



ÚNOD: Jan Tippner, Václav Sebera,  
Miroslav Trcala, Eva Troppová.

## Úvod do dynamických úloh v ANSYS

*Zdroje:*

*Kolář a kol., FEM principy a využití v praxi*

*Contact Technology Guide, Documentation for ANSYS*

*Theory Reference for ANSYS and ANSYS Workbench, Documentation for ANSYS*

*<http://www.mece.ualberta.ca/tutorials/ansys/AU/index/index.html>*

Mendelova  
univerzita  
v Brně



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Podpořeno projektem Průřezová inovace studijních programů Lesnické a dřevařské fakulty MENDELU v Brně (LDF) s ohledem na discipliny společného základu (reg. č. CZ.1.07/2.2.00/28.0021) za přispění finančních prostředků EU a státního rozpočtu České republiky.

Obecná pohybová rovnice výpočtové soustavy, z níž formulace úloh vychází:

$$[\mathbf{K}].\mathbf{u} + [\mathbf{M}].\mathbf{u}'' + [\mathbf{C}].\mathbf{u}' = \mathbf{f} \quad (\dots \text{srovnej s } [\mathbf{K}].\mathbf{u} = \mathbf{f} )$$

kde:

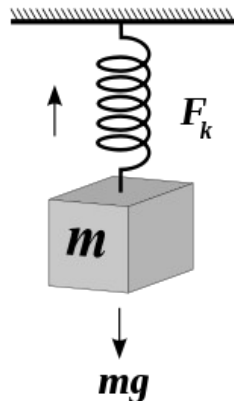
M – matice hmotnosti

C – matice tlumení

K – matice tuhosti

u – vektor uzlových posunutí, u' a u'' - 1. a 2. derivace u (rychlost a zrychlení)

f – vektor nějších sil v uzlech



$$k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta F}{\Delta u}$$

$$m = V \rho$$

řešení rovnice je přemístění uzlů v čase:  $\mathbf{u}=\mathbf{u}(t)$

tj. odezva soustavy v posunutích, dále rychlostech a zrychleních, napětích atd.

## Formy dynamických analýz - tvary pohybové rovnice:

**netlumená modální analýza**  $[K].u + [M].u'' = 0$   
výpočet vlastních frekvencí a vlastních volných tvarů kmitů soustavy  
(základní až povinné - rezonance)

**modální analýza s tlumením**  $[K].u + [M].u'' + [C].u' = 0$

**harmonická analýza**  $[K].u + [M].u'' + [C].u' = f$  (**f**)  
pravá strana rce – všechny síly harmonicky proměnné, vyšetření amplitud  
kmitání při periodickém buzení (excentricita hmot, aerod. víry)

**„plná“ transientní analýza**  $[K].u + [M].u'' + [C].u' = f$   
zatížení v uzlech obecně funkce času a dalších mech. veličin, prvky matic  
libovolně proměnné během řešení (velké deformace, plasticita aj.)

Reálné kmitání soustav - vždy doprovázeno tlumením.

Amplituda kmitání se vlivem vnějšího a vnitřního tlumení (nejč. tření) postupně snižuje.

Vyjádření jako: útlum -  $\lambda$ , koeficienty viskózního tlumení -  $\alpha$  a  $\beta$ , ztrátové činitele (loss factor -  $\eta$ , loss tangent -  $\tan \delta$ ), logaritmický dekrement tlumení -  $\delta$ , quality factor -  $Q$ , poměrné tlumení (damping ratio -  $\xi$ )

Existují nejrůznější vztahy pro vzájemný přepočítání těchto veličin.

Obecně je tlumení systému zavedeno v pohybové rovnici pomocí členu obsahujícího matici tlumení  $[C]$  a vektor rychlostí.

ANSYS nabízí implementaci tlumení v následujících formách: Rayleighovo tlumení, materiálově závislé tlumení, konstantní materiálový koeficient tlumení, konstantní poměr tlumení (damping ratio), modální tlumení a elementové tlumení.

Vyjádření matice tlumení:

$$[C] = \alpha [M] + (\beta + \beta_c) [K] + [C_\xi] + \sum\{(\beta^D_{mat} + 2/\Omega \beta^I_{mat}) [K_{mat}]\} + \sum\{C_{elem}\}$$

$$[C] = \alpha [M] + (\beta + \beta_c) [K] + [C_\xi] + \sum\{(\beta^D_{mat} + 2/\Omega \beta^I_{mat}) [K_{mat}]\} + \sum\{C_{elem}\}$$

kde  $\alpha$  = multiplikátor hmotové matice;  $\beta$  = multiplikátor matice tuhosti;  $\beta_c$  = proměnný multiplikátor matice tuhosti;  $[C_\xi]$  = frekvenčně závislá matice tlumení;  $\beta^D_{mat}$  = multiplikátor matice tuhosti pro materiál;  $\Omega$  = kruhová budící frekvence;  $\beta^I_{mat}$  = frekvenčně nezávislý multiplikátor matice tuhosti pro materiál;  $[K_{mat}]$  = části strukturálních matic tuhosti odpovídající příslušným materiálům;  $C_{elem}$  = prvkové matice tlumení.

Předposlední člen výrazu je sumou přes definované materiálové modely, poslední člen pak sumou přes elementy u nichž je definováno tlumení.

Možnost zavedení tlumení několika způsoby (i současně), rovněž celostní přístup k zavedení tlumení v systému nerespektující přímo např. možnou anisotropii této vlastnosti.

Ve většině případů je využíváno možnosti určení tlumení pomocí  $\beta^D_{mat}$ , které je určeno v rámci definice materiálového modelu či multiplikátorů  $\alpha$  a  $\beta_c$ .

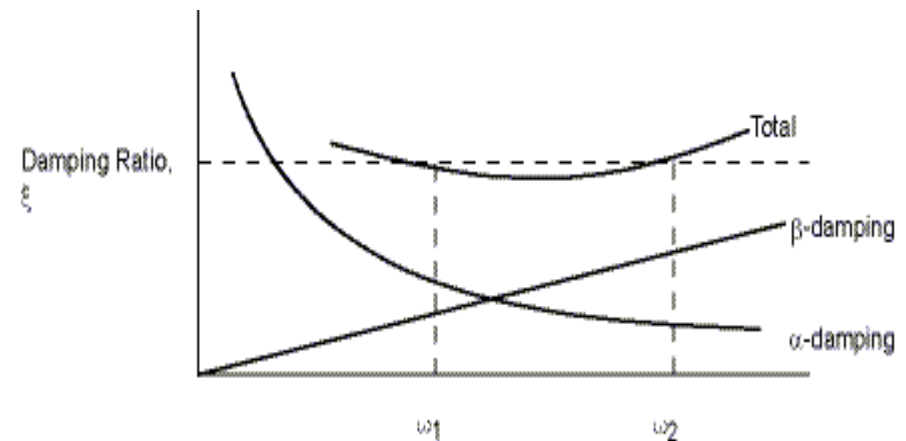
Pro modelování viskózního tlumení je pro svou jednoduchost a komplexnost velmi často používáno *Rayleighovo tlumení*, kde jsou specifikovány dva koeficienty tlumení multiplikátory  $\alpha$  a  $\beta$ .

Ve výpočetním prostředí ANSYS koeficienty (parametry)  $\alpha$  a  $\beta$  Rayleighova tlumení vystupují při sestavení matice tlumení  $[C]$  jako multiplikátory matice hmotností  $[M]$  a matice tuhosti  $[K]$ :

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]$$

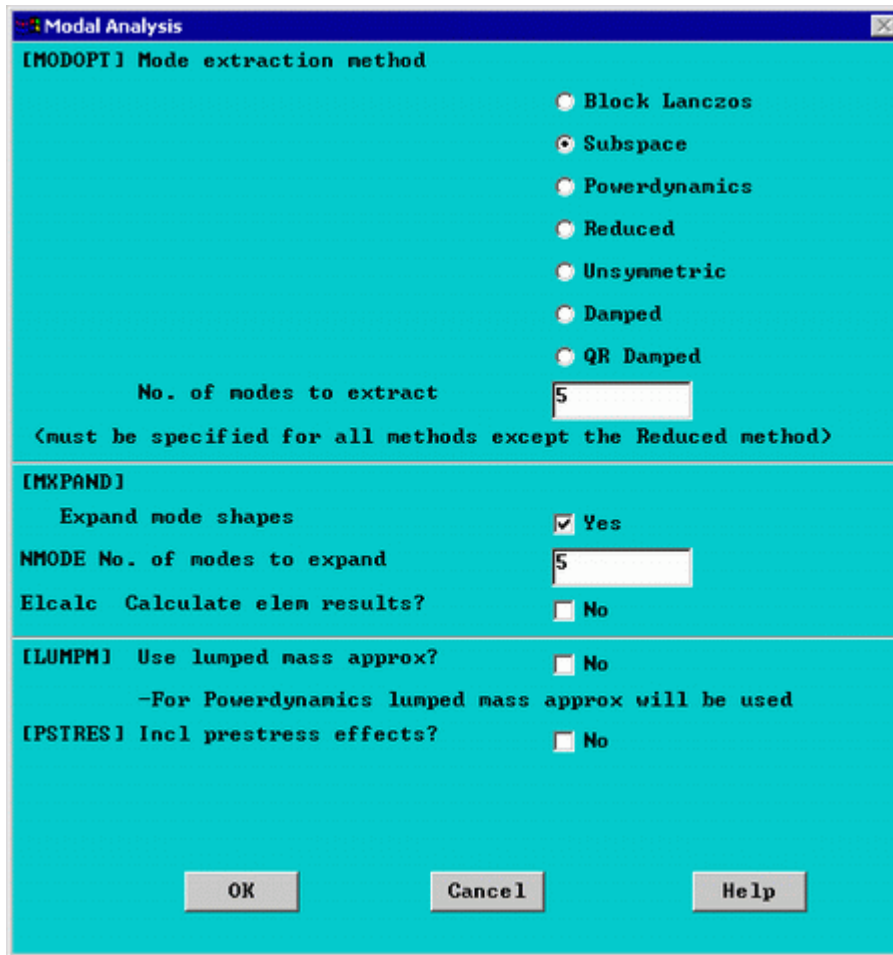
Hodnoty obou těchto parametrů nejsou pro různé případy všeobecně známy, ale vypočítávají se z poměrného tlumení módu  $\xi_j$ .

Toto tlumení lze vyjádřit jako poměr okamžitého tlumení k tlumení kritickému a to pro příslušný mód kmitání.



## Postup modální analýzy:

*Solution > Analysis Type > Analysis Options (ANTYPE,1).*



**Modal Analysis**

[MODEPT] Mode extraction method

- Block Lanczos
- Subspace
- Powerdynamics
- Reduced
- Unsymmetric
- Damped
- QR Damped

No. of modes to extract

<must be specified for all methods except the Reduced method>

---

[MXPAND] Expand mode shapes  Yes

NMODE No. of modes to expand

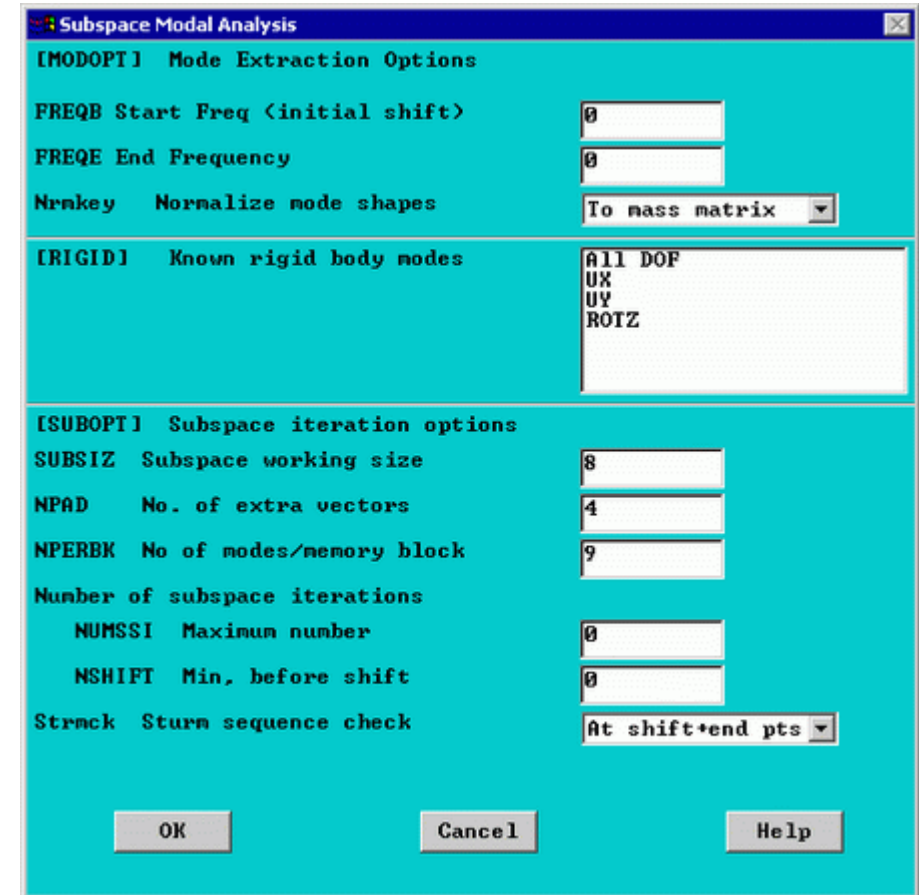
Elcalc Calculate elem results?  No

---

[LUMPM] Use lumped mass approx?  No  
-For Powerdynamics lumped mass approx will be used

[PSTRES] Incl prestress effects?  No

OK Cancel Help



**Subspace Modal Analysis**

[MODEPT] Mode Extraction Options

FREQB Start Freq <initial shift>

FREQE End Frequency

Nrnkey Normalize mode shapes

---

[RIGID] Known rigid body nodes

All DOF  
 UX  
 UY  
 ROTZ

---

[SUBOPT] Subspace iteration options

SUBSIZ Subspace working size

NPAD No. of extra vectors

NPERBK No of modes/memory block

Number of subspace iterations

NUMSSI Maximum number

NSHIFT Min. before shift

Strack Sturm sequence check

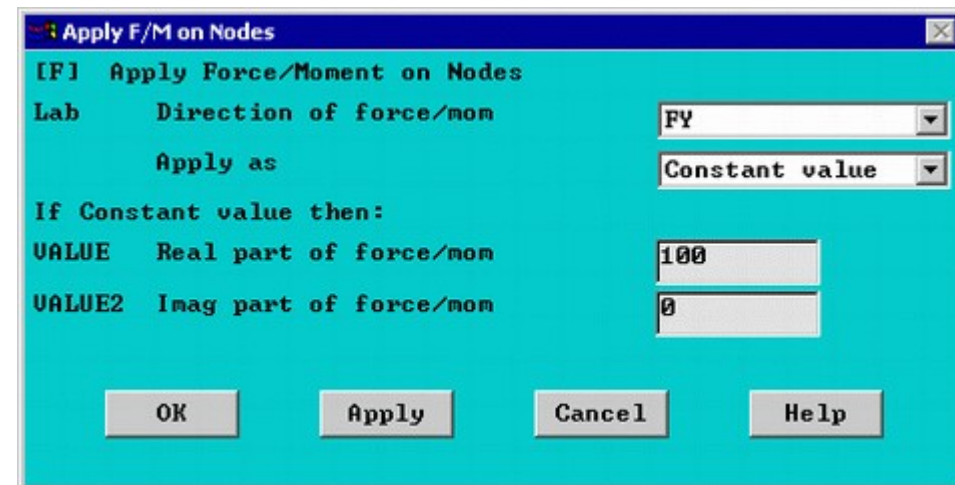
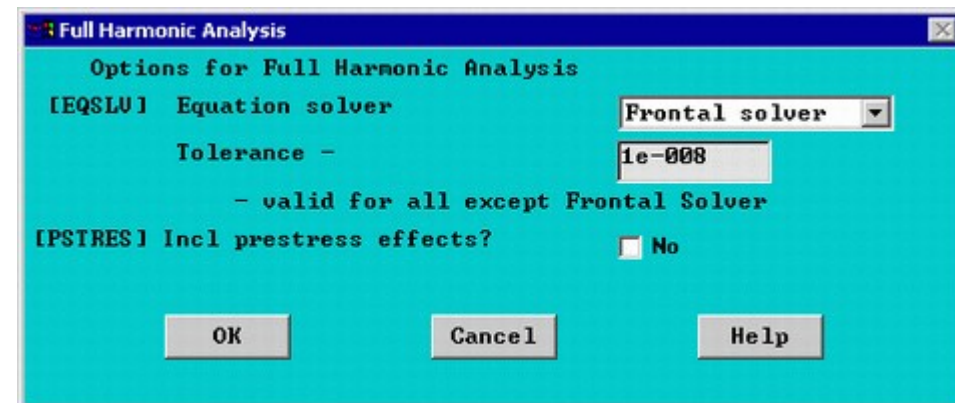
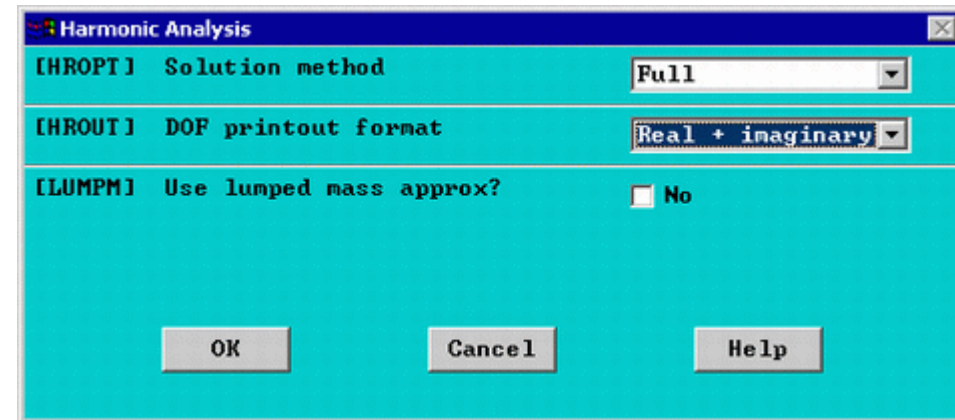
OK Cancel Help

## Postup harmonické analýzy:

*Solution > Analysis Type > New Analysis > Harmonic (ANTYPE,3)*

*Solution > Analysis Type > Analysis Options.*

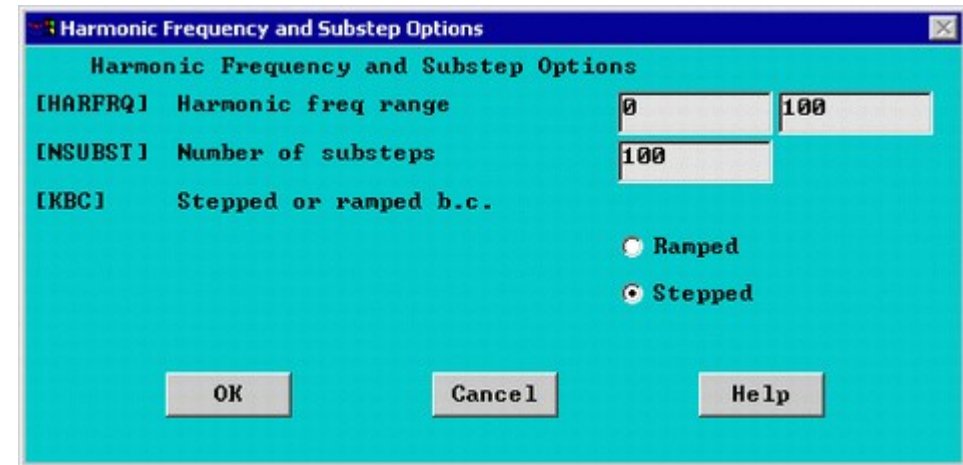
*Solution > Define Loads > Apply > Structural > Force/Moment > On Nodes*



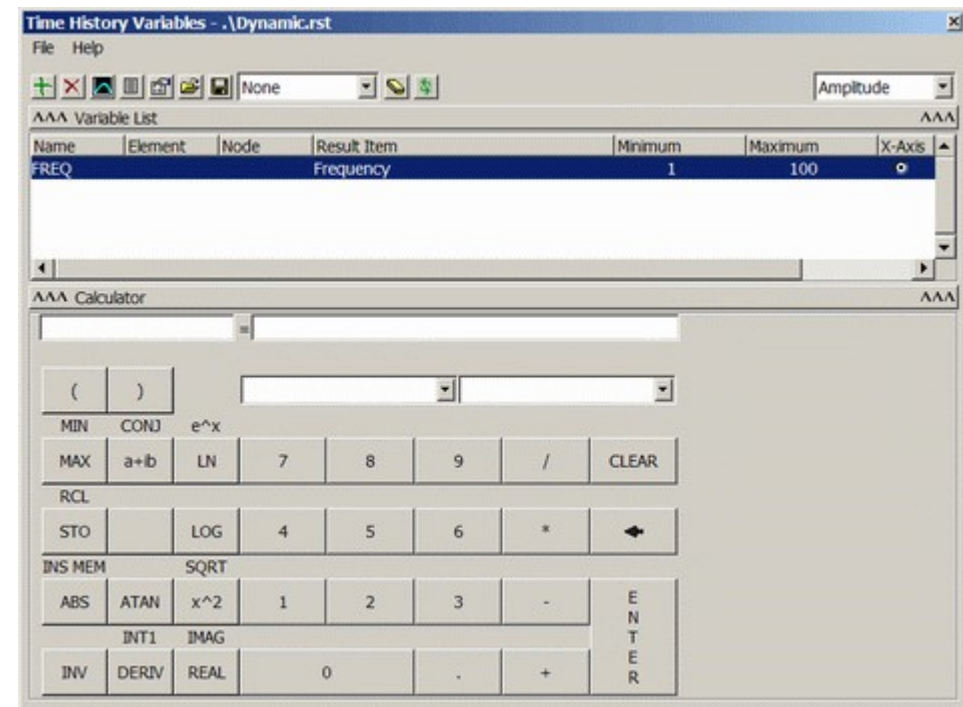
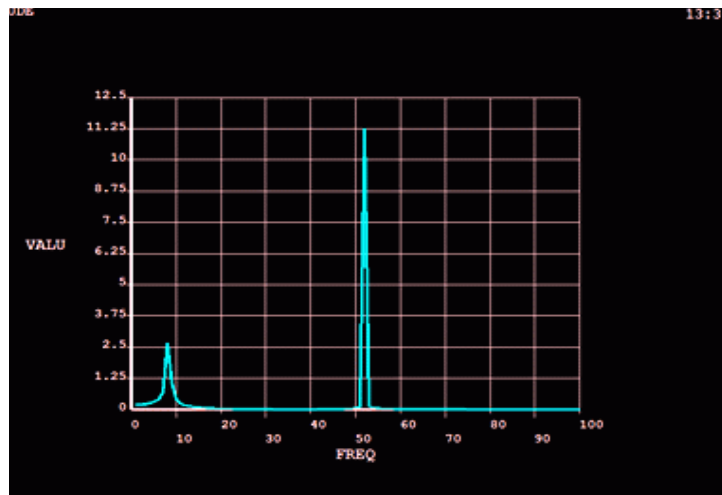


## Postup harmonické analýzy:

*Solution > Load Step Opts > Time/Frequency > Freq and Substps*



*TimeHist PostProcessing (POST26)*



## Postup transientní analýzy:

*Solution > Analysis Type > New Analysis > Transient*

### Řešení probíhá v několika Load Steps (zatížení >> odezva)

*Solution > Load Step Opts > Time/Frequenc > Time - Time Step*

## Postprocessing

*TimeHist PostProcessing (POST26)*

