

## Návrh inteligentního ultrazvukového senzoru pro mobilní roboty

*Bc. Jan Kredba, Ing. Miroslav Holada, Ph.D.*

### Abstrakt

Předmětem tohoto příspěvku je návrh a realizace ultrazvukového senzoru vzdálenosti, který by byl schopen poskytnout dostatek informací pro modelování okolní scény robotu a odstranit nedostatky běžných komerčních řešení. Jedná se zejména o návrh hardwaru, jenž zajistí optimální impedanční přizpůsobení vzhledem k užitému piezoelektrickému měniči a umožní kvalitní snímání odraženého mechanického vlnění. Pro softwarové vyhodnocení získaných průběhů je poté porovnána metoda analogového předzpracování s čistě číslicovým zpracováním. Srovnávány jsou především výsledky měření z hlediska přesnosti a dosahu ultrazvukového senzoru.

### Úvod

Ultrazvukové senzory vzdálenosti představují ideální doplněk k optickým či radarovým sensorům v silně elektromagneticky zarušených či opticky nevhodných prostředích. Proto jsou velmi často nasazovány pro identifikaci okolní scény robotu či detekci okolních překážek, jež by robotu bránily v pohybu. Běžně komerčně dostupná řešení však nevyhovují všem požadavkům na jejich vlastnosti, zejména kombinaci dostatečného krytí proti vlhkosti a prachu společně s dostatečným dynamickým rozsahem. Dále pak tato řešení často neposkytují dostatek informací k rozlišení přímého odrazu od nechtěného bočního či detekci více překážek za sebou.

Cílem tohoto příspěvku je poskytnout způsob možného řešení výše uvedených problémů, jež bude implementováno v jediném zařízení. To bude ke své funkci využívat jediného piezoelektrického měniče pro generování ultrazvukového pulzu i příjem odražené vlny. K optimálnímu návrhu hardwaru je tak nutné užít piezoelektrický měnič identifikovat a stanovit parametry obvodu pro impedanční přizpůsobení, které zajistí dostatečné utlumení kmitů měniče po vybuzení ultrazvukového pulzu a zároveň poskytne maximální citlivost snímače pro detekci odražené vlny. Problému identifikace piezoelektrického měniče se věnuje zejména článek [2] a impedančnímu přizpůsobení publikace [1, 2].

### Experiment a metody

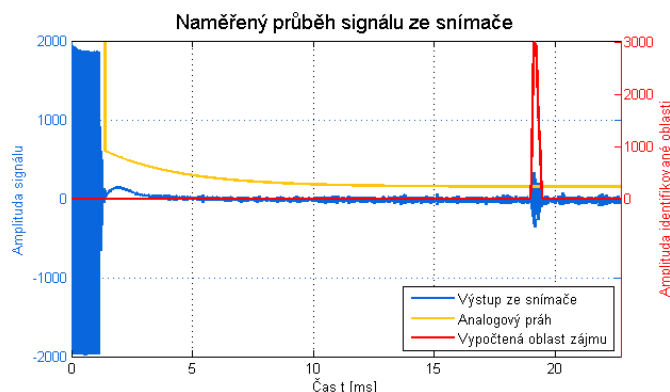
Dle výše uvedené rešerše byl proveden návrh hardwaru realizujícího impedanční přizpůsobení na straně piezoelektrického měniče a analogové předzpracování získaného signálu. Impedanční přizpůsobení bylo realizováno obecným imitančním konvertorem společně s digitálně řízeným rezistorem, aby jej bylo možné nastavit dle impedance použitého měniče. Základní hodnota imaginární složky impedance pro toto přizpůsobení byla stanovena dle vztahu (1) na základě průměrné statické kapacity běžně užívaných měničů, jež činí 2 nF. Ačkoliv se parametry piezoelektrických materiálů v blízkosti rezonanční frekvence výrazně mění, lze využít tohoto hrubého odhadu, jelikož konkrétní požadovaná hodnota je nastavena experimentálně dle užitého měniče a nastavené frekvence. Testování takto navrženého hardwaru probíhalo s piezoelektrickým měničem, jehož parametry elektrického náhradního obvodu dle modelu BVD činily  $C_0 = 1,961$  nF,  $R_h = 1555$   $\Omega$ ,  $L_h = 170,5$  mH a  $C_h = 87,02$  pF, kde jsou parametry s indexem h vztahy k dynamické větvi obvodu.

$$Z(\omega) = \frac{j}{\omega \cdot C_s}, \quad (1)$$

kde  $Z(\omega)$  je hrubým odhadem vstupní impedance obvodu snímače,  $\omega$  kruhová frekvence ultrazvukového vlnění a  $C_s$  kapacita použitého piezoelektrického měniče.

## Výsledky a diskuze

Navržený hardware byl testován z hlediska analogového i číslicového zpracování signálu. Analogovým způsobem byla odražená vlna od překážky detekována překročením časově proměnného analogového prahu. Při číslicovém zpracování byl kompletní přijatý signál navzorkován a uložen do paměti mikroprocesoru, kde byl následně pomocí číslicových filtrů, korelace a prahování dále zpracován. Princip obou metod je poté vizualizován na obrázku 1. Při analogovém zpracování bylo dosaženo nižší přesnosti než při zpracování číslicovém. Relativní chyba měření se při analogovém zpracování pohybovala okolo 0,6 % a při číslicovém zpracování činila přibližně 0,3 %



**Obrázek 1.** Naměřený průběh na výstupu piezoelektrického snímače po analogovém předzpracování s vizualizací analogového a číslicového zpracování

## Závěr

Realizovaný ultrazvukový senzor je díky nastavitelnému impedančnímu přizpůsobení společně s možností nastavení změny frekvence ultrazvukové vlny značně flexibilní a je tak schopen pracovat s piezoelektrickými měniči od různých výrobců. Zároveň při číslicovém zpracování získaného signálu dosahuje vysoké přesnosti (s relativní chybou 0,3 %) a je schopen určení vzdálenosti s rozlišením 1 mm. Díky časově proměnnému zesílení analogového zesilovače společně s časově exponenciálně klesajícím prahem při analogovém zpracování je schopen filtrovat blízké boční odrazy, jež často znehodnocují měření u komerčně dostupných řešení. Dále by bylo vhodné se zaměřit na optimalizaci impedančního přizpůsobení, tak aby senzor byl schopen měřit i velké vzdálenosti (cca nad 5 m).

## Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat mému vedoucímu práce Ing. Miroslavu Holadovi, Ph.D. za obětavé vedení této práce a zajištění prostředků pro výslednou realizaci senzoru.

## Reference

- [1] ERHART, Jiří, Martin PUSTKA a Petr PŮLPÁN (eds.). *Aplikace piezoelektrických prvků v mechanických a akustických soustavách*. Liberec: VÚTS, a.s., 2015. ISBN 978-80-87184-58-8.
- [2] HUANG, Haiying a Daniel PARAMO. Broadband electrical impedance matching for piezoelectric ultrasound transducers. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*. 2011, **58**(12), 2699-2707. DOI: 10.1109/TUFFC.2011.2132. ISSN 08853010.
- [3] GERBER, E. a L. KOERNER. Methods of Measurement of the Parameters of Piezoelectric Vibrators. *Proceedings of the IRE*. 1958, **46**(10), 1731-1737. DOI: 10.1109/JRPROC.1958.286752. ISSN 00968390.