

Zesilovač pro nedoslýchavé

Článek popisuje konstrukci osobního sluchátkového zesilovače pro nedoslýchavé s možností příjmu zvuku pomocí indukční smyčky, určeného zejména pro zlepšení srozumitelnosti televizního a rozhlasového vysílání v případě, kdy použití ušního naslouchadla není dostatečné. Předmětem článku je také popis odpovídajícího vysílače pro indukční smyčku.

Technické parametry:

Napájení:	Li-ion akumulátorem 750 mAh, 3,2 - 4,2 V
Odběr proudu (zapnuto):	30 mA
Odběr proudu (vypnuto):	< 100 nA
Výstupní výkon:	0,4 W / 8 ohm
Odstup rušivých napětí:	80 dB
Zkreslení:	< 0,5 %
Citlivost linkového vstupu:	700 mV
Napájení pro nabíjení:	8 - 15 V, 150 mA
Vnější rozměry:	27 x 58 x 188 mm
Hmotnost:	185 g

Popis zapojení

Přístroj (viz blokové a detailní schéma na obr. 1, 2) je tvořen celkem šesti bloky - vestavěným nabíječem, obvodem řízení napájení, předzesilovačem pro indukční smyčku, desetipásmovým ekvalizérem, obvodem automatického vyrovnání citlivosti a koncovým zesilovačem. Signálová část přístroje je v monofonním provedení, protože vada sluchu, pokud se týká obou uší, má obvykle podobný charakter.

Napájení přístroje zajišťuje lithium-iontový akumulátor BAT1 o jmenovitém napětí 3,6 V a kapacitě 750 mAh, připojený ke svorkám SV3, SV4. S tímto zdrojem je provozní doba zesilovače zhruba třiceti hodin.

Nabíjení akumulátoru je řešeno jednoduchým nabíječem, který tvoří součást přístroje. Srdcem nabíječe je zdroj konstantního proudu 120 mA, tvořený tranzistorem T1, rezistorem R32 a LED diodou LED2, která současně indikuje nabíjení plným proudem. Před přebíjením chrání akumulátor komparátor sestavený kolem operačního zesilovače IC5A, který při dosažení maximálního povoleného napětí baterie 4,15 V sníží nabíjecí proud postupně až k nule. Dioda D3 zabraňuje vybíjení akumulátoru přes nenapájený nabíječ (vybíjení přes R30 je zanedbatelné). Jako zdroj pro nabíječ postačí libovolný stejnosměrný síťový adaptér 8 - 15 V nebo např. autobaterie. Přístroj je možné bez rizika poškození nechávat trvale připojený k nabíjecímu zdroji.

Napájení signálové části přístroje je elektronicky spínáno tranzistorem P-MOSFET T3, jehož řídicí elektroda je při vypnutém přístroji stahována rezistorem R33 ke kladnému pólu akumulátoru. Napájení přístroje je tak odpojeno. Zapnutí přístroje je možné stiskem tlačítka TL1, které spojí gate T3 se zemí a tím přivede napájení do signálové části přístroje a k mikroprocesoru PIC12F675, (IC6) který řídí napájení přístroje. IC6, taktovaný interním RC oscilátorem 4 MHz, nastartuje během několika milisekund a přivede kladné napětí na řídicí elektrodu tranzistoru T2, čímž přidrží tranzistor T3 otevřený a tím zajistí trvalé napájení přístroje i po uvolnění tlačítka TL1.

Mikroprocesor hlídá napětí baterie pomocí měření napětí na anodě zelené LED diody LED3, která indikuje zapnuté napájení přístroje. Procesor IC6 nemá interní napěťovou referenci, takže je obvodově nejjednodušší měřit konstantní napětí na LED3 (je nutné dodržet přesný typ LED diody nebo použít jinou s napětím v propustném směru 2,1 V) s použitím měničeho se napájecího napětí jako referenčního). Pokud napájecí napětí klesne pod 3,4 V, rozblíká se žlutá dioda LED1, pokud napětí klesne dále pod 3,2 V, přístroj se vypne uvedením výstupu GP2 IC6 do log. 0 a následným uzavřením tranzistorů T2 a T3. Rezistor R26 zajišťuje spolehlivé uzavření T2.

Přístroj je dále možné vypnout dlouhým stiskem tlačítka TL1, jehož stisk snímá IC6 vstupem GP3. Mikroprocesor dále automaticky vypne přístroj po hodině provozu, přičemž posledních deset minut na sebe upozorňuje pomalým blikáním LED1 (přímo se nabízející akustická signalizace se neosvědčila, nedoslýchaví ji nemusí rozpoznat a navíc je zbytečně ruší v již tak ztíženém poslechu). Čas do automatického vypnutí je možné kdykoliv obnovit na jednu hodinu krátkým stiskem TL1.

Přístroj má dvojí vstup signálu - přijímač pro indukční smyčku (více viz níže) a linkový vstup. V běžném provozu se předpokládá použití indukční smyčky pro nezanedbatelnou výhodu volnosti pohybu, linkový vstup je určen pro krátkodobé použití s propojovacím kabelem např. k TV přijímači tam, kde není indukční smyčka, například na rekreaci. Dále je možné tento vstup použít s vhodnou redukcí k připojení k telefonnímu přístroji.

Pro příjem indukční smyčky jsem využil cívku ze staršího jazýčkového relé, obecně vyhoví jakákoliv cívka s otevřeným magnetickým obvodem. Cívka je připojena k pájecím ploškám SV5, SV6, signál je zesílen o 24 dB pomocí operačního zesilovače IC4A a přiveden na rozpinací kontakt konektoru linkového vstupu.

Signál za konektorem vstupuje do bloku desetipásmového ekvalizéru s rozsahem ± 12 dB, který je tvořen dvojicí speciálních obvodů BA3812L (IC1, IC2) v kaskádě. Tyto obvody v sobě sdružují vstupní oddělovací zesilovač, výstupní operační zesilovač a pěti syntetických indukčností - gyrátorů. Ekvalizér je tedy tvořen desítkou rezonančních obvodů, které jsou pomocí trimrů připojovány mezi větev s užitečným signálem a větev záporné zpětné vazby výstupního OZ obvodu. Místo obvyklých potenciometrů jsou použity trimry, aby se znemožnilo nechtěné změny nastavení přístroje (předpokládá se nastavení ekvalizéru jen jednou podle audiogramů postižené osoby). V případě potřeby často měnit nastavení ekvalizéru lze použít trimry typu CA9MV, ke kterým dodává firma EZK ovládací tyčinky s šestihranem.

Celkové zesílení ekvalizéru je možné změnit změnou hodnoty R12, který tvoří zpětnou vazbu vnitřního výstupního OZ obvodu.

Signál dále pokračuje do obvodu automatického vyrovnání citlivosti (limiteru), který má dvě funkce - omezuje vliv polohy snímací cívky indukční smyčky na hlasitost reprodukce a dále velmi výrazně snižuje dynamiku zvuku, což má v tomto případě výhodu v lepší srozumitelnosti tišších pasáží, zejména ve filmech. Obvod upraví úroveň signálu na jmenovitou v rozmezí vstupních úrovní -20 až $+3$ dB.

Obvod AVC je zapojen jako zesilovač s řízeným zesílením pomocí tranzistoru JFET T4. Zesílený signál je přes vazební kondenzátor a trimr pro nastavení úrovně signálu za obvodem přiveden na detektor, tvořený tranzistory T5 a T6. V okamžiku, kdy úroveň signálu na jezdcí trimru překročí napětí U_{BE} tranzistorů, příslušný tranzistor se otevře a přes rezistor R22 (jeho hodnota určuje citlivost na krátké špičky signálu - hodnota attack) se rychle nabíjí kondenzátor C32. Tím se sníží záporné předpětí na řídicí elektrodě tranzistoru T4 a jeho kanál se stane vodivějším, čímž se sníží zesílení obvodu. K opětovnému zvýšení citlivosti dojde vybíjením kondenzátoru C32 přes rezistor R23. Hodnotou RC článku C32, R23 je možné do značné míry ovlivňovat tzv. čas uvolnění (release) a tím i charakter zvuku za obvodem AVC. Celý obvod je možné (například při poslechu hudby) vyřadit spínačem S1, který zablokuje funkci obvodu uzemněním řídicí elektrody T4 a sníží zesílení stupně s IC4B odpojením rezistoru R15 z 25 dB na 0 dB. Použitý operační zesilovač MCP602 je navržen pro nízkospotřebové aplikace s nízkým napájecím napětím a je typu rail-to-rail.

Dále následuje potenciometr hlasitosti (připojený k SL1) a koncový stupeň, tvořený integrovaným obvodem KA2209 (IC3) v můstkovém zapojení, který dodá při napájení 3,6 V do zátěže 8 Ω výkon až 0,4 W sin. Sluchátka s impedancí 2x8 - 2x32 ohm (používáme Koss UR-20) se připojují do konektoru Jack X1. Jumpery JP1 a JP2 umožňují vyřadit jeden kanál sluchátek při jednostranné hluchotě, případně je možné místo jumperu zapájet rezistor pro snížení hlasitosti v jenom kanále.

Mechanická konstrukce

Přístroj je vestavěn ve standardní plastové krabičce typu KPDO 3. Na panelu krabičky je umístěn štítek (obr. 3), vytištěný na samolepící papír a přelepený průhlednou fólií. Na bočních stranách krabičky je umístěn i potenciometr hlasitosti (jako subpanel pro jeho uchycení slouží původní přepážka pro 9V baterii) a konektory linkového vstupu a nabíječky. Vzhled hotového přístroje zachycuje obr. 7, vnitřní provedení je patrné z fotografie na obr. 8. Snímací cívka s akumulátorkem jsou uchyceny tavným lepidlem.

DPS přístroje (obr. 4 - 6) je jednostranná, osazená převážně součástkami SMD. Pro dosažení minimálních rozměrů jsou použity spoje šířky 0,2 mm a několik drátových propojek. Z prostorových důvodů také nebyly použity k připojení většiny vodičů k prvkům mimo DPS konektory, ale pouze pájecí plošky. Pokud nemáte dostatek zkušeností s osazováním součástek SMD, vyplatí se použít DPS s nepájivou maskou.

Pokud bude užíván napájecí zdroj pro nabíjení s napětím vyšším než 10 V, je vhodné opatřit tranzistor T1 malých chladícím křídélkem.

Oživení

Plošný spoj pečlivě osadíme (nezapomeňte na několik drátových propojek), před připojením akumulátorku je vhodné ověřit funkci signálové části s externím napájením 3,6 V, přivedeným na piny 1, 8 patice pro mikrokontrolér IC6, který prozatím neosazujeme.

Dále přivedeme napětí 4,15 V na svorky pro akumulátorek a trimrem R35 nastavíme rozhodovací úroveň komparátoru IC5A tak, aby se jeho výstup právě překlopil do log. 0.

Poté můžeme osadit mikrokontrolér a ověřit funkci ovládání napájení přístroje. Nakonec nastavíme trimrem R24 obvod AVC tak, aby byl signál na výstupu OZ IC4B co nejsilnější, ale nezkreslený. Při nastavení potenciometru hlasitosti na maximum může docházet k přebuzení koncového zesilovače, v tom případě omezíme rozsah tohoto regulátoru zařazením sériového rezistoru. Dále je vhodné osciloskopem ověřit, zda signálová část nekmitá.

Kvůli velkému zkratovému proudu akumulátorku je vhodné do jednoho napájecího vodiče zařadit pojistku - v prototypu jsem použil vratnou pojistku Polyswitch PFRA 0,9 A.

Seznam součástek zesilovače

C1	68n SMD0805	R1 - R10	trimr CA9V 100k
C2, C30	220n SMD0805	R11, R12	6k8 SMD0805
C3	470n SMD0805	R13, R14	4R7 SMD0805
C4, C13	47n SMD0805	R15	2k2 SMD0805
C5, C23, C24, C34 - 36, C38, C40	100n SMD0805	R16, R17	47k SMD0805
C6, C7, C12	22n SMD0805	R18	150k SMD0805
C8, C11	6n8 SMD0805	R19, R21	470k SMD0805
C9, C14	3n3 SMD0805	R20, R40	22k SMD0805
C10	27n SMD0805	R22, R26	68k SMD0805
C15, C27	10n SMD0805	R23, R30	1M SMD0805
C16, C18, C21	1n SMD0805	R24, R35	trimr CA6V 10k
C17, C19	560p SMD0805	R25	3k9 SMD0805
C20	1n8 SMD0805	R27, R28	680k SMD0805
C22, C25, C26, C33	10u/6,3V	R29, R33, R36	120k SMD0805
C28, C32	1u/16V	R31, R37	270R SMD0805
C29, C31	2u2 SMD0805	R32	15R
C37, C41	100u/6,3V submini	R34	330R SMD0805
C39	100u/6,3V tantal SMD D	R38	820R SMD0805
C42	100p SMD0805	R39	22R SMD0805
C43	120p SMD0805	S1	KNX125
D1, D2	1N4148	SL1	konektor se zámek 3pin
D3	1N4007	T1	BD139
D4	BZX83V5.1	T2	BSS123 SMD
IC1, IC2	BA3812	T3	IRF7416 SMD
IC3	KA2209	T4	BF245
IC4	MCP602	T5, T6	BC857 SMD
IC5	LM358 SMD	TL1	KSM632B
IC6	PIC12F675	X1	Jack 3,5mm zás. do DPS
LED1	žlutá 3mm		
LED2	červená 3mm	jumper kolíky 4ks, 2ks propojek	
LED3	zelená 3mm (HLPM-1503)		

Součástky mimo DPS:

krabička U-KPDO3 (GM)

akumulátor B-LI0750 (GM)

konektor SCJ-0351-1 (Jack zásuvka panelová s rozpínacím kontaktem)

konektor K3620 (napájecí zásuvka 2,5 mm)
snímací cívka pro indukční smyčku (viz text)
potenciometr 25k/G
pojistka ca. 1A

Vysílač pro indukční smyčku

Pro bezdrátový přenos zvukového signálu k naslouchadlům sluchově postižených se již desítky let využívají tzv. indukční smyčky, jejichž zřízení je v některých stavbách občanské vybavenosti dokonce povinné podle vyhlášky 174 / 1999 ministerstva hospodářství (viz lit. [1]). Jde o několikazávitovou cívku, zpravidla tvořenou vícežilovým kabelem, položenou po obvodu místnosti. Do cívky je zaveden nízkofrekvenční signál bez jakékoliv modulace. Přijímat signál z indukční smyčky je poté možné každým naslouchadlem s příslušnou funkcí (tzv. funkce „T“). Nevýhodou této metody přenosu je (kromě pracnosti při pokládání kabelu smyčky) zejména citlivost přijímače na cizí magnetická pole v blízkosti transformátorů, pulsních zdrojů či odrušovacích tlumivek triakových regulátorů. Výhodou je poměrně kvalitní přenos bez ohledu na přímou viditelnost k vysílači (nevýhoda infrazářzení), jednoduchost vysílače i přijímače a v neposlední řadě i kompatibilita s jinými zařízeními pro sluchově postižené.

Technické údaje

Napájecí napětí:	20 - 30 V AC/ 20 - 40 V DC
Klidový odběr:	typ. 60 mA
Výstupní výkon:	15 W / 8 ohm
Impedance smyčky:	5 - 20 ohmů
Rozměry:	50 x 130 x 149 mm

Popis zapojení

Nejen k popisovanému zesilovači byl vyvinut jednoduchý vysílač pro indukční smyčku (viz schéma na obr. 9). Srdcem vysílače je integrovaný zesilovač TDA 2030A (IC1) v katalogovém zapojení, doplněném o Boucherotův člen (C9, R6) pro zvýšení stability. Diody D2, D3 chrání výstup IC1 před poškozením napětím, nakmitaným na připojené zátěži. Impedance smyčky, připojené ke svorkovnici X1. Doporučuji smyčku vytvořit z osmi- nebo vícežilového kabelu (kabel pochopitelně nesmí být stíněný) a požadovanou hodnotu impedance nastavit počtem použitých závitů smyčky a případně jejich sérioparalelní kombinací.

Odevzdaný výkon 15 W do smyčky postačuje ke kvalitnímu pokrytí prostoru ca. 80 m² (záleží na tvaru smyčky).

V případě potřeby vyššího výstupního výkonu je možné nahradit IC1 za obvod TDA 2040 nebo TDA 2050 s vyšším dovoleným výstupním výkonem a patřičně zvýšit napájecí napětí přístroje.

Úroveň signálu ve smyčce je možné regulovat potenciometrem R7. Vazební kondenzátory C10, C11 mají záměrně nízkou kapacitu a tvoří hornopropustný filtr s hraniční frekvencí ca. 90 Hz, který odstraňuje ze signálu pro srozumitelnost nepodstatné nízké kmitočty.

Pro kontrolu funkce přístroje byl doplněn obvod indikace přítomnosti signálu na vstupním konektoru X3. Pokud je úroveň na konektoru X3 alespoň 60 mV, špičky signálu způsobí překlápění komparátoru IC2 C, jehož výstup typu otevřený kolektor bude periodicky vybíjet kondenzátor C14. Pokud bude napětí na tomto kondenzátoru nižší než 3 V, přepoklopí se komparátor IC2 D a rozsvítí zelenou LED diodu LED2. Ve stavu bez signálu se C14 během několika sekund nabije přes rezistor R15 a LED2 zhasne.

Zbývá dvojice komparátorů (IC2A, IC2B) tvoří okénkový diskriminátor, který kontroluje, zda je napětí na výstupu IC1 v takových mezích, kdy nedochází k limitaci. Pokud se zesilovač přebudí, komparátor pro příslušnou půlplnu se přepoklopí a vybije kondenzátor C13, čímž přes tranzistor T1 rozsvítí na cca. 100 ms červenou LED1. Indikace limitace je důležitá také proto, že nedoslýchaví často nerozliší technicky způsobené zkreslení od vlastní vady.

Napájení celého přístroje je ze zásuvkového transformátoru 24V - 30V/40W, usměrněné Graetzovým můstkem D1 a vyhlazené kondenzátorem C5. Přístroj nemá vzhledem k malému klidovému odběru vypínač.

Konstrukce a oživení

Celý vysílač je zabudován v plastové krabici typu KP-06. Uvnitř krabice je umístěna jednostranná DPS vysílače (obr. 10 - 12). Koncový stupeň IC1 je opatřen chladičem s tepelným odporem do okolí maximálně 4 K/W.

Přístroj by měl pracovat na první zapojení, jen je nutné zkontrolovat, zda je impedance připojované indukční smyčky v mezích 5 až 20 ohmů.

Seznam součástek vysílače

C1 - C4	10n SMD 0805	R6	4R7
C5	2200uF/35V	R7	potenciometr 100k/G
C6, C7	22uF/35V	R8	330 SMD 0805
C8	1000uF/25V	R9	12k SMD 0805
C9, C12	100n SMD 0805	R10	68k SMD 0805
C10, C11	220n MKT	R11	12k
C13, C14	470n SMD 0805	R13	220k SMD 0805
D1	KBL01	R14	820R SMD 0805
D2, D3	1N4007	R15	2M2 SMD 0805
IC1	TDA2030A	R16	2k2 SMD 0805
IC2	LM339	T1	BC557
LED1	červená LED 5mm	X1, X2	ARK 500/2
LED2	zelená LED 5mm	X3	TOBU3 cinch do DPS
R1 - R4	22k, SMD 0805		
R5	680R, SMD 0805	plastová krabice KP-06	

Závěr

Cílem konstrukce bylo zhotovit levný, uživatelsky jednoduchý a kvalitní doplněk k běžně používaným pomůckám pro neslyšící. Zařízení je již několik měsíců úspěšně denně používáno.

Pokud máte jakékoliv náměty, dotazy nebo připomínky, kontaktujte mě prosím na e-mailu: ivo.strasil@centrum.cz

Firmware pro IC6 přijímače, návod k obsluze pro uživatele a podklady pro výrobu DPS jsou dostupné na mé homepage <http://www.strasil.net>

Literatura

[1] Kajzler, R.: Indukční smyčka pro osoby s vadami sluchu; *online*:

<http://www.elektrika.cz/data/clanky/is020806>

[2] Punčochář, J.: Operační zesilovače. Praha, BEN 1996

Texty pod obrázky:

- obr. 1: Blokové schéma zesilovače
- obr. 2: Schéma zapojení zesilovače
- obr. 3: Štítek přístroje
- obr. 4: Motiv DPS zesilovače
- obr. 5: Osazovací plánec DPS zesilovače - strana spojů
- obr. 6: Osazovací plánec DPS zesilovače - strana součástek
- obr. 7: Zesilovač pro nedoslýchavé
- obr. 8: Vnitřní provedení zesilovače
- obr. 9: Schéma zapojení vysílače pro indukční smyčku
- obr. 10: Motiv DPS vysílače pro indukční smyčku
- obr. 11: Osazovací plánec DPS vysílače pro indukční smyčku - strana spojů
- obr. 12: Osazovací plánec DPS vysílače pro indukční smyčku - strana součástek
- obr. xx: další přiložené fotografie? (dle uvážení redakce)

Obrázky jsou v souborech Obrazek xx v GIFu nebo bitmapě, schémata a desky jsou navíc v Eaglu 4.11 (jde otevřít a editovat i freeware verzí Eagla). Případná silová schémata (.sxe) jsou v Qcadu (Proficad).

Motivy DPS mají rozlišení 1200dpi, osazovací plánky 600dpi.