





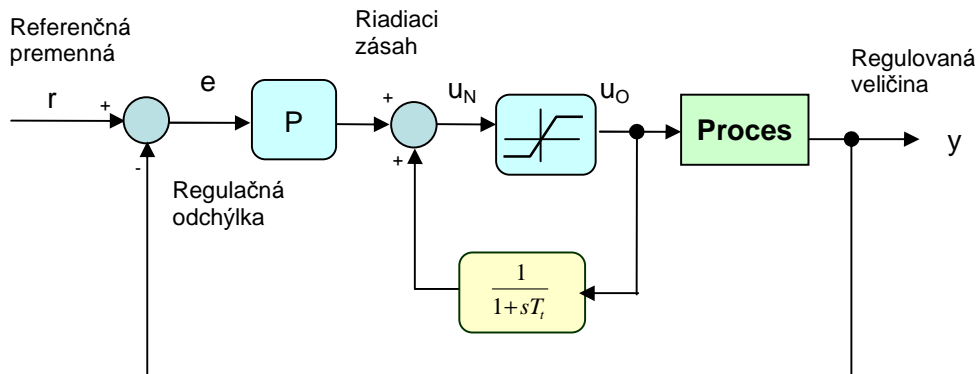




Vzťah (3.3) zohľadňuje kompenzáciu veľkosti riadiaceho zásahu. Ak volíme napr.  $T_f = T_t$  potom riadiaci zásah a jeho odozva predstavuje systém prvého radu s časovou konštantou  $T_t$ .

$$U_N(s) = PE(s) + \frac{1}{1 + T_t s} U_o(s) \quad (3.4)$$

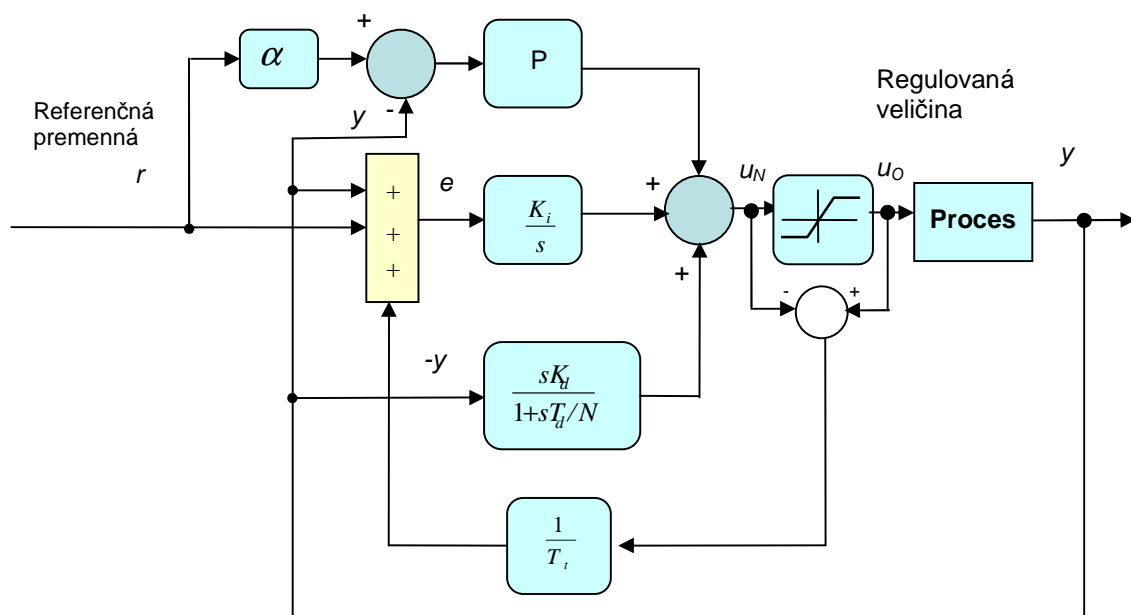
Na obr.3.6 je zobrazená náhradná schéma anti-wind-štruktúry s PI regulátorom



Obr. 3.6 Schéma anti-wind-štruktúry s PI regulátorom

### 3.2 Diskrétné formy regulátorov pri zohľadnení ohraničení.

Podobne ako u spojitych regulátorov aj v diskretných štruktúrach regulácie a diskretných formach PID regulátorov existuje niekoľko základných prístupov riešenia loh riadenia pri rešpektovaní ohraničujúcich podmienok na procesné veličiny. Diskrétna forma anti-wind-up algoritmu je odvodená od základných štruktúr spojitych štruktúr riadenia uvedených v predchádzajúcich častiach seriálu. Uvedieme praktickú a najviac využívanú štruktúru diskretného PID regulátora s anti-wind-up štruktúrou (AWS).



Obr. 3.7 Anti-wind-up-štruktúra s PID regulátorom, sledovaním a filtrom v derivačnej zložke

Spojité forma PID regulátora (podľa Obr.3.7) :

$$U_N(s) = P \left( \alpha R(s) - Y(s) + \frac{1}{sT_i} [R(s) - Y(s)] - \frac{sT_d}{1 + sT_d/N} Y(s) \right)$$

Spojité forma PID regulátora s anti-wind-up rozšírením (posledný člen vo vzťahu (3.5):

$$U_N(s) = P \left( \alpha R(s) - Y(s) + \frac{1}{sT_i} [R(s) - Y(s)] - \frac{sT_d}{1 + sT_d/N} Y(s) \right) + \frac{1}{T_i s} [U_O(s) - U_N(s)] \quad (3.5)$$

Diskrétna forma anti-wind-up algoritmu sa určí zo spojitého opisu diskretizáciou spojitkej formy (pre periódu vzorkovania T) a zo vzťahu (3.5).

Predpokladame, že celkový riadiaci zásah je v tvare paralelnej formy, t.j.

$$u(k) = u_p(k) + u_i(k) + u_d(k)$$

Jednotlivé PID regulátora s (AWČ) členom v integračnej zložke môžu byť potom vyjadrené:

$$u_p(k) = P e(k) = P(\alpha r(k) - y(k)),$$

$$u_i(k) = u_i(k-1) + P \frac{T}{T_i} e(k) + \frac{T}{T_i} (u_o(k) - u_N(k)),$$

$$\frac{T_d}{N} \frac{du_d}{dt} = -u_d - PT_d \frac{dy}{dt} \rightarrow \frac{T_d}{N} \frac{[u_d(k) - u_d(k-1)]}{T} = -u_d(k) - PT_d \frac{[y(k) - y(k-1)]}{T}$$

$$u_d(k) = \frac{T_d}{T_d + TN} u_d(k-1) - \frac{PT_d N}{T_d + TN} [y(k) - y(k-1)] \quad (3,6)$$

Iná vhodná forma výpočtu riadiaceho s AWČ môže byť určená z diskkrétnej všeobecnej formy (Takahashiho vzťah, podrobnejšie druhá časť seriálu)

$$\begin{aligned} u(k) &= u(k-1) + P[e(k) - e(k-1)] + P \frac{T}{T_i} e(k) + P \frac{T_d}{T} [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] = \\ &= u(k-1) + K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] \end{aligned}$$

Ak uvažujeme, že ohraničenie na riadiaci zásah je v tvare:

$$u_M(k) = \begin{cases} u_{max}, & ak \quad u(k) > u_{max} \\ u(k), & ak \quad u_{min}(k) \leq u(k) \leq u_{max} \\ u_{min}, & ak \quad u(k) < u_{min}(k) \end{cases}$$

potom výsledný algoritmus pre riadiaci zásah v rekurentnej forme je:

$$u(k) = u(k-1) + K_p [e(k) - e(k-1)] + K_i e(k) + K_d [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] - \frac{1}{K_p + K_i + K_d} [(K_i - K_d)(u(k-1) - u_M(k-1)) + K_d(u(k-2) - u_M(k-2))] \quad (3.7)$$

Rekurentný vzťah (3.7) predstavuje súčet dvoch častí, pričom prvá časť rovnice opisuje výpočet riadiaceho zásahu bez ohraničenia, kým druhá časť, ktorá sa odčítava od „konvenčného“ rekurentného vzťahu a predstavuje modifikáciu rekurentného algoritmu aj s obmedzením hodnôt riadiaceho zásahu. Bol odvodený v práci [2] a aplikovaný v mnohých praktických priemyselných aplikáciách. Praktická implementácia rekurentného výpočtu riadiaceho zásahu ako aj algoritimizácia výpočtu na mikropočítači je pomerne jednoduchá a predstavuje jeden z najpoužívanejších spôsobov priebežného výpočtu riadiacich zásahov s rešpektovaním ohraničujúcich podmienok na riadenie.

## Záver

Všetky priemyselné procesy majú určité ohraničenia vstupov a výstupov technologických procesov teda aj I/O a porúchových procesných veličín. Týka sa to najmä ohraničení na procesné veličiny (prietoky, tlaky, teploty, napätia, prúdy a pod.) ako aj ohraničenia na energie vstupujúce a výstupujúce z procesov. Z uvedených dôvodov musia byť aj algoritmické a technické realizácie riadiacich zásahov ohraničené (napr. v rozsahu 0-10V alebo 0-20 mA, ventily nemôžu byť viac otvorené ako 100% a menej ako 0% a procesov, pohony musia mať ohraničené rýchlosti, budenia a pod.). Pre dosiahnutie vysokej kvality riadenia aj s rešpektovaním týchto ohraničení musia byť implementované a zabudované anti-win-up algoritmy predovšetkým v diskétnej forme, ktorá umožňuje zabezpečiť kvalitu a stabilitu riadenia, čo bude demonštrované v ďalších príspekoch pre konkrétne aplikácie a priemyselne dodávané regulátory.

Pokračovanie v budúcom čísle

- [1] K. Åström, T. Hägglund, *Advanced PID Control*, ISA, Research Triangle Park, NC, August 2005.  
 [2] Kozák, Š. : *Lineárne číslicové systémy I.* (2. vydanie) FEI STU Bratislava, 1995 (241 s.)