

## V TOMTO SEŠITĚ

Motorola - jeden z gigantů .....81

## ZAPOJENÍ S OPERAČNÍMI ZESILOVAČI II

Další zapojení nf zesilovačů .... 83

Doplňky k hudebním  
nástrojům ..... 90

Monostabilní klopné obvody .... 93

Komparátory ..... 93

Testery napěťových úrovní ..... 94

Nabíječe, odpojovače a vybíječe  
akumulátorů ..... 98

Doplňky k osobním  
počítačům ..... 100

Měřicí přístroje, doplňky  
a zkoušečky ..... 103

Neběžná měření běžných operač-  
ních zesilovačů ..... 108

**Nf zesilovač, řízený mikroprocesorem (dokončení z KE č. 1/97).....111**

**Ještě jednou Aplikovaná elektronika z KE č. 6/96.....120**

## KONSTRUKČNÍ ELEKTRONIKA A RADIO

**Vydavatel:** AMARO spol. s r. o.

**Redakce:** Dlážďená 4, 110 00 Praha 1, tel.: 24 21 11 11 - I. 295, tel./fax: 24 21 03 79. Šéfredaktor Luboš Kalousek, sekretářka redakce Tamara Trnková.

**Ročně vychází** 6 čísel. Cena výtisku 25 Kč. Pololetní předplatné 75 Kč, celoroční předplatné 150 Kč.

**Rozšiřuje** PNS a. s., Transpress s. s. r. o., Mediaprint a Kapa, soukromí distributoři, informace o předplatném podá a objednávky přijímá Amaro s. s. r. o., Dlážďená 4, 110 00 Praha 1, tel./fax 24 21 1111, I. 284, PNS, pošta, doručovatel.

**Objednávky a předplatné** v Slovenskej republike vybavuje MAGNET-PRESS Slovakia s. r. o., P. O. BOX 169, 830 00 Bratislava, tel./fax (07) 5254559 - předplatné, (07) 5254628 - administrativní. Předplatné na rok 165,- SK.

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

**Inzerce** přijímá redakce ARadio, Dlážďená 4, 110 00 Praha 1, tel.: 24 21 11 11 - linka 295, tel./fax: 24 21 03 79.

**Inzerce v SR** vyřizuje MAGNET-PRESS Slovakia s. r. o., Teslova 12, 821 02 Bratislava, tel./fax (07) 5254628.

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

**E-mail:** a-radio@login.cz

**Internet:** http://www.spinnet.cz/aradio

**ISSN 1211-3557**

© AMARO spol. s r. o.

# MOTOROLA - jeden z gigantů

Snad mi čtenáři prominou ten někud bombastický titulek, americká firma Motorola si ho však zaslouží - patří nesporně (a to již dlouhá desetiletí) k předním světovým výrobcům elektronických součástek a zařízení.

Avšak popořádku. Společnost Motorola byla založena Paulem V. Galvinem v roce 1928 v Chicagu ve státě Illinois. Prvním výrobkem společnosti byl „battery eliminator“, tj. zařízení, které umožňovalo napájet bateriové rozhlasové přijímače z elektrické sítě. V třicátých letech začala společnost - a tentokrát již pod jménem Motorola - vyrábět sériově přijímače do auta. Ve čtyřicátých letech se společnost účastnila na státních zakázkách a zřídila výzkumnou laboratoř polovodičové elektroniky ve Phoenixu v Arizoně.

V roce 1959 zemřel zakladatel společnosti, Paul Galvin - Motorola byla v té době již špičkovou společností v oblasti výroby vojenské, vesmírné a komerční komunikační techniky, začala vyrábět polovodičové součástky a uplatňovala se i v oblasti spotřební elektroniky.

V šedesátých letech se společnost také prosadila pod vedením Roberta W. Galvina na mezinárodních trzích. V té době se současně přesouvala pozornost společnosti od výrobků spotřební elektroniky k výrobkům pro komerční a průmyslové využití, vyžadujícím náročné technologie, a ke státním zakázkám.

Dnešní Motorola je předním světovým výrobcem v několika z nejrychleji se rozvíjejících oblastí elektronických výrobků - v celulárních telefonech, v tzv. občanských i jiných radiostanicích, jak přenosných, tak i mobilních (two-way mobil and portable radios), vyhledávacích zařízeních (paging devices) a v neposlední řadě i v polovodičových součástkách. Zhruba 140 000 zaměstnanců Motorola po celém světě (v Evropě kolem 20 000) vyprodukovalo v loňském roce obrát asi 27 miliard dolarů, přičemž přes 60 % této sumy bylo realizováno mimo USA (v Evropě kolem 25 %).

Je samozřejmé, že společnost, aby si udržela svoji pozici na trhu, musí podporovat i výzkum a vývoj - na tyto účely byly vynaloženy např. v roce 1995 více než 2 miliardy dolarů.

Základní strategií Motoroly pro udržení trvalého růstu společnosti je snaha být na špičce výzkumu, vývoje a samozřejmě i výroby nových polovodičových součástek, jako základního stavebního kamene všech zařízení současného „informačního věku“ (Information Age). Nejde přitom o omezený sortiment polovodičových součástek, ale zájem firmy je upřen na celou škálu výrobků počínaje diskretními tranzistory a konče nejmodernějšími mikroprocesory.

Současná Motorola má několik základních „divizí“, víceméně samostatných (společnost sama je označuje jako Sectors, sektory):

*Semiconductor Products Sector*, divizi pro vývoj, výrobu a distribuci polovodičových součástek (diskretní součástky, integrované obvody včetně mikroprocesorů, paměti, senzory, vf součástky, mikrokomputery),

*Land Mobil Products Sector*, divizi pro vývoj, výrobu a distribuci analogových i digitálních radiostanic a radiových systémů pro soukromníky i pro podniky,

*General Systems Sector*, divizi pro vývoj, výrobu a distribuci celulárních radiotelefonů a systémů, počítačů a komunikačních systémů, založených na spojení před družice, *Messaging, Information a Media Sector*,

divizi pro vývoj, výrobu a distribuci informačních produktů, včetně pagerů a pagerových systémů, výrobků pro bezdrátovou i „drátovou“ datovou komunikaci, zařízení pro infrastrukturu, infrastrukturní systémy a služby, kabelové telefony, kabelové datové modemy, včetně software pro tuto oblast techniky,

*Government and Space Technology Group*,

je divize, která se specializuje na výzkum, vývoj a výrobu elektronických systémů a výrobků v rámci státních zakázek vlády USA; část této divize společnosti Motorola vyvíjí komunikační družicový systém IRIDIUM, *Automotive, Energy and Controls Group*,

navrhuje a vyrábí široký sortiment elektronických součástek, modulů a výrobků pro průmysl, navigaci, komunikace, energetické soustavy, spotřební elektroniku apod., např. teplotně kompenzované krystalové oscilátory, desky s plošnými spoji, bateriové „paky“ pro přenosné počítače (laptopy), nejrůznější ovládací a řídicí zařízení pro stroje, tlakové senzory, polovičová relé, napěťové regulátory, antény GPS a jejich příslušenství, nabíječe baterií, krystaly, filtry, zařízení pro moderní osvětlení, ...

Nezadatelnou součástí produktů společnosti Motorola je i software, který pracuje např. s operačními systémy AIX, Unix systémem V/88, Mac OS, Windows NT a Solaris, jednodeskové počítače a mikroprocesorové moduly s architekturou MC68xx0 (CISC) či M88xx0 (RISC), kontroléry, paměťové moduly, multiplexerové moduly, vstupně/výstupní moduly a další, komunikační a řídicí moduly.

Podniky, vyrábějící poslední jmenovaná zařízení, jsou známy pod společným názvem Motorola Computer Group.

Kromě komunikačních zařízení, kterých si všimneme na závěr našeho úvodníku, jsou pro nás nejzajímavějšími výrobky z produkce Motorola polovodičové součástky. Jde o speciální integrované obvody (ASIC - Application Specific Integrated Circuit) jako jsou bipolární hradlová pole, hradlová pole CMOS a zákaznická pole (CDA - Customer Defined Arrays), dále o digitální signálové procesory rodin 56000 a 96000, mikroprocesory s kompletními nebo redukovánými instrukcemi rodiny M68000, kontroléry na základě flexcore - 68000, jednočipové mikrokontroléry 8, 16 a 32 bitů, neuronové čipy (ve spolupráci s Echelon Inc.), rychlé statické paměti RAM (FSRAM) a dynamické RAM (DRAM), integrované obvody pro konverzi dat, pro obvody s fázovým závěsem (PLL), spotřebitelské IO, obvody pro interface, logické obvody ECL, TTL (LS i rychlé - fast), CMOS (s kovovou řídicí elektrodou, rychlé a FACT) i obvody s novými technologiemi - programovatelné logické obvody (PLD - Programmable Logic Device) a programovatelná hradlová pole (FPGA - Field Programmable Gate Array).

Z oblasti lineárních IO vyrábí Motorola např. zesilovače a komparátory, řídicí obvody pro výkonové zdroje a motory, zdroje referenčního napětí, obvody pro komunikace, spotřební elektroniku apod. Jen pro zajímavost - jedním z posledních výrobků, uvedených na trh společností Motorola, je operační zesilovač MC33502 (dva OZ v jednom pouzdru), který pracuje již od (nesymetrického) napájecího napětí 1 V do 7 V se vstupním proudem menším než 40 fA (femtoampér,  $10^{-15}$  A), se šířkou pásma pro jednotkové zesílení 5 MHz při napájecím napětí 5 V, 4 MHz při 1 V, s velkým napětovým ziskem 100 dB, se spotřebou napájecího proudu typicky 1,2 mA a se širokým rozsahem možných pracovních teplot -40 až +105 °C. Není tedy problémem napájet takovou součástku jedním jediným článkem 1,5 V, popř. článkem NiCd (1,2 V). Přitom výstupní proud může být až 10 mA (při napájecím napětí 1 V), popř. 50 mA při napájecím napětí 5 V.

Z diskretních součástek vyrábí Motorola množství diod a tranzistorů pro malé signály a výkony, Zenerovy a referenční diody, optoelektronické součástky, usměrňovače, tyristory a triaky, výkonové tranzistory bipolární i unipolární (MOSFET), senzory atd. Jako renomovaný výrobce má ve výrobním programu i součástky se zveščenou spolehlivostí pro vojenské účely a kosmická zařízení.

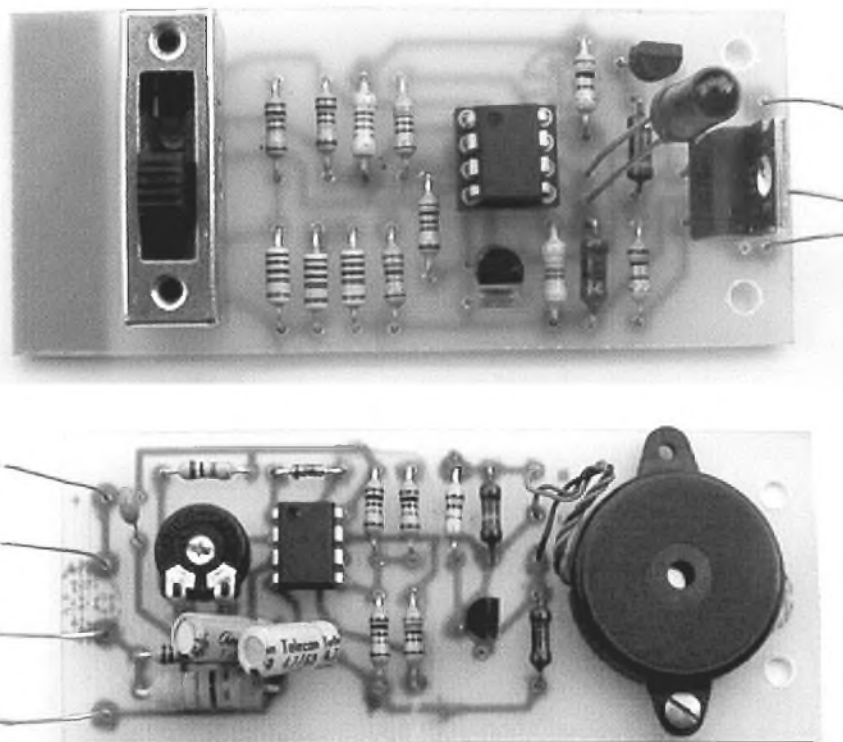
Na mezinárodní věhlas firmy lze usuzovat i z toho, že v oboru součástek navázala společnost úzkou spolupráci s firmami Philips, Apple, IBM a dalšími (v určitých oborech).

S historií elektroniky je jméno společnosti nejtěsněji spojeno v oblasti dvoustranného radiového styku a toto spojení vzniklo již více než 50 let před vznikem RPG, Radio Product Group, tj. divizi Motorola, která se zabývá vývojem, výrobou a distribucí radiových spojovacích zařízení, tj. mobilními „rádii“, základnovými radiostanicemi, přenosnými radiostanicemi apod. Tyto stanice jsou označovány jako GMxxx, GM(GP)600, 1200, P110, VISAR, GR300, ... Centro Plus atd.

Motorola nezapomíná ani na nutné průběžné vzdělávání svých zaměstnanců a klientů - touto činností, tj. pořádáním vzdělávacích kursů se zabývá Motorola University, která je pro lepší adresnost kursů rozdělena do tří skupin - evropské, středovýchodní a africké. V praxi to vypadá tak, že se lze „vychovávat“ účastnit buď v klasické „otevřené“ třídě (každému otevřeného kursu) nebo v soukromých „sezeních“ s individuálními studijními programy.



M10, M120, GM300 - radiostanice Motorola Radius M10 (vlevo), M120 a GM300 (vpravo) jsou již delší dobu nejuniverzálnější a nejprodávanější mobilní radiostanice pro konvenční radiové sítě v pásmech VHF i UHF. Lze je používat i v retranslační stanici nebo jako základnové. Jsou odolné proti stříkající vodě, prachu, šokům i otřesům. Výstupní výkon je programovatelný v mezích 10 až 25 W, hmotnost 1,7 kg



Osazené desky s plošnými spoji dále popisovaných konstrukcí: nahoře Vybíječ akumulátorů NiCd, dole Kontrola funkce ventilátoru v PC

### Televizní opraváři! Nemáte schéma?

TV servis Ratajský Zlín používá databázi, v níž lze podle typu integrovaného obvodu najít schéma, které tento IO obsahuje a tak zjistit možnosti, jak obvod proměřit. Můžete dopisovat vlastní údaje.

Disketa 350,- Kč (schémata dohodou).

Ratajský J., Na Honech 3/4932, 760 05 Zlín

# ZAPOJENÍ S OPERAČNÍMI ZESILOVAČI 2

Ing. Jaroslav Belza

V loňském roce jsem v KE 3/96 uvedl velké množství základních zapojení s operačními zesilovači. Letos chci tímto volným pokračováním doplnit další základní zapojení, na které se nedostalo z důvodů omezeného rozsahu časopisu. Obsah bude doplněn o praktická zapojení, „posbíraná“ z nejrůznějších tuzemských a zahraničních časopisů. Uvedená schémata zapojení budou v některých případech upravena či překreslena tak, aby lépe vynikla funkce jednotlivých obvodů, v jiných jsem opravil zjevné chyby. U všech převzatých zapojení je uveden původní pramen.

## Další zapojení nf zesilovačů

Na obr. 1 je ještě jedno zapojení snímáčiho zesilovače, tentokrát pro cívkový magnetofon [1]. I když pochybuji, že by se dnes ještě někdo pustil do přestavby cívkového magnetofonu, může tento zesilovač oživit nějaký vrak a umožnit přehrávání starých „archivních“ pásků.

**Snímací zesilovač** byl navržen pro mechaniku z magnetofonu s rychlostí posuvu pásky 4,76 a 9,5 cm/s. Použitá magnetofonová hlava by měla mít indukčnost asi 30 mH (ANP935). Při použití magnetofonové hlavy s jinou indukčností je třeba upravit kapacitu kondenzátoru C2 tak, aby tvořil s indukčností hlavy rezonanční obvod pro kmitočet 20 až 25 kHz. Zdůrazní se tak vyšší kmitočty již na vstupu zesilovače, čímž se zlepší odstup signálu od šumu.

Běžné operační zesilovače nejsou vhodné pro zesilování slabých signálů, neboť mají poměrně značný vlastní šum. Proto je signál z magnetofonové hlavy nejprve zesílen tranzistorem T1. Na místě T1 je vhodné použít tranzistor s malým šumem, např. BC550, BC549, BC413, KC239F apod. Zesílení tohoto stupně lze upravit změnou odporu R4. Na vyšších

kmitočtech, při kterých je již impedance hlavy velká, odstraňuje C3 zápornou zpětnou vazbu. Při nízkých kmitočtech stačí na odstranění zpětné vazby malá impedance hlavy.

Následuje stupeň s operačním zesilovačem, který zajišťuje příslušné korekce. Zapojení bylo navrženo speciálně pro OZ typu 741, který má při kmitočtech okolo 20 kHz již velmi malé zesílení. Bez úprav lze použít také polovinu IO typu 1458 nebo 747. Použijete-li v zesilovači jiný (rychlejší) OZ, je třeba vypustit kondenzátor C6, případně jej nahradit sériovým článkem RC.

Ve snímacích zesilovačích nepoužívejte OZ s tranzistory JFET nebo MOSFET ve vstupních obvodech. Kmitočtové spektrum jejich šumového napětí, přepočteného na vstup, je u nich jiné než u bipolárních OZ. Na nízkých kmitočtech, které jsou právě ve snímacích zesilovačích nejvíce zesíleny, mají zpravidla větší šum než bipolární OZ.

Tranzistor T2 přepíná korekce při změně rychlosti posuvu pásky. Při rychlosti 9,5 cm/s je tranzistor otevřen přivedením kladného napájecího napětí (+15 V) na vývod EQ. Při rychlosti 4,76 cm/s je tranzistor zavřen – na vývod EQ přivedeme

napětí -3 až 5 V. Místo tranzistoru můžeme samozřejmě použít i obyčejný mechanický spínač. Přepínání korekcí tranzistorem je však výhodné tehdy, není-li na příslušném přepínači dispozice dostatek kontaktů. Spínač na výstupu zesilovače by měl být rozpojen pouze při přehrávání.

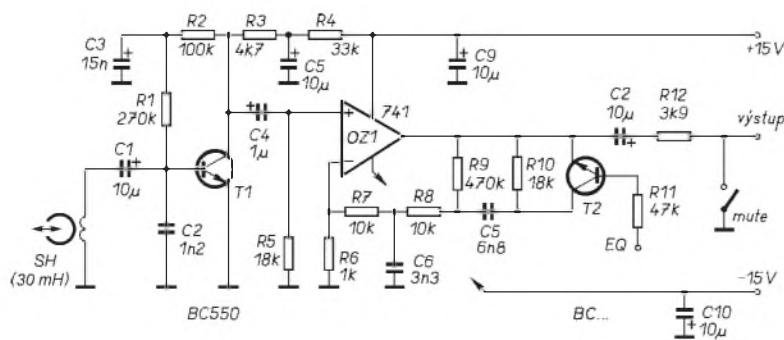
Snímací zesilovač lze použít i pro cívkové magnetofony s rychlostí posuvu pásky 19 cm/s a pro kazetové magnetofony. V takovém případě je třeba upravit korekční obvody tak, aby vyhovovaly pro daný účel. Pro kazetové magnetofony bych doporučil spíše zapojení z [2].

Důležitou součástí magnetofonů jsou **indikátory vybuzení**. Jednoduché indikátory s ručkovým měřidlem byly uvedeny v kapitole o usměrňovačích na obr. 120 a 121 (KE 3/96). Dnes je běžnější indikace páskem svítivých diod, řízených vhodným obvodem (A277, LM3914 apod.) V takovém případě je však dynamický rozsah indikace velmi malý, zpravidla menší než 20 dB. Řešením může být zapojení „logaritmátoru“ mezi usměrňovač a obvod indikace. Logaritmátor nemusí dosahovat kvality nutné pro měřicí přístroje – může být proto velmi jednoduchý.

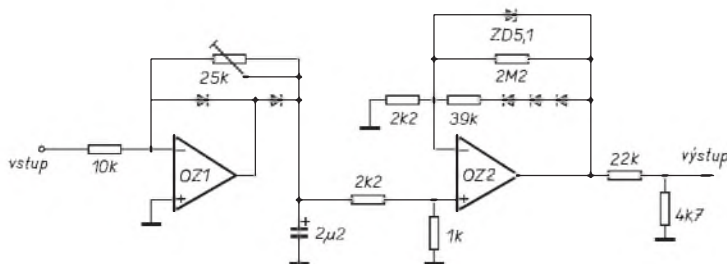
Zapojení takového logaritmátoru je na obr. 2 [3]. OZ1 je zapojen jako lineární usměrňovač. Následuje vlastní logaritmátor s OZ2. K „zakřivení“ charakteristiky je použita zpětnovazební síť z rezistorů a diod. Za výstupní dělič je pak již připojen příslušný indikační obvod. Vstupní napětí může být v rozsahu téměř 60 dB (10 mV až 10 V).

Jiný typ indikátoru vybuzení je na obr. 3 [4]. V složitějších elektroakustických zařízeních (předzesilovačích, ekvalizérech, mixážních pultech) se může stát, že signál je na některých místech tak silný, že je již omezen. Proto je vhodné na některých místech sledovat amplitudu nf signálu, aby nikde nedosáhla úrovně nutné k jeho limitaci.

Komparátor s OZ1 sleduje vstupní napětí. V klidu je na jeho výstupu kladné napětí, kondenzátor C1 je vybit a LED nesvítí, protože komparátor s OZ2 má na výstupu také kladné napětí. Blíží-li se úroveň signálu kladnému napájecímu napětí, otevře se D1 a na invertujícím vstupu OZ1 se zvětší napětí. Komparátor se přepne a



Obr. 1. Snímací zesilovač pro cívkový magnetofon



Obr. 2. Usměrňovač a logaritmátor pro indikátor vybuzení s LED

kondenzátor C1 se začne rychle nabíjet přes diodu D3. Komparátor s OZ2 se také překlápí a LED se rozsvítí. Blíží-li se úroveň signálu zápornému napájecímu napětí, otevře se D2 a na neinvertujícím vstupu OZ1 se zmenší napětí, což rovněž vede k přepnutí komparátoru s OZ1.

Odporové děliče na vstupech OZ1 jsou navrženy tak, aby napětí na invertujícím vstupu bylo (při napájecím napětí 24 V) asi o 400 mV menší, než na vstupu neinvertujícím. Pásmo necitlivosti je zajištěno připojením diod do vhodných míst děliče. Na výstupu OZ1 se napětí zmenšuje, blíží-li se úroveň na vstupu napájecímu napětí. Kdybychom však připojili LED přímo na výstup OZ1, těžko bychom postrehli krátké modulační špičky. Komparátor s OZ2 je proto prodlužuje tak, aby byly dobře patrné. Při modulační špičce se rychle nabije kondenzátor C1, který se pak pomalu vybíjí přes paralelně připojený rezistor.

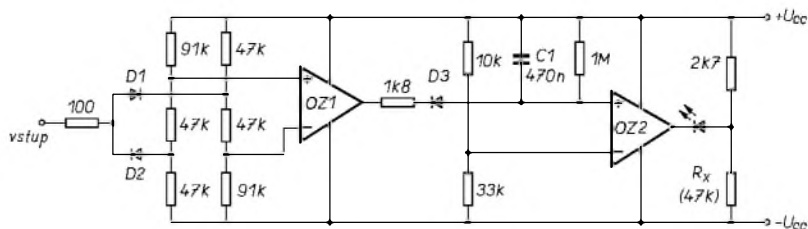
Pokud by indikační LED v klidu slabě svítila, doplníme zapojení o rezistor  $R_x$ . To se může stát tehdy, má-li OZ velké kladné saturační napětí. Použije-li např. OZ typu 1458, nebude jej třeba.

Napájení indikátoru vybuzení by mělo odpovídat sledovanému zařízení. Protože není vyvedena žádná „zem“ či střed napájení, lze použít nesymetrické napájení 9 až 32 V, nebo symetrické  $\pm 4,5$  až 16 V.

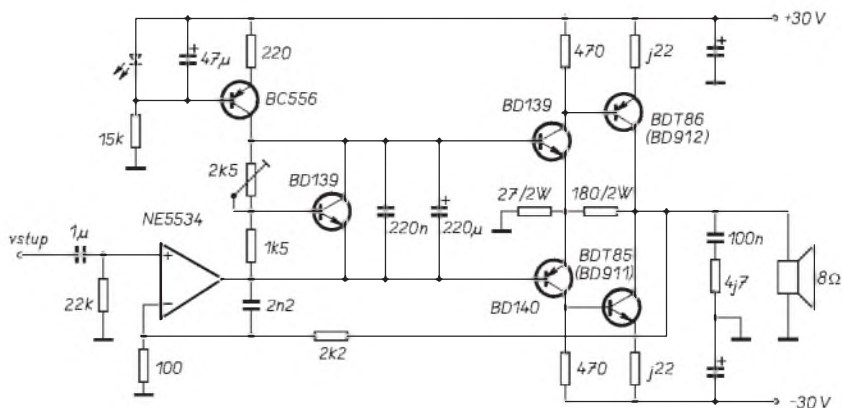
Jiný indikátor vybuzení je na obr. 4. V původní konstrukci [5] byl použit jako indikátor přebuzení v mixážním pultu.

Operační zesilovač OZ1 pracuje jako invertující zesilovač. Jeho vstupní odpor je pouze 6,8 k $\Omega$ , což při připojení na výstup některého předzesilovače s malým výstupním odporem zpravidla nevádí. Následuje diodový detektor s D1. Protože se zpracovávají poměrně silné signály, není zde nutné použít „přesný“ usměrňovač s OZ. Za usměrňovačem jsou zapojeny tři komparátory. Referenční napětí pro ně (3; 4,3 a 6 V) jsou odvozena z napájecího napětí odporovým děličem a odpovídají požadované úrovni vybuzení.

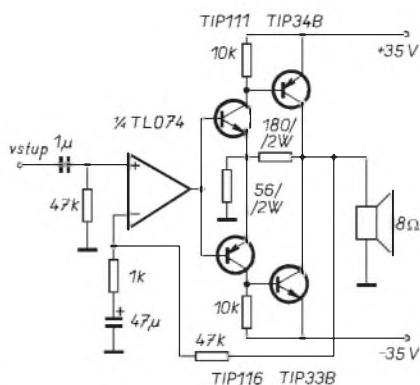
Zapojení tohoto indikátoru je velmi jednoduché a levné (obvod LM324 se dá zakoupit asi za 10 Kč), avšak není příliš úsporné. Zvětší-li se napětí na výstupu detektoru, překlápí se nejprve komparátor s OZ4 a rozsvítí se LED indikující 0 dB. Napájecí proud LED je odebírán nejen ze zdroje +15 V, ale také ze zdroje -15 V. Při dalším zvětšení napětí na výstupu detektoru



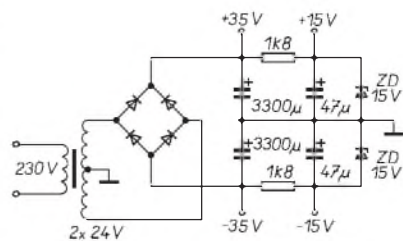
Obr. 3. Indikátor přebuzení nf zesilovačů



Obr. 5. Nízkofrekvenční zesilovač 50 W



Obr. 6. Jiné zapojení zesilovače 50 W



Obr. 7. Napájecí zdroj, vhodný pro nf zesilovač z obr. 5 a 6

ru se rozsvítí další LED a odebíraný proud se zdvojnásobí, případně ztrojnásobí.

Méně často používají OZ **výkonové nízkofrekvenční zesilovače**. Konstrukteři dávají přednost buď použití speciálních integrovaných obvodů, nebo, pro nejkvalitnější zesilovače a velké výkony, používají pouze tranzistory. Příkladem výkonového zesilovače s OZ může být dříve dosti oblíbený zesilovač TEXAN [6].

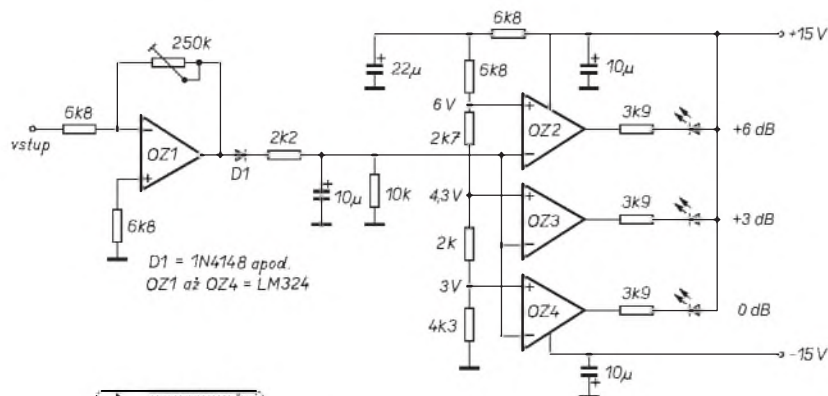
Jiný zesilovač je na obr. 5 [7]. Zesilovač s výkonem 50 W je napájen napětím  $\pm 30$  V. Protože OZ musí být napájen napětím menším ( $\pm 15$  V), nemůže jeho výstup dosáhnout potřebného rozkmitu napětí. Z tohoto důvodu jsou koncové tranzistory v zapojení, které zajišťuje další napěťové zesílení. Záporná zpětná vazba je zavedena přes celý zesilovač.

Citlivost zesilovače pro plné vybuzení je asi 1 V. Odporovým trimrem se nastavuje je klidový proud koncových tranzistorů na 100 mA.

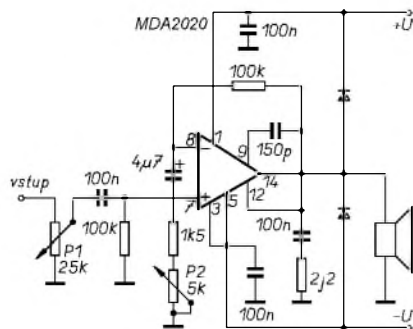
Obdobný zesilovač, ale s jednodušším zapojením, je na obr. 6 [8]. Zesilovač je určen pro hloubkový reproduktor (subwoofer). Protože koncovými tranzistory zesilovače neteče žádný klidový proud, bude mít tento zesilovač větší přechodové zkreslení. Toto zkreslení se projeví nejvíce při slabých signálech.

Na obr. 7 je jednoduchý napájecí zdroj, vhodný pro zesilovače z obr. 5 a 6. Transformátor by měl být pro příkon asi 60 VA u monofonního a 120 až 150 VA u stereofonního zesilovače. Pro stereofonní zesilovač je vhodné zvětšit kapacity filtračních kondenzátorů ve zdroji.

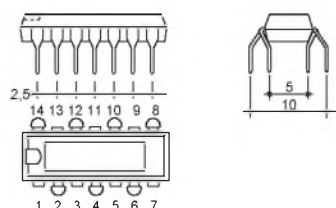
Integrované nízkofrekvenční výkonové zesilovače bývají zpravidla konstruovány jako speciální IO, hlavně z důvodů



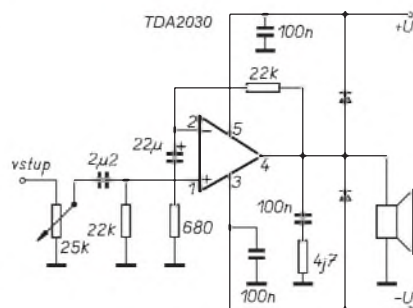
Obr. 4. Indikátor přebuzení



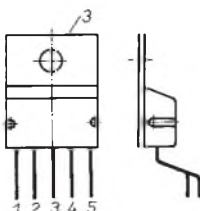
Obr. 8. Základní zapojení zesilovače s MDA2020



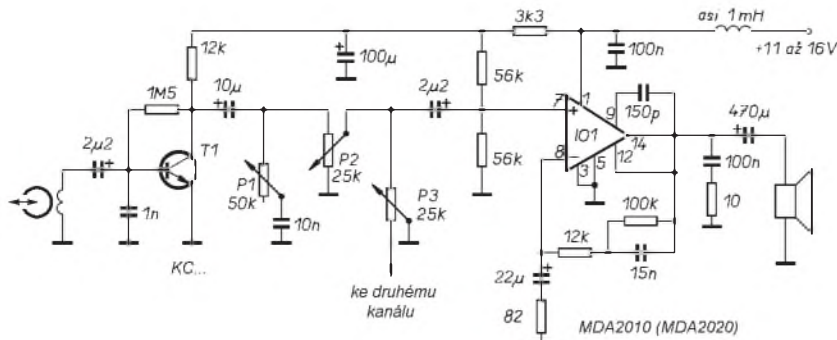
Obr. 9. Modifikované pouzdro DIP pro zesilovače řady MDA...



Obr. 10. Základní zapojení zesilovače s TDA2030



Obr. 11. Pouzdro PENTAWATT pro zesilovače řady TDA2030



Obr. 12. Zapojení jednoduchého přehrávače

Tab. 1. Porovnání výkonových zesilovačů řady MDA2020 a TDA2030. Kompletní technické údaje obvodů TDA... lze nalézt v katalogu SGS Thomson.

| Typ      | Minimální napájecí napětí [V] | Maximální napájecí napětí [V] | Klidový napájecí proud [mA] při napětí | Zkreslení [%] při výkonu (Rz = 4 Ω) | Maximální výstupní výkon [W] |
|----------|-------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| MDA2010  | ±5                            | ±18                           | 45 při ±18 V                           | 0,2 při 10 W                        |                              |
| MDA2020  | ±5                            | ±22                           | 60 při ±22 V                           | 0,2 při 14 W                        |                              |
| TDA2030  | ±6                            | ±18                           | 40 při ±14 V                           | 0,2 při 12 W                        | 14 při 4 Ω a ±14 V           |
| TDA2030A | ±6                            | ±22                           | 50 při ±16 V                           | 0,08 při 14 W                       | 18 při 4 Ω a ±16 V           |
| TDA2040  | ±2,5                          | ±20                           | max. 30 při ±4,5 V<br>45 při ±20 V     | 0,08 při 10 W                       | 22 při 4 Ω a ±16 V           |
| TDA2050  | ±4,5                          | ±25                           | 30 při ±4,5 V<br>50 při ±25 V          | 0,03 při 24 W                       | 28 při 4 Ω a ±22 V           |
| TDA2051  | ±4,5                          | ±25                           | 50 při ±4,5 V<br>100 při ±25 V         | 0,02 při 20 W                       | 30 při 4 Ω a ±22 V           |

minimalizace počtu nutných externích součástek a doplnění dalších funkcí (mute, stand-by, odstranění rušivých zvuků při zapnutí a vypnutí). Existují však i IO pro nf zesilovače zapojené jako operační zesilovače. Nejznámější jsou asi obvody řady MDA2020 a TDA2030.

Velkým nedostatkem obvodů MDA2020 a MDA2010 bylo nevhodně zvolené pouzdro, které umožňovalo montáž chladiče pouze nad desku s plošnými

spoji. O těchto obvodech se zmiňují hlavně proto, že je lze zakoupit v různých výprodejích za velmi přijatelnou cenu. Na obr. 8 je zapojení jednoduchého nf zesilovače, na obr. 9 pak zapojení vývodů v pouzdru IO. Potenciometrem P1 nastavujeme hlasitost, P2 vyvážení kanálů u stereofonního zesilovače.

Obdobným zesilovačem je TDA2030 (A2030). Obvody TDA2040 a 2050 se liší jen rozsahem napájecího napětí (a tím i

výkonem) a nepotřebují diody ve výstupním obvodu. Základní zapojení nf zesilovače s TDA2030 je na obr. 10, pouzdro na obr. 11. Stejně zapojení vývodů má také zesilovač LM1875T, který je obdobný typu TDA2050.

Tyto obvody lze opravdu použít jako výkonové operační zesilovače. Příkladem může být zesilovač, kterým jsem oživil vrak kazetového přehrávače do auta. Nejedná se o žádnou Hi-Fi konstrukci, svému účelu (a kvalitě použité mechaniky) však zcela vyhověla. Zapojení jednoho kanálu přehrávače je na obr. 12.

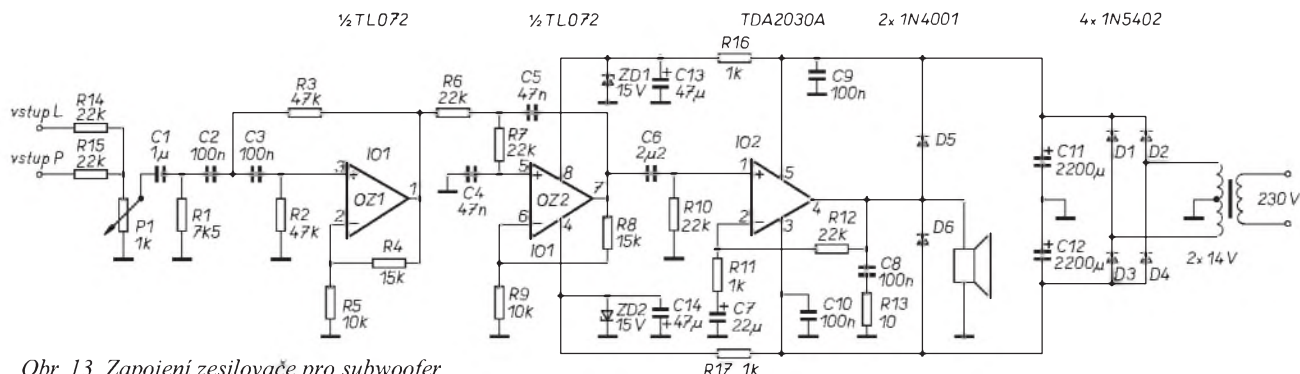
Zapojení se dosti podobá snímacímu zesilovači z obr. 1. Signál ze snímací hlavy je zesílen tranzistorem T1. Následuje tónová clona (P1), regulátor hlasitosti (P2) a regulátor vyvážení kanálů (P3) v nejjednodušším možném zapojení. Integrovaný obvod MDA2010 slouží zároveň jako výkonový i korekční zesilovač. Kmitočtové pásmo je zdola omezeno na 100 Hz, což je při použití levnějších reproduktorů zcela dostatečné. Protože se nepředpokládá použití obvodu v mezních podmínkách (při napájecím napětí 12 V je výstupní výkon asi 3 W), jsou vynechány i ochranné diody na výstupu výkonového zesilovače.

V zapojení si ještě povšimněte tlumivky v přívodu napájení. Tlumivka a následný kondenzátor filtrují napěťové špičky v rozvodné síti vozidla vznikající např. při startování, které mohou mít amplitudu i několik desítek V. Takové napětí již spolehlivě zničí výkonový zesilovač. Tlumivku navineme feritové jádro EE, nebo jádro složené z plechů malého transformátoru drátem o průměru 0,7 až 1 mm.

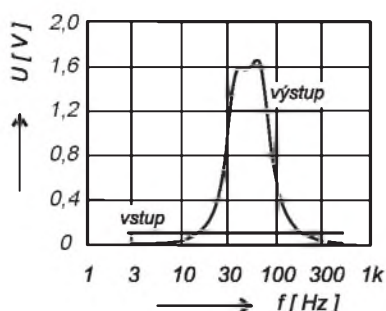
Klidový odběr obvodů MDA je při napětí 12 V asi 40 mA. Proto je nutné k těmto obvodům připevnit alespoň malý chladič.

Obvod TDA2030 v tomto zapojení použít nelze, neboť má minimální napájecí napětí ±6 V (12 V). Napětí palubní sítě automobilu při vybitém akumulátoru nebo rozsvícených hlavních světlech (a vypnutém motoru) může být menší. V zapojení by bylo možno použít obvody TDA2040 nebo TDA2050, ty jsou však příliš drahé pro použití v takovém „Low-Fi“ zařízení. Minimální a maximální napájecí napětí obvodů řady TDA2030 je v tab. 1.

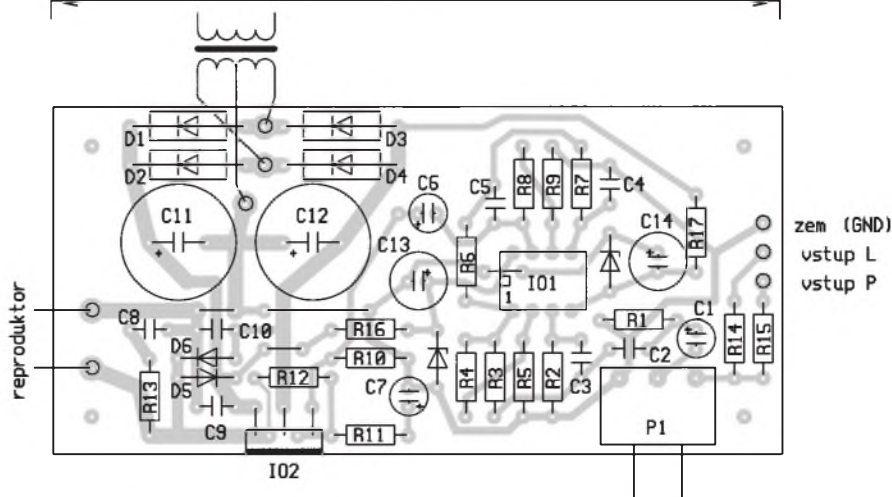
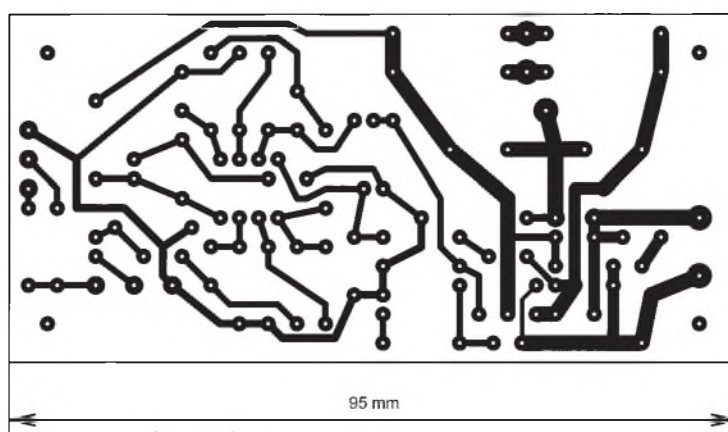
Spotřební elektronikou mnoha zařízení spotřební elektroniky bývá špatná reprodukce signálů nízkých kmitočtů. Je to zcela pochopitelné. Na jedné straně se výrobci snaží zmenšit rozměry a váhu (v neposlední řadě i výrobní náklady) těchto zařízení, na straně druhé uživatelé šetří místem (a penězi) a tak výrobce v těchto snahách nepřímou podporují. A tak kmitočtová charakteristika většiny reproduktorových soustav je zdola omezena na kmitočtu 50 až 100 Hz. Podíl na tom mají i výrobci, kteří u reproduktorových soustav uvádějí parametry, kterých tyto soustavy nemohou dosáhnout. Posledními zkouškami se snadno přesvědčíte, že pro dobrý přenos nízkých kmitočtů je



Obr. 13. Zapojení zesilovače pro subwoofer



Obr. 14. Kmitočtová charakteristika filtru v zesilovači pro subwoofer



Obr. 15. Deska s plošnými spoji pro subwoofer a rozmístění součástek

potřeba reproduktorová soustava s objemem několika desítek litrů.

Je známou skutečností, že u zvukových signálů s kmitočty pod 100 Hz již není lidský sluch schopen poznat směr, odkud se zvuk šíří. Toho se využívá u reproduktorových soustav s takzvaným subwooferem. Pro stereofonní poslech máme dvě relativně malé reproduktorové soustavy, záměrně vyrobené tak, aby vyzařovaly signály s kmitočty nad 100 Hz. Signály nižších kmitočtů se z obou kanálů sloučí a přivedou do speciální reproduktorové soustavy – subwooferu, který je vyzáří. Subwoofer má zpravidla poměrně velký objem. Jeho velkou výhodou je, že může být umístěn na libovolném místě v místnosti, zpravidla tam, kde velká „bedna“ nepřekáží.

Odtud je jen krůček k myšlence doplnit subwoofer k jakýmkoli reprosoustavám s malým objemem. V některých případech je navíc použití velkých reproduktorových soustav zcela nemožné – např. v televizoru nebo u multimediálního PC.

Uvedený problém elegantně řeší zařízení, s malými obměnami zveřejněné ve dvou amerických časopisech [8] a [9].

Zapojení **přídavného zesilovače pro subwoofer**, upravené pro použití u nás běžně dostupných součástek, je na obr. 13. Stávající reproduktorové soustavy jsou přímo připojeny k zesilovači nebo zvukové kartě v počítači. Přes rezistory R14 a R15 se z každého kanálu odebírá signál; signály se sčítají na potenciometru P1. Potenciometrem se nastavuje vhodná hlasitost subwooferu. Za ním následuje aktivní filtr s OZ1 a OZ2 (IO1). OZ1 je zapojen jako horní propust, potlačující signály s kmitočty pod 34 Hz. Zesilovat tyto signály nemá smysl, k jejich vyzáření by byla

potřeba „bedna“ s příliš velkým objemem. Následuje dolní propust s mezním kmitočtem asi 150 Hz, realizovaná s OZ2. Obě filtry mají zesílení pro signály v propustném pásmu. Kmitočtová charakteristika filtru je na obr. 14.

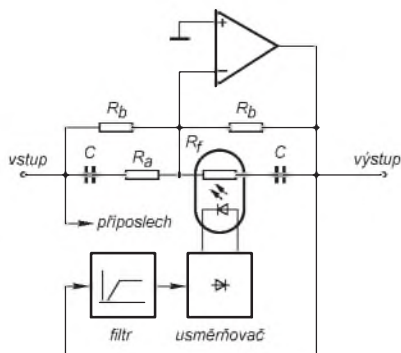
Za filtrem následuje výkonový zesilovač. V konstrukci podle [8] byl použit zesilovač, který je na obr. 6 a v konstrukci podle [9] výkonový zesilovač LM1875. Obvod LM1875 má pouzdro a vývody jako zesilovač řady TDA2030, napájecí napětí bylo použito  $\pm 25$  V. Pro použití zesilovačů TDA... jsem původní zapojení doplnil Boucherotovým členem na výstupu IO2 a diodami D5 a D6.

Součástí zapojení je i prostý napájecí zdroj. Sekundární napětí transformátoru je třeba zvolit podle maximálního povoleného napětí použitého výkonového zesilovače. Je třeba počítat s tím, že u nezatiženého zdroje (zesilovač bez signálu) bude napětí po usměrnění asi 1,5krát vět-

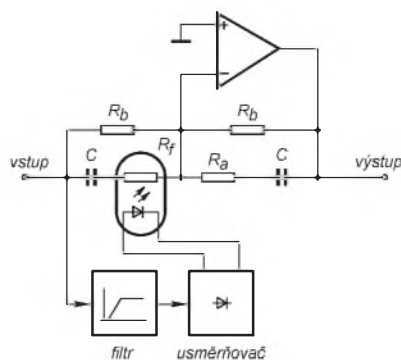
ší. Výstupní výkon zesilovače je asi 15 až 20 W (podle IO2) a tak použijeme transformátor s výkonem 20 až 30 VA.

Podle zapojení podle IO2 upravíme také odpor rezistorů R16 a R17. Při napájecím napětí 18 až 20 V zmenšíme jejich odpor na 470  $\Omega$ . Při napájecím napětí 16 V a menším vypustíme Zenerovy diody ZD1 a ZD2 a odpor rezistorů zmenšíme na 100  $\Omega$ . Zenerovy diody můžeme také vypustit, použijeme-li na místě IO1 obvod NE5532. Ten má totiž maximální povolené napájecí napětí  $\pm 22$  V. Jeho klidový odběr je větší než u TL072 a tak zmenšíme odpor R16 a R17 na 47 až 100  $\Omega$ .

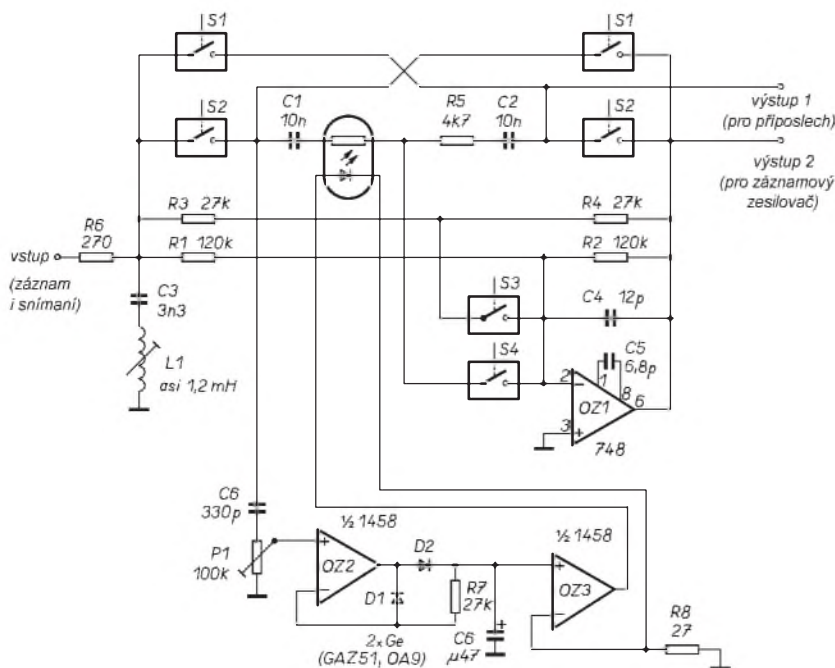
Zesilovač pro subwoofer lze postavit na desce s plošnými spoji podle obr. 15. Desku jsem navrhl s ohledem na doplnění součástky a snadnou montáž (původní deska byla oboustranná). Protože se předpokládá vestavba do skříňky s reproduktorem, slouží čelní panel zároveň jako chla-



Obr. 16. Zjednodušené zapojení ANRS při záznamu



Obr. 17. Zjednodušené zapojení ANRS při reprodukci



Obr. 18. Zapojení potlačovače šumu ANRS

dič pro IO2. Na desce osadíme nejdříve drátové propojky, jedna je totiž pod IO1.

Vstupní napěťová nesymetrie použitých operačních zesilovačů může být až 10 mV. Pak lze na výstupu OZ2 naměřit kladné nebo záporné napětí až několik desítek milivoltů. Podle tohoto napětí je třeba správně pólovat kondenzátor C6. Proto osadíme nejdříve pouze filtr, případně celý zesilovač bez IO2 a C6, změříme napětí na výstupu OZ2 a zvolíme správnou polaritu C6. Další možností je použít svitkový kondenzátor s roztečí vývodů 5 mm, který lze do desky zapájet. Zesilovač oživíme nejlépe při napájení z regulovatelného zdroje. V nouzi zapojíme při prvním připojení do přívodů od transformátoru rezistory s odporem asi 100 Ω na zatížení alespoň 1 W nebo žárovky 12 až 24 V/1 až 2 W. Při případném zkratu nebo jiné závadě se tím omezí proud procházející obvodem.

Důležitou součástí je vlastní reproduktorová skříňka. Zhotovíme ji z latůvky nebo dřevotřísky a měla by mít vnitřní objem nejméně 10 litrů. Použijeme hlubokotónový reproduktor s průměrem 15 až 25 cm a „gumovým“ uchycením membrány. Zesilovač vestavíme nejlépe přímo do skříňky s reproduktorem. Desku zesilovače umístíme tak, aby potenciometr a síťový spínač byly přístupny z čelní strany. Transformátor umístíme co nejdále od desky s plošnými spoji a reproduktoru. K indikaci zapnutí můžeme použít LED, připojenou přes rezistor 1 až 3,3 kΩ paralelně ke kondenzátoru C11 nebo C12.

Další zapojení je jednoduchý **potlačovač šumu** (ANRS – Automatic Noise Reduction System, obecně jakýkoli systém pro potlačení šumu) pro magnetofony. Přes svoji jednoduchost dosahuje velmi dobrého potlačení šumu, srovnatelného se systémem Dolby B a Dolby C. Potlačovač využívá princip, který byl v AR již několikrát popsán [10] a [11]. V těchto případech se však jednalo o širokopásmový kompend.

Zapojení obsahuje speciální optočlen, sestavený z fotorezistoru a svítivé diody. Použitím tohoto nepříliš běžného prvku lze zapojení značně zjednodušit. Řídící část kompendu je galvanicky oddělena od části signálové. Do signálové části proto nemohou pronikat zbytky stejnosměrného řídicího napětí a naopak odpor řídicího prvku není ovlivňován procházejícím signálem. Řídíme-li zesílení polovodičovými prvky, bude signál na nelinearitách polovodičového přechodu p-n

Tab. 2. Význam spínačů obvodu ANRS

| Funkce                                       | S1 | S2 | S3 | S4 |
|----------------------------------------------|----|----|----|----|
| Záznam                                       | +  | .  | x  | x  |
| Reprodukce                                   | .  | +  | x  | x  |
| Menší potlačení šumu (Dolby B)               | x  | x  | +  | +  |
| Větší potlačení šumu (účinnost jako Dolby C) | x  | x  | .  | +  |
| Vypnuto                                      | x  | x  | +  | .  |

+ spínač spojen, . spínač rozpojen, x stav spínače nemá význam

(diody, tranzistor) vždy zkreslován. U tranzistoru MOSFET se mění odpor kanálu tranzistoru v závislosti na okamžité amplitudě signálu. Tyto problémy při použití fotorezistoru zcela odpadají. Změna odporu fotorezistoru v závislosti na připojeném napětí je při signálech, při nichž se systém neotepluje, zcela zanedbatelná.

Použití takového optočlenu má i své nevýhody. Některé typy fotorezistorů mají nevyhovující dynamické vlastnosti, zjednodušeně řečeno jsou příliš „pomalé“. Odpor fotorezistoru je závislý nejen na osvětlení, ale i na teplotě. Při použití v běžných domácích podmínkách s relativně stálou teplotou můžeme naštěstí tuto závislost zanedbat. K nevýhodám lze zařadit i pracnější výrobu a nastavení takového optočlenu.

Zjednodušené zapojení pro záznam je na obr. 16, pro reprodukci na obr. 17. V podstatě se jedná o invertující zesilovač, jehož zesílení je závislé na síle signálu. Zesílení se řídí již zmíněným optočlenem.

Při záznamu (obr. 16) procházejí obvodem nízké kmitočty beze změny, zesílení je nastaveno na 1 (přesněji -1) poměrem odporů  $R_b$ . Pro signály vysokých kmitočtů se uplatňuje také větev s  $R_a$ ,  $C$  a  $R_f$ ,  $C$ . Signál z výstupu obvodu prochází přes filtr, který potlačí nízké kmitočty, na lineární usměrňovač. Proud svítivou diodou optočlenu je přímo úměrný napětí na výstupu optočlenu. Při malých vstupních signálech prochází LED malý proud, fotorezistor je málo osvětlen a jeho odpor  $R_f$  je mnohem větší než  $R_a$ . Zesílení obvodu pro signály vysokých kmitočtů je větší než 1 a tyto signály jsou na výstupu zesíleny. Naopak silné signály vysokých kmitočtů jsou na výstupu poněkud zeslabeny ( $R_f < R_a$ ).

Při reprodukci (obr. 17) pracuje obvod přesně obráceně. Slabé signály vysokých kmitočtů jsou zeslabeny, silné poněkud zesíleny. S potlačením signálů vysokých kmitočtů (nad 1 kHz) se zmenší i šum, který je v rozmezí kmitočtů 1 až 10 kHz nejvíce rušivý.

Povšimněte si připojení vstupu filtru. Zatímco při záznamu je filtr (a tím i obvod řídicí odpor fotorezistoru) připojen na výstup obvodu, při reprodukci je připojen na vstup. Za předpokladu, že mag-

netofon má vyrovnanou kmitočtovou charakteristiku, zpracovává pomocný řídicí obvod shodný signál a funkce obvodu je přesně zrcadlová.

Celkové zapojení potlačovače šumu je na obr. 18. Funkce obvodu se přepínají elektronickými spínači. Spínače S1 a S2 přepínají obvod pro záznam a reprodukci. Spínačem S3 se přepínají paralelně k rezistorům R1 a R2 rezistory R3 a R4 – mění se tak odpor  $R_b$ , a tím i rozsah potlačení šumu. Rozpojením spínače S4 se odpojí větve s fotorezistorem, R5, C1 a C2 ( $R_f$ ,  $R_a$  a C) a obvod šum nepotlačuje. Signál prochází obvodem beze změny. Význam jednotlivých spínačů je přehledně uveden v tab. 2.

Výsledné potlačení šumu je obdobné jako u systémů Dolby B a Dolby C. Kmitočtové charakteristiky obvodu a časové konstanty náběhu a doběhu řídicí části jsou však mírně odlišné. Věnoval jsem velké úsilí návrhu popsaného systému ANRS, aby se systému Dolby co nejvíce podobal. Vzhledem k podstatně odlišnému principu zpracování signálu nebylo možné zajistit úplnou shodu. V systému Dolby B a C je signál zpracováván v pomocné signálové cestě a výsledný signál se sečte s původním signálem, u Dolby C dokonce dvakrát. V popsaném systému ANRS se upravují kmitočtové charakteristiky obvodu v závislosti na síle signálu. Jedná se vlastně o jakési signálem řízené „korekce“.

V režimu menšího potlačení šumu se obvod funkcí velmi blíží systému Dolby B. Jediný větší rozdíl je v chování systému při silných signálech. Zatímco systém Dolby B ponechává silné signály beze změny, popsaný systém je upravuje. Protože při záznamu silné signály vysokých kmitočtů mírně zeslabí, zmenšuje se možnost přebuzení pásku při záznamu. Proto si myslím, že jeho použití v magnetofonu je výhodnější než originálního systému. V praxi se ukázalo, že rozdíly mezi systémy jsou zanedbatelné. Kazety nahrané na magnetofon s Dolby B lze bez problémů přehrávat s uvedeným systémem ANRS a naopak, aniž by bylo cokoliv poznat. Mnohem větší roli zde hraje nastavení jednotlivých přístrojů. Ukázalo se, že rozdíly mezi magnetofony s originálním systémem Dolby B mohou být mnohem větší.

Zcela jiná je situace, když účinnost potlačení šumu je přibližně srovnatelná se systémem Dolby C, kmitočtové a časové charakteristiky jsou dosti odlišné.

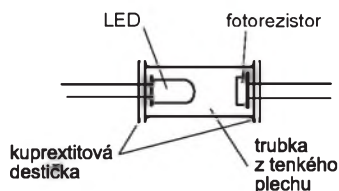
Vraťme se k zapojení potlačovače šumu. Odlaďovač na vstupu (C3, L1) je naladěn na kmitočet oscilátoru magnetofonu. V praxi se nikdy úplně neubráníme tomu, aby signál oscilátoru pro mazání a předmagnetizaci částečně nepronikal do nízkofrekvenčních obvodů magnetofonu. Dostatečně silný vf signál na vstupu může způsobit špatnou funkci potlačovače šumu, případně jej při záznamu zcela zablokovat. Odlaďovač účinně potlačí

signál z oscilátoru na vstupu ANRS. Aby jej bylo možné přesně doladit, použijeme cívku se šroubovacím jádrem.

Vlastní filtr řídicího obvodu je vlastně jen kondenzátor C5 a odpor trimru P1. Následuje lineární usměrňovač a převodník napětí-proud. Oba tyto obvody jsou v klasickém zapojení a byly již popsány v KE 3/96 (obr. 109 a 158).

Speciální optočlen je klíčovou součástí zapojení. Protože jej nelze koupit, musíme jej vyrobit. Velmi záleží jak na svítivé diodě, tak na použitém fotorezistoru. Protože fotorezistory jsou nejcitlivější na červené světlo, zvolíme červenou LED. Svítivá dioda by měla být kvalitní, aby intenzita vyzářeného světla byla úměrná protékajícímu proudu v co největším rozsahu. Nekvalitní LED svítí při malých proudech méně, než by odpovídalo procházejícímu proudu. Fotorezistory se vyrábějí různými technologiemi. Z produkce bývalé TESLA lze použít pouze typ WK 65065 (má tři vývody a po obvodu zelený proužek), ostatní typy mají příliš dlouhou dobu náběhu a doběhu. V současné době vyrábí fotorezistory TESLA Blatná, a. s. Podle katalogového listu tohoto podniku by pravděpodobně byly nejvhodnější fotorezistory označené M087240, resp. M087270, katalogový list bohužel neuvádí dynamické vlastnosti.

Optočlen můžete sestavit podle obr. 19. Pro stereofonní magnetofon potřebujeme dva shodné optočleny. Optočleny vyrobíme o něco delší, abychom je posouváním LED v trubce mohli nastavit tak, aby při stejném proudu LED měly fotorezistory shodný odpor. Za tím účelem můžeme také kombinovat vývody fotorezistoru (u WK 65065).



Obr. 19. Optočlen pro ANRS

Tělem optočlenu je trubka, kterou vyrobíme svinutím kousku tenkého ocelového pocínovaného či mosazného plechu. Z boku jsou připájeny destičky z oboustranně plátovaného kuprexitu. Ze strany těla optočlenu je měď po celé straně destičky, jen v místě přívodu je stržena větším vrátkem, aby se vývody nemohly zkratovat. Z druhé strany destičky jsou dvě větší plošky, ke kterým je připájena LED a fotorezistor.

K destičce připájíme nejdříve pouze fotorezistor. LED připojíme přes vhodný rezistor ke zdroji a nastavíme proud asi 5 mA. Posouváním LED proti fotorezistoru se snažíme se najít takovou vzdálenost, kdy má fotorezistor odpor asi 5 kΩ. Přesné nastavení není nutné, odchylka i několik desítek procent není na závadu. Odchylka mezi optočleny by však měla být do 20 %. Po zjištění vhodné vzdálenosti připájíme k destičce i LED.

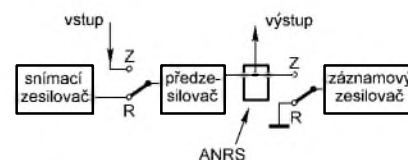
Odpor fotorezistoru by měl být nepřímo úměrný proudu LED. Zmenšíme-li

proud procházející LED na polovinu, měl by se odpor fotorezistoru zvětšit přibližně na dvojnásobek.

Pokud se vám nepodaří optočlen nastavit, použijte LED s jinou svítivostí (větší nebo menší, podle potřeby), případně jiný fotorezistor.

Záměrně neuvádím desku s plošnými spoji. V původním zapojení jsem použil pro elektronické spínače dnes již těžko dostupné obvody MH2009A, které byly pro daný účel optimální. K ovládání spínačů bylo použito napájecí napětí OZ ( $\pm 15$  V). Z dnes běžně dostupných součástek jsou vhodné analogové spínače CMOS 4053, resp. 4066. Vzhledem k tomu, že jejich maximální napájecí napětí je 18 V, musí být napájeny ze zvláštního zdroje  $\pm 9$  V. Odběr proudu je naštěstí nepatrný a tak může být zdroj realizovaný jednoduchým stabilizátorem se Zenerovými diodami. Pro spínače lze samozřejmě použít tranzistory MOS (např. BS108) nebo speciální analogové spínače. Toto řešení je však mnohem dražší. Můžeme použít i mechanické přepínače. U spínačů S3 a S4 to není problém, pro S1 a S2 však zpravidla není na přepínání záznam-reprodukce dostatek volných kontaktů.

Potlačovač šumu vyžaduje signál s úrovní 0,5 až 1 V pro plné vybuzení (0 dB). Předpokládá magnetofon, jehož zapojení odpovídá blokovému schématu na obr. 20. Do magnetofonu potlačovač šumu připojíme do vyznačeného místa mezi předzesilovač a záznamový zesilovač. V magnetofonech s jinou koncepcí je nutno postupovat individuálně.

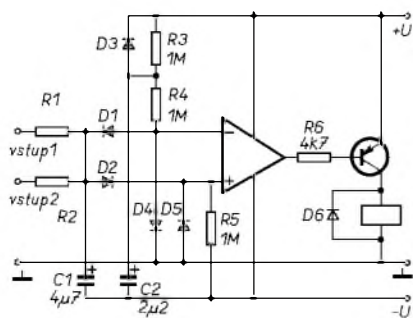


Obr. 20. Připojení potlačovače šumu do magnetofonu

Pokud má optočlen požadované vlastnosti, je nastavení snadné. Na vstup přivedeme signál o kmitočtu 10 kHz s úrovní -14 dB (100 až 200 mV, podle úrovně signálu při plném vybuzení). Trimrem nastavíme na výstupu stejnou amplitudu signálu. Při přepnutí záznam-reprodukce by se úroveň signálu neměla měnit o více než 10 až 20 % (1 až 2 dB). Změnou amplitudy vstupního signálu vyzkoušíme funkci komandéru.

Zapojení vzniklo v době, kdy byly k dispozici pouze součástky TESLA či RVHP. Na místě OZ1 proto raději použijte dnes snadno dostupný NE5534 nebo TL071. Tyto obvody mají menší šum a větší rychlost přeběhu.

Další zapojení, které si popíšeme, je obvod pro ochranu reproduktorů proti poškození stejnosměrným proudem při závadě zesilovače. Tento obvod zpravidla také zajišťuje zpožděné připojení reproduktorů po zapnutí zesilovače. Zapojení obvodu s operačním zesilovačem je na obr. 21 [12].



Obr. 21. Obvod pro ochranu reproduktorů

Operační zesilovač OZ1 pracuje jako komparátor. V klidovém (ustáleném) stavu je na invertujícím vstupu malé kladné napětí, dané úbytkem napětí na D4 a na neinvertujícím vstupu malé záporné napětí, dané úbytkem na D5. Na výstupu OZ je napětí, blízké se zápornému napájecímu napětí. Tranzistor T1 je otevřen a relé sepnuto. Přes (nezakreslené) kontakty relé jsou reproduktory připojeny k zesilovači.

Po připojení napájecího napětí (při zapnutí zesilovače) se musí nejprve nabít kondenzátor C2 přes rezistor R3. Proto je zpočátku na invertujícím vstupu OZ napětí zápornější než na neinvertujícím. Na výstupu OZ je kladné napětí a tranzistor T1 je uzavřen a reproduktory nejsou připojeny. Odstraní se tak nepříjemné lupance, které jinak provázejí zapnutí prakticky všech zesilovačů. Tyto lupance jsou způsobeny tím, že po zapnutí se nejdříve musí nabít všechny elektrolytické kondenzátory a ustálit napěťové poměry v zesilovači. Tyto lupance mohou být velmi silné, výstupní napětí může dosahovat velikosti napájecího napětí zesilovače. Nedostatečně dimenzované reproduktory se pak snadno poškodí. Po nabití kondenzátoru C2 relé sepně a připojí reproduktory v době, kdy jsou poměry v zesilovači již ustálené. Změnou kapacity kondenzátoru C2 může upravit dobu zpoždění.

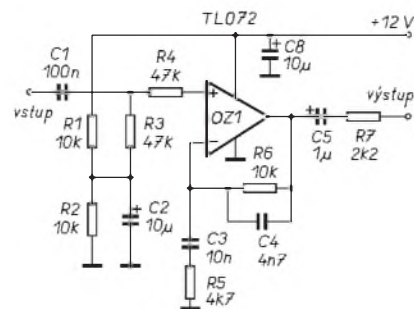
Při závadě zesilovače, např. spálení (zkratování) jednoho koncového tranzistoru, nebo přepálení pojistky v jedné napájecí větvi zesilovače, se může na jeho výstupu objevit trvale stejnosměrné napětí. Reproductorem pak teče stejnosměrný proud, který jej velmi rychle poškodí. Reproductory, které dobře snášejí špičkový příkon mnoha desítek wattů, jedná-li se o akustický signál, mohou být poškozeny mnohem menším výkonem způsobeným

průchodem stejnosměrného proudu. Veškerý ztracený výkon pak totiž pouze ohřívá kmitací cívku, která se navíc neochlazuje pohybem. Ochranný obvod proto musí odpojit reproduktory dřív, než se poškodí.

Vstupy ochranného obvodu jsou připojeny na výstup zesilovače. Střídavý signál je odfiltrován kondenzátorem C1 a tak na jeho kladném pólu je proti zemi jen velmi malé stejnosměrné napětí. Při závadě se však napětí na C1 rychle zvětší. Je-li napětí na C1 kladné, otevře se dioda D2 a napětí na neinvertujícím vstupu OZ se zvětšuje. Je-li větší než napětí na invertujícím vstupu, komparátor se překlápí, tranzistor se uzavře a relé odpojí reproduktory.

Je-li napětí proti zemi záporné, otevře se dioda D1 a napětí na invertujícím vstupu OZ se zmenšuje. Podobně jako v předchozím případě je pak napětí na neinvertujícím vstupu větší, než napětí na invertujícím vstupu a komparátor se překlápí. Předpětí vytvořené diodami D4 a D5 způsobuje, že komparátor není citlivý na malá napětí.

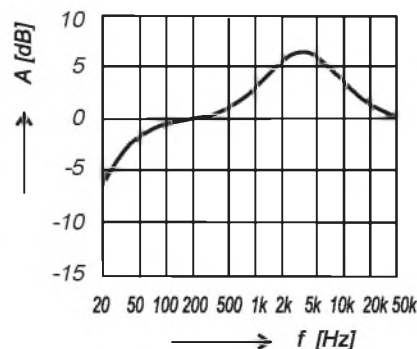
Odpory rezistorů R1 a R2 a kapacitu C1 volíme tak, aby i silný signál nízkého kmitočtu byl dostatečně potlačen a nezpůsoboval odpojování reproduktorů. Střídavé napětí na C1 proto musí být dostatečně malé, aby bylo ještě v pásmu necitlivosti komparátoru. Pro zesilovač s napájecím napětím  $\pm 25$  V vyhoví  $R1 = R2 = 47$  k $\Omega$ .



Obr. 22. Filtr pro zdůraznění řeči

Jistě jste si již při poslechu zpráv museli zesílit radio, aby bylo lépe rozumět mluvené řeči. Přitom signály nízkých kmitočtů srozumitelnost řeči spíše zhoršují. Navíc snadněji pronikají zdi – nahlas puštěné rádio je u sousedů v panelovém domě slyšet jako dunění. Tento problém může částečně vyřešit **korekční zesilovač pro zdůraznění řeči** z obr. 22 (tzv. „prezenc“

filtr) [13]. Korekční zesilovač zesílí oblast zvukového spektra mezi kmitočty 2 až 5 kHz. Tato oblast se nejvíce podílí na srozumitelnosti řeči. Filtr naopak potlačí nízké kmitočty, které srozumitelnost spíše zhoršují. Kmitočtová charakteristika filtru je na obr. 23.

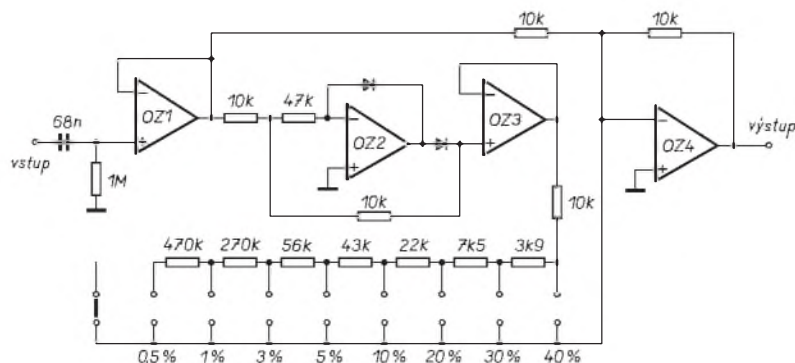


Obr. 23. Kmitočtová charakteristika filtru pro zlepšení srozumitelnosti řeči

Filtr může s nepatrnými náklady „vylepšit“ zahuhňané školní nebo závodní rozhlas, případně rádiová pojítka. Používáte-li přenosný přijímač, může prodloužit dobu života baterií, protože při stejné srozumitelnosti postačí menší potřebný výkon nf zesilovače. Pro větší potlačení nízkých kmitočtů lze ještě zmenšit kapacitu kondenzátoru C1 nebo odpor rezistoru R3.

Na závěr bych rád uvedl ještě jedno zapojení. Pokud jste se někdy setkali se skupinou přívrženců techniky Hi-Fi, určitě jste byli zataženi do diskuse na téma zkreslení signálu tím, či oním zařízením. Nelineární zkreslení signálu se zpravidla dělí na zkreslení harmonické (zkreslený signál obsahuje vyšší harmonické základního signálu), intermodulační (zkreslený signál obsahuje signály, jejichž kmitočty je rozdílem a součtem kmitočtů několika vstupních signálů) a zkreslení přechodové (způsobené nedostatečnou rychlostí přeběhu zesilovače). Tyto druhy zkreslení spolu většinou nějakým způsobem souvisejí. Uvádí se, že lidský sluch není schopen rozeznat zkreslení menší než 1 až 3 %. Přesto se vyrábějí zesilovače, jejichž zkreslení je o několik řádů menší a mezi nimi lze při poslechových zkouškách rozeznat rozdíly.

Vliv rychlosti přeběhu si lze vyzkoušet na jednoduchém zapojení z obr. 191 v KE 3/96. Obvod na obr. 24 zavádí do signálu **harmonické zkreslení** s definovanou velikostí [14]. Operační zesilovače OZ1 a OZ3 jsou zapojeny jako sledovače. OZ2 je zapojen jako převodník na absolutní hodnotu. Tento „usměrněný“ signál představuje směs sudých harmonických základního signálu. Na OZ4 se sčítá přímý (nezkreslený) signál se (zkresleným) signálem z převodníku. Vzájemným poměrem těchto signálů lze snadno nastavit požadované zkreslení signálu. Můžeme si pak sami vyzkoušet, jaké zkreslení náš sluch ještě pozná.



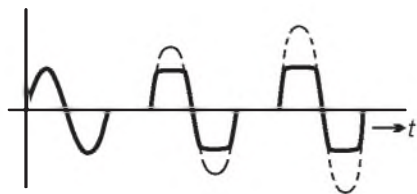
Obr. 24. Obvod s definovanou velikostí harmonického zkreslení

## Doplňky k hudebním nástrojům

S operačními zesilovači lze postavit mnoho jednoduchých doplňků k hudebním nástrojům. Zpravidla se jedná o různé „zkreslovače“ a filtry, dávající nástroji požadovaný módní zvuk.

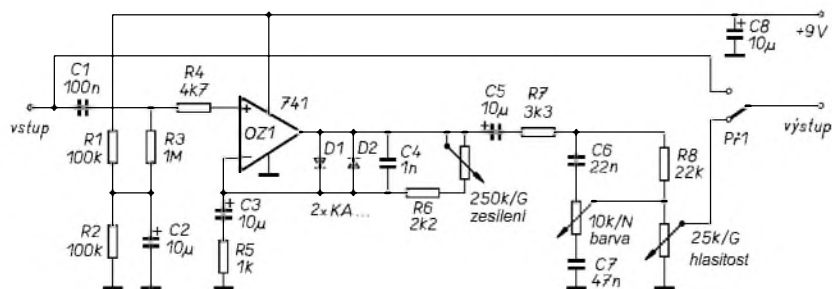
Nejvíce doplňků je pro elektrickou kytaru. Protože elektrická kytara nemůže hrát bez zesilovače a signál je přirozeně v „elektrické“ podobě, možnost úpravy zvuku nástroje se přímo nabízí.

Nejběžnějším doplňkem elektrické kytary, bez kterého se neobejde žádná rocková kapela, je booster, fuzz a overdrive. Tyto obvody omezují amplitudu vstupního signálu. Booster má spíše charakter klopného obvodu – na výstupu je vždy signál s obdélníkovým průběhem a velkým množstvím harmonických kmitočtů. Fuzz, resp. overdrive odpovídá přebuzenému zesilovači. Při silném vstupním signálu má signál na výstupu téměř obdélníkový průběh. Při doznívání tónu se zkreslení signálu postupně zmenšuje, přičemž amplituda výstupního signálu se téměř nemění. Na obr. 25 je nakreslen průběh signálu na výstupu fuzzu v závislosti na amplitudě vstupního signálu.

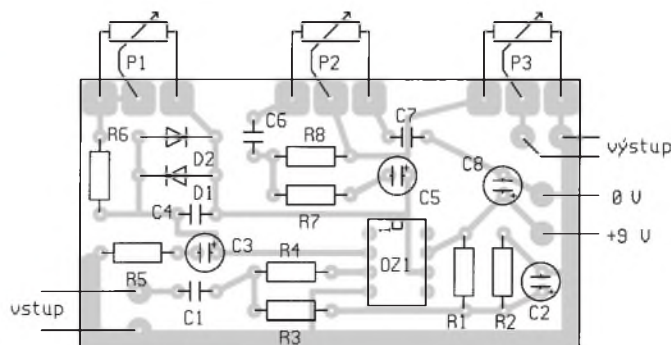
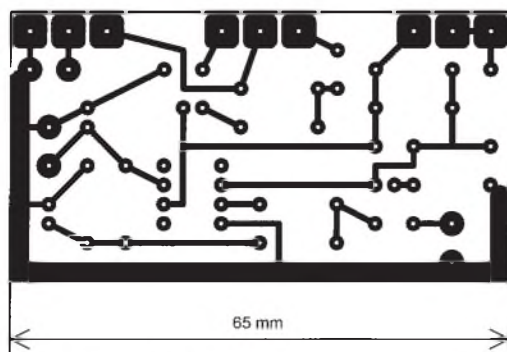


Obr. 25. Průběh signálu na výstupu fuzzu

Overdrive (fuzz) je mezi hudebníky asi nejžádanější efekt. Zapojení doplňku rea-



Obr. 26. Zapojení obvodu overdrive



Obr. 27. Deska s plošnými spoji pro overdrive z obr. 26 a rozmístění součástek

lizujícího tuto funkci je na obr. 26 [15]. Signál z kytary prochází přes kondenzátor C1 a rezistor R4 na vstup OZ, který je zapojen jako neinvertující zesilovač. Pro malé signály má zesilovač velké zesílení, nastavené poměrem odporů ve zpětné vazbě ( $A = 1 + (R6/R5)$ ). Silné signály jsou symetricky omezeny diodami D1 a D2. Vzhledem k voltampérovým charakteristikám diod je přechod na limitaci plynulý, bez nepříjemného rachotu, jaký způsobují obvody typu booster.

Potenciometry P1 a P3 nastavují práh limitace signálu a zesílení obvodu, potenciometrem P2 lze upravit barvu zvuku.

Jak píše autor, výběru součástek není třeba věnovat žádnou větší pozornost. Neuděláte-li při zapojování chybu, pracuje obvod na první zapojení. Odběr z baterie je asi 0,6 mA. Funkci obvodu je vhodné zkontrolovat osciloskopem připojeným na výstup OZ. Místo obvodu 741 lze použít také TL061 nebo TL071.

Na obr. 27 je upravená původní deska s plošnými spoji (V308). Na desku i do schématu byl doplněn kondenzátor C8, který blokuje napájecí napětí. Deska je navíc upravena pro použití radiálních elektrolytických kondenzátorů a fóliových kondenzátorů s roztečí vývodů 5 mm, kte-

ré jsou dnes levnější a snáze sehnatelné. Potenciometry jsou připevněny k čelnímu panelu. Deska je samonosně uchycena za vývody potenciometrů, které jsou k desce připájeny ze strany spojů.

Poněkud odlišný zvukový efekt poskytuje prodlužovač tónu kytary z obr. 28 [16]. Zatímco je u fuzzu signál symetricky omezován, prodlužovač tónu signál zkresluje jen minimálně. Zesílení obvodu se totiž mění podle síly signálu tak, aby změna amplitudy na výstupu se změnila v určitém rozsahu vstupních napětí co nejméně. Jedná se o podobný obvod, jaký např. v magnetofonu automaticky nastavuje úroveň signálu při záznamu. Efekt se projevuje tak, že kytara doznívá mnohem déle.

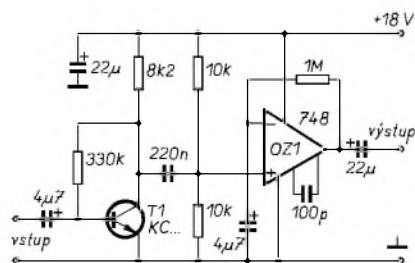
Signál ze snímače kytary je nejprve zesílen tranzistorem T1. Trimrem 25 kΩ nastavíme základní citlivost obvodu. Následuje proměnný dělič s diodami a zesilovač s operačním zesilovačem. Z výstupu OZ je signál přiveden nejen na výstup obvodu, ale přes kondenzátor 150 nF také na symetrický usměrňovač s germaniovými diodami D1 a D2. Křemíkovými diodami (D3 až D6) prochází proud, který je tím větší, čím větší je napětí na výstupu obvodu. Čím větší proud prochází diodami, tím menší je jejich dynamický odpor a napětí na vstupu OZ je více zeslabeno. Obvod se snaží udržet na výstupu signál s pokud možno konstantní úrovní. Protože střídavé napětí na regulačních diodách je malé, je malé i zkreslení signálu způsobené nelineární voltampérovou charakteristikou diod.

V původním článku byl použit obvod MAA501 doplněný o kmitočtovou kompenzaci. Dnes běžně dostupné obvody typu 741, TL071 nebo TL081 kmitočtovou kompenzací nepotřebují. použijete-li v zapojení obvodu 748 nebo NE5534, je

třeba zapojit mezi vývody 1 a 8 kondenzátor s kapacitou několika pF.

Tranzistor může být libovolný univerzální s vodivostí n-p-n, např. KC... nebo BC... Diody jsou mohou být prakticky libovolné.

Někteří hudebníci dávají před fuzzem přednost klasickému boosteru. Zapojení jednoduchého boosteru je na obr. 29 [17].

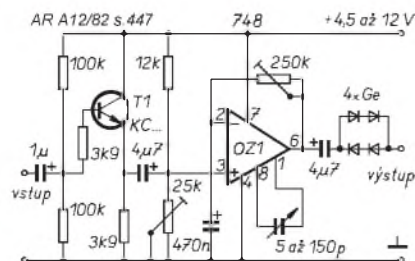


Obr. 29. Booster

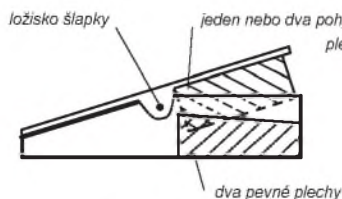
Signál ze snímače je nejprve zesílen tranzistorem T1. Následuje zesilovač s operačním zesilovačem. Záporná zpětná vazba je zavedena pouze pro stejnosměrné signály. Střídavé signály jsou zesíleny s plným zesílením operačního zesilovače. Na výstupu je proto „zlimitovaný“ signál. Poněkud větší kapacita kondenzátoru použitá ke kmitočtové kompenzaci OZ způsobí podstatné zmenšení rychlosti přeběhu. Výsledný signál proto nemá čistě obdélníkový průběh, ale hrany jsou poněkud šikmé. Popsaný booster nemá Schmittův klopný obvod. Proto při dozívání booster nerachotí a dozívání tónu je spojit. Funkcí se tak blíží spíše fuzzu než klasickému boosteru.

Dalším oblíbeným zvukovým efektem je kvákadlo (Wa-Wa). V principu se jedná o pásmovou propust, přeladitelnou pedálem. Přeladováním propusti se ze signálu vybírá jen část zvukového spektra, což dá zvuku charakter vyjádřený v názvu doplňku.

Jednoduché kvákadlo z obr. 30 má poněkud netypické zapojení [18]. Signál ze snímače je přiveden nejdříve na emitorový sledovač. Jeho použití je mi poněkud nejasné, protože operační zesilovač má do-

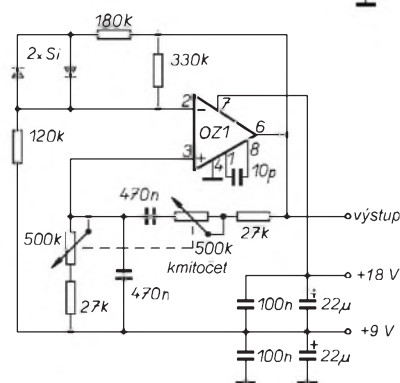


Obr. 30. Kvákadlo



Obr. 31. Šlapka ke kvákadlu z obr. 30

Obr. 32. Jiné zapojení kvákadla

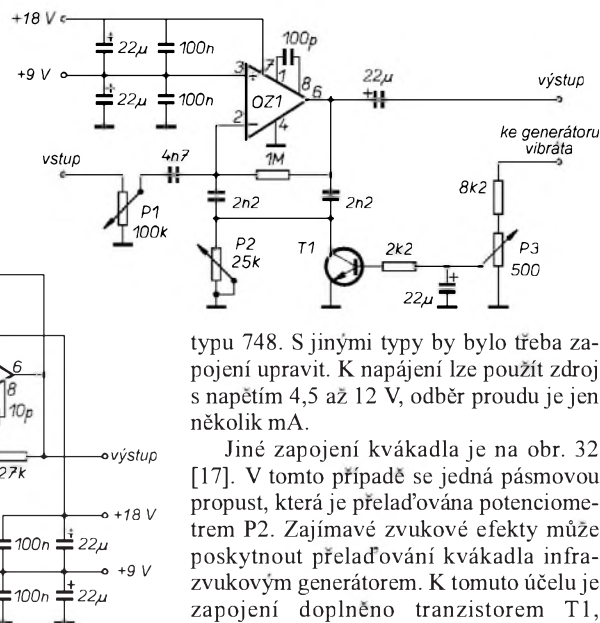


Obr. 33. Generátor infrazvukového kmitočtu

statečný vstupní odpor. Následuje zesilovací stupeň s OZ. Záporná zpětná vazba (trimr 220 kΩ a kondenzátor 470 nF) se zmenšuje s rostoucím kmitočtem, tj. zesílení se zvětšuje. Naopak se zvětšováním kapacity kondenzátoru kmitočtové kompenzace mezi vývody 1 a 8 se zesílení operačního zesilovače zmenšuje. Použitá zpětná vazba posouvá fázi signálu ve zpětné vazbě. Velká kapacita kondenzátoru kmitočtové kompenzace rovněž způsobí posun fáze signálu při průchodu OZ. V určité oblasti kmitočtů je potom posuv fáze po průchodu OZ a obvody zpětné vazby větší než 90 ° a záporná zpětná vazba se změní v kladnou. Signály s kmitočty v této oblasti jsou pak zesíleny více než ostatní – obvod se chová jako pásmová propust. Propust lze přeladovat změnou hodnot součástek ve zpětné vazbě, případně změnou kapacity kondenzátoru kmitočtové kompenzace.

Uvedené kvákadlo se přeladuje změnou kapacity kondenzátoru kmitočtové kompenzace. Kondenzátor je součástí šlapky, ve které je také kvákadlo umístěno. Na dně šlapky jsou izolovaně připevněny dva plechy, mezi něž se zasouvá třetí plech, izolovaně připevněný na šlapce. Kapacita závisí na velikosti plechů a jejich vzdálenosti. Plocha jedné desky by měla být asi 60 cm<sup>2</sup>. Šlapka nemá žádné mechanické převody.

Diody na výstupu kvákadla potlačují slabé signály a tím i šum zařízení. V zapojení je nutno použít operační zesilovač



typu 748. S jinými typy by bylo třeba zapojení upravit. K napájení lze použít zdroj s napětím 4,5 až 12 V, odběr proudu je jen několik mA.

Jiné zapojení kvákadla je na obr. 32 [17]. V tomto případě se jedná pásmovou propust, která je přeladována potenciometrem P2. Zajímavé zvukové efekty může poskytnout přeladování kvákadla infrazvukovým generátorem. K tomuto účelu je zapojení doplněno tranzistorem T1, hloubku modulace lze nastavit potenciometrem P3.

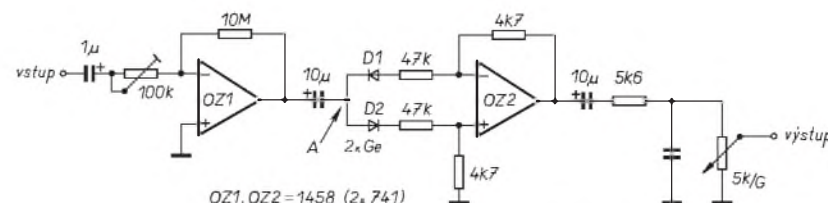
Vhodný generátor infrazvukového kmitočtu je na obr. 33. Operační zesilovač je zapojen jako Wienův oscilátor se stabilizací amplitudy diodami. Potenciometrem nastavujeme kmitočet generátoru.

K úpravě zvuku elektrické kytary se někdy používá zdvojovač kmitočtu. Tón nástroje pak leží o oktávu výše. Zvuk je na výstupu zkreslen a zdá se ostřejší. V principu se většinou jedná o převodník na absolutní hodnotu. Protože však není určen pro měřicí účely, lze jej zjednodušit.

Zapojení zdvojovače kmitočtu s operačními zesilovači je na obr. 34 [19]. První operační zesilovač zesiluje signál ze snímače na vhodnou úroveň. Trimrem na vstupu nastavíme vhodné zesílení tohoto stupně. Následuje vlastní zdvojovač s OZ2. Je-li v bodě A kladná půlvlna signálu, vede dioda D2. Dioda D1 nevede a tak pracuje OZ2 jako sledovač signálu. Na výstupu OZ2 je rovněž kladná půlvlna. Je-li v bodě A záporná půlvlna signálu, vede dioda D1 a D2 je uzavřena. OZ2 nyní pracuje jako invertor a na jeho výstupu je opět kladná půlvlna. Signál na výstupu OZ2 má dvojnásobný kmitočet, viz obr. 35. Kondenzátorem, připojeným paralelně k potenciometru na výstupu lze potlačit vyšší harmonické signály.



Obr. 35. Průběhy napětí ve zdvojovači kmitočtu z obr. 34

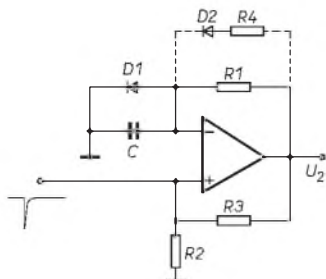


Obr. 34. Zdvojovač kmitočtu pro kytaru

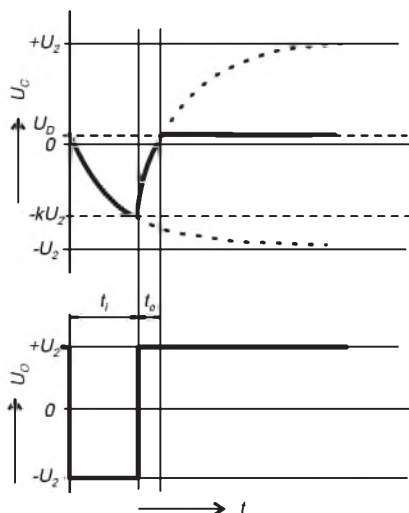


## Monostabilní klopné obvody

Operační zesilovače je možné použít i pro konstrukci klopných obvodů. V Konstrukční elektronice 3/96 jsme si v kapitole „multivibrátory a generátory tvarových kmitů“ popsali Schmittův klopný obvod a astabilní klopný obvod (multivibrátor). Méně běžné je použití operačního zesilovače ve funkci monostabilního klopného obvodu (MKO).



Obr. 39. Základní zapojení MKO s OZ



Obr. 40. Průběhy napětí v MKO

Základní zapojení MKO je na obr. 39. V klidu je na výstupu OZ kladné napětí. Na invertujícím vstupu OZ je malé kladné napětí  $U_D$ , vytvořené úbytkem napětí na diodě D1 v propustném směru. Nezbytnou podmínkou pro správnou funkci je, že napětí na neinvertujícím vstupu nastavené děličem R2, R3 musí být větší než napětí na invertujícím vstupu:

$$U_2 \frac{R_2}{R_2 + R_3} > U_D$$

kde  $U_2$  je napětí na výstupu OZ při kladné saturaci a  $U_D$  je úbytek napětí na diodě.

Pólování diody D1 určuje polaritu trvale stabilního stavu a také nutnou polaritu spouštěcích impulsů.

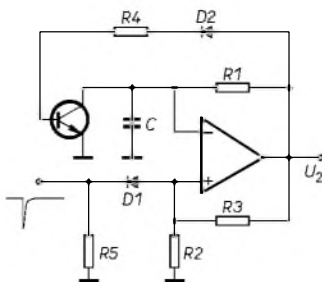
Po přivedení záporného spouštěcího impulsu se obvod lavinovitě překlápí – viz obr. 40. Na výstupu OZ se objeví záporné saturační napětí a kondenzátor se začne nabíjet na záporné napětí. Na neinvertujícím vstupu je napětí  $\frac{R_2}{R_2 + R_3}(-U_2)$ . Dosáhne-li napětí na kondenzátoru za dobu  $t_i$  této velikosti, překlápí se obvod zpět. Do původního, klidového stavu se dostane za dobu  $t_0$ . Doba zotavení MKO lze podstatně zkrátit zapojením diody D2 a rezistoru

R4. Odpor R4 by v tomto případě měl být menší než R1. Délka impulsu na výstupu je dána vztahem:

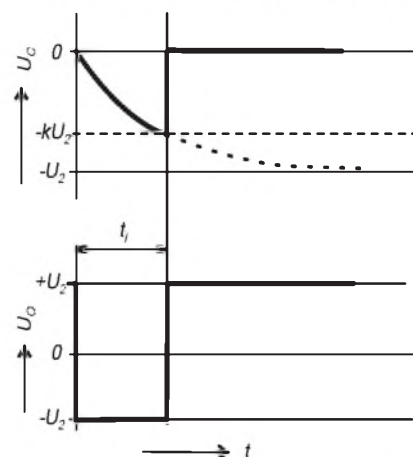
$$t_i = R1C \ln \frac{U_2 + U_D}{U_2} \cdot \frac{R_2 + R_3}{R_3}$$

Z uvedeného vztahu je zřejmá závislost šířky impulsu na napětí  $U_D$ . Z tohoto důvodu jsou vlastnosti MKO v tomto jednoduchém zapojení srovnatelné s MKO s tranzistorem.

V [23] bylo uveřejněno zapojení MKO, které uvedený nedostatek odstraňuje. Navíc je podstatně zkrácena doba zotavení obvodu  $t_0$ . Zapojení upraveného MKO je na obr. 41.



Obr. 41. Upravené zapojení MKO s OZ



Obr. 42. Průběhy napětí v MKO z obr. 41

Původní dioda D1 je v tomto případě nahrazena tranzistorem, který je ve stabilním stavu MKO otevřen do saturace proudem procházejícím diodou D2 a rezistorem R4. Na kondenzátoru je velmi malé saturační napětí tranzistoru. Toto napětí je navíc jen málo závislé na teplotě, neboť je dáno rozdílem napětí přechodů b-e a b-c, polarizovaných v propustném směru. Toto napětí je jen několik mV, při inverzním zapojení tranzistoru ještě méně. Přesnost MKO je tak dána především stabilitou časové konstanty  $R1C$  a odporovým děličem R2, R3.

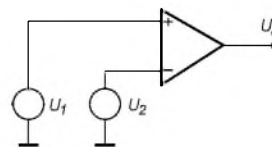
Po příchodu spouštěcího impulsu se klopný obvod překlápí a tranzistor se uzavře. Kondenzátor se nabíjí až do napětí určeného děličem R2, R3, pak se obvod překlápí zpět. Doba, potřebná na zotavení, je v tomto případě velmi krátká, neboť kondenzátor se vybíjí přes tranzistor, jenž má v sepnutém stavu jen malý odpor. Dělič R2, R3 volíme tak, aby maximální napětí na kondenzátoru bylo menší než je průrazné napětí  $U_{be}$  tranzistoru (asi 5 V).

## Komparátory

Velké zesílení operačních zesilovačů lze využít ke konstrukci obvodů, v nichž jsou OZ zapojeny jako komparátory. Existují samozřejmě i obvody přímo pro komparátory určené – o těch se v této kapitole zmíníme také.

Komparátor je obecně obvod, který porovnává dvě veličiny. Ty mohou být fyzikální – napětí, proud, tlak, teplota, vzdálenost apod. – nebo logické (číslicové). Ke zpracování logických veličin jsou určeny logické IO a (mikro)procesorové obvody. Fyzikální veličiny lze porovnávat nejrůznějšími způsoby, zde se budeme věnovat komparátorům, porovnávajícím elektrické signály. Komparátor zjišťuje, zda je jedna veličina větší než druhá nebo naopak, v některých případech i jejich shodnost.

Nejjednodušší komparátor, porovnávající dvě napětí, získáme, zapojíme-li operační zesilovač podle obr. 43.



Obr. 43. Komparátor s operačním zesilovačem

Bude-li napětí  $U_1$  větší než  $U_2$ , bude na výstupu OZ kladné saturační napětí. Protože zesílení OZ je velké (teoreticky nekonečné), není důležité, jak velký rozdíl je mezi napětími. Budeme-li  $U_1$  zmenšovat, nebo  $U_2$  zvětšovat, přejde výstup OZ prakticky skokem z kladné do záporné saturace v okamžiku, kdy bude  $U_2$  větší než  $U_1$ . U reálného operačního zesilovače je třeba, aby napětí  $U_1$  a  $U_2$  byla v rozsahu povolených vstupních napětí pro daný typ OZ. Na výstupu uvedeného komparátoru je napětí, které odpovídá výsledku porovnání (větší-menší) vstupních napětí.

Všimněme si, že tento komparátor nemá žádný výstup, vypovídající o shodě vstupních napětí. Zjistit úplnou shodu je prakticky neřešitelný problém. Jak si však ukážeme na praktických zapojeních, lze snadno sestavit obvod se dvěma komparátory, na jehož výstupu bude signál, pokud se nebudou vstupní napětí lišit více než o zadanou hodnotu.

Komparátor z obr. 43 je zajímavý ještě z jednoho důvodu. Je to jedno z mála zapojení OZ, které nemá žádnou zpětnou vazbu. Zavedeme-li zápornou zpětnou vazbu, změní se zapojení v zesilovač. Při zavedení kladné zpětné vazby dostaneme komparátor s hysterezí, známější pod názvem Schmittův klopný obvod.

Právě nepřítomnost zpětné vazby byla důvodem k výrobě speciálních obvodů pro komparátory. Tyto komparátory mají větší upravenou i výstupní obvody, aby lépe vyhovovaly obvodům, v nichž jsou použity. Nepřítomnost zpětné vazby umožnila vypustit prakticky všechny obvody pro

vnitřní kmitočtovou kompenzaci. Takový obvod nelze se zápornou zpětnou vazbou vůbec použít - po zavedení zpětné vazby se zpravidla rozkmitá.

Připomeňme si nejznámější komparátory. V amatérské praxi asi nejvíce používanými obvody jsou čtyřnásobný komparátor LM339 a dvojnásobný LM393. Tyto obvody mají prakticky shodné vnitřní zapojení. Na rozdíl od operačních zesilovačů však mají na výstupu tranzistor s otevřeným kolektorem. To umožňuje přímo spojit výstupy několika komparátorů při realizaci složitějších zapojení. Emitor výstupního tranzistoru je spojen se záporným napájecím napětím. Tyto komparátory se vyrábějí i ve verzi s malou spotřebou - čtyřnásobný komparátor LM3302 a dvojnásobný LM2904.

Dalším oblíbeným typem je LM311 (MAC111, MAB311). Také tento komparátor má na výstupu tranzistor. Tranzistor má vyveden kolektor i emitor. Velmi rychlý komparátor MAC160 (MAB360) má výstup přizpůsobený k připojení na obvody TTL.

## Testery napěťových úrovní

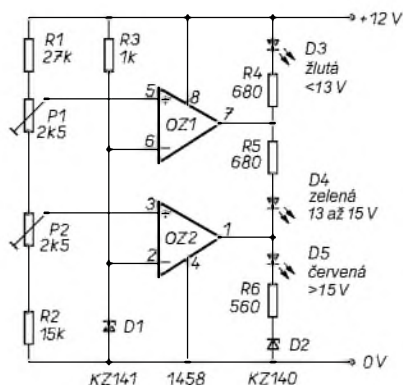
Typickou aplikací komparátorů a operačních zesilovačů v amatérské praxi jsou různé testery a indikátory napětí. Jedním z nejužitečnějších je **Tester napětí palubní sítě automobilu**.

Spolehlivost každého automobilu závisí v neposlední řadě na i na akumulátoru. Proto udržovat akumulátor v dobrém stavu je jednou ze základních podmínek. Kontrolka dobíjení na palubní desce automobilu zpravidla pouze signalizuje rozdíl napětí mezi akumulátorem a výstupem alternátoru. Tato kontrola je velmi hrubá a nelze podle ní usuzovat na některé závady. Za normálních okolností se napětí pohybuje mezi 14 až 14,5 V. To je napětí, na které je nastaven regulátor alternátoru (dynama). Při tomto napětí je akumulátor dobíjen proudem velmi zhruba úměrným stupni vybití akumulátoru. Je-li napětí palubní sítě menší, signalizuje to nějakou závadu. Buď má akumulátor zkratovaný jeden článek - zpravidla ke konci života baterie - nebo je závada v obvodech dobíjení. Je-li napětí větší než 15 V, je zpravidla vadný regulátor alternátoru. Alternátor přebíjí akumulátor značným proudem, čímž jej v krátké době zničí.

Popsaný tester sleduje napětí v palubní síti ve třech stupních [24]. V praxi se ukázalo, že třístupňová indikace je zcela dostatečná a rozlišení na více úrovní nemá smysl. Naopak publikování většího počtu LED by zbytečně upoutávalo pozornost řidiče. Svit příslušné LED indikuje velikost napájecího napětí. Je-li napětí menší než 13 V, svítí žlutá LED. Signalizuje, že akumulátor není dobíjen. Tento případ nastane při vypnutém motoru nebo tehdy, je-li proudový odběr všech zapnutých spotřebičů větší než proud dodávaný alternátorem. To se může např. stát při jízdě v noci.

Při jízdě je akumulátor dobíjen a napětí je v rozmezí 13 až 15 V. Tento stav signalizuje zelená LED.

Při napětí větším než 15 V se rozsvítí červená LED. Signalizuje zpravidla vážnou závadu regulátoru. Závadu je třeba neprodleně opravit.

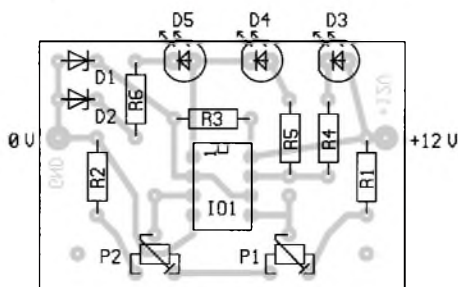
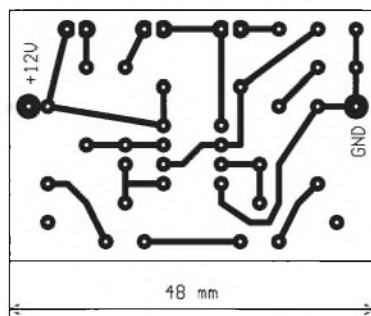


Obr. 44. Tester baterií „Bates“

Zapojení testeru je na obr. 44. Tester má zdroj referenčního napětí se Zenerovou diodou D1. Základem zapojení jsou dva komparátory. Odporovým děličem R1, P1, P2 a R2 jsou nastavena příslušná prahová napětí. Je-li napájecí napětí malé (menší než 13 V), je na neinvertujícím vstupu OZ1 a na výstupu OZ2 napětí menší než na Zenerově diodě D1 a na výstupu OZ je záporné saturační napětí (napětí blízké 0 V). Žlutou LED D3 a rezistorem R4 prochází proud a LED svítí. Na ostatních LED je příliš malé napětí a proto nesvítí.

Při napětí mezi 13 a 15 V je na neinvertujícím vstupu OZ1 napětí větší než na D1 a na jeho výstupu je kladné saturační napětí (napětí blízké kladnému napájecímu napětí). LED D3 proto nesvítí. Protože na neinvertujícím vstupu OZ2 je napětí menší než na D1, je výstup OZ2 beze změny a svítí zelená LED D4.

Při napětí větším než 15 V je na obou neinvertujících vstupech napětí větší než



Obr. 45. Deska s plošnými spoji a rozmístění součástek pro „Bates“

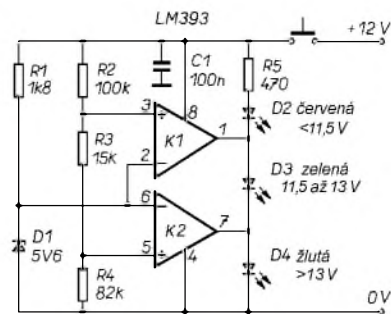
na D1, výstupy OZ1 i OZ2 mají na svém výstupu kladné saturační napětí a svítí červená LED D5.

Použitý operační zesilovač má poměrně velké záporné saturační napětí, větší než je prahové napětí LED. Proto je do série s D5 zapojena ještě Zenerova dioda s malým napětím. Bez této diody by D5 trvale trochu svítla. Místo Zenerovy diody můžete také použít jednu až dvě křemíkové diody zapojené v propustném směru. S některými jinými OZ (např. LM358) není tato dioda potřebná a můžeme ji nahradit zkratem.

Dioda D1 vytváří referenční napětí pro komparátory. Nemáte-li diodu KZ141, můžete použít jakoukoli jinou s napětím asi 5 V, např. BZX83V005.1.

Tester baterií můžete postavit na desce s plošnými spoji podle obr. 45 nebo na původní desce T87. Tester oživíme nejlépe při napájení z regulovaného zdroje. Na zdroji nastavíme napětí 13 V. Trimrem P1 nastavíme při tomto napětí přechod mezi svitem žluté a zelené LED. Pak napětí zvětšíme na 15 V a nastavíme přechod mezi zelenou a červenou LED. Nelze-li trimry nastavit a komparátory překlápějí při menším napětí, je referenční napětí malé. Bez výměny D1 si pomůžeme, zvětšíme-li odpor rezistoru R1. Pokud komparátory překlápějí při větším napětí, odpor R1 zmenšíme.

Tester umístíme nejlépe na palubní desce automobilu v zorném poli řidiče. Vývod 0 V připojíme na kostru, vývod 12 V např. na vývod některé pojistky, na které je napětí jen při zapnutém zapalování. Pak bude tester automaticky zapnut jen při jízdě.

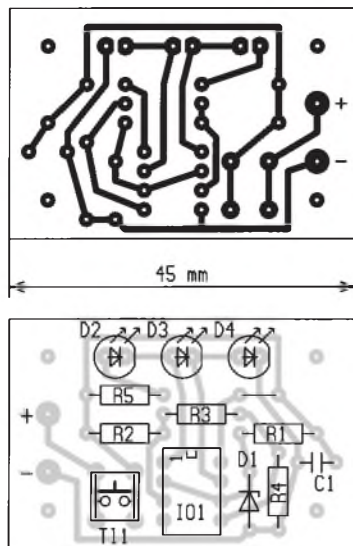


Obr. 46. Tester stavu olověného akumulátoru

Obdobný tester je na obr. 46. Na rozdíl od předchozího testeru není určen ke kontrole nabíjecí soustavy automobilu, ale ke kontrole stavu olověného akumulátoru napájecího radiostanice [25]. Proto jsou prahová napětí testeru poněkud jiná.

Je-li akumulátor již nadměrně vybit, je jeho napětí malé a svítí červená LED. Správné napětí akumulátoru indikuje současný svit červené a zelené LED. Při nabíjení je na akumulátoru napětí větší než 13 V a svítí všechny LED.

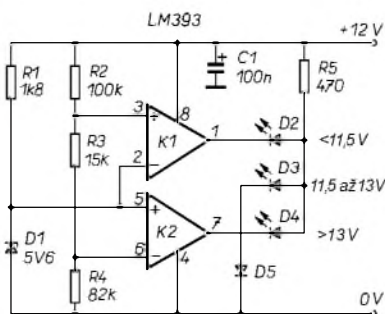
V zapojení nejsou použity operační zesilovače, ale dvojité komparátory LM393. Komparátory mají na výstupu tranzistory s otevřeným kolektorem, což umožnilo zapojení zjednodušit. Protože tester slouží jen k občasné kontrole akumulátoru, je doplněn tlačítkem.



Obr. 47. Deska s plošnými spoji a rozmístění součástek pro tester z obr. 46

Tento tester můžete postavit na desce s plošnými spoji podle obr. 47. Tlačítko můžete v případě potřeby vypustit a nahradit propojkou.

Zapojení z obr. 46 můžete použít také v automobilu ke kontrole nabíjení. Pak je ovšem výhodnější indikace pouze jednou LED, jako u zapojení testu Batest a zapojení můžete upravit podle obr. 48. V zapojení je navíc dioda D5 a komparátor K2 má prohozený vstupy.



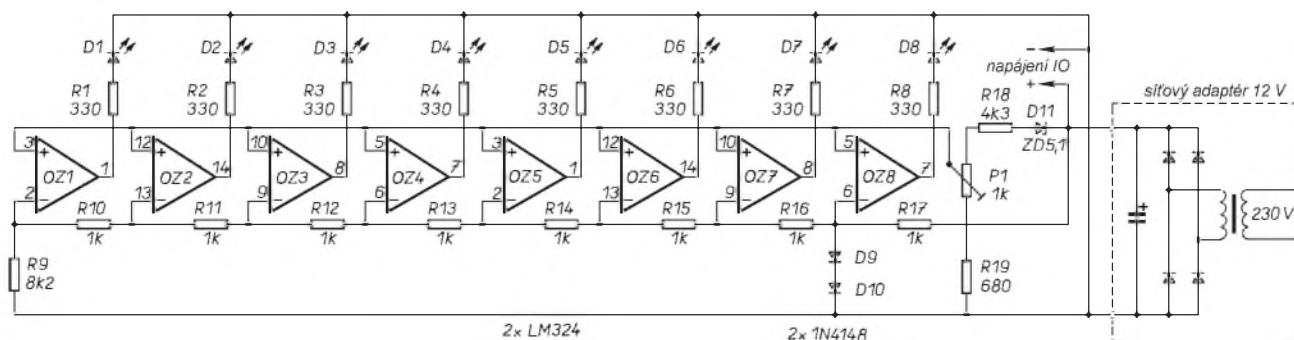
Obr. 48. Tester stavu oloveného akumulátoru s „bodovou“ indikací

Je-li napětí ve středu rozsahu, svítí LED D3. Při malém napětí se překlápí K1 a jeho výstupní tranzistor připojí D2 k zemi. Dioda D3 zhasne, protože potřebuje větší napájecí napětí vzhledem k úbytku na D5. Při velkém napětí se naopak překlápí K2 a rozsvítí se D4. D5 může být libovolná křemíková dioda. Pokud D3 při rozsvícení D2 nebo D4 zcela nezhasne, můžeme místo D5 použít dvě diody v sérii, další LED nebo Zenerovu diodu na malé napětí. Pro použití v automobilu bude třeba upravit odpory rezistorů R2 a R3 tak, aby napětí, při kterých se překlápějí komparátory, byla asi 12 a 15 V.

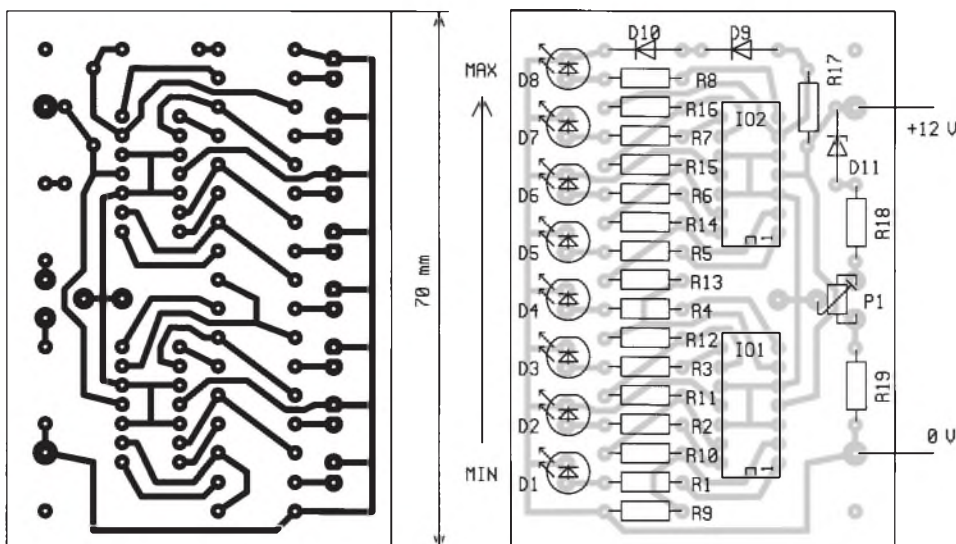
Jiný tester napětí je na obr. 49. Tento tester je určen ke **kontrole napětí sítě**. Zapojení vzniklo malou úpravou obvodu z [26]. Úprava spočívá v rozšíření indika-

ce ze 7 na 8 LED. V původním zapojení byl jeden OZ nevyužit. Jako napájecí zdroj a zdroj měřeného napětí je použit běžný adaptér („do zdi“) s výstupním napětím asi 12 V. Zapojení je transformátorem galvanicky odděleno od sítě, jeho provoz je bezpečný a proto se do stavby testu může pustit i začátečník. Předpokládá se použití adaptéru s vestavěným usměrňovačem a filtračním kondenzátorem, bez stabilizace výstupního napětí.

Tester obsahuje osm operačních zesilovačů, zapojených jako komparátory. Je napájen ze síťového adaptéru a současně se velikost napájecího napětí indikuje svitem příslušného počtu LED. Referenční napětí pro komparátory je stabilizováno diodami D9 a D10. Pro jednotlivé komparátory je pak zmenšeno odporovým děličem s rezistory R9 až R16. Na invertující vstupu OZ1 je napětí přibližně poloviční oproti vstupu OZ8. Porovnávané napětí je přivedeno na neinvertující vstupy. Předtím je však upraveno děličem se Zenerovou diodou D11, trimrem P1 a rezistory R18 a R19. Vlivem posuvu napěťové úrovně Zenerovou diodou se napětí na neinvertujících vstupech mění poměrně více než napětí napájecí. Proto je indikace napětí omezena na rozsah přibližně 30 %. Při malém napětí nesvítí žádná LED. Zvětšujeme-li napětí, rozsvítí se D1, pak postupně D2 až D8. Proud diodami je omezen výstupním obvodem v OZ asi na 20 mA. Rezistory R1 až R8 jen zmenšují výkono-



Obr. 49. Tester síťového napětí



Obr. 50. Deska s plošnými spoji pro tester síťového napětí a rozmístění součástek

vou ztrátu výstupního tranzistoru v OZ. Použijeme-li LED s malým příkonem, zvětšíme jejich odpor na 2,7 až 4,7 kΩ.

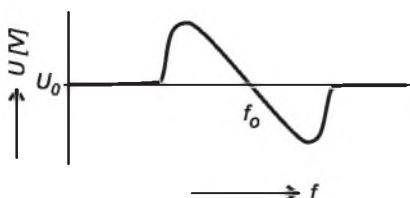
Tester síťového napětí můžete postavit na desce s plošnými spoji podle obr. 50. Desku umístíme do vhodné krabice a propojíme se síťovým adaptérem. Zdatnější konstruktéři mohou místo adaptéru použít jakýkoli vhodný síťový transformátor s napětím sekundárního vinutí 6 až 10 V. Filtrační kondenzátor stačí s kapacitou 470 až 1000 μF.

Nejvhodnější je oživit tester bez adaptéru, při napájení z regulovatelného zdroje. Při

změně napájecího napětí by se měly postupně rozsvěcet D1 až D8. Nastavení testeru je jednoduché. Po připojení adaptéru nastavíme trimr P1 tak, aby právě svítila LED D4. Sousední LED se rozsvítí (zhasne) při změně síťového napětí asi o 5 %. Pokud potřebujete jemnější rozlišení, zvětšíte odpor rezistoru R9, pro hrubší rozlišení můžete jeho odpor zmenšit. Hrubší rozlišení dostanete také, nahradíte-li Zenerovu diodu D11 rezistorem s odporem asi 5,6 k $\Omega$ . K ocejchování testeru by však byl vhodný regulační autotransformátor.

Tento tester můžete také použít ke kontrole napětí akumulátoru, neboť poskytl lepší rozlišení napětíových úrovní než tester z obr. 44 nebo 48. Při tomto použití však může být na závalu poměrně značný odběr proudu testeru. Odběr proudu se mění podle počtu rozsvícených LED. Svítí-li všech osm LED, může být odběr 150 až 200 mA.

Jiným typem testeru napětíových úrovní jsou **indikátory vyladění přijímačů FM**. U těchto indikátorů se využívá skutečnosti, že se napětí na výstupu detektoru mění podle naladění přijímače. Při správném naladění má přijímač obvykle nejmenší zkreslení. Detektor FM má ve středu své charakteristiky (kmitočet  $f_0$ ) obvykle největší linearitu. Při rozladění se detektor dostane do oblasti s menší linearitou. Další zkreslení vznikne omezením části kmitočtového spektra nosné vlny při průchodu mezifrekvenčním zesilovačem. Průběh napětí na výstupu detektoru v závislosti na rozladění (tzv. křivka „S“) je na obr. 51. Směr změny napětí závisí na konkrétním provedení detektoru.

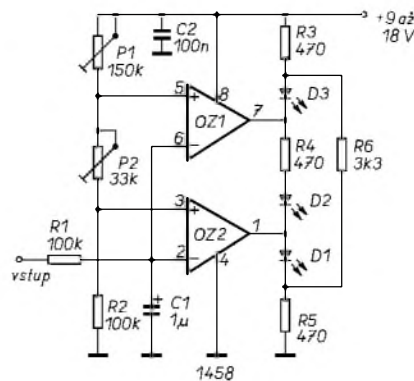


Obr. 51. Napětí na výstupu detektoru FM

Napětí  $U_0$  je u poměrového detektoru 0 V, u koincidenčních detektorů a detektorů s fázovým závěsem (PLL) přibližně polovina napájecího napětí.

Na obr. 52 je jednoduchý **indikátor vyladění** [27]. Lze jej připojit ke všem běžným IO pro mf zesilovače. Prakticky

jsem jej vyzkoušel s MAA661, A220, A223 a A225. Při správném naladění přijímače svítí zelená LED D2. Rozladí-li se přijímač na jednu nebo druhou stranu, rozsvítí se D1 nebo D3. Základem zapojení jsou dva komparátory s operačními zesilovači. Tyto komparátory porovnávají napětí na výstupu detektoru s napětím na odporovém děliči P1, P2 a R2. Rezistor R1 a kondenzátor C1 odfiltrují ze signálu střídavou složku, jinak by totiž poblikávaly LED v rytmu modulační. Proud procházející rezistorem R6 vytváří na R3 a R5 malý úbytek napětí, který zamezuje svitu LED D1, resp. D3 vlivem poměrně velkého saturačního napětí použitého OZ.

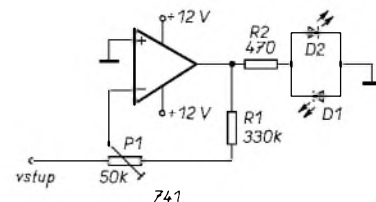


Obr. 52. Indikátor vyladění pro přijímač FM

Nastavení indikátoru je jednoduché. Přijímač pokud možno přesně naladíme. Trimr P2 nastavíme na malý odpor. Trimr P1 nastavíme tak, aby se rozsvítila D2. Pak trimrem P2 nastavíme požadovaný rozsah, při kterém lze považovat naladění za správné (např.  $\pm 30$  kHz). Nakonec trimrem P1 nastavíme přesně indikaci středu naladění.

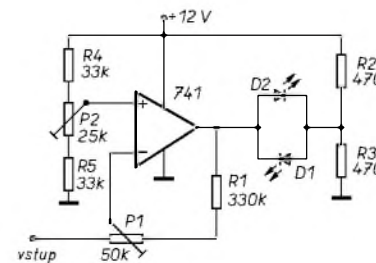
Deska s plošnými spoji pro indikátor vyladění je na obr. 53. Tento indikátor lze použít také jako tester napětí autobaterie (Batest). V tom případě je třeba nahradit kondenzátor C1 Zenerovou diodou s napětím asi 5 až 7 V, odpor R1 zmenšit na 2,2 k $\Omega$  a vstup připojit na napájecí napětí. Odporovými trimry P1 a P2 nastavíme požadovaná napětí pro indikaci jednotlivých napětíových úrovní.

**Jiný indikátor vyladění** je na obr. 54 [28]. Tento indikátor je určen pro přijímače s poměrovým detektorem. Při správném



Obr. 54. Indikátor vyladění pro přijímače s poměrovým detektorem

naladění nesvítí žádná LED. Rozladí-li se přijímač, rozsvítí se D1 nebo D2 podle směru rozladění. Protože na výstupu poměrového detektoru je při správném naladění nulové napětí, musí mít OZ symetrické napájení. Operační zesilovač v tomto zapojení nepracuje jako komparátor, ale jako invertující zesilovač. Trimrem P1 nastavujeme citlivost indikace. Potřebujeme-li omezit vliv nf signálu, zapojíme mezi invertující vstup a výstup OZ vhodný kondenzátor (např. 100 nF).



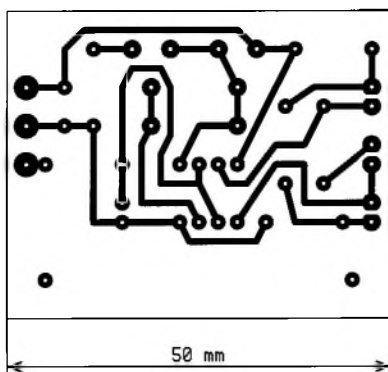
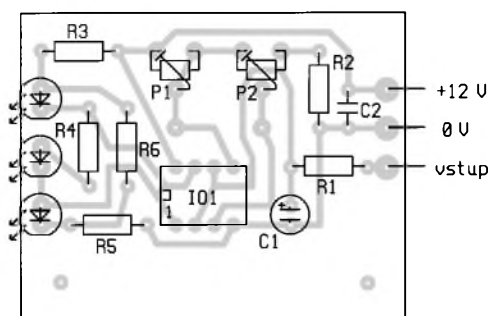
Obr. 55. Upravený indikátor vyladění

Tento indikátor lze upravit i pro přijímače s „integrováním“ detektorem. Zapojení indikátoru je na obr. 55. Střed indikace nastavíme trimrem P2. Funkce je jinak shodná se zapojením z obr. 54. Nevýhodou tohoto zapojení je trvalý proud, procházející rezistory R2 a R3.

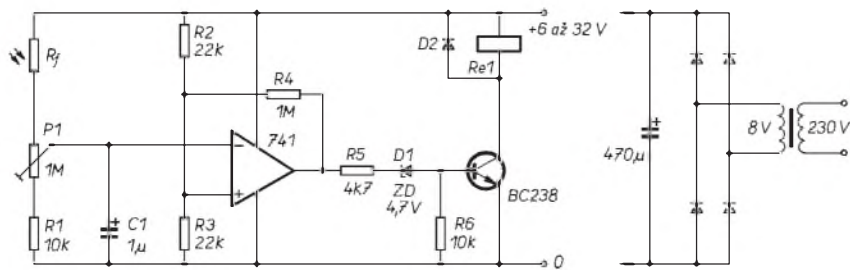
Pro automatické rozsvícení osvětlení nebo reklam při setmění lze použít **světelný spínač** z obr. 56 [29]. Zmenší-li se množství světla, dopadajícího na fotorezistor, zvětší se jeho odpor a napětí na invertujícím vstupu se zmenší pod polovinu napájecího napětí. Komparátor s OZ se překlopí a na jeho výstupu se objeví kladné saturační napětí. Transistor T1 se otevře a relé sepne. Při dostatečném osvětlení má fotorezistor malý odpor a kontakty relé jsou rozpojeny. Kontakty relé mohou spínat žárovku nebo jiné osvětlovací těleso.

Rezistor R4 zavádí do komparátoru malou hysterezi. Záporné saturační napětí použitého OZ je poměrně velké – Zenerova dioda D1 zajistí dokonalé uzavření tranzistoru T1. Trimrem P1 nastavujeme citlivost spínače. Napájecí napětí zvolíme podle použitého relé. Pro relé s napětím 12 V můžeme použít síťový transformátor se sekundárním napětím 8 až 10 V s výkonem 2 VA.

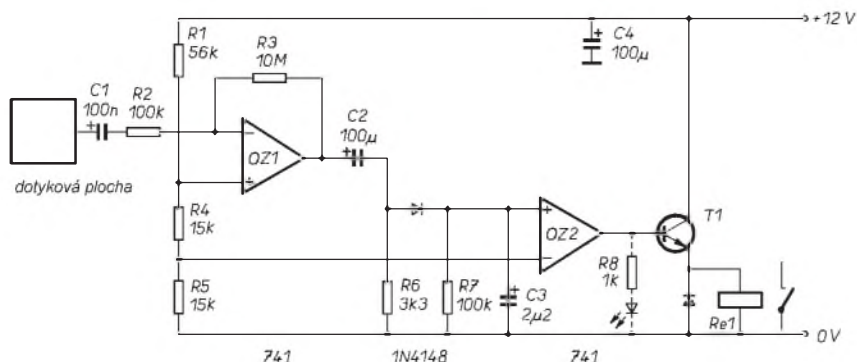
Na obr. 57 je zapojení **dotykového spínače** [30]. Spínač lze použít k různým reklamním účelům nebo na místech, kde hrozí zničení mechanického spínače vandaly. Zapojení předpokládá jistou úroveň okolního rušení, která se v běžných prostorech vždy vyskytuje. Lidské tělo zde představuje jakousi anténu.



Obr. 53. Deska s plošnými spoji a rozmístění součástek pro indikátor vyladění



Obr. 56. Světelný spínač

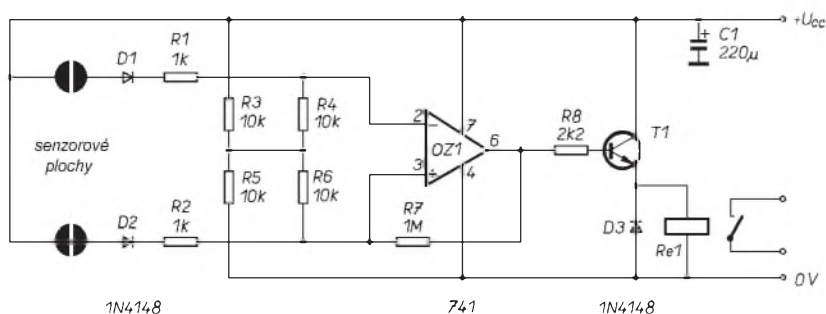


Obr. 57. Dotykový spínač

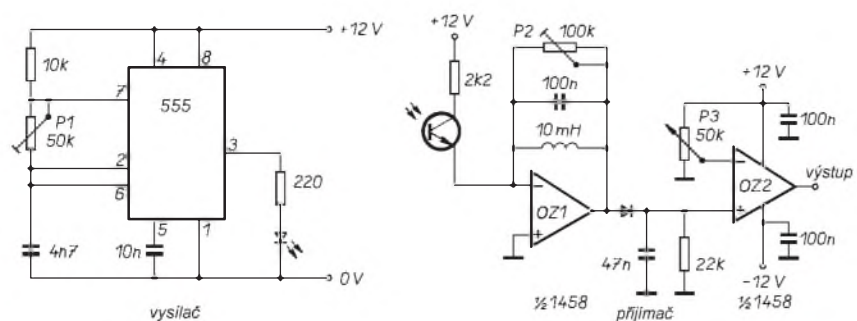
Po dotyku prstem na dotykovou plochu projde přes kondenzátor C1 a rezistor R2 brumové napětí na invertující vstup operačního zesilovače OZ1. Toto napětí je zesíleno asi 100krát a přivedeno na diodový detektor. Operační zesilovač OZ2 pracuje jako komparátor. Bude-li napětí na výstupu detektoru větší než napětí na rezistoru R5, komparátor se překlápí, tranzistor T1 se otevře a relé sepne. Sepnuté relé může být indikováno svítivou diodou (nakreslena čárkovaně). Po oddálení prstu se brumové napětí zmenší a relé odpadne.

**Jiný dotykový spínač** je na obr. 58 [31]. Operační zesilovač je zapojen jako bistabilní klopný obvod. Na vstupech OZ je přibližně polovina napájecího napětí,

rezistory R3 a R5 vytvářejí umělý střed. Pokud by nebyl zapojen rezistor R7, bylo by na výstupu OZ náhodně kladné nebo záporné saturační napětí podle toho, jakou má použitý OZ vstupní napěťovou nesymetrii. Dotkneme-li se nyní senzorové plošky u diody D1, zvětší se vlivem proudu procházejícího prstem napětí na invertujícím vstupu OZ. Na výstupu OZ se objeví záporné saturační napětí (napětí blízké 0 V). Naopak dotkneme-li se senzorové plošky u D2, objeví se na výstupu OZ kladné saturační napětí. Kladná zpětná vazba zavedená rezistorem R7 zajistí, že na výstupu OZ zůstane zvolená úroveň napětí i po oddálení prstu. K výstupu OZ je připojen výkonový člen s relé (na obráz-



Obr. 58. Senzorový spínač



Obr. 59. Infračervená světelná závora

ku), případně jiný obvod, který má být ovládán.

Často potřebujeme registrovat pohyb předmětů nebo osob v určitém prostoru. K tomuto účelu se hodí různé optické snímače. Tyto snímače však musí být konstruovány tak, aby vyloučily vliv okolního osvětlení. Osvětlení se může měnit podle denní doby nebo použitého osvětlení.

Těmto požadavkům vyhovuje jednoduchá **infračervená světelná závora** z obr. 59 [32]. K hlídání určeného prostoru používá paprsek modulovaného infračerveného světla. Vysílač je realizován astabilním multivibrátorem s časovačem 555. Infračervená vysílací LED je připojena přes rezistor přímo na výstup časovače. Odporovým trimrem P1 lze nastavit kmitočet multivibrátoru.

Na přijímací straně dopadá světlo na fototranzistor. Jeho výstup je připojen na vstup selektivního zesilovače s OZ1. Rezonanční obvod ve zpětné vazbě má rezonanční kmitočet asi 5 kHz. Na tomto kmitočtu má zesilovač největší zesílení. Naopak stejnosměrný proud, procházející fototranzistorem při okolním osvětlení, vyvolá na výstupu OZ1 jen zanedbatelné napětí, dané sériovým odporem použité cívky. Na výstupu OZ1 je tedy pouze střídavé napětí, jehož amplituda je do velké míry nezávislá na intenzitě okolního osvětlení. Signál z OZ1 je usměrněn jednoduchým diodovým usměrňovačem. Následuje komparátor, který porovnává napětí z usměrňovače s napětím na běžci potenciometru P3. Potenciometrem P3 nastavujeme vhodnou citlivost obvodu. Zastíní-li se přijímací fototranzistor, napětí na výstupu usměrňovače zmizí, komparátor se překlápí a na jeho výstupu se objeví záporné saturační napětí.

Nastavení světelné závory je jednoduché. Na výstup usměrňovače připojíme voltmetr. Zapneme vysílač a LED umístíme poblíž fototranzistoru. Voltmetr by měl nyní ukázat nějaké napětí, které se bude měnit podle nastavení trimru P1. Odpovídá-li kmitočet vysílače rezonančnímu kmitočtu obvodu LC, je napětí největší.

Trimrem P2 lze upravit jakost rezonančního obvodu. Je-li nastaven na největší odpor, je naladění velmi ostré, ale přijímač má největší citlivost. Potenciometr P3 nastavíme tak, aby při nepřerušném paprsku bylo na výstupu komparátoru kladné saturační napětí. Výstup musí reagovat na přerušení paprsku.

Uvedená závora může být použita jako součást zabezpečovacího zařízení nebo může automaticky spínat osvětlení při průchodu osoby v prostorách, v nichž se nevyplatí trvale svítit. Podle použití připojíme na výstup komparátoru vhodný spínací obvod.

Paprsek může být buď přímý, umístíme-li vysílač na opačné straně sledovaného prostoru, nebo odražený. V tom případě je nutné zajistit vhodným stíněním, aby přijímač reagoval pouze na odražený paprsek a nikoli na přímý signál poblíž umístě-

ného vysílače. Dosah závoje může být i několik metrů. Pro delší vzdálenosti lze použít vhodnou optiku. Ta se však pro neviditelný paprsek hůře nastavuje.

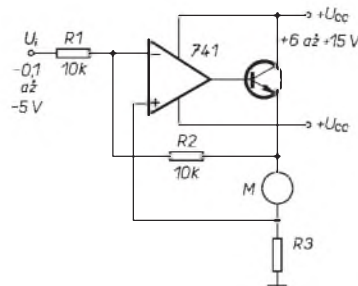
Operační zesilovače můžeme použít i v regulátorech pro stejnosměrné motory. U regulátorů pro malé motorky v magnetofonech, gramofonech apod. zpravidla požadujeme, aby zajistily stabilní otáčky motoru při změně zátěže a napájecího napětí. Většinou se jedná o zdroje napětí se záporným vnitřním odporem. Napětí  $U_n$  na stejnosměrném komutátorovém motoru je možno vyjádřit jednoduchým vztahem

$$U_n = E_0 + I_n R_i$$

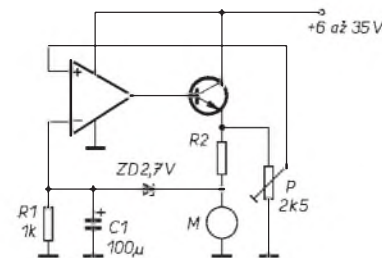
kde  $E_0$  je elektromotorické napětí odpovídající daným otáčkám,  $I_n$  je napájecí proud a  $R_i$  vnitřní odpor motoru. Stabilizačního účinku se dosahuje kompenzací vnitřního odporu motoru.

Na obr. 60 je regulátor, u něhož lze otáčky řídit vnějším napětím  $U_i$  [33]. Na rezistoru R3 se snímá napětí, které je úměrné odběru proudu, tedy i zatížení motoru. Toto napětí je přivedeno do neinverujícího vstupu operačního zesilovače, kam zavádí kladnou zpětnou vazbu. Záporná zpětná vazba je zavedena rezistorem R2. Napětí na rezistoru R3 se vlastně přičítá k ovládacímu napětí. Při zatížení se zvětší úbytek napětí na R3 a na výstupu regulátoru se objeví větší napětí. Zásadní význam pro správnou funkci regulátoru má odpor rezistoru R3. Je-li malý, je regulace nedostatečná a otáčky motoru se mění se zatížením. Při R3 = 0 se regulátor chová jako zdroj napětí. Je-li R3 příliš velký, regulátor se rozkmitá a motor „škube“. Odpor je třeba zvolit podle konkrétního typu motoru – bude v mezích jednotek až desítek Ω.

Podobný regulátor je na obr. 61 [34]. Od předešlého zapojení se liší hlavně provedením zpětné vazby operačního zesilo-



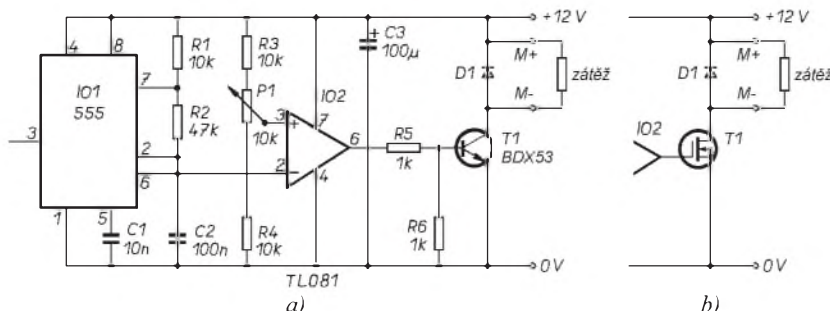
Obr. 60. Regulátor otáček pro malé stejnosměrné motory



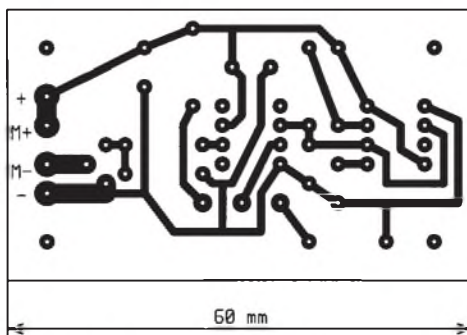
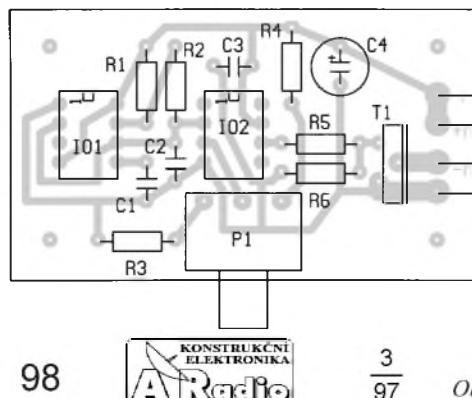
Obr. 61. Jiný regulátor otáček pro malé stejnosměrné motory

vače. Otáčky motoru nastavujeme trimrem P1. Proud procházející motorem se snímá na rezistoru R2. Odpor tohoto rezistoru by měl být asi 1,5násobkem vnitřního odporu motoru. Jeho konkrétní odpor se bude měnit i podle nastavení trimru P1 a je nejvhodnější jej zjistit experimentálně. Transistor zvolíme podle příkonu motoru a velikosti napájecího napětí.

Na obr. 62 je impulsní regulátor. Tento regulátor nestabilizuje otáčky, umožňuje je však řídit potenciometrem P1. Lze jej použít např. k akumulátorové vrtáče nebo k modelu železnice. Při impulsní regulaci je motor napájen šifkově modulovanými impulsy a spínací tranzistor je buď zcela



Obr. 62. Impulsní regulátor otáček pro stejnosměrné motory se středním výkonem a), použití tranzistoru HEXFET v regulátoru b)



Obr. 63. Deska s plošnými spoji pro impulsní regulátor a rozmístění součástek

otevřen nebo uzavřen a ztrácí se na něm mnohem menší výkon.

Funkce regulátoru je velmi jednoduchá. Na kondenzátoru C2 je napětí s přibližně trojúhelníkovým průběhem, s rozkmitem od  $1/3$  do  $2/3$  napájecího napětí. Toto napětí se porovnává s napětím na běžci P1. Na výstupu komparátoru jsou impulsy, jejichž šířka odpovídá nastavení P1. V rytmu těchto impulsů připojuje tranzistor napájecí napětí na zátěž.

Pro větší proudy je výhodnější použít tranzistor HEXFET, např. BUZ10 nebo IRF530. V zapojení pak vynecháme R6 a R5 nahradíme propojkou. Deska s plošnými spoji pro regulátor je na obr. 63.

## Nabíječe, odpojovače a vybíječe akumulátorů

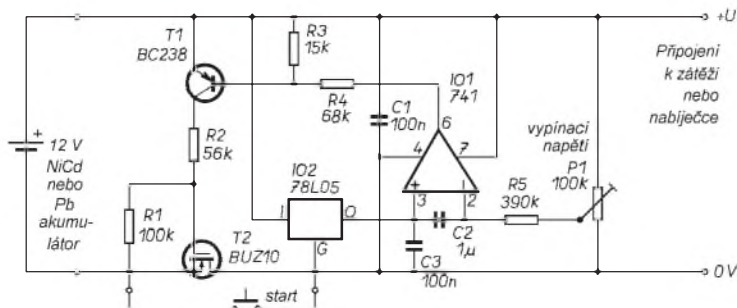
Akumulátory se pro napájení drobných zařízení používají stále více. Jsou výhodné zvláště pro napájení častěji používaných přístrojů se středním a větším odběrem, u nichž by bylo třeba klasické baterie často vyměňovat.

Doba života oloveného akumulátoru se podstatně zkrátí, je-li akumulátor hluboce vybíjen. Na obr. 64 je zapojení **odpojovače akumulátoru při vybití**. Tento odpojovač můžeme použít např. u různých záložních zdrojů. V původním zapojení byl použit operační zesilovač TAA861 [35]. Tento OZ má výstup s otevřeným kolektorem a ke své funkci potřebuje ještě rezistor zapojený mezi výstup a kladné napájecí napětí. Zapojení bude pracovat stejně dobře i s běžným OZ typu 741.

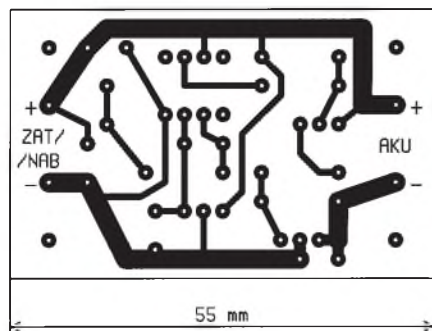
Předpokládáme, že tranzistor T2 je otevřen. Výstupní svorka (0 V) je připojena na záporný pól akumulátoru. Napětí na výstupu se porovnává s výstupním napětím stabilizátoru IO2. Je-li napětí akumulátoru dostatečné, je na invertujícím vstupu OZ větší napětí než na neinverující vstupu (5 V) a na výstupu komparátoru je napětí blízké 0 V. Tranzistor T1 je otevřen a na řídicí elektrodu T1 je přivedeno kladné napětí, které jej udržuje v otevřeném stavu. Po vybití akumulátoru se zmenší jeho napětí, komparátor se překlápí a tranzistory T1 a T2 se zavřou. Výstupní napětí se skokem zmenší k nule. V tomto stavu obvod neodebírá z akumulátoru žádný proud.

Připojíme-li nabitý akumulátor, zůstane tranzistor T2 uzavřen, protože operační zesilovač a stabilizátor má odpojené napájení. V tomto případě odpojovač „nastartuje“ stiskem tlačítka.

Odpojovač může být připojen k akumulátoru i při nabíjení. Tranzistory HEXFET mají ve své struktuře závěrně polarizovanou diodu mezi vývody S a D. Při nabíjení je tranzistor v inverzním zapojení a dioda je plována v propustném směru. Ostatně po dosažení minimálního napětí tran-



Obr. 64. Odpojovač akumulátoru při nadměrném vybití



Obr. 65. Deska s plošnými spoji pro odpojovač z obr. 64

zistor otevře a dioda se již neuplatní. Odpor sepnutého tranzistoru BUZ10 je jen 0,08 Ω a neovlivní funkci nabíječky. Některé snadno dostupné tranzistory mají v sepnutém stavu odpor ještě mnohem menší např. IRL12203G (asi 0,007 Ω).

Odpojovač lze postavit na desce s plošnými spoji podle obr. 65. Je-li trvalý odběr proudu do několika ampér, není třeba tranzistor T2 chladiť. K oživení odpojovače použijeme regulovaný zdroj, připojený k výstupním svorkám odpojovače. Bez připojeného akumulátoru nastavíme na zdroji požadované vypínací napětí. Trimr nastavíme do takové polohy, kdy se právě mění napětí na výstupu komparátoru.

**Vybíječ akumulátorů NiCd** na obr. 66 vznikl úpravou předchozího zapojení. Na rozdíl od olověného akumulátoru, kterému hluboké vybití zkracuje dobu života, je vhodné akumulátory NiCd před nabíjením úplně vybit. Vyloučí se tím paměťový jev a přebíjení akumulátorů u jednoduchých nabíječek, které nabíjejí akumulátory konstantním proudem po pevně nastavenou dobu. Především modeláři se bez kvalitně nabíjených akumulátorů neobejdou. Proto je vybíječpřizpůsoben pro vybití baterií se 4, 6, 7 a 8 články, které se v modelářské praxi nejvíce používají. Vybíječ je možno také pou-

žít při formování baterií, kdy je třeba akumulátory několikrát nabít a vybit.

Vybíječ nepotřebuje žádný další zdroj, napájí se z vybité baterie. To omezuje minimální počet článků v baterii na čtyři. Jako referenční zdroj napětí je použit stabilizátor LM317L v zapojení, které poskytuje nejmenší výstupní napětí. Rezistor R5 představuje minimální potřebnou zátěž stabilizátoru. Konečné napětí baterie je 0,9 V na jeden článek. Požadované napětí volíme přepínačem P1. Odporový dělič R12, R13 je navržen tak, aby při koneč-

ném napětí baterie s osmi články (7,2 V) bylo na rezistoru R13 napětí přibližně 1,25 V. Toto napětí se porovnává s napětím na výstupu stabilizátoru. Pro baterii s menším počtem článků zvolíme přepínačem příslušné menší referenční napětí. Pro komparátor je použit obvod LM358, který pracuje již při malém napětí. Aby vybíječ pracoval spolehlivě i při napětí 3,6 V, byl na místě T2 použit bipolární tranzistor. Jeho spínací vlastnosti jsou horší než u tranzistoru řízeného polem, což v tomto případě není na závadu.

Zátěž je k vybíječi připojena externě. Odpor zatěžovacího rezistoru zvolíme podle požadovaného vybíjecího proudu 6,8 až 56 Ω. Rezistor musí být na zatížení, odpovídající nabití baterii. Např. rezistor s odporem 10 Ω by měl vydržet

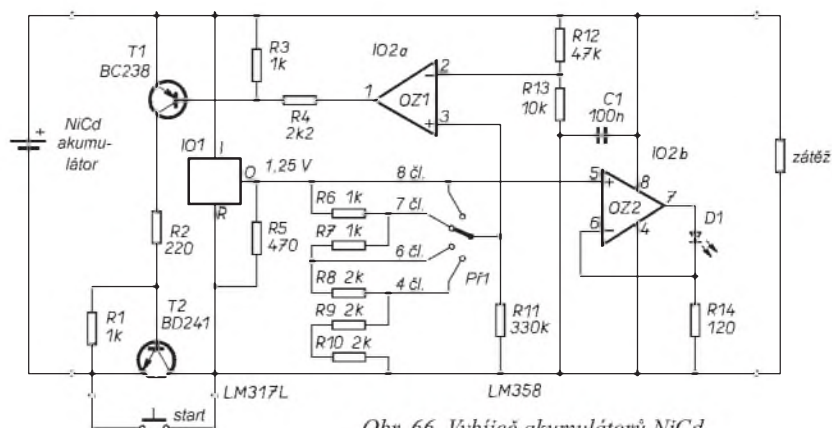
$$P = U^2/R = (8 \times 1,25)^2/10 = 10 \text{ W.}$$

Místo zatěžovacího rezistoru můžeme použít žárovku 2 až 10 W pro napětí 12 V. Protože odpor vlákna žárovky se mění při změně napětí, je vybíjecí proud méně závislý na napětí baterie.

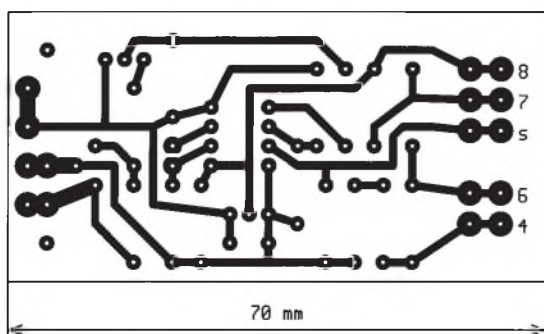
Druhý OZ v pouzdře je využit ke stabilizaci proudu indikační LED. Proud je nastaven rezistorem R14 asi na 10 mA.

Deska s plošnými spoji pro vybíječ akumulátorů NiCd je na obr. 67. Tranzistor BD241 vyhoví pro proudy do 2 A. Pro vybíjecí proudy do 1 A stačí tranzistor BD135 apod. Pro větší proudy by bylo třeba použít speciální tranzistor řízený polem, některý z typů, jimž stačí pro úplné otevření napětí řídicí elektrody 3 až 3,5 V. Přepínač je typu SS24H03 z nabídky bývalé KTE. Dnes by měl být k dostání u firmy Jamtex.

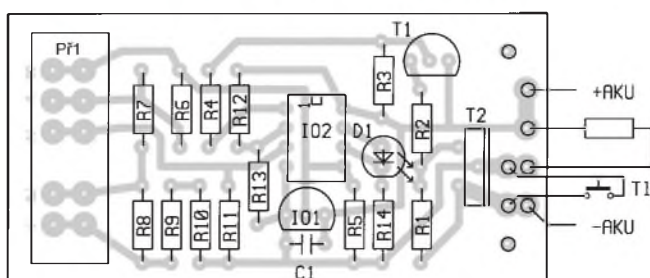
I když tento vybíječ můžete použít jako odpojovač, není vhodný pro odpojení pohonu např. v elektroletu.



Obr. 66. Vybíječ akumulátorů NiCd



Obr. 67. Deska s plošnými spoji pro odpojovač z obr. 66



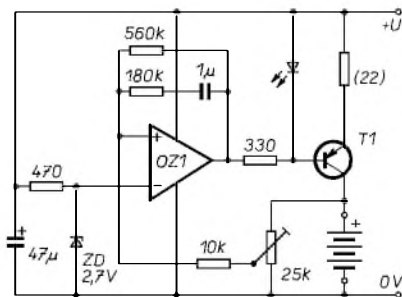
Nabíječek akumulátorů NiCd a Pb bylo publikováno na stránkách PE několik jen za poslední rok. Relativně nejspolehlivější je nabíjení akumulátorů NiCd proudem 0,1 kapacity C po dobu 14 hodin. Pro řízení zrychleného nabíjení se používají nejčastěji speciální obvody, které hlídají průběh napětí a teplotu článku.

V jednoduché **nabíječce** podle obr. 68 lze nabíjet jeden až čtyři články NiCd [30]. K vyhodnocení nabitého stavu akumulátoru se sleduje napětí na článku. Funkce nabíječky je velmi jednoduchá. Přes rezistor R9 se napájí svítivá dioda D5. Úbytek napětí 1,4 V na této diodě slouží jako referenční napětí pro komparátory. Nabíječka má čtyři shodné stupně. Vložíme-li vybitý akumulátor např. do první pozice, bude jeho napětí menší, než je referenční napětí. Na výstupu OZ1 bude záporné saturační napětí a tranzistor T1 se otevře proudem procházejícím rezistorem R1. Rezistorem R2 a diodou D1 protéká proud, kterým se akumulátor nabíjí. LED D1 svitem indikuje nabíjení. Dosáhne-li napětí na akumulátoru 1,4 V, začne se nabíjecí proud zmenšovat. Operační zesilovač se dostane do lineárního režimu a stabilizuje napětí na akumulátoru na velikost shodnou s referenčním napětím.

Tato metoda mi nepřipadá příliš spolehlivá. Napětí na nabíjeném akumulátoru se totiž mění nejen s teplotou, ale také se stáráním akumulátoru a s jeho typem. Zatímco napětí na některých akumulátorech nepřesáhne při nabíjení proudem 0,1 C velikost 1,35 V, u jiných se napětí při nabíjení záhy zvětší na 1,5 V. Avšak vzhledem k tomu, že nabíjecí proud je pouze asi 30 mA (0,05 C), nemůže ani trvalé nabíjení akumulátor zničit. Nabíjení běžných článků je při tomto proudu velmi pomalé – trvá asi 24 h. V zapojení je třeba použít obyčejné červené LED, které mají úbytek napětí v propustném směru asi 1,5 V. Odpor rezistoru R9 je pouze informativní. Vybereme jej tak, aby napětí na D5 bylo 1,4 V.

Na podobném principu pracuje **nabíječka** podle obr. 69 [37]. Akumulátorová baterie se nabíjí ze zdroje proudu s tranzistorem T1. Po dosažení konečného napětí se přepne komparátor a nabíjení se ukončí. Napětí, při kterém se nabíjení ukončí, je nastaveno trimrem. Komparátor má nastavenou hysterezi rezistory ve zpětné vazbě. LED slouží jako zdroj referenčního napětí zdroje proudu a zároveň indikuje nabíjení. Tranzistor zvolíme podle nabíjecího proudu. S uvedeným rezistorem v emitoru tranzistoru je nabíjecí proud asi 60 mA (závisí také na typu

LED). Napájecí napětí nabíječky by mělo být o 3 až 5 V větší než napětí nabíjeného akumulátoru.



Obr. 69. Nabíječka s vypnutím po dosažení konečného napětí

## Doplňky k osobním počítačům

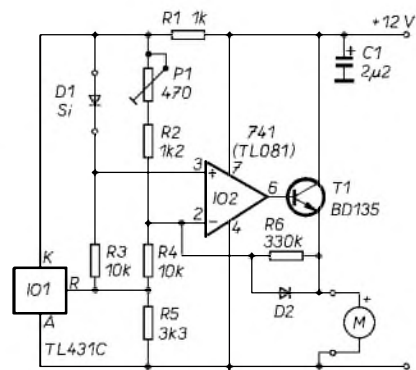
Je zcela mimo možnosti běžného amatéra zasahovat do konstrukce osobních počítačů. Přesto lze počítač vybavit několika doplňky, které zvětší pohodlí obsluhy, případně zvětší jeho spolehlivost.

Jedním z doplňků je **regulátor otáček ventilátoru**.

Napájecí zdroje dnešních počítačů PC mohou dodat výkon až 200 W. Běžné PC vybavené pevným diskem, jednotkou CD-ROM, jednotkou pružných disků, grafickou a zvukovou kartou má však příkon (ze sítě) zpravidla 30 až 50 W. Je tedy nesmyslné, aby ventilátor, umístěný nejčastěji v napájecím zdroji, pracoval na plný výkon. Ventilátor je zpravidla největším zdrojem hluku v počítači. Zmenšíme-li jeho hluk, zmenší se výrazně hluk celého počítače.

Ventilátor není možné zcela odpojit, protože zajišťuje cirkulaci vzduchu ve skříni počítače. Bez jisté výměny vzduchu by hrozilo nejen přehřátí procesoru počítače, ale také jiných integrovaných obvodů v počítači. Poměrně značný příkon má například grafická karta a pevný disk. Rovněž chladiče v napájecím zdroji mají minimální rozměry, neboť se spoléhá na chlazení ventilátorem.

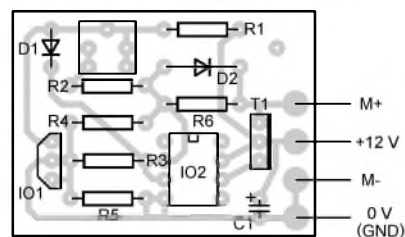
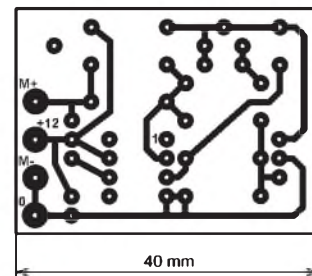
V nejjednodušším případě lze do série s ventilátorem zapojit rezistor s odporem 33 až 56 Ω. Ventilátor se rozbíhá při napětí 5 až 7 V a při rozběhu odebírá poněkud větší proud. Nelze však dosáhnout minimálních otáček, pokud chceme zajistit spolehlivé roztočení ventilátoru. Otáčky ventilátoru jsou navíc pevně nastaveny a při extrémních klimatických podmínkách nemusí být pak chlazení počítače dostatečné.



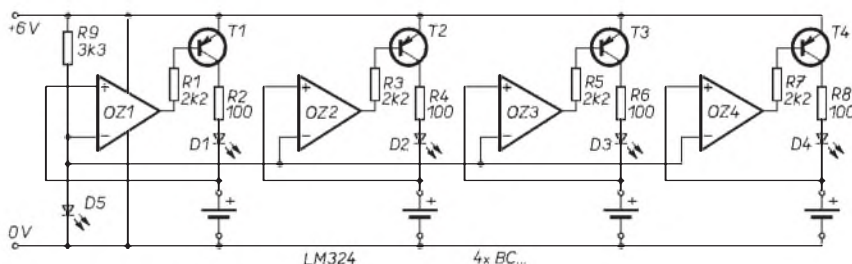
Obr. 70. Zapojení regulátoru otáček ventilátoru

Problém lze vyřešit vhodným regulátorem. Jedno z možných zapojení je na obr. 70 [38]. Vypustíme-li diodu D2 a rezistor R6, pracuje obvod jako teplotní spínač. Pokud je úbytek napětí na diodě D1 větší než na sériově zapojených rezistorech P1 a R2, ventilátor se netočí. Při zvýšení teploty se zmenší úbytek napětí na D1, komparátor s operačním zesilovačem se přepne a tranzistor T1 připojí napájení na ventilátor. Napájecí napětí pro snímač teploty stabilizuje integrovaný obvod TL431C. Nastavení regulátoru je pak nezávislé na napětí zdroje. Součástky jsou zvoleny tak, aby na vývodu K stabilizátoru bylo napětí 6,5 až 7 V. Napětí na invertujícím vstupu OZ je asi o půl voltu menší a jen nepatrně se mění s teplotou. Zapojením diody D2 zavedeme zápornou zpětnou vazbu, která způsobí, že i při nižší teplotě je ventilátor napájen napětím asi o 1 V menším než je napětí na vývodu K stabilizátoru. Ventilátor se otáčí i při nízké teplotě. Při zvýšení teploty se otáčky skokem zvětší. Při zapojení rezistoru R6 se otáčky zvětšují plynule se zvyšováním teploty. Zvolíme-li R6 = 330 kΩ, je rozdíl teploty pro dosažení maximálních otáček asi 12 °C, pro R6 = 1 MΩ asi 4 °C.

Deska s plošnými spoji pro regulátor ventilátoru je na obr. 71 (tentokrát správně, původní spoj B52 byl zrcadlově převrácen). Regulátor umístíme nejlépe do skříňky zdroje, ovšem až po důkladném oživení mimo zdroj. Při montáži je nutné

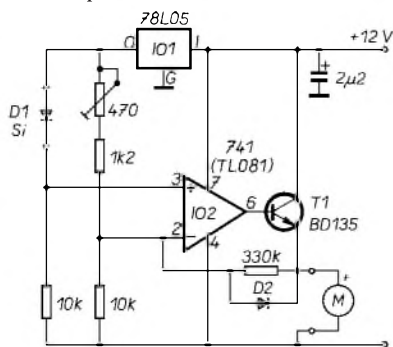


Obr. 71. Deska s plošnými spoji pro regulátor ventilátoru



Obr. 68. Zapojení jednoduché nabíječky

postupovat opatrně, neboť část zdroje je galvanicky spojena se sítí. Trimrem P1 nastavujeme teplotu, při níž se začnou zvětšovat otáčky ventilátoru. Diodu D1 bud' zapájíme do desky s plošnými spoji – pak snímá okolní teplotu (regulátor nastavíme tak, aby reagoval při 30 až 35 °C) – nebo ji přes izolační podložku připevníme k chladiči výkonových tranzistorů nebo diodu (40 až 50 °C). Místo diody D1 lze použít i tranzistor, u kterého spojíme bázi s kolektorem. To může v některých případech usnadnit montáž, zvláště použijeme-li tranzistor s vhodným pouzdem – např. KD135 apod.



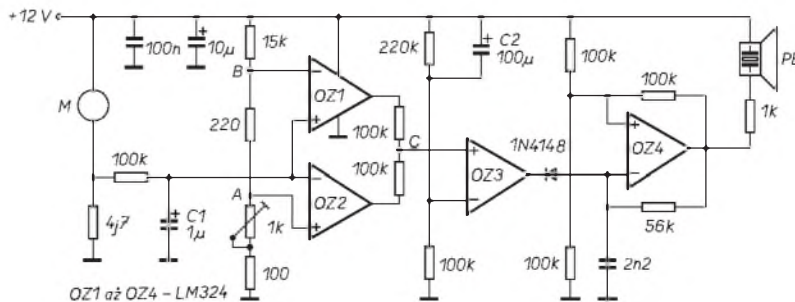
Obr. 72. Upravené zapojení regulátoru  
k ventilátoru

Na obr. 72 je upravené zapojení regulátoru [39]. Místo stabilizátoru TL431 je použit levnější stabilizátor 78L05 (78L06 nebo 78L08). Funkce regulátoru je jinak zcela shodná.

Dnešní PC používají výkonné procesory třídy „486“ nebo Pentium. Tyto procesory mají větší příkon a vyžadují speciální chladiče. Samotný chladič má většinou žerťové rozměry a potřebný výkon chlazení je zajištěn ventilátorem. Při poruše ventilátoru se procesor velmi rychle přehřeje, což se zpravidla projeví nespolehlivou funkcí počítače. Programy se záhadným způsobem „zakusují“ a operační systém „padá“. To se projevuje zejména u procesorů Pentium, jejichž příkon je dosti závislý na zatížení procesoru. Větší přehřátí může vést až ke zničení procesoru.

V počítačích se používají ventilátory se stejnosměrným motorem. Motor nemá komutátor, ale jednoduchý elektronický obvod (brushless). Kolem pevných cívek se otáčí rotor s trvalým magnetem. Transistorový spínač, řízený obvodem s Hallovou sondou, spíná proud do cívek statoru podle polohy rotoru. Motor nemá komutátor, a tak rušení je mnohem menší než u motorů s komutátorem. Odběr proudu takového motoru je však jen málo závislý na jeho zatížení. Zastaví-li se motor, jeho odběr se zvětší jen o 10 až 20 %. Ke sledování funkce motoru proto musíme použít poměrně citlivý obvod.

Chladicí k procesorům se každý snaží zakoupit co možná nejlevněji a tak „zadřevý“ ventilátor bývá poměrně častým jevem. V [40] jsem našel zajištění poměrně jednoduchého obvodu k **hlídání správné funkce ventilátoru**. Obvod akusticky indikuje stojící ventilátor, nejen je-li „zadřevý“, ale také v případě přerušené jedné cívký takturu nebo přerušného přívodu k ventilátoru.



Obr. 73. Zapojení obvodu k hlídání správné funkce ventilátoru

Zapojení obvodu je na obr. 73. Proud procházející ventilátorem se snímá na rezistoru s malým odporem. Fitr  $RC$  odstraní rychlé změny způsobené přepínáním cívek v motoru. Následují dva komparátory. Referenční napětí pro komparátory je vytvořeno odporovým děličem. Je-li na výstupu filtru  $RC$  (kondenzátor  $C1$ ) napětí větší než je v bodě A, ale menší než v bodě B, je na výstupech obou komparátorů záporné saturační napětí. Pokud se ventilátor zastaví, je na  $C1$  napětí větší než v bodě B a komparátor s  $OZ1$  se překlápí. Naopak při přerušeném přívodu k ventilátoru nebo při přerušené jedné cívkě motoru, je na kondenzátoru  $C1$  napětí menší než v bodě A. V tom případě se překlápí komparátor s  $OZ2$ . V obou případech se ve středu odporového děliče v bodě C na výstupech komparátorů objeví asi polovina napájecího napětí.

Následuje komparátor s OZ3, který se překlápí přibližně při třetině napájecího napětí. Překlopí-li se komparátor s OZ1 nebo OZ2, překlápí se i komparátor s OZ3. Komparátor s OZ3 má v obvodu svůj význam. Po zapnutí počítače se nejprve nabíjí kondenzátor C2 a komparátor s OZ3 se nemůže překlopit, neboť v bodě C může být nejvýše polovina napájecího napětí. Po dobu rozběhu ventilátoru je na kondenzátoru napětí menší a obvod je zablokován a neobtěžuje.

Operační zesilovač OZ4 je zapojen jako multivibrátor, na jeho výstupu je zapojen piezoelektrický reproduktor („piezoelement“). Je-li proud tekoucí ventilátorem v povolených mezích, je na výstupu OZ3 záporné saturační napětí, dioda je otevřena a multivibrátor zablokován. V opačném případě je na výstupu OZ3 kladné saturační napětí, multivibrátor se rozkmitá a reproduktor ohlásí poplach.

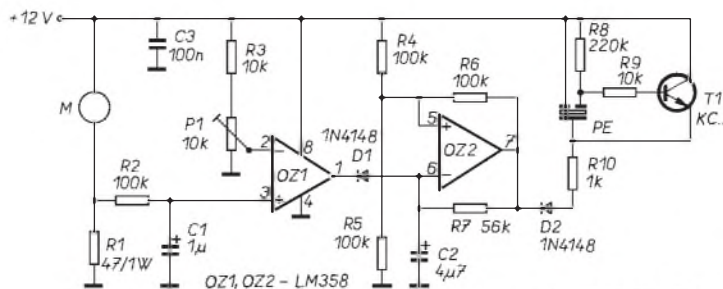
Obvod se nastaví trimrem tak, aby spo-  
lehlivě reagoval na zastavení ventilátoru.

Ve svém PC jsem pro zmenšení hluchnosti počítače, u kterého strávím mnoho

hodin, zpomalil i ventilátor aktivního chladiče CPU zapojením sériového rezistoru s odporem  $47\ \Omega$ . Chlazení je i pak dostatečné, ventilátor se však v poměrně vzácných případech neroztočí. Proto jsem použil hlídač ventilátoru v poněkud odlišném zapojení, viz obr. 74. Oproti předchozímu zapojení nemá hlídání přerušovaného přívodu a blokování signalizace při zapnutí počítače. Obvod hlídá jen proud procházející ventilátorem. Při zvětšení odběru se překlopí komparátor s OZ1 a odblokuje multivibrátor s kmitočtem asi 2 Hz. Z výstupu multivibrátoru se napájí oscilátor s piezoelektrickým měničem – ten pak vydává přerušovaný tón. Rezistor R1 má poměrně velký odpor, protože zároveň zmenšuje napětí na ventilátoru. Měl by být na zatížení 1 W.

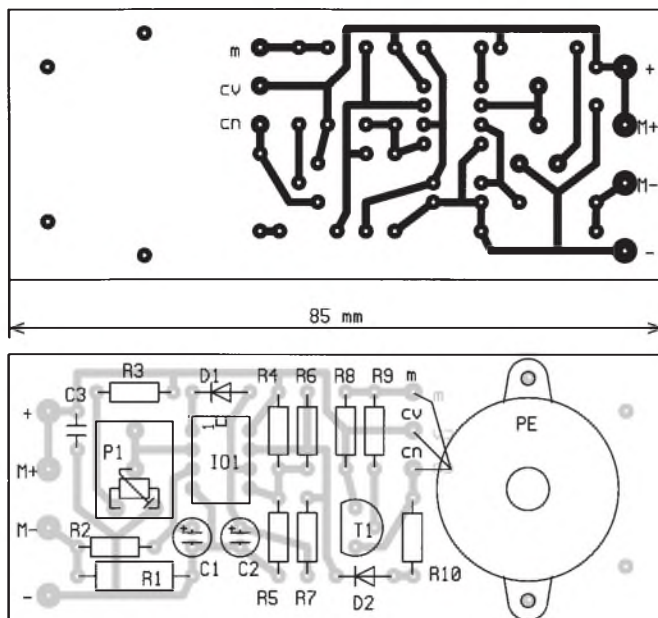
Deska s plošnými spoji pro tento hli-  
dač je na obr. 75. Odporový trimr nastaví-  
me tak, aby po zastavení ventilátoru vy-  
dával piezoměnič přerušovaný tón. Lze  
nalézt takovou polohu P1, ve které při za-  
pnutí počítače obvod nezapípá. Pokud se  
nebude ventilátor spolehlivě rozbíhat, je  
třeba zmenšit odpor R1. V zapojení je po-  
užit piezoelektrický měnič, prodáváný  
v GM pod označením KPT2038FW nebo  
KPE121.

Další zapojení potěší majitele digitálních diářů Casio. Všechny diáře této firmy, kromě těch nejjednodušších, mají konektor pro propojení dvou diářů, nebo diáře a PC. To umožňuje jednoduše přesunovat data nebo je zálohovat na osobním počítači. Data jsou přenášena běžným způsobem po sériové lince se startbitem, sedmi nebo osmi bity dat a případně i paritou. Napětové úrovně signálů jsou však omezeny napájecím napětím diářů a odpovídají logice CMOS při 5 V. Pro spojení dvou diářů postačí vhodný kabel. Pro připojení k počítači PC potřebujeme navíc převodník úrovně (interfejs) a obslužný program. Diář je opatřen „stereofonním“ konektorem jack o průměru 2,5 mm. Na



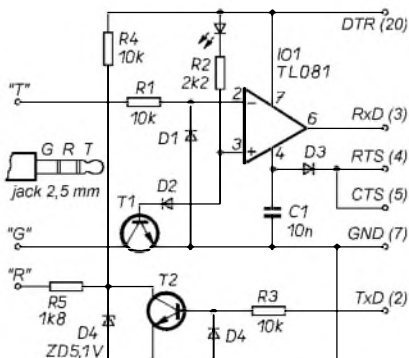
Obr. 74. Hlídač ventilátoru aktivního chladiče procesoru

Obr. 75.  
Deska  
s plošnými  
spoji pro  
hlídač  
ventilátoru a  
rozmístění  
součástek.  
Vývody  
piezoměniče:  
m - modrý,  
cv - červený,  
cn - černý

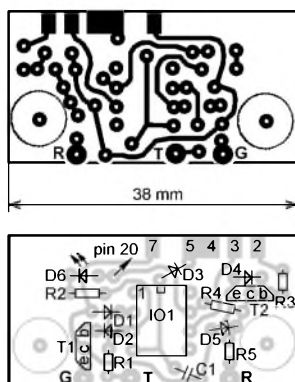


straně PC je převodník připojen k sériovému portu s rozhraním RS232.

Ke komunikaci s diařem se využívají pouze signály RxD (Receive data) a TxD (Transmit data). Ostatní signály sériového portu jsou určeny pro komunikaci s modemem. Často se však výstupní signály portu využívají jako zdroj napájecího napětí pro připojená zařízení. Typickým příkladem je běžná myš. Tento „zdroj napětí“ je poměrně měkký a tak připojené zařízení může mít odběr nejvýše několik miliampér.



Obr. 76. Zapojení převodníku PClink k diaři Casio



Obr. 77. Deska s plošnými spoji a rozmístění součástek pro PClink

Zapojení převodníku je na obr. 76. Pro napájení převodníku jsou použity signály DTR (kladné napájecí napětí) a RTS (záporné napájecí napětí). Signál CTS je pro počítač vstupní a je na desce převodníku spojen se signálem RTS. Ovládací program si jím testuje přítomnost převodníku.

Signál „T“ vyslaný z diaře prochází přes rezistor R1 na invertující vstup OZ. Na výstupu OZ je invertovaný signál s úrovní vhodnou pro připojení k portu počítače. OZ pracuje jako komparátor. Referenční napětí pro druhý vstup OZ je vytvořeno úbytkem napětí na diodě D2 a přechodu b-e tranzistoru T1. Toto napětí určuje mez pro rozlišení úrovně log. 0 a log. 1 na výstupu diaře.

Signál z počítače pochází přes R3 na bázi tranzistoru T2. Je-li vstupní napětí kladné, je tranzistor otevřen a na jeho kolektoru je napětí blízké 0 (log. 0). Při záporném vstupním napětí je tranzistor uzavřen a napětí na jeho kolektoru je omezeno Zenerovou diodou D4 (log. 1).

Zapojení vzniklo minimální úpravou originálního převodníku. Tranzistor T1 odpojuje země diaře a PC. Toto rozpojení zemí se mi jeví naprosto nesmyslné. Beze změny funkce lze tranzistor nahradit křemíkovou diodou na místě přechodu b-e a propojkou mezi vývody c-e. Svitivá dioda indikuje napětí na převodníku a pro jeho funkci nemá význam. Můžete ji nahradit zkratem a odpor rezistoru R2 zvětšit až na 10 kΩ.

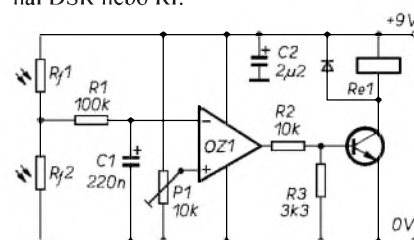
Převodník můžete postavit na desce s plošnými spoji podle obr. 77. Deska je umístěna přímo v krytu u konektoru CANNON25. Aby se převodník do krytu vešel, je třeba použít opravdu miniaturní součástky. Subminiaturní rezistory nabízí např. GES. Tranzistory s pouzdrům menším než je běžné TO92 jsem získal z jakéhosi vraku. Na jejich typu v podstatě nezáleží. Diody mohou být např. KA206 nebo 1N4148, Zenerova dioda KZ141, nebo podobná. LED je nejlépe typ s malým příkonem (2 mA).

Jako propojovací kabel jsem použil tenkou stíněnou dvoulinku. U konektoru jack 2,5 mm nelze použít originální kryt. Kryt je totiž tak velký, že konektor nelze

do diaře zcela zasunout. Proto z konektoru použijeme jen jeho „tělo“ a místo krytu použijeme po připájení kabelu kousek smršťovací bužírky. Předtím je nutno zkontrolovat kvalitu spoje. Mnohé konektory mají izolační kroužky z termoplastu. Po připájení kabelu k pájecímu očku máme sice kvalitní spoj na očku, ale pájecí očko nemá kontakt na konektor. Teprve jeli kabel spolehlivě připojen, zajistíme spoj bužírkou.

Deska s plošnými spoji je zasunuta přímo mezi vývody konektoru CANNON. Vývody 2, 3, 4, 5 a 7 jsou připájeny přímo na plošky na desce. Vývod 20 je z pohledu desky na straně součástek. Připojíme jej kouskem drátu.

Převodník jsem vyzkoušel se starším programem PC-Link od firmy Traveling Software a diařem SF4300 a SF4300R. Použití jiných programů je možné, je však třeba vyzkoušet, jak ovládají signály portu pro zajištění napájení a identifikace připojeného převodníku. Signály RxD a TxD budou použity beze změny. K napájení se budou využívat signály DTR a RTS. Není však jisté jakou bude mít ten který vývod polaritu. Program „připojí“ napájení pro převodník až při požadavku na čtení nebo zápis dat. Použitý program používá ke zjištění, zda je připojený interfejs signál CTS. U jiných programů to může být i signál DSR nebo RI.



Obr. 78. Interfejs pro snímání dat z obrazovky počítače

Další zapojení umožňuje získat z počítače výstupní signál pro ovládání nějakého zařízení bez jakéhokoli zásahu do počítače. Zapojení je vhodné pro ty, kteří nechtějí nebo nemohou do počítače nijak zasahovat. Myšlenka je velmi jednoduchá – k získání potřebného signálu použijeme obrazovku počítače. Zapojení tohoto „interfejsu“ je na obr. 78 [41].

Základem snímače jsou dva fotorezistory, které připevníme (např. lepicí páskou) na vhodné místo obrazovky. Ovládání zabezpečíme programem, který vytvoří na obrazovce dvě plochy, u nichž můžeme měnit jas. Nejlepších výsledků dosáhneme, budeme-li střídavě měnit jas obou plošek – v okamžiku kdy bude první plocha bílá, bude druhá černá a naopak.

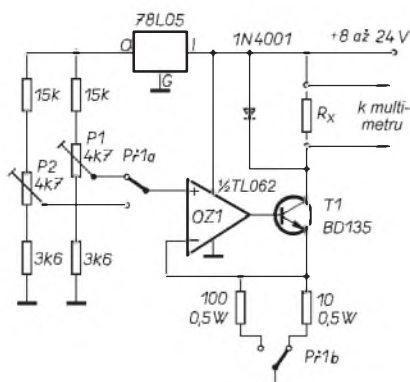
Na odporovém děliči z fotorezistorů se mění napětí podle toho, na který fotorezistor dopadá více světla. Použití dvou fotorezistorů je výhodné, neboť se tak jednoduše omezí vliv okolního osvětlení na funkci obvodu. Komparátor s OZ1 porovná toto napětí s referenčním napětím, nastaveným trimrem P1. Dolní propust R1C1 omezuje vliv snímkového kmitočtu. Tranzistor na výstupu OZ spíná relé. Zrovna tak můžeme k OZ připojit LED, optočlen nebo jiný obvod.

## Měřicí přístroje, doplňky a zkoušečky

Operační zesilovače byly původně určeny pro analogové počítače. Tyto počítače byly v dobách pravěku číslicových počítačů určeny k modelování různých funkčních závislostí, simulací a zpracování výsledků měření v reálném čase. Operační zesilovače nalezneme v měřicích přístrojích dodnes.

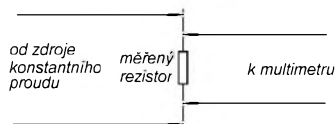
Vděčným námětem z oblasti měřicí techniky jsou různé doplňky k měřicím přístrojům.

U většiny multimetrů bývá nejnižší rozsah při měření odporů zpravidla 200  $\Omega$ . Často potřebujeme změřit rezistory s velmi malým odporem (pod 20  $\Omega$ ). **Doplňek pro měření malých odporů** „doplň“ multimetr o rozsahy 20 a 2  $\Omega$  [42]. Základem zapojení na obr. 79 je zdroj konstantního proudu 10 a 100 mA, kterým napájíme měřený rezistor. Napětí na rezistoru měříme multimetrem, přepnutým na rozsah 200 mV. Měřené napětí je přímo úměrné velikosti odporu.



Obr. 79. Doplňek k multimetru pro měření malých odporů

Při rozsahu 2  $\Omega$  je u běžných 3" místních multimetrů rozlišení 0,001  $\Omega$ . V takovém případě již odpor přívodních šňůr může způsobit velkou chybu měření. Proto je nutné uspořádat měření podle obr. 80. Multimetr připojíme k rezistoru zvláštními šňůrami. Tak se vyloučí odpor přívodních kabelů a přechodový odpor v místě připojení. Teoreticky způsobuje jistou chybu měření vstupní odpor měřicího přístroje. Ten však bývá zpravidla 10 M $\Omega$  a jeho vliv je tak malý, že jej můžeme zanedbat.



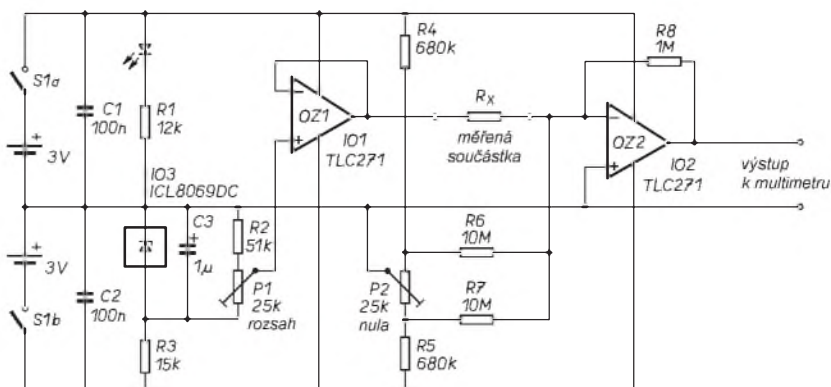
Obr. 80. K vyloučení odporu přívodních kabelů je třeba připojit multimetr zvláštními kabely co nejbližší měřené součástce

Velikost měřicího proudu přepínáme přepínačem P1. Hrubě je proudový rozsah určen odpory rezistorů v emitoru tranzistoru T1, přesně je proud nastaven trimry P1 a P2. K napájení odporových děličů, určujících výstupní proud, musíme použít stabilizované napětí.

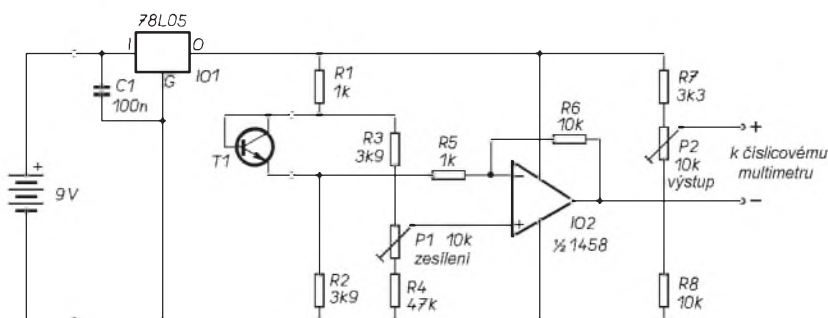
Další chybu měření může způsobit tranzistor T1. Kolektorový proud tranzistoru je menší než proud emitoru o proud tekoucí do báze. To by příliš nevadilo, pokud se nebude měnit proudový zesilovací činitel tranzistoru, např. s teplotou. Proto je vhodnější použít na místě T1 tranzistor řízený polem. Tranzistor je vhodné opatřit chladičem, zvláště při větším napájecím napětí. Podobný adaptér, avšak osazený obvodem LM317T, naleznete v [43].

Jiným užitečným doplňkem k multimetru je **měřič vodivosti**, kterým snadno změříme i velmi velké odpory. Čím má nějaká součástka větší odpor, tím má menší vodivost. Jednotkou vodivosti je *siemens*, značka S (neplést s jednotkou času *sekunda*, značka s). Platí, že  $R = 1/S$ . Rezistor s odporem 1  $\Omega$  má vodivost 1 S. Při měření vodivosti nehrozí „přetečení“ údaje na stupnici multimetru, má-li součástka velký odpor, protože při velkých odporech je údaj malý. K výpočtu odporu však potřebujeme převrácenou hodnotu změřeného údaje – k tomu stačí jakákoli kalkulačka.

Zapojení měřiče vodivosti je na obr. 81 [44]. IO3 je integrovaný stabilizátor s napětím 1,25 V, OZ1 je zapojen jako napěťový sledovač. Odporovým trimrem P1 je nastaveno na výstupu OZ1 napětí -1,000 V. Operační zesilovač OZ2 pracuje jako invertor, přičemž měřená součástka se zapojí mezi výstup OZ1 (referenční napětí -1,000 V) a invertující vstup OZ2. Má-li měřená součástka vodivost 1  $\mu$ S (odpovídá odporu 1 M $\Omega$ ) je na výstupu OZ2 napětí 1 V. Ukáže-li připojený multimetr napětí např. 27 mV, má měřená součástka vodivost 0,027  $\mu$ S = 27 nS. Tomu odpovídá odpor 37,03 M $\Omega$ !



Obr. 81. Doplňek pro měření malých vodivostí (velkých odporů)



Obr. 82. Doplňek k multimetru pro měření teploty

Zatímco při měření malých odporů může způsobit chybu měření odpor přívodních vodičů, při měření malých vodivostí (velkých odporů) je třeba se vyvarovat různých svodových proudů a brumů indukovaných do obvodu. Měřená součástka není žádným koncem uzemněna – jeden vývod je připojen ke zdroji referenčního napětí, druhý na virtuální zem na vstupu IO2. Proto je vhodné celý měřicí obvod stínit.

Adaptér je napájen napětím  $\pm 3$  V, např. ze dvou knoflíkových lithiových baterií. Integrovaný stabilizátor IO3 můžete nahradit shodným obvodem B589, který se vyráběl v bývalé NDR, nebo obvodem LM385. Po úpravě zapojení by bylo možno použít i nastavitelný stabilizátor TL431C, ten má však minimální napětí 2,5 V a minimální pracovní proud 1 mA. Proto by bylo třeba zvětšit napájecí napětí a upravit odpor rezistoru R4 na 1 k $\Omega$  a do série s P1 (směrem ke stabilizátoru) přidat rezistor s odporem 75 k $\Omega$ . Maximální napájecí napětí obvodů TLC271 (TS271) je  $\pm 6$  V. Lze použít i dvojité obvod TLC272.

Nastavení adaptéru je snadné. Nejdříve nastavíme trimrem P2 nulové napětí na výstupu adaptéru, pokud není připojena žádná měřená součástka. Pak připojíme co nejpřesnější rezistor s odporem 1 M $\Omega$  (vodivost 1  $\mu$ S) a na výstupu adaptéru nastavíme trimrem P1 napětí přesně 1 V. Pro přesné nastavení je nejlépe použít víceotáčkové trimry. Indikační LED je typ s malým příkonem.

Jednoduchý doplněk k multimetru – **měřič teploty** je na obr. 82. Zapojení je převzato z amerického časopisu [45] a má jednu drobnou vadu. Ve Spojených státech

se totiž neměří teplota ve stupních Celsia, ale ve stupních Fahrenheita. Změna teploty o °F vyvolá změnu výstupního napětí o 10 mV.

Ke snímání teploty se využívá teplotní závislosti úbytku napětí na polovodičovém přechodu v propustném směru. Úbytek napětí na přechodu se v okolí běžných teplot zmenší přibližně o 2,2 mV na každý °C. Jako snímací prvek byl použit tranzistor 2N2222, vyhoví však jakýkoli běžný křemíkový tranzistor.

Zapojení lze samozřejmě snadno upravit tak, aby výstupní napětí odpovídalo teplotě ve °C. Pro převod mezi teplotou vyjádřenou ve °F a ve °C platí převodní vztah

$$\vartheta_{\text{°C}} = \frac{5}{9}(\vartheta_{\text{°F}} - 32)$$

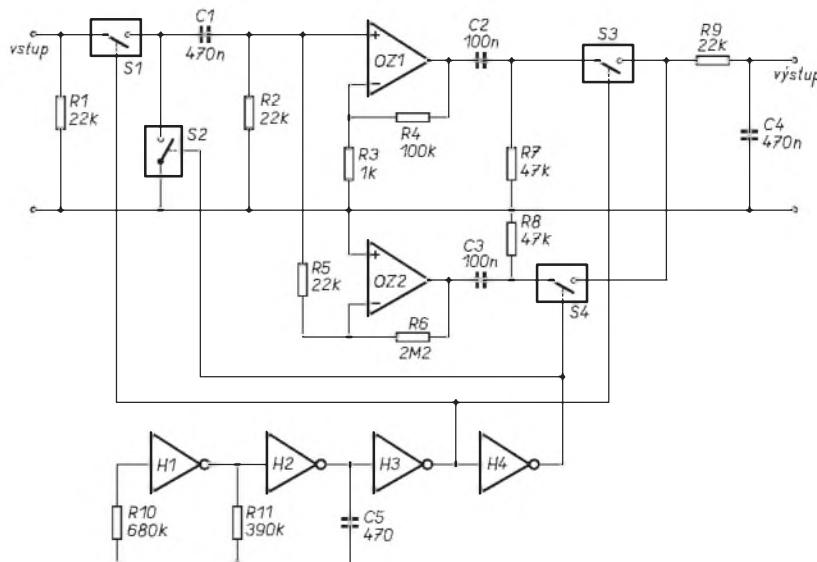
Ze vztahu je zřejmé, že změna teploty např. 10 °F odpovídá změně  $(5/9) \cdot 10 = 5,55$  °C. Stačí tedy upravit (zmenšit) zesílení zesilovače s OZ tak, aby změna výstupního napětí o 10 mV odpovídala 1 °C. Zesílení snadno upravíme zmenšením odporu rezistoru R6 ve zpětné vazbě operačního zesilovače na 5,6 kΩ, rezistor může mít běžnou toleranci. Přesně se zesílení nastavuje trimrem P1 tak, aby se výstupní napětí změnilo o 10 mV na každý °C. „Nula“ °C (resp. °F) se nastavuje trimrem P2, a to až po nastavení P1. Nastavení nuly je totiž závislé na nastavení P1. V případě potřeby upravte odpor rezistoru R7 nebo R8. Protože výstupní napětí je závislé na velikosti napájecího napětí, je vlastní převodník napájen stabilizovaným napětím z IO1.

Rozsah použitelnosti adaptéru je -40 až 150 °C (-40 až 300 °F), což je více než je rozsah použitelnosti většiny běžných teploměrů. Nastavíme-li adaptér v rozsahu běžných teplot, bude se přesnost měření směřem k okrajům rozsahu zhoršovat.

Jiný doplněk potřebujeme pro **měření malých stejnosměrných signálů**.

Zesilovat malé stejnosměrné signály je mnohem obtížnější než zesilovat signály střídavé. Při zpracovávání stejnosměrných signálů se totiž nepříznivě uplatňuje šum, vstupní napěťová nesymetrie a teplotní a časová závislost parametrů zesilovače. V mnoha případech však potřebujeme zesílit velmi slabé signály z různých čidel a snímačů, které se mění velmi pomalu a lze je považovat za stejnosměrné. K omezení nepříznivých vlastností stejnosměrných zesilovačů slouží speciální zapojení, v anglosaské literatuře nazývané chopper-amplifier. V tomto zapojení se převede stejnosměrný signál na signál střídavý. Střídavý signál se zesílí a usměrní. Velikost usměrněného napětí odpovídá stejnosměrně zesílenému vstupnímu napětí.

Princip zapojení není nijak nový – používal se již v zapojeních s elektronkami. Někteří výrobci nabízejí tento typ zesilovače ve formě integrovaného obvodu, ke kterému se připojí jen několik kondenzátorů, avšak vzhledem k cenám těchto ob-



Obr. 83. Zesilovač pro malé stejnosměrné signály

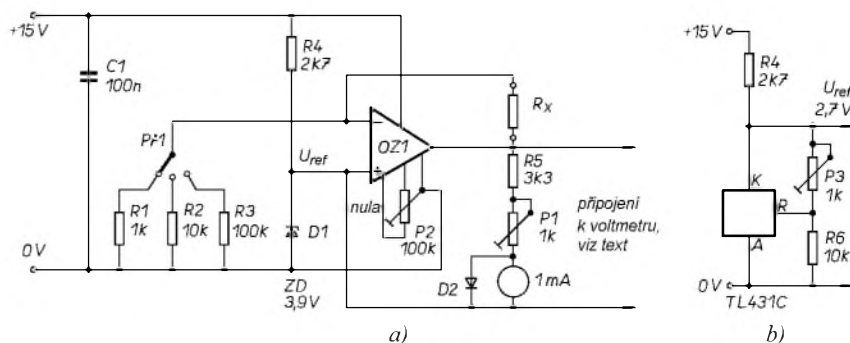
vodů je pro běžného radioamatéra levnější (a zajímavější) sestavit takový zesilovač z „diskrétních“ obvodů.

Zajímavé řešení stejnosměrného zesilovače je na obr. 83 [46]. Spínače S1 a S2 střídavě přepínají kondenzátor C1 na zem a na vstupní napětí. Na vstupu zesilovače je střídavý signál s obdélníkovým průběhem, jehož amplituda se rovná polovině vstupního stejnosměrného napětí. Následují dva paralelně zapojené zesilovače s OZ, jeden v neinvertujícím a druhý v invertujícím zapojení, každý se zesílením asi 100. Na výstupech zesilovačů je zesílený signál se shodnou amplitudou, avšak s opačnou fází. Spínače S3 a S4 přepínají výstupy ve stejném rytmu jako S1 a S2 a pracují jako dvoucestný synchronní detektor. Za přepínačem je již stejnosměrný signál, jehož velikost je 50krát větší než velikost vstupního signálu. Následuje ještě dolní propust R9, C4 s mezním kmitočtem asi 15 Hz, která odstraní zbytky „přepínacího“ kmitočtu a potlačí šum zesilovače.

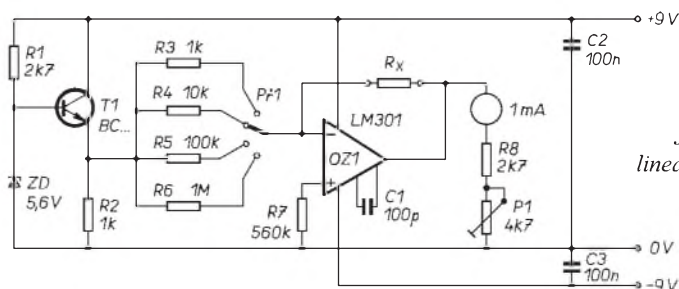
Stejnosemné napětí na výstupu OZ (způsobené např. vstupní napěťovou nesymetrií OZ) je zcela odděleno vazebními kondenzátory C2 a C3.

Oscilátor z invertorů H1 až H3 má kmitočet asi 2 kHz a řídí přepínání spínačů S1 až S4. Pro minimální zvlnění signálu na výstupu detektoru by měl mít oscilátor střidu 1:1. Invertor H4 obrací fázi pro druhou dvojici spínačů. Pro spínače je použit obvod 4016 (4066). Po úpravě zapojení lze použít i obvody 4052 a 4053. Napájení operačních zesilovačů a obvodů CMOS je společné a s ohledem na obvody CMOS bylo zvoleno ±7,5 V. Podle původního pramenu lze zesilovat i vstupní napětí pod 100 μV bez měřitelného driftu na výstupu zesilovače.

Některé měřicí přístroje mohou být opravdu jednoduché. Jedním z nich je přístroj pro měření odporu – ohmmetr. Z mnoha uveřejněných zapojení jsem vybral **jednoduchý lineární ohmmetr** podle obr. 84a [47].



Obr. 84. Lineární ohmmetr a), přesný zdroj referenčního napětí b)



Obr. 85. Jiné zapojení lineárního ohmmetru

V ohmmetru je použit OZ, zapojený jako neinvertující zesilovač. Měřený rezistor je zapojen do zpětné vazby OZ. Pokud není odpor rezistoru příliš velký, pracuje OZ v lineárním režimu a na obou jeho vstupech je prakticky shodné napětí. Podle zvoleného rozsahu je k invertujícímu vstupu OZ připojen „normálový“ rezistor R1, R2 nebo R3. Zvoleným rezistorem protéká proud, jehož velikost je určena jeho odporem a velikostí referenčního napětí. Tento proud protéká zároveň měřeným rezistorem, na kterém vzniká úbytek napětí. Tento úbytek měříme připojeným měřidlem. Protože úbytek napětí je přímo úměrný měřenému odporu, je i stupnice ohmmetru lineární.

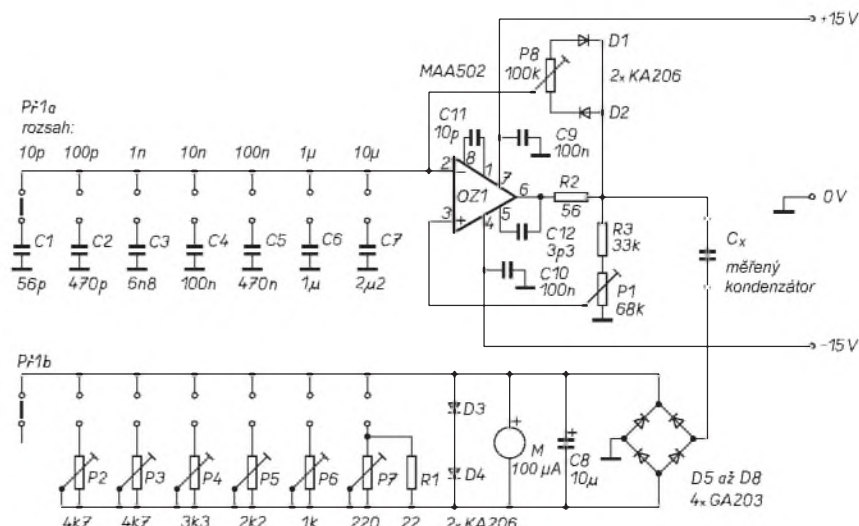
V uvedeném zapojení jsou zakresleny jen tři rozsahy – 1, 10 a 100 kΩ. Zapojení lze rozšířit, použijeme-li přepínač s více polohami a přidáme-li další „normálové“ rezistory. Použitelný rozsah měření je 100 Ω až 10 MΩ pro plnou výchylku měřidla. Zdola je rozsah omezen maximálním proudem, který je schopen dodat použitý OZ (zpravidla 5 až 50 mA), shora vstupními a svodovými proudy OZ a zapojení. V zapojení můžete použít běžné OZ, např. 741 nebo TL081.

Ohmmetr nastavujeme trimry P1 a P2. Trimrem P1 nastavíme jemně rozsah přístroje, trimrem P2 nulové měřidlo při zkratovaných měřicích svorkách. Pozor, některé typy OZ mají trimr pro nastavení vstupní napěťové nesymetrie zapojen proti kladnému pólu napájecího napětí (např. obvody řady LF355). Pro správné připojení trimru P2 je vhodné se podívat do katalogu.

Ohmmetr lze také postavit jako doplněk k měřicímu přístroji (voltmetru), který nemá rozsahy pro měření odporu. V tom případě je však vhodné zapojení upravit. Zdroj referenčního napětí se Zenerovou diodou není příliš kvalitní. Referenční napětí se mění nejen s teplotou, ale také se změnou proudu procházející diodou. Výhodnější je použít referenční zdroj s integrovaným stabilizátorem TL431C, viz obr. 84b. Referenční napětí bylo změněno na 2,7 V, přesná velikost se nastavuje trimrem P3. Normálové rezistory zvolíme tak aby měřicí proud byl 10, 1 a 0,1 mA, případně 10, 1 a 0,1 μA. Tomu odpovídají rezistory s odporem 270 Ω, 2,7 kΩ... až 27 MΩ. Rezistor je vhodné použít s přesností 1 % nebo lepší. Ohmmetr pak stačí nastavit na jednom rozsahu trimrem P3.

Podobný ohmmetr je na obr. 85. Na rozdíl od předchozího zapojení však vyžaduje dvě napájecí napětí. Místo operačního zesilovače typu LM301 lze použít jakýkoli OZ. Vhodnější jsou typy s malými vstupními proudy, např. TL081 nebo MAB355. Referenční zdroj se Zenerovou diodou je oddělen emitorovým sledovačem, což poněkud zlepšuje jeho vlastnosti.

Jiným jednoduchým přístrojem může být i **měřič kapacity**, jehož zapojení je na obr. 86 [48]. Základem přístroje je multivibrátor s OZ, jehož kmitočet se mění podle zvoleného rozsahu přepínačem P1a připojením některého z kondenzátorů C1 až C7. Signál z multivibrátoru přivedeme na měřený kondenzátor. Ručkovým měřid-



Obr. 86. Měřič kapacity

lem měříme vlastně usměrněný střídavý proud procházející kondenzátorem. Přibližnou velikost proudu  $I_x$  lze spočítat

$$I_x = \frac{U_o}{\frac{1}{2\pi f C_x}} = 2\pi f U_o C_x$$

kde  $U_o$  je napětí na měřeném kondenzátoru a  $C_x$  jeho kapacita. Napětí na kondenzátoru se však trochu mění podle úbytku napětí na měřidle a rezistoru R2.

Proud je přímo úměrný kapacitě kondenzátoru a stupnice měřidla je tedy téměř lineární. Proud je usměrněn můstkovým usměrňovačem s diodami D5 až D8. Diody D3 a D4 chrání před přetížením ručkové měřidlo při nevhodně zvoleném rozsahu nebo zkratu na měřicích svorkách. Abychom nemuseli nastavovat přesně kmitočet multivibrátoru, je pro každý rozsah upravena citlivost měřidla vhodným bočníkem, přepínaným P1b.

**Nastavení přístroje.** Přepínač přepne do polohy, ve které je zařazen kondenzátor C4 (100 nF). Trimrem P8 nastavíme středu impulsů na výstupu OZ 1:1. Přepneme přepínač na rozsah 10 pF (poloha 1), připojíme kondenzátor 10 pF a trimrem P1 nastavíme plnou výchylku měřidla – 100 dílků. Na rozsahu 100 pF (poloha 2) nastavíme po připojení kondenzátoru 100 pF plnou výchylku trimrem P2. Obdobně i na ostatních rozsazích nastavíme správnou výchylku příslušným trimrem. Nelze-li na některém rozsahu nastavit potřebnou výchylku, použijeme trimr s větším odporem, případně upravíme odpor rezistoru R1.

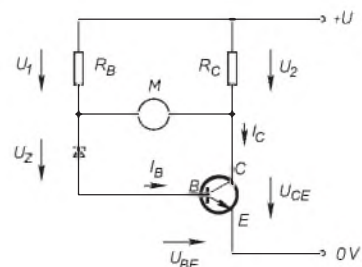
Použitý měřidlo má citlivost 100 μA. Při použití měřidla s jinou citlivostí bude třeba upravit odpor trimrů P2 až P7, případně kapacitu kondenzátorů C1 až C7. V tomto zapojení je výhodné použít operační zesilovač řady MAA500 (μA709). Měřicí kmitočet je 30 Hz až 300 kHz, což obvody MAA501 až MAA504 s uvedenými kapacitami kondenzátorů kmitočtové kompenzace C11 a C12 bez problémů zvládnou. Při použití OZ s vnitřní kmitočtovou kompenzací by nejvyšší kmitočet multivibrátoru byl jen několik desítek kHz. Obvody MAA501 až MAA504 se navíc dají koupit v různých výprodejích za 2 až 5 Kč.

K napájení přístroje je třeba použít stabilizované napětí. Diody D1 můžeme nahradit např. typem 1N4148, diody D5 až D8 by měly být germaniové. V nouzi použijeme i zde křemikové, linearita stupnice přístroje by pak mohla zhoršit.

Pro použití v některých konstrukcích potřebujeme znát velikost **proudového zesilovacího činitele tranzistorů**, v jiných zase potřebujeme vybrat komplementární pár, či dva nebo několik tranzistorů s přibližně stejným zesílením. V mnoha případech nepotřebujeme složitý měřicí přístroj a vystačíme s jednoduchým přípravkem. Princip měření je na obr. 87. Statický proudový zesilovací činitel  $\beta$  spočítáme jako poměr proudu kolektoru a proudu báze  $\beta = I_C/I_B$ . Platí že  $I_C = U_2/R_C$  a  $I_B = U_1/R_B$ . Bude-li můstek vyvážen, bude  $U_1 = U_2$  a připojené měřidlo nebude mít žádnou výchylku. Pak bude platit

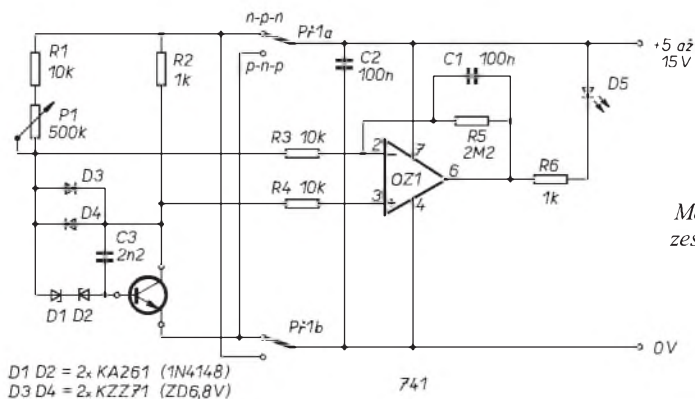
$$\beta = \frac{I_C}{I_B} = \frac{R_B}{R_C}$$

Zvolíme-li kolektorový odpor  $R_C$  např. 1 kΩ, bude velikost odporu  $R_B$  v kΩ přímo úměrná proudovému zesilovacímu činiteli tranzistoru. Zenerova dioda určuje, při jakém napětí mezi kolektorem a emitorem tranzistoru se měří proudové zesílení.



Obr. 87. Princip měření proudového zesilovacího činitele

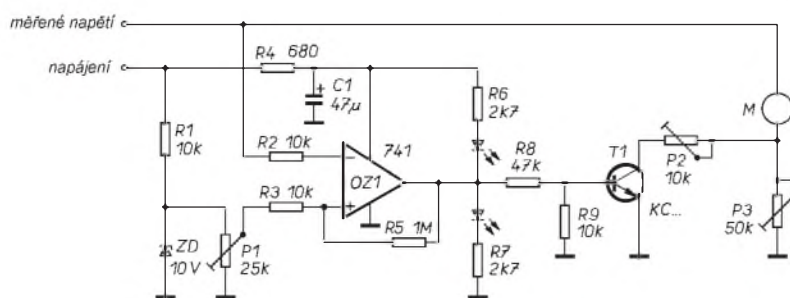
Měřič proudového zesílení tranzistorů podle [49] je na obr. 88. V konkrétním zapojení měřiče přibyl navíc přepínač pro přepínání polarity tranzistorů (n-p-n a



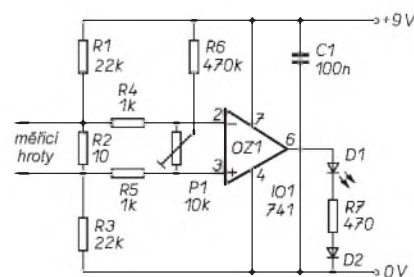
p-n-p), a místo měřidla je použit komparátor s operačním zesilovačem.

Při měření zvolíme přepínacem typ tranzistoru, připojíme tranzistor a otáčením P1 se snažíme vyvážit můstek. Tomu odpovídá stav, kdy se LED právě rozsvěcuje, případně zhasíná. Potenciometr P1 opatříme stupnicí, kterou můžeme oceňovat ohmmetrem. Nezapomeňte připojit odpor rezistoru R1. S uvedenými součástkami je rozsah měření  $\beta$  10 až 510. Stupnice je lineární. Měřič proudového zesilovacího činitele lze postavit na originálnější desce s plošnými spoji S227, na ní lze však osadit pouze IO v kulatém pouzdře. Diody KA261 lze nahradit libovolnými křemíkovými diodami, např. 1N4148 apod. Zenerovy diody jsou na napětí 6 až 7,5 V. S těmito diodami je minimální napájecí napětí asi 12 V. Budete-li měřič zesílení používat při malém napájecím napětí, použijte diody na menší napětí.

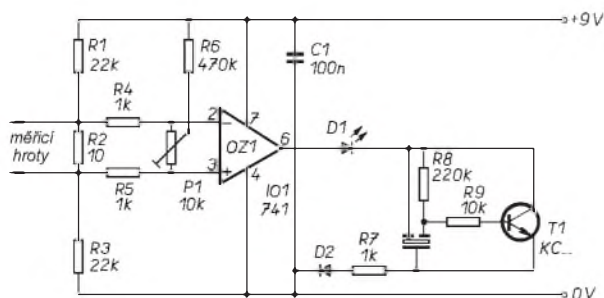
Z vlastní zkušenosti s podobným měřičem zesílení jsem do zapojení doplnil kondenzátor C3 mezi kolektorem a emitorem tranzistoru. Běžným vysokofrekvenčním tranzistorům (např. KF125) stačí k rozkmitání již 10 cm dlouhé přírodní vodiče. Kmitá-li tranzistor, neodpovídá jeho kolektorový proud zesílení tranzistoru (při daném proudu báze) a navíc se mění při přiblížení ruky. Kondenzátor připojíme přímo na objímku, do které zasouváme měřený tranzistor. Můžeme použít další kondenzátory, které zapojíme mezi bázi a emitor a mezi kolektor a emitor.



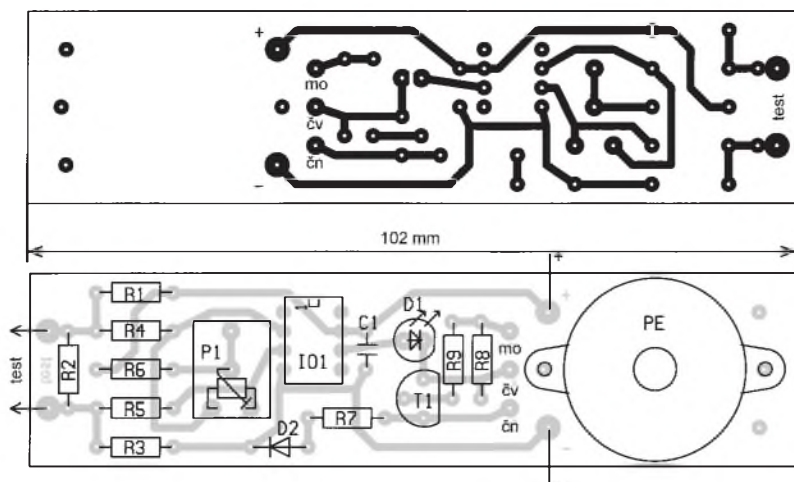
Obr. 89. Automatické přepínání rozsahu měřidla



Obr. 91. Deska s plošnými spoji pro zkoušečku a rozmístění součástek



Obr. 92.  
Zkoušečka plošných  
spojů s akustickou  
indikací



Obr. 93. Deska s plošnými spoji pro zkoušečku s akustickou indikací

použít LED, kterou jste odložili pro malou svítivost, nebo ji nahradit Zenerovou diodou s malým napětím. Akustický piezoelektrický měnič je typu KPT2038FW nebo KPE121 (prodává GM), či jiný podobný typ. Na obr. 93 je deska s plošnými spoji pro zkoušečku s akustickou indikací.

Na obr. 94 je **předzesilovač k otáčkoměru** pro optické snímání otáček. Může být použit např. pro bezkontaktní snímání otáček modelářských motorů [53]. Fotodiody je umístěna tak, aby se množství na ní dopadajícího světla měnilo v rytmu otáček. Dosáhneme toho umístěním diody např. za vrtuli nebo proti kotouči s čemě a bíle vybarvenými výřezy. Proud procházející fotodiodou se mění v rytmu otáček. Na R1 vzniká malý úbytek napětí, jehož střídavá složka je zesilována OZ1. Střídavý signál projde přes kondenzátor C3 a překlápí komparátor s OZ2. Rezistory R6 a R7 je zavedena malá hysterese.

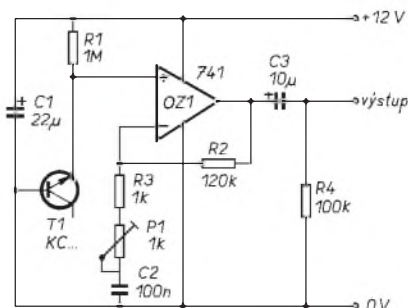
Světelné podmínky měření mohou být velmi různorodé. Pro správnou funkci otáčkoměru je třeba měnit zesílení předzesilovače s OZ1. Jinak by totiž mohla být

citlivost snímače malá, nebo by naopak mohl reagovat i na brum způsobený osvětlovacími tělesy. Proto se část signálu odbírá i na komparátor s OZ3. Je-li signál malý, komparátor nepřeklápí a na jeho výstupu je kladné saturační napětí. Dioda D2 je uzavřena, kondenzátor C4 se nabíjí přes R11, tranzistor T1 se otevírá a zesílení předzesilovače se zvětšuje. Při dostatečném signálu se periodicky na krátký okamžik překlápí OZ3 a kondenzátor C4 se částečně vybijí - tím více, čím je signál silnější. Tranzistor T1 se přivírá a zesílení předzesilovače se zmenší a automaticky udržuje na optimální velikosti.

Zbývající OZ4 je zapojen jako sledovač. Na jeho výstupu je asi třetina napájecího napětí, nutná pro práci komparátorů a předzesilovače. Napájecí napětí předzesilovače je 5 V, společně s logickými obvody otáčkoměru.

Na obr. 95 je jednoduchý **generátor šumu**. Zdrojem šumu je inverzně zapojený přechod b-e tranzistoru T1. Průrazné napětí takto zapojeného přechodu je většinou 6 až 9 V. V oblasti malých proudů je

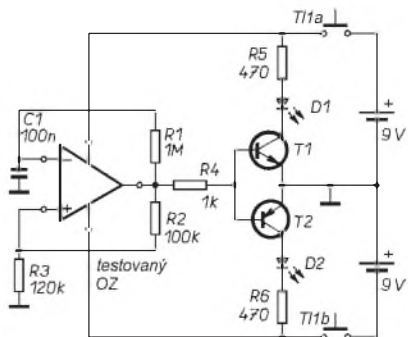
průraz nedestruktivní - tranzistor se nezníčí. Polovodičový přechod v oblasti průrazu je zdrojem šumu, který můžeme využít např. pro měřicí účely. Kolektor tranzistoru je nezapojen. Na tranzistor je přímo navázán zesilovač s OZ. Vytvářet předpětí pro operační zesilovač není nutné, na emitoru tranzistoru je napětí asi 6 V, stabilizované přechodem tranzistoru. Potřebné zesílení nastavíme trimrem P1.



Obr. 95. Generátor šumu

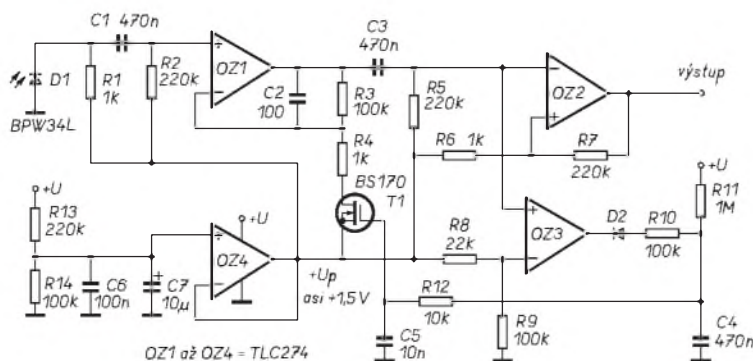
Na obr. 96 je jednoduchý **tester operačních zesilovačů**. Toto jednoduché zapojení je schopné odhalit pouze hrubé závady OZ - proražené vstupní tranzistory, zkratovaný některý výstupní tranzistor apod. Neumožňuje odhalit např. zvětšené vstupní proudy OZ (po průrazu), zvětšený odběr IO, nadměrné zkreslení atd.

Měřený operační zesilovač je zapojen jako multivibrátor. Zesilovač je v pořádku, pokud se po zasunutí do objímky a stisku tlačítka střídavě rozblíká LED D1 a D2. Svítí-li trvale jedna z diod, případně nesvítí-li žádná, je testovaný OZ vadný.



Obr. 96. Tester operačních zesilovačů

Zapojení testeru je velmi jednoduché. Proto je pro testování vícenásobných OZ jednodušší a možná i levnější „obestavět“ okolo objímky pro IO toto zapojení čtyřikrát resp. dvakrát, než používat přepínač. Tranzistory a LED mohou být libovolné výprodejní typy. Kondenzátory C1 můžeme zvolit mírně odlišné - pak bude mít každý multivibrátor jiný kmitočet. Napájení a tlačítko jsou pochopitelně společné. Pro napájení můžeme použít destičkové baterie. Protože se připojují jen při měření, vydrží v testu prakticky „navěky“. Protože OZ pracuje jako multivibrátor, nemusejí mít OZ zapojen kondenzátor pro kmitočtovou kompenzaci (ty typy, které ji normálně vyžadují).



Obr. 94. Předzesilovač k otáčkoměru pro optické snímání otáček

## Neběžná měření běžných operačních zesilovačů

Před nedávnem jsem potřeboval vybrat vhodný typ OZ pro jednu konstrukci. Měl jsem k dispozici katalogové údaje jen od některých typů OZ, navíc každý výrobce udává parametry při jiných podmínkách měření. Nezbylo tedy než zakoupit větší počet různých OZ a potřebné údaje si změřit sám. Ačkoli se elektronikou zabývám poměrně dlouho a operační zesilovače často používám, byl jsem některými výsledky měření překvapen. Věřím, že změřené údaje, i když je třeba brát je pouze informativně, poslouží i jiným konstruktérům. Výsledky měření se pokusím zhodnotit v závěru této části.

### Minimální napájecí napětí OZ

Cílem prvního měření bylo zjistit při jakém nejmenším napětí mohou jednotlivé typy operačních zesilovačů ještě pracovat. K měření bylo použito zapojení na obr. 97. Operační zesilovač byl zapojen jako napěťový sledovač. Na vstup bylo přivedeno z nf generátoru střídavé napětí 10 mV s kmitočtem 1 kHz. Osciloskopem jsem sledoval přítomnost signálu a jeho zkrácení na výstupu OZ. Potenciometrem je nastaveno takové napětí  $U_i$ , aby byla zajištěna funkce OZ. Některé OZ vyžadovaly při nejmenším napájecím napětí přesně nastavené napětí  $U_i$ . U jiných typů se napětí  $U_i$  mohlo pohybovat v určitých mezích.

V tomto zapojení byl také změřen odběr proudu při napájecím napětí 5, 10 a 15 V. Operační zesilovače TS272 a TLC27L2 mají maximální povolené napájecí napětí 12 V. Přesto napětí 15 V bez problémů přežily. Výsledky měření jsou v tab. 3. U vícenásobných OZ byl z časových důvodů měřen pouze jeden systém. Vývody ostatních systémů byly nezapojeny. Napájecí proud, uvedený v tabulce, je vždy napájecí proud celého IO.

### Rozsah vstupních napětí

Při tomto měření jsem chtěl zjistit, v jakém rozsahu se mohou pohybovat vstupní napětí operačních zesilovačů, a to zvláště při malých napájecích napětích. K měření jsem použil zapojení podle obr. 98. Operační zesilovač je zapojen jako komparátor. Potenciometrem se nastavuje vstupní napětí OZ. Na neinvertující vstup je přivedeno napětí z nf generátoru (10 mV, 1 kHz). Napětí pro invertující vstup je vyfiltrováno členem RC. Osciloskopem jsem sledoval výstupní signál z OZ. V rozsahu použitelných vstupních napětí OZ byl na výstupu signál s víceméně obdélníkovým průběhem. Výsledky měření při napájecím napětí 5 a 10 V jsou v posledních dvou sloupcích tab. 3. Při napájecím napětí 10 V je už pracovní bod operačního zesilovače ustálen – při větším napájecím napětí se rozsah vstupních napětí zvětší úměrně se zvětšením napájecího napětí OZ.

## Výstupní napětí OZ a zkratový proud výstupu

Toto měření mělo zjistit výstupní saturační napětí OZ, potažmo i rozkmit výstupního napětí. Dále jsem měřil zkratový proud operačních zesilovačů. Saturační napětí i zkratové proudy jsem měřil při napájecím napětí 10 V. Každé saturační napětí jsem měřil ve třech případech:

- na nezatíženém výstupu ( $U_{S-}$  a  $U_{S+}$ ),
- k výstupu byl připojen rezistor s odporem 1 kΩ tak, aby „pomáhal” výstupnímu tranzistoru v IO. Při měření kladného saturačního napětí byl rezistor připojen mezi výstup a kladné napájecí napětí, při měření záporného saturačního napětí mezi výstup a záporné napájecí napětí (zem) ( $U_{S-RP}$ ,  $U_{S+RP}$ ),
- na výstupu zatíženém rezistorem 1 kΩ ( $U_{S-RZ}$ ,  $U_{S+RZ}$ ).

V tomto zapojení jsem také změřil výstupní zkratový proud testovaných OZ.

Měření funkce OZ při malých napájecích napětích mě příjemně překvapilo. Mnoho typů OZ je schopno pracovat i při velmi malých napájecích napětích. Je však třeba si uvědomit, že při těchto malých napájecích napětích je rozkmit signálu na výstupu OZ ve většině případů zanedbatelný. Požadujeme-li, aby výstupní napětí mělo rozkmit např. 1 V, je třeba napájecí napětí OZ zpravidla nejméně o 1 V zvětšit. Některé OZ měly při malých napětích problémy se stabilitou (např. OP07 a CA3130).

Spotřeba proudu byla ve většině případů menší než uvádějí katalogové údaje. U obvodu UA741CN, jehož odběr se při změně napájecího napětí o několik voltů více než zdvojnásobil, bych očekával nějakou závadu, na funkci obvodu však nebylo nic poznat.

Pro konstruktéry jsou zajímavé OZ, které mohou pracovat při vstupním napětí blízko (alespoň jednoho) napájecího napětí. Tak se v mnoha případech obejdeme bez dvojího napájecího napětí. V blízkosti záporného napájecího napětí mohou pracovat obvody LM358, LM324 (LM2902), TS272 a TLC27L2. Tuto vlastnost jsem u obvodů LM358 a LM324 prakticky mnohokrát ověřil. Vstupní napětí v blízkosti kladného napájecího napětí by podle výsledků měření nemělo být problémem pro obvody řady TL081, obvody NE5532, NE5534 a LF353. Tu mám praktické zkušenosti jen s obvodem K553UD2 (získaným z jakéhosi vraku), od kterého jsem však nikdy nesehnal žádné údaje.

Při měření funkce obvodu při malých napájecích napětích podle obr. 97 a rozsahu vstupních napětí podle obr. 98 jsem zjistil, že některé typy OZ vykazují zvláštní jev. V určitém rozsahu vstupních napětí pracuje OZ tak, jak se od něj čeká. Mimo tento rozsah by měl „dělat mrtvého brouka”. Některé OZ však mimo rozsah vstupních napětí signál zesilují, avšak bez ohledu na zpětnou vazbu OZ. Zapojíme-li takový OZ např. do nf zesilovače, nebude výstupní signál při přebuzení pouze omezen, ale bude vykazovat podivné zákmity. Tento jev byl nejvíce patrný u obvodu C4081 a MC4558.

(text pokračuje na str. 110)

## Význam údajů v tabulce

$U_{CCmin}$  – minimální napájecí napětí OZ při kterém ještě pracuje jako napěťový sledovač.

$U_i$  – vstupní stejnosměrné napětí.

$I_{D5}$  – proudový odběr při napájecím napětí 5 V.

$I_{D10}$  – proudový odběr při napájení 10 V.

$I_{D15}$  – proudový odběr při napájení 15 V.

$U_{i5}$  – rozsah vstupních napětí při napájení 5 V.

$U_{i10}$  – rozsah vstupních napětí při napájecím napětí 10 V.

$U_{S-}$  – záporné výstupní saturační napětí při nezatíženém výstupu.

$U_{S-RP}$  – záporné výstupní saturační napětí při zapojení „pull-up” rezistoru 1 kΩ.

$U_{S-RZ}$  – záporné výstupní saturační napětí při zatížení rezistorem 1 kΩ proti kladnému napájecímu napětí.

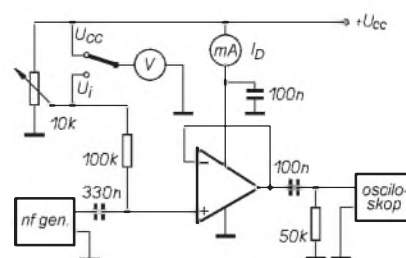
$U_{S+}$  – kladné výstupní saturační napětí při nezatíženém výstupu.

$U_{S+RP}$  – kladné výstupní saturační napětí při zapojení „pull-up” rezistoru 1 kΩ.

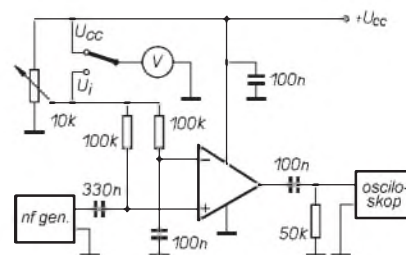
$U_{S+RZ}$  – kladné výstupní saturační napětí při zatížení rezistorem 1 kΩ proti zápornému napájecímu napětí.

$I_{SC+}$  – zkratový proud do kladného napájecího napětí.

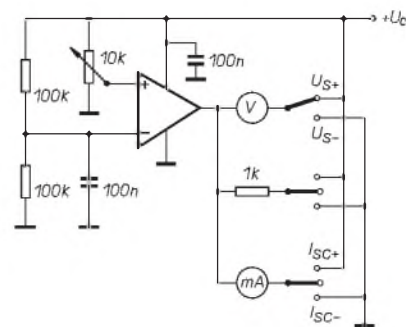
$I_{SC-}$  – zkratový proud do záporného napájecího napětí.



Obr. 97. Zapojení obvodu při měření nejmenšího pracovního napětí a proudové spotřeby operačních zesilovačů



Obr. 98. Zapojení obvodu při měření rozsahu vstupních napětí operačních zesilovačů



Obr. 99. Zapojení obvodu při měření výstupních saturačních napětí a zkratových proudů operačních zesilovačů

Tab. 3. Minimální napájecí napětí, napájecí proud a rozsah vstupních napětí vybraných operačních zesilovačů

| Typ            | Výrobce    | $U_{cc\ min}$ [V] | přít $U_i$ [V] | $I_{D5}$ [mA] | $I_{D10}$ [mA] | $I_{D15}$ [mA] | $U_{i5}$     | $U_{i10}$    |
|----------------|------------|-------------------|----------------|---------------|----------------|----------------|--------------|--------------|
| OP07CN         | ST         | 2,0 ②             | 1,32           | 0,6           | 1,0            | 1,3            | 0,6 ať 4,35  | 0,65 ať 9,3  |
| C4081 (=TL081) | NEC        | 3,1               | 1,6 ať 2,58 ②  | 1,4           | 1,7            | 1,8            | 2,4 ať 5,0   | 2,4 ať 10    |
| UA741CN        | ST         | 4,5 ②             | 2 ať 3,95      | 0,1           | 0,2            | 0,5 ②          | 1,95 ať 4,85 | 2,1 ať 9,8   |
| MAA741         | TESLA      | 2,5               | 1,95           | 0,35          | 0,8            | 1,2            | 1,95 ať 4,75 | 2,05 ať 9,75 |
| MA748CN ②      | TESLA      | 3,0 ②             | 2,0 ať 2,4     | 0,36          | 0,7            | 1,0            | 2,0 ať 4,85  | 2,05 ať 9,85 |
| MAA748 ②       | TESLA      | 2,5               | 1,92           | 0,34          | 0,55           | 0,8            | 1,9 ať 4,8   | 2,0 ať 9,7   |
| LM308H ②       | NS         | 2,05              | 0,65 ať 1,4    | 0,18          | 0,19           | 0,2            | 0,65 ať 4,8  | 0,7 ať 9,75  |
| NE5534N ②      | Signetics  | 2,6               | 1,5 ať 2,6     | 4             | 4,5            | 4,5            | 0,7 ať 4,9   | 0,7 ať 9,9   |
| CA3130I ⑥      | RCA        | 3,4 ⑦             | 0,03 ⑤         | 0,6           | 5              | 11             | 0 ať 3,8     | 0,3 ať 8,7   |
| MC1458CN       | SGS        | 2,8               | 2,14           | 1,1           | 1,2            | 1,25           | 2,2 ať 5     | 2,2 ať 10    |
| MC4558PI ⑨     | ST         | 1,7               | 0,96           | 1,5           | 1,55           | 1,6            | 0,9 ať 4,3   | 0,85 ať 9,3  |
| LM358N         | ST         | 1,25              | 0,05 ať 0,34   | 1,0           | 1,05           | 1,1            | 0 ať 3,75    | 0 ať 8,8     |
| GL358 ⑩        | Goldstar   | 1,3               | 0,03 ať 0,25   | 0,4           | 0,45           | 0,47           | 0 ať 3,7     | 0 ať 8,75    |
| NE5532AP       | TI         | 3,4               | 1,62 ať 3,4    | 4,5           | 5              | 5,2            | 0,55 ať 4,7  | 0,6 ať 9,5   |
| B062 (=TL062)  | RFT        | 2,7               | 0,5 ať 2,0     | 0,28          | 0,3            | 0,32           | 2,0 ať 5,0   | 2,15 ať 10   |
| B082 (=TL082)  | RFT        | 4,2               | 3,5            | 3             | 4              | 4              | 3,2 ať 5     | 3,3 ať 10    |
| LF353          | Motorola   | 2,4               | 1,2 ať 1,8     | 2,3           | 2,5            | 2,6            | 2,15 ať 5    | 2,2 ať 10    |
| TS272CN        | ST         | 1,8               | 0,03 ať 0,9    | 0,8           | 1,2            | 1,4            | 0 ať 4,1     | 0 ať 9,0     |
| TLC27L2CP      | TI         | 0,82              | 0,05 ať 0,22   | 0,015         | 0,02           | 0,03           | 0 ať 4,2     | 0 ať 9,2     |
| βM324          | Rum.       | 2,8               | 0,8 ať 1,5     | 1,05          | 1,1            | 1,2            | 0 ať 3,6     | 0 ať 8,6     |
| LM324 ★        | Mitsubishi | 1,15              | 0,13           | 0,8           | 0,9            | 1,0            | 0 ať 3,7     | 0 ať 8,5     |
| LM2902N ★      | ST         | 1,15              | 0,17           | 0,75          | 0,8            | 0,9            | 0 ať 3,75    | 0 ať 8,7     |
| TL074CN        | ST         | asi 3,2           | 1,6 ať 2,4     | 5             | 7              | 7              | 2,25 ať 4,85 | 2,4 ať 9,8   |
| GL348          | Goldstar   | 2,9               | 2 ať 2,3       | 0,28          | 0,6            | 1              | 1,87 ať 4,85 | 2 ať 9,8     |

Tab. 4. Výstupní saturační napětí a výstupní zkratový proud vybraných operačních zesilovačů při napájecím napětí 10 V

| Typ            | Výrobce    | $U_{S-}$ [V] | $U_{S-RP}$ [V] | $U_{S-RZ}$ [V] | $U_{S+}$ [V] | $U_{S+RP}$ [V] | $U_{S+RZ}$ [V] | $I_{SC+}$ [mA] | $I_{SC-}$ [mA] |
|----------------|------------|--------------|----------------|----------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| OP07CN         | ST         | 1,37         | 1,24           | 2,12           | 0,6          | 0,01           | 1,06           | 28             | 28             |
| C4081 (=TL081) | NEC        | 1,40         | 1,1            | 3,41           | 0,58         | 0,01           | 2,77           | 25,5           | 31,5           |
| UA741CN        | ST         | 1,85         | 1,65           | 2,4            | 0,61         | 0,01           | 1,15           | 32             | 16             |
| MAA741         | TESLA      | 1,88         | 1,78           | 2,25           | 0,61         | 0,01           | 1,07           | 38,5           | 20,5           |
| MA748CN ②      | TESLA      | 1,92         | 1,79           | 3,3            | 0,62         | 0,01           | 1,10           | 7,7            | 17,4           |
| MAA748 ②       | TESLA      | 1,85         | 1,71           | 3,9            | 0,59         | 0,01           | 1,10           | 8,7            | 17,6           |
| LM308H ②       | NS         | 0,56         | 0,37           | 3,37           | 0,61         | 0,13           | 4,2            | 7,7            | 5,8            |
| NE5534N ②      | Signetics  | 1,27         | 1,24           | 1,5            | 0,58         | 0,01           | 0,9            | 44             | 49             |
| CA3130I ⑥      | RCA        | 0            | 0              | 2,13           | 0            | 0              | 2,22           | 11,5           | 19             |
| MC1458CN       | SGS        | 2            | 1,91           | 2,4            | 0,66         | 0,01           | 1,68           | 22             | 15,5           |
| MC4558PI       | ST         | 0,41         | 0,26           | 1,28           | 0,63         | 0,01           | 1,93           | 23             | 20             |
| LM358N         | ST         | 0            | 0              | 1,15           | 1,26         | 0,11           | 1,61           | 42             | 29             |
| GL358          | Goldstar   | 0            | 0              | 1,21           | 1,26         | 0,05           | 1,7            | 18,5           | 30             |
| NE5532AP       | TI         | 1,37         | 1,33           | 1,6            | 0,64         | 0,01           | 0,99           | 36             | 57             |
| B062 (=TL062)  | RFT        | 0,63         | 0,54           | 2,34           | 0,63         | 0,01           | 2,8            | 23             | 8,3            |
| B082 (=TL082)  | RFT        | 1,36         | 1,05           | 3,38           | 0,61         | 0,01           | 2,86           | 25,5           | 29             |
| LF353          | Motorola   | 0,37         | 0,21           | 1,6            | 0,66         | 0,01           | 1,30           | 33,5           | 33             |
| TS272CN        | ST         | 0            | 0              | 1,74           | 1,34         | 1,34           | 2,96           | 47             | 60             |
| TLC27L2CP      | TI         | 0            | 0              | 0,52           | 0,95         | 0,01           | 2,35           | 68             | 45             |
| βM324          | Rum.       | 0            | 0              | 1,31           | 1,19         | 0,09           | 1,57           | 29             | 40             |
| LM324          | Mitsubishi | 0            | 0              | 1,17           | 1,26         | 0,05           | 1,61           | 16,3           | 49             |
| LM2902N        | ST         | 0            | 0              | 1,03           | 1,25         | 0,07           | 1,62           | 31             | 47             |
| TL074CN        | ST         | 1,31         | 1,02           | 3,31           | 0,60         | 0,01           | 2,78           | 25             | 31             |
| GL348          | Goldstar   | 2,01         | 1,91           | 2,85           | 0,66         | 0,01           | 1,65           | 25             | 15             |

**Poznámky k měření OZ:**

- ① OZ se rozkmitá při zvětšení napětí  $U_i$ .  
 ② při  $U_i < 0,8$  V zesiluje signál, ale nechová se jako operační zesilovač.  
 ③ při menším  $U_{cc}$  zesilovač sice pracuje, ale výstupní signál je značně zkreslený.  
 ④ proudový odběr OZ se podstatně zvětšil při zvětšení napájecího napětí z 10 na 15 V.

- ⑤ mezi vývody 1 a 8 připojen kondenzátor 33 pF pro kmitočtovou kompenzaci.  
 ⑥ mezi vývody 1 a 8 připojen kondenzátor 100 pF pro kmitočtovou kompenzaci.  
 ⑦ obvod je prakticky použitelný až při  $U_{cc}$  větším než 6 V.  
 ⑧ mimo toto napětí  $U_i$  se obvod rozkmitá.  
 ⑨ mimo rozsah vstupních napětí kmitá a nechová se jako OZ.

- ⑩ obvod má nedostatečnou vnitřní kompenzaci, při zapojení jako sledovač kmitá.  
 ★ při  $U_{cc} = 1,5$  V je rozsah  $U_i$  0 až 0,25 V.

Další nepříjemné překvapení přinesl obvod GL358. Vnitřní kmitočtová kompenzace tohoto obvodu byla při malých napájecích napětích nedostatečná a při zapojení jako sledovač se obvod rozkmital. Stejný jev vykazovaly i další dva kusy ze stejné série. Obvod LM358 byl v pořádku.

Velké saturační napětí může v některých případech způsobit špatnou funkci následných obvodů. Měření výstupních saturačních napětí je účelné v případě, potřebujeme-li z výstupu OZ budít např. tranzistor nebo logický obvod. Výběrem vhodného OZ můžeme zjednodušit připojení následných obvodů. V některých případech si ke zmenšení saturačního napětí můžeme pomoci rezistorem, zapojeným mezi výstup OZ a jeden pól napájecího napětí.

Výstupní zkratový proud je zpravidla uvnitř IO omezen, takže OZ jsou zkratuvzdorné. Velikost zkratového proudu se může dosti měnit i u stejného typu OZ kus od kusu. Ze všech změřených údajů je třeba tento brát nejvíce s rezervou.

V porovnání s dováženými obvody, zakoupenými v několika pražských prodejnách, příjemně překvapila kvalita obvodů z produkce TESLA.

## Literatura

- [1] Belza, J.: Stereofonní magnetofon z B90. Amatérské radio řada A č. 6/1979 s. 215.
- [2] Belza, J.: Snímací zesilovač. Amatérské radio řada A č. 3/1990 s. 95.
- [3] hhs: Indikátor úrovně nízkofrekvenčního signálu. Sdělovací technika č. 8/1984 s. 318.
- [4] Michálek, F.: Indikátor přebuzení nf zesilovačů. Amatérské radio řada B č. 3/1978 s. 87.
- [5] Cichoňski, D.: Stereofonizny stol mikerski. Praktyczny elektronik č. 11/1994 s. 14.
- [6] Stereofonní zesilovač Hi-Fi – tentokrát trochu jinak (TEXAN). Amatérské radio řada A č. 12/1976 s. 453. Autor neuveden.
- [7] R.T.: Wzmocniacz końcowy 50 W. Radioelektronik Audio-HiFi-Video č. 11/1993 s. 6.
- [8] Seely, R.: Powered Subwoofer. Electronic Now, říjen 1995 s. 37.
- [9] Seely, R.: Build A Multimedia Subwoofer. Popular Electronics, leden 1997 s. 37.
- [10] Straňák, P.; Jejkal, R.; Holec, T.: Širokopásmový komandér. Amatérské radio řada A č. 12/88 s. 465.
- [11] Zima, J.; Schön, V.: Profesionální komandér. Amatérské radio řada A č. 5/91 s. 169.
- [12] Liška, P.: Obvod ochrany reproduktorů. Audio amatér č. 2 (1992) s. 7; viz. též Elrad 1982 a ST 1983.
- [13] Präsenzfilter. ELV Journal č. 2/1997 s. 70. Autor neuveden.
- [14] vko: Obvod pro definované zesílení nízkofrekvenčního signálu. Sdělovací technika č. 3/1983 s. 118.

- [15] Janiga, V.: Overdrive. Příloha Amatérského radio 1987 s. 40.
- [16] Kuchař, M.: Prodlužovač tónu kytary. Amatérské radio řada A č. 2/1981 s. 10.
- [17] Drexler, J.: Doplnky hudebních nástrojů s IO. Amatérské radio řada A č. 11/1980 s. 424.
- [18] Janečka, J.: Kvákadlo ke kytarě. Amatérské radio řada A č. 12/1982 s. 447.
- [19] Michálek, F.: Zdvojovač kmitočtu pro kytaru. Amatérské radio řada B č. 3/1978 s. 90. Původní pramen: Practical electronics, srpen 1977.
- [20] Lipka, B.: Kruhový modulátor. Amatérské radio řada B č. 1/1991 s. 10.
- [21] Matuška, A.: Obvody pro hudební nástroje: Tremolo. Amatérské radio řada B č. 4/1978 s. 139. Původní pramen: Elektor č. 79-80/1977.
- [22] Wróblewski, T.: Efekt tremolo-vibrato. Elektronika Praktyczna č. 12/1996 s. 59.
- [23] Nálevka, Z.: Přesný monostabilní klopný obvod. Sdělovací technika č. 11/1976 s. 421.
- [24] Kontrola zdrojové soustavy automobilu. Amatérské radio řada A č. 11/85 s. 431. Autor neuveden.
- [25] VH: Olověný zdroj. Praktická elektronika a radio č. 7/96 s. 30.
- [26] Spiwak, M.: AC Line-Voltage Monitor. Popular Electronics, březen 1997 s. 52.
- [27] Belza, J.: Moduly přijímačů FM. Amatérské radio řada A č. 9/1981 s. 23.
- [28] Mi: Jednoduchá indikace vyladění pro tuner FM. Amatérské radio řada A č. 1/1976 s. 27.
- [29] cr: Włącznik zmierzchowy. Radioelektronik Audio-HiFi-Video č. 12/1996 s. 18.
- [30] -jah-: Dotykový spínač. Sdělovací technika č. 2/1981 s. 52.
- [31] Kajnar, V.: Senzorový spínač. Amatérské radio řada A č. 3/1985 s. 90.
- [32] hhs: Světelná závora nezávislá na okolním osvětlení. Sdělovací technika č. 11/1983 s. 440. Původní pramen: EDN 20. ledna 1982, s. 151.
- [33] Michálek, F.: Regulační obvod k řízení rychlosti otáčení stejnosměrných motorů. Amatérské radio řada B č. 3/1978 s. 85. Původní pramen: Practical Electronics, duben 1977.
- [34] Kajnar, V.: Jednoduchý regulátor otáček pro ss motorky. Amatérské radio řada A č. 6/1991 s. 228.
- [35] Gruhle, A.: Tiefentladeschutz für Akkumulatoren. Funkschau-Sonderheft č. 253, s. 25.
- [36] NiCd akumulátortöltő. Hobby Elektronika č. 7/1995, s. 223. Autor neuveden.
- [37] Egyszerű univerzális akkutöltő. Hobby Elektronika č. 4/1997, s. 128. Autor neuveden.
- [38] OB: Hučí vám v PC?. Amatérské radio řada A č. 8/93 s. 20.
- [39] Vymazal, P.: Hučí vám v PC 2. Amatérské radio řada A č. 9/94 s. 24.
- [40] CPU-Lüfterschutz. ELV Journal č. 1/96 s. 40.

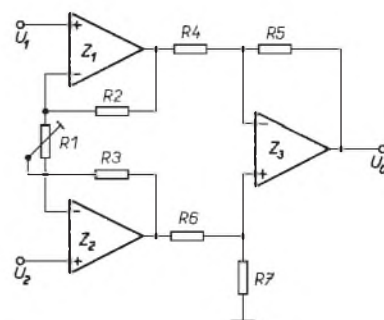
- [41] NW: Drobnosti k ZX81. Sdělovací technika č. 7/1985 s. 271.
- [42] Owsiak, S.: Przystawka do pomiaru małych rezystancji. Radioelektronik Audio-HiFi-Video č. 3/1997 s. 8.
- [43] Novák, O.: Adaptér pro měření malých odporů. Praktická elektronika č. 7/1996 s. 24.
- [44] Campisi, S.: Build a conductance adapter for your multimeter. Electronics Now, únor 1997 s. 61.
- [45] Spiwak, M.: Build a temperature adapter for your DMM. Popular electronics leden 1997, s. 48.
- [46] Kyrš, F.: Zpracování malých stejnosměrných signálů. Amatérské radio řada A č. 10/1983 s. 394. Původní pramen: Malvar, H. S.: Inexpensive chopper-amplifier for weak DC signals. Electronic Engineering, září 1980.
- [47] Lineární ohmmetr. Amatérské radio řada A č. 11/1978 s. 428. Autor neuveden. Původní pramen: Elektor č. 77/79.
- [48] Roubalík, V. a kol.: Měřič kapacity. Amatérské radio řada A č. 9/1986 s. 349.
- [49] Horský, J.; Zeman, P.; Škapa, L.: Měřič proudového zesílení tranzistorů M11. Amatérské radio řada B č. 6/1984 s. 223.
- [50] -hák-: Automatické přepínání rozsahů měřidla. Sdělovací technika č. 5/1982 s. 195. Původní pramen: Lindner, J.: Bereichsumschaltung für Anzeige-Instrumente. Funkschau 1981, č. 11, s. 100.
- [51] ra: Zkratometr. Amatérské radio řada A č. 5/1976 s. 187.
- [52] Teska, V.: Zkoušeč spojů. Amatérské radio řada B č. 3/1985 s. 108.
- [53] Berührungsgloser Digital-Drehzahlmesser. ELV Journal 2/96 s. 20. Autor neuveden.
- [54] Brunnhofer, V.; Kryška, L.; Teska, V.: Operační zesilovače v teorii a praxi. Amatérské radio řada B č. 3/1982 s. 108.



## Opravy ke KE 3/96

### „Zapojení s operačními zesilovači“

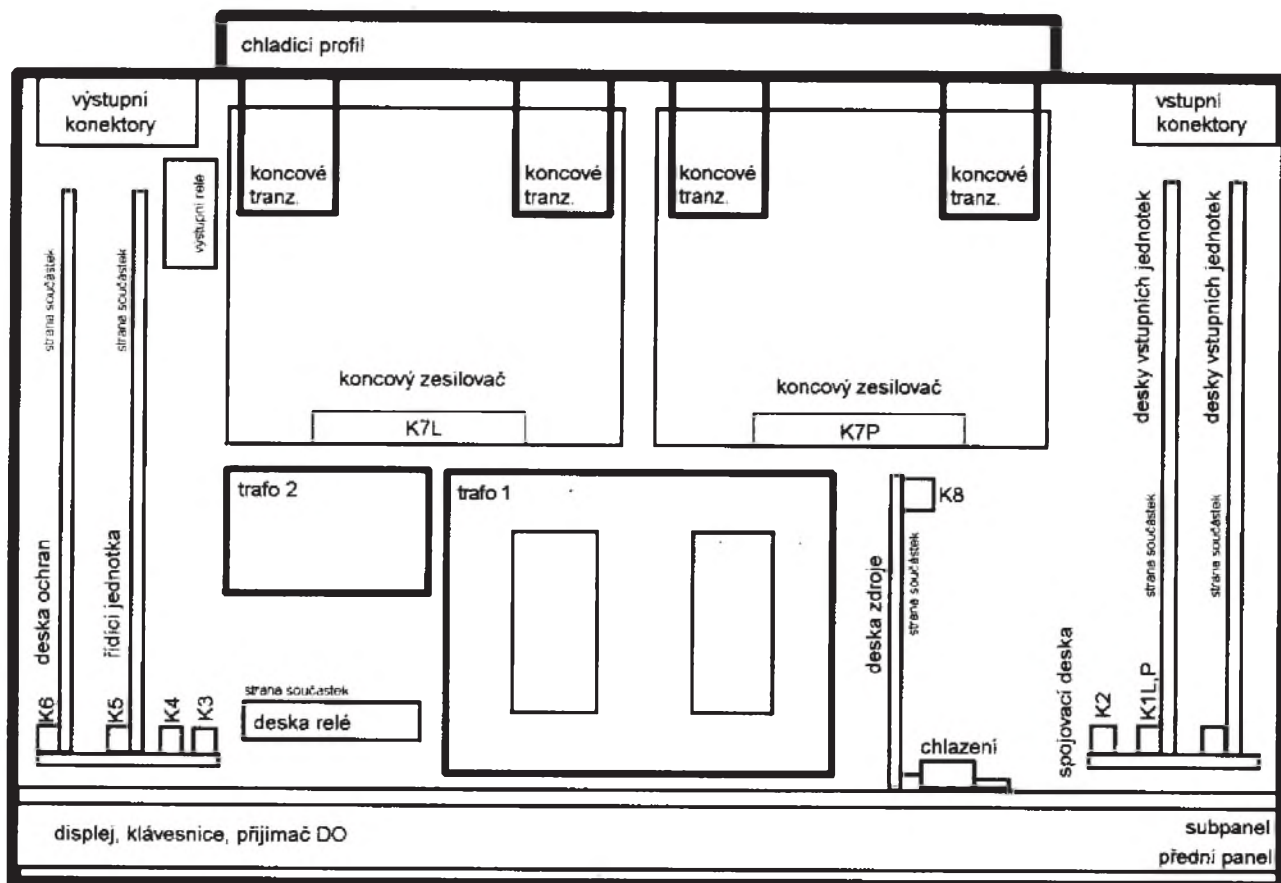
V Konstrukční elektronice č. 3/96 si, prosím, opravte obr. 20, do kterého se mi vloudila chyba, podle obrázku zde uvedeného.



Obr. 20. Přístrojový zesilovač

Na straně 106 jsou na obr. 141 a 142 převodníky  $f/U$  a nikoli  $U/f$ , jak je uvedeno u příslušných obrázků. U obr. 204 je prohozen přívod kladného a záporného napájecího napětí. Všem čtenářům se velmi omlouvám.

Jaroslav Belza



Rozložení bloků zesilovače ve skříňce

# Nf ZESILOVAČ ŘÍZENÝ MIKROPROCESOREM

Ing. Ladislav Havlát

(Dokončení z KE č. 1/97)

## Displej

Displej je složen ze čtyř sedmisegmentových jednotek a čtyř LED (zobrazují chybový stav, vypnutý výstup - hlasitost nula a limitaci v obou kanálech). Řízení je multiplexované, ovládané procesorem prostřednictvím expanderu. Výběrový signál pro displej je CS4. Napájení displeje je shodné s napájením procesoru (+5VRE). Vzhledem k zanedbatelné spotřebě obvodu HCT je displej pod napětím i ve stavu STAND-BY, nesvítil však.

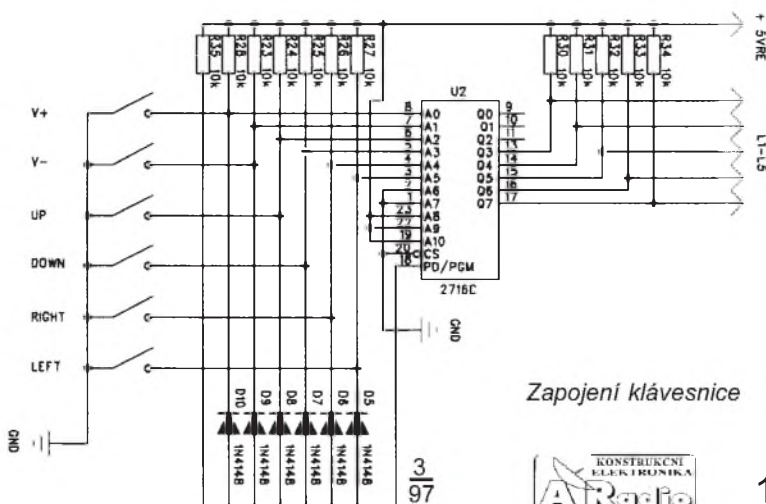
## Propojení desek

Všechny větší desky jsou opatřeny nepřímými řadovými konektory typu TX5273011VO. Protikusy konektorů jsou buď zapájeny ve spojovací desce nebo jsou použity typy pro připájení kabelu. Kabelem jsou vedeny spoje jednak mezi spojovacími deskami navzájem a jednak mezi deskami napájení, koncových stupňů atd. Malé desky nemají konektor, vodiče jsou zapájeny přímo do desek se spoji. Jako propojovací vodič jsem použil plochý kablík s pocínovanými dráty;

propojení jednotlivých desek je zřejmé z tabulek zapojení konektorů (3. str. obálky). Signálové spoje mezi vstupní jednotkou a zesilovačem jsou zhotoveny stíněným kablíkem. Výkonové přívody ke koncovým stupňům nejsou na konektorech, jsou připojeny na pájecí špičky, naražené do desky. Je

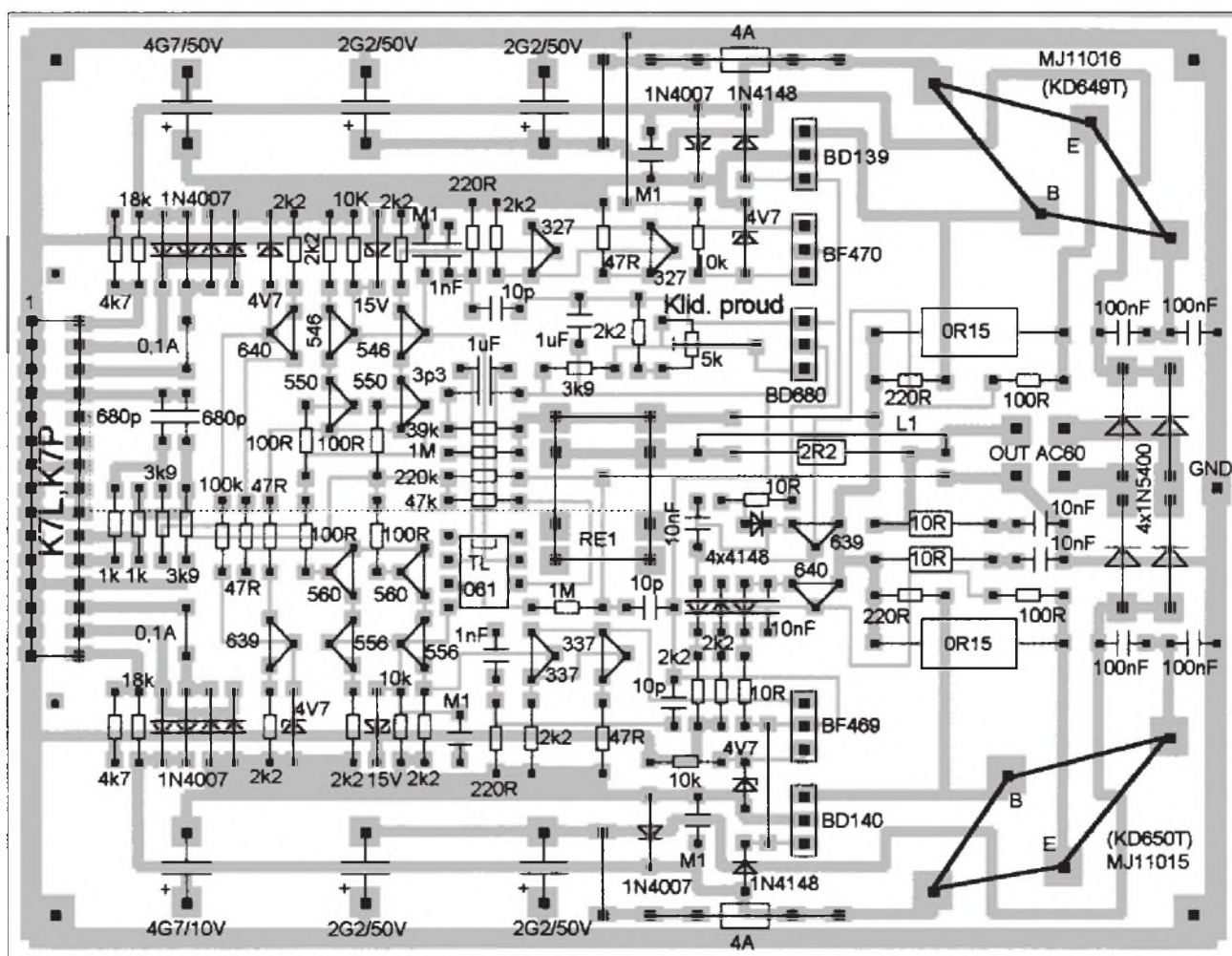
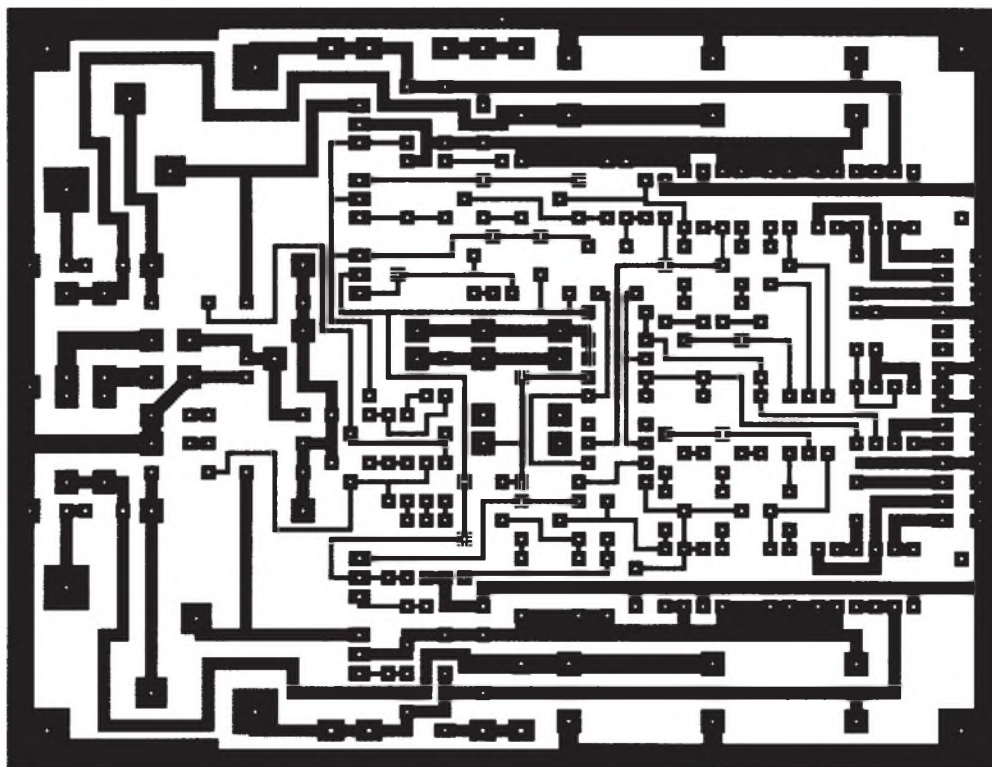
vhodné dodržovat barevné značení drátů, vystupující povahu vodiče (zem - zelená, napájecí napětí kladné - červená, záporné - modrá atd.) a toto značení dodržovat v celém přístroji.

**Desky s plošnými spoji** pro zesilovač jsou na dalších stranách tohoto čísla Konstrukční elektroniky..

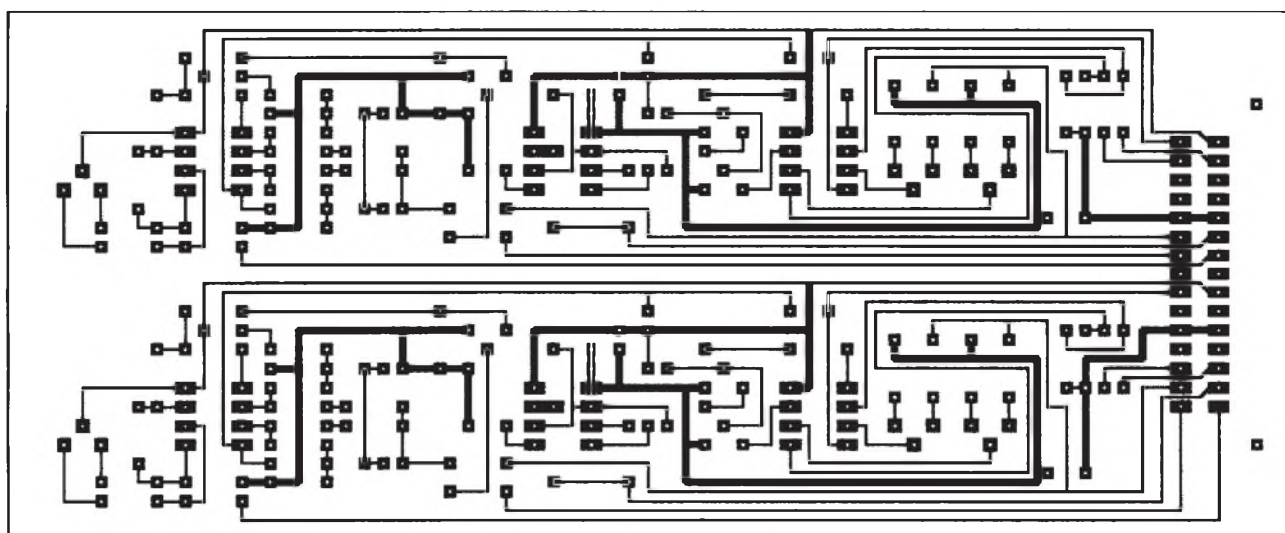
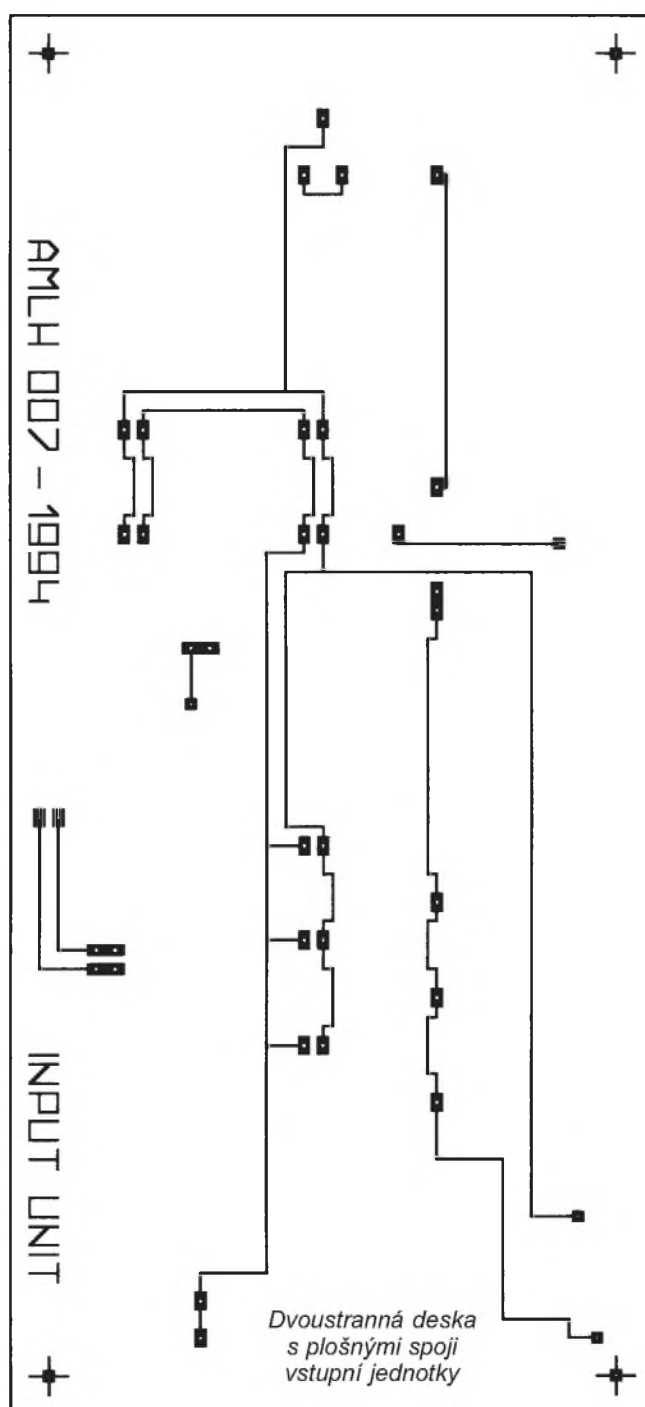
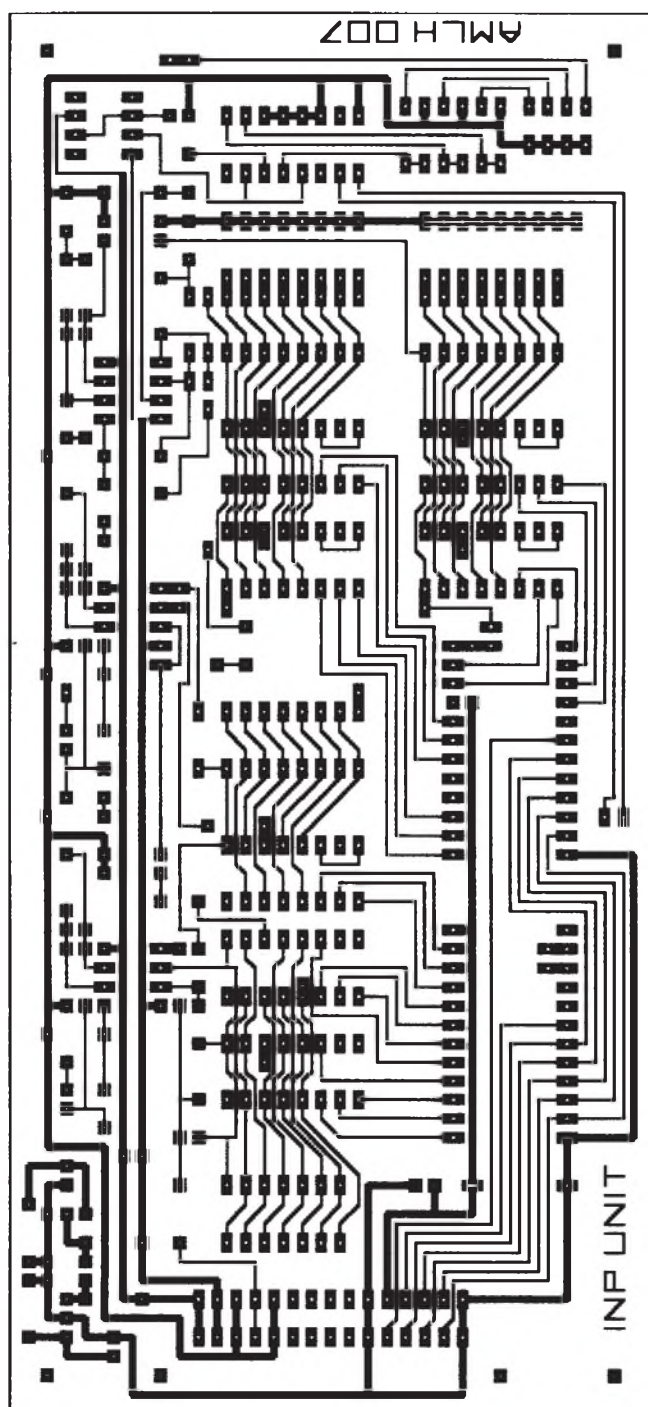


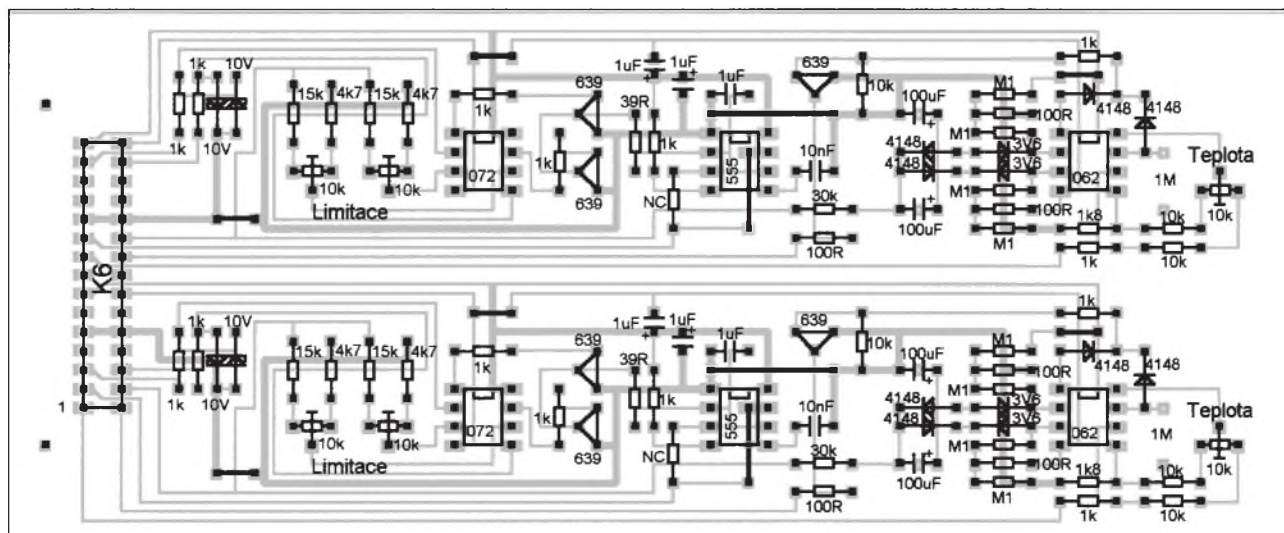
Zapojení klávesnice



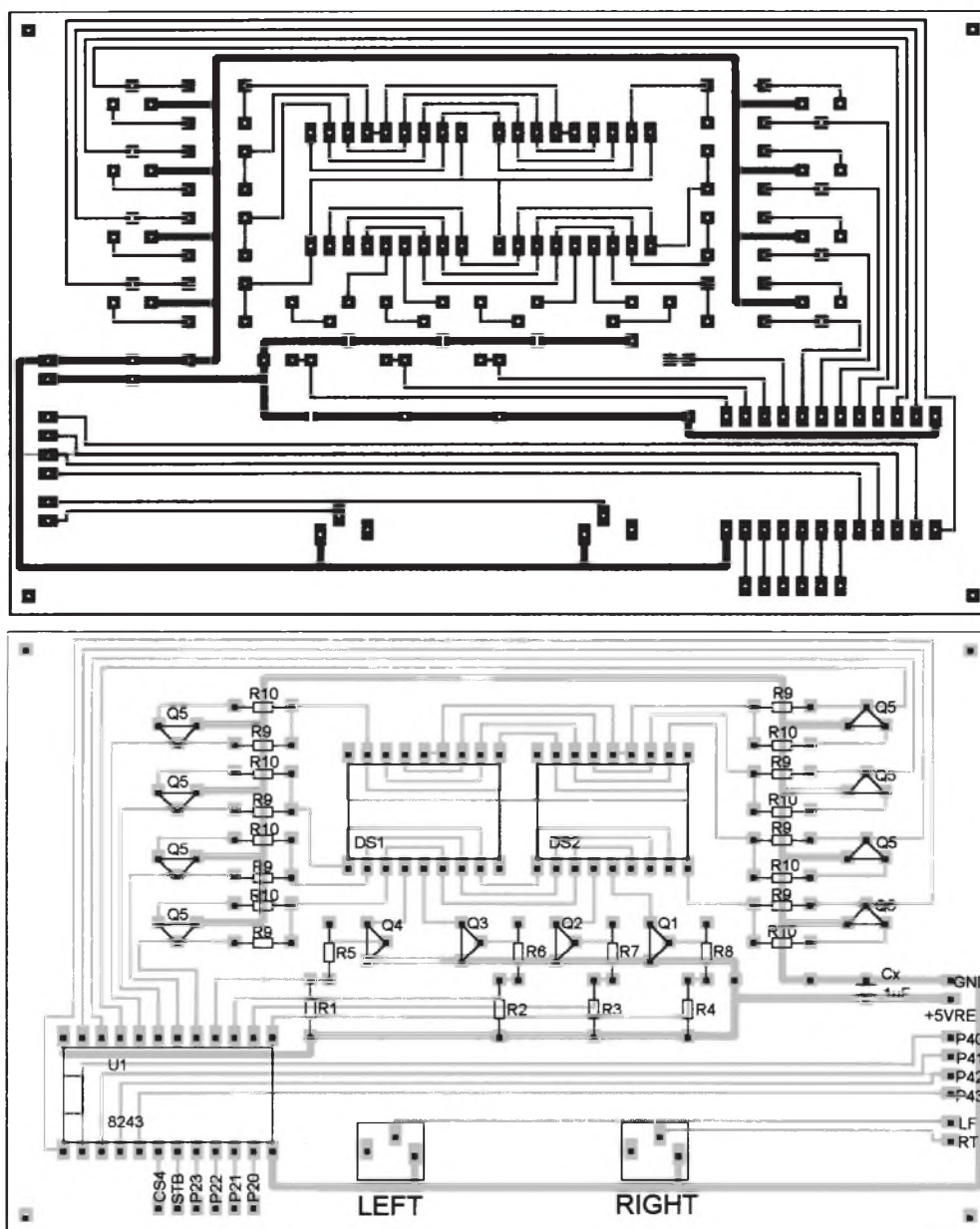


Deska s plošnými spoji výkonového zesilovače;  
kondenzátor C11, 220  $\mu$ F / 100 V je na straně spojů (axiální typ)

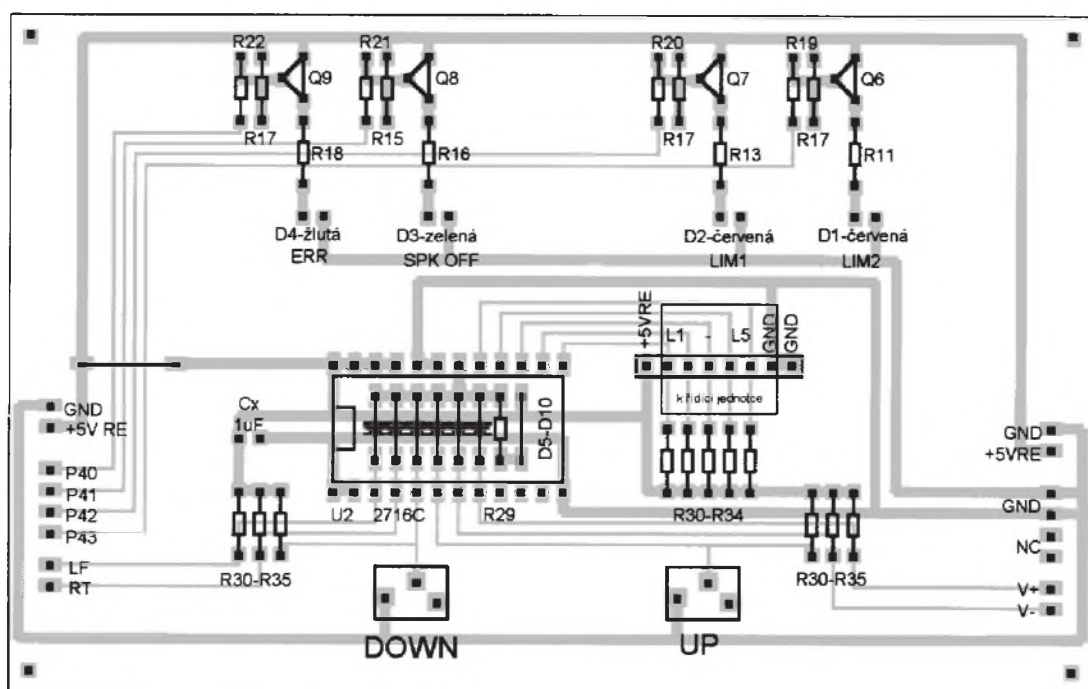
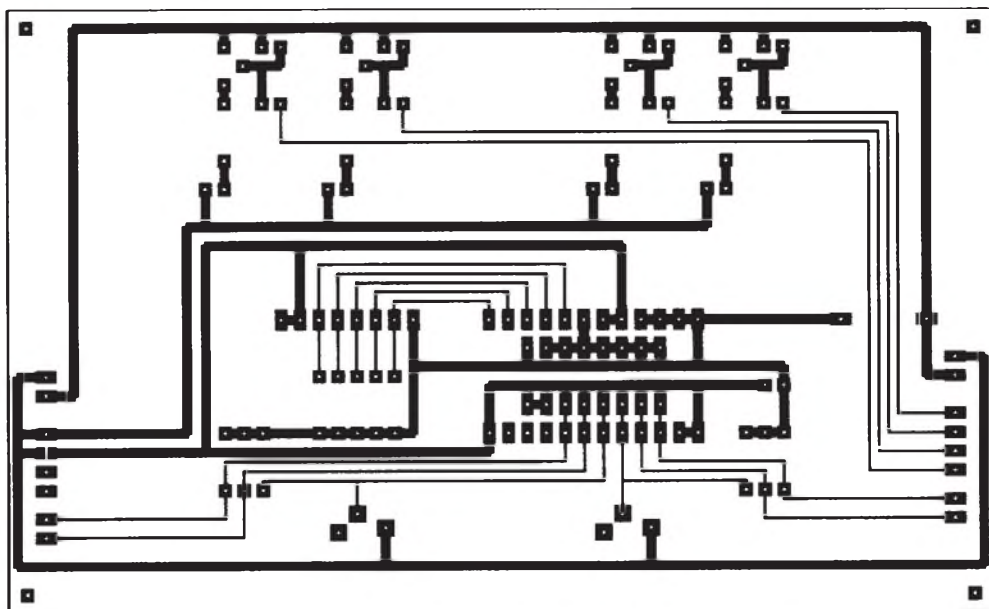




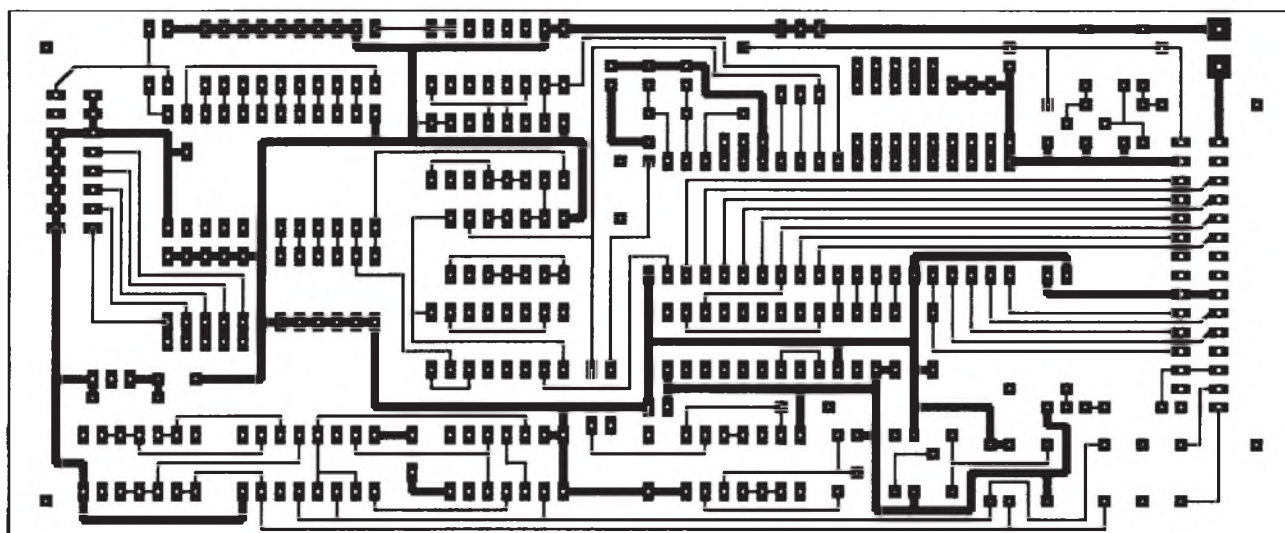
Osazená deska s plošnými spoji ochran zesilovače

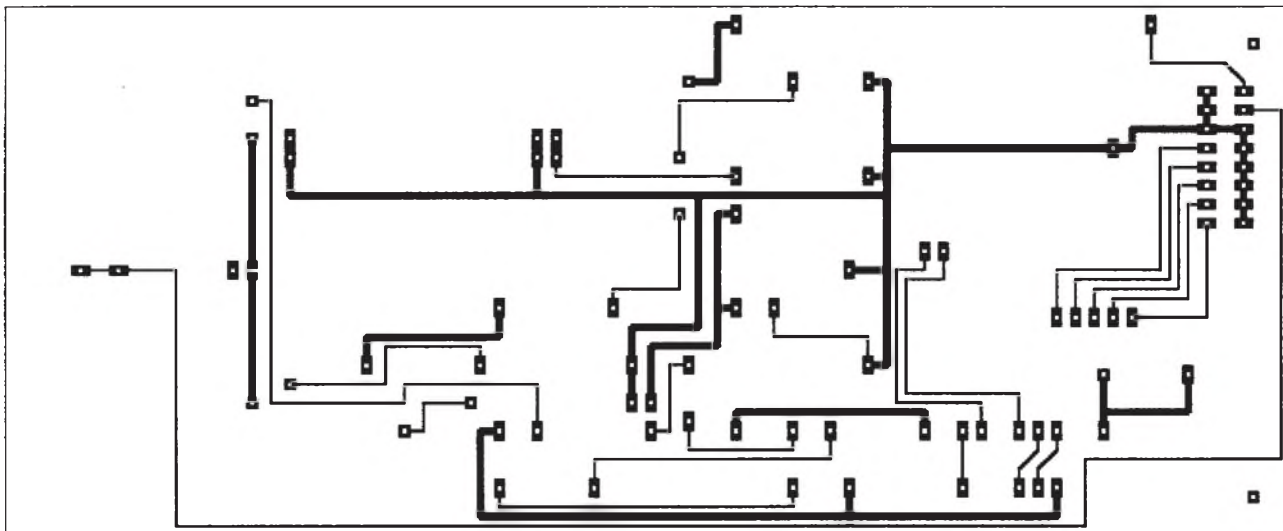


Deska s plošnými spoji displeje a klávesnice I

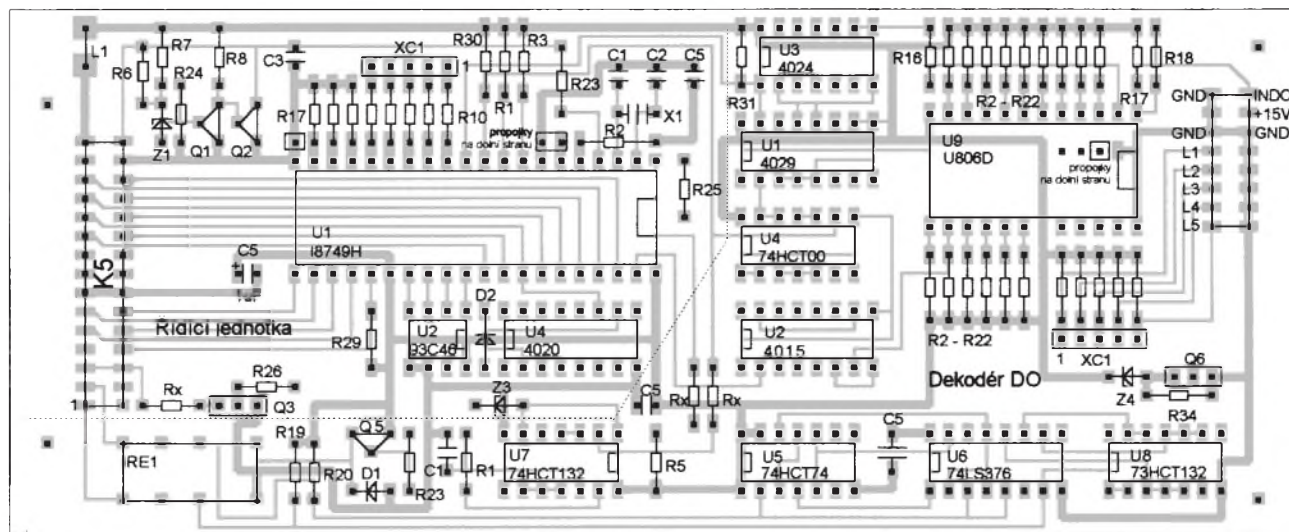


Deska s plošnými spoji displeje a klávesnice II



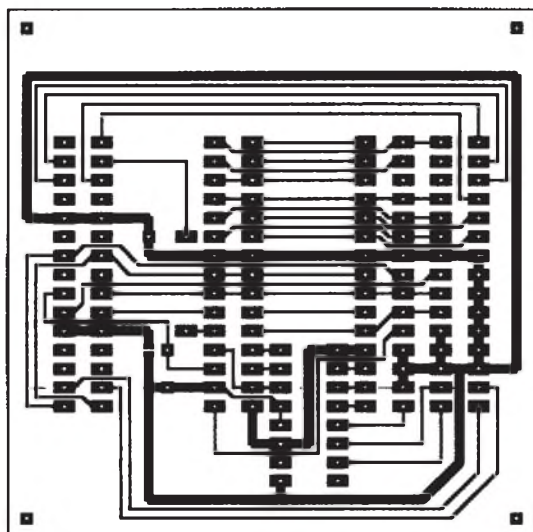


*Druhá strana dvoustranné desky s plošnými spoji řídicí jednotky*

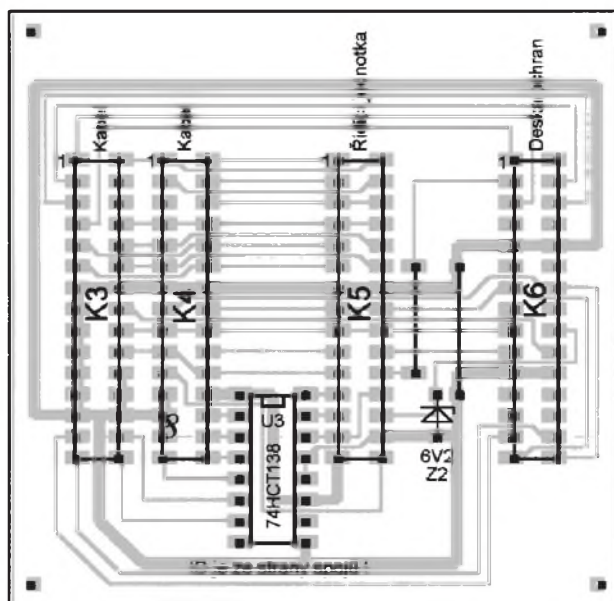


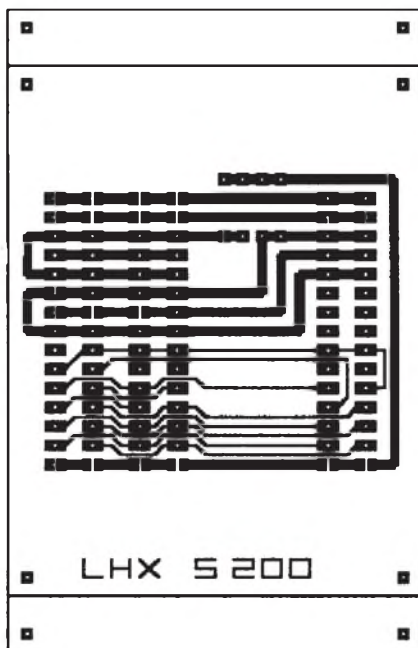
Rezistory  $R_x = 2,2 \Omega$

*Osazení desky s plošnými spoji řídicí jednotky součástkami*

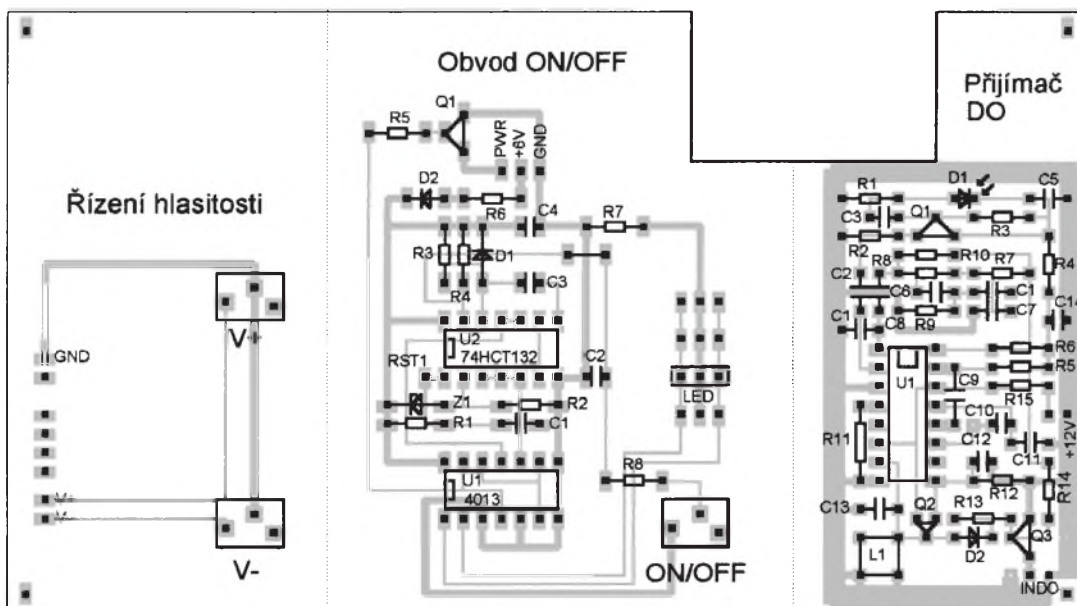
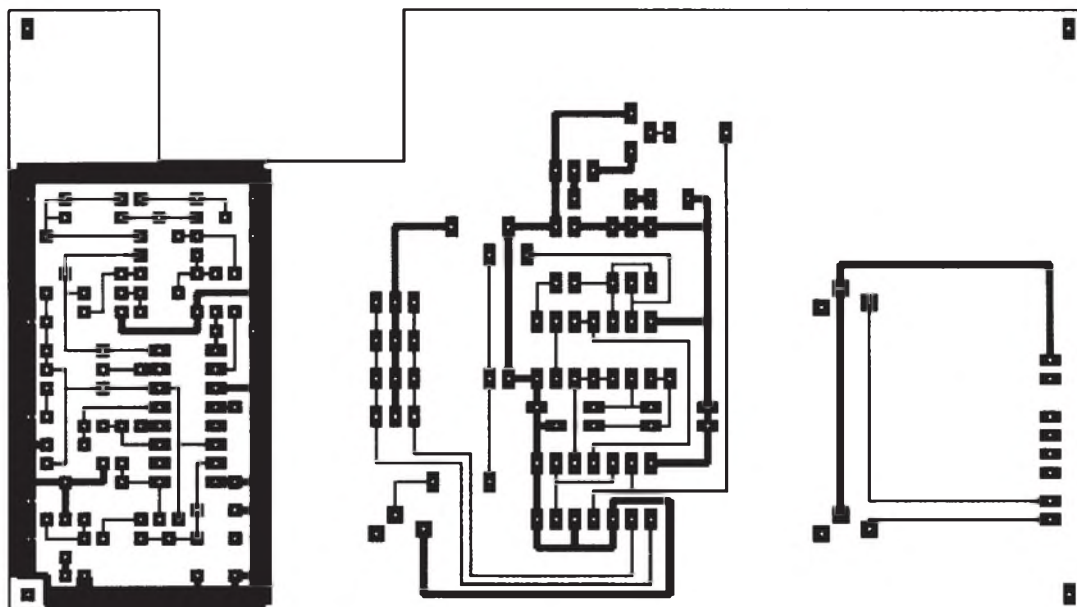
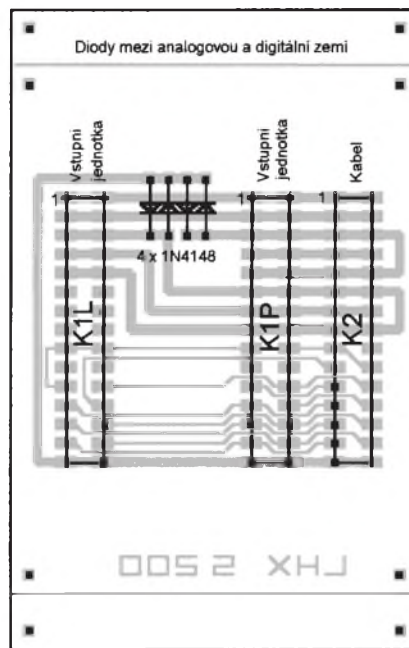


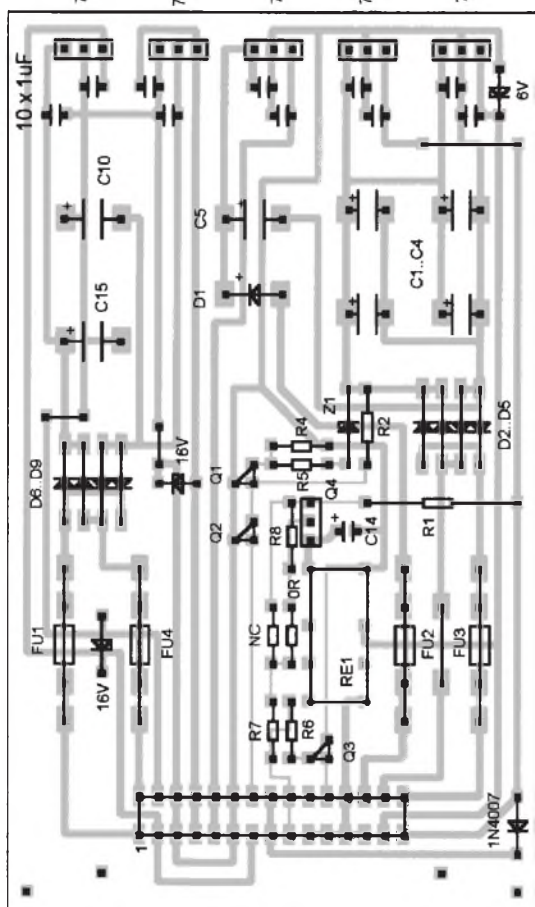
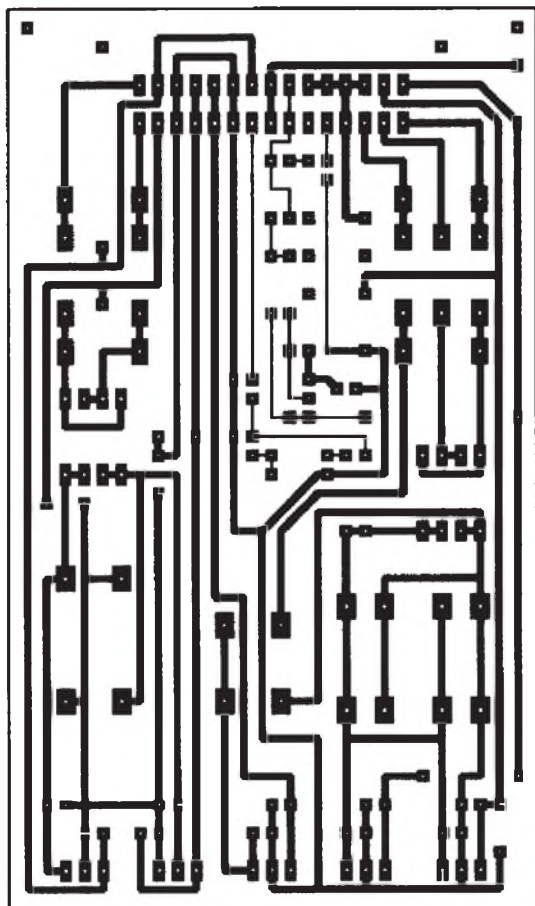
*Deska s plošnými spoji spojovací desky 1*





Deska s plošnými spoji  
spojovací desky 2





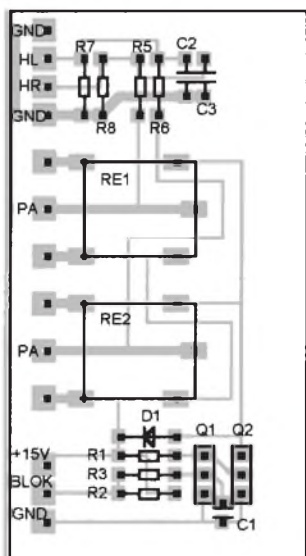
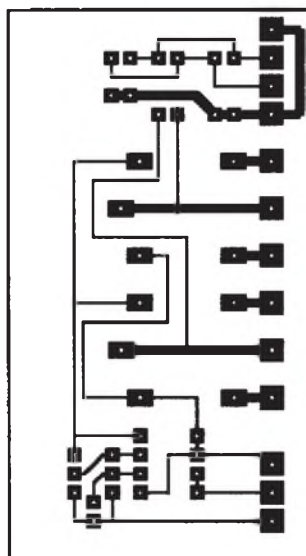
Deska se spoji zdroje (nahore) a deska s plošnými spoji relé (zcela vpravo)

**HES s.r.o.**  
**OPRAVY**  
**MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ**

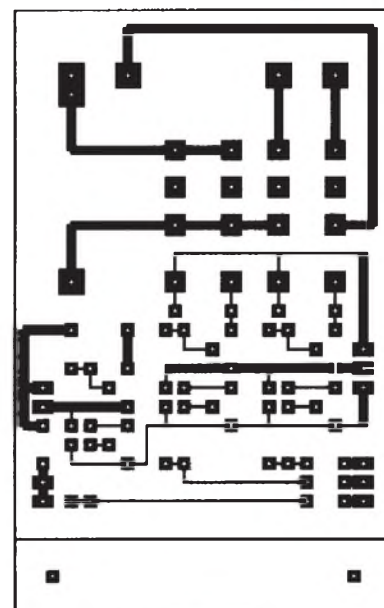
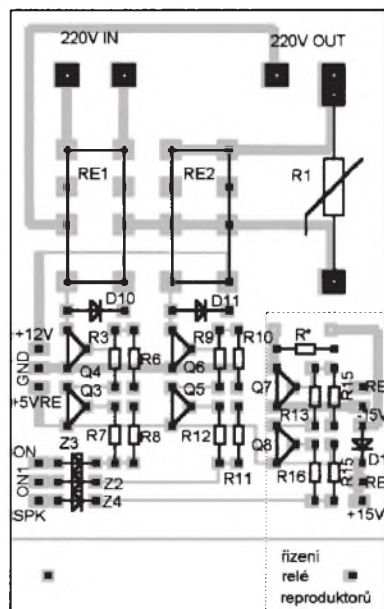
- ✓ OSCILOSKOPY
- ✓ MULTIMETRY
- ✓ ZDROJE
- ✓ GENERÁTORY
- ✓ ČÍTAČE
- ✓ MĚŘIČE FYZ. VELIČIN

**HES s.r.o., Ostopovice**  
 U dráhy 14, BRNO - venkov  
 PSČ 664 41  
 tel./fax 05/351373, tel. 352919

**Sběrny pro Slovensko:**  
 HES-Zberňa: Tulipánova 3  
 841 01 Bratislava  
 tel.: 07/761053  
 HES-Zberňa: P.O.BOX č. 46  
 915 01 Nové Mesto n.Váh.



Deska s plošnými spoji výstupních relé



## Ještě jednou Aplikovaná elektronika z Konstrukční elektroniky A Radio č. 6/96

Na základě neutichajícího zájmu o Konstrukční elektroniku č. 6/96 a některých chyb, které vznikly na straně autora, rozhodl jsem se touto cestou podat několik vysvětlujících poznámek. Nejdříve chci zdůraznit skutečnost, že všechny konstrukce, publikované na stránkách tohoto čísla KE s názvem Aplikovaná elektronika, byly navrhovány pomocí návrhového systému Ferda 3.5 Shareware. Ten bohužel „umí“ jen 60 součástek a 70 nápisů. Proto některé body a součástky nejsou ve schématech označeny vůbec. Na druhé straně jsem se snažil právě díky této nevýhodě dostat na osazovací plánec co nejvíce údajů o názvu součástky. Nebylo možné navíc přidávat ještě označení polaritu elektrolytických kondenzátorů, polaritu diod, emitorů tranzistorů apod. Osazovací plány byly navíc realizovány v programu Corel a schémata v programu Orcad 4. Domnívám se, že přes všechny nedostatky se mi podařilo dokázat, že i s takovými omezeními, kterými uvedený systém disponuje, lze postavit dobré stavebnice. Zároveň jsem předpokládal, že právě na stránkách Konstrukční elektroniky, která je určena převážně pro konstruktéry a „bastlíře“, některé chyby v označení či rozpisce nezpůsobí alespoň trochu erudovaným čtenářům problémy. Že se tento úkol i přes určitá úskalí podařil, svědčí výše zmíněná neutichající zájem široké veřejnosti i konzultace s autorem navrhovaného systému Ferda 3.5 ing. Horským.

Tolik na úvod a nyní bych chtěl odpovědět na nejčastější dotazy a opravit chyby, které se dosud podařilo objevit.

**Zdroj s L200** - nastavení proudového rozsahu pomocí zátěžového rezistoru. Rezistor má odpor 2,2 až 22  $\Omega$ /10 W. Výhodnější je použít větší odpor, protože podle katalogového listu má L200, tak jako všechny ostatní stabilizátory tohoto typu, vnitřně omezenou výkonovou ztrátu. Znovu zdůrazňuji, že nejvíce je zatížen stabilizátor při minimálním výstupním napětí a maximálním proudu do zátěže. Potenciometr P1 má exponenciální průběh odporové dráhy, lze použít i potenciometr s lineární dráhou při určitém „zhuštění“ proudové regulace na konci dráhy. Maximální stejnosměrné napětí přiváděné na vstup stabilizátoru doporučuji nepřekračovat nad 40 V.

**Zdroj s LT1087.** Výstupní napětí se nastavuje rezistorem R2, nikoli, jak je v textu chybně uvedeno rezistorem R1, i když je v rozpisce uveden pro nastavení maximálního napětí správně rezistor R2. Výstupní napětí lze při konstrukční úpravě zapojení měřit měřidlem s ICL710x i při použití uvedeného sekundárního vinutí - úprava je poněkud složitější, ale lze ji realizovat. Opět i u tohoto stabilizátoru platí vnitřní výkonové omezení a stejné podmínky jako u L200. Tento stabilizátor vyniká tím, že k uspokojivému provozu mu stačí pracovní úbytek jen 0,5 V. Připouštím, že tento stabilizátor nepracuje od „úplně“ nuly a že technicky je to nešťastně v časopise formulováno, ale lze opět využít úpravy, která byla s podobnými stabilizátory již popsána a tím dosáhnout regulace napětí od 0 V. Většina uživatelů však rozsah pod 1,25 V nevyužívá.

**Gong se SAE800.** Zapojení tohoto gongu bylo převzato od firmy Phobos Ostrava jako inspirativní námět bez možnosti

dělat otevřenou reklamu pro tuto společnost. Podle vyjádření pana Smolika - autora melodického zvonku - publikovaná stavebnice pracuje tak, jak je nakreslená.

**LM1036.** Tento zesilovač se oproti verzi, která byla publikována v AR-B č. 3/96, liší tím, že na desce s plošnými spoji již není propojka a plošné spoje jsou vedeny v některých detailech odlišně oproti původní konstrukci, neboť některé součástky byly přemístěny. Výšky se dají „doladit“ kondenzátory C4, C24 a basy kondenzátory C6, C26. V rozpisce je chybně uvedeno C5, C25 pro regulaci hloubek.

**LM1036 - verze 2.** V textu na str. 208 je chybně uveden filtrační elektrolytický kondenzátor C12. Správně má být C34, taktéž i v rozpisce je nutno změnit označení. Kapacita tohoto kondenzátoru je uvedena správně. Rezistory R10 a R30 u napěťových zesilovačů IO2, IO22 mají mít označení R13, R33. V rozpisce jsou odpory rezistorů uvedeny správně. V napěťovém děliči R11, R12 doporučuji změnit R11 na 33 k $\Omega$  a R12 na 33 k $\Omega$ . Paralelně připojte k R12 filtrační elektrolytický kondenzátor 10  $\mu$ F/16 V pro zlepšení přeslechů mezi kanály. Mohu však konstatovat, že i bez tohoto filtračního kondenzátoru zapojení bohatě splňovalo nároky na střední třídu a zasahovalo i do třídy hi-fi. Hlavní vliv na přeslech však mají rezistory R13, R33. Odpory těchto rezistorů doporučuji volit 68 až 100 k $\Omega$ . Do rozpisky doplňte označení IO1, IO2, IO21, IO22. LM1036 má označení v rozpisce IO3. Kondenzátory C5, C25, 390 nF mají mít v rozpisce označení C6, C26. Znovu zdůrazňuji, že podle aplikačního listu se vývod 7 IO LM1036N spojuje buď s vývodem 12 anebo 17. V některých aplikacích není nutné přepínač vůbec používat. Musím upozornit ještě na jeden podstatný fakt. LM1036 není zázrak, má však ze všech integrovaných obvodů, určených ke korekcím signálu, ovládaných stejnosměrným napětím, nejmenší šum. Podle katalogu je výstupní šumové napětí 10  $\mu$ V. Je zřejmé, že korekční zesilovače, zapojené s korekčními součástkami v obvodech zpětné vazby, šumí při použití aktivních součástek s malým šumem méně! Pro jednoduchost konstrukce a univerzálnost použití je však tento obvod spolu s LM1035 a LM1040 ideálním obvodem pro kvalitní korekční zesilovače. Zkušenosti ukazují, že ke zmenšení šumu je vhodné před LM1036 použít napěťový zesilovač. V nejbližším období bych chtěl po dohodě s redakcí tohoto časopisu publikovat volné pokračování dalších zapojení a vylepšení zapojení s LM1036, případně s LM1040 a TCA5550. Bude řešena i velice často diskutovaná otázka systému WIDE.

Na osazovacím plánu chybí označení elektrolytického kondenzátoru C29 - je u rezistoru R28 a označení rezistorů R13, R33. R13 je do desky se spoji vložen nastojato.

Verze 2 se hodí pro koncové zesilovače, které mají vstupní citlivost větší než 250 mV. Pro koncové zesilovače do vstupní citlivosti 250 mV je výhodné použít variantu 1, tj. bez napěťových zesilovačů.

**Napáječ C.** Věta o reagování obvodu na stejnosměrné napětí větší než 0,8 V byla nešťastně volena a do tohoto textu nepatří. Ochranný obvod je chápán jako obvod, který chrání kmitací cívku reproduktoru před proudovými rázy, způsobenými nabíjením napájecích elektrolytických kon-

denzátorů o velké kapacitě při zapnutí zesilovače. Doporučené napájecí napětí pro jednotlivé typy zesilovačů: TDA2040, 2050  $\pm$ 20 V, TDA1514A  $\pm$ 25 V, TDA7264  $\pm$ 18 V, LM2876  $\pm$ 25 V, LM3876  $\pm$ 30 V, LM3886  $\pm$ 25 V.

**Zesilovač s TDA2040 a 50.** Ve schématu je chybně označena polarita C6, C26, + pól má být zapojen na GND.

**Zesilovač s TDA7250.** Na osazovacím plánu místo rezistoru R14 má být R30 a místo kondenzátoru C14 má být C30. Mezi R4 a ZD1 je umístěn elektrolytický kondenzátor C5.

**Zdroj D.** Rezistory R10, R11 je vhodné zapojit, bude-li napětí naprázdno napáječe větší než 18 V. Tyto rezistory zmenšují výkonovou ztrátu plastových stabilizátorů (ty jsou většinou dimenzovány na výkonovou ztrátu minimálně 2 W). Vstupní stejnosměrné napětí stabilizátorů by nemělo překročit 36 V. Pokud bude vstupní napětí do 20 V, lze místo rezistorů použít oddělovací diodu např. typu 1N4002, KY130/80. Elektrolytický kondenzátor je nutno přizpůsobit z hlediska napětí přiváděného na stabilizátor.

**Barevná hudba E.** Rezistor R13 doplňte do rozpisky, odpor 560  $\Omega$  až 1,2 k $\Omega$ . Přehozeny na osazovacím plánu jsou tranzistory T24 s T23, T34 s T33.

**Barevná hudba F.** Ve schématu se ruší elektrolytický kondenzátor C5 a v rozpisce C6. Do rozpisky přistupuje rezistor R13, 560  $\Omega$  až 1,2 k $\Omega$ . Přehozen tranzistor T3 s T4. Chybí označení T36 na osazovacím plánu.

**Barevná hudba G.** V rozpisce doplňte rezistor R13, 560  $\Omega$  až 1,2 k $\Omega$ . Přehozeny na osazovacím plánu jsou tranzistory T24 s T23, T33 s T34. Elektrolytický kondenzátor C6 je na osazovacím plánu mezi rezistorem R23 a tranzistorem T31.

**Barevná hudba H.** Do rozpisky doplňte rezistor R13, 560  $\Omega$  až 1,2 k $\Omega$ . V osazovacím plánu přehozen tranzistor T23 za T24. Ve schématu zrušte elektrolytický filtrační kondenzátor C5 v napájení.

Za vzniklé chyby a s tím spojené případné problémy a nejasnosti se Vám všem omlouvám.

Ing. Zdeněk Zátopek

## Oprava

Navzdory péči, věnované korektuře článku „Motory téměř zadarmo“ v Konstrukční elektronice č. 2/96 jsem přehlédl, že v tisku (praktický příklad na str. 70, 3. sloupec, osmý řádek zdola) vypadly z rovnice (9) odmocnínka ( $\sqrt{\quad}$ ), takže výsledek rovnice neodpovídá správnému výpočtu. Ačkoli se jedná o typického „šotka“ a správné znění rovnice je hned ve vedlejším sloupci o několik řádků výše, mohla by tato chyba některým zájemcům způsobit problémy. Opravte si proto, prosím, uvedenou chybu.

Děkuji

F. Louda

V příštím čísle KE:

**Mikropočítač/terminál do kapsy**

Konstrukční elektronika ARadio č. 4  
vyjde 6. srpna