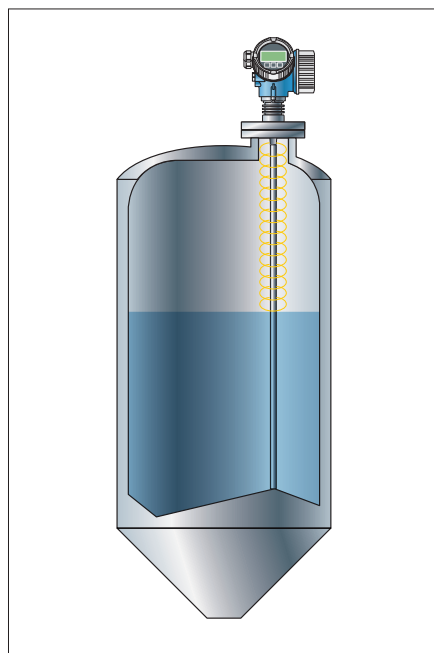


Kontinuální měření polohy hladiny radarovými hladinoměry

Článek poskytuje přehled dostupných metod pro kontinuální měření polohy hladiny bezkontaktními radarovými hladinoměry a radarovými hladinoměry s vedenou vlnou. Čtenářům poskytuje přehled, jakou metodu a jakou frekvenci zvolit pro danou úlohu, jaké jsou jejich přednosti a nevýhody.

Úvod

Je možné jednoduše snížit výrobní náklady a spotřebu energie? A přitom současně zvýšit bezpečnost, produktivitu a využitelnost technologických zařízení? V procesní automatizaci jde vesměs o stejné otázky a témata. Pouze výjimečně však lze všechno vyřešit jedním způsobem. Ani při spojitém měření polohy hladiny mikrovlnnými radary tomu není jinak: pro op-

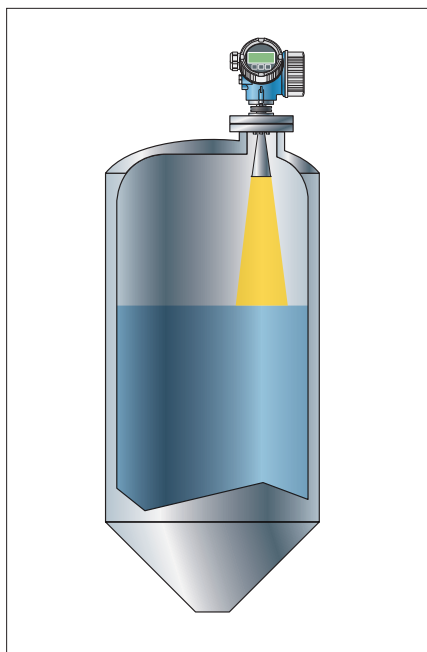


Obr. 1. Radarový hladinoměr s vedenou vlnou

timální splnění požadavků různých úloh jsou potřebná individuální řešení využívající širokou nabídku měřicích přístrojů.

Radarové hladinoměry s vedenou vlnou

Radarové hladinoměry s vedenou vlnou (snímače GWR – *Guided-Wave Radar*, obr. 1) nebo také hladinoměry TDR (*Time Domain Reflectometry*) pracují s vysokofrekvenčními radarovými impulzy, které jsou vedeny podél sondy, jež funguje jako vlnovod. Na rozhraní dvou médií s rozdílnou relativní permitivitou (nebo na rozhraní měřeného média a vzduchu) se skokově změní vlnový odpor sondy a část vyslaných impulzů se odrazí zpět. Přístroj měří a vyhodnocuje dobu mezi vysláním a přijetím odraženého impulzu, která je přímo



Obr. 2. Přímou vyzařující radarový hladinoměr

úměrná vzdálenosti mezi vysílačem impulzů a hladinou. Radary s vedenými impulzy pracují typicky se spektrem měřicích frekvencí od 100 MHz do 1,5 GHz.

Bezkontaktní přímo vyzařující radarové hladinoměry

Přímou vyzařující radarové hladinoměry (obr. 2) mohou také pracovat s mikrovlnnými impulzy a vyhodnocovat dobu šíření sig-

nálu k hladině a po odrazu od ní (ToF, *Time of Flight*) nebo to mohou být radarové hladinoměry pracující s kontinuálním radarovým signálem s proměnnou frekvencí (FMCW – *Frequency Modulated Continuous Wave*).

Radarové hladinoměry v současnosti pracují obvykle na jedné ze tří frekvencí: 6 GHz (pásmo C), 26 GHz (pásmo K) a 80 GHz (pásmo W). Obecně platí: čím vyšší frekvence, tím menší vlnová délka a tím menší vyzařovací úhel při stejné velikosti antény. Současně má každé frekvenční pásmo své přednosti, ale i nevýhody související s podmínkami měření.

Impulzní radarový hladinoměr

Vysokofrekvenční elektromagnetické radarové impulzy jsou vyzařovány anténou a šíří se prostředím. Na rozhraní dvou prostředí s různou relativní permitivitou ϵ_r se odraží a šíří se zpět k senzoru. (Pozn. red.: relativní permitivita se dříve označovala jako dielektrická konstanta a toto označení se zejména v technických oborech dosud často používá; v německy mluvících zemích je možné se setkat se zkratkou DK – *Dielektrizitätskonstante*.) Platí, že čím vyšší hodnota relativní permitivity média, tím větší změna impedance prostředí a tím silnější odraz. Velikost antény, hodnota ϵ_r média a kvalita hladiny média (pěna, zvlnění) určují maximální měřicí rozsah. Přístrojem změřená a vyhodnocená doba mezi vysláním a přijetím odraženého impulzu je přímo úměrná vzdálenosti mezi anténou a hladinou média.

Radarový hladinoměr FMCW

Radarové hladinoměry FMCW používají kontinuální, frekvenčně modulovanou elek-

Impulzní radarový hladinoměr	Radarový hladinoměr FMCW
<p>6 Impulzní radarové hladinoměry jsou ideální pro nižší frekvence, 6 a 26 GHz; jde o osvědčené přístroje; jen u zákazníků Endress+Hauser pracuje 450 000 těchto hladinoměrů.</p> <p>26</p> <p>Rychlé vzorkování a snadné zpracování signálu při malém příkonu procesoru: vhodné pro dvou vodičové zapojení.</p> <p>Měření je spolehlivější při rychlých změnách polohy hladiny, neklidné hladině, varu média.</p>	<p>80 Radarové hladinoměry FMCW jsou ideální pro vysoké frekvence, až 80 GHz, kde zpracování signálu ToF naráží na své limity.</p> <p>Hladinoměry FMCW mají větší měřicí dosah, až 125 m (impulzní hladinoměr jen do 70 m).</p> <p>Hladinoměry s lineární změnou frekvence a větší šířkou pásma (4 GHz) umožňují dosáhnout větší přesnosti než impulzní hladinoměry (± 1 mm ve srovnání s ± 2 až ± 3 mm u běžných impulzních radarů).</p> <p>Vyhodnocení signálu s větší dynamikou a užší paprsek radaru umožňují měření v náročnějších úlohách.</p> <p>Užší tvar signálu při změně frekvence v širším pásmu (4 GHz) umožňuje dosáhnout většího rozlišení bez ztráty kvality signálu.</p>

Obr. 3. Srovnání impulzního radarového hladinoměru s hladinoměrem pracujícím na principu FMCW



Obr. 4. Hladinoměř s tyčovým vlnovodem Levelflex FMP51 (Endress+Hauser)

tromagnetickou vlnu, která je vyzářovaná anténou a odráží se od média. Také zde platí, že čím vyšší hodnota ϵ_r média, tím větší změna impedance a tím silnější odraz, a také zde velikost antény, hodnota ϵ_r média a kvalita hladiny média určují maximální měřicí rozsah. Neměří se ovšem doba, ale posun frekvence Δf vyslaného a přijatého signálu, z něhož lze vypočítat vzdálenost k hladině. Výhodou je, že rozdíl frekvencí lze měřit přesněji než časový interval mezi vysláním signálu a jeho přijetím.

Srovnání impulzního radarového hladinoměru s hladinoměrem pracujícím na principu FMCW je na obr. 3.



Obr. 5. Radarové hladinoměry Micropilot FMR54, vlevo s trychtýřovou anténou, vpravo s planární anténou, vhodné pro ukliďňovací trubky v nádržích, pracují na frekvenci 6 GHz

Použití různých měřících frekvencí

1GHz radarový hladinoměř s vedenou vlnou

Velkou výhodou radarových hladinoměřů s vedenou vlnou je skutečnost, že signál je podél tyčové nebo lanové sondy veden velmi koncentrovaně. Důsledkem je např. to, že při výskytu pěny na hladině signál projde vrstvou pěny bez výrazného zeslabení a odrazí se až od hladiny média. Radarový hladinoměř s vedenými impulzy tedy spolehlivě měří i média s malou relativní permitivitou a s možností kondenzace nebo tvorby pěny.

Radarový hladinoměř s vedenou vlnou je výhodné používat při měření v obtokových komorách (bypassch) a při měření rozhraní mezi dvěma médii. Například pro měření rozhraní s neostřím dělením kapalin (emulzní vrstva) je k dispozici hladinoměř, který v sobě kombinuje dva měřicí principy: kapacitní pro měření polohy emulzní vrstvy a mikrovlnný pro měření hladiny kapaliny.

V procesech s plynnou nebo parní fází nad hladinou může být měření obtížnější. Konvenční radarové hladinoměry s vedenou vlnou zde vykazují velkou odchylku měření při různých provozních podmínkách. Nikoliv ale radarový hladinoměř Levelflex od firmy Endress+Hauser s aktivní kompenzací vlivu plynné fáze: referenční signál vytvořený na známé délce je zde použit ke kompenzací posunu

doby průletu impulzů způsobeného plynnou fází nad hladinou. Kompenzace je zcela automatická a již při malém posunu referenčního signálu v čase je signál měření hladiny proporcionálně kompenzován. Ve srovnání s konvenčními hladinoměry tak radar s kompenzací plynné fáze vykazuje u polárních médií (některé plyny a vodní pára) pouze nepatrnou odchylku měření.

Při měření hladiny sypaných látek lze pomocí přesného umístění lanové sondy spolehlivě zohlednit sypaný úhel. Znamená to, že je mož-



Obr. 6. Radarové 26GHz hladinoměry: vlevo Micropilot FMR10, vhodný zejména pro vodárenství, vpravo standardní Micropilot FMR51 s trychtýřovou anténou

né s vysokou spolehlivostí přesně měřit až do maximální úrovně zaplnění. Radarový hladinoměř s vedenými impulzy má však svá omezení při velkých tahových silách v zásobnících sypaných látek a také v nádržích s míchadly, kde může být tyčová sonda mechanicky namáhána. Jelikož jde o kontaktní měření, je nutné vzít v úvahu i odolnost materiálu sondy.

Příklad hladinoměru s tyčovým vlnovodem je na obr. 4.

Radarové hladinoměry s frekvencí 6 GHz

Voda odráží mikrovlny velmi silně (relativní permitivita je při 20 °C rovna 81). Proto může kondenzace silně ovlivňovat měření radarem. To může zvláště při vyšších frekvencích vést až k překrytí radarového signálu šumem od vodních kapek a ke znemožnění vytvoření jasného signálu od hladiny. První volbou pro taková měření je proto radarový hladinoměř pracující na nižší frekvenci, 6 GHz, který je na tyto jevy relativně necitlivý. Díky širokému vyzařovacímu úhlu je také nejvhodnější pro nádoby s míchadly a při tvorbě silných turbulencí na hladině, protože jakoby průměruje signál od hladiny a neměří jen v jednom malém bodě. 6 GHz je v kombinaci se speciálním typem antény také nejlepší měřicí frekvence pro ukliďňovací trubky v nádržích (obr. 5).



Obr. 7. Radarové hladinoměry Micropilot FMR62 pro kapaliny a FMR67 pro sypké látky

Radarové hladinoměry s frekvencí 26 GHz

Radarové hladinoměry s frekvencí 26 GHz jsou velmi univerzální a osvědčily se v mnoha úlohách v různých průmyslových odvětvích (obr. 6). Na trhu jsou jak jednoduché kompaktní radarové hladinoměry pro vodní hospodářství a podpůrné provozy, tak i přístroje pro náročné úlohy v provozních reaktorech. Vyzářovací úhel je oproti 6GHz radarům menší, ale stále dost velký na to, aby si poradil s turbulentními hladinami médií. Zástavby v reaktorech, jako například spirály nebo míchadla, však způsobu-

jí rušení. Pro typické provozní nádrže výšky přibližně 15 až 20 m jsou tyto hladinoměry správnou a bezpečnou volbou. Uvedené 26GHz radarové hladinoměry si rovněž poradí s kondenzací a tvorbou pěny. V případě sypkých látek je tato frekvence obzvláště vhodná pro prašná, hrubozrná a nánosy tvořící média.

Radarové hladinoměry s frekvencí 80 GHz

Radarové hladinoměry v pásmu 80 GHz (obr. 7) mají mnoho výhod. V silech se sypkými látkami měří díky zaostřenému papr-

ku a dynamickým algoritmům vyhodnocení signálu stabilně až do vzdálenosti 125 m. Speciálně u jemných prášků má malá vlnová délka své výhody. U kapalin je možné s touto frekvencí měřit s absolutní přesností ± 1 mm, u přístrojů pro ověřené obchodní měření s prémiovou kalibrací až $\pm 0,5$ mm. Zástavby na stěnách nádrže vzhledem k úzkému vyzářovacímu úhlu nezpůsobují žádné rušení. Návrh měřicího místa a montáž jsou tak podstatně jednodušší a levnější než u radarových hladinometrů pracujících na nižší frekvenci. Měření nemá problémy ani při umístění ve vysokých hrdlech, což umožňuje instalovat kulové kohouty pro oddělení snímače od procesního prostředí. Má-li anténa vhodnou konstrukci, nenarušují spolehlivost měření ani nánosy a kondenzace. Frekvence 80 GHz dovoluje použít velmi malé antény a nemá v podstatě žádnou mrtvou zónu. Hladinoměry s touto frekvencí jsou proto vhodné i k použití ve velmi malých nádržích s malým procesním připojením od $\frac{3}{4}$ ".

Shrnutí

V radarové měřicí technice zatím neexistuje jedna ideální měřicí frekvence. Každý frekvenční rozsah má své výhody a nevýhody. Hladinoměry s frekvencí 80 GHz, protežované v současné době jako novinka, jsou jen dalším kamínkem v celé mozaice radarových hladinometrů. Rozhodující je správná volba frekvence pro každou úlohu, k čemuž má posloužit i tento článek.

Matthias Kaiser,
Endress+Hauser Maluburg

Trenčiansky robotický deň 2017

V polovině února se konal v areálu Střední odborné školy v Trenčíně na Slovensku dvanáctý ročník Trenčianského robotického dne. Jeho vyhlášeovatelem bylo Ministerstvo školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky.

Trenčiansky robotický deň je mezinárodní soutěžní přehlídka robotů pro týmy základních a středních škol. Pro mnoho soutěžících týmů to byla příležitost představit výsledky práce robotických kroužků před očima konkurence, ale především před představiteli vysokých škol a strojírenských firem. Naproti tomu se účastníci soutěže mohli seznámit jak s možnými budoucími zaměstnavateli, tak s vysokými školami, které jejich koníčky a zájmy mohou rozvinout v odbornou profesní přípravu.

Pro zájemce byla také organizována exkurze do provozů společnosti Konštrukta, která se může pochlubit úspěšným přechodem od ryze vojenské produkce k produk-

ci moderních výrobních linek pro gumárenský průmysl.

Soutěžili se zúčastnily týmy ze Slovenska, Maďarska a Německa, zavedlo 131 robo-



Obr. 1. Trenčiansky robotický deň

tů z 41 základních a středních škol. Soutěžilo se v kategoriích Follower Easy, Follower Hard a DoIt! a Boffin ve věkovém dělení do šestnácti let a nad šestnáct let.

V rámci soutěže Free style byly představeny výsledky technické tvořivosti robotických kroužků, které se přímo nezúčastnily jednotlivých závodů. Šlo o nejružnější technická řešení od stavebnic řízených řídicím systémem po 3D tisk.

Kromě věcných cen, věnovaných sponzory akce, vítězné týmy kategorie Boffin získaly pro svou třídu zájezd do Energolandu jaderné elektrárny v Mochovcích. Tuto atraktivní cenu věnovaly Slovenské elektrárne.

Cíle této akce – motivování mladých lidí pro moderní techniku – byly bohatě splněny. Zanícenost jednotlivých soutěžících, zájem o představované výrobky a také radost a nadšení z dosažených výsledků bylo možné pozorovat nejen při závěrečném ceremoniálu, ale i v průběhu celé dvoudenní akce. Organizátorům patří nesporný dík.

Radim Adam