

Regulačné armatúry v automatizácii (1)

Úvod

Prínosy z automatizácie určujú najmä tieto faktory: možnosti tvorby modelov potrebných na návrh riadenia, aplikácia adekvátnej teórie riadenia pre požadovanú kvalitu riadenia a v neposlednom rade kvalita automatizačných prostriedkov – regulátorov, meracích a akčných členov. V prípade riadenia spojitých procesov má určujúci význam vhodný návrh akčných členov. Akčný člen tvorí spravidla regulačný ventil, resp. regulačná klapka (regulačný orgán), ktoré patria do širšieho okruhu technických prostriedkov tzv. regulačných armatúr. Výrobcovia týchto prostriedkov ponúkajú okrem základnej verzie dvojcestného regulačného ventilu spojeného s vhodným pohonom (servomotorom) celý rad ďalších modifikácií regulačných armatúr a pomocných zariadení akými, sú napr. trojcestné a štvorcestné ventily alebo zmiešavače, uzatváracie ventily, priame regulátory diferenčného tlaku, filtre atď. Akčné členy (regulačné ventily, čerpadlá, ventilátory a kompresory) možno chápať ako súčasť rôznych spojitých i nespojitých výrobných technológií, ale aj ako koncové členy regulátorov prietokov tekutín (plynov a pár). Z uvedenej skutočnosti vyplývajú tiež určité terminologické nepresnosti pri definovaní a technickej normalizácii pojmov medzi uvedenými odborními a odborom automatizácie a riadenia.

Význam regulačných armatúr v posledných rokoch narastá aj v súvislosti s nárastom cien energií. Týka sa to najmä tepelnej energie, a to tak na strane lokálnych alebo centrálnych tepelných zdrojov, ako aj u spotrebiteľov tepla v bytovom hospodárstve a v priemysle. Regulačné armatúry si zaslúžia zvýšenú pozornosť aj preto, že regulačné ventily obsahujú pohyblivé mechanické časti a teplonosné potrubia sa postupom času zanášajú usadeninami, čo môže spôsobiť zníženie spoľahlivosti regulačných obvodov prietoku a tým aj celej výrobných technológií. Špecifický význam a dôležitosť majú regulačné armatúry v technológiách vykurovania, vetrania a klimatizácie (systémoch HVAC). Požiadavky na kvalitu týchto technológií narastajú z dvoch protichodných príčin. Prvou je požiadavka na znižovanie energetickej náročnosti obytných a občianskych budov. Druhou je zvyšovanie požiadaviek na používateľský komfort a kvalitu vnútorného prostredia v tzv. inteligentných budovách.

Akčné členy v regulačných obvodoch – základné charakteristiky

Ako bolo uvedené, podobne ako meracie členy aj akčné členy môžu podstatne ovplyvniť vlastnosti regulačného obvodu bez ohľadu na to, či je použitý analógový alebo číslicový regulátor s optimálnym nastavením parametrov. Akčný člen je tvorený vlastným regulačným orgánom (regulačným ventilom, regulačnou klapkou, kohútom, resp. zmiešavačom), ktoré majú v závislosti od použitia rôznu konštrukciu a sú navrhované tak, aby mali vhodnú statickú charakteristiku v závislosti od vlastností regulovanej sústavy. Druhou časťou akčného člena je pohon (servomotor), ktorý môže byť pneumatický, hydraulický, prípadne elektrický s potrebným prevodovým mechanizmom. Pri výbere typu pohonu rozhodujú jeho dynamické vlastnosti, spoľahlivosť, ale aj cena. Akčné členy

je vhodné zaradiť k regulovanej sústave, resp. výrobnej technológii podobne ako čerpadlá, ventilátory a kompresory, ktoré sa tiež používajú ako akčné členy na reguláciu prítoku látok do regulovanej sústavy. V tepelných procesoch sa pre menšie prietoky kvapalín používajú najmä regulačné ventily, pri veľkých prietokoch čerpadlá s konštantnými alebo premennými otáčkami, ktoré sa dosiahnu použitím dvojfázových motorov alebo frekvenčnými meničmi. Na reguláciu prietokov vzduchu vo vzduchovodoch sa používajú spravidla viaclistové súbežné alebo protibežné klapky.

Problematika akčných členov je rozsiahla a pomerne zložitá, takže v rámci možného rozsahu textu sa zameriame len na základné charakteristiky regulačných ventilov (RV), ktoré môžu podstatne ovplyvniť kvalitu regulácie. Z hľadiska konštrukcie sa používajú dvojcestné jednosedlové alebo dvojsedlové regulačné ventily, trojcestné alebo štvorcestné regulačné ventily vo funkcii zmiešavacích alebo rozdeľovacích regulačných armatúr. Základné pojmy týkajúce sa regulačných armatúr sú uvedené v nasledujúcom texte.

Menovitá svetlosť DN

Vnútorňá svetlosť vstupného a výstupného hrdla armatúry v mm. Vo väčšine prípadov sa používajú RV s rovnakou alebo menšou svetlosťou (najmä pri väčšom tlakovom spáde na ventile), ako je svetlosť okolitého potrubia. Menšia svetlosť ventilu je výhodná predovšetkým pri náročných aplikáciách, kde sa týmto spôsobom môžu ušetriť značné finančné prostriedky a k potrubiu potom treba pripojiť redukcie pred ventilom aj za ním. Tieto redukcie (miestne straty) by sa mali takisto zohľadniť v hydraulickom výpočte siete.

Menovitý tlak PN

Udáva tlakovú triedu ventilu súvisiacu priamo s maximálnou pracovnou teplotou a materiálom ventilu.

K_{vs} – menovitý prietokový súčiniteľ

Udáva veľkosť objemového prietoku RV pri presne definovaných podmienkach pri maximálnom 100 % zdvihu ťahadla, resp. kuželky ventilu ako škrtiaceho elementu v sedle RV. Prietokový súčiniteľ úzko súvisí s dimenzovaním vhodnej veľkosti RV. V európskych štátoch sa K_v vyjadruje pre objemový prietok vody v $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ pri tlakovom rozdieli 1 bar, teplote vody 15 °C pri turbulentnom prúdení a statickom tlaku, ktorý vylučuje vznik kavitácie. Pre mernú hmotnosť pretekajúceho média $\rho = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ dostaneme pre prietokový súčiniteľ známy vzťah:

$$K_v = \frac{Q}{\sqrt{\Delta p}}$$

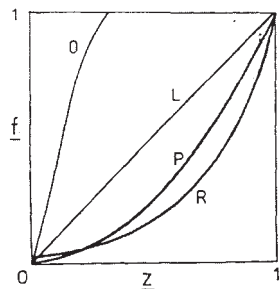
kde $Q = K_v \sqrt{\Delta p}$ je objemový prietok v $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a Δp tlakový spád na RV v baroch.

Konštrukčná a prietoková (prevádzková) charakteristika RV

Obidve charakteristiky sú veľmi dôležitým pojmom pri návrhu RV. Ak definujeme $z = Z/Z_{\max} = H/H_{100}$ pomerný zdvih RV,

$f = F/F_{\max}$ pomernú prietokovú plochu v sedle ventilu a $q = Q/Q_{\max}$, potom konštrukčná charakteristika daná výrobcom RV je bezrozmerná závislosť $f = f(z)$.

V závislosti od vlastností regulačnej sústavy sa vyrábajú RV s nasledujúcimi typmi konštrukčnej charakteristiky (obr. 1): lineárna (L), ekvipercenčná (rovnopercenčná – R), parabolická (P), rýchlootváracia (O; s tanierovou kuželkou) na dvojpohovú reguláciu.



Obr.1 Konštrukčné charakteristiky regulačných ventilov

Pre lineárnu konštrukčnú charakteristiku platí $f = z$. Pre ekvipercenčnú platí, že pri každom nastavení ťahadla ventilu zodpovedá určitej percentuálnej zmene zdvihu rovnaká percentuálna zmena prietokovej plochy, čo možno matematicky vyjadriť rovnicou $dF/dZ = a F$, kde a je číslo, napr. 0,01; 0,02 ... 0,06. Zavedením bezrozmerných premenných dostaneme integráciou uvedenej rovnice v medziach $F_0 \rightarrow F$, $Z_0 \rightarrow Z$ rovnicu ekvipercenčnej konštrukčnej charakteristiky

$$f = f_0 e^{bz}$$

kde $b = a Z_{\max}$, $f_0 = e^{-b}$

Pre rýchlootváraciu konštrukčnú charakteristiku platí $f = k z$ kde $k \gg 1$.

Prietoková charakteristika je definovaná ako bezrozmerná závislosť $q = \varphi(z)$, pričom táto závislosť môže byť analogicky ako pri konštrukčnej charakteristike lineárna, ekvipercenčná (rovnopercenčná), parabolická alebo rýchlootváracia. Aká bude prietoková charakteristika pre určitú konštrukčnú charakteristiku, bude závisieť od tlakových pomerov na RV, pretože z Bernoulliho rovnice vyplýva vzťah $Q = k_v F \sqrt{\Delta p_v / \rho}$. Za predpokladu, že pri turbulentnom toku ventilom bude koeficient približne konštantný, potom za predpokladu konštantného tlakového spádu na ventile pri rôz-

nych prietokoch bude platiť $f = q$, t. j. že konštrukčná charakteristika bude približne zhodná s prietokovou charakteristikou RV. Ak sa budú tlakové pomery na RV meniť, bude dochádzať k deformácii prietokovej charakteristiky a tá nebude zhodná s konštrukčnou charakteristikou RV.

Autorita ventilu

Ak označíme $\Delta p_c = \Delta p_v + \Delta p_r$, kde Δp_c je celkový tlak v hydraulickej sieti vytvorený napr. čerpadlom, Δp_v – tlakový spád na ventile, Δp_r tlakový spád vytvorený v sieti inými odpormi, potom tzv. autoritu RV definujeme vzťahom $P_v = \Delta p_v / \Delta p_c$. Prietoková charakteristika RV bude blízka konštrukčnej, ak sa volí autorita RV $P_v \geq 0,6$ (obr. 2).

Deformáciu prietokovej (prevádzkovej) charakteristiky môže spôsobiť aj poddimenzovanie alebo predimenzovanie RV nevhodnou voľbou prietokového súčiniteľa K_v . Zložitejší je návrh trojcestného RV, ktorý môže pracovať ako zmiešavací alebo rozdeľovací. Napr. zmiešavací RV možno pri návrhu nahradiť dvoma dvojcestnými RV a riešenie vedie na 7 nelineárnych rovníc, ktoré treba riešiť numericky tak, aby nebolo možné obrátenie prúdenia vo vratnej vetve vykurovacieho systému. Čo sa týka výberu vhodnej prietokovej charakteristiky, platí, že pri konštantnom zosilnení regulovanej sústavy, napr. pri zmiešavaní teplotných médií, je vhodná lineárna prietoková charakteristika RV. Pri regulácii škrtením pri premennom prietoku je vhodná ekvipercenčná prietoková charakteristika RV. Tým sa dosiahne, že nelineárna charakteristika ventilu kompenzuje nelinearitu regulovanej sústavy a nastavené parametre regulátora budú vyhovovať v celom rozsahu zmien prietoku.

Regulačné klapky sú charakteristické pri regulácii vzduchu veľkými prietokmi a v porovnaní s RV malými tlakovými spádmi. Konštrukčné charakteristiky regulačných klapiek sú silne nelineárne. Približne lineárnu prietokovú charakteristiku klapky, t. j. lineárnu závislosť medzi zmenou prietoku a natočením klapky dosiahneme vhodnou voľbou autority klapky. Napr. pre súbežné klapky sa volí autorita klapky $P_k \approx 0,1 - 0,15$, pre protibežné klapky, ktorých konštrukčná charakteristika nezávisí od počtu listov, sa volí $P_k = 0,03 - 0,06$.

Regulačný pomer r

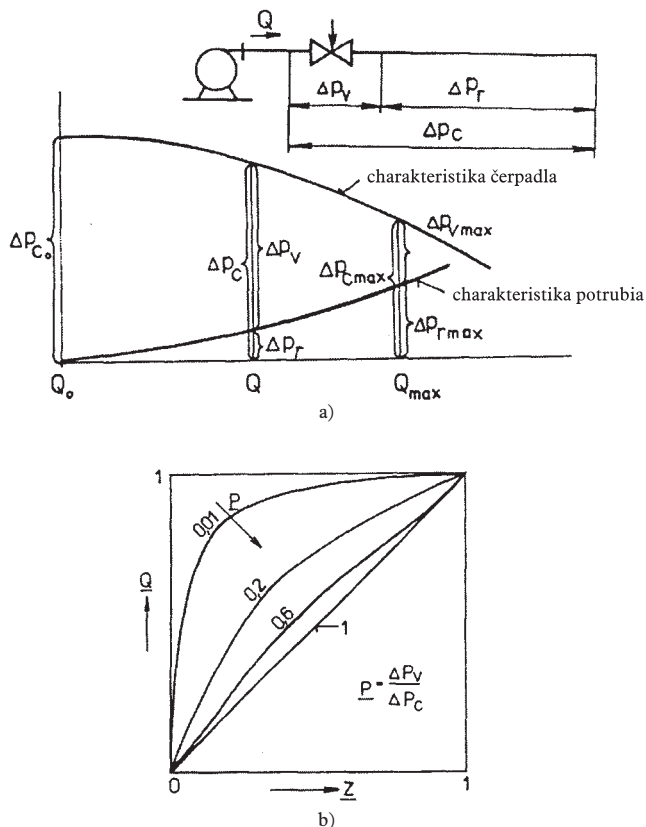
Je definovaný ako pomer najväčšieho prietokového súčiniteľa pri plnom otvorení a najmenšieho prietokového súčiniteľa.

$$r = \frac{\Phi_{\max}}{\Phi_{\min}}$$

Teoretický regulačný pomer pri ideálnej pomernej prietokovej charakteristike je daný vzťahom

$$r_{\text{teor}} = \frac{1}{\Phi_0}$$

a vychádza teda z rovnice jeho prietokovej charakteristiky. Pri reálnom ventile je potom daný nielen vlastnosťami škrtiaceho orgánu v blízkosti polohy zatvorené, ale hlavne vlastnosťami jeho ovládania (pohonu). Vzhľadom na parametre (minimálny regulačný krok) moderných pohonov býva praktický regulačný pomer viac ako dvakrát vyšší ako teoretický regulačný pomer, vychádzajúci len z rovnice charakteristiky armatúry. Je tiež veľmi problematické dosahovať väčšie regulačné pomery pri malých K_{vs} (menších ako $1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$). Tu by mal byť projektant veľmi opatrný pri navrhovaní ventilov v aplikáciách, kde je potrebný väčší regulačný pomer ako 30 : 1. Pre určité nutné predimenzovanie K_{vs} v oblasti regulácie maximálneho prietoku často nie je regulačná sústava schopná dosiahnuť ustálený stav k nastaveniu minimálneho prietoku a dochádza k cyklovaniu regulačného ventilu v okolí polohy zatvorené. Preto sa pre oblasť takýchto malých hodnôt K_{vs} vyrábajú špeciálne ventily, nazývané niekedy aj mi-



Obr.2 Prietokové charakteristiky regulačných ventilov a vplyv autority na tvar charakteristiky

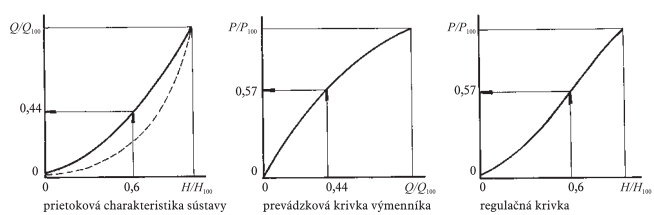
kroventily, ktoré majú špeciálne upravený škrtiaci systém práve na spracovanie veľmi malých prietokov.

Regulačná charakteristika procesu

V predchádzajúcich odsekoch bola spomenutá prietoková charakteristika ventilu, ale iba z hľadiska regulácie nás závislosť prietoku média od zdvihu ventilu vôbec nezaujíma. Nás zaujíma práve závislosť regulovanej veličiny od výstupu regulátora, ale potom sa musíme pozrieť ešte ďalej.

Máme prietokovú charakteristiku ventilu. Zdvih ventilu lineárne závisí od výstupu z regulátora. Máme prietokovú charakteristiku sústavy. Ďalej máme závislosť regulovanej veličiny od prietoku média sústavou – prevádzkovú krivku výmenníka alebo iného zariadenia.

Súčinom prevádzkovej krivky (napr. výmenníka tepla) a regulačnej charakteristiky potrubnej sústavy potom dostávame závislosť regulovanej veličiny od zdvihu ventilu (obr. 3), teda v prípade lineárnej väzby aj závislosť regulovanej veličiny od výstupu z regulátora – regulačnú charakteristiku procesu.



Q/Q_{100} – pomerný prietok sústavy
 P/P_{100} – pomerný predaný výkon
 H/H_{100} – pomerný zdvih ventilu

Obr.3 Regulačná charakteristika procesu

Pre dobrú reguláciu je dôležité, aby sa výsledná regulačná krivka v celom regulačnom pásme, ak je to možné, čo najviac priblížila priamke. Dôvodom je to, aby sa rovnaké zmeny (prírastky alebo úbytky) výkonu dosahovali, ak je to možné, rovnakými zmenami zdvihu regulačnej armatúry kdekolvek v celom rozsahu zdvihu, čo výrazne prispieva k stabilite regulácie. Práve na túto skutočnosť má priamy vplyv charakteristika ventilu, kde môže vhodne volená charakteristika regulačnej armatúry výrazne zlepšiť (a naopak) kvalitu aj stabilitu regulačného procesu.

V obr. 3 je v ľavej časti čiarkovaným priebehom vyznačená ideálna prietoková charakteristika regulačného ventilu a plným priebehom jeho deformovaná krivka (prietoková charakteristika alebo krivka sústavy). Tu je práve veľmi dôležité si uvedomiť, že závislosť prietoku média je určená práve prietokovou charakteristikou celej potrubnej sústavy (vplyv autority), nie iba charakteristikou ventilu, a preto je prakticky nemožné korektne navrhnúť regulačný ventil bez aspoň minimálnych znalostí súvisiacich vplyvov (hlavne autorita, ktorá z hydraulického hľadiska opisuje celý regulovaný okruh).

V ďalšej časti seriálu sa budeme venovať problematike návrhu regulačných ventilov.

Literatúra

[1] KACHAŇÁK, A.: Meranie a regulácia. Učebný text pre PGŠ: Zásobovanie teplom, Strojnícka fakulta STU Bratislava, február 2005.
 [2] DOUBRAVA, J., DÝTRT, V., KLIMEŠ, M., MAREK, V., NOVOTNÝ, O., SUCHÁNEK, T., ŠALDA, M.: Regulačné armatúry. 3. upravené vydanie, LDM, spol. s r. o., 2003.

Pokračovanie v budúcom čísle.