

# Ekvalizér a limiter digitální

Ivo Stražil

Před nedávnem mě kamarád muzikant požádal, zda bych mu nevyrobil nějaký kvalitnější ekvalizér a kompresor dynamiky, samozřejmě co nejlevněji. Protože od realizace z diskretních součástek mě odradila její složitost a zejména cena, hledal jsem vhodné integrované obvody, se kterými bych mohl realizovat celé zařízení co nejjednodušeji.

Protože moje zkušenosti s podobnými IO s plně analogovým zpracováním signálu nejsou právě ideální (zkreslení, příliš hrubé kroky nastavení, různé pazvuky při přenosu dat atd.), rozhodl jsem se použít plně digitální zpracování zvuku pomocí předprogramovaného digitálního signálního procesoru (DSP).

Aby bylo možné komfortně ovládat všechny funkce DSP, je zařízení navrženo pro ovládání pomocí osobního po-

čítače. Volně šířitelný ovládací software umožňuje z jednoho počítače současně řídit až šest přístrojů, například pro použití ekvalizérů/kompresorů jako předzesilovačů jednotlivých kanálů mixážního pultu.

## Technické parametry

Napájecí napětí: 5 V.  
Odběr proudu: 180 mA.  
Vstupní impedance: 4 kΩ.

Harmonické zkreslení (THD+N, 1 kHz, 0 dB): <0,005 %.  
Rozměry: 75 x 60 x 18 mm.

## Použité IO

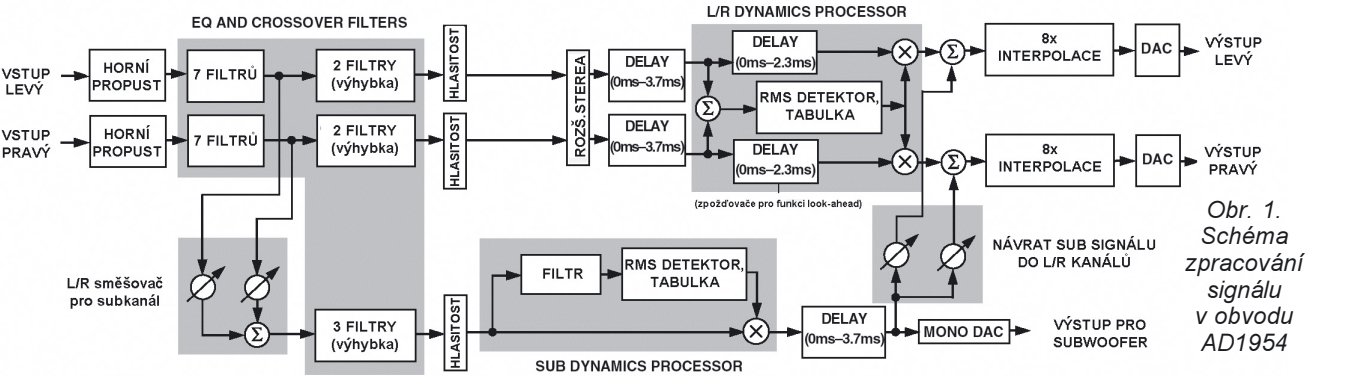
**AD1954** je 26bitový procesor DSP pro zpracování zvuku s již z výroby nahraným programem. Obvod přijímá digitalizovaná zvuková data z externího převodníku A/D, zpracovává je podle schématu na obr. 1 a z IO vystupuje již „hotový“ analogový signál.

Obvod má tři analogové výstupy, z nichž je jeden určen pro subwoofer a je vybaven samostatným kompresorem/limiterem.

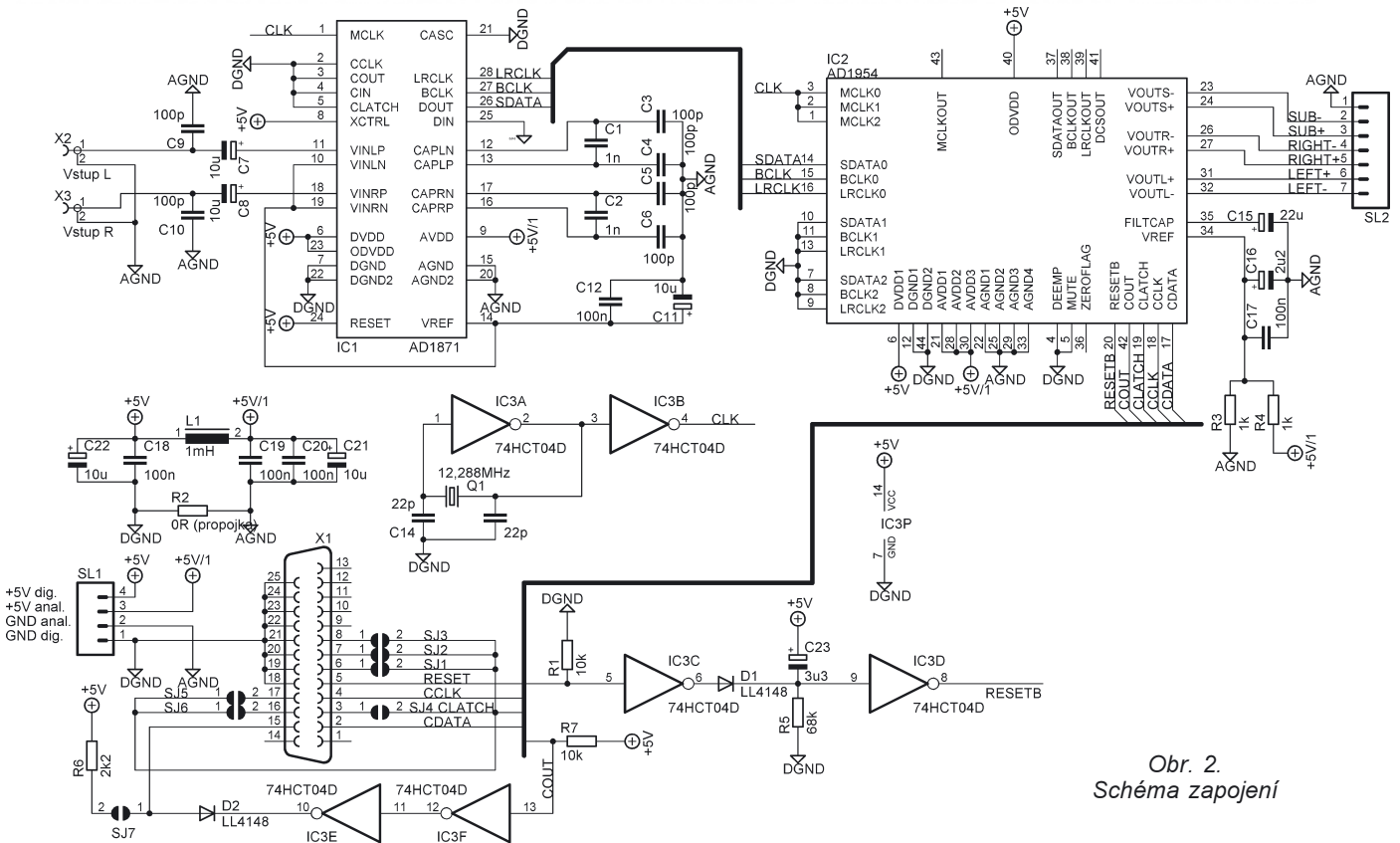
Většina výpočtů je uskutečněna ve 48bitové aritmetice s možností přebuzení uvnitř IO až o 12 dB, odstup s/š je typicky 109 dB.

Obvod byl použit v pouzdře MQFP44 pro plošnou montáž.

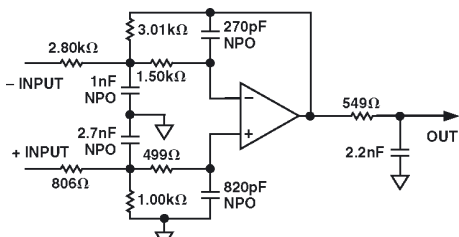
**AD1871** je 24bitový stereofonní převodník A/D v pouzdře SSOP28 určený pro náročné aplikace s maximální vzorkovací frekvencí 96 kHz a odstupem s/š



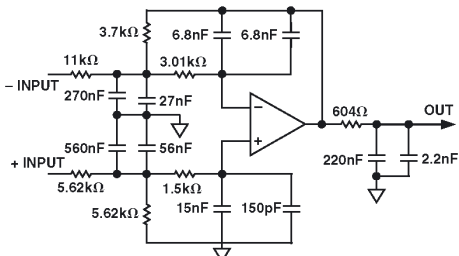
Obr. 1. Schéma zpracování signálu v obvodu AD1954



Obr. 2. Schéma zapojení



Obr. 3. Schéma filtru pro hlavní kanály



Obr. 4. Schéma filtru pro subwoofer

typicky 106 dB. AD1871 lze ovládat po SPI portu, nebo zjednodušeně pomocí několika řídicích vstupů.

### Popis zapojení

Schéma zapojení je na obr. 2. K převodníku A/D je přiveden signál dvěma konektory CINCH, X2 a X3. Provozní režim IC1 je nastaven napevnou zemněním vývodů 2 až 5 na vzorkovací frekvenci 48 kHz, přesnost 24 bitů a synchronní sériový formát dat I<sup>2</sup>S, kdy IC1 posílá bity od nejvyššího po nejnižší po vodiči SDATA a potvrzuje je vzestupnou hranou na vývodu BCLK. Vzestupná hrana na vývodu LRCLK označuje začátek přenosu dat pravého kanálu, sestupná levého.

Digitalizovaný zvuk vstupuje do IC2 jeho prvním vstupem, v případě potřeby je po drobné úpravě SW možné využít i oba zbývající vstupy.

Program v signálovém procesoru (viz obr. 1) z dat nejprve horní propustí odstraní digitální posuv od nuly („stejnou směrnou složku“), dále data projdou sedmi programovatelnými filtry, které mohou pracovat např. jako jednotlivá pásma parametrického ekvalizéru. Výstup z ekvalizéru je přiveden na další dva filtry, které mohou být nastaveny jako přídatná pásma ekvalizéru nebo jako aktivní reproduktorová výhybka. Přes směšovač odbočuje část signálu pro subwoofer, kterou upravuje trojice filtrů.

Za blokem filtrů je umístěn regulátor hlasitosti a patentovaný algoritmus rozšíření stereobáze na principu zvětšování fázového rozdílu signálů s nízkou frekvencí mezi levým a pravým kanálem. Všechny tři kanály obsahují i nezávislou kompenzaci zpoždění do délky 3,33 ms - to odpovídá posunutí reproduktoru o asi 1,2 m.

Následují dva kvalitní kompresory/limitery: jeden pro oba kanály stereo a druhý pro subwoofer. Oba kompresory jsou vybaveny detektorem efektivní hodnoty signálu s bohatými možnostmi nastavení a tabulkou, do které lze ve 33 krocích zapsat požadovaný průběh kompresní křivky. Detektor hlavního kompresoru je navíc vybaven funkcí „look-ahead“, tedy vstup detektoru je umístěn před zpožďovačem. Díky tomu může detektor vyhodnotit změnu amplitudy ještě předtím, než signál dosáhne násobiče.

Je známo, že použití více nezávislých kompresorů, pracujících v různých frekvenčních rozsazích vede k lepšímu výslednému zvuku než použití jediného kompresoru, kdy hlasité basy mohou nepříjemně modulovat zesílení celého signálu. Použitím dvou kompresorů pracujících zvlášť s nízkými (kanál subwooferu) a s vysokými frekvencemi je tento efekt výrazně omezen. V případě, že

AD1954 pracuje jen v dvoukanálovém módu, lze část signálu pro subwoofer navrátit do hlavních kanálů a tedy využít výhod dvoupásmového kompresoru.

IC2 má diferenciální výstupy, které jsou přímo vyvedeny na konektor SL2. Můžete buď využít vždy jeden výstup z dvojice, nebo na ně podle doporučení výrobce připojit externí filtry kombinované s diferenciálním zesilovačem (obr. 3, 4). Je použita Besselova dolní propust 3. řádu s mezním kmitočtem 100 kHz pro hlavní kanály a 10 kHz pro subwoofer.

Zpracování signálu v obvodu AD1954 je řízeno sběrnici SPI, která je emulována paralelním portem počítače PC. Obslužný software umožňuje na jeden port počítače připojit současně až šest přístrojů, proto má každý přístroj nastavenou jedinečnou adresu propájením jedné z propojek SJ1 až SJ6, které spojují signál, povolující komunikaci s IC2 (CLATCH). Vstup dat (CDATA) a hodinový signál (CCLK) jsou připojeny přímo na port.

Výstup dat z IC2 - vývod COUT - je oddělen a výkonově posílen hradly IC3E a IC3F, protože některé paralelní porty mají vstupní proud značně přesahující možnosti budiče v IC2. Diody D2 a rezistor R6 tvoří spolu s dalšími případně připojenými zařízeními funkci montážního součinu. Propojku SJ7 je nutné propojit u právě jednoho připojeného přístroje nebo v případě, že bude zařízení provozováno samostatně. V době, kdy IC2 nevysílá data a přepíná svůj výstup COUT do stavu vysoké impedance, rezistor R7 udržuje na tomto výstupu logickou 1, aby byla umožněna komunikace ostatním obvodům.

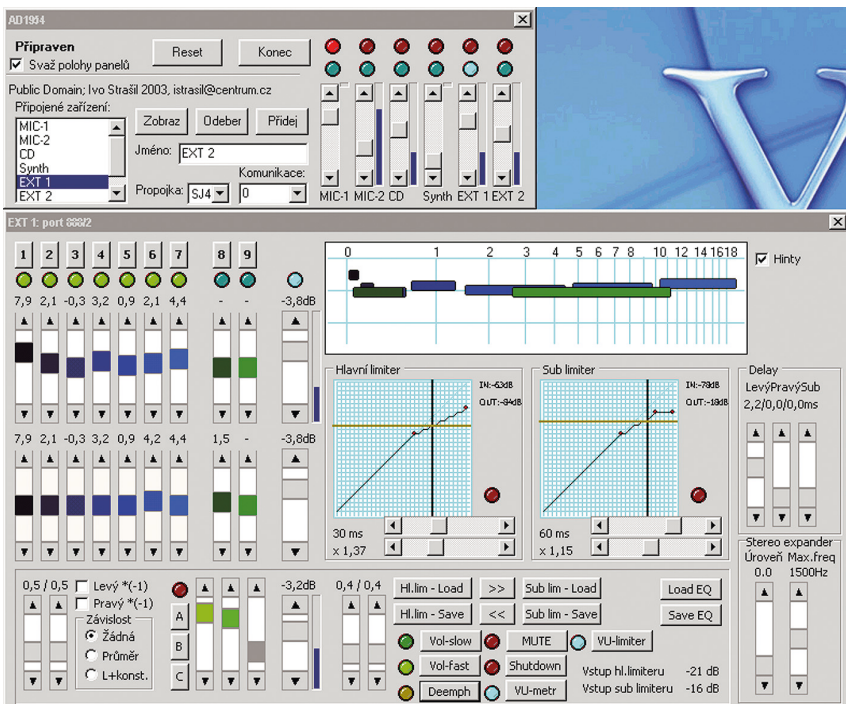
Inventory IC3C a IC3D nulují DSP při přivedení napájení nebo při požadavku na vývodu 5 paralelního portu. Rezistor R1 udržuje obvod ve stavu RESET, pokud zařízení není propojeno s počítačem.

Krystalový oscilátor s hradlem IC3A generuje taktovací kmitočty 12,288 MHz, tj. 256násobek vzorkovací frekvence 48 kHz. Ten je po oddělení přiveden na hodinové vstupy převodníku A/D IC1 i DSP IC2. Při použití více zařízení zároveň může být pro minimalizaci rušení vhodné použít pro všechny obvody společný oscilátor.

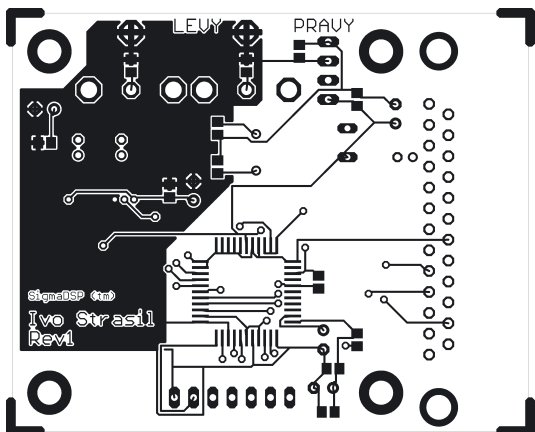
Zařízení je napájeno ze stabilizovaného zdroje 5 V, připojeného na špičky 1 a 4 konektoru SL1. Napájení analogové části přístroje je odděleno tlumivkou L1 a propojkou R2, případně je také dostupné na špičkách 2, 3 SL1.

### Obslužný software

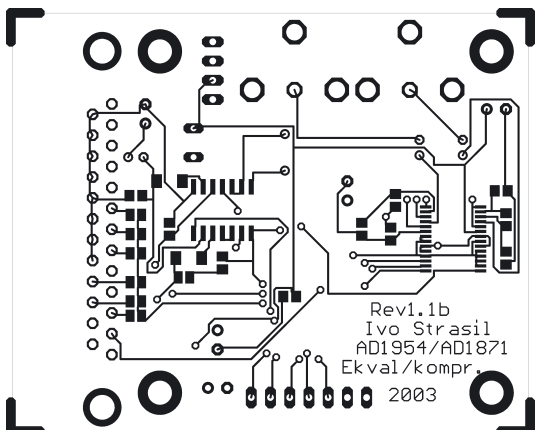
Na obr. 5 je obrazovka jednoduchého ovládacího programu, který je volně dostupný i se zdrojovými kódy na mých stránkách [www.egmedical.cz/istrasil](http://www.egmedical.cz/istrasil) (nebo na [www.aradio.cz](http://www.aradio.cz)). Program umožňuje ovládat téměř všechny funkce AD1954, ukládat nastavení kompresorů a nastavení ekvalizéru. Umí také z obvodu vyčíst aktuální úroveň signálu a pro snazší nastavování kompresorů ji vyznačit čarou v kompresní křivce.



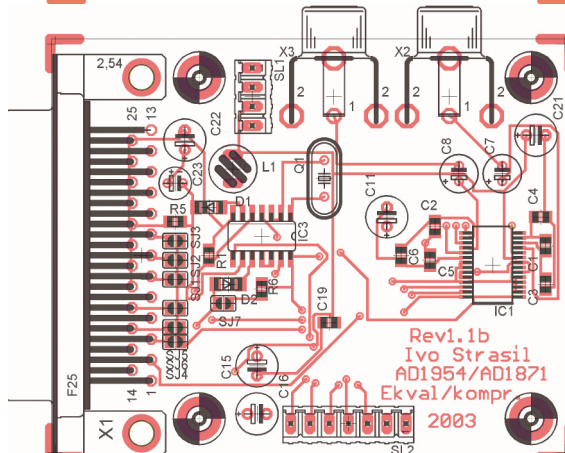
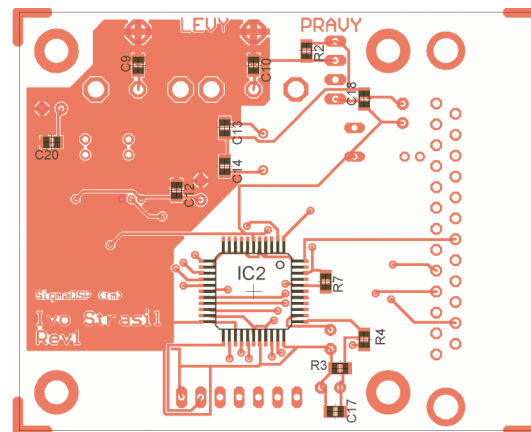
Obr. 5. Ovládací program



Obr. 6.  
Deska  
s plošnými  
spoji (horní  
strana)



Obr. 7.  
Deska  
s plošnými  
spoji  
(spodní  
strana)



Program pracuje ve Windows 95 a vyšších, ve Windows NT/2000/XP je nutné použít příložený driver pro paralelní port.

Soubor základních rutin komunikace se zařízením je definován jako objekt, takže vytvoření vlastního ovládacího programu by nemělo být příliš obtížné.

V případě, že má být umístěno více zařízení v jednom celku, je nejjednodušší umístit jednotlivé desky nad sebe, sešroubovat distančními sloupky a konektory X1 všech desek spojit s počítačem plochým kabelem se samořeznými konektory.

IC2 AD1954YS (MQFP44)  
IC3 74HCT04 (SO14)  
L1 1 mH, radiální  
Q1 12,288 MHz  
SL1 PSH02-04P  
SL2 PSH02-07P  
X1 Cannon 25 zástrčka úhlová do DPS  
X2, X3 Cinch do DPS (MR-571L)

## Konstrukce

Celý přístroj je umístěn na oboustranně prokovené desce s nepájivou maskou (viz obr. 6, 7). Nejprve osadíme všechny tři IO, nejlépe pomocí pájecí pasty. Postup není komplikovaný, stačí IO pevně přichytit svěrkou nebo přilepit na místě, kde má být zapájen, potříť nožičky velmi malým množstvím pájecí pasty a pastu důkladně přetavit pomalým přejetím nožiček IO hrotem mikropájký nebo horkovzdušnou pistolí. Pájená místa potom důkladně omyjte lihem a destilovanou vodou (toluen není vhodný, rozpouští totiž nepájivou masku).

**Pozor:** zbytky nepřetavené pájecí pasty nesmí zůstat na desce (bývají hlavně v prostoru mezi nožičkami a tělem IO), protože vytváří silné svodové proudy a v nejhorším případě může dojít i ke vznícení desky (viděl jsem na vlastní oči).

Nicméně pájení IO pro povrchovou montáž není až tak velkým problémem, jak se může zdát. Stačí trpělivost, pevná ruka a výsledek vypadá téměř strojevě.

Dále osadíme zbývající pasivní součástky a nakonec konektory.

Zařízení může být použito jako vestavný modul, umístěno do krabičky (např. UK54) nebo jako holá deska přímo zasunuta do paralelního portu PC.

## Oživení

Připojíme celé zařízení na stabilizovaný zdroj 5 V/200 mA a čítačem nebo osciloskopem zkontrolujeme funkci oscilátoru na vývodu 4 IC3. Propojíme přístroj s počítačem a vyzkoušíme všechny funkce DSP.

Pokud se z výstupu ozývá jen silný šum, je na vině pravděpodobně špatně blokované napájení nebo je oscilátor nestabilní. Funkci převodníku A/D lze ověřit logickým analyzátozem nebo alespoň čítačem zkontrolovat přítomnost taktovacích signálů na vývodech 27, 28 IC1.

## Seznam součástek

R1, R7	10 kΩ, 0805
R2	0 Ω (propojka) 0805
R3, R4	1 kΩ, 0805
R5	68 kΩ, 0805
R6	2,2 kΩ, 0805
C1, C2	1 nF, 0805
C3 až C6, C9, C10	100 pF, 0805
C7, C8, C11,	
C21, C22	10 μF/16 V
C12, C17 až C20	100 nF, 0805
C13, C14	22 pF, 0805
C15	22 μF/16 V
C16	2,2 μF/16 V
C23	3,3 μF/16 V
D1, D2	LL4148 (SOD80C)
IC1	AD1871YRS (SSOP28)

## Závěr

Digitální zpracování zvuku umožňuje dosáhnout obdobných výsledků jako analogové zpracování při výrazně lepších možnostech nastavení a řádově menší složitosti. Využití počítače jako ovládacího pultu dále zvyšuje možnosti zařízení (ukládání charakteristik, případně částečná automatizace, MIDI) a řádově zlevňuje celé zařízení - jen cena ovládacích prvků klasického panelu (potenciometry, spínače...) by v tomto případě přesahovala 3 500 Kč, pro šest přístrojů, které lze ovládat z jednoho PC tedy více než 20 000 Kč.

**Pokud máte jakékoliv náměty, dotazy nebo připomínky, kontaktujte mě prosím na [ivo.strasil@centrum.cz](mailto:ivo.strasil@centrum.cz)**

Podklady pro výrobu DPS jsou dostupné na [www.egmedical.cz/istrasil](http://www.egmedical.cz/istrasil).

V případě zájmu čtenářů mohou doplnit do ovládacího programu ukládání stavu všech ovladačů, automatický fade-in/out, případně i další funkce.

## Literatura

- [1] [www.analog.com](http://www.analog.com) - katalogové listy AD1871 a AD1954  
[2] [www.bezstarosti.cz](http://www.bezstarosti.cz)  
[2] Archiv konference hw-news: [list-archive.gin.cz/hw-news](http://list-archive.gin.cz/hw-news)