

2-5596 Mechanika viazaných mechanických systémov (VMS)

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

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

Náplň predmetu

Ciele predmetu

Predmet poskytuje prehľad o teoretických východiskách potrebných pre analýzu a syntézu štruktúr viazaných mechanických sústav (VMS) ako aj o princípoch fungovania algoritmov programu MSC.ADAMS na automatizovanú dynamickú analýzu VMS v rámci podpory inžinierskych činností pri navrhovaní a optimalizácii virtuálnych prototypov budúcich výrobkov.

Po zvládnutí analýzy a syntézy štruktúr a nadväzujúcej vektorovej metódy numerickej kinematickej analýzy rovinných mechanizmov sa poslucháči oboznámia s maticovými metódami kinematickej aj dynamickej analýzy a syntézy priestorových mechanizmov, s numerickými metódami a s modálnou reprezentáciou pružných telies. Dozvedia sa ako organizovať citlivostné štúdie vplyvu zmien jednej aj viacerých premenných na cieľovú funkciu, o metódach multidisciplinárnej a multikriteriálnej optimalizácie a o možnostiach ako dosiahnuť vyžadovaný stupeň robustnosti VMS, teda odolnosti na náhodné zmeny vnútorných vlastností a vonkajších zaťažení.

Oboznámia sa s dôvodmi využitia Laplaceovej transformácie diferenciálnych rovníc opisujúcich časovú odozvu systému na algebraické rovnice, do stavového priestoru v ktorých sa čas nevyskytuje, aby sa pomocou prenosovej funkcie dal sledovať vzťah medzi vstupom a výstupom a ako sa dá pomocou Fourierovej transformácie modifikovať Laplaceova transformácia s komplexným argumentom na amplitúdovo-fázové spektrum v Gaussovej komplexnej rovine, ktoré poskytuje fyzikálnu predstavu o zobrazovanej funkcii.

Na seminároch sa oboznámia s pracovným prostredím a základnými nástrojmi programu MSC.ADAMS. Ukážky analýzy a syntézy mechanizmov s uvažovaním systémov riadenia a hydraulických obvodov v rôznych priemyselných aplikáciách sú prípravou na simulácie mechanizmov po teoretickej aj praktickej stránke.

1. Analýza a syntéza štruktúr VMS

- Poloha a pohyblivosť voľných útvarov
- Štruktúrna analýza VMS
- Poloha a pohyblivosť v korektných VMS
- Syntéza štruktúr VMS

2. Vektorová metóda kinematickej analýzy VMS

- Analýza polohy členov VMS, Newton-Raphsonova iteračná metóda
- Analýza rýchlostí a zrýchlení bodov a členov VMS

3. Poloha a pohyblivosť telies v nekorektných VMS

- Nekorektá VMS s pasívnymi spojeniami, nadbytočnými členmi, nadbytočnou lokálnou pohyblivosťou
- Freudensteinovo kritérium pohyblivosti
- Poloha a pohyblivosť VMS s valivými a preklzajúcimi spojeniami
- Základná rovnica epicykloidálneho súkolesia
- VMS s ohybnými členmi

4. Syntéza VMS

- Polohovanie telesa v rovine, polohovanie 4 člennej VMS
- Polohovanie osí LCS výstupného člena, mechanizmus postrekovača
- Polohovanie začiatku LCS výstupného člena, žeriav s horizontálnym premiestňovaním bremena
- Polohovanie začiatku aj osí LCS výstupného člena, kolieskové korčule
- Polohovanie 6 člennej VMS, Wattova reťaz, Stehensonova reťaz

5. Maticové metódy kinematickej analýzy VMS

- Poloha a trajektória bodu
- Transformačné matice
- Poloha členov OM, v JM a vo VM
- Rýchlosť bodu, zrýchlenie bodu
- Maticové diferenciálne operátory
- Rýchlosť a zrýchlenie členov OM, v JM a vo VM
- Numerická kinematická analýza mechanizmov
- Maticová metóda určenia skutočnej pohyblivosti VMS

6. Maticové metódy dynamickej analýzy VMS 1. časť

- Hamiltonov variačný princíp
- Stavové rovnice reprezentujúce každé teleso vo VMS
- Stavové premenné v sústave stavových rovníc
- Stavové rovnice mechatronickej sústavy
- Stratégia výpočtovej efektívnosti algoritmov riešiča GSTIFF
- Prvý krok stratégie - dosiahnutie riedkosti Jakobiánu
- Druhý krok stratégie - konvertovanie DAE na ODE substitúciami
- Tretí krok stratégie - konvertovanie ODE na NAE spätnou Eulerovou implicitnou aproximáciou BE (Backward Euler)
- Práca prediktora pri dynamickej analýze, Gearov aproximačný integračný algoritmus.
- Práca korektora pri dynamickej analýze, aproximačný polynóm spätných derivácií BDF (Backward Differentiation Formula)
- Stabilita procesu integrácie, index I3, SI2, SI1

7. Maticové metódy dynamickej analýzy VMS 2. časť

- Integrátory ABAM, RKF, Newmark a HHT
- Typy analýz virtuálneho prototypu: analýza východiskovej polohy členov (Assembly), analýza východiskových rýchlostí členov, Inverzná dynamická analýza,

statická analýza, kvázistatická analýza, dynamická analýza, lineárna modálna analýza vlastných tvarov a vlastných frekvencií, frekvenčná analýza vynúteného kmitania

- Integrátory a ich vlastnosti v prostredí programu MSC.ADAMS
- Štandardné nastavenia parametrov integrátorov v prostredí modulu MSC.ADAMS/Solver
- Nástroje riadenia práce riešiča

8. Maticové metódy syntézy VMS

- Maticová metóda hodnotenia geometrickej presnosti mechanizmov.
- Syntéza mechanizmov na dosiahnutie vyžadovanej presnosti.
- Syntéza prevodových a vačkových mechanizmov

9. Teoretické východiská modálnej syntézy pružných vlastností telies

- Craig-Bamptonova teória modálnej syntézy pre reprezentáciu pružných vlastností telies pre dynamické analýzy VMS
- Utváranie a importovanie MNF súboru

10. Teoretické východiská kmitania VMS

- dynamické charakteristiky VMS
- Fourierova transformácia (pre $s = j\omega$) Laplaceovej transformácie signálu s komplexným argumentom tak, aby argument s nebol komplexné číslo na získanie amplitúdovo-fázového spektra frekvenčných charakteristík v Gaussovej komplexnej rovine, ktoré poskytuje fyzikálnu predstavu o zobrazovanej funkcii
- grafické zobrazenie spektra signálu pomocou amplitúdovo-frekvenčnej charakteristika a fázovo-frekvenčnej charakteristiky
- spektrálna a modálna analýza

11. Teoretické východiská pre PID reguláciu VMS

- rozdiel medzi reguláciou a riadením,
- prenosové funkcie
- Laplaceova transformácia $L\{f(t)\}$, teda obraz $F(s)$ časovo závislej funkcie $f(t)$ (originálu) lineárneho systému diferenciálnych rovníc opisujúcich časovú odozvu systému do komplexnej s -oblasti stavového priestoru na systém algebraických rovníc, v ktorých sa čas nevyskytuje, aby sa pomocou prenosovej funkcie dal sledovať vzťah medzi vstupom a výstupom
- vlastností P, D, I regulátorov a ich kombinácií PI, PD

12. Teoretické východiská pre optimalizáciu a z odolňovanie VMS

- **identifikácia** premenných veličín (DV) a ich kombinácií, ktorých zmeny najviac vplyvajú na prevádzkové vlastnosti modelu metódami lineárnej regresie ANOVA (Analysis of Variance), citlivostné analýzy (Screening)
- **úprava (Fit)** vlastností polynómov lineárnej regresie metódou aproximačných plôch odoziev tak, aby generovali odozvy s vyžadovanou presnosťou (Response Surface Method)

- **techniky** z odolňovania (Robust Design) zakomponovaním náhodnosti zmien vlastností VMS a systému riadenia
- metodika prepojenia virtuálneho a reálneho experimentu.

Literatúra

1. Orlandea, N., Chace, M.A., Calahan, D.A.: A Sparsity Oriented Approach to the Dynamic Analysis and Design of Mechanical Systems, 1976
2. Bolton, W.: Mechatronics. Electronic control systems in mechanical and electrical engineering, Addison Wesley Longman Limited, 1999
3. Inman, Daniel, J.: Engineering Vibration, Prentice Hall, Inc., 2001
4. Wielenga, T.J.: Analysis Methods and Model Representation in ADAMS, Mechanical Dynamics Inc. (MDI), 1987
5. Negrut, D., Harris, B.: ADAMS Theory in a Nutshell, Mechanical Dynamics Inc. (MDI), Ann Arbor, 2001
6. Palčák, F.: Teória mechanizmov - Návody na cvičenia, ES SVŠT, 1989
7. Palčák, F.: Teória mechanizmov. 2.vydanie, ES STU Bratislava, 1993
8. Erdman, A.G., Sandor, G.N, Kota, S.: Mechanism Design, Analysis and synthesis, Prentice Hall, NJ 2001
9. Documentation for MSC.ADAMS