

Základné požiadavky na automatickú reguláciu sústavy

Pre zaistenie bezpečnej prevádzky kompresora musí byť realizovaný regulačný obvod antipumpážnej regulácie, ktorý zaisťuje aby prevádzkové parametre množstva, tlaku a natočenia lopatiek nespôsobili pumpáž dúchadla.

Následkom pumpnutia kompresora je prudké (impulzné cca 1 sekundové) zvýšenie teploty vzduchu z normálnych hodnôt cca 60 – 100 °C na cca 400 °C. Na identifikáciu ciele pumpnutia je potrebné tieto vstupné signály vzorkovať so zvýšenou frekvenciou a vyhodnocovať ich hodnotu. Kompresor „pumpol“, ak aspoň jedna teplota prekročí hodnotu 150 °C.

Princíp APR: Množstvo vzduchu prechádzajúce kompresorom je udržiavané otváraním (zatváraním) antipumpážnej klapky na takej hodnote, aby kompresor pracoval mimo oblasti pumpáže (pod hranicou stabilnej oblasti charakteristiky turbokompresora). Požadovaná hodnota množstva regulačného obvodu antipumpážnej regulácie je o 4,5 až 6,5 % menšia ako hranica pumpáže podľa umiestnenia pracovného bodu na prevádzkovej charakteristike. Diferenciu množstva medzi žiadanou hodnotou regulačného obvodu antipumpážnej regulácie a hranicou pumpáže musí tento regulačný obvod odľúknuť do atmosféry pomocou odľukovej klapky.

Požiadavky na antipumpážnu reguláciu (APR) turbokompresora možno na základe princípu regulácie stanoviť na:

- antipumpážnu klapku – akčný člen,
- meranie prietoku nasávaného vzduchu – merací člen,
- meranie teploty – identifikácia pumpnutia,
- informačný a riadiaci systém – regulácia.

Voľba typu regulátora a nastavenie jeho parametrov

Kvalitu regulácie môžeme ovplyvniť v podstate dvoma spôsobmi:

- voľbou typu regulátora,
- nastavením jeho konštánt.

V súčasnosti je väčšina komerčnej produkcie regulátorov založená na mikroprocesoroch a funkcie regulátora sú dané programom. Väčšinou je regulátor univerzálneho typu PID a užívateľ si sám nastavením jeho parametrov zvolí požadované vlastnosti. Pri voľbe typu regulátora vystupuje do popredia skutočnosť, že zoraďovanie regulačného obvodu je tým zložitejšie a chýlostivejšie, čím viac parametrov musíme nastavovať [2].

Nastavovanie parametrov (t. j. zosinenia a časových konštánt) regulátora je pomerne zložitá záležitosť. Dynamické chovanie regulátora sa musí dynamickým vlastnostiam sústavy prispôbiť tak, aby regulačný pochod bol stabilný a aby vykazoval také chovanie, ktoré technologický proces vyžaduje. V súčasnosti je u mikropočítačových regulátorov zabudovaná funkcia samočinného nastavovania konštánt. Regulátor v takom prípade vysiela do systému definované signály (akčné zásahy) a sleduje odozvu na ne. Výsledok určitými matematickými postupmi vyhodnocuje a upravuje hodnoty svojich parametrov.

V zásade môžeme metódy optimálneho nastavenia parametrov (podľa zvoleného kritéria optimality) rozdeliť na metódy:

- Priamej syntézy,
- Experimentálne a empirické metódy

Spracovanie prechodovej charakteristiky

Najčastejšie používaným vstupným signálom je skoková zmena. Časový priebeh výstupnej veličiny ako odozva na skokovú zmenu vstupu sa nazýva prechodová charakteristika. Podľa tvaru prechodovej charakteristiky

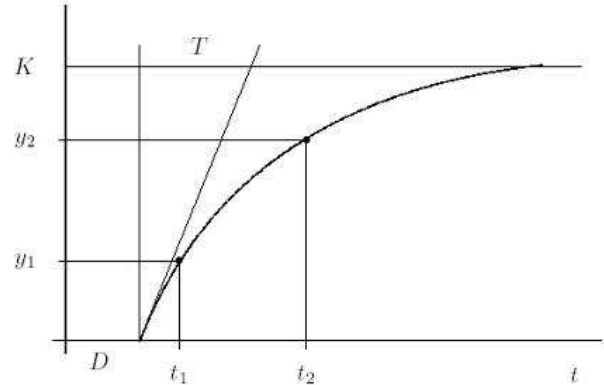
môžeme usúdiť na rád systému a popísať chovanie skúmaného systému matematickým modelom.

Uvažujeme náhradu modelu systému prenosom 1. rádu v tvare:

$$(1) \quad F(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-Ds},$$

kde K je zosilnenie, T časová konštanta a D dopravné oneskorenie systému, ktoré potrebujeme určiť.

Podľa týchto troch parametrov sa tento model často nazýva aj trojparametrový model. Priebeh výstupu v časovej oblasti sa dá získať pomocou spätnej Laplaceho transformácie, a má tvar:



Obr. 2 Prechodová charakteristika systému 1. rádu

Platí:

$$(2) \quad y(t) = 0, \quad t < D,$$

$$(3) \quad y(t) = K \left(1 - e^{-\frac{t-D}{T}} \right), \quad t \geq D.$$

Zosilnenie sústavy je dané ako hodnota prechodovej charakteristiky v nekonečne $K = y(\infty)$, ak skok má jednotkovú veľkosť.

Potrebné parametre matematického modelu 1. rádu môžeme získať dvoma spôsobmi:

- odčítaním hodnôt D , K , T z grafického priebehu prechodovej charakteristiky, ako je to naznačené na vyššie uvedenom obrázku,
- výpočtom, ak poznáme dva body $[t_1, y_1]$ a $[t_2, y_2]$ na prechodovej charakteristike z nasledovných vzťahov:

$$(4) \quad T = \frac{t_2 - t_1}{\ln \frac{K - y_1}{K - y_2}}, \quad D = \frac{t_2 x - t_1}{x - 1}, \quad x = \frac{\ln \frac{K - y_1}{K}}{\ln \frac{K - y_2}{K}}.$$

Ak poznáme tento model sústavy, existuje množstvo vzťahov, ako na základe znalosti K , T a D nastaviť regulátor PI alebo PID [3]. Sú zamerané na regulačnú úlohu sledovania žiadanej hodnoty. Pri použití na kompenzáciu porúch možno vychádzať z rovnakého nastavenia a postupne prejsť k mierne „odvážnejšiemu“ nastaveniu t. j. spravidla mierne zvýšiť zosilnenie regulátora prípadne znížiť integračnú časovú konštantu.

Podľa citovanej literatúry niektoré vzťahy na výpočet nastavenia PI regulátora:

- Fruehauf a kol.:

ak,

$$(5) \quad \frac{D}{T} < 0,33 \rightarrow r_0 = 5T/9KD, \quad T_i = 5D.$$

inak:

$$(6) \quad r_0 = T/2KD, \quad T_i = T.$$

- Aström a Hägglund:

$$(7) \quad r_0 = 0,29 \frac{T}{KD} e^{(-2,7\tau + 3,7\tau^2)}, \quad T_i = 8,9De^{(-6,6\tau + 3\tau^2)}$$

kde τ je normalizované dopravné oneskorenie

$$(8) \quad \tau = \frac{D}{(D+T)}$$

Návrh vhodných meracích a regulačných prvkov

Pre správnu a bezpečnú funkciu antipumpážnej regulácie navrhujem použiť:

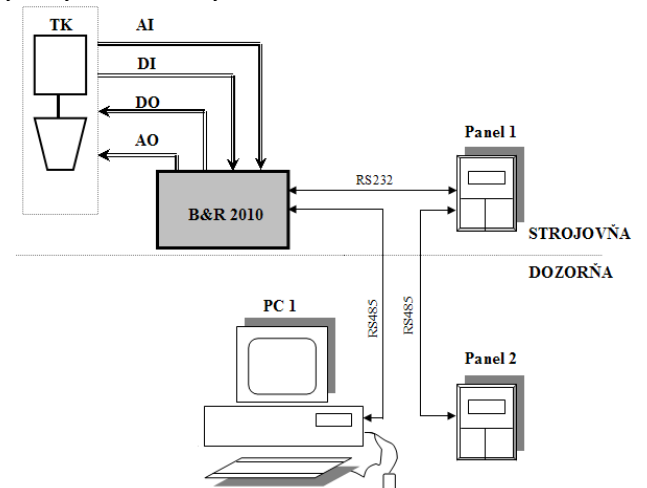
- snímač tlaku Rosemount 3051 CG (0 - 600kPa),
- snímač tlakovej diferencie Rosemount 3051 CD (0 - 3971 Pa) pre pripojenie k Venturiho dýze,
- Venturiho dýzu,
- snímač teploty Pt 100,
- snímač teploty – plášťový termočlánok „K“,
- elektropneumatický pohon Valbia DA.

Nakoľko podrobné údaje prístrojov sú dostupné na internetových stránkach výrobcov a v rôznych katalógoch meracích a regulačných prvkov ich dodávateľov, v ďalšom sa nebudem uvedeným prístrojom bližšie venovať.

Návrh informačného a radiaceho systému

Pre riešenie tejto práce navrhujem použiť systém B&R 2010 fy B&R Industrielektronik [4].

Bloková schéma štruktúry technických prostriedkov radiaceho a informačného systému turbokompresora (TK) je zrejmä z nasledujúceho obrázku.



Obr. 3 Bloková schéma štruktúry technických prostriedkov radiaceho systému

- kde
- TK - vlastné ústrojenstvo turbokompresora,
 - AI, DI, DO, AO - analógové a dvojhodnotové vstupno / výstupné signály,
 - B&R 2010 - riadiaci modulárny systém PCC B&R,
 - Panel 1, Panel 2 - informačné a ovládacie panely obsluhy v priestore strojovne a dozorne,
 - PC1 - informačný, monitorovací a ovládaci systém na báze počítača PC s klávesnicou a myšou.

Návrh programového vybavenia

Vstupy do regulačného obvodu sú nasledovné:

- množstvo vzduchu na saní TK,
- tlak vzduchu na výtlaku TK,
- natočenie lopatiek 1. sekcia,
- natočenie lopatiek 2. sekcia,
- výstup pre ovládanie odfukovej klapky 4...20 mA

Tab. 1 Vstupné signály APR

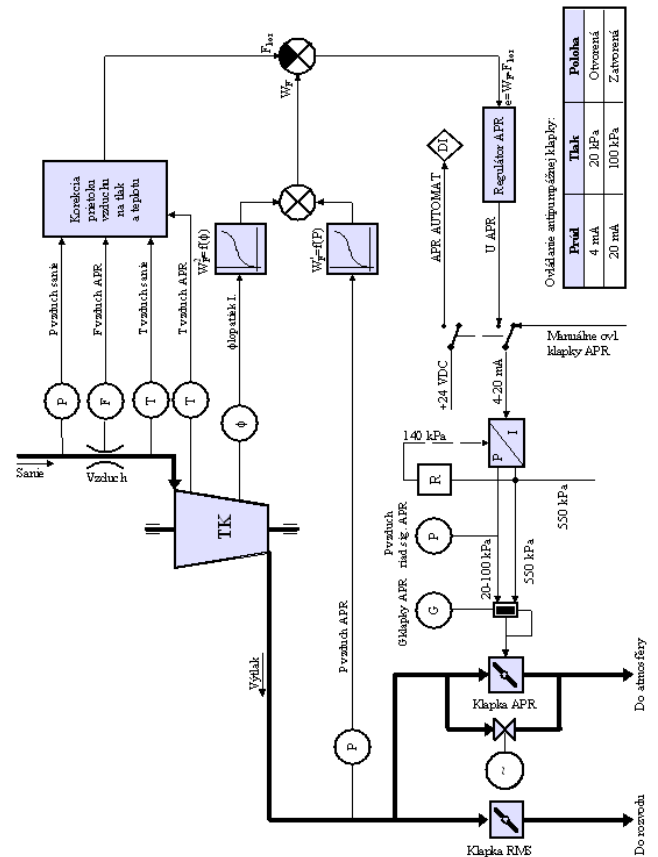
P.č.	Signál	Rozsah
1.	Tlak vzduchu – sanie (kPa)	0 ÷ 120
2.	Prietok vzduchu – sanie (m ³ /h)	0 ÷ 330000
3.	Teplota vzduchu – sanie (°C)	-30 ÷ +50
4.	Teplota vzduchu na saní TD6 (°C)	0 ÷ 600
5.	Uhol natočenia lopatiek TD6 (°)	+16 ÷ -10
6.	Tlak vzduchu – výtlak (kPa)	0 ÷ 600
7.	Poloha klapky (%)	0 ÷ 100
8.	Tlak ovládacieho vzduchu klapky APR (kPa)	0 ÷ 160

Tab. 2 Výstupné signály APR

P.č.	Signál	Rozsah
1.	Akčná veličina (mA)	4 ÷ 20

Poznámka: Z bezpečnostných dôvodov je vhodné akčnú veličinu realizovať inverzne (prerušenie káblovej trasy, strata napájania, a iné) t. j. hodnote 4 mA zodpovedá stav antipumpážnej klapky – OTVORENÁ a 20 mA – ZATVORENÁ.

Bloková schéma antipumpážnej regulácie je uvedená na nasledujúcom obrázku:



Obr. 4 Bloková schéma antipumpážnej regulácie

Regulovanou veličinou je množstvo nasávaného vzduchu meraného snímačom tlakovej diferencie na Venturiho dýze. Meraná hodnota prietoku F pri aktuálnych stavových podmienkach (p, T) je prepočítaná na výpočtové podmienky dýzy (97.85 kPa, 20 °C) a následne prepočítaná na stavové podmienky tlaku (98,1 kPa), pri ktorých bola meraná a stanovená hranica pumpáže výrobcom, pri uvádzaní sústrojenstva do prevádzky. Z uhlu

natočenia lopatiek a tlaku vzduchu na výtlaku sa vypočíta žiadaná hodnota prietoku vzduchu na saní TK.

Na základe regulačnej odchýlky, číslicový algoritmus PID regulátora vypočítava hodnotu akčnej veličiny v rozsahu 0-100 % ktorý po prevode na prúdový signál 20 – 4 mA vstupuje cez kontakt prepínača MANUÁL/AUTOMAT na vstup I/P prevodníka a následne na pneumatický servopohon klapky APR.

Regulácia

Regulovaná veličina:	F vzduch na saní APR korigovaný na výpočtové parametre clony a prepočítaný na stavové podmienky,
Žiadaná hodnota:	$W_F = f(P_{VZ}, \phi)$,
Typ regulátora:	PI – pozičný,
Akčná veličina:	U APR - analógový výstup (4-20 mA),
Poloha servopohonu:	G prepúšťacia klapka ,
Periódka výpočtu:	1 - 2 sekundy,
Automat / Manuál:	prepínač

Ak regulačný obvod antipumpáže nezabráni pumpáži turbodúchadla, potom po prvom pumpážnom cykle, ktorý bude identifikovaný stúpnutím aspoň jednej teploty na saní za prvou radou lopatiek, riadiaci systém pootvorí odfukovú klapku na 30%, čím zabráni ďalším pumpážnym cyklom. Pri ďalších dvoch cykloch sa klapka pootvorí na 60%.

V prípade, že uvedený obvod vývodu z pumpáže nezabráni pumpáži, systém po treťom pumpážnom cykle odstaví turbokompresor z prevádzky uzatvorením spúšťacích ventilov na prívide pary do turbíny. Tento stav môže nastať len v prípade, že vznikne porucha na pohone odfukovej klapky.

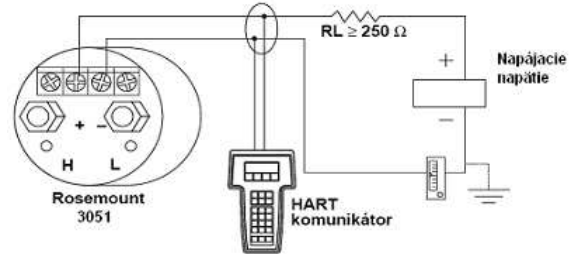
Postup pri zoraďovaní APR regulátora kompresora

- v ustálenom prevádzkovom stave na výkonovej hladine prietoku vzduchu ($285000 \text{ m}^3/\text{h}$) sa ručne skokovo otvorí klapka APR (o $\Delta u = 10\%$), následkom čoho sa prietok vzduchu na saní zvýši (o $\Delta y = 6400 \text{ m}^3/\text{h}$),
- z grafického priebehu odozvy na skok sa určí časová konštanta sústavy ($T = 14 \text{ s}$) a dopravné oneskorenie ($D = 2 \text{ s}$),
- vypočíta sa zosilnenie sústavy ($K = \frac{\Delta y}{\Delta u}$),
- pre východiskové nastavenie regulátora (experimentálna metóda pokus – omyl) sa použijú vzťahy napr. podľa Fruehaufa ($r_0 = 0,006$, $T_I = 10 \text{ s}$),
- zvolí sa periódka regulátora ($T = 2 \text{ s}$),
- regulátor sa uvedie do automatického režimu a opakovaným nasimulovaním prekročenia medze pumpáže sa overí jeho funkčnosť, a doladia sa parametre regulátora.

Nastavenie a kalibrácia meracích prvkov

Pre účely meracích, informačných a riadiacich procesov sa v dnešnej dobe využíva celý rad moderných meracích prístrojov a kalibrátorov [5]. V minulosti sa na kalibrovanie používali rôzne hydraulické alebo pneumatické pumpy osadené klasickými manometrami, ktoré mali značnú nepresnosť. V súčasnosti tieto prístroje a kalibrátory nahradili digitálne meracie prístroje riadené procesormi.

Komunikátor a kalibrátor v jednom (Rosemount 275) je schopný po pripojení na zariadenia vybavené HART protokolom meniť požadované parametre použitých snímačov (napr. snímače diferenčného tlaku, tlaku, teploty, prietoku a pod.) t.j. zmeny meraných rozsahov, pásma citlivosti, s možnosťou merania, simulovania, odmočovania signálov pre merania založené na princípe tlakového rozdielu (škrtiace clony, Venturiho trubice a pod.) [6].



Obr. 5 Schéma zapojenia komunikátora HART 275 so snímačom vybaveným protokolom HART

Záver

V mnohých prípadoch technických zariadení pracujúcich v rôznych oblastiach priemyslu sú používané „prvky pre meranie a reguláciu“, ktoré sú náročné na údržbu a kalibráciu dôsledkom ich vysokej poruchovosti, a teda ich možno považovať za morálne opotrebené a zastarané. Preto je ich nutné nahradiť novými, využívajúcimi moderné technológie a trendy v oblasti merania a regulácie.

Súčasný vývoj meracích prvkov na základe použitia nových princípov a materiálov umožňuje zvýšiť presnosť meracieho a regulačného reťazca z pôvodných jednotiek percent až na súčasných desiatin percent. Ďalšou výhodou je ich schopnosť zaznamenávať, ukladať a „samodiagnostikovať“ vznikajúce poruchy v meracích a regulačných obvodoch. To zvýši bezpečnosť, zjednoduší prevádzkovanie zariadenia a umožní predikčnú činnosť v oblasti údržby [7].

Cieľom návrhu tejto regulácie bolo prostredníctvom nových meracích obvodov t.j. teplôt, tlakov, diferenčných tlakov a rôznych analógovo - digitálnych prevodníkov zaregistrovať prácu dúchadla v nestabilnej oblasti a vyviesť ju do pracovnej oblasti. Nahradením moderných elektropneumatických pohonov dosiahnuť rýchlejšiu odozvu a tým samozrejme aj bezpečnosť prevádzkovania.

Literatúra

- [1] Prevádzková dokumentácia axiálneho kompresoru, typ 12 AVA 99, ČKD Praha – závod kompresory, 1986, s. 156.
- [2] MUDRONČÍK, D. - ZOLOTOVÁ, I.: Priemyselné programovateľné regulátory - konfigurácia, vizualizácia, kvalita softvéru, Elfa, 2000, s. 169, ISBN 80-88964-45-8
- [3] KLÁN, P.: Moderní metody nastavení PID regulátoru. AUTOMA 9, 2000, str. 54-57
- [4] <http://www.br-automation.com>
- [5] www.emersonprocess.sk
- [6] <http://www.staf.sk/>
- [7] KOLCUN, M., CHLADNÝ, V., VARGA, L., BEŇA, L., ILENIN, S., LEŠTINSKÝ, P., MEŠTER, M.: Analýza elektrizačnej sústavy, Technická univerzita v Košiciach, ABB Elektro, s.r.o., Bratislava, Banská Bystrica, 2005, ISBN 80-89057-09-8,

PodĎakovanie

Podporujeme výskumné
aktivity na Slovensku/
Projekt je spolufinanco-
vaný zo zdrojov EÚ. Ten-
to článok bol vypracovaný

v rámci projektu "Centrum excelentnosti integrovaného výskumu a využitia progresívnych materiálov a technológií v oblasti automobilovej elektroniky", ITMS 26220120055.

Autori: Róbert Jászay, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: robertja@centrum.sk

Roman Cimbala, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: roman.cimbala@tuke.sk

Iraida Kolcunová, Katedra elektroenergetiky, Fakulta elektrotechniky a informatiky Technickej univerzity v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, E-mail: iraida.kolcunova@tuke.sk