

NOISE METER AND SOUND DETECTOR

Petr Jedlička

Bachelor Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xjedli23@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Aleš Povalač

E-mail: povalac@feec.vutbr.cz

Abstract: This paper describes design and construction of a noise meter, which measures sound pressure level. The device can be set either for weighting filter A or for weighting filter C considering the characteristics of human hearing. The device also allows two modes, Fast and Slow, depending on the rate of changes of sound pressure level. It is possible to send measured data to a PC through a measuring application. The noise meter can be controlled by buttons or by voice commands.

Keywords: Noise meter, signal processing, decibels, STM32F4 Discovery, ARM, ANSI C

1 ÚVOD

Tato práce se zabývá realizací hlukoměru včetně návrhu číslicových filtrů potřebných pro zpracování zvukového signálu z digitálního mikrofону. Výsledný hlukoměr vyjadřuje míru hluku pomocí hladiny akustického tlaku, která je označována zkratkou SPL, v decibelech a je určen především pro orientační měření hluku v průmyslovém prostředí. Naměřené hodnoty je možné odesílat do PC pomocí USB rozhraní a počítačové měřicí aplikace.

2 HARDWAROVÁ ČÁST

Pro realizaci hlukoměru byla navržena jednostranná deska plošného spoje na substrátu FR4. Řídící jednotkou celého zařízení je vývojová deska STM32F4 Discovery, která je k základní desce připojena pomocí dvou dvouřadých kolíkových zásuvek. Na vývojové desce je osazen mikrokontrolér STM32F407 s architekturou ARM od firmy STMicroelectronics. Uživatelské rozhraní je tvořeno pěti tlačítky a alfanumerickým 16x2 LCD displejem s vestavěným řadičem ST7066U. Snímání zvuku je prováděno pomocí digitálního mikrofónu MP45DT02 od firmy STMicroelectronics, který je osazen přímo na vývojové desce, a který by měl být schopen podle dokumentace měřit hluky až do 120 dB [1]. Hlukoměr je možné napájet buď pomocí USB rozhraní, nebo třemi AA bateriemi, které jsou přes schottkyho diodu a spínač připojeny k vývojové desce, na které je osazen stabilizátor napětí, jehož výstupní napětí 3,3 V slouží i k napájení LCD displeje.

3 ČÍSLICOVÉ FILTRY

Po nastudování problematiky číslicových filtrů z [2] a [3] a normy pro měření hluku z [4] bylo navrženo a do mikrokontroléru implementováno celkem 5 filtrů: 2 váhové filtry, 2 průměrovací filtry a 1 decimální filtr.

3.1 DECIMAČNÍ FILTR

Vzhledem k tomu, že vzorky signálu na výstupu použitého digitálního mikrofónu jsou pouze jednobitové hodnoty s mnohonásobně vyšší vzorkovací frekvencí, než je potřeba podle vzorkovacího teorému, bylo nutné nejprve navrhnout decimální filtr, který jednak sníží vzorkovací frekvenci, a jednak zvýší bitovou hloubku vzorků. Těmto požadavkům nejlépe odpovídá filtr CIC [2].

CIC filtr se skládá z N kaskádně řazených bloků integrátorů následovaných děličkou vzorkovací frekvence a kaskádou N bloků hřebenových filtrů. Pro bitovou hloubku výstupního signálu platí rovnice (1):

$$B_{out} = N \log_2 RM + B_{in}, \quad (1)$$

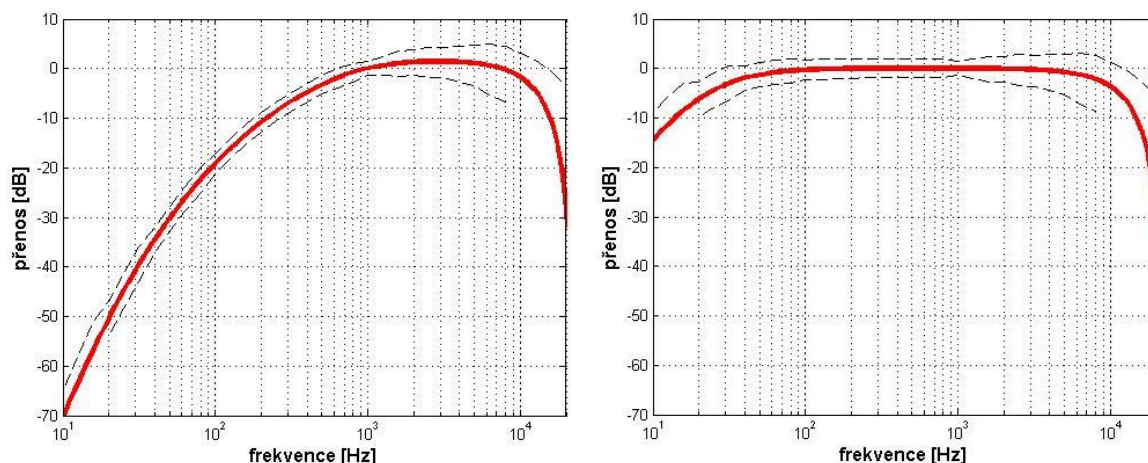
kde N je počet bloků, R je decimační faktor, M je zpoždění hřebenových filtrů a B_{in} je vstupní bitová hloubka [3].

Do decimačního filtru vstupují dvoubitové vzorky, protože log. 0 na výstupu mikrofonu v podstatě představuje hodnotu -1, kvůli čemuž je potřeba druhý bit pro určení znaménka. Pro popisovaný hlukoměr byla zvolena vzorkovací frekvence po decimaci na 44,1kHz, decimační faktor 64, $N = 2$ a zpoždění $M = 1$, z čehož při $B_{in} = 2$ plyne pro výstupní bitovou hloubku $B_{out} = 14$ a pro vzorkovací frekvenci mikrofonu $f_s = 44100 \text{ Hz} \cdot R = 2,8224 \text{ MHz}$.

3.2 VÁHOVÉ FILTRY

Norma pro měření hluku definuje průběhy frekvenčních modulových charakteristik dvou váhových filtrů, které zohledňují vlastnosti lidského sluchu. Tyto dva filtry se označují jako typ A, který je vhodný pro měření hluku přibližně do 90 dB, a typ C, který je naopak vhodný pro vyšší hodnoty hladiny akustického tlaku.

Podle známého vztahu pro absolutní hodnotu komplexního čísla byly vztahy uvedené v normě pro frekvenční modulové charakteristiky upraveny jako absolutní hodnota lomeného výrazu s komplexními čísly, následně byla provedena substituce $s = j \cdot 2\pi f$, čímž byl získán výraz pro přenos analogového filtru, a bilineární transformací byl proveden převod z s -domény do z -domény pro číslicové filtry [2]. Frekvenční modulové charakteristiky obou filtrů vypočítané v programu Matlab jsou vykresleny na obrázku 1.

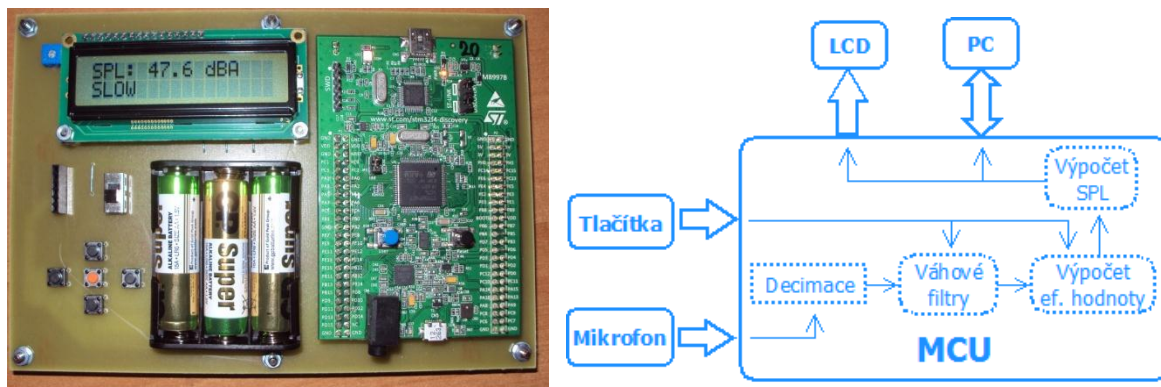


Obrázek 1: Frekvenční modulové charakteristiky váhových filtrů, vlevo typ A a vpravo typ C (čárkovaná čára vyjadřuje toleranci danou normou a červená plná čára je skutečný průběh)

3.3 PRŮMĚROVACÍ FILTRY

Pro výpočet SPL je potřeba v reálném čase počítat průměrnou efektivní hodnotu zvukového signálu [4]. Pro tento účel byly pomocí Butterworthovy aproximace navrženy dvě číslicové dolní propusti, které se chovají jako integrační RC článek. Časové konstanty filtrů jsou opět dány normou pro měření hluku, která pro měření stacionárních hluků (režim „slow“) definuje časovou konstantu 1

sekunda a pro měření rychle se měnící hluků (režim „fast“) 0,125 sekundy. Efektivní hodnota signálu je počítána jako odmocnina výstupu průměrovacího filtru, na jehož vstup jsou přiváděny druhé mocniny vzorků zvukového signálu. Posledním krokem měření hluku je výpočet SPL jako dvacetinásobek dekadického logaritmu podílu průměrné efektivní hodnoty signálu a prahu slyšení ($20\mu\text{Pa}$) [4]. Celé zařízení bylo zkalibrováno na tónu o frekvenci 1 kHz s hladinou akustického tlaku 94 dB.



Obrázek 2: Prototyp hlukoměru (fotografie a blokové schéma)

4 ZÁVĚR

V současné době (březen 2017) je samotný hlukoměr již zcela funkční a podle normy pro měření hluku odpovídá svou celkovou frekvenční modulovou charakteristikou druhé třídy přesnosti pro přibližný rozsah kmitočtů 30 Hz až 12 kHz. Dále probíhá práce na signálové analýze zvuku tak, aby byl hlukoměr schopen rozpoznat několik slov, kterými by byl hlasově ovládán.

PODĚKOVÁNÍ

Tato práce byla podpořena projektem INWITE (LO1401) a Interní grantovou agenturou (FEKT-S-17-4713). Pro výzkum byla využita infrastruktura centra SIX.

REFERENCE

- [1] ST MICROELECTRONICS. *MP45DT02-M* [pdf]. 2016 [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/group3/27/62/48/98/44/54/4d/36/DM00303211/files/DM00303211.pdf/jcr:content/translations/en.DM00303211.pdf>.
- [2] INGLE, Vinay K. a John G. PROAKIS. *Digital signal processing using MATLAB*. 3rd ed. Stamford, Conn.: Cengage Learning, c2012. ISBN 1111427372.
- [3] E. B. Hogenauer. An economical class of digital filters for decimation and interpolation. *IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing*, ASSP-29(2):155-162, 1981.
- [4] ČSN EN 61672-1: Elektroakustika – Zvukoměry – Část 1: Technické požadavky. Česká technická norma, Český normalizační institut, listopad 2003