

# Riadiace systémy – investícia a návratnosť vrátane príkladov z praxe (2)

V prvej časti seriálu sme sa zaoberali tým, čo je vlastne cieľom riadiacich systémov. Okrem toho sme uviedli prípadové štúdie, na ktorých bolo ukázané, ako dokážu riadiace systémy priniesť zlepšenie účinnosti a efektivity a znížiť investičné náklady na zariadenia. V druhej časti seriálu sa budeme venovať ďalším spôsobom, vďaka ktorým dokážu riadiace systémy priniesť podniku ekonomické výhody. Opíšeme aj prípadové štúdie, keď vylepšenie riadiacich systémov prinieslo zvýšenie výroby a pomohlo splniť nariadenia regulačných orgánov.

## Ciele

Cieľom riadiaceho systému je regulovať premenné veličiny procesov takým spôsobom, aby konkrétne zariadenie, technológia alebo celá prevádzka boli čo najbezpečnejšie a pracovali s najvyššou možnou produktivitou a ziskovosťou v súlade s existujúcimi potrebami trhu, dostupnými vstupnými produktmi a obmedzeniami jednotlivých zariadení – a to všetko automaticky, s minimálnym zásahom človeka. V akomkoľvek technologickom procese existujú dve základné prekážky, ktoré bránia dosiahnutiu týchto cieľov – nestabilita a neefektívnosť.



Nestabilita je výsledkom preregulovania ako reakcie na zmeny riadených veličín, čo neskôr spôsobuje opačnú odchýlku s podobnou veľkosťou. Vyskytuje sa ako cyklovanie v jednej alebo niekoľkých riadených premenných, ktorých amplitúdy môžu, ale nemusia byť konštantné. Cyklus s konštantnou amplitúdou – známy aj ako limitný cyklus – je spôsobený nelineárnym prvkom v riadiacej slučke. Limitné cykly majú tendenciu nebyť sínusoidné a nedajú sa skorigovať vyladením regulátora alebo náhradou – nelineárny prvok (napr. pásmo necitlivosti pri regulačných ventiloch) treba „zdolať“. Ak má slučka lineárny charakter, jej sínusový cyklus môže rásť alebo sa môže skracovať, ale narastajúci cyklus môže byť obmedzený niektorými fyzikálnymi skutočnosťami, napr. veľkosťou zdvihu (dráha) regulačného ventilu. Nestabilita prináša náklady najmä z pohľadu opotrebovávania prvkov zariadení, zníženia výrobných kapacít a neúčinného využívania zdrojov, ako sú napr. energie.

Neefektívnosť (nízka účinnosť) je neschopnosť udržiavať riadené premenné na požadovanej hodnote pri výskyte zmien okolitých podmienok, skladbe a veľkosti dávkovania a pri porušení rovnováhy zapríčineným činnosťou iných regulátorov. Najhorším prípadom je úplná strata riadenia; potom nasleduje režim ručného riadenia, ktorý bude vyžadovať pozornosť operátora. Ďalšími dôvodmi môžu byť zle vyladené regulátory, nevhodné charakteristiky regulačných ventilov a zle nastavené regulačné slučky. Zlá účinnosť riadenia plytvá zdrojmi, obmedzuje kapacity výroby a znehodnocuje hodnotné produkty. Nasledujúce príklady hovoria o zlepšeniach a úpravách, ktoré šetriť peniaze – veľa peňazí.

## Prípad 4: Prediktívne riadenie

Prediktívne riadenie (Model Predictive Control – MPC) sa často používa na optimalizáciu procesov, ako je napr. destilácia. Avšak úspešnosť tejto metódy riadenia nie je v mnohých prípadoch obzvlášť vysoká, pretože samotné procesy nemožno stabilizovať. Prítom stabilita je jednou zo základných predpokladov začatia optimalizácie. Metóda MPC zvyčajne nastavuje žiadanú hodnotu teploty – jednu v hornej časti destilačnej kolóny a jednu v jej spodnej časti. Ak regulátory teploty striedavo riadia dve vstupné veličiny destilačnej kolóny – spätný tok (reflux) a prietok pár cez kolónu, úroveň vzájomného prepojenia týchto regulátorov bude vysoká. Narastanie refluxu znižuje teplotu v hornej aj v spodnej časti kolóny a narastanie prietoku pár naopak zvyšuje obidve teploty. Na posúdenie vzájomnej prepojenosti riadiacich slučiek regulátorov bolo použitá analýza relatívneho zosilnenia (Relative Gain Analysis – RGA), pri ktorej hodnota 1 znamená ideálny stav bez vzájomného ovplyvňovania sa, stav mimo hodnoty jedna udáva, ako veľmi sa vzájomne regulátory ovplyvňujú.

Opísaným spôsobom bolo nasadené MPC riadenie na debutanizačnú kolónu a pri vykonaní výpočtu pomocou RGA sa zistila hodnota 12. Nebolo preto žiadnym prekvapením, že dve teploty sa donekonečna cyklicky menili a MPC systém si s tým nevedel poradiť. Nielenže tak nebolo možné celý proces optimalizovať, ale vďaka cyklickým zmenám teploty proces spotreboval viac energie, ako by to pri rovnakom objeme výroby bolo v ustálenom stave. Riadiaca slučka regulátora na riadenie teploty vo vrchnej časti destilačnej kolóny bola preto zmenená tak, že namiesto riadenia prietoku refluxu riadila pomer medzi prietokom refluxu a destilátu, vďaka čomu klesla hodnota relatívneho zosilnenia na úroveň 2. Okamžite sa zastavilo cyklovanie hodnôt obidvoch teplôt a mohla sa začať optimalizácia. Zároveň bolo možné znížiť pásmo proporcionality regulátora teploty na spodku debutanizačnej kolóny šesťnásobne. Táto úprava je opísaná v literatúre [6].

## Prípad 5 a 6: Maximalizácia výroby polyméru

Dávkové reaktory sa v minulosti používali najmä na výrobu polystyrénu, pričom na vytvorenie jednej dávky bolo potrebných niekoľko hodín. Kritickým bodom procesu je ohrev reakčnej hmoty na požadovanú teplotu, ktorá samotnú reakciu spúšťa – a to tak rýchlo, ako je to len možné a zároveň bez toho, aby nevznikol prekmit priebehu teploty nad jej žiadanú hodnotu. Rýchly nábeh teploty zvyšuje produktivitu, avšak prekročenie požadovanej teploty môže zničiť dávku a vyžiada si aj vyčistenie reakčnej nádoby. To všetko sú vysoké náklady. Destabilizujúci prvok (windup efekt) v rámci regulátora teploty spôsobuje veľké prekmity, preto musí byť potlačený.

Pre čo najrýchlejší nárast teploty bol vyvinutý dvojstavový riadiaci systém pracujúci v nasledujúcom režime – plný ohrev, potom prepnutie na plné chladenie a následne prestavenie PID riadenia. Bod, pri ktorom dochádzalo k prepínaniu, bol len cca o 2 – 3 °F pod požadovanou hodnotou a oneskorenie pri úplnom chladení menšie ako minúta. Tým sa zabezpečil nábeh reakcie v najkratšom možnom čase. Aby sa minimalizovali akékoľvek rázy nábehu teploty, bolo potrebné prestaviť integračný čas v súlade s predpokladaným ustáleným stavom výstupu regulátora. Takýto systém sa ukázal už od prvej dávky ako spoľahlivý, odstraňujúci straty a minimalizujúci čas nábehu. Maximalizovala sa výroba a operátori mali o niečo

uľahčenú prácu. Systém je v [6] opísaný pri svojej prvej implementácii pri použití pneumatických prvkov. Neskôr pri použití digitálneho riadiaceho systému boli bod prepnutia a nastavenie regulátora prispôbované podľa pozorovaného rozsahu nárastu teploty.

Závod na výrobu polypropylénu má niekoľko spojitých pracujúcich reaktorov, pričom jeden z nich pri pokusoch o dosiahnutie žiadanej teploty výroby vykazoval limitné cyklovanie. V minulosti bola teplota reaktora riadená uspokojivo, pričom aj ostatné reaktory v rámci závodu boli v tom čase riadené v rámci požiadaviek výroby. Používal sa kaskádový systém, pri ktorom hlavný regulátor teploty nastavoval žiadanú hodnotu teploty na vstupe chladiča zapojeného v kaskáde. Snahy o znovunastavenie hlavného regulátora teploty nepriniesli žiadený efekt na pílovitý cyklus. Žiadny efekt nemalo ani presunutie druhého regulátora teploty zo vstupu na výstup chladiča. Skúsili sme aj nasadenie adaptívneho regulátora, ale neúspešne. Trvalé limitné cykly nebolo možné eliminovať pomocou preladenia či prestavenia riadiacich slučiek – chyba bola niekde v samotnom reaktore.

Exotermické reaktory môžu byť stabilné, nestabilné alebo riaditeľné, ako je uvedené v [8]. Stabilný reaktor možno riadiť ručne, ale nestabilný reaktor by bez vhodného riadenia zašiel za hranice svojich obmedzení. Rozdiel medzi nimi je v stupni samoregulácie zabudovanej do výmenníka tepla – v tomto prípade do uvedeného chladiča. Nestabilný zmiešavací reaktor je riaditeľný vďaka svojmu nízkemu dynamickému zosilneniu, ktoré umožňuje nastaviť vysoké zosilnenie regulátora. Tento reaktor bol rozhodne nestabilný a neriaditeľné bolo aj existujúci rúrkové zariadenie charakteristické dopravným oneskorením. Dobrou správou však bolo, že reaktor bol v minulosti stabilný, podobne ako tie ostatné v závode. Ako problémový bol teda určený znečistený povrch chladiča, ktorý zabezpečoval prestup tepla. Len čo bol chladič vyčistený a prevzatý zo servisu, bolo možné riadiť teplotu reaktora s presnosťou 0,1 °F, a to bez akejkoľvek zmeny riadiaceho systému alebo jeho ladenia a celá výroba bola opäť obnovená.

### Prípad 7: Zaručenie zhody s predpismi v čističke odpadových vôd

Ak riadenie hodnoty pH z výstupu priemyselného podniku pri dodržiavaní lokálne záväzných predpisov zlyhá, môže takýto podnik dostať finančnú pokutu. Pri opakovaní takýchto priestupkov môže byť podnik dokonca odstavený. Úspešné riadenie hodnoty pH závisí od niekoľkých faktorov: usporiadania/umiestnenia zásobníkových nádrží, prepravy roztokov potrubím a ich prepúšťania ventilmi, cisterny na uskladnenie nežiaduceho odpadu a jeho recyklácie. Elektródy na meranie pH musia byť v meranom roztoku umiestnené na vhodných miestach a udržiavané čisté, aby sa nezanášali usadeninami, ktoré môžu zvyšovať oneskorenie merania.

Nakoľko je vzťah medzi pH a prísunom roztokom logaritmický, vyžaduje sa v spätnoväzbovom regulátore nelineárna charakteristika. A keďže sa v niektorých odpadových vodách nachádzajú rôzne iónové častice, od silných až po slabé prísady, musí byť takáto charakteristika online prispôsobiteľná, aby sa udržala citlivá aj stabilná riadiaca slučka.

Literatúra [9] opisuje aplikáciu, kde sa odpadové vody z rôznych výrobných liniek chemického závodu náhodne menili zo slabo na silne znečistené, takže ručné vyladenie regulátora pH nebolo pri udržiavaní kvality odpadových vôd z chemického závodu v zákonom stanovených hraniciach účinné. Pridala sa teda adaptívna funkcia, ktorá určila, či má pH žiadanú hodnotu alebo sa od nej posúva, a podľa toho „uvoľnila“ alebo „přibrzdila“ nelinearitu v rámci regulátora. Nielenže sa podarilo úplne zefektívniť celý systém z hľadiska predchádzania výstupom, ktoré boli mimo požadovaných hraníc z hľadiska hodnoty pH, ale elimináciou dlhodobých cyklov sa podarilo znížiť na polovicu použitie roztokov.

### Literatúra

- [6] Shinskey, F. G.: Multivariable Control of Distillation. Control, May-July, 2009.
- [7] Shinskey, F. G. – Weinstein, J. L.: A Dual-mode Control System for a Batch Exothermic Reactor. 20th Annual ISA Conference, October 1965.

[8] Shinskey, F. G.: Exothermic Reactors: the Stable, the Unstable, and the Uncontrollable. Chem. Eng., March 2004, pp. 54 – 58.

[9] Shinskey, F. G.: Adaptive Nonlinear Control System. U.S. Patent 3, 794, 817, Feb. 26, 1974.

V tretej časti seriálu sa budeme venovať ďalším spôsobom, vďaka ktorým dokážu riadiace systémy priniesť podniku ďalšie ekonomické výhody.

Autor článku: F.G. Shinskey, konzultant pre oblasť riadenia procesov, *ExperTune, Inc.*

Zdroj: Shinskey, F.G.: *Control Systems: Investment and Return with Examples From Industry.* [online]. *ExperTune, Inc., White Paper, 2010. Citované 8. 1. 2013. Dostupné na: <http://www.expertune.com/articles/WPShinskey2012-2.pdf>.*

-tog-