

2-5596 Mechanika viazaných mechanických systémov
pre špecializáciu Aplikovaná mechanika, 4.roč. zimný sem.
Garant: doc.Ing.František Palčák, PhD., ÚAMM 02010

11. Aké sú možnosti uplatnenie technológie simulácie mechanických sústav pri modelovaní systémov riadenia

Teoretické východiská pre PID reguláciu VMS

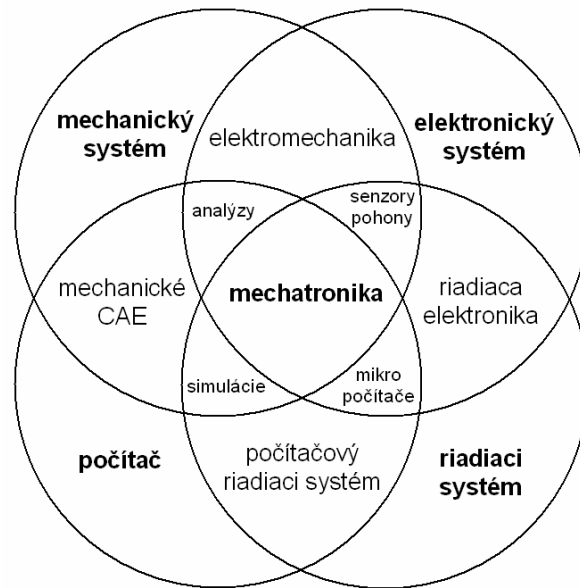
1. Poslanie mechatroniky. Techniky umelej inteligencie.
2. Stavová reprezentácia lineárnych systémov. Laplaceova transformácia. Fourierova modifikácia Laplaceovej transformácie do Gaussovej roviny.
3. Prenosové funkcie medzi vstupným budením a výstupnou odozvou. Stabilita dynamického systému.
4. Názvy a význam pojmov z teórie riadenia VMS potrebných pre prácu s modulmi ADAMS/View a ADAMS/Controls. Riadenie VMS bez regulátora a s regulátorom. Režimy v uzatvorených systémoch riadenia s regulátorom. Príklad použitia proporcionálneho regulátora so spätnou väzbou.

Poslanie mechatroniky.

Výpočtová technika je stále výkonnejšia, rýchlejšia, miniatúrnejšia, zrozumiteľnejšia, rozšírenejšia a to priam nabáda k hľadaniu jej uplatnenia v nových mechatronických výrobkoch, aby boli čoraz inteligentnejšie, úspornejšie, s vysokým stupňom samoregulácie, spoľahlivosti a komunikatívnosti. Je žiaduce, aby nás mechatronické výrobky odbremenili nielen od namáhavej, či nepríjemnej práce, ale aby sledovali čo robíme a prispôbovali sa našim potrebám a temperamentu, aby sa stali nielen našimi pomocníkmi, ale aj príjemnými spoločníkmi. Nové technológie otvárajú nové možnosti a dodávajú nám odvahu hľadať metódy ako riadiť činnosť čoraz zložitejších systémov a zároveň diktujú potrebu spoznávať podstatu ich rôznorodých vlastností.

Mechatronika sa tak stáva synergickou kombináciou strojárstva, elektrotechniky, elektroniky, informatiky a riadenia v systémovom prístupe pri návrhu, výrobe a prevádzke strojov, prístrojov, zariadení a strojných komplexov. Kombinácia reálneho a virtuálneho experimentu vo forme počítačovej simulácie je hlavnou pracovnou metódou mechatroniky, lebo zjednocujúcim faktorom pri analýze a syntéze interakcie počítačom riadených elektronických aj mechanických sústav je spoločná matematická reprezentácia budúceho výrobku vo virtuálnej počítačovej forme.

Mechatronická sústava má energetickú a informačno-riadiacu časť. V energetickej časti, ktorú tvoria mechanizmy, akčné členy a ich pohonné podsystemy prebieha energetická interakcia medzi jednotlivými elementmi. Informačno-riadiacu časť tvoria senzorové, komunikačné a riadiace podsystemy. Príkladom mechatronických sústav sú robotické systémy, CNC stroje, technologické automaty a linky, vozidlá s inteligentným rozhodovaním a riadením prevádzky (s brzdovými sústavami typu ABS, s riadením spaľovacieho procesu v motoroch), v leteckve a kozmonautike sú to navigačné systémy, sem patrí spotrebná elektronika, mikroelektromechanické systémy, prístroje určené pre automatizáciu kancelárií a domácnosti, lekárske prístroje, výrobky pre spestrenie voľného času, pre zaistenie bezpečnosti a špeciálna vojenská technika.



Obr.1 Mechatronika je prienik strojárstva, elektroniky, riadenia a informatiky.

Mechatronicke výrobky so základným stupňom inteligentného správania sú:

- programovateľné (priemyselný manipulátor, poštový známkovací automat) a
- samo-regulovateľné (automatický pilot).

Vyšší stupeň inteligentného správania mechatronickeých výrobkov charakterizuje:

- diagnostika vlastných porúch,
- opravovanie sa pomocou rekonfigurácie,
- učenie sa na základe získaných skúsenosti,
- organizovanie spolupráce s inteligentnými strojmi,
- seba-reorganizácia s cieľom prispôbiť sa zmenám podmienok.

Narastaním úrovne inteligentného správania je možné zvyšovať univerzálnosť, prispôbivosť, energetickú efektívnosť, prevádzkovú bezpečnosť a ekologickosť mechatronickeých výrobkov. Pri mechatronickeom prístupe pri návrhu výrobkov sa usilujeme o implementáciu elektroniky, softvéru a informačných technológií už od koncepčného návrhu so zameraním na:

- zdokonalenie výrobkov a procesov, aby boli rýchlejšie a lacnejšie,
- inováciu výrobkov s novými funkciami (automobily, videorekordéry, pracovné nástroje, hračky),
- vývoj nových typov výrobkov, v ktorých uplatňujeme interdisciplinárne prístupy (lekárske a biologické prístroje, neuroinformatika, mikro a nanotechnika),
- hľadanie nových koncepcií výrobkov s inteligentnými a komunikačnými vlastnosťami.

Mechatronika je cestou k vývoju moderných výrobkov, pričom ekonomická úspešnosť výrobcu už nebude spočívať na objeme výroby, ale na schopnosti reagovať na požiadavky trhu a osvojiť si integračné prístupy. Podľa štatistík svetová produkcia mechatronickeých výrobkov rastie ročne o 30%.

Techniky umelej inteligencie.

Súčasné požiadavky na výrobky vyvolali potrebu vyvinúť metódy a zariadenia, aby mali komplexné výrobky ako je auto, vlak, či lietadlo schopnosť automaticky monitorovať zmenu prevádzkových podmienok v nepredvídateľnom dynamickom prostredí a optimálne na ne reagovať, dokonca mať samoučiace schopnosti, predvídať a prispôbiť sa, teda aby mali prvky umelej inteligencie a autonómie.

Pri multidisciplinárnom prístupe s podporou počítačových technológií je možné súbežne spoznávať, navrhovať a overovať a optimalizovať kompletný výrobok čím vynikne efekt znásobenia doteraz oddelených prístupov.

Algoritmy inteligentného riadenia spolu s ďalšími prvkami technickej inteligencie ako je snímanie a pohony si dokážu poradiť s nekorektnými aj nekompletnými vstupmi v neočakávaných a neštandardných situáciách.

Pri vývoji algoritmov samoorganizácie, učenia sa a zovšeobecnenia získaného poznania, potrebných pre inteligentné riadenie, využívame popri moderných numerických metódach kombináciu silných stránok techník umelej inteligencie, medzi ktoré patria expertné systémy, neurónové siete, fuzzy logika a genetické algoritmy.

Neurónové siete sú schopné vyhodnotiť údaje z množstva senzorov aj pri výskyte nekonzistentných údajov. Plnia inteligentné funkcie logického myslenia, učenia sa, formulovania asociácií a zovšeobecňovania do abstraktnej formy.

Princíp fuzzy logiky spočíva vo formulovaní riadiacej stratégie jazykovou terminológiou. V podstate ide o matematický opis nepresného a nespoľahlivého uvažovania pri spracovaní skúseností z komplikovaných procesov.

Genetické algoritmy majú stochastickú podstatu inšpirovanú biologickými procesmi, kde silní jedinci víťazia. Parametre víťaza sú gény v chromozómoch, pričom na urýchlenie evolúcie sa využívajú operátory prekríženia a mutácie. Genetické algoritmy sú vhodné na vyhľadávanie smeru globálnej optimalizácie na princípoch prirodzeného výberu a genetiky.

Systémový prístup v mechatronike

Uplatňovanie mechatronických princípov umožní efektívnejšie využívať materiály a energiu aj minimalizovať vplyv na životné prostredie, ale vyžaduje si znalosti z rozličných odborov. Doterajšiu výchovu inžinierov charakterizoval prístup „zdola nahor“ s hlavným dôrazom na vývoj komponentov. Tento prístup spočíval na izolovanom využívaní základných princípov z jednotlivých disciplín. S príchodom nových technológií nadobúda na význame systémový prístup, pri ktorom sa vlastnosti komponentov odvodzujú od vyžadovaných funkcií celku. Základnou filozofiou mechatroniky, ktorá umožňuje nájsť optimálne parametre výrobku, je spolupráca rôznych technológií s prístupom „zhora nadol“ čo, pričom:

- vlastnosti stavebných prvkov odvodzujeme od vyžadovaných funkcií celku
- berieme do úvahy rozdielne názory na vyžadované vlastnosti výrobku
- analyzujeme vplyv výrobku na vonkajšie prostredie
- vysvetľujeme príčiny správania sa výrobku
- zovšeobecňujeme to, čo je pre rôzne prípady spoločné
- pri vývoji výrobku používame súbežnú multidisciplinárnu syntézu ako multiciel'ovú optimalizáciu
- garantujeme, že výrobok má overené rozhodujúce vlastnosti

Stavová reprezentácia lineárnych systémov

Vlastnosti jednorozmerného aj viacrozmerného lineárneho systému so sústredenými parametrami môžeme analyzovať pomocou zápisu do vektorových stavových rovníc

$$\dot{\mathbf{z}}(t) = \mathbf{A}(t)\mathbf{z}(t) + \mathbf{B}(t)\mathbf{y}(t)$$

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{C}(t)\mathbf{z}(t) + \mathbf{D}(t)\mathbf{y}(t)$$

kde

$\mathbf{y}(t)$ je stĺpcový vektor vstupných signálov budenia,

$\mathbf{x}(t)$ je stĺpcový vektor výstupných signálov odozvy,

$\mathbf{z}(t)$ je stĺpcový vektor počtu n stavových premenných systému,

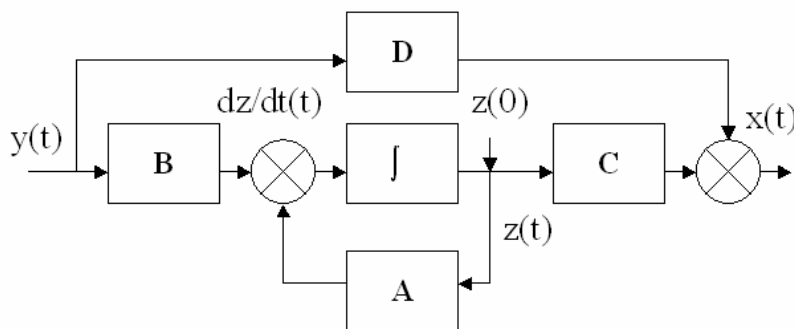
$\mathbf{A}(t)$ je matica koeficientov systému,

$\mathbf{B}(t)$ je matica budenia,

$\mathbf{C}(t)$ je matica odozvy a

$\mathbf{D}(t)$ je prenosová matica.

Odpovedajúca schéma stavového opisu lineárneho systému je na obr.6.



Obr.6 Schéma stavového opisu lineárneho systému

Pre frekvenčnú analýzu lineárneho systému je vhodná Laplaceova transformácia jeho stavových rovníc z časovej do komplexnej s oblasti

$$s\mathbf{Z}(s) - \mathbf{Z}(0) = \mathbf{A}\mathbf{Z}(s) + \mathbf{B}Y(s)$$

$$X(s) = \mathbf{C}\mathbf{Z}(s) + \mathbf{D}Y(s)$$

Pre nulové začiatočné podmienky $\mathbf{Z}(0) = \mathbf{0}$ dostaneme prenosovú maticu

$$\mathbf{H}(s) = \frac{X(s)}{Y(s)} = \mathbf{C}(s\mathbf{E} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{B} + \mathbf{D}$$

kde \mathbf{E} je jednotková matica typu $n \times n$. Vlastné tvary systému, ktoré sú citlivé na budenie pri frekvenčnej analýze môžeme identifikovať pomocou modálnych súradníc

$$\mathbf{Z}(s) = (s\mathbf{E} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{B}Y(s)$$

Spektrálnu výkonovú (amplitúdovú) hustotu (PSD) amplitúd $\mathbf{X}_{PSD}(s)$ vo výstupných kanáloch pre danú diagonálnu maticu $\mathbf{Y}_{PSD}(s)$ spektrálnej výkonovej hustoty (PSD) vo vstupných kanáloch získame pomocou prenosovej matice $\mathbf{H}(s)$ a k nej komplexne konjugovanej matice $\mathbf{H}^*(s)$

$$\mathbf{X}_{PSD}(s) = \mathbf{H}^*(s)\mathbf{Y}_{PSD}(s)\mathbf{H}(s)$$

Výhodou stavovej reprezentácie systému je, že je vhodná pre analytické riešenie, optimalizačný proces ako aj pre počítačom podporované modelovanie a numerické riešenie, pričom poskytuje celkový pohľad na vlastnosti systému, riaditeľnosť ako aj zobrazovanie priebehov procesov.

Laplaceova transformácia časovej odozvy do stavového priestoru

Počítačom podporovaná analýza a optimalizácia vlastností dynamických systémov priamo súvisí s potrebou riešiť systém diferenciálnych rovníc. Ukázalo sa, že pre lineárne, prípadne linearizované mechatronické systémy je výpočtovo výhodné pretransformovať systém diferenciálnych rovníc opisujúcich časovú odozvu systému Laplaceovou transformáciou do stavového priestoru na systém algebrických rovníc, v ktorých sa čas nevyskytuje, aby sme pomocou prenosovej funkcie mohli priamo sledovať vzťah medzi vstupom a výstupom, pričom pri transformácii diferenciálnych rovníc na algebrické využívame exponenciálne funkcie, lebo ich n -té derivácie sú n -násobkom východiskovej funkcie.

Laplaceova transformácia $L\{f(t)\}$, teda obraz $F(s)$ časovo závislej funkcie $f(t)$ (originálu) do komplexnej s -oblasti je vo všeobecnosti daná vzťahom:

$$L\{f(t)\} = F(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt$$

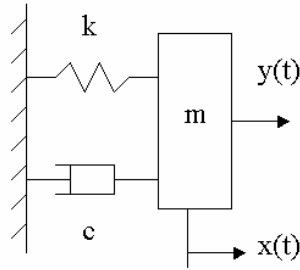
Fourierova modifikácia Laplaceovej transformácie do Gaussovej roviny

Pri Laplaceovej transformácii utvorením obrazu originálu vzniká algebrický výraz s komplexným argumentom $s = r + jw$, $j = \sqrt{-1}$, ktorý neposkytuje fyzikálnu predstavu o zobrazovanej funkcii. Vzhľadom na to, že spojitý aj nespojitý signál môžeme charakterizovať amplitúdovými a frekvenčnými vlastnosťami, potom pomocou Fourierovej transformácie

$$F\{f(t)\} = F(jw) = \int_0^{\infty} e^{-jw t} f(t) dt$$

pre $s = jw$ modifikujeme Laplaceovu transformáciu s komplexným argumentom tak, aby argument s nebol komplexné číslo. Získané amplitúdovo-fázové spektrum frekvenčných charakteristík nám už poskytuje fyzikálnu predstavu o zobrazovanej funkcii.

Ďalšími alternatívami grafického zobrazenia spektra signálu sú jeho amplitúdovo-frekvenčná charakteristika a fázovo-frekvenčná charakteristika.



Obr.1 Lineárna sústava s hmotnosťou m , súčiniteľom c viskózneho tlmenia a tuhosťou k , pričom $x(t)$ je odozva na budenie $y(t)$.

Diferenciálna rovnica pre mechanický systém druhého rádu na obr.1 dáva do súvisu vstupné budenie $y(t) = Fe^{j\omega t}$ a výstupné premiestnenie $x(t)$

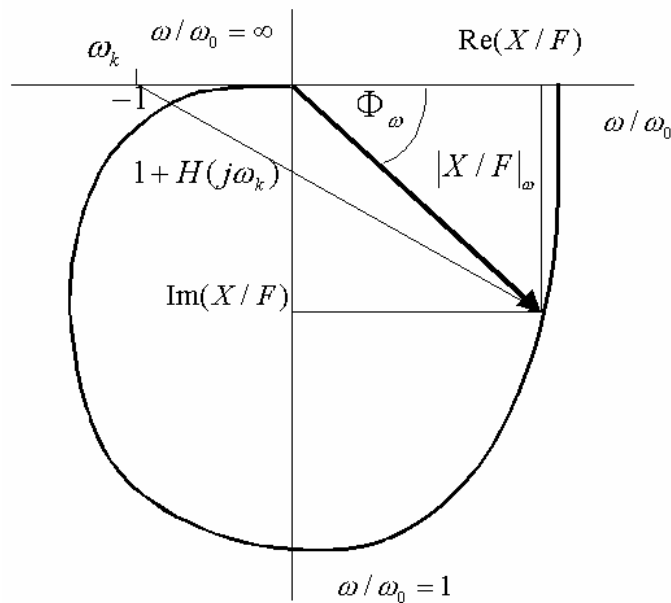
$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = Fe^{j\omega t}$$

Z predpokladaného riešenia v tvare $x = Xe^{j\omega t}$ získame vektor X/F v komplexnej Gausovej rovine na obr.2, kde jeho koncové body ležia na Nyquistovej krivke geometrického obrazu frekvenčnej charakteristiky frekvenčného prenosu

$$H(j\omega) = \frac{1}{k - m\omega^2 - jc\omega} = |X/F|_{\omega} e^{j\Phi_{\omega}}$$

kde výraz $k - m\omega^2 - jc\omega$ je dynamická tuhosť sústavy a fázový uhol Φ_{ω} odozvy vyplýva zo vzťahu

$$\operatorname{tg} \Phi_{\omega} = \frac{k - m\omega^2}{c\omega}$$



Obr.2 Nyquistov hodograf geometrického obrazu spektra frekvenčnej charakteristiky frekvenčného amplitúdovo-fázového prenosu v Gaussovej komplexnej rovine.

Prenosové funkcie medzi vstupným buđením a výstupnou odozvou

Zosilnenie (gain) signálu je lineárny operátor pre vzťah medzi jedným vstupným buđením a výstupnou odozvou, ktorý v lineárnych jednorozmerných stacionárnych systémoch poskytuje lineárne diferenciálne rovnice. Systém má vlastnú odozvu vtedy, ak na neho nepôsobí žiadne vstupné budenie, ktoré by vyvolávalo zmenu parametrov odozvy, naopak, vynútená odozva nastáva, ak budenie odozvu ovplyvňuje. Prechodová odozva má priebeh od jednorázového náhleho vybudenia (skokom, impulzom, alebo nábehom) po ustálený stav.

Pre analýzu vlastností dynamického systému je výhodné namiesto diferenciálnej rovnice poznať algebraickú prenosovú funkciu systému, ktorá transformuje ľubovoľný vstup na výstup. Na získanie prenosovej funkcie treba Laplaceovou transformáciou pretransformovať diferenciálnu rovnicu, ktorá opisuje časový priebeh odozvy, na algebraickú rovnicu s komplexnou Laplaceovou premennou $s = r + j\omega$, kde $j = \sqrt{-1}$. Pre lineárne systémy je potom obrazový prenos daný prenosovou funkciou $H(s)$:

$$H(s) = \frac{X(s)}{Y(s)}$$

kde $X(s)$ je Laplaceova transformácia výstupu (odozvy) $x(t)$ a $Y(s)$ je Laplaceova transformácia vstupu (budenia) $y(t)$, pričom pre nulový vstup dostaneme nulovú odozvu. Potom napríklad Laplaceova transformácia jednotkového skokového impulzu $f(t) = 1$ bude

$$F(s) = \frac{1}{s}.$$

Pri určení prenosovej funkcie pre mechanický systém druhého rádu na obr. 1, vzťah medzi vstupom $y(t)$ a výstupom $x(t)$ opisuje vo všeobecnosti diferenciálna rovnica druhého rádu s konštantnými koeficientami:

$$a_2 \frac{d^2 x}{dt^2} + a_1 \frac{dx}{dt} + a_0 x = b_0 y, \text{ kde } a_2 = m \text{ (hmotnosť)}, \quad a_1 = c \text{ (tlmenie)}, \quad a_0 = k \text{ (tuhosť)}.$$

Potom je $w_0^2 = \frac{k}{m}$ vlastná frekvencia netlmeného systému a $c_p^2 = \frac{c^2}{4km}$ je pomerné tlmenie, pričom pre $c_p > 1$ má systém nadkritické tlmenie, pre $c_p = 1$ kritické a pre $c_p < 1$ podkritické tlmenie. Vzhľadom na to, že Laplaceova transformácia prvej derivácie funkcie $f(t)$ je

$$L\left\{\frac{d}{dt} f(t)\right\} = sF(s) - f(0).$$

a analogicky pre druhú deriváciu je

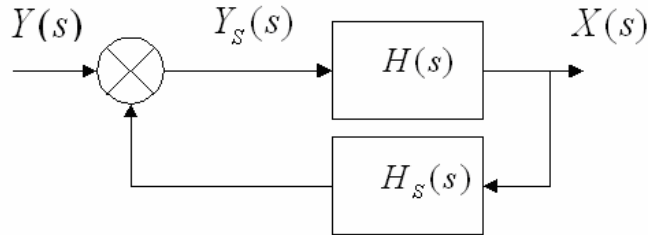
$$L\left\{\frac{d^2}{dt^2} f(t)\right\} = s^2 F(s) - sf(0) - \frac{d}{dt} f(t)$$

potom Laplaceova transformácia diferenciálnej rovnice druhého rádu s nulovými začiatočnými podmienkami na algebraickú prenosovú funkciu systému bude:

$$a_2s^2X(s) + a_1sX(s) + a_0X(s) = b_0Y(s)$$

a príslušná prenosová funkcia $H(s)$ od vstupu $Y_s(s)$ po výstup $X(s)$ bude mať tvar:

$$H(s) = \frac{X(s)}{Y(s)} = \frac{b_0}{a_2s^2 + a_1s + a_0}$$



Obr. 3 Dynamický systém so spätnou väzbou

Pre systém so spätnou väzbou na obr. 3 bude výsledná prenosová funkcia H_v :

$$H_v(s) = \frac{X(s)}{Y(s)} = \frac{H(s)}{1 + H(s)H_s(s)}$$

kde $H(s)$ je prenosová funkcia od vstupu $Y_s(s) = Y(s) - H_s(s)X(s)$ po výstup $X(s)$ a $H_s(s)$ prenosová funkcia spätnej väzby.

Stabilita dynamického systému

Ak prenosovú funkciu $H(s)$ vyjadríme pomocou polynómov $R(s)$ a $S(s)$ n-tého stupňa

$$H(s) = \frac{X(s)}{Y(s)} = \frac{R(s)}{S(s)}$$

potom z homogénnej rovnice $S(s)X(s) = 0$ získame charakteristickú rovnicu

$$a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0 = 0$$

Systém je stabilný, ak po vychýlení impulzom z rovnovážnej polohy a prechodom režime nezmení výrazne pôvodnú polohu, vtedy všetky korene $s_i = r_i + jw_i$ charakteristickej rovnice obsahujú záporné reálne zložky.

Stabilný otvorený systém bude stabilný aj po jeho uzatvorení zápornou spätnou väzbou (obr.3) ak Nyquistov hodograf amplitúdovo-frekvenčnej charakteristiky na obr. 2 neobsahuje bod $(-1, j0)$.

Názvy a význam pojmov z teórie riadenia VMS potrebných pre prácu s modulmi ADAMS/View a ADAMS/Controls

| | |
|----------------------------|---|
| Plant | riadená mechanická sústava viazaných telies |
| Calibration | hustota riadiacich signálov |
| Feedback | spätná väzba, ktorá pri utváraní systému riadenia umožňuje: <ul style="list-style-type: none">- porovnávať výstup X, alebo riadenú stavovú veličinu so vstupom Y, alebo s inou stavovou veličinou v sčítacom bloku- vygenerovať regulačnú funkciu U podľa rozdielu R závislú na vstupe a výstupe |
| Reference value, X | predpísaná (vyžadovaná) hodnota X odozvy |
| Measured response value, Y | nameraná hodnota Y okamžitej odozvy |
| Error, R | okamžitý rozdiel R (odchýlka) predpísanej hodnoty X odozvy a nameranej hodnoty Y okamžitej odozvy |
| Break-point | bod zlomu je priesečník čiar asymptotickej aproximácie skutočnej veľkosti odozvy pre nízke a vysoké frekvencie v Bodeho priebehoch |
| Cross-frequency | krížová frekvencia v bode zlomu |
| Bandwidth | šírka pásma frekvenčného rozsahu, v ktorom veľkosť odozvy neklesne pod -3dB |
| Phase-lag, PA | fázové oneskorenie |
| Phase-lead, PE | fázový predstih |
| Reference response, XD | predpísaná hodnota XD ustálenej odozvy |
| Overshoot, XP | prekmitnutie XD odozvy voči predpísanej ustálenej hodnote XD |
| Steady-state response, YS | ustálená hodnota YS odozvy |
| Steady-state error, SR | trvalá odchýlka SR ustálenej odozvy XS od predpísanej ustálenej hodnoty XD |
| Rise time, TP | doba TP nábehu odozvy po prvé maximum XP |
| Settling time, TS | čas TS ustálenia, od ktorého sa odozva mení v rozmedzí $\pm 2,5\%$ od predpísanej ustálenej hodnoty XD |
| Proportional gain, KP | proporcionálny súčiniteľ zosilnenia signálu (rozdielu R) |
| Integrative gain, KI | integračný súčiniteľ zosilnenia signálu (rozdielu R) |
| Derivative gain, KD | derivačný súčiniteľ zosilnenia signálu (rozdielu R) |
| Input | vstup |

Riadenie VMS bez regulátora a s regulátorom.

Riadenie s otvorenou slučkou riadenia bez spätnej väzby, teda bez regulátora a bez skúmania dôsledkov je ovládanie.

- je to otvorený riadiaci proces, ktorý sa nemôže stať nestabilný, pokiaľ je riadený objekt stabilný,
- pôsobí len proti poruchovým veličinám pre ktoré bol navrhnutý, ostatné nemôže ovplyvňovať ani eliminovať

výhody: jednoduchosť, nízke náklady na realizáciu riadenia

nevýhody: malá presnosť, citlivosť na vonkajšie podnety neschopnosť riadenia nestabilných procesov, pomalá odozva na riadiaci signál

Riadenie so spätnou väzbou (s regulátorom) je regulácia, teda realizácia cielených zmien stavových veličín mechatronickej sústavy tak, aby sa dostala z východiskového do vyžadovaného stavu. **Regulátor** je riadiaci systém s uzatvorenou spätnoväzobnou slučkou automatického riadenia objektu, alebo procesu. Riadenie s regulátorom, teda regulácia prebieha v uzavretom spätnoväzobnom regulačnom obvode, pričom regulovanú veličinu neustále meriame, porovnávame s vyžadovanou a meníme, kým nebude ich rozdiel menší ako rozsah predpísanej presnosti:

- je to uzatvorený riadiaci proces, ktorý je vhodný na ovplyvňovanie všetkých poruchových veličín vďaka spätnej väzbe,
- môže sa stať aj nestabilným, ak napríklad kmity v obvode nebudú tlmené a budú narastať.

Režimy v uzatvorených systémoch riadenia s regulátorom

- Dvojúrovňový režim: korekčný signál je buď zapnutý, alebo vypnutý
- Proporcionálny režim: regulačná veličina U je proporcionálna rozdielu R , skracaie dobu nábehu TP , znižuje trvalú odchýlku SR , ale ju neodstráni, má malý vplyv na prekmitnutie XP ,
- Derivačný režim: regulačná veličina U je proporcionálna derivácii R , teda pri rýchlej zmene rozdielu R vygeneruje veľkú zmenu regulačnej veličiny U , znižuje prekmitnutie P , má malý vplyv na čas nábehu TP a na trvalý rozdiel E ,
- Integračný režim: regulačná veličina U je proporcionálna integrálu R , teda konštantný rozdiel R spôsobuje zvyšovanie regulačnej veličiny U , znižuje trvalý rozdiel E medzi ustálenou hodnotou odozvy XS a predpísanou ustálenou hodnotou XD , zvyšuje prekmitnutie XP , teda zhoršuje prechodovú odozvu,
- PD režim : pridáva fázový predstih PE pri frekvenciách nad bodom zlomu, zvyšuje citlivosť systému na ustálenie
- PI režim: zvyšuje veľkosť amplitúdy odozvy pri frekvenciách nad bodom zlomu, znižuje trvalý rozdiel E , spôsobuje fázové oneskorenie PA pod bodom zlomu
- PID: spája výhody aj nevýhody samostatných a kombinovaných režimov

Pri utváraní bloku PID (PID control block) uzatvoreného systému riadenia s tromi nezávislými slučkami pre proporcionálny, integračný a derivačný člen treba zadať proporcionálny a s ním súvisiaci derivačný vstup. Blok PID automaticky utvorí integrálny vstup zo zadaného proporcionálneho vstupu a vypočíta regulačnú veličinu U podľa vzťahu:

$$U = KP.R + KI \int R dt + KD.dR / dt$$

Na skúmanie vplyvu zmien PID súčiniteľov zosilnenia na odozvu ich parametrizujeme a utvoríme optimalizačné premenné (Design Variable).

Aké sú možnosti navrhovať systémy riadenia mechatronických sústav v prostredí modulov ADAMS/View a ADAMS/Controls

Vlastnosti modelovacích povelov (statements) a vykonávacích povelov (commands)

- **Premennú ADAMS/View Variable**, typu Variable v zozname DN (Database Navigator) modelovacích prvkov, utvárame modelovacím povelom (statement) cez A/View menu: Build, **Design Variable**, new a do .adm súboru vstupuje len ako číselná hodnota modelovacích prvkov, pričom to môže byť akýkoľvek výraz, ktorý utvárame v prostredí utvárača výrazov (Expression Builder). Premennú VARIABLE/ID (Design Variable) môžeme nezávisle použiť v príkazoch PINPUT (plant input), POUTPUT (plant output), alebo ARRAY, pričom v iných výrazoch (function expressions) sa na ňu môžeme odkazovať pomocou príkazu VARVAL(ID) čo je stručnejšie a bez zbytočného opakovania.
Ak chceme premennú ADAMS/View Variable zmeniť, alebo si prezrieť zoznam jej parametrov použijeme vykonávací povel (command) cez A/View menu: Build, Design Variable, modify.
- **Stavovú premennú ADAMS/Solver Variable** typu ADAMS/Variable v zozname DN (Database Navigator) modelovacích prvkov, alebo označenú ako Variable v .adm súbore, utvárame modelovacím povelom (statement) cez A/View menu: Build, System Elements, **State Variable** a je to stavová premenná, ktorej hodnotu vyčísluje A/Solver v každom simulačnom kroku, pričom to môže byť akákoľvek funkcia, ktorú utvárame v prostredí utvárača funkcií (Function Builder).
Ak chceme stavovú premennú ADAMS/Solver Variable zmeniť, alebo si prezrieť zoznam jej parametrov použijeme vykonávací povel (command) cez A/View menu: Build, System Elements, State Variable, modify.

Dialógový panel nástrojov Controls toolkit v module ADAMS/View

V dialógovom paneli nástrojov Controls toolkit sú k dispozícii prvky lineárnych spojitých systémov riadenia mechanického modelu vo forme diferenciálnych rovníc, ktoré nám priamo v prostredí ADAMS/View bez nutnosti použiť modul ADAMS/Controls umožňujú utvárať:

- blok vstupného signálu (input signal block),
 - sčítací blok (summing junction block),
 - blok zosilnenia (gain block),
 - integračný blok (integrator block),
 - dolný prepúšťací filter (low pass filter block),
 - filter predstihu a oneskorenia (lead-lag filter block),
 - používateľom definovanú prenosovú funkciu (user defined transfer function block),
 - filter druhého rádu (second order filter block),
 - blok PID riadenia (PID control block) a
 - vypínač (switch block)
1. **Modelovanie riadenia v prostredí ADAMS/View pomocou funkcií síl, alebo momentov, ktoré sú závislé od stavových premenných modelu mechanickej sústavy**

Príkladom je funkcia tlmiaceho (odporového) momentu $F(\text{time}) = 20 \cdot WY$ vo forme súčinu proporcionálneho súčiniteľa 20 a stavovej veličiny (uhlová rýchlosť WY). Takéto spojité funkcie utvárame pomocou prvkov VARIABLE (premenná) a DIFF (diferenciálna rovnica) a nakoľko sú vysoko nelineárne s náhlymi zmenami hodnôt, používame funkciu STEP (preskok) s prechodmi podľa kubických splajnov, aby mal integrátor spojité vstupy.

2. Modelovanie riadenia pomocou skupiny základných modelovacích prvkov v dialógovom paneli nástrojov Controls toolkit v module ADAMS/View

Prvky lineárnych spojitých systémov riadenia modelujeme vo forme diferenciálnych rovníc, pričom využívame kombinácie PID (proporcionálneho, derivačného a integrálneho) riadenia, filtre a súčinitele zosilnenia.

3. Modelovanie riadenia pomocou používateľských podprogramov

Modely riadenia na základe syntaxe príkazu GSE na generovanie všeobecných stavových rovníc utvárame vo forme podprogramov pomocou jazyka Fortran, alebo C, ktoré tvoria súčasť vykonávacieho programu a používame ich na riadenie krútiacich momentov v modeli mechanickej sústavy.

4. Modelovanie riadenia linearizovanej mechanickej sústavy v prostredí externých programov (MATLAB, EASY5, MATRIX-X)

Po zadaní riadiacich vstupov do modelu riadenej mechanickej sústavy, linearizovanej v rovnovážnej konfigurácii a výstupov zo snímačov pre budúci riadiaci systém, pomocou modulov ADAMS/Controls, alebo ADAMS/Linear vyexportujeme lineárne stavové matice v potrebnom formáte pre zvolený externý program (MATLAB, EASY5, MATRIX-X), v ktorom prebieha celý proces riadenia.

5. Modelovanie súbežného riadenia nelineárnej mechanickej sústavy pomocou externých programov (MATLAB/Simulink, EASY5, MATRIX-X)

Pomocou modulu ADAMS/Controls prepojíme externý systém riadenia utvorený vo zvolenom prostredí (MATLAB/Simulink, EASY5, MATRIX-X) s modelom mechanickej sústavy utvorenej v prostredí ADAMS/View. Pri súbežnej simulácii prebieha prenos riadiacich vstupov z externého riadiaceho systému do modelu riadenej mechanickej sústavy a výstupy zo snímačov odozvy pre externý riadiaci systém. Výsledky súbežnej simulácie môžeme načítať do prostredia ADAMS/PostProcessor na animovanie a vykreslenie potrebných priebehov.

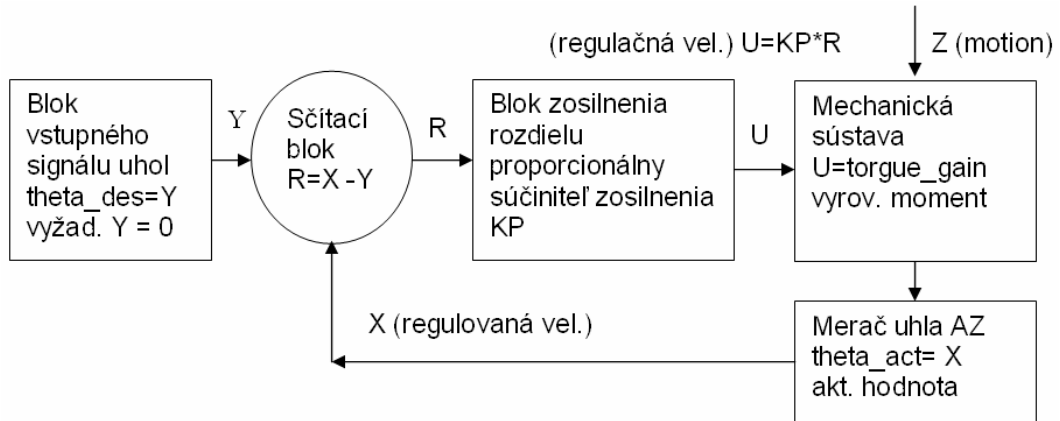
6. Modelovanie riadenia importovaním riadiaceho systému do prostredia ADAMS/View

Po konvertovaní riadiaceho systému utvoreného v prostredí MATLAB/Simulink do C jazyka ho môžeme importovať do prostredia ADAMS/View pomocou nástroja RTW (Real Time Workshop) vo forme všeobecnej stavovej rovnice GSE čo umožní, aby riešič ADAMS/Solver integroval rovnice mechanickej sústavy aj systému riadenia.

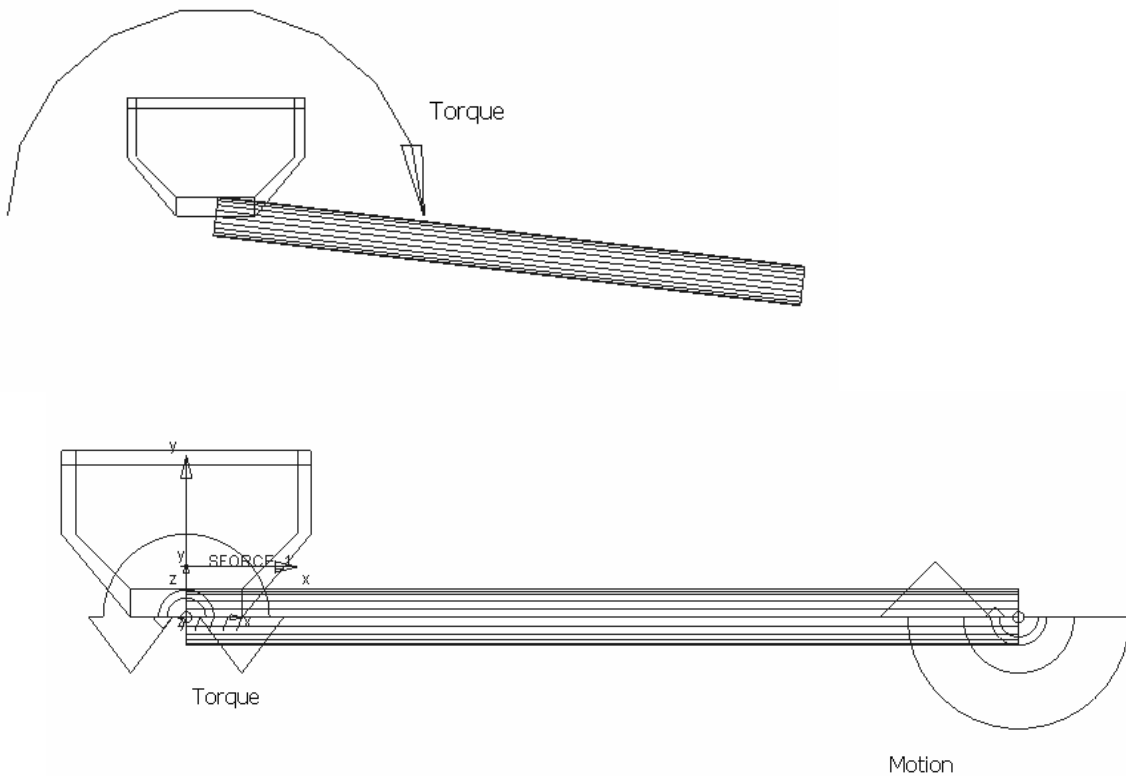
Príklad použitia proporcionálneho regulátora so spätnou väzbou

V schéme uzatvoreného systému riadenia z obr. 2 polohy koša pri zmene polohy ramena je

- Y - vyžadovaná porovnávací (referenčná) veličina (uhol natočenia koša voči globálnemu súradnicovému systému): $\theta_{des} = 0$
- X - meraná regulovaná veličina (okamžitý uhol natočenia koša voči globálnemu súradnicovému systému): $\theta_{act} = AZ$
- R - rozdiel (error) v sčítacom bloku: $\theta_{sum} = \theta_{des} - \theta_{act}$
- KP - proporcionálny súčiniteľ zosilnenia ($1.0E+009$)
- U - akčná regulačná veličina (torque_gain) je zosilnenie pre vyrovnávací moment $Sforce_1: torque_gain, U = KP * R$
- Z - poruchová veličina (predpísaný pohyb mechanickej sústavy): Motion



Obr.2 Schéma uzatvoreného systému riadenia polohy koša s proporcionálnym regulátorom a spätnou väzbou



Obr. 3 Vyrovnávací moment udržiava kôš v horizontálnej polohe pri zmene polohy ramena.