

Použití radarových hladinměřů s vedenou vlnou k měření médií s malou odrazivostí

Při použití radarového hladinoměru s vedenou vlnou existuje jedno významné fyzikální omezení, a to velikost poměrné permitivity média, jehož polohu hladiny je třeba měřit. V článku jsou popsány nejnovější techniky umožňující spolehlivě reflektometricky měřit syplé látky i s velmi malou hodnotou permitivity a jsou zmíněny nové trendy a nabídka v oboru měření polohy hladiny v průmyslu.

Ačkoliv moderní měřicí technika umožňuje vyřešit téměř jakoukoliv měřicí úlohu, všechny měřicí přístroje mají trvale jistá omezení bez ohledu na použitý měřicí princip nebo výrobce. Jde o omezení technická, konstrukční a fyzikální. Výrobci se je snaží překonat rozmanitostí měřicích principů využívaných v jimi nabízených přístrojích, aby tak vždy mohli vyhovět specifickým požadavkům dané úlohy.

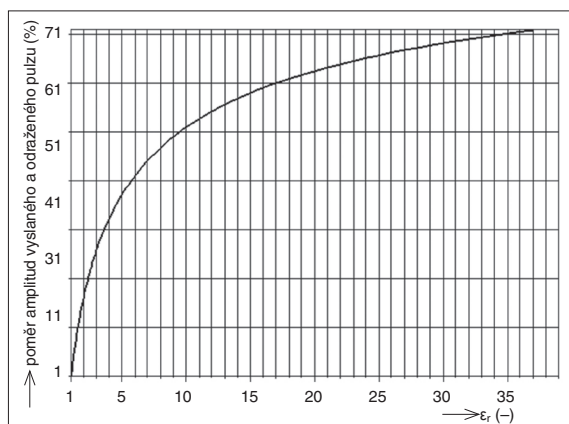
Při snaze dosáhnout co nejširších možností využití přístrojů je pochopitelné, že výrobci stále zkoumají meze každého měřicího principu a hledají způsoby, jak je překonat a umožnit tak použití již existující měřicí techniky i v úlohách, kde ji dříve museli doplnit nebo nahradit technikou založenou na jiném měřicím principu. Například při používání radaru s vedenou vlnou, založeného na metodě *Time Domain Reflectometry* (ve zkratce TDR¹⁾, nazývaného také například reflektometrický radar, reflexní radar, vedený radar, radar vedený kabelem, existuje jedno významné fyzikální omezení, a to velikost poměrné permitivity (dielektrická konstanta, ϵ_r) média, jehož polohu k přístroji je třeba detekovat.

Metoda TDR se začala používat již v 60. letech minulého století k detekci přerušení kabelů a dodnes patří k měřicím technikám často využívaným v oboru telekomunikací. V současné době se možnosti jejího použití stále rozšiřují. Vedle měření vzdálenosti a lokalizace poruch v kabelech je metoda TDR volena také při měření vlhkosti a vodivosti a rovněž i při určování polohy hladiny kapalných a syplých látek v nádržích a silech.

Princip činnosti reflektometrického hladinoměru

Samotný princip činnosti radarového hladinoměru s vedenou vlnou je velmi jednoduchý. Elektronika přístroje generuje a vysílá

velmi krátké elektromagnetické pulzy. Tyto pulzy jsou vedeny podél jednoho nebo dvou vodičů ponořených do média a tvořících snímací část (sondu) přístroje. Po dosažení hladiny



Obr. 1. Amplituda odraženého signálu v závislosti na poměrné permitivitě měřeného média ϵ_r , čím větší ϵ_r , tím lepší odraz

diny měřeného média se pulzy odrážejí zpět směrem k elektronice. Elektronika zaznamenává čas vyslání a přijetí pulzů, které se v atmosféře nad hladinou média pohybují rychlostí jen zanedbatelně odlišnou od rychlosti světla c_0 , a vypočítává dobu průchodu pulzu sondou. Jelikož je rychlost známa, lze z doby průchodu pulzu určit vzdálenost od elektroniky k povrchu měřeného média. Odečtením takto zjištěné vzdálenosti od známé výšky nádrže nebo síla se stanoví výška hladiny měřeného média.

Charakteristické přitom je, že amplituda odraženého signálu se sice mění v závislosti na ϵ_r (obr. 1), nemění se ale poloha odraženého impulzu. Měřicí princip TDR je založen na měření času, a nikoliv amplitudy. Změny ϵ_r měřeného média v tomto případě tzv. přímého měření nemají vliv na přesnost výsledku.

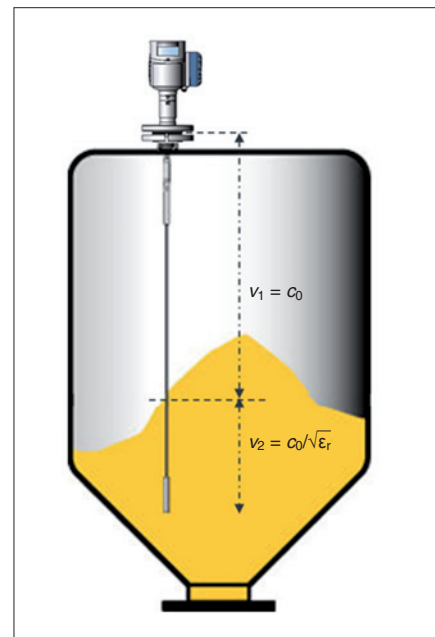
Jak na média s $\epsilon_r \leq 1,6$

Skutečnost, že amplituda odraženého pulzu závisí na odrazivosti měřeného média (tedy na jeho ϵ_r), ovšem znamená dosti zásadní fyzikální omezení použitelnosti principu

TDR. Při malých hodnotách ϵ_r je totiž odražený signál tak slabý (viz obr. 1), že ho elektronika přístroje nedokáže detekovat, a měřit metodou přímého odrazu tudíž není možné.

V daném případě je fyzikální mezí hodnota poměrné permitivity $\epsilon_r = 1,6$. Média s takovou nebo i menší ϵ_r jsou ovšem dosti častá – například plastové pelety nebo prášky atd. To stává uživatele i dodavatele hladinoměrné techniky před obtížným úkol – jak spolehlivě změřit polohu hladiny médií s poměrnou permitivitou $\epsilon_r \leq 1,6$? Lze fyzikální omezení měřicího principu TDR překonat?

Firma Krohne vyvinula v 90. letech minulého století speciální software pro bezkontaktní radarové hladinoměry řady BM 70, vysílajícími do prostoru nádrže spojitý mikrovlnný signál s proměnnou frekvencí (metoda FMCW – *Frequency Modulated Continuous Wave*). Jde o metodu tzv. sledování dna ná-



Obr. 2. Stanovení výšky hladiny médií se špatnou odrazivostí s použitím rozdílu rychlosti šíření signálu ve volném prostoru v_1 a rychlosti v měřeném médiu v_2

drže (*Tank Bottom Following* – TBF), umožňující měřit i média s nedostatečnou odrazivostí – a to v podstatě nepřímým sledováním signálu. Jestliže se radarový signál dostatečně neodráží od povrchu z důvodu malé poměrné permitivity měřeného média, kde se vyslaná energie ztrácí? Odpověď je jasná: signál po-

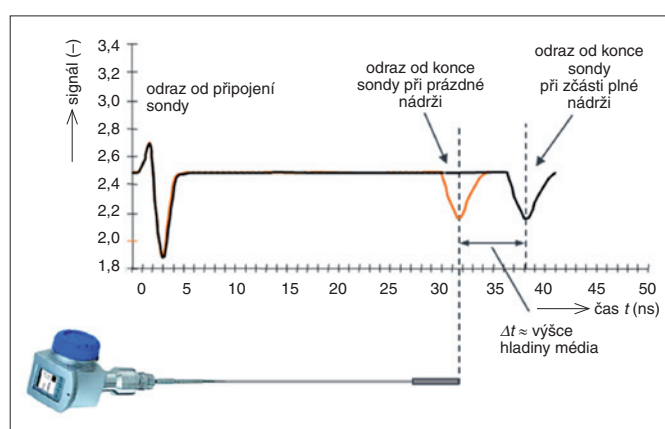
¹⁾ Jako označení principu má zkratka TDR také význam *Time Domain Reflexion* (pozn. red.).

hybující se v prostředí nad hladinou média v podstatě rychlostí světla prochází přes hladinu do měřeného média a odrazí se ode dna nádrže. V měřeném médiu jeho rychlost klesne v závislosti na ϵ_r média. Pro rychlost v radarového signálu v prostředí platí vztah

$$v = c_0/\sqrt{\epsilon_r} \quad (1)$$

Obsahuje-li nádrž měřené médium s $\epsilon_r > 1$, radarový signál potřebuje k dosažení dna nádrže delší dobu než v případě, že je nádrž prázdná (vzduch má $\epsilon_r \approx 1$). V porovnání s měřením v prázdné nádrži se v nádrži s měřeným médiem zdá, jako by se poloha dna posunula dále od hladinoměru. Jestliže je známa poměrná permitivita měřeného média a skutečná poloha dna nádrže, lze s použitím zpoždění při průchodu signálu (posunutá vzdálenosti dna) vypočítat výšku hladiny média v nádrži.

V roce 1996 firma Krohne zavedla pracovní režim TBF i do svých radarových hladinoměrů s vedenou vlnou řady BM 100, které tehdy byly nově uvedeny na trh. V tomto případě se však již nepoužíval k výpočtu výšky hladiny signál odražený ode dna nádrže, ale pulz odražený od konce sondy přístroje (obr. 2, obr. 3). Jelikož je délka použité



Obr. 3. V porovnání s odrazem v prázdné nádrži se skutečná poloha konce sondy (oranžový odraz) jeví v částečně zaplněné nádrži jako posunutá (černý odraz)

sondy známa a uložena v paměti přístroje, výpočet byl ještě jednodušší než u bezkontaktních radarových hladinoměrů vyzařujících do volného prostoru. Jediná hodnota, kterou bylo pro výpočet výšky hladiny nutné znát, byla hodnota ϵ_r média, zadávaná do hladinoměru BM 100.

Uvedená technika byla od 90. let minulého století dále rozvíjena. Radarové hladinoměry s vedenou vlnou řady Optiflex 1300 a nejnovější přírůstek Optiflex 2200 určují hodnotu ϵ_r měřeného média samy a jsou také samy schopny rozhodnout, zda bude měření probíhat v „normálním“ přímém režimu nebo v režimu sledování konce sondy TBF. Při použití těchto přístrojů uživatel tedy může spolehlivě měřit i médium s velmi špatnou odrazivostí, aniž by musel zjišťovat a zadávat do přístroje doplňkové údaje o měřeném médiu a režimu měření. V tomto případě firma Krohne neposunula fyzikální hranice, ale spíše postupně rozvinula dosavadní přístrojovou techniku tak, aby vyhovovala novým požadavkům. Současný uživatel tak získá spolehlivý a přesný přístroj se snadnou obsluhou, který je schopen se sám přizpůsobit malé nebo měnící se poměrné permitivitě měřeného média.

Další novinky a trendy v oboru měření sypkých látek

Vedle malé odrazivosti však může uživatel při měření sypkých látek narazit i na další problémy. Jde např. o různé kužely naspaného média, ať už s vrcholem směřujícím nahoru nebo dolů, a svahy, které mohou u radarů vyzařujících do volného prostoru (na principu FMCW) způsobit násobné odrazy, a tedy i přímé a nepřímé odrazy signálu od stěn nádrže. K dalším problémům může vést prach, který se při plnění nádrže usazuje na anténě a může následně způsobit značný útlum či rozptyl žádaného signálu. Tradiční prostředky k od-

► Přizpůsobivost je nejdůležitější



KROHNE

► measure the facts

► Hledáte modulární hladinoměr?

Odpovědí je OPTIWAVE 5200 od firmy KROHNE.

Radarový hladinoměr OPTIWAVE 5200 na principu FMCW s dvou vodičovým připojením je určen pro měření kapalin. Díky modulárnímu provedení jej lze maximálně přizpůsobit požadované aplikaci a místu montáže.

Pouzdro převodníku lze otáčet v rozsahu 360° a ovládací tlačítka jsou přístupná i bez nutnosti otevírání krytu. Navíc může být převodník hladinoměru dodán v odděleném provedení a umístěn ve vzdálenosti až 100 m od antény s provozním připojením.

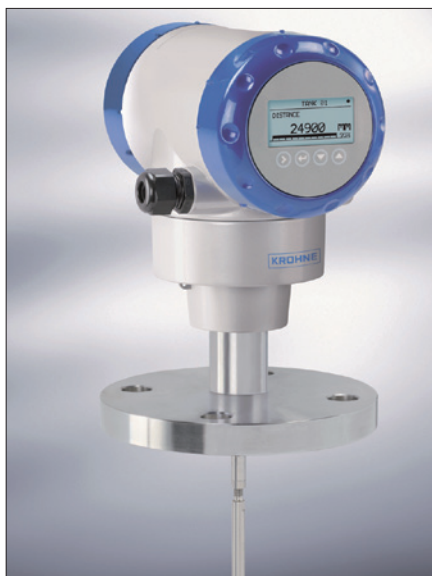
Konstrukce hladinoměru vyhovuje požadavkům na systémy související s bezpečností podle ČSN EN 61508 (SIL2). Přístroj je možno dodat s různými anténami vhodnými pro běžná i agresivní média.

Díky mimořádné přizpůsobivosti a spolehlivosti se OPTIWAVE 5200 snadno stane nepostradatelnou součástí Vašeho výrobního procesu.

KROHNE – Průmyslové aplikace jsou náš svět.

Další podrobnosti najdete na internetových stránkách. www.krohne.com





Obr. 4. Radarový hladinoměr s vedenou vlnou Krohne Optiflex 2200 C v kompaktním provedení

stranění tohoto problému – např. trvalé ofukování antény – mohou být z dlouhodobého hlediska nákladné.

Ve snaze minimalizovat uvedené i další problémy firma Krohne své hladinoměry neustále zdokonaluje – např. vyvíjí nové typy antén a nové inteligentní algoritmy, které dokážou rozeznat užitečný signál od násobných odrazů. Útlum a rozptyl signálu u radarů na principu FMCW se snaží vyvážit zaváděním metod vyhodnocení zlepšujících dynamiku signálu; díky tomu je možné snáze zpracovat a odlišit slabé užitečné signály od hladiny „ztracené“ mezi silnými rušivými signály.

Firma Krohne se vždy snaží nabídnout zákazníkovi úplné řešení jeho problému. Například při měření prášků bezkontaktními radary musí uživatel počítat s poměrně vysokou cenou antény s velkým průměrem a rozměrným provozním připojením i s dodatečnými

náklady na pravidelné nebo trvalé oplachování antény tlakovým vzduchem. Při použití radaru řady Optiwave s kapkovou anténou s nepřilnavým povrchem a provozním připojením DN 80 lze v porovnání se standardním uspořádáním dosáhnout značné úspory nákladů. Radarový hladinoměr s vedenou vlnou Optiflex 1100 pro méně náročné úlohy je dodáván za velmi příznivou cenu, a může tak v praxi nahrazovat mezní hladinové spínače pro sypké látky.

K novým trendům při měření sypkých látek patří další zvyšování pracovních frekvencí u bezkontaktních radarových hladinoměrů (až 80 GHz). Nicméně z hlediska využití v praxi se takové přístroje nijak významně neliší od vyzkoušených a osvědčených hladinoměrů s pracovní frekvencí v rozmezí 24 až 26 GHz. Radary pracující na vyšší frekvenci sice mají velmi malý úhel vyzařování, zároveň jsou však mimořádně citlivé na usazeniny na anténě, a většinou se tak při měření sypkých látek neobejdou bez poměrně nákladného oplachování stlačeným vzduchem. Vývoj proto nyní směřuje spíše k menším nákladům, snazšímu uvádění do provozu a ke zjednodušení obsluhy hladinoměrů.

Nejnovější nabídka v oboru reflektometrických hladinoměrů

Již zmíněný přístroj Optiflex 2200 C/F je hladinoměr na principu TDR s dvou vodičovým připojením a s měřicím rozsahem pro sypké látky až 20 m při teplotách do 300 °C a tlaku do 4 MPa. Vedle pracovního režimu TBF je přístroj vybaven i algoritmy pro dynamické potlačení rušení (*Dynamic Parasite Rejection* – DPR), umožňujícími automaticky detekovat a odfiltrout rušivé signály způsobené usazeninami nebo inkrustacemi. Elektronika přístroje je zpětně kompatibilní se všemi staršími typy sond reflektometrických radarových hladinoměrů firmy Krohne

(např. BM 100). Přístroj Optiflex 2200 C/F je dodáván v kompaktním (obr. 4) nebo odděleném provedení (obr. 5) a vedle použití v prostředí s nebezpečím výbuchu (standard ATEX) je také v souladu s (ČSN) IEC 61508 schválen k použití v systémech souvisejících s bezpečností na úrovni SIL 2.



Obr. 5. Hladinoměr Optiflex 2200 F: oddělené provedení, u kterého může být vlastní převodník vzdálen až 100 m od senzoru se sondou

Dostupnost

Prodej, záruční i pozáruční servis a kalibraci přístrojů od firmy Krohne v České republice zajišťuje společnost Krohne CZ, spol. s r. o. Zkušení specialisté v kancelářích v Praze, Brně a Ostravě jsou připraveni najít optimální řešení téměř libovolné úlohy měření polohy hladiny v průmyslu.

[Přeloženo z materiálů společnosti Krohne.]

Radmila Kompová,
KROHNE CZ, spol. s r. o.

► Letní kurzy Dětské univerzity v Liberci

Na období letních prázdnin připravila *Technická univerzita Liberec* sérii krátkodobých kurzů z různých oblastí technických a přírodních věd. Kurzy jsou určeny pro zvědavé žáky základních škol a nižších stupňů víceletých gymnázií. Budou probíhat v Liberci v areálu TUL, popř. SPŠSE a VOŠ v Liberci, formou denní docházky na výuku od pondělí do pátku v čase od 8 do 15 až 16 h (podle náplně kurzu). Kurzy jsou zkrácenou verzí celoročních kur-

zů *Dětské univerzity*, a nejsou tedy určeny pro ty, kteří tyto kurzy již v minulosti absolvovali. Účast na kurzech není nároková, účastníci budou vybráni garanty na základě přihlášek a studijních výsledků ve škole. Každému dítěti bude umožněna návštěva maximálně dvou kurzů během letních prázdnin 2015. Náklady na realizaci kurzů budou hrazeny z rozpočtu *Projektu EDUTECH*, tedy dotace z fondů EU a státního rozpočtu ČR. Účastníci si budou případně hradit pouze náklady neuznatelné projektem (vstupenky, jízdenky MHD apod.). Kurzy se budou konat pouze v případě, že budou dostatečně naplněny a při do-

statku finančních prostředků na realizaci a schválení prodlouženého projektu EDUTECH. Na přihlášku směřuje odkaz: edutech.tul.cz/registrace_letno.php. Předpokládá se, že se uskuteční kurzy s tématy: Aplikovaná fyzika a chemie, Biomedicína, Chemie a nanomateriály, Inteligentní domy prakticky, Mikrobiologie, Moderní 3D technologie, Programování robotických stavebnic I a II, Strojírenství a konstrukce automobilů, Textilní technologie a design, Úpravy textilních materiálů, Základy elektroniky a mikropočítačů a Základy elektrotechniky a strojírenství.

(šm)