

ACTIVE NOISE REDUCTION

Ondřej Bulva

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xbulva00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Jaroslav Balogh

E-mail: balogh@phd.feec.vutbr.cz

Abstract: This project deals with problems of active noise cancellation. The aim of this work is to design device for active noise cancellation in hearing protectors based on affordable digital signal processing from Analog Devices. As the signal processor was chosen model ADAU1701. After considering all the circumstances, was elected the feedforward noise cancellation system.

Keywords: active noise reduction, digital signal processor, feedforward, sigmaDSP.

1 ÚVOD

Sluch patří mezi čtyři speciální smysly, kterými člověk vnímá své okolí. Je to však smysl velice náchylný na poškození nadměrnou hladinou akustického tlaku. I ruch, který nedosahuje škodlivé hodnoty akustického tlaku má vliv na psychiku člověka a snižuje jeho koncentraci a tvořivost. Pro ochranu sluchu před rizikovými faktory byla vyvinuta řada ochranných pomůcek (chráničů sluchu), jako jsou například špunty do uší a ochranná sluchátka. Tato práce je zaměřena na problematiku aktivního potlačení hluku. Cílem je navrhnout a zrealizovat ochranná sluchátka pracující na tomto principu a doplňují klasická ochranná sluchátka o další funkce. Po nastudování samotného principu aktivního potlačení hluku a seznámení se s digitálními signálovými procesory firmy Analog Devices bylo zvoleno řešení metodou feedforward s DSP ADAU1701 z řady SigmaDSP.

2 AKTIVNÍ POTLAČENÍ HLUKU

Chrániče sluchu s aktivním potlačením hluku spočívají na principu potlačení hluku, procházející přes pasivní chránič, přičemž je snahou docílit nejdokonalejšího potlačení hluku. Tyto systémy fungují na principu interferencí zvukových vln. Hluk je snímán mikrofony, zpracován a následovně s opačnou fází a přesnou ekvalizací a amplitudou generován elektroakustickými měniči. V ideálním případě nastane jev záporné interference a zvukové vlny se odečtou. Podle způsobu snímání hluku a následného zpracování rozdělujeme aktivní potlačení hluku na takzvané feedback a feedforward systémy.

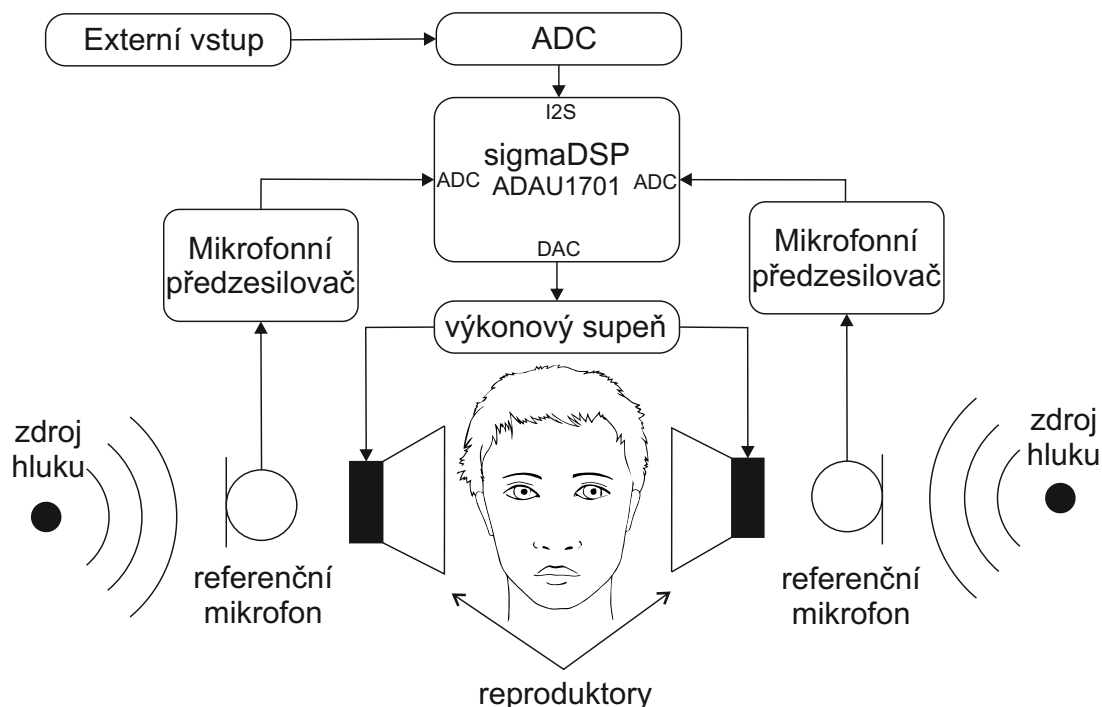
Feedback active noise control, neboli zpětnovazební aktivní potlačení hluku je založeno na snímání hluku za generátorem rušícího signálu. Tento signál je označován jako chybový signál, ten je dále zpracován a upravený vysílán reproduktorem. Systém se snaží úpravou parametrů dosáhnout potlačení hluku až do stavu, kdy je hluk snímán tzv. chybovým mikrofonom roven nule. Toto řešení je účinné jen v úzkém pásmu frekvencí (obvykle maximálně stovky Hz). Na vzájemném umístění mikrofonu a reproduktoru je závislá stabilita a účinnost celého systému. Zvláště náchylný je tento systém být na pozitivní zpětnou vazbu.[1]

Feedforward active noise control, neboli dopředné aktivní potlačení hluku se snímáním hluku referenčním mikrofonom je založeno na snímání hluku z okolí, zpracování signálu (ekvalizace, zpoždění, otočení fáze) a následném generování reproduktorem. Zvukové vlny v protifázi se odečtou a výsledkem je prostředí s potlačeným hlukem. Tento princip potlačení byl zvolen pro navrhované zařízení.[2]

3 NÁVRH ZAŘÍZENÍ

Na základě znalostí získaných při studování teorie aktivního potlačení hluku bylo rozhodnuto navrhnout zařízení pro aktivní potlačení hluku na bázi ochranných sluchátek, které budou doplněny mikrofony, zpracováním signálu a elektroakustickými měniči. Sluchátka mají krom aktivního potlačení hluku schopnost přivedení audio signálu z externího zdroje, kterým může být například intercom, nebo jiné dorozumívací zařízení. Důležitým kritériem úspěšnosti je dosažení nízké latence při digitálním zpracováním zvuku. Při těchto aplikacích je právě zpoždění zanesené do signálu AD a DA převodem, popřípadě samotným zpracováním velice kritické a je snahou ho co nejvíce minimalizovat. V případě vysoké latence zařízení ztrácí efektivitu a dokáže potlačit jen periodické signály. Jako nejvíc kritické se jeví použití sigma-delta AD převodníků, které se v audiotechnice používají nejčastěji a zavádějí do signálu nezanedbatelnou latenci v řádu stovek μs . Dalším zdrojem latence je použití FIR filtrů, které zavádějí do signálu latenci v počtu vzorků odpovídající polovině impulsní charakteristiky. S těmito všemi faktory se musí ve finálním návrhu počítat.[3]

Na obrázku 1 je vyobrazeno blokové schéma zařízení



Obrázek 1: Blokové schéma.

Zpracování zvuku je zprostředkováno signálovým procesorem od firmy Analog Devices, konkrétně modelem ADAU1701, který nabízí výkon 50MIPS při frekvenci taktování jádra 50MHz. Je vybaven dvěma analogovými vstupy a čtyřmi analogovými výstupy s AD/DA převodníky o maximální vzorkovací frekvenci 192kHz a rozlišením 24 bitů. Disponuje funkcí self-boot ze sériové EEPROM, tudíž nemusí být k jeho řízení použit jiný procesor. Při vzorkovací frekvenci 192kHz a 1024 instrukcích na vzorek zavádí DSP do signálu zpoždění zhruba 1ms. Při délce 4x256 instrukcí za vzorek bylo s integrovanými převodníky dosaženo latence 120 μs . Za tuto dobu urazí zvuk vzdálenost zhruba 4cm, což je na hranici konstrukčního návrhu, avšak vyhovující. DSP podle počtu instrukcí za vzorek udržuje konstantní latenci pro všechny kanály nezávisle na vnitřních programových blocích. Hluk z okolí je snímán dvěma mikrofony. Pro každé ucho zvlášť. Pro snímání jsou testovány mikrofonní vložky Panasonic WM61-A a miniaturní mikrofony Analog Devices ADMP411. Obě vložky disponují stej-

ným odstupem signál šum a to 62dB. ADMP411 má vyšší citlivost -46dBV, WM61-A disponuje citlivostí -35dBV. ADMP dokáže dle údajů výrobce zpracovat akustický tlak až 131dB SPL. Tyto mikrofony byly vybrány kvůli jejich dostupnosti, rozměrům pouzdra a zejména kvůli jejich vysoké hodnotě maximálního akustického tlaku, vyrovnanému a širokému frekvenčnímu rozsahu. O zesílení signálu na požadovanou úroveň se stará operační zesilovač s malou spotřebou a nízkou hodnotou šumu ADA4075-2. Mikrofon ADMP411 při maximální hladině akustického tlaku 131dB generuje na výstupu napětí o maximální hodnotě 0,355V RMS. Daný předzesilovač by měl mít tedy zesílení $A \cong 6$. [5] Vzhledem ke snaze udělat sluchátka s aktivním potlačením hluku multifunkčními a zajistit tak vyšší komfort při dorozumívání a zvýšit bezpečnost na pracovišti, bylo rozhodnuto rozšířit analogové vstupy DSP o další dva kanály, které budou tvořit stereo pár pro připojení zdroje zvuku z externího zařízení. Jako AD převodník byl zvolen PCM4202 od výrobce Texas Instruments. Tento typ byl zvolen především kvůli podpoře sběrnice I2S, kterou bude propojen s DSP a možností nastavit veškeré jeho parametry hardwarově. Odpadla tedy opět nutnost řídit AD převodník po sběrnici SPI. PCM4202 dokáže pracovat na vzorkovací frekvenci až 192kHz s 24bit přesností, což je pro dodatečný audio vstup více než dostačující. [6] Jako hlavní konstrukce a základní ochrana sluchu jsou použity klasické mušlové chrániče sluchu, ve kterých jsou nainstalovány reproduktory a elektronika aktivního potlačení hluku. Jako reproduktory jsou použity měniče ze sériově vybraných sluchátek, které byly vybrány podle požadavků na rozměry, frekvenční rozsah a maximální příkon. Úkolem samotného DSP je provést patřičné ekvalizace vstupního signálu z mikrofonů a vyrovnat tak rozdíly ve frekvenčních charakteristikách mikrofonů, reproduktorů a samotné konstrukce sluchátek. Pomocí GPIO bude možné uživatelsky nastavit hlasitost externího vstupu, popřípadě jej úplně vypnout.[4] [5] [6]

4 ZÁVĚR

Pro účely odladění byl použit vývojový kit DSP EVAL-ADAU1701MINIZ. Další části zařízení byly odladěny na nepájivém poli. Později byl vyroben modul DSP pro připojení přímo do nepájivého pole z důvodu vyšší variability. Procesory sigmaDSP i sériové paměti EEPROM byly programovány výrobcem dodávaným softwarem SigmaStudio přes rozhraní USB-I2C. Zařízení je v době publikace ve fázi prototypu na nepájivém poli a je ve stádiu výroby plošných spojů a testování.

REFERENCE

- [1] Piroddi, L: Milano. Active noise control course notes - 8.Feedback active noise control. 2012.
- [2] Piroddi, L: Milano. Active noise control course notes - 5A. Broadband feedforward ANC: the FxLMS algorithm. 2012.
- [3] Kruger, H., a další: Investigation and Development of Digital Active Noise Control Headsets. Tel Aviv, 2010, Sv. Workshop on Acoustic Echo and Noise Control (IWAENC)
- [4] Analog Devices, Inc.: ADAU1701 Datasheet. Analog Devices, Semiconductors and Signal Processing ICs. [Online] 2007-2011. Citace: [2.3.2014] http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADAU1701.pdf.
- [5] Analog Devices, Inc.: ADA4075-2 Datasheet. Analog Devices, Semiconductors and Signal Processing ICs. [Online] 2007-2011. Citace: [2.3.2014] http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADA4075-2.pdf.
- [6] Texas Instruments : PCM4202 Datasheet. Analog, Embedded Processing, Semiconductor Company, Texas Instruments - TI.com. [Online] 2007-2011. Citace: [2.3.2014] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcm4202.pdf>.