

MĚŘENÍ PROVOZNÍCH VELIČIN V CUKROVARNICTVÍ

Měření provozních veličin

MEASUREMENT OF PROCESS VARIABLES IN SUGAR INDUSTRY: MEASUREMENT OF PROCESS VARIABLES

Karel Kadlec – Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

Úvod

Tento článek je úvodním příspěvkem seriálu článků, které budou věnovány měření provozních veličin (teplota, tlak, průtok, hladina, koncentrace a další), s nimiž se technolog běžně setkává v cukrovarnickém provozu a obecně v potravinářských a biotechnologických výrobcích. Při řešení úkolů z oblasti měření je nutno řešit různé technické problémy, které jsou pro jednotlivce obtížně řešitelné. Takové úkoly řeší obvykle tým složený z různých odborníků. Aby spolupráce v týmu byla efektivní, měli by jednotliví specialisté zvládnout do určité hloubky i odbornosti dalších spolupracovníků.

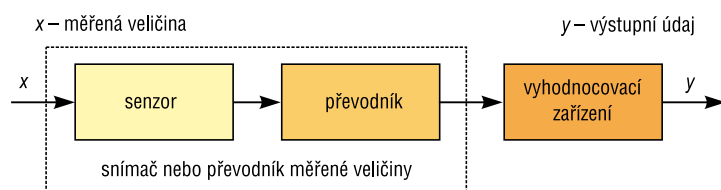
Jedním z cílů tohoto seriálu článků je poskytnout cukrovarnickým technologům poznatky pro účelnou spolupráci s odborníky pro měření a regulaci.

Úkoly provozního měření

Měření provozních (technologických) veličin má nezastupitelnou úlohu v řízení technologického procesu. Měření v různých oborech má své specifické zvláštnosti, které se týkají nejen výběru metod a přístrojů, ale i podmínek měření. Potravinářství je oborem, kde se měří řada veličin za podmínek, se kterými se v jiných oborech nesetkáváme. Jedná se např. o nutnost respektování hygienických předpisů, zachování sterilního prostředí, měření průtoků viskózních tekutin apod. Dále se v potravinářských provozech setkáváme s měřením specifických veličin, jako jsou hustota, viskozita, pH, vodivost a další koncentrační veličiny.

Mezi nejdůležitější úkoly provozního měření patří zajištění správného průběhu technologického procesu, kontrola kvality surovin, produktů či meziproductů, bilanční měření, kontrola spolehlivé funkce výrobních zařízení s ohledem na bezpečnost provozu, shromažďování informací za účelem analýzy procesu, případně analýzy příčin havárie ap. Vycházíme zde ze zásady, že řídit je možno jen ty veličiny, které lze spolehlivě a s dostatečnou přesností měřit.

Obr. 1. Obecné blokové schéma měřicího řetězce



Provozní měřicí přístroje a jejich skladba

Měřicí přístroj (měřidlo) je obecně zařízení, které zpracovává vstupní (měřenou) veličinu x na výstupní veličinu y (údaj přístroje) na základě určitého fyzikálního principu, použitého při konstrukci přístroje. Podle vstupní veličiny bývá přístroj pojmenován, tvar signálu výstupní veličiny pak určuje, zda jde o měřicí přístroj analogový či digitální. Provozní měřicí technika zahrnuje přístroje, které slouží k získávání informací využitelných pro kontrolu a řízení technologických procesů.

Snímání veličiny je spojeno s *principem měření*, což je fyzikální jev nebo souhrn fyzikálních jevů, na kterých je měření založeno. *Postup měření* je sled úkonů nutných k provedení měření. Veličina může být měřena buď přímo, nebo její hodnotu vypočteme na základě přímého měření jiných veličin. Podle toho pak rozeznáváme *měřicí metody přímé a nepřímé*. Charakteristické vlastnosti měřicích přístrojů podrobně popisuje KADLEC A MACHÁČ (1).

Měřicí přístroj, případně měřicí zařízení, představuje v podstatě řetězec bloků, tzv. *měřicí řetězec*, v němž dochází k transformaci měřené veličiny na údaj měřicího přístroje. Obecné blokové schéma měřicího řetězce je na obr. 1. Senzor, který je prvním členem měřicího řetězce, snímá přímo nebo nepřímo měřenou fyzikální nebo biologickou veličinu a převádí ji na vhodnou měřicí veličinu, obvykle na elektrický signál. Vedle označení senzor se také setkáváme v literatuře i s pojmy *snímač*, *čidlo* a *detektor*.

Převodník elektronicky převádí výstupní veličinu senzoru na veličinu vhodnou pro další zpracování. Výstupem z převodníku bývá obvykle *unifikovaný signál*, který se pohybuje v přesně definovaném rozmezí, např. proudový signál 4 až 20 mA.

Senzor spolu s převodníkem tvoří často jeden konstrukční celek, označovaný jako *snímač* nebo *převodník*, případně *vyšláč měřené veličiny* (např. snímač či převodník teploty, vyšláč tlaku apod.). Oba tyto pojmy mají stejný význam a označují elektronické zařízení sloužící k měření dané veličiny, které je schopno přenést informaci o této veličině pomocí elektrických signálů k dalším zařízením. Citlivou částí snímače, která je v bezprostředním styku s měřeným objektem, je *senzor* (*čidlo*). Snímač tedy tvoří určitý konstrukční celek a senzor (*čidlo*) je jeho součástí. Čidlem teploty je např. termočlánek, čidlem tlaku je např. membrána, Bourdonova trubice apod. Na tomto místě je vhodné připomenout, že se v odborné literatuře můžeme setkat ještě s pojmem *detektor*, přičemž pojmy *senzor* i *detektor* se používají jak pro označení čidla, tak i celého snímače, což může vést k nepřesnostem ve vyjadřování. V dalším textu jsou termíny *senzor* i *detektor* používány ve stejném významu jako *čidlo* a pojem *snímač* vymezuje konstrukční celek obsahující senzor.

Obr. 2. Blokové schéma číslicového měřicího přístroje



Senzory pro snímání jednotlivých měřených veličin může rozdělit do skupin podle několika hledisek. *Podle měřené veličiny*: senzory teploty, tlaku, průtoku, hladiny, složení kapalin či plyných směsí, senzory mechanických veličin, senzory elektrických veličin aj., *podle fyzikálního principu*: senzory odporové, kapacitní, indukčností, indukční, optické, optoelektronické, chemické, biologické aj., *podle styku senzoru s měřeným objektem*: dotykové, bezdotykové a *podle transformace signálu*: aktivní (při působení měřené veličiny se sensor chová jako zdroj elektrické energie, např. termočlánek, elektrochemický článek), pasivní (při měření vyžadují napájení elektrickou energií, např. odporový teploměr, kapacitní senzor tlaku).

Vyhodnocovací zařízení zpracovává výstupní signál z převodníku a udává jej např. ve formě výchylky ukazatele na stupnici, zápisu na registračním papíru, ve formě čísla na displeji apod. Vyhodnocovací zařízení tvoří u jednoduchých přístrojů jeden konstrukční celek se snímačem a převodníkem (např. deformační tlakoměr) nebo je zcela samostatnou částí (registrační přístroj, zobrazovací displej, tiskárna apod.).

Podle způsobu vyhodnocení rozdělujeme měřicí přístroje na *analogové* a *číslicové*. U analogových měřicích přístrojů je přiřazena každé hodnotě měřené veličiny určitá hodnota jiné fyzikální veličiny s analogickým průběhem závislosti signálu. Číslicové (digitální) přístroje poskytují diskrétní výstupní signál a udávají měřenou veličinu číselně násobkem základního kvanta signálu. Na obr. 2. je zobrazeno blokové schéma číslicového měřicího přístroje, z něhož je patrné, že měřicí řetězec zahrnuje *analogově-digitální převodník* (A/D převodník), který slouží k převodu analogového signálu na signál číslicový a koncovým blokem je *displej* pro zobrazení výstupního údaje.

V průmyslové praxi se k vyhodnocování signálu různých senzorů často používají tzv. *dvouvodičové převodníky*. Blokové schéma zapojení dvouvodičového převodníku je na obr. 3. Signál ze senzoru je přiveden na vstup zesilovače, jehož zpětnovazební obvod mění velikost výstupního signálu podle velikosti měřené veličiny. Při měření se využívá skutečnost, že vlastní spotřeba elektrického proudu zesilovače převodníku je menší než 4 mA. Při počáteční hodnotě měřené veličiny činí výstupní proud 4 mA. S rostoucí hodnotou měřené veličiny se pak zvyšuje velikost proudového výstupu až k maximální hodnotě 20 mA při maximální hodnotě měřené veličiny. Výhodou dvouvodičového převodníku je proudový výstupní signál, úspora materiálu na spojovacím vedení, snadná identifikace přerušení vedení (proud 0 mA je mimo přípustný rozsah). Některé typy dvouvodičových převodníků využívají vybočení signálu mimo rozmezí 4 až 20 mA k signalizaci poruchových stavů měřicího zařízení.

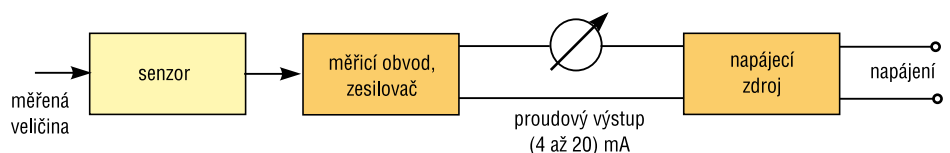
Součástí vyhodnocovacích obvodů různých měřicích přístrojů bývá často *dataloger*, což je zařízení, které slouží k ukládání naměřených dat do paměti a následně čtení zaznamenaných údajů. Jedná se vlastně o elektronický zapisovač

měřených hodnot. Samostatný dataloger potřebuje pro zajištění funkce vhodný senzor pro snímání měřené veličiny, elektronické obvody pro zpracování signálu včetně paměti a napájecí baterii nebo akumulátor. Propojovací interface využívá nejčastěji rozhraní USB. Přenosné datalogery umožňují sbírat data o měřených veličinách nezávisle na počítači a lze je využít pro celou řadu laboratorních i provozních aplikací (např. měření teploty a vlhkosti při skladování a přepravě zboží, měření tlaku a dalších veličin). Software slouží pro nastavení intervalu snímání měřené veličiny a pro tabulkové a grafické zpracování výsledků měření. Kapacita paměti umožňuje uložit až miliony naměřených dat.

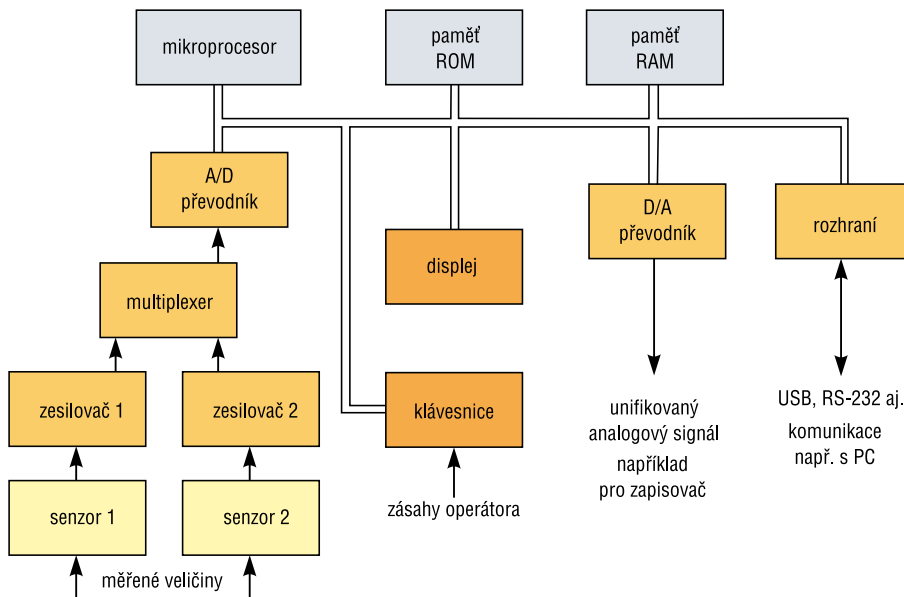
U moderních měřicích zařízení je proces měření řízen jedním nebo i více mikroprocesory a takové zařízení se označuje jako *inteligentní snímač* nebo *inteligentní převodník* měřené veličiny (setkáme se rovněž s označením *smart senzor*). Blokové schéma měřicího přístroje řízeného mikroprocesorem je znázorněno na obr. 4. Pro snímání i několika veličin slouží senzory, jejichž zesílený signál je následně přiveden do číslicové formy a zpracován mikroprocesorem. Stěžejním blokem je mikroprocesor, což je programovatelný logický obvod, který komunikuje s ostatními bloky prostřednictvím datové, řídicí a adresové sběrnice (na obr. 4. je znázorněna dvojitou čarou). Paměť ROM (*Read Only Memory*) slouží pouze pro čtení a je v ní uložen mimo jiné základní program pro řízení procesu měření. Paměť RAM (*Random Access Memory*) umožňuje zápis i čtení dat a slouží například k uložení naměřených dat, kalibračních konstant apod. Operátor komunikuje s přístrojem prostřednictvím klávesnice a displeje. Digitálně-analogový převodník slouží k převodu číslicového signálu na analogový signál. Rozhraní je elektronický obvod umožňující komunikaci přístroje s počítačem např. prostřednictvím sběrnice USB, RS 232 aj.

Ačkoliv se inteligentní převodníky jednotlivých měřených veličin v detailech liší, mají mnoho vlastností společných. Začleněním mikroprocesoru do vyhodnocovacího obvodu se dosáhne zvýšení nejen správnosti měření, ale i přizpůsobivosti (flexibility) a univerzálnosti přístroje. Elektronika a softwarové vybavení inteligentního převodníku zajišťují základní diagnostiku čidla a měřicích obvodů, digitalizaci signálu, řízení měřicího algoritmu, úpravu převodní charakteristiky čidla (posun nulového bodu, změnu směrnice), automatickou kalibraci, automatickou korekci systematických chyb, úpravu signálu pro číslicovou komunikaci, ukládání naměřených údajů do paměti, vyhodnocování průměrné hodnoty, signalizaci mezních stavů a při připojení dalších senzorů mohou zajišťovat korekci vlivu ovlivňujících veličin. Důležitou vlastností inteligentních převodníků je jejich

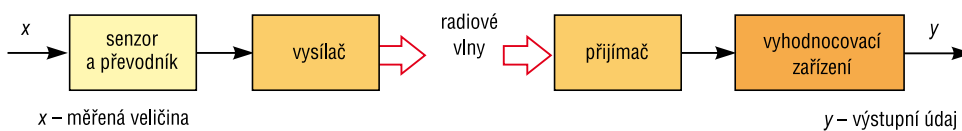
Obr. 3. Blokové schéma dvouvodičového převodníku



Obr. 4. Měřicí přístroj řízený mikroprocesorem



Obr. 5. Blokové schéma bezdrátového snímače



konfigurovatelnost podle požadavků uživatele, umožňují i konfiguraci analogového a digitálního výstupu, komunikaci přístroje s počítačem a blokování proti nežádoucím zásahům atd.

U většiny inteligentních převodníků je měřená hodnota také transformována prostřednictvím obvodu digitální komunikace na sériový číslicový výstup např. při použití protokolu HART. Protokol HART (High Addressable Remote Transducer Protocol) pro komunikaci inteligentních převodníků je v praxi nejvíce rozšířen; u provozních přístrojů se stal de facto standardem. Podle tohoto protokolu je na analogový signál superponován signál frekvenčně závislý. Jde o sinusový signál dvou odlišných frekvencí (2,2 kHz a 1,2 kHz), kdy jedna frekvence u binárního signálu odpovídá logické nule a druhá logické jedničce. Frekvenčně modulovaný signál o amplitudě obvykle 0,5 mA je superponován na analogový proudový signál 4 až 20 mA. Operátor pak komunikuje s inteligentním převodníkem např. prostřednictvím ručního komunikátoru, který může být připojen v libovolném místě proudové smyčky, ve které musí být vložen rezistor o hodnotě 230 až 1 100 Ω. Komunikace je možná oběma směry, tj. komunikátor může např. vyslat požadavek na změnu měřicího rozsahu a přijmout informaci potvrzující, že rozsah je změněn. Protokol HART umožňuje komunikovat až patnácti různým převodníkům s jedním komunikátorem v jedné napájecí smyčce. Vedle protokolu HART existují další typy komunikačních protokolů např. Ethernet, Modbus TCP/IP, Profibus aj.

Typické pro inteligentní převodníky je umístění senzoru a elektronických obvodů v těsné blízkosti do společného pouzdra. Zkrácení spoje mezi senzorem a měřicími obvody spolu s číslicovou komunikací přispívá k potlačení mnoha rušivých vlivů. Inteligentní převodníky také vykazují zlepšené metrologické

parametry. Například nejistota u inteligentních převodníků dosahuje hodnot menších než ±0,1 %, zatímco u konvenčních převodníků to je asi ±0,25 %. Inteligentní převodníky lze identifikovat adresami, na dálku je diagnostikovat a nastavovat jejich parametry.

Inteligentní převodníky mají téměř nepostřehnutelný drift nuly a časové intervaly mezi jednotlivými kontrolami jejich kalibrace jsou výrazně delší než u klasických přístrojů. Zatím jsou dražší, ale současně představují moderní technické prostředky pro řízení technologického procesu. Pro uživatele je velmi důležitá a příjemná obousměrná komunikace mezi inteligentním převodníkem měřené veličiny a nadřazeným počítačem nebo řídicím systémem, která výrazně zvyšuje komfort obsluhy. Z počítače lze vhodným programem pohodlně zkonfigurovat univerzálně programovatelný převodník pro konkrétní aplikaci. Počítač může číst konfigurační data naprogramovaného převodníku, uložit je

do paměti a použít pro naprogramování dalších převodníků. Samozřejmě může počítač ukládat naměřené hodnoty do paměti, podle vhodného programu zpracovat a vyhodnotit.

Inteligentní snímače s různými senzory jsou propojovány spolu s akčními členy a řídicími jednotkami do komunikačních sítí typu fieldbus. Výraz fieldbus je možno interpretovat jako sběrnice pro nasazení v terénu, nebo aplikační sběrnice. Protože stejnou komunikační linku může sdílet mnoho jednotek, musí být toto sdílení linky zajištěno komunikačním protokolem. V současnosti se používá mnoho různých fieldbusových systémů, které jsou určeny pro řízení a sledování technologických procesů v reálném čase; důraz je kladen na odolnost proti rušení. Příkladem může být průmyslová sběrnice Profibus (Process Field Bus), která je určena pro automatizaci výrobních linek nebo pro procesní automatizaci a řízení výroby a technologií, dále pak průmyslová komunikační sběrnice Profinet, která pracuje na základech průmyslového Ethernetu, nebo sběrnice Modbus rovněž často používaná v průmyslové automatizaci. Další podrobnosti o informačních a řídicích systémech je možno nalézt v literatuře, např. u ZEŽULKY A HYNČICY (2).

Komunikace mezi snímači a řídicími jednotkami dnes většinou probíhá po kabelech prostřednictvím průmyslových komunikačních sběrnic. Jako další možný způsob přenosu dat a signálů v oblasti průmyslové automatizace získává na významu bezdrátová komunikace. Technika bezdrátových komunikačních sítí otevírá cestu k větší flexibilitě a úspoře nákladů při instalaci i provozu automatizovaných systémů. Bezdrátové komunikační systémy přinášejí mnohé výhody: flexibilitu, redukci nákladů na kabelové rozvody a doplnění měření o důležité diagnostické informace. Využití bezdrátových systémů v průmyslu je dosud

v začátcích; koneční uživatelé budou na bezdrátovou techniku přecházet po krocích. Uživatelé jsou konfrontováni s problémy, které s sebou bezdrátové systémy nesou. Jsou to především spolehlivost, bezpečnost a zabezpečení informací. Bezdrátový přenos dat může být velmi výhodný pro zařízení, u nichž je důležitá provozní pružnost, mobilita anebo hospodárnost připojení prostorově odlehklých nebo jinak kabelem těžko dosažitelných přístrojů. V provozních aplikacích, kdy se data a signály přenášejí k mobilním, rotujícím nebo dočasně vestavěným dílům slibuje bezdrátový přenos dat menší pořizovací náklady, kratší prostoje a levnější údržbu.

Řada výrobců průmyslové přístrojové techniky uvedla na trh *bezdrátové snímače (wireless sensors)* určené zejména pro chemický a petrochemický průmysl, energetiku a další obory patřící do skupiny tzv. procesních výroby, kam náleží i moderní potravinářské výroby. Blokové schéma snímače s bezdrátovou komunikací je na obr. 5.

Bezdrátové přenosy lze realizovat v různých frekvenčních pásmech; vyzařovaný výkon je často omezen příslušnou legislativou. Nejčastěji se používá frekvenční pásmo se jmenovitou frekvencí 2,4 GHz (tzv. pásmo 2,4 GHz, často označované jako *Industrial, Scientific, Medical, ISM*). Podobně jako u průmyslových sběrnic pro kabelové sítě existuje i pro bezdrátové sítě řada komunikačních standardů; jako perspektivní se jeví standard *WirelessHART* s návazností na existující zařízení využívající komunikační protokol *HART (3)*.

Mají-li být bezdrátové snímače efektivně používány ve výrobních procesech, musí pracovat bez údržby řádově měsíce, lépe však roky. Snímače jsou většinou napájeny z baterií, a proto je třeba volit takové snímače, které mají malou spotřebu. S tímto požadavkem je třeba počítat již při konstrukci bezdrátových snímačů, u nichž je nutné optimálně nastavit správu napájení tak, aby snímač ve stavu „spánku“, kdy není aktivní, měl nízkou spotřebou elektrické energie. Některé bezdrátové snímače využívají „alternativní“ zdroje energie, např. ztrátové teplo, vibrace nebo fotovoltaické články; takové snímače mohou pracovat bez nutnosti výměny baterií až několik let.

Bezdrátové snímače je možno také dodatečně instalovat do stávajícího provozu. Může jít např. o nutnost instalovat na horní víko několikametrové nádrže hladinoměř jako zvýšení ochrany proti přetečení. Instalace kabelu by byla v tomto případě velmi nákladná. Naopak instalace bezdrátového snímače je velmi snadná. Jiným příkladem je měření teploty produktu uvnitř rotující pražírny; ukázky některých konkrétních bezdrátových snímačů budou uvedeny ve statích věnovaných měření jednotlivých veličin.

Souhrn

Článek je úvodním příspěvkem seriálu článků, které budou věnovány měření provozních veličin v potravinářských a biotechnologických výrobcích. Je popsán měřicí řetězec a jeho jednotlivé části. Jsou vysvětleny pojmy: senzor, čidlo, snímač, převodník, dataloger, inteligentní snímač a převodník, bezdrátový snímač a je charakterizována jejich funkce.

Klíčová slova: provozní měření, měřicí řetězec, snímače, převodníky, inteligentní snímače.

Literatura

1. KADLEC, K.; MACHÁČ, J.: Provozní měřicí přístroje a jejich vlastnosti. In KADLEC, K., KMÍNEK, M., KADLEC, P. (EDIT.) ET AL.: *Měření a řízení v potravinářských a biotechnologických výrobcích*. Ostrava: Key Publishing, 2015, s. 63–89.
2. ZEŽULKA, F.; HYNČICA, O.: Průmyslový Ethernet, část I až IX. *Automa*, 13, 2007 (1), s. 41 až *Automa*, 14, 2008 (10), s. 60.
3. HYNČICA, O.; PAVLATA, K.: Bezdrátové komunikační systémy založené na IEEE 802.15.4 v procesní automatizaci, část 1 až 3. *Automa*, 17, 2001 (4), s. 23, *Automa*, 17, 2001 (5), s. 50, *Automa*, 17, 2011 (6), s. 41.

Kadlec K.: Measurement of Process Variables in Sugar Industry: Measurement of Process Variables

This article is the initial contribution to the series of articles that will be devoted to measurement of process variables in food and biotechnological processes. The measuring chain and its individual parts are described. The paper presents these concepts: sensors, transmitters, data loggers, intelligent sensors and transmitters, wireless sensors, and it also explains their functions.

Key words: process measurement, measuring chain, sensors, transducers, smart sensors.

Kontaktní adresa – Contact address:

doc. Ing. Karel Kadlec, CSc., Vysoká škola chemicko-technologická, Fakulta chemicko-inženýrská, Ústav fyziky a měřicí techniky, Technická 5, 166 28 Praha 6 – Dejvice, Česká republika, e-mail: karel.kadlec@vscht.cz