

Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

redakce nakladatelství BEN – technická literatura
redakce@ben.cz



kapitola **24**

ULTRAZVUKOVÉ HLADINOMĚRY



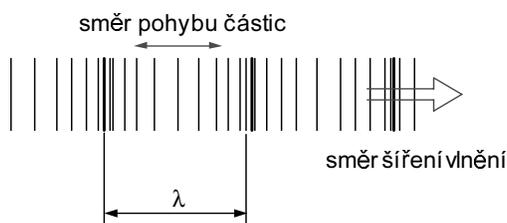
*Prosonic M FMU 40
(dodává firma Endress+Hauser)*

24.1 Přehled ultrazvukové technologie

24.1.1 Vlastnosti ultrazvuku a ultrazvukových senzorů

O ultrazvukových senzorech hovoříme pokud jejich pracovní frekvence leží nad pásmem slyšitelným pro člověka, tj. nad 20 kHz. Principy funkce ultrazvukových senzorů mohou být použity i při nižších frekvencích, pak hovoříme o sonických senzorech.

Podstatou zvuku a ultrazvuku [24-1, 24-2, 24-3] je vlnění charakterizované zhušťováním a zředěním vzduchu. Na rozdíl od elektromagnetického vlnění jde (alespoň při šíření vzduchem) o podélné (longitudální) vlnění. Na *obr. 24.1* je znázorněn směr šíření, směr kmitání částic kolem rovnovážných poloh a rovněž vlnová délka [24-4].



Obr. 24.1 Zvuk jako vlnění

Lokální zhuštění nebo zředění vzduchu oproti normálnímu barometrickému tlaku představuje akustický tlak.

V pevných látkách se šíří podélné i příčné vlnění a to různými rychlostmi. Rychlost zvuku ve vzduchu je za normálních podmínek asi $340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a silně závisí na teplotě, částečně i tlaku, v menší míře na vlhkosti, atd.

Intenzita zvuku, tj. plošná hustota přenášeného výkonu klesá jednak se čtvercem vzdálenosti, za druhé také atmosférickým útlumem. Příjímač ultrazvukových odrazů obvykle kompenzuje rostoucí útlum signálu časově proměnným zesílením (pozdní odrazy jsou zesíleny více).

Ultrazvukové hladinové spínače využívají měnící se útlum vlnění v prostředí mezi vysílačem a přijímačem podle přítomnosti materiálu. Ultrazvukové spojité hladinoměry pracují (obvykle bezkontaktně, tj. „shora“) s odrazem signálu od hladiny a měřením doby letu signálu k cíli a zpět.

Výjimečně je používáno měření ode dna nádoby, tj. snímána je doba letu signálu kapalinou k hladině a zpět ke dnu. Podobně, tj. ponořeným senzorem, se měří hloubka dna pod člunem.

Výhodou spojitých ultrazvukových senzorů je (většinou) absence doteku s materiálem. Jejich hlavní nevýhodou je značná závislost na vlastnostech atmosféry mezi převodníkem a hladinou. (Rychlost šíření zvuku silně závisí na teplotě, nemožnost pracovat ve vakuu, atd.) Také pěna na hladině kapaliny způsobuje velký útlum a neposkytuje použitelné echo.

V prašném prostředí mají ultrazvukové senzory často určitou samočisticí schopnost, protože částice (pokud nejsou lepivé) se neudrží na vibrující ploše.

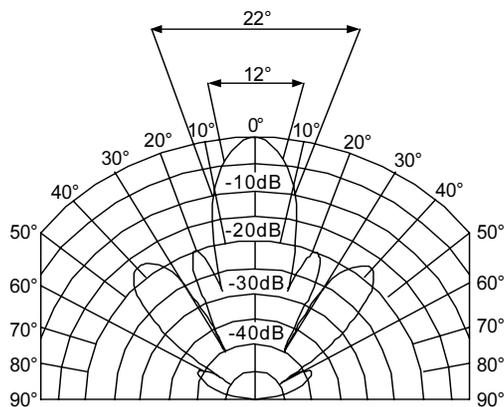
24.1.2 Ultrazvukové převodníky

Pro generování (případně zachycení) ultrazvuku se používají převodníky různých typů. Nejčastěji používané jsou převodníky piezoelektrické, avšak vyskytují se také převodníky elektrostatické. Pro jiné technické účely než měření vzdálenosti existují také převodníky magnetostrikční.

Elektrostatické převodníky vytváří zvukové vlnění pomocí pružné membrány z pokoveného plastu, která funguje jako pohyblivá elektroda a je elektrostatickými silami přitahována k pevné elektrodě uvnitř pouzdra převodníku.

Mnohem častěji se používají piezoelektrické převodníky využívající mechanické deformace piezoelektrického materiálu při přiložení elektrického napětí (resp. generování el. náboje pod vlivem mechanické deformace). Jako materiál slouží sintrovaná piezokeramika žíhaná v elektrickém poli připojených elektrod. Převodník (typicky ve tvaru disku) obsahuje piezoelektrický materiál, vazební vrstvu pojiva a vnější ochranou vrstvu. Piezomateriál je buzen elektrickým napětím značné amplitudy (200–400 V). Pro optimální účinnost je převodník buzen na mechanické rezonanční frekvenci systému pomocí elektrického rezonančního obvodu.

Důležitou vlastností převodníku je směrovost a vyzařovací charakteristika. Úhel hlavního vyzařovacího laloku (definovaný poklesem o -3dB) je nepřímo úměrný průměru převodníku a frekvenci. Rozměrnější převodník nebo vyšší frekvence tedy vytvoří užší paprsek. Příjímací charakteristika převodníku je shodná s vyzařovací charakteristikou. Viz *obr. 24.2*. Typická šířka hlavního laloku je asi 15° . U širšího paprsku je energie rozptýlována do větší plochy, takže také přijatý odraz bude slabší. Naproti tomu úzké paprsky ultrazvuku vykazují větší kolísání úrovně odrazu při zvlněné hladině [24-5].



Obr. 24.2 Vyzařovací charakteristika ultrazvukového převodníku

Každý ultrazvukový převodník má konečně krátkou dobu dozívání (*ringing*). Po tuto dobu nemůže fungovat jako přijímač signálu, čímž vzniká v blízkosti senzoru necitlivá „mrtvá zóna“ (asi 0,2–0,8 m). Pokud se vzdáme výhody jednoduché konstrukce senzoru s jediným převodníkem, lze použít oddělený přijímač a vysílač a tak odstranit problém mrtvé zóny.

Úhel dopadu na povrch cíle nesmí být příliš velký, jinak bude signál odražen mimo přijímač. To je třeba respektovat také při měření sypkých látek a zohlednit sypný úhel.

Turbulence vzduchu může citelně ovlivnit činnost senzoru nebo v extrémním případě zcela „odfouknout“ signál mimo přijímač.

Problémy také způsobuje útlum ultrazvuku v parách některých látek. Prach a páry si mohou vyžádat instalaci výkonnějšího převodníku, než by bylo pro danou pracovní vzdálenost nutné.

Pracovní teplota je většinou omezena asi na 150 °C materiálem pojiva mezi piezoelektrickým měničem a pouzdem senzoru (membránou).

Ultrazvukové senzory mohou být rušeny cizími zdroji zvuku. Například trysky tlakového vzduchu nebo vody mohou produkovat širokopásmový šum zasahující až do ultrazvukových frekvencí. Mechanické vibrace z okolí by měly být omezeny pružným uložením senzoru. Pokud ve stejné nádobě pracuje více ultrazvukových převodníků, mohou se vzájemně rušit. Tomu lze zamezit vzájemnou synchronizací (takže nikdy nepracuje více senzorů současně), kódováním vysílaného zvuku (a potlačením „cizích“ signálů) nebo volbou dostatečně odlišných pracovních frekvencí.

24.1.3 Rychlost šíření zvuku

Proměnlivá rychlost šíření ultrazvuku v atmosféře je největší slabinou tohoto snímače. Ostatní vlivy jako tlak a vlhkost jsou často ignorovány, avšak vliv teploty je nezbytné kompenzovat.

Pro rychlost zvuku ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) ve vzduchu za teploty t (°C) přibližně platí:

$$c = 331,8 + 0,61 \cdot t \quad (24.1)$$

Přesnější odhad poskytuje vzorec:

$$c = \sqrt{\kappa \cdot R \cdot T} \quad (24.2)$$

Kde κ je adiabatická konstanta (1,402 pro vzduch), R je plynová konstanta pro vzduch ($287,05 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) a T je termodynamická teplota ($t + 273,15 \text{ K}$).

Jelikož vliv teploty na rychlost šíření je značný (asi $0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$), provádí se běžně kompenzace teploty vzduchu měřením (např. zabudovaným termistorem). Problém nastane pokud existuje teplotní gradient podél dráhy paprsku, nebo pokud je odlišná teplota v místě měření a v pouzdru elektroniky (to nastane, např. pokud na snímač svítí slunce). Některé ultrazvukové hladinoměry umožňují připojení externího teploměru pro lepší kompenzaci.

U některých ultrazvukových senzorů je kompenzace změn rychlosti šíření řešena umístěním referenčního odražeče ve známé vzdálenosti od senzoru. Odražeč poskytuje částečný odraz, který neblokuje funkci senzoru a protože je ve známé vzdálenosti, lze z něj určit rychlost šíření.

24.2 Hladinové spínače

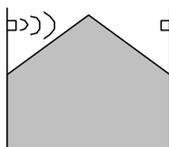
Většina ultrazvukových hladinových spínačů je kontaktní, avšak vyrábějí se také senzory měřící skrz stěnu nádoby.

Některé spínače se podobají vibračním spínačům, protože měří útlum signálu z vibrující membrány nebo jiné součásti podle kontaktu s materiálem.

24.2.1 Transmisní-absorpční spínače

Zastínění paprsku

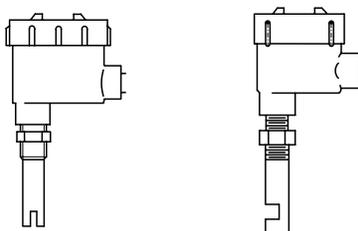
V nejjednodušším případě bude vysílač a přijímač umístěn na stejné úrovni na opačných stranách vnitřního objemu nádoby [24-6]. Přijímač zachycuje signál z vysílače pouze pokud mezi nimi není pohltivý materiál (prášek, granulát apod.) – viz *obr. 24.3*.



Obr. 24.3 Transmisní senzor pro sypké materiály

Zaplnění mezery

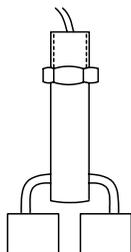
Provedení obvyklé pro detekci hladiny kapalin je na *obr. 24.4*. Uvnitř senzoru jsou dva piezokrystaly fungující jako vysílač a přijímač. Pokud je mezera mezi nimi vyplně-



Obr. 24.4 Transmisní senzor pro kapaliny

na nestlačitelnou kapalinou (např. vodou), signál je účinně přenášen od vysílače k přijímači. Pokud hladina klesne a v mezeře je vzduch (plynná atmosféra), účinnost přenosu podstatně poklesne (útlum vzroste) a přijímač nezachytí žádný signál.

Pro kašovitě látky je použita konstrukce, kde vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem je větší a dovoluje stečení viskózního materiálu [24-7] – viz *obr. 24.5*.

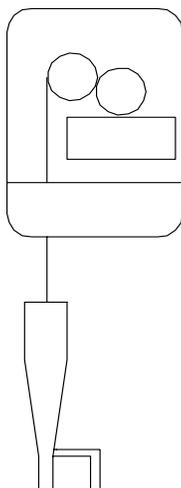


Obr. 24.5 Snímač s rozšířenou vzdáleností mezi vysílačem a přijímačem

24.2.2 Reflexní spínače

Snímač úrovně kalu

Snímač je určen k měření polohy rozhraní voda–kal [24-8]. Pracuje podobně jako hladinoměr se spouštěným závažím. Sonda na konci lana vysílá ultrazvuk a přijímá echo odražené od reflektoru, jenž je součástí sondy. Pokud podíl pevných částic ve vodě (a tím i útlum signálu) stoupne nad nastavenou úroveň, přístroj zaznamená délku odvinutí lana – viz *obr. 24.6*.



Obr. 24.6 Reflexní snímač rozhraní voda–kal