

PRECISION RANGING USING ULTRASOUND WAVES

Štěpán Hlaváč

Bachelor Degree Programme (3), FEEC BUT

E-mail: xhlava08@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Jiří Šebesta

E-mail: sebestaj@feec.vutbr.cz

Abstract: In this contribution the conception, analysis and design of the ultrasonic precision range measurement device are presented. Conception is determined for accurate measurement of height from the natural ground up to 20 cm. In the paper the basic properties of ultrasonic waves and its distribution in the environment are discussed. In the analytical part of the paper, the impulse method for implementation of ultrasonic altimeter is demonstrated including a block scheme of chosen solution. This paper contains also results of laboratory experiment, which was focused on sensitivity measurement for different types of ground.

Keywords: Accurate distance measurement, ultrasound waves, speed of sound, ultrasonic changer, impulse method.

1. ÚVOD

Cílem mého projektu je navrhnout řešení ultrazvukového senzoru pro přesné měření k plošným cílům jako je povrch země. Součástí je rozbor základních fyzikálních vlastností ultrazvukového vlnění a také faktorů ovlivňujících charakteristické rysy jeho šíření. Příspěvek zahrnuje výběr vhodné metody a její realizace s požadovanou přesností.

Navrhované zařízení bude periférií a naměřené hodnoty bude předávat centrálnímu zařízení prostřednictvím jednoduchého sériového rozhraní. Několik těchto periférií bude umístěno například na vozíku určenému pro geologická měření a budou vyhodnocovat výškové změny terénu pod vozíkem, které se budou vyskytovat při jeho pohybu. Měřič vzdálenosti by měl být schopen vyhodnotit vzdálenost pro různé materiály, z nichž může být povrch složen. Uplatnění může najít též v průmyslu jako součást výrobních linek atd. Celé zařízení by mělo být schopno pracovat s napájecím napětím o hodnotě 5 V, což značně rozšíří množinu zdrojů vhodných pro napájení.

2. ULTRAZVUK

Akustické vlny ve frekvenčním rozsahu 20 kHz až 1 GHz nazýváme ultrazvukem. Vlnění v tomto kmitočtovém pásmu je nad horní hranici lidské slyšitelnosti. Z fyzikálního hlediska se však chovají totožně jako akustické vlny slyšitelné pro člověka. Délka zvukové vlny popisuje vzdálenost dvou sousedních maxim nebo minim zvukového vlnění. Délka zvukové vlny je dána vztahem (1), kde f je frekvence vlnění, c je rychlost zvuku a T je perioda signálu.

$$\lambda = c / f = T \cdot c \quad [\text{m}]. \quad (1)$$

Rychlost šíření zvuku c je závislá na vlastnostech média, nezávisí na frekvenci. Její základní jednotkou je m/s. Rychlost šíření ultrazvukového vlnění ve vzduchu značně ovlivňuje teplota, tlak, relativní vlhkost a složení vzduchu. **Tyto faktory musí být kompenzovány, abychom získali adekvátní přesnost měření.** Vliv teploty je patrný ze vztahu (2), kde Θ je měnící se teplota [°C].

$$c = 331,57 + 0,607 \cdot \Theta \quad [\text{m/s}]. \quad (2)$$

Při běžném kolísání tlaku atmosféry dochází asi k 5 % [1] chybě (962,6 hPa – 1063,9 hPa) v rychlosti zvuku. Při změně relativní vlhkosti prostředí z vlhkého na suchý dochází k chybě asi 2 % [1]. Rychlost šíření zvukových vln také ovlivňuje složení vzduchu (např. CO₂). Pokud se složení vzduchu mění jen nepatrně dochází jen k mírnému a zanedbatelnému ovlivňování rychlosti šíření zvukových vln.

K odrazu nebo k lomu dochází pouze, pokud se do dráhy šíření vloží překážka nebo pokud dojde k odklonu paprsku. V ideálním případě je měřený objekt umístěn kolmo ke směru šíření a z tohoto důvodu je úhel odklonu nulový. K vyslání i přijetí odraženého ultrazvukového vlnění by mělo docházet ve stejném místě. Při průchodu podélné zvukové vlny dochází na mezní ploše k rozdělení vlny na odraženou a procházející část. Pokud je překážka pevná látka dojde ke vzniku příčného vlnění, ale dále dochází i k šíření podélného vlnění. Příčné vlny se lámou a odrážejí pod jinými úhly než vlny podélné. Úhly odrazu a lomu můžeme určit ze Snellova zákona.

3. IMPULZNÍ METODA MĚŘENÍ

Tato metoda je založena na vyslání a přijetí sady impulzů. Tyto impulzové shluky se opakují s kmitočtem f_{op} , aby byla zvýšena pravděpodobnost příjmu signálu. Měří se zde doba, za kterou se vyslané impulzy vrátí od měřeného místa (plošného cíle). Režim, ve kterém tento měřič pracuje, se nazývá impulzní, odtud impulzní metoda.

Teoretický maximální dosah je dán velikostí čekací doby T_c , která je dána nejdelší dobou šíření vlnění (při minimální teplotě). Počet pulsů n ve shluku by měl být zvolen tak, aby jejich počet byl co nejmenší, avšak nesmí být tak malý, že by mohlo dojít k záměně případného rušení s užitečným signálem. Proto jsem po experimentálním měření zvolil $n=8$, což zaručuje výše uvedené podmínky.

Výpočet minimální čekací doby pro maximální vzdálenost $d_{max}=0,2$ m, $t=-50$ °C, $c=301,22$ m/s, $f_0=40$ kHz, $n=8$:

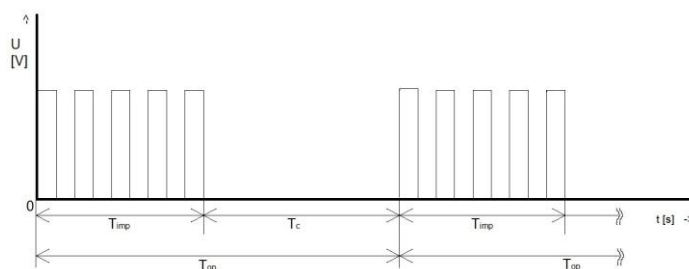
$$T_c = \frac{2 \cdot d_{min}}{c} = \frac{2 \cdot 0,2}{301,22} = 1,328 \text{ ms.} \quad (3)$$

Výpočet celkové doby sekvence:

$$T_{imp} = n \cdot \frac{T_0}{2} = 8 \cdot \frac{25 \cdot 10^{-6}}{2} = 100 \mu\text{s}, \quad (4)$$

$$T_{op} = T_{imp} + T_c = 100 \cdot 10^{-6} + 1,328 \cdot 10^{-3} = 1,428 \text{ ms}, \quad (5)$$

$$f_c = \frac{1}{T_c} = \frac{1}{1,328 \cdot 10^{-3}} = 753,01 \text{ Hz.} \quad (6)$$

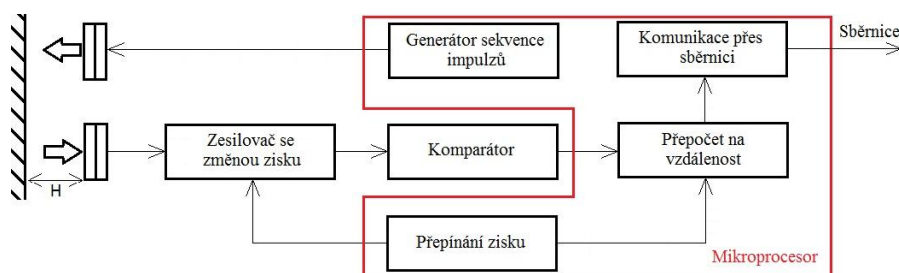


Obrázek 1: Časové rozložení signálu impulzní metody

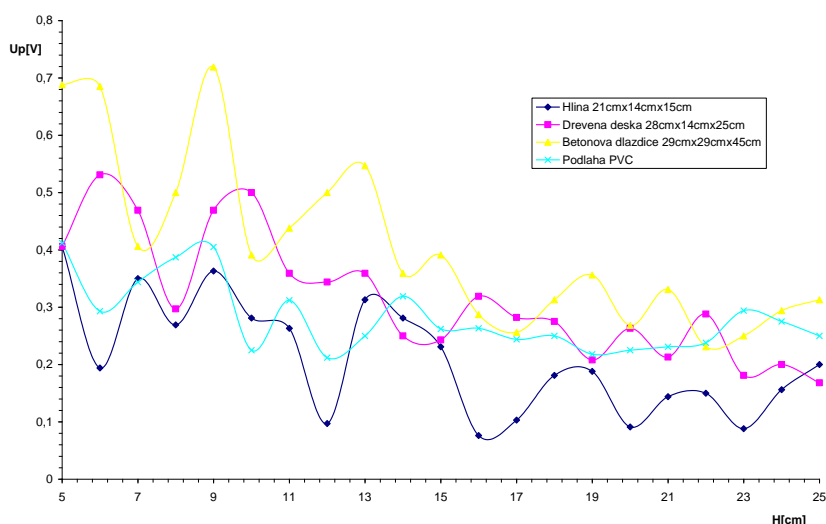
Pro zpřesnění metody nebude docházet k vyhodnocení časového zpoždění (vzdálenosti) od prvního přijatého impulsu ve shluku, protože první vygenerované (přijaté) impulzy nemají dostatečnou energii a ani stejnou velikost střídý. Docházelo by ke zkreslení, což by způsobovalo chybu

měření. Tato skutečnost je dána reálnými vlastnostmi elektroakustických měničů (vysílač a přijímač). Piezokeramické měniče jsou rezonanční obvody, jenž potřebují k vhodnému rozkmitání a dokmitání určitou dobu. Měřit se tedy začne až v případě, kdy střída přijatého signálu dosáhne cca 50%, což odpovídá střídě vyslaného signálu.

V hardwarovém řešení systému (obr. 2) je mikroprocesorem vygenerován šluk impulzů, který je vysílačem přeměněn na ultrazvukové vlnění. To je vysláno k plošnému cíli, od kterého se odrazí a v elektroakustickém přijímači je přeměněno zpět na el. napětí. To má sinusový tvar, což je dáno rezonančním charakterem měničů. Tento signál je vhodně zesílen a komparátorem převeden na obdélníkový signál. V dalším bloku dochází ke změření zpoždění a určení měřené vzdálenosti. Pokud dojde k vyhodnocení jsou data poslána po sběrnici centrálnímu zařízení. Jestli nedojde ke změření vzdálenosti dojde ke změně zisku.



Obrázek 2: Blokové schéma impulzní metody



Obrázek 3: Grafická závislost přijatého signálu na vzdálenosti pro různé materiály (vzdálenost byla měřena s přesností ± 2 mm)

4. ZÁVĚR

Navrhované periferní zařízení určené pro přesné měření délky ultrazvukem do 20 cm, využívá ke své činnosti impulzní metodu. Použití této metody určují vlastnosti reálných měničů. Při laboratorním měření jsem si ověřil výskyt maxim a minim signálu a různou odrazivost od různých materiálů. Také jsem zjistil, že u členitého povrchu dochází ke vzniku destruktivní a konstruktivní interference. Výsledky experimentálních měření jsou patrné z obrázku 3. Pro měření od různých materiálů a povrchů musí docházet ke změně zisku zesilovače. Teoretická přesnost by měla být v řádu jednotek milimetrů.

REFERENCE

- [1] Martinek, R., Senzory v průmyslové praxi. Praha: BEN-technická literatura, 2004, ISBN 80-7300-114-4.