

Návrh riadiaceho systému zapaľovacej hlavy spekacieho pásu na stabilizačnej úrovni vo VSŽ, a.s., Košice

Igor Leššo¹ a Imrich Košťál¹

The design of an control system of ignition furnace at the stabilization level in VSZ inc. Kosice

The contribution deals with a technical and algorithmic solution of the stabilization level of a control system for the ignition furnace of the sintering belt which produces a sinter for the blast furnace. The control system is realised on the basis of an IBM PC computer equipped with an Advantech Co. I/O card. The core of the control algorithm is a fixed PS regulator and a PSD regulator. Moreover, the system performs several more control and check functions of the logical type.

Key words: agglomeration mixture, ignition head, PSD regulator, adaptive regulator, IBM PC, I/O card, AD end DA converter, PCL cards, characteristic of the control valve

Úvod

Na spekacom pásu sa vyrába aglomerát z prachových železných rúd, prísad a koksu. Táto zmes sa pred uložením na spekací pás navlhčí a mechanicky upraví. Spekací pás sa pohybuje pod sústavou plynových horákov, ktoré spôsobia zapálenie povrchovej vrstvy aglomeračnej zmesi. Pásmo horenia paliva sa prúdom presávaného vzduchu postupne presúva po hrúbke vrstvy, čím sa zabezpečuje vytváranie aj chladenie taveniny.

Zdrojom tepla je na obidvoch stranách spekacieho pásu rozmiestnená sústava šiestich primárnych horákov na koksárenský plyn s tepelným výkonom po 50 kW a sústava šiestich sekundárnych horákov s tepelným výkonom po 350 kW. Pričom štyri sekundárne horáky sú na vysokopecný plyn a dva (pomocné) horáky na koksárenský plyn.

Kvalita výslednej aglomeračnej zmesi v značnej miere súvisí s úrovňou riadenia procesu spekania. Riadenie procesu je možné rozdeliť na dve úrovne.

Prvá úroveň (stabilizačná) má za cieľ udržať rozhodujúce procesné veličiny na vopred definovaných hodnotách, signalizovať stav dvojhodnotových veličín procesu a signalizovať, prípadne aj ošetriť havarijné situácie v technológii. Jej úlohou je aj monitorovanie a archivácia aktuálneho stavu procesu a odosielanie vybraných informácií nadradenému informačnému systému.

Druhá úroveň (optimalizačná) je nadradená prvej úrovni. Na základe informácií o stave procesu a na základe známych vlastností technológie, určuje prostredníctvom modelu optimálne hodnoty riadiacich veličín pre prvú úroveň (Terpák et al., 1996).

Príspevok uvádza riešenie stabilizačnej úrovne riadiaceho systému zapaľovacej hlavy spekacieho pásu. Styk s procesom prostredníctvom klasickej meracej a ovládacej techniky je zabezpečený na báze počítača IBM PC, ktorý bol rozšírený o sústavu I/O kariet.

Funkcie systému

Funkcie stabilizačnej úrovne riadiaceho systému vyplývajú z podstaty spekacieho procesu pri výrobe aglomerátu, z technologického zariadenia, reprezentovaného zapaľovacou hlavou a spekacím pásmom a v neposlednom rade aj z požiadaviek, kladených na bezpečnosť prevádzky technologického procesu. Boli definované a realizované tieto konkrétne funkcie systému:

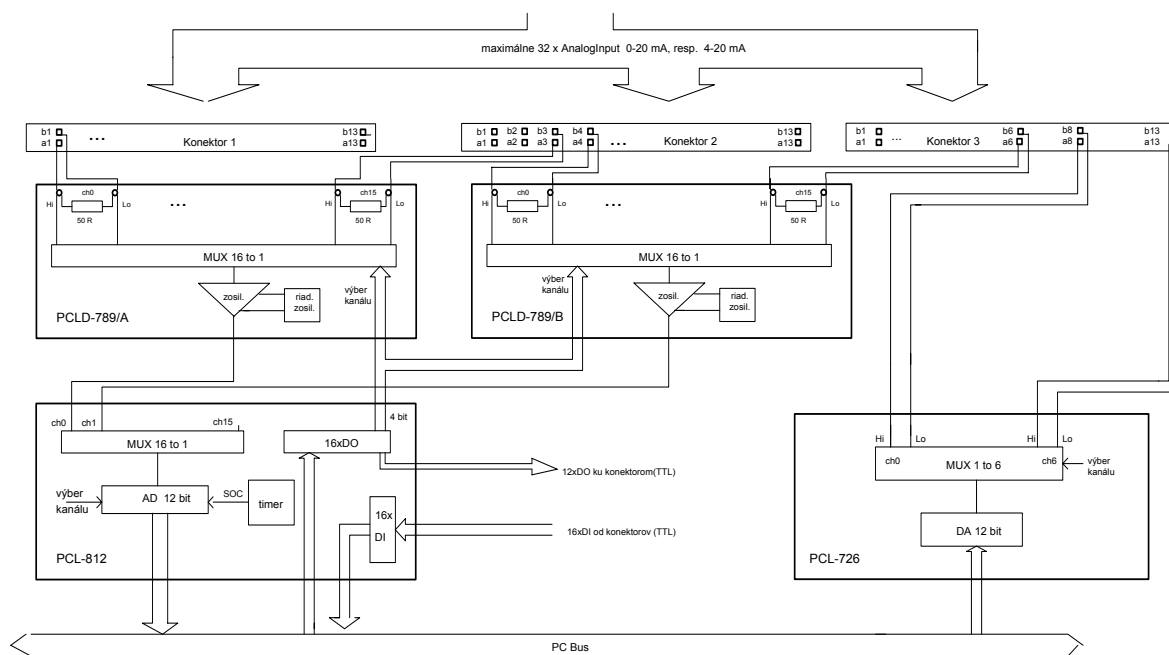
- zber procesných dát zo senzorov prostredníctvom sústavy I/O kariet (programové ovládanie multiplexorov, AD prevodníkov a dvojhodnotových vstupov, číslicová filtrácia signálov),

¹ Katedra riadenia výrobných procesov, F BERG Technickej univerzity, 040 01 Košice, ul. Boženy Němcovej 3 (Recenzenti: Ing. Pavol Nemčovský a Ing. Lubomír Dorčák, CSc. Revidovaná verzia doručená 15.11.1996)

- archivácia procesných dát a poskytovanie agregovaných údajov do počítačovej siete nadradenému informačnému systému,
- zobrazovanie aktuálnych hodnôt procesných dát na monitorovacej obrazovke (spojitých aj dvojhodnotových),
- ovládanie akčných členov prostredníctvom sústavy I/O kariet (programové ovládanie DA prevodníkov a polohových spätných väzieb servopohonov),
- regulácia objemového množstva koksárenského plynu do pomocných horákov,
- regulácia objemového množstva vysokopecného plynu do sekundárnych horákov ,
- regulácia spaľovacieho vzduchu pre koksárenský plyn,
- regulácia spaľovacieho vzduchu pre vysokopecný plyn,
- zadávanie žiadaných objemových prietokov koksárenského a vysokopecného plynu,
- automatický výpočet objemového množstva spaľovacieho vzduchu pre plyny v závislosti od požadovaného spaľovacieho pomeru, od ich výhrevnosti a teploty ,
- blokovanie (vypnutie) zapaľovacej hlavy pri vopred definovaných havarijných situáciách,
- beznárazové zapnutie zapaľovacej hlavy v nábehovom alebo riadnom režime ,
- zobrazovanie priebehu regulačného procesu koksárenského a vysokopecného plynu,
- možnosť voľby algoritmov regulácie
- vypnutie príslušného regulátora a „ručné“ ovládanie regulačnej klapky plynu pomocou klávesnice počítača.

Technické riešenie systému

Základom technického riešenia systému je počítač triedy IBM PC/486, ktorý bol doplnený o dve multiplexorové karty PCLD-789, jednu 16 kanálovú AD kartu, obsahujúcu aj 16xDI a 16xDO a jednu 6 kanálovú DA kartu. Systém pracuje s unifikovanými signálmi 4-20 mA. Uvedené karty sú produktom firmy Advantech Co., USA a ich výhodou v porovnaní s inými obdobnými prostriedkami je priamy prístup na systémovú zbernicu počítača. To umožňuje pomerne vysokú rýchlosť komunikácie proces - počítač. Sústava použitých vstupno/výstupných kariet je na obr.1.



Obr. 1. Sústava programovateľných I/O kariet, umožňujúca komunikáciu riadiaceho počítača s technologickým zariadením.

Charakteristika procesu z hľadiska regulácie

Hlavnou funkciou prvej úrovne riadiaceho systému zapaľovacej hlavy spekacieho pásu je stabilizácia prietočného množstva koksárenského plynu, vysokopecného plynu a spaľovacieho vzduchu pre tieto plyny, a to na žiadanej hodnote. Z hľadiska regulácie je prietok plynov nelineárnou

sústavou vyššieho rádu, často aj s dopravným oneskorením. Na túto sústavu môže pôsobiť niekoľko poruchových veličín. V prípade zapaľovacej hlavy dôležitú úlohu zohrávala častá zmena tlaku plynov v potrubí v rozsahu 0.6 až 5 kPa.

Pri overovaní algoritmov číslicovej regulácie bola dynamika regulovaných prietokov plynov modelovaná sústavou 3. rádu s dopravným oneskorením. V diskretnom tvare bola táto sústava vyjadrená prenosom

$$F_S(z) = \frac{0.125z^{-2}}{(z-0.5)^3}, \quad (1)$$

resp. prenosovou funkciou v diferenčnom tvare

$$y(k) = 1.5y(k-1) - 0.75y(k-2) + 0.125y(k-3) + 0.125[u(k-2) + r], \quad (2)$$

kde

k označuje okamih vzorkovania v čase $\tau = k \cdot T_{vz}$,

T_{vz} je perióda vzorkovania spojitého signálu (v našom prípade je rovná perióde regulácie),

$y(k)$ je skutočná hodnota regulovanej veličiny v okamihu k ,

$u(k)$ je akčná veličina v okamihu k (výstup regulátora),

$r(k)$ je poruchová veličina na vstupe do regulovanej sústavy v okamihu k .

Regulačná odchýlka bola vypočítavaná podľa vzťahu $e(k) = w(k) - y(k-3)$, kde $w(k)$ je žiadaná hodnota regulovanej veličiny v okamihu k .

V priebehu zavádzania riadiaceho systému zapaľovacej hlavy do prevádzky sa ukázalo, že v tomto technologickom procese pôsobia niektoré nezanedbateľné stochastické vplyvy charakteru porúch. Z nich najvýraznejšou je zmena tlaku v potrubí vysokopečného a koksárenského plynu. Nevhodná vzájomná poloha snímača tlaku a regulačnej klapky prietočného množstva u oboch plynov neumožňuje použiť metódu automatickej kompenzácie porúch tlakov, pretože nespĺňajú podmienku absolútnej invariantnosti regulovanej veličiny $y(k)$ vzhľadom k poruche tlaku $r(k)$. V tomto smere by bolo možné overiť použitie prediktora poruchy (Niederlinski, 1984). Zmeny tlaku plynov v napájacom potrubí spôsobujú následne posun pracovných charakteristík regulačných klapiek, ale aj ich tvarov, čo z hľadiska regulátorov prietočných množstiev plynov znamená zmeny dynamických vlastností regulovanej sústavy. Zmenu charakteristiky regulačnej klapky pri zmene tlaku plynu v potrubí je možné vyjadriť vzťahom (Spal, 1963):

$$\xi = 19,61 \frac{\Delta p \cdot S^2}{\gamma \cdot Q^2}, \quad (3)$$

kde

ξ je súčiniteľ prietokového odporu,

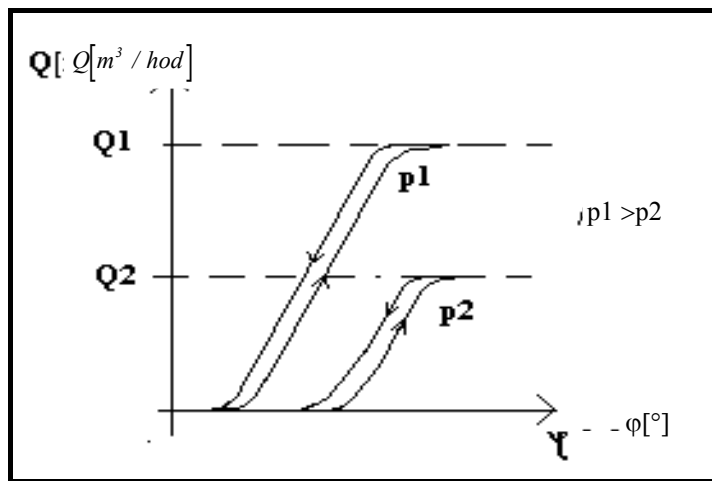
Δp je tlakový spád na regulačnom škrtiacom orgáne [$\text{kp} \cdot \text{m}^{-2}$],

S je menovitý prierez regulačného orgánu [m^2],

γ je merná hmotnosť média [$\text{kp} \cdot \text{m}^{-3}$],

Q je objemový prietok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$].

a principiálne znázorniť grafom (obr. 2). Z obrázku vidieť, že problémom je aj veľmi malý uhol pootočenia klapky $\Delta \xi$, v rozsahu ktorého sa zabezpečí uzatvorenie prietoku až nastavenie požadovaného prietoku. Podľa literatúry (Petrovič et al. 1988) je žiadúce min $\Delta \phi = 30^\circ$. Uvedený problém je zrejme zapríčinený technickými nedostatkami a pri syntéze algoritmov číslicovej regulácie s ním bolo potrebné uvažovať.



Obr. 2. Charakteristika regulačnej klapky prietoku plynu pri rozdielnych tlakoch plynu v potrubí pred klapkou.

Algoritmy regulácie

Simulačne boli overené a do systému implementované tri druhy algoritmov číslicových regulátorov: pevný PS regulátor v prírastkovom tvare, adaptívny PSD regulátor s adaptáciou zosilnenia a adaptívny PSD regulátor s kompenzáciou zosilnenia regulovanej sústavy (UTIA ČSAV Praha, 1990; Astrom, 1970; Peterka, 1982; Maršík, 1990).

Pevný PS regulátor v prírastkovom (rýchlostnom) tvare využíva integračnú funkciu pohonov akčných orgánov (servopohony regulačných klapiek a frekvenčné meniče u ventilátorov vzduchu). Jeho tvar je nasledovný

$$\Delta u_k = u_k - u_{k-1} = K \left[e_k - e_{k-1} + \frac{1}{Ti} \cdot e_k \cdot T \right] = K \left[-y_k + y_{k-1} + \frac{1}{Ti} (w - y_k) \cdot T \right], \quad (4)$$

kde K je proporcionálna konštanta, Ti integračná konštanta regulátora. Polohu akčných členov môžeme potom definovať vzťahom $u_k = u_{k-1} + \Delta u_k$. U prírastkového algoritmu, na rozdiel od algoritmu polohového, nehrozí nebezpečenie neobmedzeného nárastu akčnej veličiny. Beznárazový nábeh číslicovej regulácie pri prepnutí z ručného režimu do automatického je zabezpečovaný spätnoväzobným snímaním aktuálnej hodnoty akčného signálu u_a na akčnom orgáne a následným nastavením hodnoty $u_{n-1} = u_a$ na príslušný analógový výstup počítača.

Nakoľko tento prírastkový algoritmus regulácie (3) vykazuje pri väčších zmenách žiadanej hodnoty pomerne veľkú dobu regulácie, je jeho proporcionálna zložka $K(-y_k + y_{k-1})$ automaticky upravovaná v priebehu regulácie podľa momentálnej situácie, t.j. podľa toho, či sa regulovaná veličina blíži alebo vzdďaľuje od žiadanej hodnoty w .

Pre obmedzené technologické podmienky na *identifikáciu* regulovanej sústavy a kvôli vyššie uvedeným častým zmenám tlakových pomerov plynov, boli zostavené trvale adaptívne algoritmy regulácie heuristického charakteru.

Prvý adaptívny regulátor s PSD štruktúrou adaptuje vlastné zosilnenie na základe ukazovateľa tlmenia (UTIA CSAV, 1990). Jeho prenosová funkcia (regulačný zákon) má vzťah

$$\Delta u(k) = g(k) \cdot [e(k) + c_p \cdot \Delta e(k) + c_D \cdot \Delta^2 e(k)], \quad (5)$$

kde

c_p a c_D sú koeficienty proporcionálneho a derivačného člena,

$g(k)$ je zosilnenie regulátora,

$\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$,

$\Delta^2 e(k) = e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)$.

Zosilnenie tohto regulátora sa adaptuje v priebehu regulácie podľa vzťahu

$$\Delta g(k) = c \frac{1}{\tau_g(k)} g(k) \left[\left| \text{sign}(e(k-1)) + \text{sign}(e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)) \right| - \mu_{ref} \right], \quad (6)$$

kde c je konštanta, $\tau_g(k)$ je globálna časová konštanta sústavy s regulátorom, ktorá sa počíta iteratívne z rovnice $\Delta \tau_g = c \cdot \tau \cdot \text{sign}(|\Delta e| - \tau_g \cdot |\Delta^2 e|)$, μ_{ref} je parameter, vyjadrujúci tlmenie v sústave s regulátorom.

Druhý adaptívny PSD regulátor pracuje s konštantným zosilnením g , kompenzuje však zosilnenie regulovanej sústavy tak, aby bolo fiktívne jednotkové (UTIA ČSAV, 1982). Jeho algoritmus vyjadruje rovnica

$$\Delta u(k) = g \frac{u(k-1)}{y(k-1)} (e(k) + c \Delta e(k) + c \Delta^2 e(k)), \quad (7)$$

kde c je konštanta, g je nastavená hodnota zosilnenia regulátora ako konštanta.

Pre zapaľovaciu hlavu ako tepelný agregát z hľadiska regulácie je nežiadúce väčšie preregulovanie, ktoré okrem vyššej spotreby plynu môže mať za následok prehriatie klenby. Aby sa tomu predišlo, pri väčšej skokovej zmene žiadanej hodnoty je pred uvedením číslicového regulátora predradený jednodukapacitný filter skokovej zmeny Δw . Odvodený bol diferenčný tvar jeho prenosovej funkcie tak, aby bola dodržaná požadovaná doba nábehu žiadanej veličiny w .

Jednodukapacitný filter žiadanej hodnoty regulovanej veličiny môžeme v spojitej oblasti vyjadriť jeho prenosom

$$F_w(p) = \frac{W^s(p)}{W(p)} = \frac{1}{T_w p + 1}, \quad (8)$$

resp. prenosovou funkciou

$$w^s(\tau) = w(1 - e^{-\frac{\tau}{T_w}}). \quad (9)$$

kde T_w je časová konštanta nábehu žiadanej hodnoty w , τ je čas (spojitý).

V diskretnom tvare pri uvažovaní prenosu tvarovača žiadanej hodnoty $\frac{1 - e^{-pT_0}}{p}$ analogicky dostávame (Zábavník, 1987) prenos filtra

$$F_w(z) = Z \left\{ L^{-1} \left[\frac{1 - e^{-pT_0}}{p} \cdot F_w(p) \right] \right\} = \frac{1 - e^{-\frac{T_0}{T_w}}}{z - e^{-\frac{T_0}{T_w}}}, \quad (10)$$

resp. prenosovú funkciu filtra ako lineárneho diskretného systému v diferenčnom tvare

$$w^s(k) = - \sum_{i=1}^M a_i w^s(k-i) + \sum_{j=0}^N b_j w(k-j). \quad (11)$$

Definujme prírastky žiadaných hodnôt $\Delta w^s(k) = w^s(k) - w^s(k-1)$ pre $k=1,2,\dots$ tak, aby tvorili geometrickú postupnosť s kvociantom $q = \frac{\Delta w^s(k)}{\Delta w^s(k-1)} = \frac{w - w^s(k)}{w - w^s(k-1)}$. Postupnosť hodnôt

$w^s(k), k=1,2,\dots$ potom pri správne zvolenom kvociante q aproximuje v diskretných časových úsekoch prenosovú funkciu (11) a teda sa blíži v čase $k \cdot T = T_w$ k hodnote $w = \text{konšt.}$ Diferenčný tvar (11) prenosovej funkcie filtra potom nadobúda tvar

$$w^s(k) = q \cdot w^s(k-1) + (1-q) \cdot w. \quad (12)$$

Ak je n počet diskretných časových krokov, potrebných na priblíženie sa hodnôt $w^s(k)$ k žiadanej hodnote w s maximálnou diferenciou ε , musí pre súčet Sn prvých n členov geometrickej postupnosti $\{\Delta w^s(k)\}_{k=1}^{k=\infty}$ platiť podmienka

$$(w - Sn) \leq \varepsilon. \quad (13)$$

Ak definujeme $w^s(1)=w/2$, je možné zo vzťahu (13) odvodiť vzorec pre výpočet kvocientu q ako parametra diferenčnej funkcie (12) tak, aby pri danej perióde vzorkovania (regulácie) T bola za n časových krokov dosiahnutá na vstupe rozdielového člena regulátora žiadaná hodnota w :

$$q = e^{\frac{\ln \varepsilon}{n}}. \quad (14)$$

Medzi časovou konštantou T_w z prenosovej funkcie (9) a šírkou diskretného časového úseku T platí vzťah

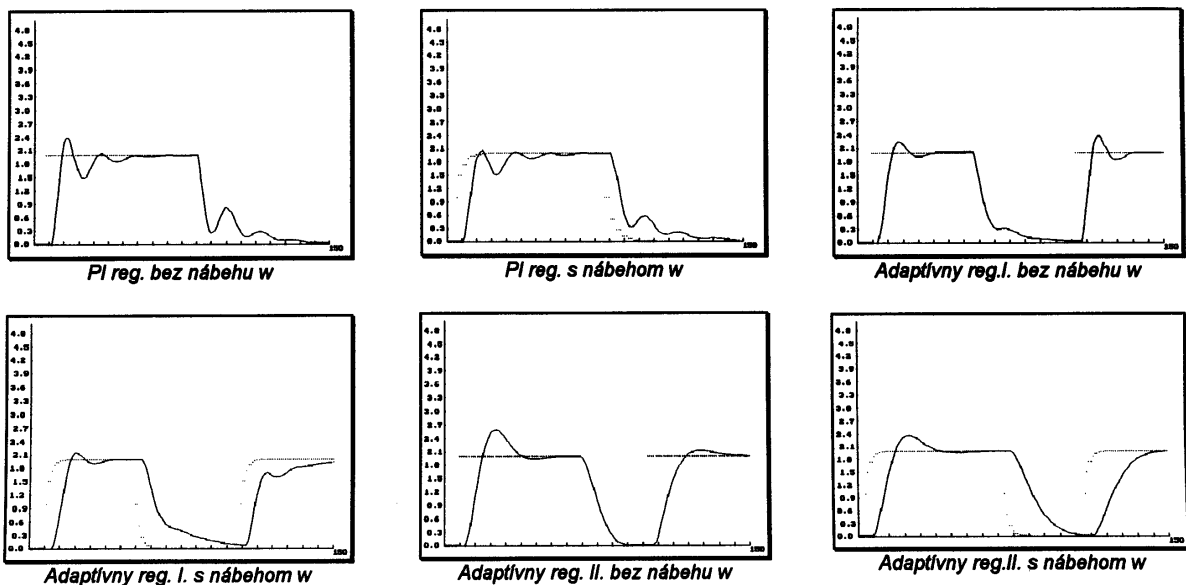
$$T_w \cong n \cdot T, \quad (15)$$

ktorý umožňuje stanoviť počet potrebných vzorkovaní n na dosiahnutie nábehu žiadanej hodnoty za čas T_w pri perióde vzorkovania T .

Pri skokových zmenách žiadaných hodnôt v jednotlivých regulačných slučkách zapaľovacej hlavy bol vo vzťahu (12) použitý kvocient $q=0.5$.

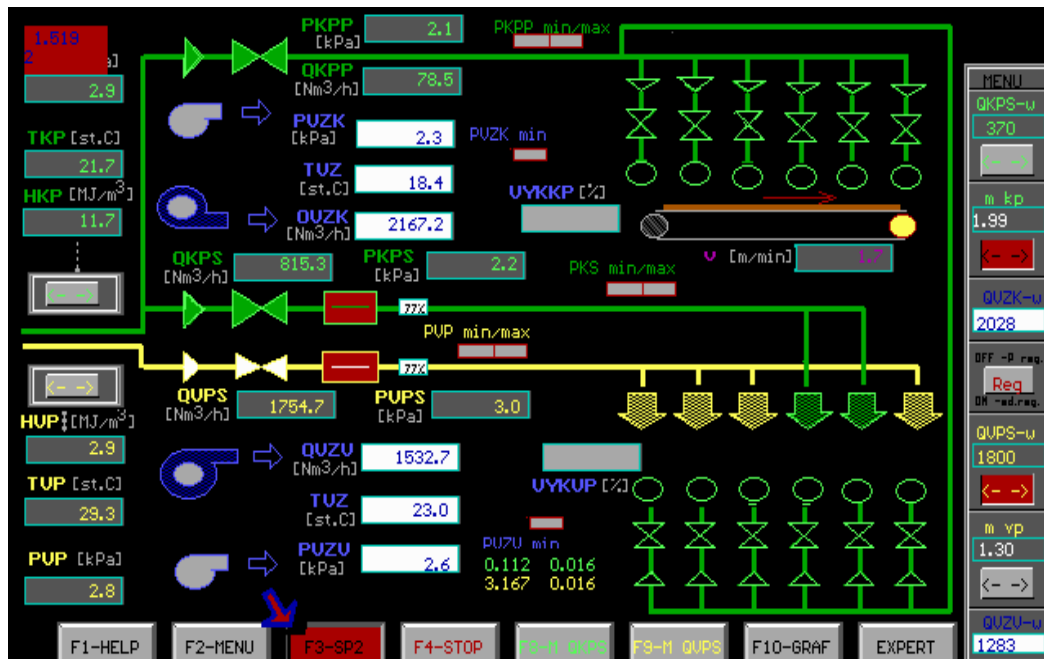
Záver

Prezentovaný riadiaci systém zapaľovacej hlavy spekacieho pásu, fungujúci na báze štandardného počítača typu IBM PC, plní všetky základné požadované monitorovacie, riadiace a komunikačné funkcie. Implementované číslicové regulátory pevného aj adaptívneho typu s jednodukapacitným filtrom skokových zmien žiadaných hodnôt na vstupe, plnia požiadavky technológie na kvalitu regulácie (obr. 3). Z priebehu regulácie pri použití jednodukapacitného článku na nábeh žiadanej hodnoty je vidieť zníženie, resp. odstránenie nežiadúcej prer regulácie. U adaptívneho regulátora bez nábehu žiadanej hodnoty je zjavný pozitívny vplyv adaptovaných parametrov regulátora pri opätovnej zmene w .



Obr. 3. Proces regulácie realizovaný tromi typmi regulátorov (priebeh akčnej veličiny $u(k)$ a riadenia $w(k)$).

Obr.4 znázorňuje komunikačnú obrazovku systému s výpisom jednotlivých sledovaných údajov.



Obr. 4. Komunikačná obrazovka riadiaceho systému.

Literatúra

- Adaptívne PID regulátory s monolitickými mikropočítačmi autorský kolektív UTIA. ČSAV Praha, 1990.
- Astrom, K.J.: Introduction to Stochastic Control Theory. New York, Academic Press, 1970.
- Grunigen, D.Ch.: Digitale Signalverarbeitung. AT-Verlag, Berlin 1993.
- Gerbrecht, F.W.: Digitale Regelungstechnik. Vde-Verlag gmbh, Berlin, 1991.
- Maršík, J.: Robust adaptive PID controller with automatic adjustment of sampling period. PCIT vol.19. (1990) p.247-257.
- Niederlinski, A.: Číslicové systémy pro řízení technologických procesu II. SNTL Praha, 1984.
- Petrovič, J. & Ivanič, J.: Automatizácia v priemysle - riadenie. ALFA Bratislava, 1988.
- Peterka, V. et al.: Algoritmy pro adaptívni mikroprocesorovou regulaci TP. Seminárny kurz ÚTIA ČSAV, Praha, 1982.
- Spal, J.: Automatizácia tepelného režimu palivových priemyselných pecí. SNTL Praha, 1963.
- Terpák, J., Košťál, I. & Dorčák, L.: Control of the sintering process ASR TP 96. 12th International Conference on Process Control and Simulation Košice, IX/1996 Slovak Republik.
- Zábavník, V.: Teória automatického riadenia. (Návody na cvičenia) skriptum VŠT Košice.
- Spišák, J. & Malindžák, D.: Aplikácia heuristiky v riešení viackriteriálneho sekvenčného problému. KRVP FBERG TU Košice, 1996 ASR TP '96, Zlatá Idka s.102-108.
- Malindžák, D.: Cybernetic approach to dispatching control of production. Transaction of the Faculty of Mining and Geology, b.34 Belegrade, 1995.
- Kostúr, K.: Methods of optimisation parameters of controllers by modeling. Hydraulika i pneumatika, R.XVI, zeszyt 4/96, ISSN 0208-516, pp.44-45.