

## **2-5596 Mechanika viazaných mechanických systémov (VMS)**

pre špecializáciu Aplikovaná mechanika, 4.roč. zimný sem.

Prednáša: doc.Ing.František Palčák, PhD., ÚAMM 02010

### **Aké sú možnosti uplatnenie technológie simulácie mechanických sústav pri modelovaní systémov riadenia**

Motto: Náročnejšie ako riadiť veci je riadiť seba.

#### **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 žiadúce, 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 elementami. 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 letectve 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.

Mechatronické výrobky so základným stupeňom inteligentného správania sú:

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

Vyšší stupeň inteligentného správania mechatronických 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, prispôsobivosť, energetickú efektívnosť, prevádzkovú bezpečnosť a ekologickosť mechatronických výrobkov. Pri mechatronickom 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 mechatronických výrobkov rastie ročne o 30%.

### **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

### **Názvy a význam pojmov z teórie riadenia potrebných pre prácu s modulom 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"><li>- porovnávať vstup X, alebo riadenú stavovú veličinu so vstupom Y, alebo s inou stavovou veličinou v sčítacom bloku</li><li>- vygenerovať regulačnú funkciu U podľa rozdielu R závislú na vstupe a výstupe</li></ul>

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, YP	prekmitnutie YD odozvy voči predpísanej ustálenej hodnote XD
Steady-state response, YS	ustálená hodnota YS odozvy
Steady-state error, SR	trvalá odchýlka SR ustálenej odozvy YS od predpísanej ustálenej hodnoty YD
Rise time, TP	doba TP nábehu odozvy po prvé maximum YP
Settling time, TS	čas TS ustálenia, od ktorého sa odozva mení v rozmedzí $\pm 2,5\%$ od predpísanej ustálenej hodnoty YD
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 mechatronických sústav.

**Riadenie** je 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** (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, napríklad ak kmity v obvode nebudú tlmené, ale budú narastať

**Príklad použitia proporcionálneho regulátora so spätnou väzbou** podľa schémy uzatvoreného systému riadenia na Obr.1 kde vyrovnávací moment udržiava kôš v horizontálnej polohe pri zmene polohy ramena.

X - vyžadovaná porovnávacia (referenčná) veličina (uhol):  $\theta_{des} = 0$

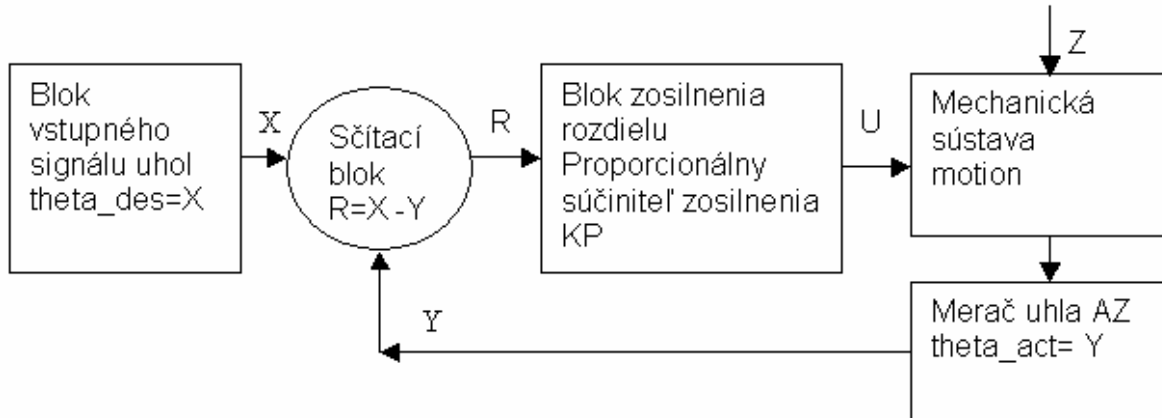
Y - meraná regulovaná veličina (okamžitý uhol):  $\theta_{act} = AZ$

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,  $U = KP \cdot R$

Z - poruchová veličina (predpísaný pohyb mechanickej sústavy): Motion



Obr.1 Schéma uzatvoreného systému riadenia polohy koša s proporcionálnym regulátorom a spätnou väzbou

**Riadenie bez regulátora** je proces riadenia s otvorenou slučkou riadenia:

- 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

### Režimy v uzatvorených systémoch riadenia

- Dvojúrovňový režim: korekčný signál je buď zapnutý, alebo vypnutý
- Proporcionálny režim: regulačná veličina U je proporcionálna rozdielu R, skraca dobu nábehu TP, znižuje trvalú odchýlku SR, ale ju neodstráni, má malý vplyv na prekmitnutie YP,
- 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 YS a predpísanou ustálenou hodnotou YD, zvyšuje prekmitnutie YP, 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 programu MSC.ADAMS**

### **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  $F(\text{time}) = 20 * WY$  vo forme súčiny 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.