

# 1 Rozvetvené regulačné obvody

Nie všetky problémy riadenia v praxi sa dajú vyriešiť jednoduchými regulačnými obvodmi. Ide o problémy spôsobené výskytom porúch a problémy spôsobené veľkým dopravným oneskorením. Tieto problémy možno riešiť pomocou rozvetvených (viacsľučkových) regulačných obvodov. Takéto obvody okrem základného spätnoväzbového obvodu riadenia obsahujú ešte

- obvod s pomocnou riadenou veličinou
- obvod s doprednou kompenzáciou poruchy
- priamu väzbu
- obvod s kompenzáciou dopravného oneskorenia

## 1.1 Rozvetvený regulačný obvod s pomocou riadenou veličinou – kaskádová regulácia

### 1.1.1 Úloha

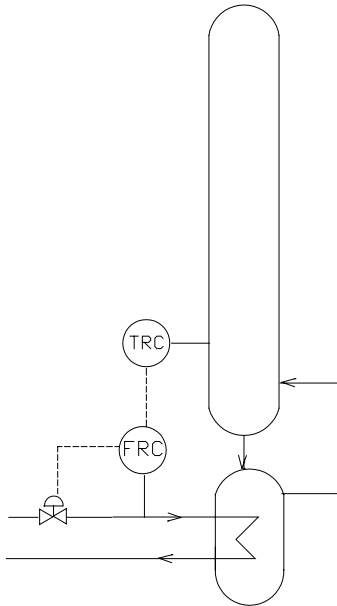
V prevádzke treba riadiť teplotu v rektifikačnej kolóne prietokom ohrevnej pary. Riadenou veličinou je teplota v rektifikačnej kolóne, akčným členom je regulačný ventil.

### 1.1.2 Problém pri použití jednoduchého uzavretého regulačného obvodu

Na riešenie úlohy riadenia teploty v kolóne bol použitý jednoduchý uzavretý regulačný obvod. Regulátor v tomto obvode bol nastavený za predpokladu, že ohrevná para má konštantnú teplotu a tlak pary v prívodnom potrubí je tiež konštantný. Potom určitému pootvoreniu regulačného ventilu odpovedá vždy určitý nemienci sa prietok ohrevnej pary a inému pootvoreniu regulačného ventilu odpovedá iný ale nemienci sa prietok ohrevnej pary. Pri riadení sa však vyskytne porucha. Poruchou v tomto prípade môže byť meniaci sa tlak v prívodnom potrubí ohrevnej pary. Takže pri rovnakom otvorení regulačného ventilu pri nižšom tlaku v potrubí prúdi para do varáka menším prietokom a pri väčšom tlaku väčším prietokom. To znamená, že v prvom prípade sa kolóna ohrieva menej než je potrebné a v druhom prípade zas viac. Ani v jednom prípade sa však riadenie jednoduchým uzavretým regulačným obvodom nebude dobré.

### 1.1.3 Riešenie problému pomocou rozvetveného regulačného obvodu s pomocou riadenou veličinou

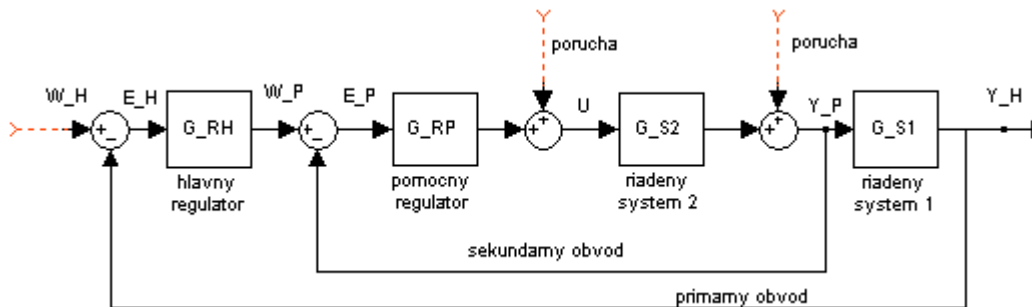
Problém pomôže vyriešiť rozvetvený regulačný obvod s pomocou riadenou veličinou – kaskádová regulácia (obr. 1). Úloha riadenia sa rozdelí na dve časti tým, že sa okrem hlavnej riadenej veličiny určí aj pomocná riadená veličina. Hlavnou riadenou veličinou zostane teplota v kolóne a za pomocnú riadenú veličinu sa zvolí prietok ohrevnej pary. To znamená, že regulačný obvod musí mať dva regulátory. Hlavný regulátor bude riadiť teplotu v kolóne a podľa teploty v kolóne nastaví požadovanú hodnotu prietoku ohrevnej pary. Teda ak napr. meraná teplota v kolóne je nižšia ako žiadaná hodnota, hlavný regulátor zvýši požadovanú hodnotu prietoku ohrevnej pary. Pomocný regulátor bude riadiť prietok ohrevnej pary a jeho úlohou je zabezpečiť také pootvorenie regulačného ventilu, aby sa dosiahol požadovaný prietok. Akčným členom je opäť regulačný ventil.



Obr. 1 Kaskádová regulácia rektifikačnej kolóny

#### 1.1.4 Princíp rozvetveného regulačného obvodu s pomocou riadenuj veličinou – kaskádovej regulácie

V zložitých riadených systémoch alebo v prípade výskytu porúch je ťažké dosiahnuť uspokojivý výsledok riadenia pomocou jednoduchého regulačného obvodu. Jednou z možností ako riešiť problém najmä výskytu nemerateľných porúch je použitie rozvetveného regulačného obvodu s pomocnou riadenou veličinou, ktorého bloková schéma je na obr. 2. Takéto riešenie je možné vtedy, ak sa riadený systém aspoň formálne dá rozdeliť na dve časti. Výstupom z jednej časti riadeného systému s prenosom  $G_{S2}$  je pomocná riadená veličina  $y_P$  a výstupom z ďalšej časti s prenosom  $G_{S1}$  je hlavná riadená veličina  $y_H$ . Hlavná riadená veličina sa porovná s hlavnou žiadanou veličinou  $w_H$  hlavného – primárneho regulačného obvodu a hlavná regulačná odchýlka  $e_H$  je vstupom do hlavného regulátora  $G_{RH}$ . Hlavný regulátor na jej základe generuje pomocnú žiadanú veličinu  $w_P$  pre pomocný – sekundárny regulačný obvod. Pomocná žiadaná veličina  $w_P$  sa porovná s pomocnou riadenou veličinou  $y_P$  a pomocná regulačná odchýlka  $e_P$  je vstupom do pomocného regulátora  $G_{RP}$ , ktorý určuje zmenu akčnej veličiny  $u$ , ktorú treba vykonať na vstupe do riadenej sústavy. Rozdelenie riadenej sústavy na dve časti sa robí tak, aby pomocná riadená veličina rýchlejšie reagovala na zmeny akčnej veličiny než hlavná riadená veličina. Pomocná riadená veličina sa volí tak, aby sekundárny obvod čo najtesnejšie obopínal poruchovú veličinu. Hlavný regulátor býva zvyčajne PI regulátor, pomocný regulátor môže byť P regulátor. Bloková schéma kaskádovej regulácie je na obr. 2.



Obr. 2 Kaskádová regulácia

Výhody kaskádovej regulácie:

- rozdelením riadenej sústavy na dve jednoduchšie sa zjednodušuje problém navrhovania regulátorov (jednoduchšia štruktúra, jednoduchšie nastavenie)
- v prípade použitia len P regulátorov sa dosiahne menšia trvalá regulačná odchýlka
- odozva regulačného procesu sa urýchli
- zvýši sa stabilita regulačného procesu
- poruchové veličiny, ktoré pôsobia na vstupe do prvej časti riadeného systému, sa vyregulujú už pomocným regulátorom a ich vplyv na hlavnú riadenú veličinu sa redukuje
- poruchové veličiny môžu byť nemerateľné
- obmedzuje sa pôsobenie nelinearit v sekundárnom obvode
- regulácia sa môže uvádzať do prevádzky smerom zvnútra von. Redukujú sa tým riziká vyvolané chybnými zapojeniami.

### 1.1.5 Ďalší príklad použitia kaskádovej regulácie

Kaskádová regulácia sa používa aj pri riadení chemických reaktorov. Úlohou je riadiť teplotu reakčnej zmesi v exotermickom reaktore prietokom chladiaceho média. Akčným členom je regulačný ventil. Poruchou, ktorá nepriaznivo ovplyvňuje priebeh riadenia pomocou jednoduchého uzavretého regulačného obvodu, môže byť meniac sa teplota chladiaceho média. Je zrejme, že ak teplota chladiaceho média poklesne, tak pri nemeniacej sa polohe regulačného ventilu je reaktor chladený viac a ak teplota chladiaceho média stúpne, tak je reaktor chladený menej. Nepriaznivú situáciu pomôže vyriešiť kaskádová regulácia. Hlavnou riadenou veličinou zostáva teplota reakčnej zmesi v reaktore a za pomocnú riadenú veličinu sa zvolí teplota v plášti reaktora. Hlavný regulátor zabezpečuje dosiahnutie žiadanej hodnoty teploty reakčnej zmesi v reaktore a generuje žiadanú hodnotu pre teplotu v plášti reaktora. Pomocný regulátor zabezpečuje zmenu polohy regulačného ventilu tak, aby sa v plášti reaktora zabezpečila žiadaná teplota. Je zrejme, že pri poklese teploty chladiaceho média pomocný regulátor zabezpečí takú zmenu polohy regulačného ventilu, aby bol prietok chladiaceho média menší a pri zvýšení teploty chladiaceho média zas väčší.

## 1.2 Rozvetvený regulačný obvod s doprednou kompenzáciou poruchových veličín

### 1.2.1 Úloha

V prevádzke treba riadiť teplotu prúdu ohrievanej kvapaliny na výstupe z výmenníka tepla, riadiacou veličinou je prietok ohrevnej pary a akčným členom je regulačný ventil.

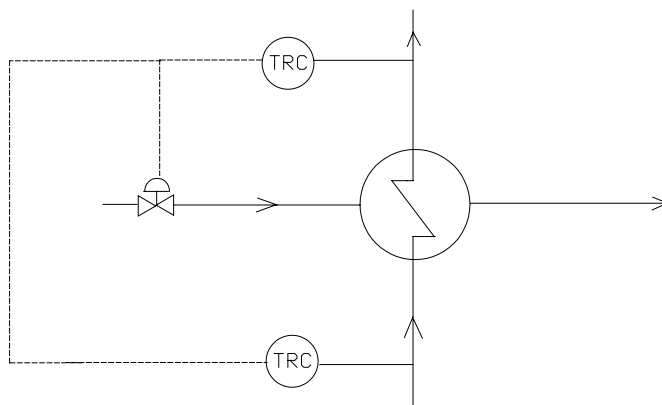
### 1.2.2 Problém pri použití jednoduchého uzavretého regulačného obvodu

Na riešenie úlohy riadenia teploty prúdu ohrievanej kvapaliny na výstupe z výmenníka tepla bol použitý jednoduchý uzavretý regulačný obvod. Regulátor v tomto obvode bol

nastavený za predpokladu, že ohrevná para má konštantnú teplotu, tlak pary v prívodnom potrubí je tiež konštantný a teplota prúdu ohrievanej kvapaliny na vstupe do výmenníka tepla je konštantná. Potom určitému pootvoreniu regulačného ventilu odpovedá vždy určitý nemienci sa prietok ohrevnej pary a tomu určitá teplota prúdu ohrievanej kvapaliny na výstupe z výmenníka tepla. Inému pootvoreniu regulačného ventilu odpovedá iný ale nemienci sa prietok ohrevnej pary a iná teplota prúdu ohrievanej kvapaliny na výstupe z výmenníka tepla. Pri riadení sa však vyskytne porucha. Poruchou v tomto prípade môže byť meniaci sa teplota prúdu ohrievanej kvapaliny na vstupe do výmenníka tepla. Takže pri rovnakom otvorení regulačného ventilu a rovnakom prietoku ohrevnej pary sa pri nižšej teplote prúdu ohrievanej kvapaliny na vstupe do výmenníka tepla dosiahne aj nižšia teplota prúdu ohrievanej kvapaliny na výstupe z výmenníka tepla a pri vyššej teplote prúdu ohrievanej kvapaliny na vstupe do výmenníka tepla dosiahne aj vyššia teplota prúdu ohrievanej kvapaliny na výstupe z výmenníka tepla. To znamená, že v prvom prípade ohrievaná kvapalina ohrieva menej než je potrebné a v druhom prípade zas viac. Ani v jednom prípade sa však riadenie jednoduchým uzavretým regulačným obvodom nebude dobré.

### *1.2.3 Riešenie problému pomocou rozvetveného regulačného obvodu s doprednou kompenzáciou poruchových veličín*

Vzhľadom na to, že porucha, ktorú predstavuje meniaci sa teplota ohrievanej kvapaliny na vstupe do výmenníka tepla, je merateľná porucha, problém pomôže vyriešiť rozvetvený regulačný obvod s doprednou kompenzáciou poruchy (obr. 3). Úloha riadenia sa rozdelí na dve časti tým, že sa použijú dva typy regulátorov. Spätnoväzbový regulátor bude zabezpečovať dosiahnutie žiadanej hodnoty teploty ohrievanej kvapaliny na výstupe z výmenníka tepla. Tento regulátor pracuje tak, že ak je teplota na výstupe z výmenníka napr. nižšia ako požadovaná hodnota, tak regulátor zabezpečí zvýšenie prietoku ohrevnej pary. Ale ak sa medzitým zvýši aj teplota vstupného prúdu ohrievanej kvapaliny do výmenníka, čo predstavuje merateľnú poruchu, tak prietok ohrevnej pary určený spätnoväzbovým regulátorom je zbytočne veľký a došlo by k prehriatiu výstupného prúdu ohrievanej kvapaliny. Preto do obvodu pridáme ešte dopredný regulátor, ktorý bude korigovať zásah spätnoväzbového regulátora podľa veľkosti odmeranej poruchy. To znamená, že ak sa meraním zistí, že teplota ohrievanej kvapaliny na vstupe do výmenníka tepla stúpila, znamená to, že treba zmenšiť akčný zásah spätnoväzbového regulátora a veľkosť tohto zmenšenia určí dopredný regulátor. Prietok ohrevnej pary po zásahu dopredného regulátora bude nižší, než prietok určený samotným spätnoväzbovým regulátorom. Riadiaca veličina je teda rozdielom výstupu zo spätnoväzbového regulátora a výstupu z dopredného regulátora. Akčným členom je regulačný ventil.



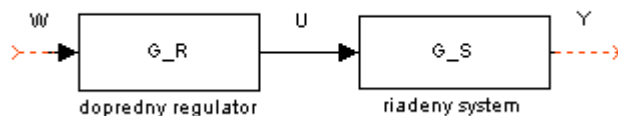
Obr. 3 Spätnoväzbové riadenie výmenníka tepla s doprednou kompenzáciou poruchy

#### 1.2.4 Princíp rozvetveného regulačného obvodu s doprednou kompenzáciou poruchových veličín

Odstránenie pôsobenia poruchových veličín jednoduchým regulačným obvodom je nevýhodné v tom, že regulátor môže zasiahnuť až vtedy, keď sa objaví regulačná odchýlka. Kvôli dopravným oneskoreniam riadených sústav sa teda poruchy kompenzujú oneskorene. Ak však poruchovú veličinu môžeme merať, môžeme túto informáciu využiť na kompenzáciu poruchy pomocou rozvetveného regulačného obvodu s doprednou kompenzáciou poruchových veličín. Kvôli vysvetleniu pojmu dopredná kompenzácia poruchy bude najprv objasnený pojem dopredné (priamoväzbové) riadenie.

Pri doprednom riadení vstupom do regulátora nie je regulačná odchýlka, a teda nevyhodnocuje sa rozdiel medzi žiadanou hodnotou a meranou hodnotou riadenej veličiny. Regulátor má informáciu o žiadanej veličine a niektorej zo vstupných veličín riadeného systému a podľa nejakého algoritmu určuje a nastavuje inú vstupnú veličinu riadeného systému.

Zjednodušená bloková schéma dopredného riadenia pre systém bez porúch je na obr. 4.



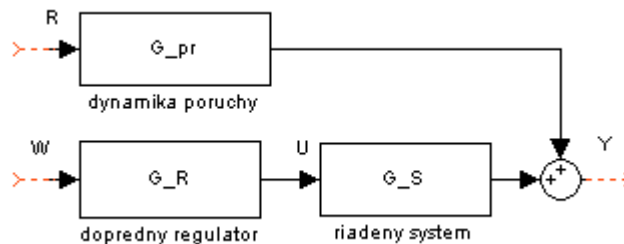
Obr. 4 Dopredné riadenie systému bez poruchy

Pre obraz riadenej veličiny platí

$$Y(s) = G_R G_S W(s)$$

Aby bol zabezpečený cieľ riadenia  $Y(s) = W(s)$ , musí platiť  $G_R G_S = 1$ , a teda dopredný regulátor možno určiť zo vzťahu  $G_R = 1/G_S$ .

Zjednodušená bloková schéma dopredného riadenia pre systém s poruchou je na obr. 5.



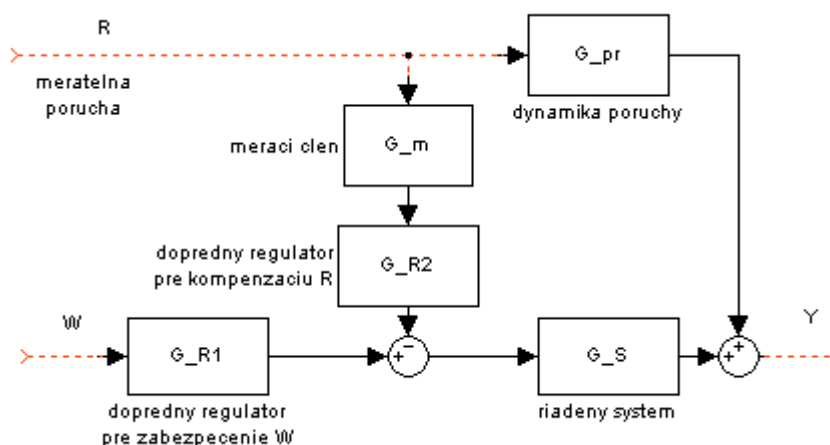
Obr. 5 Dopredné riadenie systému s poruchou

Pre obraz riadenej veličiny platí

$$Y(s) = G_S G_R W(s) + G_{pr} R(s)$$

a v tomto prípade dopredný regulátor nezabezpečí aby  $Y(s) = W(s)$ , pretože nemôže odstrániť nenulový člen  $G_{pr} R(s)$ .

V prípade, že porucha je merateľná, dá sa kompenzovať dopredným regulátorom tak, ako je to znázornené na obr. 6.



Obr. 6 Dopredné riadenie s kompenzáciou poruchy

Pre obraz riadenej veličiny platí

$$Y(s) = G_S G_{R1} W(s) - G_S G_{R2} G_m R(s) + G_{pr} R(s)$$

Aby regulátor  $G_{R2}$  vykompenzoval poruchu, musí platiť

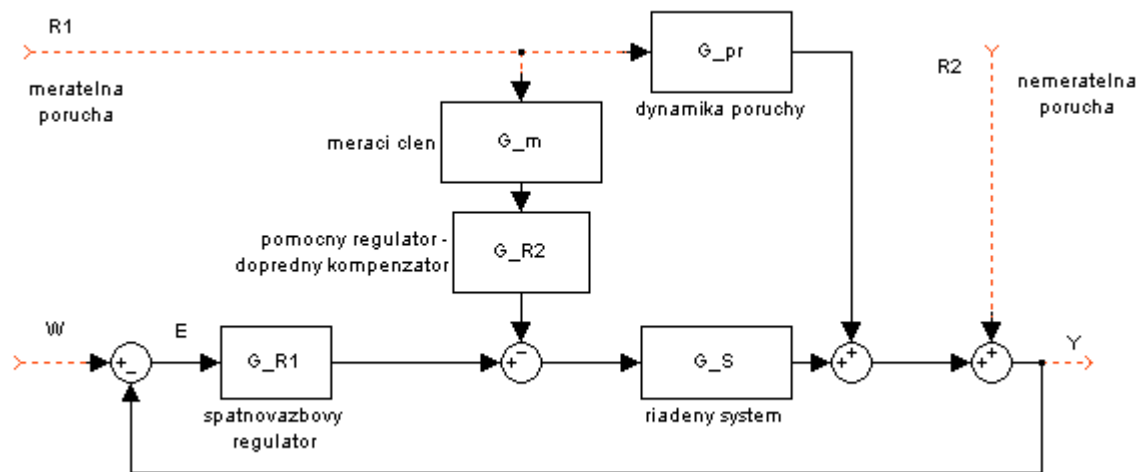
$$- G_S G_{R2} G_m R(s) + G_{pr} R(s) = 0$$

$$\text{A teda } G_{R2} = \frac{G_{pr}}{G_S G_m}$$

Aby regulátor  $G_{R1}$  zabezpečil  $Y(s) = W(s)$ , musí platiť  $G_R G_S = 1$ , a teda regulátor možno určiť zo vzťahu  $G_{R1} = 1/G_S$ .

V prípade, že na riadený systém pôsobia aj merateľné aj nemerateľné poruchy, možno na riadenie použiť rozvetvený regulačný obvod s doprednou kompenzáciou poruchovej veličiny tak, ako je to znázornené na obr. 7. Signál, ktorý odpovedá veľkosti merateľných porúch sa vedie do pomocného – dopredného regulátora. Dopredný regulátor kompenzuje merateľné poruchy a spätnoväzbový regulátor kompenzuje ostatné poruchy. Kompenzácia poruchy je

veľmi účinná, ak je oneskorenie medzi výstupom regulátora a miestom kompenzácie poruchovej veličiny v porovnaní s celkovým oneskorením sústavy malé. Stabilita regulačného obvodu nie je kompenzáciou poruchových veličín ovplyvnená.



Obr. 7 Spätnoväzbové riadenie s doprednou kompenzáciou poruchy

### 1.2.5 Ďalší príklad použitia doprednej kompenzácie poruchy

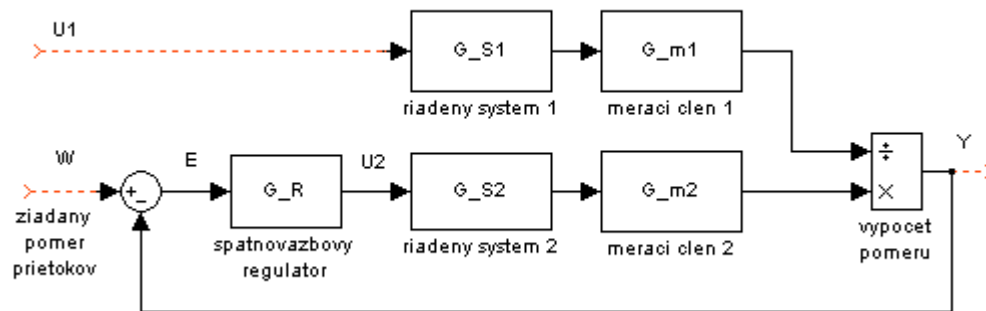
Dopredná kompenzácia poruchy sa používa aj pri riadení chemických reaktorov. Úlohou je riadiť teplotu reakčnej zmesi v exotermickom reaktore prietokom chladiaceho média. Akčným členom je regulačný ventil. Poruchou, ktorá nepriaznivo ovplyvňuje priebeh riadenia pomocou jednoduchého uzavretého regulačného obvodu, môže byť meniac sa teplota vstupného prúdu reakčnej zmesi. Potom ak teplota vstupného prúdu reakčnej zmesi poklesne, tak pri nemeniacej sa polohe regulačného ventilu teplota reakčnej zmesi vo vnútri reaktora poklesne a ak teplota vstupného prúdu reakčnej zmesi stúpne, tak teplota reakčnej zmesi vo vnútri reaktora stúpne. Nepriaznivú situáciu pomôže vyriešiť rozvetvený regulačný obvod s doprednou kompenzáciou poruchy. Hlavnou riadenou veličinou zostáva teplota reakčnej zmesi v reaktore a za merateľnú poruchu, ktorú treba kompenzovať sa považuje teplota vstupného prúdu reakčnej zmesi. Spätnoväzbový regulátor bude zabezpečovať dosiahnutie žiadanej hodnoty teploty reakčnej zmesi v reaktore. Tento regulátor pracuje tak, že ak je teplota reakčnej zmesi v reaktore napr. vyššia ako požadovaná hodnota, tak regulátor zabezpečí zvýšenie prietoku chladiaceho média. Ale ak sa medzitým zníži teplota vstupného prúdu reakčnej zmesi, čo predstavuje merateľnú poruchu, tak prietok chladiaceho média určený spätnoväzbovým regulátorom je zbytočne veľký a došlo by k podchladeniu reakčnej zmesi v reaktore. Preto sa do obvodu pridá ešte dopredný regulátor, ktorý bude korigovať zásah spätnoväzbového regulátora podľa veľkosti odmeranej poruchy. To znamená, že ak sa meraním zistí, že teplota vstupného prúdu reakčnej zmesi klesla, treba zmenšiť akčný zásah spätnoväzbového regulátora a veľkosť tohto zmenšenia určí dopredný regulátor. Prietok chladiaceho média po zásahu dopredného regulátora bude nižší, než prietok určený samotným spätnoväzbovým regulátorom. Riadiaca veličina je teda rozdielom výstupu zo spätnoväzbového regulátora a výstupu z dopredného regulátora.

## 1.3 Rozvetvený regulačný obvod pre pomerovú reguláciu

Pri niektorých technických úlohách vzniká požiadavka udržiavať konštantný pomer dvoch veličín, napr. pomer prietokov.

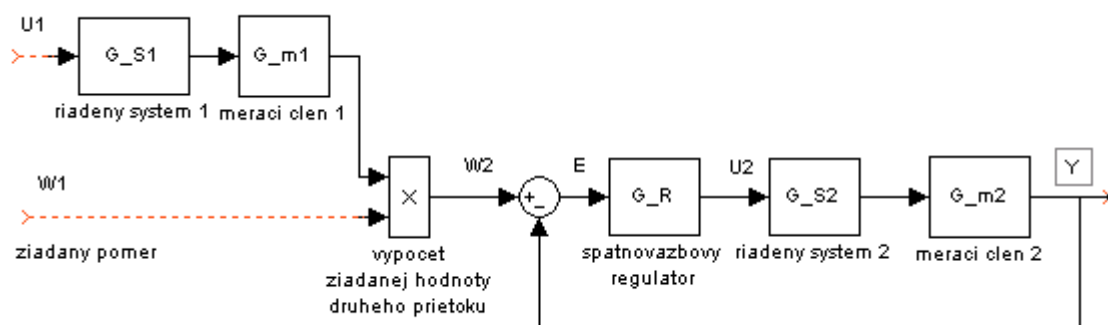
Regulačný obvod pre regulácia pomeru prietokov je zvláštny typ rozvetveného regulačného obvodu, ktorý sa skladá zo spätnoväzbového obvodu riadenia a jednej vetvy bez spätnej väzby - priamej väzby. Používa sa v prípadoch, keď treba udržiavať konštantný alebo premenný pomer prietokov dvoch prúdov.

Bloková schéma pomerovej regulácie je na obr. 8. Z obrázka je zrejmé, že spätnoväzbovo riadený je prietok len jedného prúdu. Pri regulácii sa najprv odmerajú prietoky oboch prúdov, vypočíta sa pomer prietokov a ten sa porovná so žiadanou hodnotou pomeru. Regulačná odchýlka je vstupom do regulátora, ktorý určí, ako treba zmeniť prietok jedného z prúdov.



Obr. 8 Pomerová regulácia 1

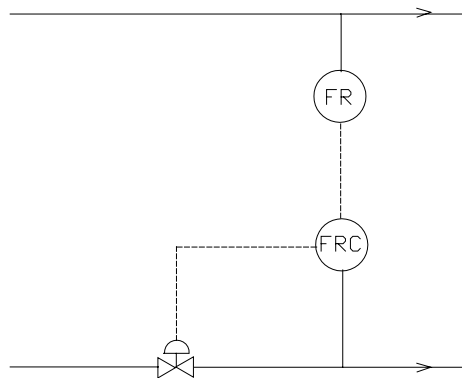
Inú možnosť realizácie pomerovej regulácie predstavuje obr. 9. Z obrázka je zrejmé, že spätnoväzbovo riadený je opäť prietok len jedného prúdu. Pri regulácii sa najprv odmeria prietok jedného prúdu, vynásobí sa požadovanou hodnotou pomeru prietokov a tým sa získa žiadaná hodnota prietoku druhého prúdu. Žiadaná hodnota prietoku druhého prúdu sa porovná s meranou hodnotou prietoku druhého prúdu. Regulačná odchýlka je vstupom do regulátora, ktorý určí, ako treba zmeniť prietok druhého prúdu.



Obr. 9 Pomerová regulácia 2

Ako príklad možno uviesť reguláciu pomeru prietokov pri vytváraní zmesi plyn – vzduch s optimálnym zložením, ktorá sa využíva v spaľovacích procesoch. Príkladom pomerovej regulácie je aj riadenie refluxného pomeru v rektifikačnej kolóne. Rozvetvený regulačný obvod pre reguláciu pomerov prietokov môže byť v technologickej schéme znázornený tak, ako je to na obr. 10.





Obr. 10 Regulácia pomeru prietokov

## 1.4 Rozvetvený regulačný obvod pre kompenzáciu dopravného oneskorenia

### 1.4.1 Úloha

V prevádzke treba riadiť rúrkový súprudový výmenník tepla. Riadenou veličinou vo výmenníku je teplota výstupného prúdu ohrievanej kvapaliny, riadiacou veličinou je prietok vstupného prúdu ohrevnej pary, akčným členom je regulačný ventil.

### 1.4.2 Problém pri použití jednoduchého uzavretého regulačného obvodu

Problém, ktorý vzniká pri použití jednoduchého uzavretého regulačného obvodu je nasledovný. Rúrkový výmenník tepla má dopravné oneskorenie napr. 15min. Teplota výstupného prúdu ohrievanej kvapaliny je napr. nižšia než žiadaná hodnota. Regulátor po zistení regulačnej odchýlky ako rozdielu žiadanej hodnoty a meranej hodnoty na výstupe z výmenníka vydá pokyn na pootvorenie regulačného ventilu. Teplota výstupného prúdu sa začne zvyšovať a napr. po 20 minútach dosiahne žiadanú hodnotu. Táto žiadaná hodnota však bola výsledkom pootvorenia regulačného ventilu, ku ktorému došlo pred 15 minútami. To znamená, že celých 15 minút bol regulačný ventil otvorený viac ako treba a konečný dôsledok tejto situácie je, že dôjde k výraznému prehriatiu výstupného prúdu ohrievanej kvapaliny.

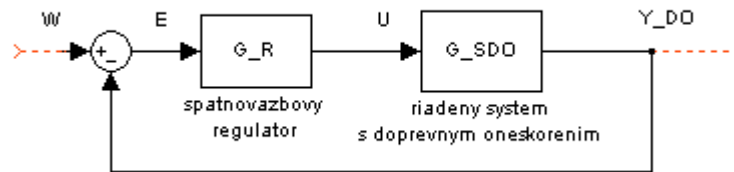
### 1.4.3 Riešenie problému pomocou rozvetveného regulačného obvodu s kompenzáciou dopravného oneskorenia

Problém pomôže vyriešiť rozvetvený regulačný obvod s kompenzáciou dopravného oneskorenia, kde sa regulačná odchýlka určí ako rozdiel žiadanej hodnoty a hodnoty získanej na výstupe z modelu výmenníka bez dopravného oneskorenia, a teda regulačný ventil nebude otvorený zbytočne dlho.

### 1.4.4 Princíp rozvetveného regulačného obvodu s kompenzáciou dopravného oneskorenia

Dopravné oneskorenie je charakteristické pre veľký počet chemických procesov. Môže byť spôsobené napr. rozmermi zariadenia, dlhou periódou údajov analyzátorov, oneskorením akčných členov.

Regulácia systémov s dopravným oneskorením jednoduchým regulačným obvodom sa zhoršuje tým, že účinok akčných veličín sa prejaví až po uplynutí času dopravného oneskorenia. Veľké dopravné oneskorenie môže spôsobiť až nestabilitu regulačného obvodu.



Obr. 11 Riadenie systému s dopravným oneskorením jednoduchým spätnoväzbovým obvodom riadenia

Pri riadení systému s dopravným oneskorením jednoduchým spätnoväzbovým obvodom riadenia (obr. 11) vzniká nasledovný problém.

$$\text{Nech } G_{S,DO} = G_S e^{-Ds} = \frac{Y(s)}{U(s)}$$

$$\text{Potom } Y(s) = G_S e^{-Ds} U(s) = G_S U(s) e^{-Ds}$$

Spätná Laplaceova transformácia  $Y(s)$  vedie na  $y(t)$  a spätná Laplaceova transformácia výrazu  $U(s)e^{-Ds}$  vedie na  $u(t-D)$ . To znamená, že výstup zo systému s dopravným oneskorením v čase  $t$  je odozvou na vstup, ktorý regulátor vygeneroval a bol do systému privedený v čase  $t-D$ . Nech dopravné oneskorenie  $D$  je napr. 15min. Výstup v čase  $t = 20$ min je odozvou na vstup, ktorý vygeneroval regulátor a bol do systému privedený už v čase 5min. Pre obraz regulačnej odchýlky to znamená

$$E(s) = W(s) - Y_{DO}(s) = W(s) - G_S U(s) e^{-DS}$$

a pre regulačnú odchýlku v časovej oblasti platí

$$e(t) = w(t) - \text{odozva na vstup generovaný v čase } t-D$$

Práve uvedený vzťah predstavuje problém, ktorý treba riešiť tak, aby platilo

$e(t) = w(t) - \text{odozva na vstup generovaný v čase } t$ , čiže aby pre obraz regulačnej odchýlky platilo

$$E(s) = W(s) - G_S U(s).$$

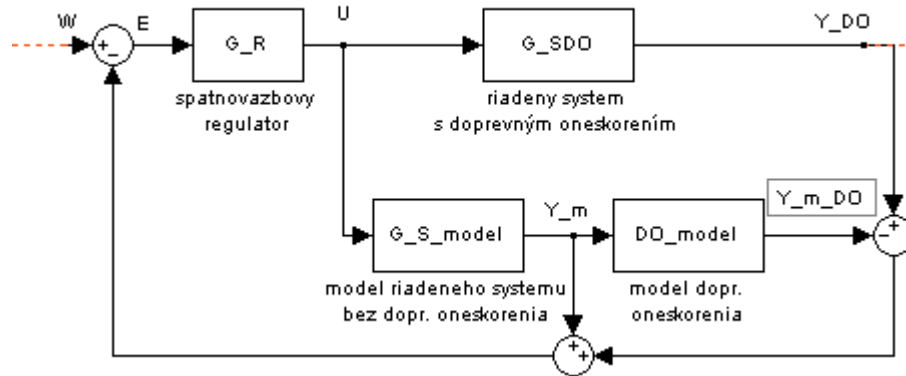
Situáciu, a teda kompenzáciu dopravného oneskorenia umožňuje riešiť špeciálne zapojenie spätnoväzbového obvodu riadenia, tzv. Smithov prediktor, čiže rozvetvený regulačný obvod, ktorého bloková schéma obr.12. Smithov prediktor je založený na poznaní čo najpresnejšieho matematického modelu riadeného procesu, ktorý sa skladá z modelu procesu bez dopravného oneskorenia a modelu dopravného oneskorenia. Čím presnejší matematický model je k dispozícii, tým lepšie je dopravné oneskorenie kompenzované. Takýto model sa dá získať napr. Strejcovou metódou identifikácie, kde identifikovaný model má tvar

$$G_{S,DO,model} = \frac{Z}{(Ts + 1)^n} e^{-Ds} = G_{S,model} \cdot DO_{model}$$

kde

$$G_{S,model} = \frac{Z}{(Ts + 1)^n}$$

$$DO_{model} = e^{-Ds}$$



Obr. 12 Smithov prediktor

Pre regulačnú odchýlku (obr.12) platí

$$E(s) = W(s) - Y_m(s) + Y_{m,DO} - Y_{DO}$$

Ak je model systému bez dopravného oneskorenia  $G_{S,model}$  a model dopravného oneskorenia  $DO_{model}$  presný, tak

$$Y_{m,DO} = Y_{DO}$$

a

$$E(s) = W(s) - Y_m(s)$$

$$E(s) = W(s) - G_{S,model}U(s).$$

čo v časovej oblasti znamená, že

$$e(t) = w(t) - \text{odozva na vstup generovaný v čase } t$$

a to je výsledok, ktorý sa Smithovým prediktorom chcel dosiahnuť. Jediný nedostatok riešenia je ten, že v regulačnej odchýlke, ktorá je vstupom do regulátora vystupuje odozva na vstup generovaný v čase  $t$  nie do reálneho procesu ale do modelu. Čiže opäť je zřejmé, že kompenzácia dopravného oneskorenia je tým lepšia, čím presnejší model riadeného procesu je k dispozícii.

Dopravné oneskorenie treba kompenzovať vždy keď sa jeho hodnota blíži k hodnote časovej konštanty alebo dopravné oneskorenie je dokonca väčšie než časová konštanta riadeného systému.

#### 1.4.5 Ďalší príklad použitia kompenzácie dopravného oneskorenia

Rozvetvený regulačný obvod s kompenzáciou dopravného oneskorenia treba použiť i pri riadení etážových rektifikačných kolón, a to napr. pri riadení teploty na hlavne kolóny prietokom ohrevnej pary do varáka. Je zřejmé, že pri takejto konfigurácii riadenia, dopravné oneskorenie v kolónach, ktoré v prevádzkach majú aj niekoľko desiatok etáží, je veľké. Bez

kompenzácie dopravného oneskorenia dochádza k veľkému preregulovaniu teploty na hlave kolóny alebo až k nestabilite jednoduchého uzavretého regulačného obvodu.