

Ultrazvukové snímače VEGASON na meranie výšky hladiny tuhých a kvapalných materiálov (1)

Dušan Kiseľ

Jedným z popredných svetových výrobcov prístrojovej techniky merania výšky hladín a tlakov je nemecký výrobca VEGA, ktorý úspešne vyrába ultrazvukové meracie systémy už viac ako 25 rokov.

Merací princíp

Ultrazvukový princíp merania je založený na meraní času potrebného na prechod akustických vln pri prekonaní vzdialenosti medzi vysielačom, hranicou rozhrania dvoch prostredí a prijímačom vlnenia. Vyhodnotenie miesta rozhrania dvoch prostredí sa môže realizovať zo strany plynu alebo zo strany meraného média (kvapaliny alebo sypkého materiálu), čo je zriedkavejší spôsob.

Čas prechodu vlnenia je priamo úmerný vzdialenosti medzi prístrojom a povrchom meraného média, ako to zobrazuje obr. 2.

Pre čas prechodu možno písať:

$$\Delta t = 2 \frac{H}{v} \quad [s] \quad (1)$$

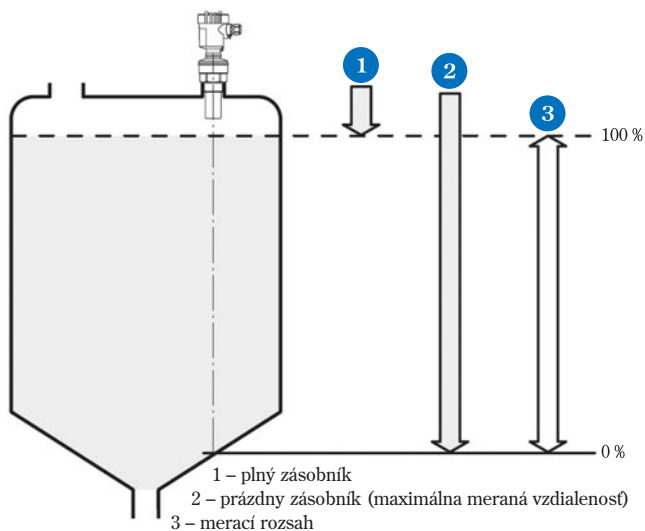
kde Δt je čas, ktorý vlnenie potrebuje na prekonanie vzdialenosti $2 \cdot H$ [s],

H – vzdialenosť medzi vysielačom a meraným materiálom [m],

v – rýchlosť akustického vlnenia [ms^{-1}].

Vzdialenosť H v zásobníku je daná:

$$H = \frac{1}{2} \cdot v \cdot \Delta t = \frac{1}{2} \cdot f \cdot \lambda \cdot \Delta t \quad [m] \quad (2)$$



Obr.2 Ultrazvukové meranie výšky hladiny



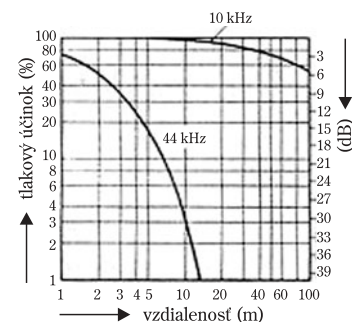
Obr.1 Princíp merania výšky hladiny pomocou ultrazvukových snímačov

kde v je rýchlosť akustického vlnenia [ms^{-1}],
(vo vzduchu pri 0°C je to 331 ms^{-1}),
 f – frekvencia vlnenia [Hz],
 λ – vlnová dĺžka vlnenia [m]
(pri frekvencii $f = 16 \text{ kHz}$ bude $\lambda = 0,020 \text{ m}$).

Pri meraní výšky pomocou ultrazvukových snímačov sa zadáva minimálna a maximálna meraná výška, teda definuje sa vzdialenosť MIN. a MAX. od referenčnej roviny snímača – membrány pri inštalácii ultrazvukového systému na zásobník.

Meranie výšky hladiny pomocou akustických vln možno rozdeliť na meranie v pásme zvukových vln (asi do 16 kHz), poprípade v pásme vyšších vln, v oblasti ultrazvukových frekvencií (do 75 kHz), od ktorých je odvodené aj pomenovanie tohto princípu merania výšky. Ultrazvukový princíp merania je založený na absorpcii počas šírenia zvuku. Absorpcia vln závisí najmä od frekvencie (vlnovej dĺžky) a vzdialenosti zdroja vlnenia.

Energia vysielaaná zdrojom akustického vlnenia je pohlcovaná (absorbovaná) prechodom transportného plynu a klesá so štvorcem vzdialenosti. Tlakový účinok zvukových vln klesá s rastúcou frekvenciou podľa diagramu na obr. 3.



Obr.3 Tlakový účinok akustických vln v závislosti od vzdialenosti a frekvencie vlnenia

Z diagramu je zrejmé, že pri frekvencii vlnenia 10 kHz je pokles tlakového účinku pomerne malý, pri vzdialenosti 100 m je to iba 6 dB . Pri vyšších frekvenciách je už pokles podstatne vyšší a ich použitie na meranie vo veľkých zásobníkoch je obmedzené.

Ďalšie straty vlnenia sú spôsobené vplyvom strát trením medzi molekulami plynu. Na tieto straty vplyvajú hustota, teplota a vlhkosť prostredia (transportného plynu) a frekvencia vlnenia.

Rýchlosť zvuku závisí od druhu plynu a teploty. Avšak rýchlosť je závislá aj od tlaku plynu. Ako vieme, vo vákuu sa zvukové vlny nešíria, preto aby bol prenos zvukových vln úspešný, tlak plynu by nemal klesnúť pod 20 kPa . Horná pracovná hranica tlaku plynu býva asi 300 kPa . Vplyv teploty na rýchlosť zvuku je približne $1,7 \%/10 \text{ K}$, a preto sa musí realizovať korekcia na teplotu, aby to nemalo podstatný vplyv na presnosť merania. Táto korekcia sa uskutočňuje pomocným snímačom teploty, vďaka čomu je možné dosahovať teplotný drift $< 0,015 \%/10 \text{ K}$ pre teplotne vykompenzovaný systém. Vplyv zmeny atmosférického tlaku vzduchu na rýchlosť šírenia zvuku je zanedbateľný.

Odraz

Ak sa zvuk stretne v rozsahu prenosového média s iným akustickým odporom, nastáva čiastočný odraz (echo), ktorý je spôsobený rozhraním. Čím vyšší je rozdiel akustických impedancií, tým väčší je odraz. Ak sa prechádza z plynu (vzduchu) do kvapaliny, vytvára sa takmer „čistý“ odraz. Teda pri odraze od povrchu kvapaliny sa dosahuje maximálna intenzita. Iný typ odrazu vyvolávajú granulované materiály. Veľkosť častíc sypkých materiálov nemá byť menšia ako 1/10 vlnovej dĺžky (v niektorej literatúre sa uvádza aj 1/4 až 1/6), pretože inak sa povrch materiálu správa ako uzavretý povrch a odráža zvukové vlnenia do všetkých smerov polpriestoru. Vytvára sa tzv. difúzny odraz. Pri odraze od vrstvy prachu alebo peny sa intenzita znižuje značnou pohltivosťou týchto médií.

Vysielanie zvuku

Merací systém štandardne pozostáva z elektroakustického meniča ultrazvuku, bloku elektroniky a integrovaných výstupov. Najrozšírenejšími meničmi ultrazvukovej energie na akustickú a opačne sú magnetostrikčné a piezoelektrické. VEGA používa vo svojich snímačoch ultrazvukový menič s piezoelektrickým kryštálom.

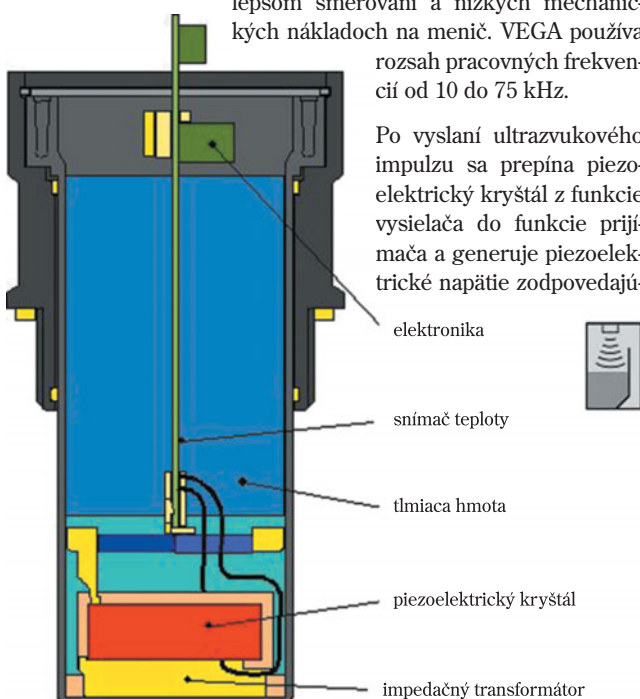
Menič, na obr. 4, pozostáva z plastického puzdra, piezoelektrického kryštálu v tvare disku, ktorý je zaliaty tlmiacou hmotou. Ďalšou dôležitou časťou meniča je čelná membrána s polvlnovým alebo štvrtvlnovým transformátorom. Tieto transformátory slúžia na impedančné prispôsobenie kryštálu a voľného priestoru. Na korekciu rýchlosti zvuku je v ultrazvukovom meniči inštalovaný aj snímač teploty.

Prenos zvuku na prenosové médium (transportný plyn), ako aj požadované smerovanie, sa dosahuje pomocou rozličných konštrukčných princípov. Zabezpečuje sa to priamym prispôobením disku pomocou prispôbovacích vrstiev, rozdielnymi tvarmi meniča a membrány. Ak sa na piezoelektrický kryštál pripojí striedavé napätie konštantnej frekvencie, kryštál začne vysielat zodpovedajúci ultrazvukový signál rovnakej frekvencie. Ak dopadne odrazené ultrazvukové vlnenie na menič, ten začne pracovať ako prijímač, t. j. ako veľmi citlivý piezomikrofón a generuje primerané napätové impulzy.

Frekvenčný rozsah meničov siaha od niekoľkých kHz do 2 MHz, pričom dolný frekvenčný rozsah je pre jeho malú pohltivosť vhodný pre väčšie meracie rozsahy. Vyššie frekvencie majú výhody pri

lepšom smerovaní a nízkych mechanických nákladoch na menič. VEGA používa rozsah pracovných frekvencií od 10 do 75 kHz.

Po vyslaní ultrazvukového impulzu sa prepína piezoelektrický kryštál z funkcie vysielateľa do funkcie prijímača a generuje piezoelektrické napätie zodpovedajú-



Obr.4 Štruktúra ultrazvukového meniča VEGASON

ce odrazeným impulzom. Časová perióda medzi obidvomi impulzmi je čas prechodu zvuku. Keďže kryštál po vyslaní impulzu potrebuje krátky čas (tzv. prepínací čas) na zmenu funkcie vysielateľ/prijímač (~1 ms), nemôžeme, prirodzene, prijímať odrazené impulzy okamžite. Preto sa ultrazvukové meranie vyznačuje „mŕtvou“ vzdialenosťou medzi meničom a povrchom meraného materiálu.

Prijem zvuku

Menič vysielal ultrazvukové impulzy presne určenej frekvencie a dĺžky (trvania). Vzhľadom na kmitanie membrány sa zavádza blokovací čas. Po tomto čase môže menič pracovať ako mikrofón a prijímať odrazené impulzy (echá). V ideálnom prípade existuje iba jeden odraz (tzv. single echo), čo je veľmi zriedkavé.

Pri meraní tuhých materiálov je potrebné vziať do úvahy:

- tvar kužeľa materiálu,
- turbulencie pri pneumatickom plnení,
- že väčší priemer granúl spôsobuje väčší odraz.

Falošný odraz (false echo) alebo viacnásobný odraz sú často spôsobené konštrukciou v zásobníku, vstupom materiálu, potrubiami alebo miešadlami.

Použitie pracovnej frekvencie určuje nielen merací rozsah systému, ale aj uhol vysielania kužeľa vlnenia, ktorý pri systémoch VEGASON býva v rozsahu 3,5° – 8°. Samozrejme, pri vyšších pracovných frekvenciách je uhol kužeľa menší. Tento uhol kužeľa je potrebné zohľadniť pri voľbe typu meniča a jeho smerovaní v zásobníku. Užší uhol je výhodnejší pre užšie zásobníky, a tak sa vyhneme aj falošným odrazom od bočných stien a predmetov v zásobníku.

Všetky problémy s identifikáciou a rozlíšením falošných odrazov možno eliminovať prostredníctvom spôsobu spracovania signálu. Snímač teploty a referenčné meranie (meranie v prázdnom zásobníku) poskytujú informácie požadované pre korekciu zmeny rýchlosti zvuku vplyvom teploty. Presnosť merania pri optimálnych podmienkach zväčša dosahuje 0,5 %. Meranie možno uskutočňovať v teplotnom rozsahu -40 až +80 °C (-40 až +60 °C pre blok elektroniky). Krytie meniča býva IP 68 a materiál meniča je plast PVDF, ktorý dobre odoláva aj agresívnym plynným prostrediam tuhých materiálov a kvapalín.

Rušivé vplyvy

Pri zariadeniach s vyhodnocovaním odrazov je obzvlášť dôležité rozlíšiť hlavný odraz od rušivých odrazov. Zdrojom rušivých odrazov nie sú iba zariadenia a konštrukcie v zásobníku, ako napr. rúry, ohrievadlá, rebríky, ale tiež návarky, kovové stúpadlá na stenách alebo otvory na plnenie a vyprázdňovanie, či iné zariadenia, ktoré môžu silne ovplyvniť presné meranie. Rovnako aj nalepovanie materiálu na stenách spôsobuje rušivé odrazy. Keďže takéto odrazy sú časovo nemenné, možno ich vďaka elektronickému spracovaniu vylúčiť, napr. pri vytvorení profilu odrazov (echo profile) prázdneho zásobníka. Po zhotovení takéhoto profilu možno určiť, kde ležia dané zdroje rušivých odrazov. Týmto spôsobom sa prekryje profil odrazov „nulovou“ citlivosťou pre daný zásobník a ďalej sa vyhodnocujú iba odrazy pri pohybe meraného materiálu.

Pokračovanie v budúcom čísle.

K TEST

K - TEST, s. r. o.

Ing. Dušan Kiseľ, CSc.

Letná 40, 042 60 Košice

Tel./fax: 055/625 36 33, 625 51 50

e-mail: ktest@kbc.sk

http://www.ktest.sk

8