měřicího přístroje (předřadník R12 a P4 k voltmetru a bočník P5 a R13 k ampérmetru), je na desce s plošnými spoji místo.

Konstrukce zdroje

Všechny součástky včetně LED, potenciometrů a chladiče s integrovaným obvodem IO1 jsou umístěny na jedné desce s plošnými spoji.

Obrazec plošných spojů je na obr. 80, rozmístění součástek na desce je na obr. 81.

Potenciometry jsou přišroubovány k subpanelu (obr. 82), který je úhelníkem podle obr. 83 spojen s deskou. Budou-li použity potenciometry typu TP 160, je nutné pro jejich vývody udělat drážky, tj. vyvrtat po třech děrách vedle sebe a potom díry propilovat.

Vývody LED musíme ohnout a izolovat od subpanelu. Pozor na vhodnou délku vývodů LED.

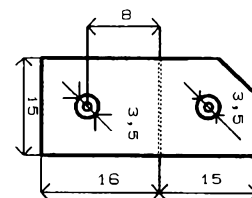
Do desky s plošnými spoji nejprve vyvrtáme všechny díry a osadíme součástky (pozor na polaritu diod a na správné zapojení vývodů tranzistorů).

Všechny spoje důkladně překontrolujeme, abychom si ušetřili zbytečné problémy při ožívování. Zkontrolu-

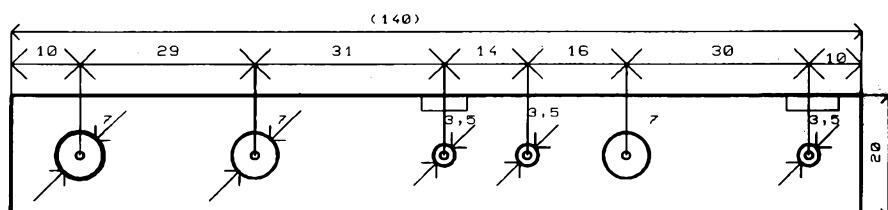
jeme rovněž mechanickou konstrukci (zda je přístroj možné bez problémů vložit do krabičky a zda jsou všechny otvory správně vyvrtány).

Při osazování desky součástkami doporučuji průběžné ožívování. Nejprve zkontrolujeme napětí na C1 a ověříme, že svítí LED D8, a teprve potom připojíme integrovaný obvod IO1.

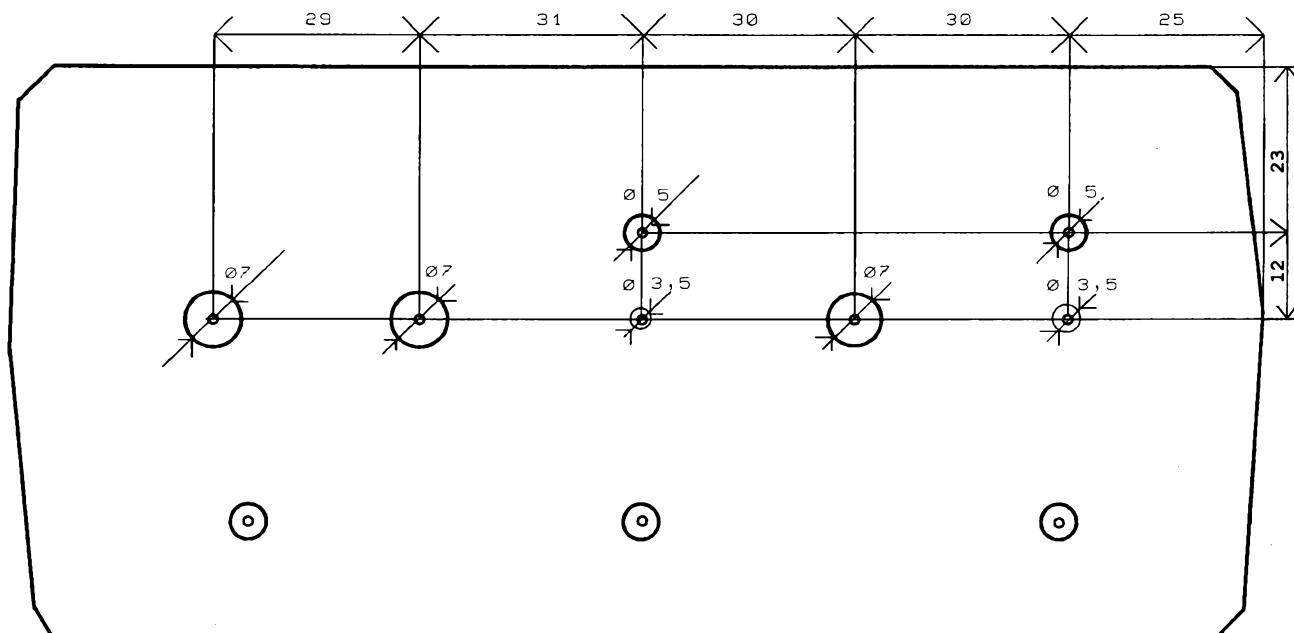
K desce připájíme dostatečně dlouhé přívodní kablíky, připojíme napájecí napětí a voltmetr. Vyzkoušíme funkci zdroje, umístíme jej do krabičky a ocejchujeme nejprve stupnici potenciometru P2 (P3 bude nastaven na minimum).



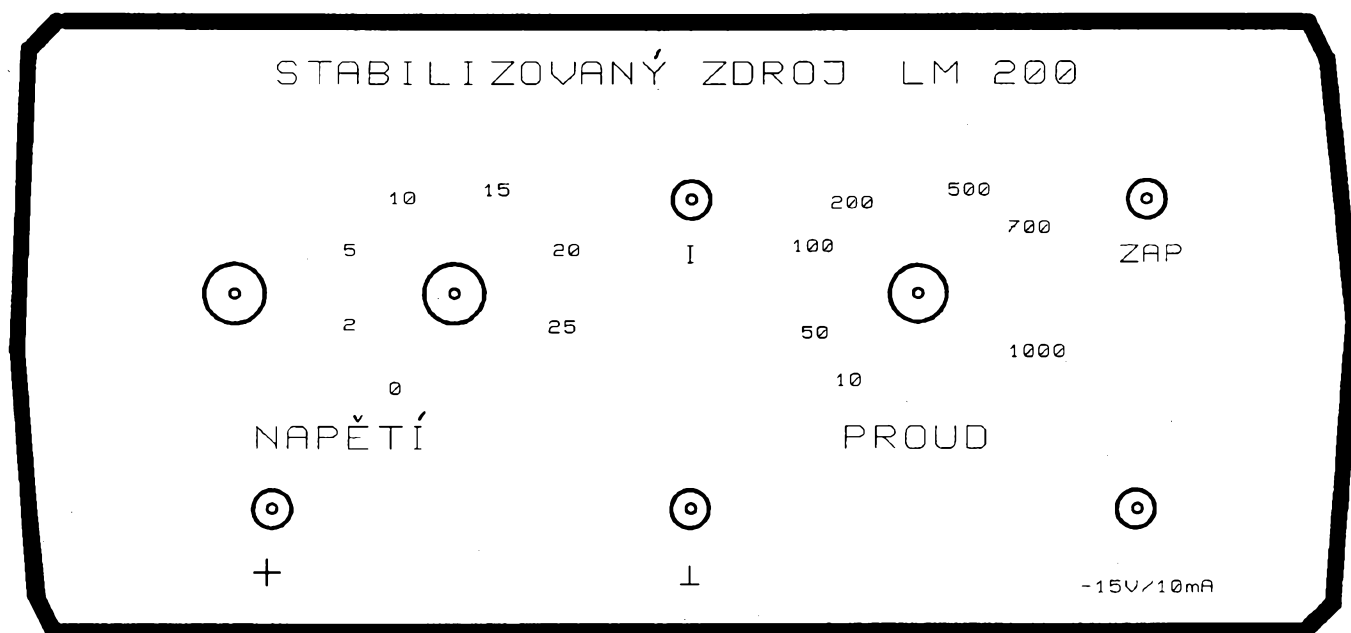
Obr. 83. Úhelník pro připevnění subpanelu ve zdroji s L200



Obr. 82. Subpanel zdroje s L200



Obr. 84. Výkres předního panelu zdroje s L200



Obr. 85. Návrh štítku s popisem předního panelu zdroje s L200

Potom nastavíme konstantní výstupní napětí (např. 12 V), připojíme ampérmetr a zatěžovací reostat (případně zatěžovací rezistory o různých odporech) a ocejchujeme (podle rozsvěcení LED D10) stupnici potenciometru P1. Potenciometrem P1 můžeme potom orientačně měřit výstupní proud. Ověříme si, že při přetížení se LED D10 rozsvítí současně s poklesem napájecího napětí. Pokud tomu tak není (když např. LED D10 svítí i při nulovém odběru), připojíme mezi bázi a emitor T2 rezistor R14.

Zdroj doporučuji umístit do univerzální skříňky. Její rozměry budou záviset na velikosti transformátoru, velikosti chladiče a počtu ovládacích a indikačních prvků (zda použijeme navíc potenciometr pro jemné nastavení napětí, přepínač rozsahů transformá-

toru, měřicí přístroj). Vzhledem k rozumné ceně doporučuji použít skříňku **KM 85** o rozměrech 180 x 160 x 85 mm.

Navrhujeme-li celkové uspořádání přístroje, měli bychom zajistit snadnou montáž, přístupnost součástek z obou stran, minimální množství dlouhých drátových spojů, zejména těch, které patří k síťové části.

Síťový spínač a pojistkové pouzdro (při jistění primárního vinutí transformátoru) doporučuji z bezpečnostních důvodů umístit co nejdál od ostatních dílů skříňky z boku. Transformátor by měl být rovněž ve spodním dílu. Další možností je umístit celou síťovou část na zadní panel.

Subpanel s deskou s plošnými spoji přišroubujeme dvěma šrouby k přednímu panelu do jeho horní části

součástkami směrem dolů. Potom budou LED nahoře, potenciometry uprostřed a zdičky dole, což je neúčelnější. Celá elektronika tvoří jeden snadno přístupný celek, od kterého vede minimum drátů. Výkres předního panelu zdroje (pro skříňku KM 85) je na obr. 84 (kótovány jsou pouze důležité rozměry), návrh štítku s popisem předního panelu zdroje je na obr. 85.

Při návrhu zdroje je dobré si uvědomit, že některé jeho části (transformátor, usměrňovač, filtrační kondenzátor, síťový spínač, skříňka) mohou být využity víceúčelově. Přepneme-li napětí transformátoru na 11,5 V, můžeme z výstupu usměrňovače proudem téměř 2 A nabíjet automobilový akumulátor.

Stejněsměrné nestabilizované napětí můžeme využít k napájení dalších

přístrojů, např. zesilovače o výkonu do 2x 10 W, generátoru, čítače nebo mikropáječky. Proto doporučuji toto napětí vyvést na konektor na zadní panel.

Seznam součástek

R1	1,5 kΩ/1W
R2	1 kΩ
R3	2,7 kΩ
R4	47 Ω
R5	1 Ω/1W
R6	470 Ω
R7	1,2 kΩ
R8	1,2 kΩ
R9	1,2 kΩ/0,5 W
R10	1 kΩ/1 W
(R11	1,5 kΩ/0,5 W)
(R14	10 kΩ)
C1	2000 μF (= 2 mF)/35 V
C2	220 μF/35 V
C3	220 μF/35 V
C4	100 nF, keramický
P1	1 kΩ/N
P2	10 kΩ/N
P3	250 Ω/N
D1	usměrňovací 1 A (1N4007)
D2	usměrňovací 1 A (1N4007)
D3	usměrňovací 1 A (1N4007)
D4	usměrňovací 1 A (1N4007)
D5	usměrňovací 1 A (1N4007)
D6	usměrňovací 1 A (1N4007)
D7	KA136 (libovolná Si dioda)
D8	LED 5mm, s velkou svítivostí
D9	usměrňovací 1 A (1N4007)
D10	LED 5 mm, červená
(D11	Zenerova dioda, $U_z = 15$ V)
T1	KC239 (libovolný NPN)
T2	KC239 (libovolný NPN)
IO1	L200
Po	pojistka, T 160 mA
přístrojové zdířky - 2 ks	
chladič pro výkon asi 20 W	
přístrojový knoflík - 3 ks	
síťový spínač, dvoupólový	
přepínač vinutí	
síťový transformátor 230 V/23 V/30 V	
s úhelníkem a držákem pojistky v primárním vinutí	

Nabíjení automobilového akumulátoru

Nabíječka akumulátoru je přístroj, který každý motorista může občas potřebovat. Protože to ale nebývá příliš často, není ekonomické, aby měl tento přístroj špičkové parametry a komfortní obsluhu. Je proto vhodné řešit tuto problematiku co možná nejjednodušším způsobem.

Pro používání a nabíjení akumulátorů obecně platí určitá pravidla. Akumulátor bychom neměli nikdy nechat úplně vybit a v tomto stavu jej dlouhodobě skladovat. Pokud akumulátor delší dobu nepoužíváme, je vhodné jej čas od času nechat vybit a nabít, jinak se jeho vlastnosti zhoršují. Nejdůležitějším parametrem akumulátoru je jeho kapacita. Udává se v ampérhodinách [Ah]. Kapacita je číselně rovna počtu hodin, po který je baterie schopna dodávat do zátěže proud 1A. Běžný akumulátor do osobního automobi-

lu má kapacitu průměrně 40 Ah, jmenovité napětí 12 V a skládá se z šesti olověných článků, zapojených v sérii. Provozní napětí akumulátoru se jmenovitým napětím 12 V se pohybuje od 10,5 V do 14,4 V.

Každý akumulátor je vhodné nabíjet doporučeným nabíjecím proudem, který udává výrobce. Nejčastěji bývá tento proud číselně roven jedné desetině kapacity akumulátoru. Tak např. akumulátor o kapacitě 40 Ah bychom měli nabíjet proudem 4 A po dobu 10 hodin. Použijeme-li nabíječku s maximálním proudem 2 A, bude nabíjení trvat 20 hodin. Proto se pro servisní účely často používají nabíječky s mnohem větším proudem (rychlónabíječky). Velikost nabíjecího proudu při rychlém nabíjení musí být kontrolována a optimalizována pomocí složitějších obvodů, aby se akumulátor nepoškodil. Nabíjecí proud musí být vždy po nabití akumulátoru automaticky zmenšen, případně vypnut.

Použijeme-li k příležitostnému nabíjení akumulátoru zdroj s L200, musíme počítat s delší nabíjecí dobou. Výhodou ale je, že menší proud nemůže baterii poškodit.

Optimální je napájet nabíječku usměrněným napětím o velikosti 11 až 12 V. Transformátor bude optimálně využit a po nabití baterie se proud sám zmenší. Nepotřebujeme žádný stabilizátor s velkou výkonovou ztrátou a velkým chladičem.

Proto potřebujeme, aby transformátor ve zdroji s L200 měl odbočku a aby se jeho napětí dalo přepínat.

Napětí pro nabíjení akumulátoru odebíráme ze zdroje s L200 za usměrňovačem přímo z filtračního kondenzátoru C1. Zvlnění nabíjecího napětí nevádí, spíše naopak (k nabíjení se často doporučuje používat impulsní proud). Nabíjecí proud je omezen pouze vnitřním odporem transformátoru a usměrňovače, při zkratu se přepálí síťová pojistka.

Laboratorní zdroj

Popis funkce zdroje

Laboratorní zdroj je čtyřnásobný a má samostatné výstupy 0 až 24 V/3A, 5 až 15 V/1 A, 5 V/1 A a 15 V/1 A. Zdroj obsahuje také digitální panelové měřidlo (DPM), kterým se měří výstupního napětí a proud. Hlavní výhodou popisovaného zdroje jsou malé rozměry (225 x 156 x 113 mm) a jednoduchá mechanická konstrukce. Na pracovním stole zabírá minimum místa. Přístroj je vhodný pro amatérské, školní i profesionální použití.

Zdají se vám uvedené parametry nemožné? K jejich dosažení bylo použito zajímavé a netradiční řešení.

Hlavním problémem při návrhu zdrojů je odvod ztrátového tepla. Maximální ztrátový výkon P_{MAX} stabilizátoru zdroje vypočítáme ze vztahu:

$$P_{MAX} = (U_{1MAX} - U_{2MIN})I_{2MAX},$$

kde U_{1MAX} je největší vstupní napětí, U_{2MIN} je nejmenší výstupní napětí a I_{2MAX} je největší zatěžovací proud.

Dosaďme-li do vztahu mezní hodnoty $U_{1MAX} = 28$ V, $U_{2MIN} = 0$ V a $I_{2MAX} = 3$ A, zjistíme, že bychom potřebovali chladič plochu minimálně 6 dm² (svislá, černěná). Abychom mohli plochu zmenšit, byl by zase zapotřebí ventilátor.

Proto má význam u podobných zdrojů používat **přepínač vinutí transformátoru**, kterým nastavíme vstupní napětí U_1 stabilizátoru tak, aby **rozdíl $U_1 - U_2$ nebyl zbytečně velký**. Čím větší je počet odboček, tím snadněji zvolíme optimální pracovní režim a dosáhneme minimálních ztrát.

Rozsah regulace napětí se může rozdělit do několika podrozsahů (nejčastěji po 10 V). Při přepínání podrozsahů dvojitým přepínačem se současně přepínají odbočky vinutí transformátoru.

Najít vhodný přepínač malých rozměrů, který snese proud 3 A a je možno jej snadno umístit na desku s plošnými spoji není zrovna jednoduché.

Další možností by bylo přepínat odbočky vinutí automaticky pomocí relé, ovládaných komparátory. Použití automatického přepínače by však zkomplikovalo napájení pomocných zdrojů.

Kvalitní laboratorní zdroj má být navíc vybaven pomocnými zdroji +5 V, +15 V, -5 V a -15 V s maximálním odběrem proudu do 1 A. Pokud by každý z těchto zdrojů byl napájen ze samostatného vinutí, bylo by nutné použít větší transformátor, přibyl by další usměrňovač a filtrační kondenzátory a celá konstrukce by se rozrostla nad únosnou mez. Proto jsou pomocné zdroje +5 V a +15 V popisovaného laboratorního zdroje napájeny z hlavního zdroje, se kterým mají společnou zem. Tím se ušetří i dvě výstupní svorky (místa na předním panelu je vždy málo).

Aby byla zajištěna správná funkce pomocných zdrojů a kvůli celkové jednoduchosti jsem zvolil **ruční přepínání odboček transformátoru**. **Obsluha zdroje vyžaduje pochopení jeho principu činnosti**, tento zdroj se hodí pouze pro chytré uživatele.

Uživatel musí vědět, že rozdíl $U_1 - U_2$ vstupního a výstupního napětí stabilizátoru by měl být větší než 4 V (z toho 2 V je potřebný minimální úbytek napětí na stabilizátoru a další 2 V jsou rezerva na zvlnění vstupního napětí stabilizátoru). Vstupní napětí U_1 stabilizátoru závisí na efektivním sekundárním napětí U_0 transformátoru podle vzorce:

$$U_1 = 1,41 \cdot U_0 - 2.$$

Schéma laboratorního zdroje je na obr. 86, schéma digitálního panelového měřidla (DPM), které je součástí zdroje, je na obr. 87.

Volbu vhodného pracovního režimu usnadňují dvě diody LED. LED D14 indikuje rozdíl $U_1 - U_2$ a je dvoubarevná. Pro $U_1 - U_2 < 4$ V nesvítí D14 vůbec, při rozdílu $U_1 - U_2$ v rozmezí 4 až 10 V svítí D14 zeleně, při rozdílu $U_1 - U_2$ v rozmezí 10 až 15 V svítí D14 oranžově a při rozdílu $U_1 - U_2$ větším než 15 V svítí D14 červeně. LED D13 u pomocného zdroje 15 V indikuje provozuschopnost tohoto zdroje.

Odbočky vinutí transformátoru jsou vyvedeny na zadní panel na běžné zdířky. Vstup usměrňovače je vyveden kablíky s banánky, zasunutím banánek do příslušných zdířek se přepíná sekundární napětí U_0 transformátoru. Myslím, že drobné nepohodlí při přepínání bohatě vyvažuje skutečnost, že tímto uspořádáním získáme i zdroj střídavého napětí 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 a 20 V.

Pokud odebíráme ze zdroje proud menší než 0,5 A, můžeme nechat bez problémů zapojený největší rozsah vstupního napětí. Výhodou zdroje je i velká tepelná kapacita, která umožňuje jeho krátkodobé přetížení.

Nadměrné oteplení chladiče indikuje LED D18. Přehřátí však není žádné „neštěstí“. Všechny monolitické stabilizátory jsou vybaveny vnitřní tepelnou pojistkou, která je chrání před zničením, a která je při přehřátí vypne.

Stabilizátor hlavního výstupního napětí U_2 je zapojen běžným způsobem. Ke správné činnosti stabilizátoru potřebujeme zdroj záporného refe-

renčního napětí -5 V, který je vytvořen diodami D11 a D12, kondenzátory C8 a C9 a stabilizátorem IO6. Napětí -5 V nesmí být použit vně přístroje, jeho případný zkrat by zvětšil výstupní napětí U_2 .

Zdroj záporného referenčního napětí musí být schopen dodat potřebný proud, aby při sepnutém tranzistoru T3 referenční napětí nestouplo (viz dále). Proto musí být kapacita kondenzátorů C8 a C9 dostatečná. Výška kondenzátorů C8 a C9 nesmí přesáhnout 11 mm (nad nimi je ve skřínce umístěno DPM), proto jsou kondenzátory zdvojeny (případně by bylo možné tyto kondenzátory připájet naležato nebo z druhé strany desky).

K získání maximálního výstupního proudu z hlavního výstupu jsem použil jako IO1 monolitický stabilizátor o jmenovitém proudu 3 A (78T05).

Mezi zemnicí a výstupní svorkou IO1 je napětí 5 V. Pokud chceme regulovat napětí U_2 od nuly, musí být referenční napětí menší nebo rovno -5 V. Stabilizátor IO1 je řízen operačním zesilovačem IO5a, který je ovládán potenciometrem P1. Záporné napájecí napětí (-8,2 V) pro IO5a musí být ještě zápornější než -5 V, aby se IO5a nedostal do saturace. Maximálním povoleným napájecím napětím operačního zesilovače IO5a, které je 36 V, je omezeno vstupní napětí U_{1MAX} stabilizátoru IO1 ($U_{1MAX} = 36 - 8,2 = 27,8$ V).

Vstupní napětí U_1 stabilizátoru IO1 je vyvedeno na zdířku na zadní panel.

Při malém odběru proudu je U_1 díky velké kapacitě filtračních kondenzátorů C1, C1a, C1b, C1c minimálně zvláště. Napětí U_1 může být využito k celé řadě dalších účelů, např. pro napájení nf zesilovače nebo dalších měřicích přístrojů (generátor, čítač).

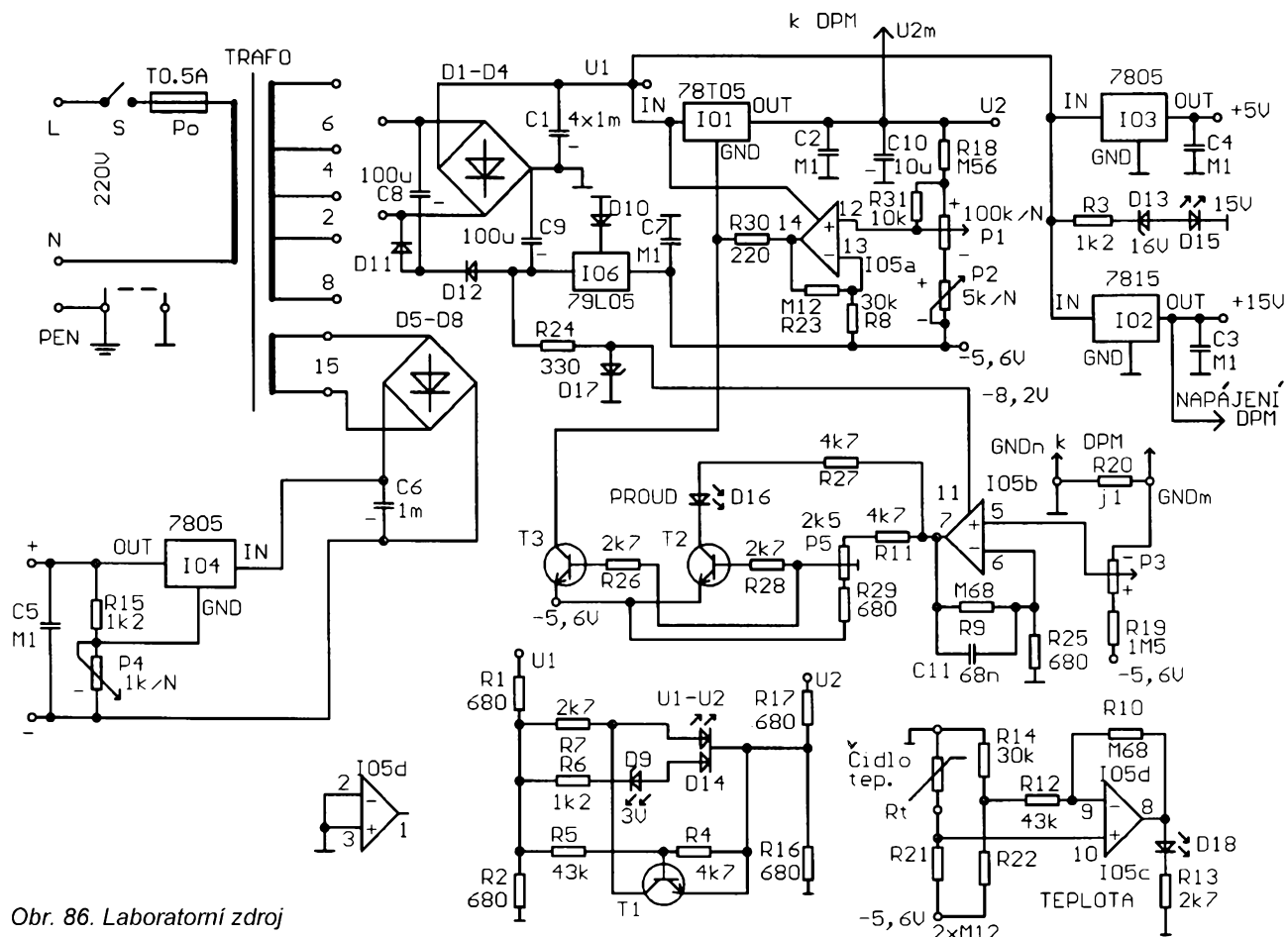
Výstupní napětí a proud můžeme měřit digitálním panelovým měřidlem (DPM) se základními rozsahy 19,99 V a 1,999 A, které můžeme přepínačem 10x zvětšit.

DPM můžeme používat i k měření vnějšího napětí, které připojíme do vstupní svorky U_{ext} měřidla. Při využití svorky U_{ext} se od měřidla automaticky odpojí výstupní napětí zdroje (přepínač P1 musí být v poloze napětí, napětí se měří proti zemi hlavního zdroje). Jako svorka U_{ext} je použita zásuvka JACK 3,5 mm s vypínacím kontaktem.

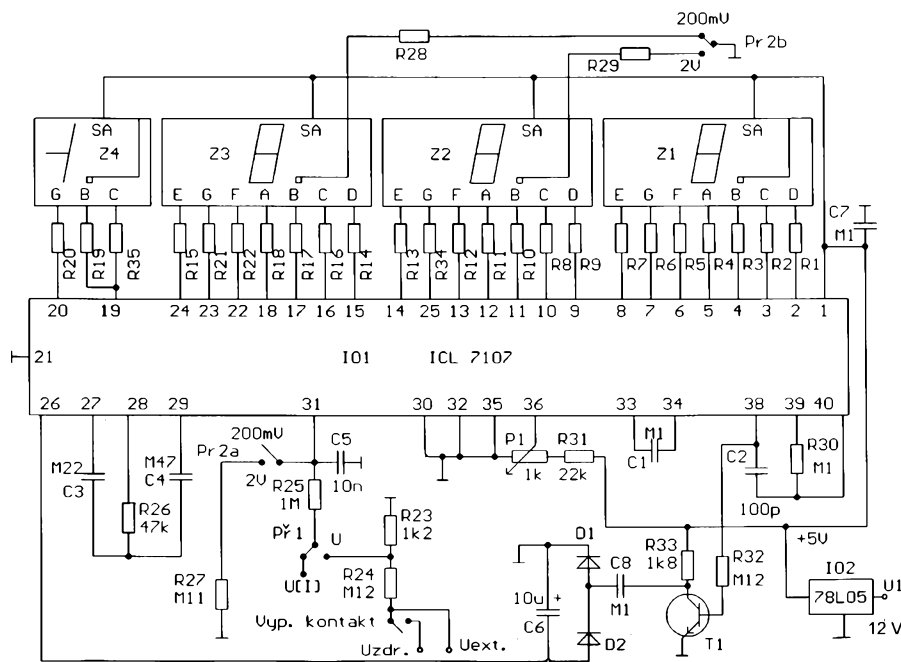
Laboratorní zdroj také obsahuje samostatný galvanicky oddělený zdroj 5 až 15 V/1 A se stabilizátorem IO4, který bud' můžeme využít jako zdroj záporného napětí (jeho kladný pól spojíme se zemí), nebo jej můžeme připojit do série k hlavnímu zdroji a tím rozšířit rozsah napětí do 40 V.

Zdroj 5 až 15 V/1 A je jednodušší než hlavní zdroj, nemá nastavitelnou proudovou pojistku ani DPM.

Protože se při změně výstupního proudu od 0 do 1 A mění proud vývodem GND IO4 (max o 0,5 mA), zmenšuje se při zvětšování výstupního proudu výstupní napětí a zdroj je poněkud „měkčí“. V praxi tento jev příliš



Obr. 86. Laboratorní zdroj



Obr. 87. Digitální panelové měřidlo (DPM)

nevadí, při výstupním napětí 15 V jsem naměřil při zvětšení výstupního proudu z 0 do 0,5 A pokles výstupního napětí 0,1 V.

Výhodou použitého zapojení obvodu IO4 však je, že v levé krajní poloze potenciometru P4 je výstupní napětí přesně 5 V (napětí -5 V se používá velmi často).

S malou úpravou desky s plošnými spoji by bylo možné použít jako IO4 obvod LM317T s regulací napětí od 1,25 V.

Zemnicí svorky hlavního zdroje máme dvě. Proud, tekoucí do svorky GND M, je měřen měřidlem DPM a je omezen obvodem proudové pojistky. Proud, tekoucí do svorky GND N, není měřen ani omezen.

Toto netradiční uspořádání umožňuje ze zdroje napájet kromě měřeného obvodu i další pomocné obvody, jejichž proud nás nezajímá.

Ochranný vodič sítě (PEN), který je připojen na kostru, by mohl být spojen přímo se zemí zdroje. Pokud ale chceme spojit více zdrojů do série, musíme mít možnost toto spojení zrušit, (např. rozpojením propojky na zadním panelu). Potom musí být nejen IO1 a IO4, ale i IO2 a IO3 izolovány podložkou od chladiče.

Děliče napětí s rezistory R1, R2, R16, R17 slouží kromě indikace rozdílu $U_1 - U_2$ také jako vybíjecí rezistory filtračních kondenzátorů a zabránění vzniku napětových špiček na kondenzátorech při opakovaném zapínání a vypínání zdroje. Obvod indikace rozdílu napětí nevyžaduje žádné nastavení.

Proud se měří pomocí úbytku napětí na bočnickovém rezistoru R20 (při proudu 3 A vznikne na R20 úbytek napětí 0,3 V). Úbytek se sčítá s napětím z potenciometru P3 a rezistoru R8 a porovnává se s nulovým napětím.

Při zvětšení výstupního proudu se zvětší úbytek napětí na R20, zvětší se napětí na výstupu IO5b, otevřou se tranzistor T2 a T3 a zmenší se napětí na výstupu IO5a.

Velké zesílení IO5b (dáno poměrem $R9/R25$) zhoršuje v režimu omezení proudu odolnost proti brumu. Podobnou vlastnost má ale i celá řada profesionálních zdrojů. Při běžném provozu jako zdroje napětí tato vlastnost není na závadu, nedoporučuji ale tento přístroj používat jako zdroj proudu.

Při nastavování proudové pojistky otočíme P3 na minimum, zatížíme zdroj rezistorem (o odporu stovek Ω) a potenciometrem P1 nastavíme takové výstupní napětí a proud, při kterém bude na výstupu IO5b nulové napětí. Potom trimr P5 nastavíme tak, aby LED D16 začínala svítit. Proudová pojistka bude mít potom maximální citlivost (asi 10 až 20 mA). Můžeme také nastavit proud, od kterého chceme, aby proudová pojistka „zabírala“, a trimr P5 nastavíme tak, aby LED D16 začínala svítit.

Aby při zkratu výstupních svorek bylo možné omezit zkratový proud na minimum (40 mA), musí být referenční napětí o něco menší než -5 V, protože saturační napětí T3 není nulové. Aby proudová pojistka při zkratu dobře fungovala, nesmí se zvětšit referenční napětí. **Střídavé napájecí napětí proto musí být dostatečně velké, minimálně 12 (10) V.**

Potenciometr P3 doporučuji použít raději logaritmický, aby pojistka měla větší citlivost a rozlišovací schopnost pro malé proudy, které se používají častěji. Lineární potenciometr však můžeme také použít.

Úpravou odporu rezistoru R18 nastavíme maximální velikost výstupního napětí (nejlépe 24 V). Nastavení je

velmi citlivé, možná by bylo vhodné zapojit do série s R18 malý trimr (o odporu 100 k Ω , R18 by se zmenšil na 470 k Ω). Na desce s plošnými spoji je na trimr místo (musí se přeškrábnout plošný spoj), ve schématu ani v rozpisce trimr uveden není.

Pro regulaci napětí by byl nejvhodnější exponenciální průběh potenciometru P1, aby při větších napětích nebyla stupnice příliš zhuštěná. Takový typ se hůře shání, místo toho zde můžeme použít rezistor R31, kterým můžeme upravit průběh regulace napětí.

Při kontrole funkce si musíme uvědomit, že zkratový proud stabilizátoru IO1 je 1,5 až 2 A. Proud 3 A můžeme odebrat při „rozumné“ zátěži, nikoliv do zkratu.

Při maximálním napětí U_1 lze nastavit minimální výstupní napětí U_2 asi 0,6 V (toto napětí se přenáší na výstup rezistorem R17). V krajních polohách potenciometru P1 je také nutno počítat s určitou závislostí výstupního napětí U_2 na U_1 . Vzhledem k tomu, že součástí zdroje je DPM, není tato skutečnost na závadu.

Laboratorní zdroj je vybaven indikátorem maximální teploty chladiče stabilizátorů. Jako čidlo jsem pro měření teploty použil termistor Rt o odporu 100 k Ω , u kterého jsem při teplotě 60 °C naměřil odpor 23 k Ω . Zesílení zesilovače s operačním zesilovačem IO5c (je dáno vztahem $1 + R10/R12$) musí být takové, aby na výstupu IO5c bylo napětí 2 V vůči zemi (respektive 3 V vůči referenčnímu napětí -1 V, které je ve středu děliče R14, R22) a LED D18 se rozsvítila. Termistor Rt musí být tepelně spojen s chladičem (termistor zalepíme vhodným lepidlem do díry, vyvrtané v chladiči, vývody termistoru musí být od chladiče izolovány).

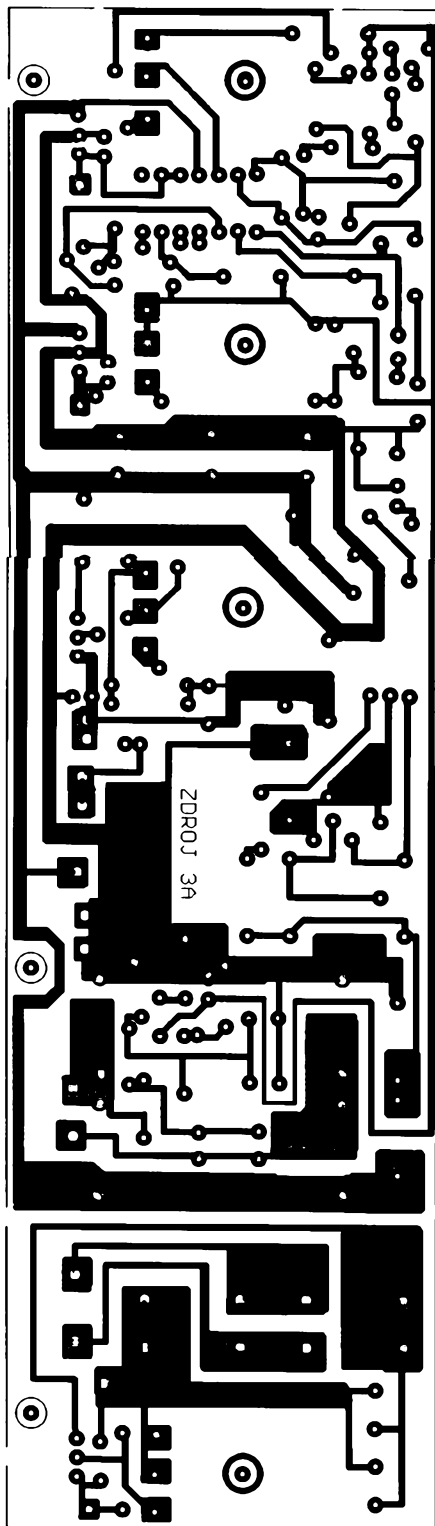
Konstrukce a oživení zdroje

Mechanická konstrukce laboratorního zdroje byla navržena tak, aby byla co možná nejjednodušší a přístroj byl co nejmenší. Všechny součástky včetně LED, výkonových stabilizátorů a potenciometru jsou umístěny na jedné desce s plošnými spoji.

Obrazec plošných spojů je na obr. 88, rozmístění součástek na desce je na obr. 89.

K desce s plošnými spoji je shora (z levé strany) přišroubován základní chladič (duralový hranol o průřezu 25 x 25 mm), který je přišroubován k přednímu panelu, spodnímu a zadnímu krytu (plech ve tvaru L) a k hornímu krytu (plech ve tvaru U). K odvodu přebytečného tepla se tak využívá celá skříňka. V chladiči jsou vyvrtány díry, které umožňují připojit přístrojové svorky na přední panel před chladič a využít tak plochu předního panelu.

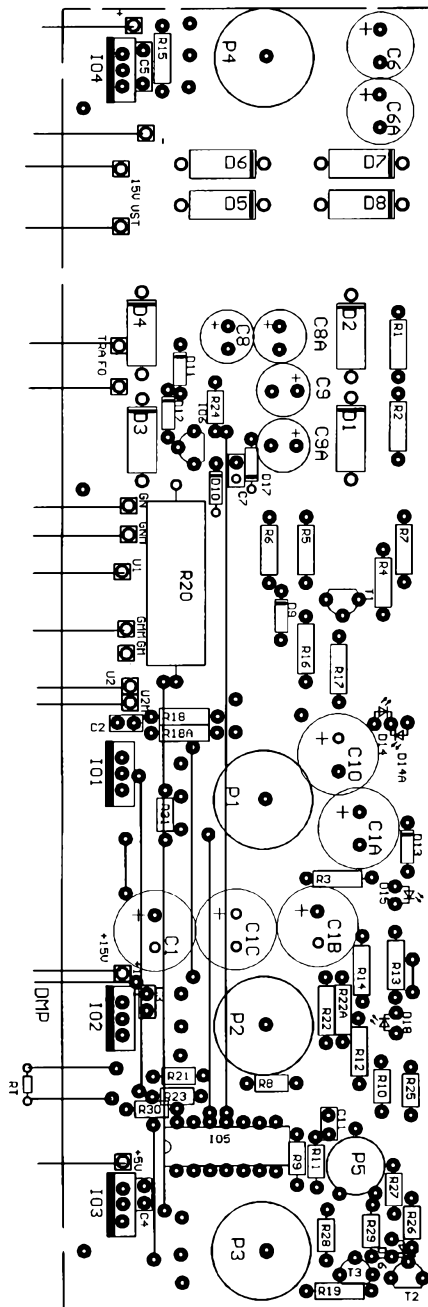
Součástí přístroje je i digitální panelové měřidlo, které je upevněno prostřednictvím dvou páčkových pře-



Obr. 88. Obrazec plošných spojů laboratorního zdroje (1:1)

pínačů na přední panel a je umístěno v prostoru mezi předním panelem a deskou zdroje. Deska zdroje v těchto místech nemá kromě C8 a C9 žádné vysoké součástky (elektrolytické kondenzátory). Maximální výška všech součástek, umístěných na desce zdroje, nesmí pochopitelně přesáhnout výšku duralového hranolu, tj. 25 mm. Hřídele potenciometrů musí být dostatečně dlouhé.

Z bezpečnostních důvodů je síťová část přístroje (transformátor, pojistko-



Obr. 89. Rozmístění součástek na desce laboratorního zdroje

vé pouzdro, síťový spínač) umístěna na zadním panelu v dostatečné vzdálenosti od ostatních obvodů. Živé části jsou chráněny proti dotyku, síťová šňůra je v místě průchodu panelem chráněna proti vytržení a proti prodření.

Mechanická konstrukce bude podrobně popsána v lit. [15].

Před oživením zdroje doporučuji ověřit, že je mechanická konstrukce v pořádku, abychom později nemuseli dělat mechanické úpravy.

Desku zdroje s chladičem oživíme před jejím připevněním na přední panel. Ověříme všechny funkce zdroje, nejprve naprázdno, potom s vhodným zatěžovacím odporem. Máme-li možnost, zkontrolujeme osciloskopem stabilitu a „čistotu“ výstupního napětí. Teprve, když je vše v pořádku, zapojíme přívody k přístrojovým zdírkám na

předním panelu a desku přišroubuje- me k přednímu panelu.

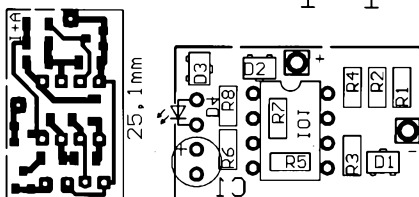
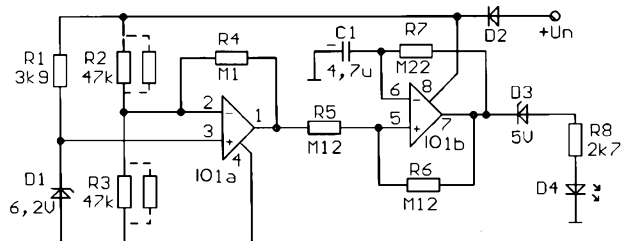
Ohmetrem zkontrolujeme, že zdířky nemají zkrat na chladič. Přívodní vodiče necháme dostatečně (ne však příliš) dlouhé, abychom přístroj případně mohli pohodlně rozebrat. Při konečné montáži zvlhčíme dotykové plochy chladiče vazelínou, abychom zlepšili odvod tepla.

Při ožívování jsem zkoušel zatěžovat zdroj, vybavený pouze základním chladičem (duralový hranol o rozměrech 25 x 25 x 219 mm). Tepelné vlastnosti základního chladiče jsou velmi dobré, zvláště tepelná kapacita. Při $U_1 = 24 \text{ V}$, $I_2 = 1,2 \text{ A}$ a $U_2 = 0 \text{ V}$ (zkrat) trvalo 15 minut, než se chladič ohřál natolik, že vnitřní tepelná pojistka IO1 začala omezovat proud.

Seznam součástek (zdroj bez DPM)

R1, R2	680 Ω /0,6 W
R3	1,2 k Ω
R4	4,7 k Ω
R5	43 k Ω
R6	1,2 k Ω
R7	2,7 k Ω
R8	30 k Ω
R9, R10	680 k Ω
R11	4,7 k Ω
R12	43 k Ω
R13	2,7 k Ω
R14	30 k Ω
R15	1,2 k Ω
R16, R17	680 Ω /0,6 W
R18	560 k Ω
R19	1,5 M Ω
R20	0,1 Ω /1 W
R21	120 k Ω
R22, R23	120 k Ω
R24	330 Ω /0,6 W
R25	120 k Ω
R26	2,7 k Ω
R27	4,7 k Ω
R28	2,7 k Ω
R29	680 Ω
R30	220 Ω
R31	10 k Ω
P1	100 k Ω /N, TP 160
P2	5 k Ω /N, TP 160
P3	100 k Ω /G, TP 160
P4	1 k Ω /N, TP 160
P5	2,5 k Ω , trimr naležato, (PT10HK002.5)
Rt (termistor)	K164 NK100
C1	1000 μF /35 V - 4 ks
C2 až C5	100 nF
C6	1000 μF /25 V - 2 ks
C7	100 nF
C8	100 μF /25 V - 2 ks
C9	100 μF /25 V - 2 ks
C10	10 μF /35 V
C11	68 nF
T3	BC547B
D1 až D4	1N5408
D5 až D8	1N4007
D10 až D12	1N4007
D9	Zenerova dioda, $U_z = 3 \text{ V}$, (BZX83V003.0)
D13	Zenerova dioda, $U_z = 16 \text{ V}$
D14	LED, dvoubarevná
D15, D16	LED, s větší účinností
D17	Zenerova dioda, $U_z = 8,2 \text{ V}$

Obr. 92.
Indikátor napětí
autobaterie
+ falešný alarm



Obr. 93. Indikátor napětí autobaterie
+ falešný alarm (pohled na stranu spojů)

Indikátor napětí autobaterie + falešný alarm

Indikátor umožňuje kontrolovat stav autobaterie a zároveň zlepšit ochranu automobilu před vloupáním. Blikáním LED simuluje zabezpečovací zařízení automobilu (autoalarm).

Zároveň indikátor střídou svého blikání ukazuje velikost napětí baterie. Má-li baterie jmenovité napětí, tj. 12 V, je střída přibližně 1:1. Při menším napětí dioda svítí déle, při napětí 10,5 V dioda již svítí trvale. Při větším napětí naopak dioda bliká krátce a při napětí 14,4 V již nesvítí vůbec.

Schéma indikátoru je na obr. 92. OZ IO1b pracuje jako multivibrátor. OZ IO1a porovnává napájecí napětí indikátoru (tj. napětí autobaterie, protože indikátor je napájen z palubní sítě automobilu) s referenčním napětím ze Zenerovy diody D1 a svým výstupním napětím řídí střidu multivibrátoru.

Dioda D2 chrání IO1 před zničením při prepólování napájecího napětí.

Indikátor má spotřebu asi 5 mA. Doporučuji použít LED D4 s velkou svítivostí, protože její proud můžeme zvolit menší, asi 2 mA. Dále můžeme zmenšit odběr proudu použitím IO1 typu TL062. Indikátor může být zapojen i několik měsíců, aniž by se autobaterie podstatně vybila, i když automobil zrovna nepoužíváme.

Indikátor je zkonstruován technologií SMT. Součástky jsou připájeny na desce s plošnými spoji (obr. 93). Výdové součástky jsou umístěny na opačné straně desky, než součástky SMD.

Seznam součástek

R1	3,9 kΩ, SMD 1206
R2, R3	47 kΩ, SMD 1206
R4	100 kΩ, SMD 1206
R5, R6	120 kΩ, SMD 1206
R7	220 kΩ, SMD 1206
R8	2,7 kΩ, SMD 1206
C1	4,7 µF/16 V
D1	BZX84C6V2, SMD
D2	BAS16, SMD
D3	BZX84C5V1, SMD
D4	LED s velkou svítivostí
IO1	TL072

Závěr

Většina konstrukcí, uveřejněných v tomto čísle, je převzata z mých publikací. Rád bych proto na závěr čtenáře s nimi seznámil.

Působil jsem 8 let jako učitel odborných předmětů na SPŠE. Při mé pedagogické činnosti mi vadil zejména nedostatek učebnic a jejich zastaralost a odtržení školy od nejnovějších trendů v tomto oboru. Vydávání nových učebnic pro poměrně úzký okruh studentů není pro většinu vydavatelství ekonomické. Uvědomil jsem si, že tento stav nestačí jen kritizovat, a rozhodl jsem se něco udělat pro to, aby se zlepšil.

V současné době tvoří moje publikace ucelený soubor poznatků z analogové, číslicové a mikroprocesorové techniky, který je vhodný nejen pro studenty SPŠE, ale i pro všechny zájemce o tento obor.

Kurz základů elektroniky pojednává o základních elektrotechnických zákonech a součástkách. Ve druhém vydání jsem jej doplnil i o základy silnoproudu. Na něj navazují Základní elektronické obvody a zařízení, zabývající se hlavně teorií napájecích zdrojů, zesilovačů a oscilátorů. V publikaci Aplikace moderních IO se zabývám podrobněji teorií operačních zesilovačů a obvodu NE 555.

Výše uvedené knižky jsou **schváleny ministerstvem školství jako učebnice**.

Publikace Elektronická měření je rovněž použitelná pro výuku tohoto předmětu na SPŠE. V publikacích Vlastnosti a užití CMOS obvodů, Zapojení s analogovými obvody, Aplikovaná elektronika, Konstrukční návody, Postavte si zesilovač, Doplnky nf zesilovače, Elektronika pro hudebníky a Elektronické přístroje jsem spojil teoretické články, praktické konstrukce a stručný katalog v jeden celek.

Rovněž **Praktické použití procesoru PIC a Programujeme PIC** úzce spojují teorii s praxí a mohou posloužit při výuce Mikroprocesorové techniky.

Při této činnosti jsem se snažil o **maximální stručnost a přehlednost**. Mám zkušenost, že v obsáhlých učebních textech se studenti špatně orientují a nedovedou z nich často vybrat nejdůležitější informace. Svou roli zde hraje i otázka financí. V době, kdy si studenti musí učebnice kupovat sami, jsou pro ně příliš rozsáhlé publikace často nedostupné.

U konstrukčních návodů se snažím, aby byly **přístupné zejména začínajícím zájemcům**. Učil jsem několik let dílenská cvičení, takže mám představu, co je k tomu zapotřebí.

Deska s plošnými spoji musí být maximálně „blbuvzdorná“ a snadno vyrobitelná. To znamená pájecí body velké, spoje dostatečně silné a co nejdale od sebe. Žádné spoje mezi nožičkami integrovaných obvodů, spoj vždy jednostranný. V případě potřeby raději použít drátové propojky.

Všechny tyto požadavky dodržuji i za cenu horšího vzhledu spoje. Během své praxe jsem viděl mnoho případů, kdy nedodržení těchto zásad vedlo u začátečníků k neúspěchu v práci.

Jednotlivé konstrukce na sebe vzájemně navazují a dají se spolu kombinovat, aniž se jejich napájení stane zbytečně složitým. V nf technice používám výhradně nesymetrické napájení. K napájení nf zesilovače 2x 10 W, stabilizovaného zdroje, nabíječky baterie, případně mikropáječky může být použit stejný transformátor. Každou úlohu se snažím řešit co možná nejjednodušším a nejlevnějším způsobem, snažím se maximálně využít desku s plošnými spoji při rozumné hustotě součástek.

Chci poděkovat za spolupráci majitelům **Nakladatelství technické literatury BEN**, kteří mi svým pochopením tuto činnost umožnili.

Všechny moje návody mají nebo mohou mít **praktický význam** a jsou přizpůsobené **moderní součástkové základně**. Pro zájemce zajistím **desku s plošnými spoji, sadu součástek**, případně i síťový transformátor a skříňku. Přejí všem hodně úspěchů v této činnosti.

Publikace jsem vydal vlastním nákladem a distribuuje je Nakladatelství technické literatury BEN, cena většiny publikací je 49,- Kč, rozsah 35 až 60 stran.

Na všechny dotazy, týkající se konstrukcí v tomto čísle časopisu **Konstrukční elektronika A Radio**, odpoví autor na adrese: J. Vlček, Tehov 122, 251 01 Říčany u Prahy, tel.: 02/66 107 687 (do zaměstnaní), 0204/64 15 63 (domů).

Autor na téže adrese také **zasílá na dobírku desky s plošnými spoji a sady součástek pro konstrukce**, které jsou popsány v tomto čísle časopisu **KE** i v publikacích, uvedených v seznamu literatury.

Dále jsou uvedeny názvy konstrukcí a u každé konstrukce je **cena desky s plošnými spoji a cena sady součástek bez desky s plošnými spoji (ceny v Kč):**

Zdroj s L200: 82,-, 387,-; Indikátor + alarm (klasické součástky): 19,-, 47,-; Indikátor + alarm (SMT): 10,-, 47,-; Předzesilovač s TDA1524: 39,-, 266,-; Čtyřpásmový ekvalizér: 92,-, 394,-; Kvadroadaptér: 50,-, 315,-; Monoindikátor 5LED (klas.): 29,-, 86,-; Monoindikátor 5LED (SMT): 15,-, 86,-; Stereoindikátor: 33,-, 168,-; Koncový zesilovač 2x 50 W: 56,-, 392,-; Směšo-

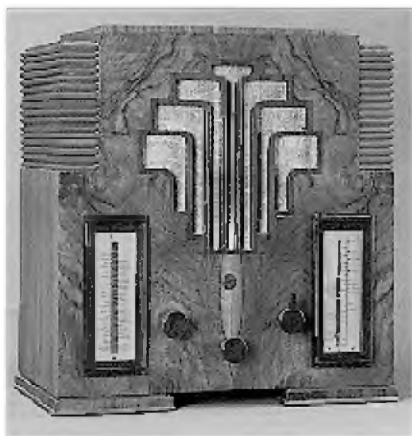
vač: 75,-, 330,-; Devítipásmový EQ: 78,-, 487,-; Mono předzesilovač: 29,-, 193,-; Páječka: 58,-, 390,-; Jednoduchá regulovatelná páječka: 39,-, 195,-; Pájecí pero PP 530: 490,-; Pájecí pero CSI 40: 195,-; Stojánek SP 530: 170,-; DPM: 62,-, 445,-; Laboratorní zdroj: 116,-, 480,-; Trafo 220 V/2x 11,5 V/30 W: 330,-; kompletní Laboratorní zdroj: 2426,-; kompletní Zdroj 170 V: 2736,-.

K cenám se připočítává poštovné.

Kompletní ceník všech svých výrobků na požádání zašlu.

Literatura

- [1] Vlček, J.: Konstrukční návody. BEN.
- [2] Vlček, J.: Postavte si zesilovač. BEN.
- [3] Vlček, J.: Doplnky nf zesilovače. BEN.
- [4] Vlček, J.: Zapojení s analogovými obvody. BEN.
- [5] Vlček, J.; Havlík, J.: Elektronika pro hudebníky. BEN.
- [6] Vlček, J.: Vlastnosti a užití CMOS obvodů. BEN.
- [7] Vlček, J.: Aplikovaná elektronika. BEN.
- [8] Vlček, J.: Kurz základů elektroniky. BEN.
- [9] Vlček, J.: Elektronická měření. BEN.
- [10] Vlček, J.: Základní elektronické obvody a zařízení. BEN.
- [11] Vlček, J.: Aplikace moderních IO. BEN.
- [12] Vacek, V.; Vlček, J.: Vlastnosti a použití procesoru PIC. BEN.
- [13] Vacek, V.; Vlček, J.: Programujeme PIC. BEN.
- [14] Vlček, J.: Elektronické přístroje. BEN (vyjde v květnu).
- [15] Vlček, J.: Moderní integrované obvody. BEN (vyjde asi v srpnu).



Rozhlasový přijímač Philips 528A z r. 1935. Obrázek převzat z italského časopisu *Antique radio magazine* č. 24/1998.

Pozvánka na výstavu historických radiopřijímačů ke 105. výročí rádia,

která se koná od 27. května do 30. června 2000
v Jablonci n/N - Rýnovicích, ulice Čs. armády 24

Téma výstavy: 1. Historická rádia PHILIPS
2. Historická rádia TELEFUNKEN
3. Lamy a radiotechnický materiál

Bude předvedeno asi 65 přístrojů z 30. až 40. let. Kromě nich si můžete prohlédnout lampy přijímací, vysílací, anténní relé, krystaly, různé speciální elektronky, a to opět z let 30., ale až po současnost. Mimoto budou vystaveny měřiče elektronek, několik gramofonů na kliku, telegrafní přístroje a kompletní radioamatérské pracoviště z 30. let.

Výstavu ke 105. výročí rádia připravili členové Historického radioklubu Československého.

Otevřeno: od 9 do 17 hod.

OK1UVG

Informace o předplatném podávají, objednávky předplatného přijímají a vyřizují regionální divize společnosti Předplatné tisku, s.r.o.: Divize Praha, tel. zelená linka: 0800/167234-6; Východočeská divize, tel. zelená linka: 0800/145862; Západočeská divize, tel. zelená linka: 0800/198584-5; Severočeská divize, tel. zelená linka: 0800/181324-5, 0800/127125; Jihočeská divize, tel. zelená linka: 0800/149388; Jihomoravská divize, tel. zelená linka: 0800/124029; Severomoravská divize, tel. zelená linka: 0800/196647. Objednávky do zahraničí vyřizuje Předplatné tisku, s.r.o., administrace vývozu tisku, Hvozďanská 5-7, 148 31 Praha 4 Roztyly tel.: 00420 2 67903106, 00420 2 67903122, fax 00420 2 7934607.