

Základy automatického riadenia

Prednáška 5

doc. Ing. Anna Jadlovská, PhD.,
doc. Ing. Ján Jadlovský, CSc.

Katedra kybernetiky a umelej inteligencie
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Technická univerzita v Košiciach

ZS 2015/2016

Architektúra a analýza regulačného obvodu, princíp spätnej väzby, štandardné prenosy

Pojem riadenia a jeho formy

Riadenie je každé cieľavedomé pôsobenie na riadený objekt, s cieľom dosiahnuť vopred predpísané správanie. Pokiaľ takéto riadenie prebieha automaticky, hovoríme o automatickom riadení.

Automatické riadenie sa v technickej praxi vyskytuje v dvoch hlavných formách:

- sekvenčné riadenie
- riadenie dynamických systémov

Architektúra a analýza regulačného obvodu, princíp spätnej väzby, štandardné prenosy

Sekvenčné riadenie

Sekvenčné riadenie nastáva vtedy, ak riadený systém prechádza postupne z jedného stavu do druhého.

K prechodu dochádza vtedy, ak sú splnené určité podmienky.

Typickým príkladom je štart alebo ukončenie nejakého technologického procesu.



Architektúra a analýza regulačného obvodu, princíp spätnej väzby, štandardné prenosy

Riadenie dynamických systémov

Cieľom pri **riadení dynamických systémov** je, aby výstupná (regulovaná) veličina $y(t)$ čo najpresnejšie sledovala časový priebeh riadiacej (žadanej, vstupnej) veličiny $w(t)$, a to bez ohľadu na signálové a parametrické poruchy, ktoré na riadený systém môžu pôsobiť.

Regulátor, ktorý generuje akčný zásah $u(t)$, musí teda plniť dve úlohy:

- zaistiť verné sledovanie riadiacej veličiny $w(t)$
- kompenzovať poruchy $z(t)$, ktoré môžu na riadený systém pôsobiť tak, aby sa ich vplyv na regulovanej veličine $y(t)$ prejavil v čo najmenšej miere

Architektúra a analýza regulačného obvodu, princíp spätnej väzby, štandardné prenosy

Delenie riadenia podľa niekoľkých hľadísk

Podľa počtu vstupov a výstupov:

- s jedným vstupom a jedným výstupom (SISO - single input single output)
- s jedným vstupom a viacerými výstupmi (SIMO - single input multi output)
- s viacerými vstupmi a viacerými výstupmi (MIMO - multi input multi output)

Podľa typu riadeného systému:

- *riadenie lineárnych systémov* (obsahová náplň predmetu ZAR) - nakoľko v praxi sú všetky systémy nelineárne, je nutné pre návrh algoritmov riadenia nelineárny dynamický systém **linearizovať**,
- *riadenie nelineárnych systémov* - tvorí obsahovú náplň predmetu „Optimálne riadenie hybridných systémov“ - ORHS

Pre lineárne systémy platia dve vety o **linearite**, a to: násobenie konštantou a princíp superpozície

Architektúra a analýza regulačného obvodu, princíp spätnej väzby, štandardné prenosy

Delenie riadenia podľa niekoľkých hľadísk (2)

Podľa spôsobu riadenia v čase:

- *spojité riadenie* - využíva sa princíp operačných zosilňovačov,
- *diskrétné riadenie* - k zmene akčného zásahu $u(t)$ dochádza iba v diskrétnych okamihoch (počítačové riadenie – algoritmus riadenia je implementovaný v počítači)

Podľa časového priebehu riadiacej veličiny $w(t)$:

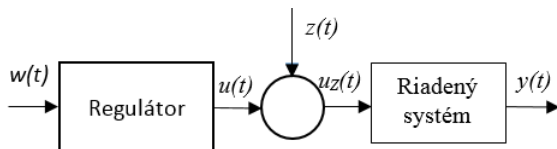
- *riadenie na konštantnú hodnotu* – napr. riadenie výšky hladiny vody v laboratórnom modeli hydraulického systému (V142),
- *programové riadenie* – riadiaca veličina $w(t)$ má dopredu známy priebeh v čase

Podľa typu riadenia:

- priame riadenie (ovládanie) - bez spätnej väzby
- **spätnoväzobné riadenie (regulácia) - so spätou väzbou**

Architektúra a analýza regulačného obvodu, princíp spätnej väzby, štandardné prenosy

Riadenie bez spätnej väzby - ovládanie



Popis signálov:

$w(t)$ - riadiaca veličina
(vstup do regulátora)

$u(t)$ - akčná veličina
(výstup regulátora)

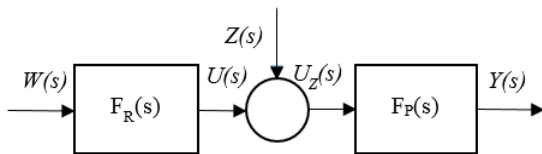
$z(t)$ - porucha na vstupe
riadeného systému

$u_z(t) = u(t) + z(t)$ - vstup do riadeného systému ($u_z(t)$ – výstup z regulátora s nasuperponovaným poruchovým signálom $z(t)$)

$y(t)$ - regulovaná veličina (výstup riadeného systému)

Architektúra a analýza regulačného obvodu, princíp spätnej väzby, štandardné prenosy

Riadenie bez spätnej väzby - ovládanie



Popis signálov:

$W(s)$ - LO riadiacej veličiny
(vstup do regulátora)

$U(s)$ - LO akčnej veličiny
(výstup regulátora)

$Z(s)$ - LO poruchy na vstupe
riadeného systému

LO - Laplaecov obraz

$U_Z(s) = U(s) + Z(s)$ - LO vstupu do
riadeného systému ($U_Z(s)$ - výstup
z regulátora s nasuperponovaným LO
poruchového signálu $Z(s)$)

$Y(s)$ - LO regulovanej veličina (vý-
stup riadeného systému)

Architektúra a analýza regulačného obvodu, princíp spätnej väzby, štandardné prenosy

Riadenie bez spätnej väzby – popis ovládania

Bez znalosti skutočnej hodnoty výstupu má ovládanie nasledujúce nevýhody:

- nie je možné kompenzovať vplyv poruchového signálu $z(t)$
- nie je možné zaistiť správne sledovanie riadiacej veličiny v prípade zmeny parametrov riadeného systému

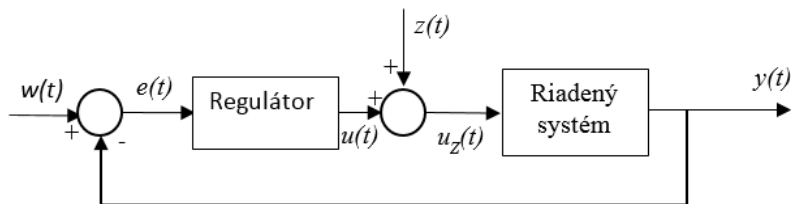
V prípade presnej znalosti parametrov systému vieme dopredu vypočítať akčný zásah tak, aby bolo výsledné riadenie optimálne podľa zvoleného kritéria - obsah predmetu ORHS

Príklady využitia ovládania:

- ovládanie križovatky
- riešenie úloh v robotike (priama/inverzná úloha v robotike)

Architektúra a analýza regulačného obvodu, princíp spätnej väzby, štandardné prenosy

Riadiaca štruktúra pre spätoväzobné riadenie



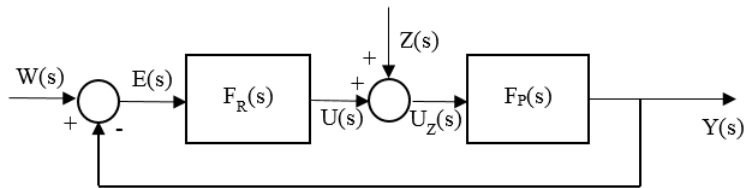
Význam jednotlivých veličín je rovnaký ako v prípade ovládania, avšak v spätoväzobnej riadiacej štruktúre sa vyskytuje regulačná odchýlka $e(t)$. Regulačná odchýlka je definovaná ako rozdiel medzi hodnotou riadiacej veličiny $w(t)$ a hodnotou výstupnej regulovanej veličiny $y(t)$:

$$e(t) = w(t) - y(t) \quad (1)$$

Vstupom do uzavretého regulačného obvodu je riadiaca veličina $w(t)$ a porucha $z(t)$

Architektúra a analýza regulačného obvodu, princíp spätnej väzby, štandardné prenosy

Riadiaca štruktúra pre spätoväzobné riadenie (2 - LT)



Význam jednotlivých veličín je rovnaký ako v prípade ovládania (2 - LT), avšak v spätoväzovnej riadiacej štruktúre sa vyskytuje LO regulačnej odchýlky $E(s)$.

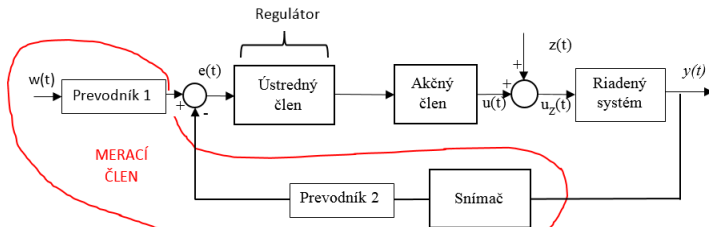
Regulačná odchýlka $E(s)$ je definovaná ako rozdiel medzi LO riadiacej veličiny $W(s)$ a LO regulovanej veličiny $Y(s)$:

$$E(s) = W(s) - Y(s) \quad (2)$$

Architektúra a analýza regulačného obvodu, princíp spätnej väzby, štandardné prenosy

Popis riadiacej štruktúry pre spätnoväzobné riadenie

Riadiaca štruktúra spätnoväzobného regulačného obvodu umožňuje kompenzovať vplyv porúch $z(t)$ (STABILIZÁCIA) a zmenu riadiacej veličiny $w(t)$ (ÚLOHA SLEDOVANIA).

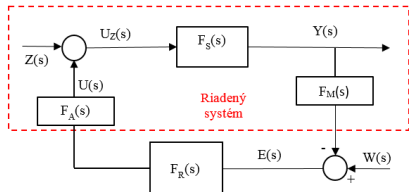
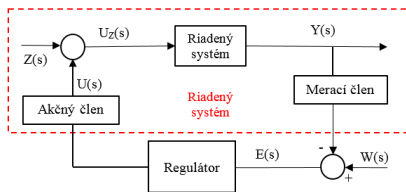


Prevodník 1, Prevodník 2 predstavujú prevodníky, ktoré upravujú hodnoty riadiacej veličiny $w(t)$ a regulovanej veličiny $y(t)$ na rovnakú fyzikálnu veličinu.

Architektúra a analýza regulačného obvodu, princíp spätnej väzby, štandardné prenosy

Popis riadiacej štruktúry pre spätňoväzobné riadenie

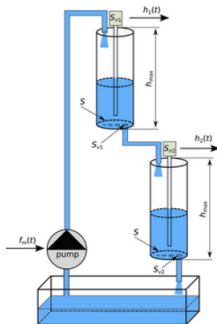
V nasledujúcom uvažujeme zjednodušenú verziu uzavretého regulačného obvodu, pri ktorej riadený systém $F_P(s)$ zahŕňa riadený systém $F_S(s)$, akčný $F_A(s)$ a merací člen $F_M(s)$



teda:

$$F_P(s) = F_A(s)F_S(s)F_M(s) \quad (3)$$

Príklad na riadenie výšky hladiny v hydraulickom systéme – laboratórny model Hydraulického systému (V142a)

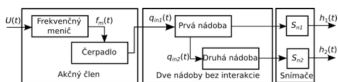


FYZIKÁLNE PARAMETRE:

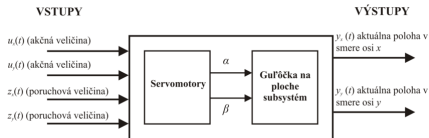
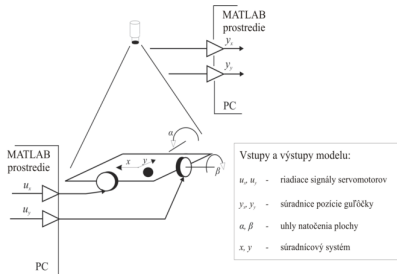
- S - prierez nádob,
- S_{v1}, S_{v2} - prierez výstupných ventilov oboch nádob,
- h_{max} - maximálna výška hladiny.

FYZIKÁLNE VELIČINY:

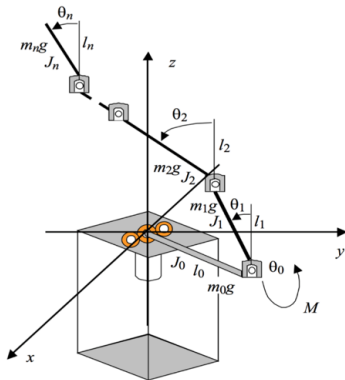
- $f_m(t)$ - frekvencia motora čerpadla,
- $h_1(t), h_2(t)$ - výška hladiny kvapaliny v nádobách meraná kapacitnými snímačmi S_{v1} a S_{v2} .



Príklad na riadenie guľičky na stred plochy – laboratórny model Guľička na ploche (V142a)

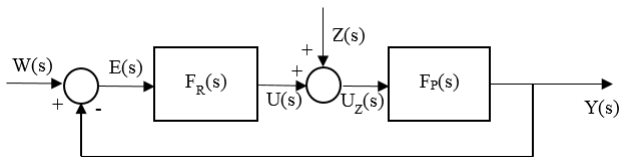


Príklad na riadenie polohy ramena a výchylky kyvadla – laboratórny model Rotačné inverzné kyvadlo (V142a)



Model rotačného inverzného kyvadla patrí medzi SIMO systémy

Analýza riadiacej štruktúry pre spätnoväzobný regulačný obvod, typy prenosov



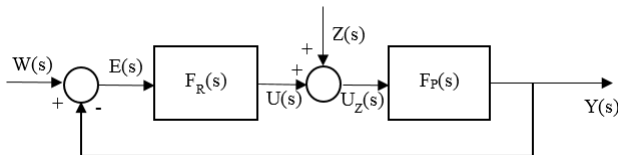
Obr. 1: Schéma uzavretého regulačného obvodu

Predpokladajme, že v uvedenom regulačnom obvode riadený systém i regulátor sú spojité dynamické systémy, kde:

$$F_P(s) = \frac{Y(s)}{U_Z(s)} \quad (4)$$

je **prenosová funkcia riadeného systému**, ktorá je definovaná ako pomer Laplaceových obrazov výstupnej veličiny $Y(s)$ a vstupnej veličiny $U_Z(s)$ pri nulových počiatkových podmienkach.

Analýza riadiacej štruktúry pre spätnoväzobný regulačný obvod, prenos otvoreného regulačného obvodu



Podobne je definovaná **prenosová funkcia regulátora**:

$$F_R(s) = \frac{U(s)}{E(s)} \quad (5)$$

Ak v regulačnom obvode rozpojíme zápornú spätnú väzbu, potom dostávame otvorený regulačný obvod, kde vzťahom

$$F_0(s) = F_R(s)F_P(s) \quad (6)$$

označujeme **prenosovú funkciu otvoreného regulačného obvodu**.

Vplyv riadiacej a poruchovej veličiny na regulovanú veličinu v uzavretom regulačnom obvode

Súčasný vplyv riadiacej $W(s)$ a poruchovej veličiny $Z(s)$ na riadenú veličinu $Y(s)$ v uzavretom regulačnom obvode môžeme vyjadriť prostredníctvom Laplaceovho obrazu riadenej veličiny:

$$\begin{aligned} Y(s) &= F_P(s)U_Z(s) \\ &= F_P(s)[U(s) + Z(s)] \\ &= F_P(s)[F_R(s)E(s) + Z(s)] \\ &= F_P(s)\{F_R(s)[W(s) - Y(s)] + Z(s)\} \end{aligned} \tag{7}$$

odkiaľ úpravou získame vzťah:

$$Y(s) = F_{Y/W}(s)W(s) + F_{Y/Z}(s)Z(s) \tag{8}$$

Prenos URO vzhľadom na zmenu riadiacej veličiny (ak $Z(s)=0$) a prenos URO vzhľadom na zmenu poruchovej veličiny (ak $W(s)=0$)

Ak uvažujeme, že poruchový signál $z(t) = 0 \cong Z(s) = 0$, potom **prenosová funkcia riadenia** má tvar:

$$F_{Y/W}(s) = \frac{Y(s)}{W(s)} = \frac{F_R(s)F_P(s)}{1 + F_R(s)F_P(s)} = \frac{F_R(s)F_P(s)}{1 + F_0(s)} \quad (9)$$

a vyjadruje vplyv zmien riadiacej veličiny $w(t) \cong W(s)$ na riadenú veličinu $y(t) \cong Y(s)$

Ak uvažujeme, že riadiaca veličina $w(t) = 0 \cong W(s) = 0$ potom **prenosová funkcia poruchy** má tvar

$$F_{Y/Z}(s) = \frac{Y(s)}{Z(s)} = \frac{F_P(s)}{1 + F_R(s)F_P(s)} = \frac{F_P(s)}{1 + F_0(s)} \quad (10)$$

a vyjadruje vplyv zmien poruchovej veličiny $z(t) \cong Z(s)$ na riadenú veličinu $y(t) \cong Y(s)$.

Ak hodnotíme kvalitu riadenia, často vychádzame z časového priebehu regulačnej odchýlky $e(t)$. Na základe Obr.1 môžeme pre jej Laplaceov obraz písať:

$$\begin{aligned} E(s) &= W(s) - Y(s) \\ &= W(s) - F_P(s)U_Z(s) \\ &= W(s) - F_P(s)[U(s) + Z(s)] \\ &= W(s) - F_P(s)[F_R(s)E(s) + Z(s)] \end{aligned} \tag{11}$$

odkiaľ úpravou získame:

$$E(s) = F_{E/W}(s)W(s) - F_{E/Z}(s)Z(s) \tag{12}$$

Pričom platí, že:

$$F_{E/W}(s) = \frac{E(s)}{W(s)} = \frac{1}{1 + F_P(s)F_R(s)} = \frac{1}{1 + F_0(s)} \quad (13)$$

je **prenosová funkcia regulačnej odchýlky**, určujúca vplyv riadiacej veličiny na regulačnú odchýlku $e(t)$ a

$$F_{E/Z}(s) = \frac{E(s)}{Z(s)} = \frac{F_P(s)}{1 + F_P(s)F_R(s)} = \frac{F_P(s)}{1 + F_0(s)} \quad (14)$$

je prenosová funkcia, cez ktorú vplýva porucha $z(t)$ na regulačnú odchýlku $e(t)$.

Obdobným spôsobom môžeme určiť Laplaceov obraz akčnej veličiny $u(t)$:

$$U(s) = F_{U/W}(s)W(s) + F_{U/Z}(s)Z(s) \quad (15)$$

kde

$$F_{U/W}(s) = \frac{U(s)}{W(s)} = \frac{F_R(s)}{1 + F_P(s)F_R(s)} = \frac{F_R(s)}{1 + F_0(s)} \quad (16)$$

je **prenosová funkcia akčnej veličiny**, určujúca vplyv riadiacej veličiny $w(t)$ na akčnú veličinu $u(t)$ a

$$F_{U/Z}(s) = \frac{U(s)}{Z(s)} = \frac{1}{1 + F_P(s)F_R(s)} = \frac{1}{1 + F_0(s)} \quad (17)$$

je prenosová funkcia vyjadrujúca vplyv poruchy $z(t)$ na akčnú veličinu $u(t)$.