

HIFI D/A CONVERTER AND HEADPHONE AMPLIFIER

Pavel Doležal

Master Degree Programme (2.), FIT BUT

E-mail: xdolez08@stud.fit.vutbr.cz

Supervised by: Václav Šimek

E-mail: simekv@fit.vutbr.cz

Abstract: This paper deals with a design of high-performance D/A converter and headphone amplifier for Hi-Fi class stereo applications. Firstly, the attention is given to the general aspects of the underlying communication protocols and modular design approach. In second part of this contribution parameters of specific circuits are compared, component selection and price discussed.

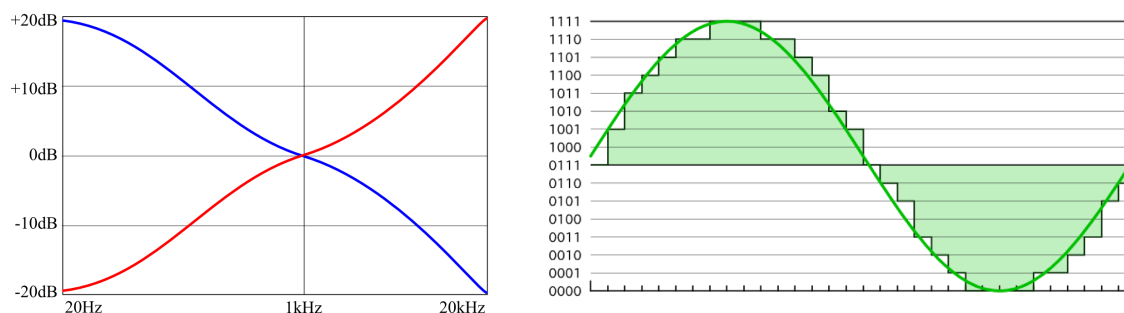
Keywords: Converter, Audio, DAC, S/PDIF, Toslink, I²S, AES, STM32, Amplifier

1 ÚVOD

Příchod digitálních metod záznamu zvuku v 80. letech minulého století byl počátkem revoluce v uchovávání zvukových dat. Poprvé v historii kvalita reprodukce nebyla přímo závislá na kvalitě záznamového média a mechanických kvalitách přehrávacího zařízení. Přesto že od uvedení standardu CD-DA letos uplyne celých 35 let, parametry záznamu se změnily jen velmi málo. Naopak díky masovému používání ztrátových kompresních algoritmů je dnes kvalita nahrávek dostupných běžnému posluchači paradoxně mnohem horší než ta, kterou je schopno nabídnout zastarávající hudební CD.

2 NEVÝHODY ANALOGOVÉHO A DIGITÁLNÍHO ZÁZNAMU

Mezi audiofilly bez technického povědomí bývá jakákoli digitální forma záznamu vnímána jako něco znehodnoceného. Ačkoli má tento argument reálný základ, lze tento nedostatek odstranit navýšením vzorkovací frekvence a případně dodatečnými metodami jako je oversampling. Důležitějším a přehlíženým faktem ovšem je, že teprve s příchodem digitálních formátů zvuku odpadla nutnost používání korekčních předzesilovačů. Jen pro gramofonové desky existují desítky typů korekčních křivek jako například RIAA, které podle použitého materiálu desky, rychlosti, typu a tvaru jehly zdůrazňují basy a potlačují výšky. Cílem je snaha o vyrovnanou reprodukci v celém slyšitelném pásmu. Digitální záznam zvuku není třeba nijak upravovat.



Obrázek 1: Korekční křivka RIAA pro LP a PCM vzorkování digitálního signálu.

3 HIFI D/A PŘEVODNÍK

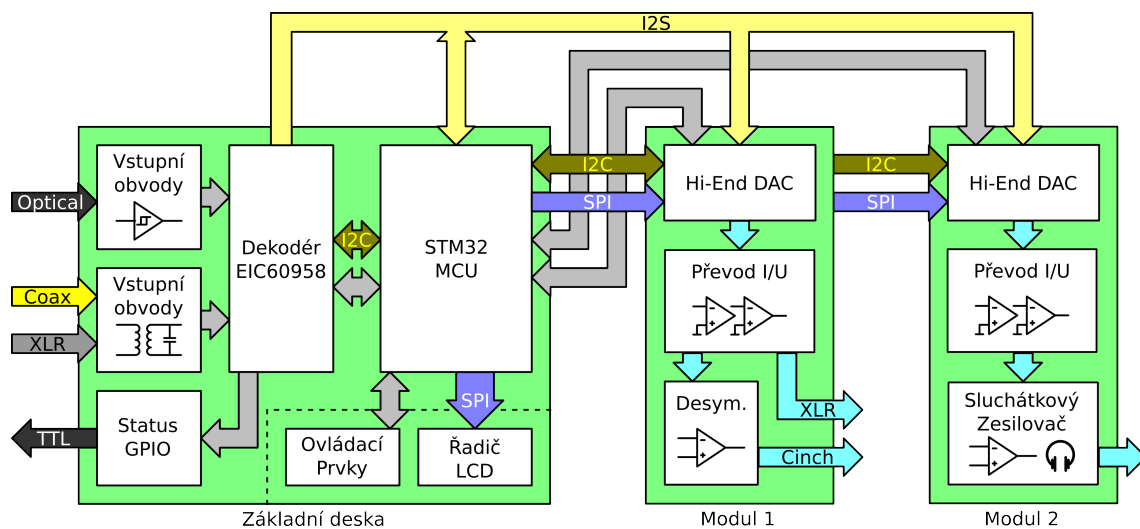
Současně s příchodem digitálních formátů na trh vznikly standardy pro externí a interní přenos digitálních audio dat. Pro komunikaci mezi přístroji byl navržen standard S/PDIF definovaný normou EIC60958. Pro interní přenos mezi obvody v rámci jednoho zařízení sběrnice I²S. Oba standardy jsou pro přenos nekomprimovaného digitálního audia používány dodnes. Pouze původní rozlišení 16 bitů a vzorkovací frekvence 44,1/48 kHz se zvýšily na dnes plně dostačujících 24 bitů a 192 kHz. Bez ohledu na formát a kompresi zdrojových dat, jsou vstupem pro DAC vždy nekomprimované PCM vzorky přenášeny po sběrnici I²S.

3.1 SBĚRNICE I²S

I²S je třívodičová sběrnice obsahující signály DATA, CLK a signál WS definující zda jsou přenášena data pro levý či pravý kanál. Sběrnice vždy propojuje jedno zařízení typu master s jedním nebo více zařízeními typu slave. Vstupní buffery všech přijímacích zařízení jsou navrženy jako posuvné registry a data jsou odesílána v pořadí MSB first. To velmi elegantně umožňuje propojení obvodů s rozdílným rozlišením. Je-li přenášený vzorek dat delší než rozlišení obvodu, jsou poslední bity vzorku zahozeny, v opačném případě interně doplněny nulami. Tato vlastnost umožnila bezproblémové navýšení počtu bitů i vzorkovací frekvence při zachování zpětné kompatibility.

3.2 BLOKOVÉ SCHÉMA PŘEVODNÍKU

Konstruovaný D/A převodník je navržen jako stereofonní. Disponuje koaxiálním, XLR a optickými vstupy, je řízen mikrokontrolérem STM32F051R8T6 a využívá dekodér Cirrus Logic CS8416 [1]. Konstrukce je modulární s ohledem na výměnu modulů analogových částí za jiné s lepšími parametry. Základní deska obsahuje dekodér, řídicí mikrokontrolér, vstupní obvody pro jednotlivé zdroje signálu, pomocné obvody a konektory pro připojení displeje a ovládacích prvků. Do základní desky je možno



Obrázek 2: Blokové schéma převodníku.

osadit dva moduly se samotným převodníkem a operačními zesilovači. Pro oba moduly je k dispozici symetrické napájení +15 V/-15 V, pomocné napájení 6 V, sběrnice I²C, SPI a vybrané GPIO piny mikrokontroléru pro nastavování provozních parametrů převodníků. Operační zesilovače na modulech jsou osazeny v precizních patičkách, sluchátkový zesilovač je realizován obvodem TPA6120. Ovládání hlasitosti je řešeno softwarově pomocí říditelného útlumu přímo v převodníku, pokud převodník osazený na modulu touto funkcí disponuje.

3.3 VYBRANÉ PARAMETRY HI-FI D/A PŘEVODNÍKŮ

Obvody uvedené v tabulce jsou vhodné pro konstrukci výměnných modulů pro převodník. Jsou schopny zpracovat 24 bit/192 kHz signál a mají odstup signál/šum lepší než 120 dB. V době psaní článku se jedná o obvody s nejlepšími parametry na trhu.

		PCM1792	PCM1794	PCM1795	PCM1796	AD1955	CS4398	WM8741
Rozlišení	bit	16–24	16–24	16–32	16–24	16–24	16–24	16–24
Vzorkovací frekvence	kHz	10–200	10–200	10–200	10–200	32–192	32–216	32–192
Ovládání obvodu		SPI/I ² C	HW	SPI/I ² C	SPI/I ² C	SPI	SPI/I ² C	SPI/HW
THD+N _{48kHz}	%	0,0004	0,0004	0,0005	0,0005	0,0003	0,0004	–
THD+N _{192kHz}	%	0,0015	0,0015	0,0015	0,0015	–	–	0,0010
Odstup signál/šum	dB	129	129	123	123	120	120	120
Dynamický rozsah	dB	129	129	123	123	120	120	125
Separace kanálů	dB	120	121	117	117	125	110	130
Převzorkování		8×	8×	8×	8×	8×	3 úrovně	3 úrovně
DSD režim (SACD)		Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano
Regulace hlasitosti		Ano	Ne	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano

Obrázek 3: Přehled základních parametrů vybraných D/A převodníků

3.4 POUŽITÉ SOUČÁSTKY A CENOVÁ KALKULACE

Při konstrukci byly použity převodníky PCM1792 pro sluchátkový a PCM1974 pro linkový výstup [2]. Obvody byly vybrány na základě své příbuznosti, vynikajících hodnot odstupu signálu od šumu a dynamického rozsahu, ale i kvůli možnosti objednání vzorků přímo od Texas Instruments. Koncový stupeň sluchátkového zesilovače je schopen dodat výkon 80 mW na kanál při impedanci 600 Ω což je dostatečný výkon i pro provoz netypických sluchátek.

Cenová náročnost konstrukce je závislá od osazených komponent. Největšími položkami jsou převodníky (800 Kč a 500 Kč), transformátory Talema (500 Kč a 350 Kč) a operační zesilovače (60–250 Kč/ks). Cenu ostatních komponent potřebných pro konstrukci lze odhadnout na 1000–1500 Kč. Celková cena se pohybuje v rozmezí 4000–6000 Kč.

4 ZÁVĚR

Výsledný převodník je puristická konstrukce kladoucí maximální důraz na kvalitu stereo reprodukce. Parametry použitých součástek neposkytují velký prostor pro další zlepšení. Z pohledu dalšího rozvoje této práce se nabízí možnost navrhnout novou základní desku s průchozím HDMI rozhraním osaditelnou třemi moduly pro 5.1 prostorový zvuk. Vícekanálové D/A převodníky používané výrobci spotřební elektroniky mají mnohem horší parametry než moduly navržené v této práci.

PODĚKOVÁNÍ

Článek vznikl za podpory projektu VUT v Brně FIT-S-14-2297.

REFERENCE

- [1] [Online] Katalogový list obvodu Cirrus Logic CS8416 [cit. 2014-03-25]
http://www.cirrus.com/en/pubs/proDatasheet/CS8416_F3.pdf
- [2] [Online] Katalogový list obvodu BurrBrown PCM1792A [cit. 2014-03-25]
<http://www.ti.com/lit/ds/sles105b/sles105b.pdf>