

Měření výšky hladiny radarovými hladinoměry

Měření polohy hladiny kapalin a sypkých látek v zásobnících a silech radarem je obecně hodnoceno jako spolehlivé a všestranně použitelné měření výšky hladiny. V současnosti se hodně diskutuje o možnostech použití radarových hladinoměrů s velkou pracovní frekvencí. Někteří dodavatelé uvádějí, že mikrovlnný radarový hladinoměr s pracovní frekvencí 80 GHz je univerzálně použitelný pro všechny úlohy měření polohy hladiny. Platí to však opravdu bez omezení? Budou radarové hladinoměry pracující na nižších frekvencích nahrazeny nejnovejšími typy radarových hladinoměrů s pracovní frekvencí 80 GHz? Zodpovězení uvedených otázek i dobrá orientace v možnostech použití radarových hladinoměrů jsou snadné při pochopení základních principů měření polohy hladiny mikrovlnným radarovým hladinoměrem.

Radarové hladinoměry používají dva základní funkční principy – pulzní radarové hladinoměry měří dobu šíření signálu a frekvenčně modulované radarové hladinoměry se spojitým provozem (FMCW) měří změnu frekvence. Pro nejmodernější radarové hladinoměry velkých světových výrobců je nyní stále více používán funkční princip FMCW. Firma Krohne je průkopníkem použití radarových hladinoměrů s funkčním principem FMCW pro provozní měření polohy hladiny a jako první na světě takový hladinoměr vyrobila a uvedla na trh v roce 1989. Zkratka FMCW vychází z anglického názvu *Frequency-Modulated Continuous Wave*: radarový hladinoměr vysílá mikrovlnné záření, jehož frekvence se spojitě mění v určitém rozsahu, a současně přijímá mikrovlnné záření odražené od měřené hladiny. Měří rozdíl frekvencí mezi právě vysílaným zářením a přijatým odraženým zářením. Tento rozdíl frekvencí je úměrný vzdálenosti radarového hladinoměru a měřené hladiny, od které se záření vysílané radarovým hladinoměrem odráží. Měření výšky hladiny radarovým hladinoměrem je tedy primárně měřením vzdálenosti mezi radarovým hladinoměrem, umístěným obvykle na střeše sila nebo zásobníku, a povrchem měřené látky. Zadají-li se předem známé geometrické rozměry zásobníku, je možné měřit výšku hladiny (ode dna), objem látky v zásobníku, volný objem nad hladinou látky v zásobníku atd. (*Pozn. red.:* radarový hladinoměr tedy vlastně neměří „výšku hladiny“, jako např. hydrostatické hladinoměry, ale vzdálenost mezi hladinoměrem a hladinou; lépe tudíž „polohu hladiny“, protože bez dalších údajů o nádobě určit výšku hladiny ani zaplnění takto nelze. Mnohé jazyky, např. angličtina nebo francouzština, zjednodušeně používají jen „měření hladiny“, avšak hladina není fyzikální veličina, kterou by bylo možné měřit a číselně vyjádřit.) Radarový hladinoměr není v přímém kontaktu s měřenou látkou a měření nezávisí (na rozdíl od např. ultrazvukového hladinoměru) na tlaku a teplotě v zásobníku, viskozitě nebo hustotě měřené látky. Přesto je vhodné stručně uvést faktory, které mohou měření polohy hladiny

radarovým hladinoměrem využívajícím princip FMCW lépe charakterizovat. Pro podrobné seznámení se s tímto měřicím principem viz dokument *FMCW Radar Level Measurement Systems*, https://cdn.krohne.com/dlc/WP_Radar-Level-Measurement-Systems_en.pdf (česká verze se připravuje).



Obr. 1. Radarový hladinoměr s frekvencí 80 GHz OPTIWAVE 6500 s čočkovou anténou instalovaný na silu

Dynamika vyhodnocení signálu a šířka pásma

Od hladiny se odráží mikrovlnné záření o každé frekvenci, proto je spektrum přijímaného signálu velmi široké. Vysílané záření se odráží nejen od hladiny měřené látky, ale také od dalších povrchů v zásobníku nebo síle, např. částí vestavby nebo stěn zásobníku. Vzájemné rozlišení jednotlivých odrazů je možné jen při velké dynamice vyhodnocení signálu. Hovoří se o velké citlivosti měření polohy hladiny: čím více signálů od požadovaného cíle (povrchu hladiny) je radarový hladinoměr schopen přijmout a zpracovat, tím lépe lze odlišit užitečný signál, což je odraz od měřené hladiny, od rušení (odrazů od vnitřní vestavby, stěn zásobníku atd.) a šumu pozadí. Tuto funkci mají v podstatě všechny radarové hladinoměry, které využívají měřicí princip FMCW.

Radarové hladinoměry s větší šířkou pásma umožňují dosáhnout lepšího rozlišení

a zpracování přijímaného spektra: jednotlivé cíle jsou určeny spektrálními čarami, které nesplyvají a mohou být jednotlivě vyhodnocovány. Větší frekvenční rozsah modulační signálu (šířka pásma, „zdvih“) určuje počet jednotlivých spektrálních čar, které mohou být vyhodnoceny z mikrovlnného záření odraženého od měřené hladiny. Radarový hladinoměr s pracovní frekvencí 24 GHz pracuje typicky s frekvenčním zdvihem 2 GHz, tedy v rozsahu 24 až 26 GHz. Radarový hladinoměr s pracovní frekvencí 80 GHz obvykle pracuje s frekvenčním zdvihem 4 GHz, např. v rozsahu 78 až 82 GHz. Hladinoměry Krohne se zdvihem 4 GHz dokážou v současnosti bezpečně rozlišit dvě odrazné plochy vzájemně posunuté o 10 cm. Tohoto výsledku není možné při šířce pásma 2 GHz za obdobných podmínek dosáhnout.

V minulosti byla šířka pásma radarových hladinoměrů omezena zejména dostupnými mikroprocesory používanými pro zpracování signálu. V současnosti je omezujícím činitelem provedení antény radarového hladinoměru, která musí být způsobilá vysílat frekvenční spektrum v požadovaném rozsahu. Firma Krohne vyvinula pro použití v radarových hladinoměrech urč

ření vlastní mikroprocesor, aby omezila svou závislost na výrobcích mikroprocesorů, kteří se soustřeďují na úlohy s větším počtem instalací (např. v automobilovém průmyslu pro měření vzdálenosti mezi vozidly za jízdy).

Směrování mikrovlnného záření a velikost antény

Mikrovlnné záření se nešíří přímkově, jako např. laserový paprsek, ale spíše v podobě kuželové vlnoplochy – svazku (*pozn. red.:* laserový paprsek má také svou rozbíhavost, ale mnohem menší než mikrovlnný signál). Je-li třeba ovlivnit šířku svazku, je možné to udělat dvěma způsoby. Prvním způsobem je zvýšení pracovní frekvence. Čím vyšší je pracovní frekvence, a tedy kratší vlnová délka, tím menší je úhel divergence, tj. průměr svazku v dané vzdálenosti od antény. Šířka svazku radarového hladinoměru s pracovní frekvencí 80 GHz a šířkou pásma 4 GHz je ve vzdálenosti 10 m od antény asi třetino-

vá v porovnání s radarovým hladinoměrem s pracovní frekvencí 24 GHz a šířkou pásma 2 GHz (číselně pro určitý hladinoměr a anténu např. 0,53 m/1,76 m). Další možnosti, jak ovlivnit divergenci svazku, je průměr antény. Čím je větší průměr antény, tím užší je vysílaný svazek.

Tyto skutečnosti je možné snadno použít pro radarové hladinoměry užívané v provozu: např. k měření polohy hladiny sypkých látek ve vysokých silech o malém průměru by se mikrovlnný svazek vyzařovaný radarovým hladinoměrem dotýkal stěn sila nebo vnitřní vestavby a vznikaly by mnohačetné odrazy s interferencemi. Proto je vhodné použít radarový hladinoměr s vyzařovaným svazkem co nejmenší šířky, tedy radarový hladinoměr s pracovní frekvencí 80 GHz, a s co největší anténou. Pro měření výšky hladiny kapaliny v reaktoru s míchadlem a silně zvlhčeným povrchem hladiny však nemá použití radarového hladinoměru s úzkým vyzařovaným svazkem význam. Povrch hladiny v reaktoru s intenzivním mícháním je šikmý a v extrémním případě by byl dopadající silně směřovaný svazek odražen mimo anténu radarového hladinoměru. Jednoduše řečeno – v tomto případě je správnou volbou pro bezproblémové měření polohy hladiny použití radarového hladinoměru s pracovní frekvencí 24 GHz a menší anténou.

Odrazivost a pracovní frekvence

Vlastnosti povrchu měřené látky spolurozhodují, vedle šířky vysílaného svazku, o tom, jaká část energie mikrovlnného záření se odrazí zpět k anténě radarového hladinoměru. Čím větší je odrazivost povrchu měřené látky, tím větší je intenzita mikrovlnného záření odraženého od jejího povrchu. Odrazivost souvisí s poměrnou permitivitou měřené látky. Voda má hodnotu poměrné permitivity $\epsilon_r = 80$, odrazí tedy přibližně 65 % dopadající energie mikrovlnného záření a patří mezi látky, které odrážejí mikrovlnné záření velmi dobře. Kyseliny a zásady s hodnotou poměrné permitivity $\epsilon_r = 20$ až 30 odrážejí zpět přibližně 40 % energie mikrovlnného záření. Kapalné uhlovodíky mají hodnotu poměrné permitivity ϵ_r mezi 1,6 a 3 a odrážejí zpět jen 5 % dopadající energie mikrovlnného záření, což je však ještě hodnota postačující pro spolehlivé měření polohy hladiny i pro radarové hladinoměry s pracovní frekvencí 10 GHz. Také radarový hladinoměr s pracovní frekvencí 80 GHz bude v těchto úlohách bez problémů použitelný, jeho vlastnosti však zůstávají poněkud nevyužité.

Sypké látky odrážejí mikrovlnné záření, na rozdíl od kapalin, obecně velmi špatně. Firma Krohne udává jako nejnížší hodnotu poměrné permitivity látky, kterou ještě dokáže svými radarovými hladinoměry spolehlivě měřit, $\epsilon_r = 1,4$. Odrazivost povrchu měřené hladiny kapalin nezávisí na pracovní frekvenci hladinoměru. Naproti tomu u sypkých látek, kde je povrch hladiny tvořen práškem

Krohne na veletrhu Achema: inovace v měření pro procesní výrobu

Na veletrhu Achema ve Frankfurtu nad Mohanem najdou návštěvníci firmu Krohne v hale 11.1 ve stánku A13. Ve svém stánku představí inovace v kompletním sortimentu, tzn. v nabídce průtokoměrů, hladinoměrů, tlakoměrů i teploměrů, stejně jako v oblasti provozní analytické techniky. Tak jako byla v roce 2017 inovována řada radarových FMCW hladinoměrů Optiwave s pracovní frekvencí 6 až 80 GHz, následují nyní hladinoměry s vedenou vlnou (TDR) Optiflex: šest základních provedení splňuje požadavky různých oblastí použití. Řada hmotnostních průtokoměrů Optimass byla doplněna průtokoměry se jmenovitou světlostí DN400 – největšími Coriolisovými průtokoměry, které jsou na trhu. Krohne tak nyní nabízí Coriolisovy průtokoměry pro průtoky od 0,3 kg/h do 4 600 t/h. V roce 2018 se chystá také inovace z hlediska konektivity přístrojové techniky: snadné nastavení a kontrola z mobilních zařízení budou možné prostřednictvím Bluetoothu. Novinky jsou očekávány též v oblastech měření v bioplynových stanicích nebo v oblasti příložených ultrazvukových hladinoměrů. Co se týče ucelených systémů (sekce Solutions), návštěvníky jistě zaujme rozšíření možnosti komunikace v sítích průmyslového Ethernetu s protokolem Profinet. V současné době mohou po Profinetu komunikovat Coriolisovy průtokoměry x400 Optimass a elektromagnetické průtokoměry x300 Optiflux, ale v budoucnu bude Profinet ve standardní nabídce všech převodníků Krohne. Možnosti využití komunikace protokolem Profinet si budou moci návštěvníci vyzkoušet na demonstračním panelu připraveném společně s firmou Phoenix Contact a dalšími partnery.

Ve stánku budou představeny rovněž služby poskytované firmou Krohne, od návrhu a vedení projektu až po metrologickou akreditaci podle MID MI-005 pro fakturační účely. Zájemci se budou moci seznámit s řešeními pro kalibraci a in-situ verifikaci zařízení a s nabídkou vzdělávacích kurzů dostupných zdarma na internetu. Pohledem do budoucnosti bude sekce vizualizace; zde budou uvedeny možnosti monitorování procesů s využitím virtuálních modelů zařízení.

Veletrh Achema se bude konat ve Frankfurtu nad Mohanem od 11. do 15. června 2018 (<https://www.achema.de/en.html>). (Bk)

nebo granulami, roste odrazivost poměrně významně s rostoucí pracovní frekvencí. Proto zde představuje použití radarového hladinoměru s pracovní frekvencí 80 GHz to nejlepší řešení. Vynikající dynamika vyhodnocení signálu zajišťuje spolehlivé měření výšky hladiny

tože vhodné řešení je silně ovlivněno dalšími parametry, které jsou v dané úloze významné (např. požadavky na korozní odolnost). Bylo také vysvětleno, že univerzální řešení pro všechny úlohy neexistuje. V následujícím shrnutí budou ještě jednou stručně popsány typické případy použití a uvedena doporučení vhodných řešení.

Pracovní frekvence 6 GHz

Radarový hladinoměr s pracovní frekvencí 6 GHz je nejvhodnější technické řešení pro obtokové trubky. Mikrovlnný signál se v obtokové trubce šíří jako ve vlnovodu, nerozptyluje se a odražený signál má velkou intenzitu i při malé hodnotě relativní permitivity měřené kapaliny. Radarové hladinoměry s touto pracovní frekvencí jsou však jen omezeně použitelné pro měření polohy hladiny v běžném zásobníku.

Pracovní frekvence 10 GHz

Pracovní frekvence 10 GHz je velmi vhodná pro měření polohy hladiny v jednoduchých skladovacích nebo provozních zásobnících o výšce až 30 m. Často je možné použít levné a výkonné plastové antény, které však vzhledem ke své délce zasahují poměrně hluboko do prostoru zásobníku. Kovové trychtýřové antény jsou vhodné pro nejvyšší požadavky, mají průměr 150 nebo 200 mm a vyžadují odpovídající přírubové připojení.



Obr. 2. Čočková anténa z materiálu PEEK: malé rozměry antény umožňují realizovat velmi kompaktní provedení hladinoměru

ny i při plnění, kdy v atmosféře nad hladinou v zásobníku nebo v síle obvykle vzniká velké množství prachu. Velká šířka pásma (4 GHz) umožňuje rozlišit rušivé signály od užitečného signálu, který vznikl odrazem od měřené hladiny, a to i v případě, že hladina a zdroj rušivého odrazu leží velmi blízko sebe.

Tím byly stručně popsány nejdůležitější parametry měření polohy hladiny mikrovlnným radarovým hladinoměrem využívajícím princip FMCW. Tvar antény a její umístění v zásobníku byly zmíněny pouze stručně, pro-

Pracovní frekvence 24 GHz

Radarové hladinoměry s pracovní frekvencí 24 GHz jsou velmi vhodné pro měření polohy hladiny kapalin i sypkých látek. Hlavní oblastí využití jsou provozní nádrže a reaktory v chemickém průmyslu, které jsou vybaveny míchadly, za provozu dochází k silnému zvlnění měřené hladiny a měří se často za vysokých tlaků a teplot. Kovové trychtýřové antény mají vnější průměr typicky 50 až 80 mm, a jsou tedy mnohem menší než u předchozích typů s nižší pracovní frekvencí. Alternativně je možné použít i plastové antény různého provedení, např. kapkovou anténu, která se doporučuje zejména pro měření výšky hladiny sypkých látek, protože je velmi odolná proti usazování prachu na svém povrchu.

Pracovní frekvence 80 GHz

Hladinoměry s pracovní frekvencí 80 GHz se vyznačují velmi malou šířkou vyzařova-

ného mikrovlnného svazku. Radarové hladinoměry s touto pracovní frekvencí vynikají při měření polohy hladiny v úzkých a vysokých zásobnicích a zajišťují minimum rušivých odrazů od stěn zásobníku a případné vestavby. Vzhledem k velké pracovní frekvenci má odražený signál velkou intenzitu i při měření polohy hladiny sypkých látek (prášků i granulátů), kdy může vznikat zejména při plnění velké množství prachu. Další výhodou je to, že vzhledem k velmi malému šířce vyzařovaného svazku má anténa minimální rozměry: firma Krohne používá pro radarové hladinoměry s touto pracovní frekvencí výhradně čočkové antény z PTFE nebo PEEK. Anténa je téměř ve stejné rovině se stěnou zásobníku. Protože má anténa malé rozměry, je možné pro montáž radarového hladinoměru využít závitové připojení a tím dále snížit náklady na měřicí místo s radarovým hladinoměrem. Tyto radarové hladinoměry se rovněž vyznačují malou po-

žadovanou mrtvou vzdáleností mezi maximální výškou hladiny a vlastní anténou, což umožňuje plnit zásobníky téměř na 100 % objemu nádrže.

Závěr

Z uvedených skutečností je patrné, že není možné doporučit univerzální řešení pro všechny úlohy. Také způsob montáže a provedení antény závisí na tvaru zásobníku a možnostech provozovatele. Proto je vhodné svěřit posouzení měřicího místa a výběr vhodného radarového hladinoměru s optimální pracovní frekvencí obchodně-technickému zástupci firmy Krohne.

*Andreas Königs, specialista pro měření výšky hladiny firmy KROHNE
Překlad: Petr Komp,
KROHNE CZ, spol. s r. o.*

krátké zprávy

► Česká republika má výrazný přebytek zahraničního obchodu s Německem

V roce 2017 výrazně vzrostl obchod mezi Českou republikou a Německem a dosáhl rekordního objemu 87,9 miliardy eur. Meziročně se zvýšil o 9,4 procentního bodu, jak vyplývá z nově zveřejněných předběžných údajů spolkového statistického úřadu (Destatis). Česko patří k zemím s nejvyšším přebytkem obchodní bilance vůči Německu. K západnímu sousedovi vyváží podstatně víc, než od něj dováží. Z tuzemska do Německa loni směřovalo zboží v hodnotě 46,2 miliardy eur, německý dovoz do Česka činil 41,6 miliardy eur. Na žebříčku obchodních partnerů Německa je Česko na sedmém místě, oproti roku 2016 si polepšilo o jednu příčku, když přeskočilo Švýcarsko.

„Význam Česka v kontextu německého zahraničního obchodu roste. Od jeho vstupu do Evropské unie se objem česko-německého obchodu už více než zdvojnásobil. Pozitivní trend táhne hlavně český export,“ komentuje statistiky Bernard Bauer, výkonný člen představenstva Česko-německé obchodní a průmyslové komory.

Ze zemí Visegrádské čtyřky má oproti ČR větší objem obchodu s Německem pouze Polsko (v roce 2017 na sedmém místě). Maďarsko se loni udrželo na čtrnácté příčce, Slovensko naopak opustilo první dvacítku. Jedničkou německého zahraničního obchodu je podruhé za sebou Čína s objemem zboží ve výši 186,6 miliardy eur. Výrazně si pohoršila Francie, která loni klesla z druhého na čtvrté místo.

[Tisková zpráva Česko-německé obchodní a průmyslové komory.] (ev)

► Foxconn 4Tech představil svou cestu k průmyslu 4.0

Firma Foxconn 4Tech a Česko-německá obchodní a hospodářská komora uspořádaly společný odborný seminář pro průmyslové firmy zaměřené na praktickou stránku a potenciál digitální transformace výroby a podnikání v dalších oborech.

Firmy v současné době intenzivně přemýšlejí o tom, jak inovovat výrobní procesy, a hledají cestu k vyšší efektivitě a kvalitě, ale často stále chybí konkrétní projekty a strategie, jak tyto požadavky uvést do praktického života. Společnost Foxconn 4Tech podporuje prostřednictvím svých řešení, produktů a služeb realizaci postupných kroků, které vytvářejí „ostrůvky inteligence“ nebo celé chytré továrny ve výrobní sféře. To ve svém důsledku pomáhá uvádět výrobu do požadovaného stavu plně nebo částečně digitalizace shrnutého do trendu průmyslu 4.0.

„Společný přístup a spolupráce s Česko-německou obchodní a hospodářskou komorou ukazuje, že průmyslové firmy mají zájem získat podstatné informace pro rozhodování, jaké projekty a procesy jsou pro digitální transformaci výroby důležité,“ uvedl Jiří Krátký, komerční ředitel společnosti Foxconn 4Tech. „Pomáháme zákazníkům uvést do života často složitější projekty pokročilé automatizace a efektivní sběr dat a představujeme jim naše praktické zkušenosti, které jsme získali během dvaceti let praxe našich vlastních týmů.“

Odborného semináře na půdě Česko-německé obchodní a hospodářské komory se zúčastnilo několik desítek odborníků z nejrůznějších oborů, kteří měli možnost nahlednout do konkrétních řešení implementace průmyslového IoT, efektivního řízení a predikce spotřeby energií, pokročilé datové analytiky, strojového vidění na bázi umě-

lé inteligence, systémů pro řízení výroby, chytré logistiky a rovněž pokročilé průmyslové automatizace.

Součástí semináře byla i odborná diskuse. Podněty budou využity v jednotlivých podnicích při nalézání odpovědí na otázky, kterým směrem v rozvoji se prioritně věnovat.

Radim Adam

► Linka Technology Packaging Live balila pečivo Bready

Na gastronomicko-obalových veletrzích Salima/Embax v Brně se na přelomu února a března 2018 opět představil interaktivní projekt Packaging Live. V hale G1 byly vidět v procesu balení pečiva tři roboty, nové průmyslové tiskárny, ale také další balicí technika zejména od společnosti Technology, která byla generálním partnerem.

Packaging Live se nyní připravuje na Mezinárodní strojírenský veletrh, který se koná 1. až 5. října 2018. Tento úspěšný projekt se bude na brněnském výstavišti prezentovat již potřinácté. Celý projekt bude interaktivní. Návštěvníci zhlédnou „naživo“ jednotlivé operace balicí linky od balení přes značení a manipulaci až po paletizaci a dosledovatelnost. Partneři se mohou aktivně účastnit ve stánku, kde představí svou firmu, své produkty nebo služby přímo v místě dění. Cílem projektu je přilákat nové návštěvníky prostřednictvím jedinečného originálního projektu, který bude propagován v médiích, nabídnout zúčastněným firmám nové pojetí účasti na veletrhu, služby s přidanou hodnotou s větší propagační účinností, podporu prodejních aktivit firem a získání nové potenciální klientely.

Zájemci o partnerství se mohou přihlásit na info@equicom.cz. (ed)